



## Адитивні технології

### Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

#### Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Другий (магістерський)</i>
Галузь знань	<i>13 Механічна інженерія</i>
Спеціальність	<i>131 Прикладна механіка</i>
Освітня програма	<i>Інжиніринг зварювання, лазерних та споріднених технологій</i>
Статус дисципліни	<i>Нормативна</i>
Форма навчання	<i>денна</i>
Рік підготовки, семестр	<i>I курс, осінній семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>120 годин (4.0 кредити ЕКТС): лекційні заняття – 36 год., лабораторні заняття – 9 год., практичні заняття – 9 год., самостійна робота – 66 год.</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>Залік, МКР, РГР</i>
Розклад занять	<i>3 години на тиждень (2 години лекційних занять; 0,5 години практичних занять та 0,5 лабораторних занять), <a href="http://rozklad.kpi.ua/">http://rozklad.kpi.ua/</a></i>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	<i>Лектор: к.т.н., доцент Лесик Дмитро Анатолійович, <a href="mailto:lesyk_d@ukr.net">lesyk_d@ukr.net</a>; +38(096)207-79-77 Практичні: к.т.н., доцент Лесик Дмитро Анатолійович, <a href="mailto:lesyk_d@ukr.net">lesyk_d@ukr.net</a>; +38(096)207-79-77 Лабораторні: к.т.н., доцент Лесик Дмитро Анатолійович, <a href="mailto:lesyk_d@ukr.net">lesyk_d@ukr.net</a>; +38(096)207-79-77</i>
Розміщення курсу	<i><a href="https://campus.kpi.ua/tutor/index.php?mode=mob&amp;ir_own">https://campus.kpi.ua/tutor/index.php?mode=mob&amp;ir_own</a></i>

#### Програма навчальної дисципліни

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

Навчальна дисципліна "Адитивні технології" (АТ) відноситься до групи нормативних освітніх компонентів освітньо-професійної програми другого (магістерського) рівня вищої освіти за спеціальністю 131 Прикладна механіка, призначена для підготовки фахівців, здатних здійснювати інноваційну та технологічно-конструкторську діяльність і розв'язувати складні спеціалізовані задачі і практичні проблеми в області медицини (протезування), авіабудування, ракетобудування, автомобільного та енергетичного машинобудування шляхом застосування цифрових адитивних технологій, які дозволяють перетворювати, отримані в CAD-системах в готові вироби або запасні запчастини.

**Метою** викладання навчальної дисципліни є надання студентам можливість оволодіння інноваційними адитивними технологіями для виготовлення металевих/композитних виробів або запасних запчастин, що включає до себе таку послідовність дій для адитивних виробничих процесів:

- аналіз основних металевих порошків для 3D-друку;

- аналіз креслення виробу, який буде виготовлятися на 3D-принтері, якісних показників, продуктивності та собівартості, для обґрунтування вибору адитивної технології та відповідного обладнання;
- розробка 3D моделі виробу відповідного призначення з урахуванням складових (визначення критичних поверхонь, розміщення опор та позиціювання 3D моделі виробу на робочій платформі, товщина порошкового шару, і т.д.) адитивної технології пошарового сплавлення порошку – PBF;
- режимне забезпечення обраної схеми PBF-друку з урахуванням вимог 3D моделі та можливостей технологічного обладнання;
- постоброблення надрукованих металевих/композитних виробів.

**Предметом** дисципліни є оволодіння процесом пошарового сплавлення порошкового матеріалу лазерним променем згідно розробленої 3D моделі, включаючи попередню підготовку і подальшу обробку надрукованих виробів для досягнення їх бажаної якості.

Вивчення освітнього компоненту «Адитивні технології» передбачає формування та розвиток у здобувачів ступеня магістр компетентностей, передбачених освітньою програмою «Інжиніринг зварювання, лазерних та споріднених технологій» за спеціальністю 131 – Прикладна механіка, яка розроблена з урахуванням освітньо-професійної програми другого (магістерського) рівня вищої освіти КПІ ім. Ігоря Сікорського (наказ КПІ ім. Ігоря Сікорського від 15.02.2022 р. № НОН/75/2022).

#### **Загальні компетентності (ЗК):**

- ЗК 1: Здатність виявляти, ставити та вирішувати інженерно-технічні та науково-прикладні проблеми;
- ЗК 2: Здатність використовувати інформаційні та комунікаційні технології;
- ЗК 3: Здатність генерувати нові ідеї (креативність);
- ЗК 5: Здатність спілкуватися з представниками інших професійних груп різного рівня (з експертами з інших галузей знань/видів економічної діяльності);
- ЗК 6: Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями.

#### **Фахові компетентності (ФК):**

- ФК 1: Здатність застосовувати відповідні методи і ресурси сучасної інженерії для знаходження оптимальних рішень широкого кола інженерних задач із застосуванням сучасних підходів, методів прогнозування, інформаційних технологій та з урахуванням наявних обмежень за умов неповної інформації та суперечливих вимог;
- ФК 9: Здатність застосування нових сучасних методів розроблення технологічних процесів для виготовлення виробів та об'єктів з визначенням раціональних технологічних режимів роботи устаткування;
- ФК 10: Здатність порівнювати між собою альтернативні варіанти конструкцій, виготовлених за допомогою зварювання та споріднених технологій, процесів лазерної розмірної та поверхневої обробки для виявлення найбільш технологічної варіанту з урахуванням наявного чи перспективного виробничого середовища, засобів технологічного спорядження, кадрового та іншого ресурсного забезпечення;

*ФК 13: Здатність визначати зміст та проєктувати ефективні технологічні процеси за результатами застосування сучасних методів розроблення і оптимізації технологічного підготовлення виробництва з урахуванням його конкурентоздатності та екологічності;*

*ФК 22: Здатність створювати інноваційні рішення технічних проблем технологіями адитивного виробництва (нова ФК).*

*Результати навчання освітнього компонента деталізують такі **програмні результати навчання (РН)**, передбачені освітньою програмою «Інжиніринг зварювання, лазерних та споріднених технологій»:*

*РН 1: Застосовувати спеціалізовані концептуальні знання новітніх методів та методик проєктування, аналізу і дослідження конструкцій, машин та/або процесів в галузі машинобудування та суміжних галузях знань;*

*РН 2: Розробляти і ставити на виробництво нові види продукції, зокрема виконувати дослідно-конструкторські роботи та/або розробляти технологічне забезпечення процесу їх виготовлення;*

*РН 15: Використовувати комплексний підхід до технічного підготовлення виробництва конструкцій, виготовлених за допомогою зварювання, лазерних та споріднених технологій шляхом інтеграції призначення і змісту конструкторського, технологічного, організаційно-економічного підготовлення виробництва;*

*РН 21: Розробляти ескізні, технічні та робочі проєкти для зварювання, лазерних та споріднених технологій; створювати тривимірні моделі виробів; описувати принципи дії пристроїв, проєктованих виробів та об'єктів з обґрунтуванням прийнятих технічних рішень;*

*РН 23: Оволодівати сучасними знаннями передових технологій адитивного виробництва та їх області використання (новий РН).*

## **2. Пререквізити та постреквізити дисципліни "Адитивні технології" (місце в структурно-логічній схемі навчання за відповідною освітньою програмою)**

*Для успішного засвоєння матеріалу освітнього компоненту необхідні знання, які одержуються студентом у попередніх курсах: «Інженерна та комп'ютерна техніка», «Матеріалознавство», «Технологія конструкційних матеріалів», «Деталі машин та основи проєктування», «Механіка матеріалів і конструкцій», «Технології машинобудування», «Фізика взаємодії концентрованих потоків із речовиною».*

*Знання, отримані при вивченні даної дисципліни використовуються студентами під час підготовки кваліфікаційних робіт магістрів.*

## **3. Зміст навчальної дисципліни "Адитивні технології"**

**Вступ.**

### **Розділ 1. Порошкові матеріали**

*Тема 1.1. Виробництво порошків металів*

*Тема 1.2. Основні металеві порошки для 3D-друку*

*Тема 1.3. Композитні матеріали в 3D-друці*

### **Розділ 2. Адитивне виробництво металевих та композитних матеріалів**

*Тема 2.1. Розвиток 3D-друку*

Тема 2.2. Технології адитивного виробництва

Тема 2.3. Собівартість технологій 3D-друку

Тема 2.4. Відмінності між традиційним та адитивним виробництвом

Тема 2.5. Критерії застосування адитивних технологій

Тема 2.6. Структура стандартів адитивного виробництва

### **Розділ 3. Методи пошарового сплавлення порошку**

Тема 3.1. Класифікація методів пошарового сплавлення порошку (PBF)

Тема 3.2. Етапи адитивного виробництва металевих виробів методами PBF

Тема 3.3. Виробники 3D-принтерів на основі технології PBF

Тема 3.4. Технологія лазерного пошарового сплавлення порошку (LPBF)

Тема 3.5. Технологія електронно-променевого пошарового сплавлення порошку (EBF)

Тема 3.6. Технологія струминного нанесення сполучного (BJ)

Тема 3.7. Порівняння методів PBF

### **Розділ 4. Адитивна технологія лазерного пошарового сплавлення порошку – LPBF**

Тема 4.1. Будова та особливості технологічних установок LPBF

Тема 4.2. Процес лазерного пошарового сплавлення порошку

Тема 4.3. Основні матеріали, параметри LPBF та стратегії сканування лазерного променя

Тема 4.4. Шляхи для підвищення продуктивності процесу LPBF

Тема 4.5. Програмне забезпечення для контролю процесу LPBF

Тема 4.6. Виклики методу LPBF та шляхи поліпшення якості друкованих виробів

### **Розділ 5. Постоброблення LPBF-друкованих виробів**

Тема 5.1. Постоброблення виробів на основі нікелю

Тема 5.2. Постоброблення виробів на основі алюмінію

Тема 5.3. Постоброблення виробів на основі титану

Тема 5.4. Постоброблення виробів на основі заліза

Тема 5.5. Постоброблення виробів на основі кобальту

### **Розділ 6. Области застосування адитивних технологій**

Тема 6.1. Аерокосмічні застосування

Тема 6.2. Медичні застосування

Тема 6.3. Автомобілебудування

Тема 6.4. Виробництво інструментів та ливарних форм

## **4. Навчальні матеріали та ресурси**

### **Базова література**

1. Сучасні адитивні технології 3D друку. Особливості практичного застосування: навчальний посібник / О. Д. Манжілевський, Р. Д. Іскович-Лотоцький. – Вінниця: ВНТУ, 2021. – 105 с.

2. Innovations in additive manufacturing / M. Adam Khan, J. T. Winowlin Jappes. – Springer Tracts in Additive Manufacturing, 2022. – p. 332. – (eBook): <https://doi.org/10.1007/978-3-030-89401-6>

### Додаткова література

3. Additive manufacturing in the context of repeatability and reliability / F. Venturi, R. Taylor. – Journal of Materials Engineering and Performance, Volume 32 – 2023. – pp. 6589–6609: <https://doi.org/10.1007/s11665-023-07897-3>

4. Metal additive manufacturing in the commercial aviation industry: A review / A. Gisario, M. Kazarian, F. Martina, M. Mehrpouya. – Journal of Manufacturing Systems, Volume 53 – 2019. – pp. 124–149: <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2019.08.005>

5. Comparison of effects of shot and ultrasonic peening treatments on surface properties of L-PBF-manufactured superalloy subjected to HIP combined with heat treatments / D.A. Lesyk, S. Martinez, B.N. Mordyuk, O.O. Pedash, V.V. Dzhemelinskyi, A. Lamikiz. – Post-Processing Techniques for Additive Manufacturing. Taylor & Francis. – 2023: <https://doi.org/10.1201/9781003288619-9>

### Інформаційні ресурси

6. <http://ltft.kpi.ua/ua/> (сайт кафедри лазерної техніки та фізико-технічних технологій – ЛТФТ)

7. <http://login.kpi.ua/> (сайт кампусу КПІ ім. Ігоря Сікорського)

### Навчальний контент

#### 5. Методика опанування навчальної дисципліни "Адитивні технології"

Навчальний матеріал освітнього компоненту викладається на заняттях згідно зі наступною структурою (табл. 5.1).

Таблиця 5.1. Структура викладання навчальної дисципліни "Адитивні технології"

Назви розділів та тем	Кількість годин				
	Всього	У тому числі			
		Лекції	Практ. заняття	Лабор. роботи	СРС
1	2	3	4	5	6
<b>Вступ</b>					
Огляд змісту освітнього компоненту, його структури, призначення, навчальна база та місце в системі підготовки фахівця	0,5	0,5	-	-	-
<b>Розділ 1. Порошкові матеріали</b>					
Тема 1.1. Виробництво порошків металів	1,5	1,5	-	-	1,0
Тема 1.2. Основні металеві порошки для 3D-друку	1,0	1,0	-	-	2,0
Тема 1.3. Композитні матеріали в 3D-друці	1,0	1,0	-	-	1,0
<b>Разом за розділом 1</b>	<b>8,0</b>	<b>4,0</b>	-	-	<b>4,0</b>
<b>Розділ 2. Адитивне виробництво металевих та композитних матеріалів</b>					
Тема 2.1. Розвиток 3D-друку	3,0	0,5	-	-	2,5
Тема 2.2. Технології адитивного виробництва	4,0	1,5	-	-	2,5
Тема 2.3. Собівартість технологій 3D-друку	3,0	0,5	-	-	2,5
Тема 2.4. Відмінності між традиційним та	3,0	0,5	-	-	2,5

Назви розділів та тем	Кількість годин				
	Всього	У тому числі			
		Лекції	Практ. заняття	Лабор. роботи	СРС
1	2	3	4	5	6
адитивним виробництвом					
Тема 2.5. Критерії застосування адитивних технологій	3,0	0,5	-	-	2,5
Тема 2.6. Структура стандартів адитивного виробництва	3,0	0,5	-	-	2,5
<b>Разом за розділом 2</b>	<b>19,0</b>	<b>4,0</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>15,0</b>
<b>Розділ 3. Методи пошарового сплавлення порошку</b>					
Тема 3.1. Класифікація методів пошарового сплавлення порошку (PBF)	2,5	0,5	-	-	2,0
Тема 3.2. Етапи адитивного виробництва металевих виробів методами PBF	2,5	0,5	-	-	2,0
Тема 3.3. Виробники 3D-принтерів на основі технології PBF	2,5	0,5	-	-	2,0
Тема 3.4. Технологія лазерного пошарового сплавлення порошку (LPBF)	3,0	2,0	-	-	1,0
Тема 3.5. Технологія електронно-променевого пошарового сплавлення порошку (EBF)	3,0	2,0	-	-	1,0
Тема 3.6. Технологія струминного нанесення сполучного (BJ)	3,0	2,0	-	-	1,0
Тема 3.7. Порівняння методів PBF	2,5	0,5	-	-	2,0
<b>Разом за розділом 3</b>	<b>19,0</b>	<b>8,0</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>11,0</b>
<b>Розділ 4. Адитивна технологія лазерного пошарового сплавлення порошку – LPBF</b>					
Тема 4.1. Будова та особливості технологічних установок LPBF	3,0	1,0	-	-	2,0
Тема 4.2. Процес лазерного пошарового сплавлення порошку	5,0	2,0	2,0	-	1,0
Тема 4.3. Основні матеріали, параметри LPBF та стратегії сканування лазерного променя	12,0	2,0	5,0	4,0	1,0
Тема 4.4. Шляхи для підвищення продуктивності процесу LPBF	1,5	0,5	-	-	1,0
Тема 4.5. Програмне забезпечення для контролю процесу LPBF	1,5	0,5	-	-	1,0
Тема 4.6. Виклики методу LPBF та шляхи поліпшення якості друкованих виробів	5,0	2,0	2,0	-	1,0
<b>Разом за розділом 4</b>	<b>28,0</b>	<b>8,0</b>	<b>9,0</b>	<b>4,0</b>	<b>7,0</b>
<b>Розділ 5. Постоброблення LPBF-друкованих виробів</b>					
Тема 5.1. Постоброблення виробів на основі нікелю	7,0	2,0	-	4,5	0,5



Назви розділів та тем	Кількість годин				
	Всього	У тому числі			
		Лекції	Практ. заняття	Лабор. роботи	СРС
1	2	3	4	5	6
Тема 5.2. Постоброблення виробів на основі алюмінію	3,0	2,0	-	-	1,0
Тема 5.3. Постоброблення виробів на основі титану	3,0	2,0	-	-	1,0
Тема 5.4. Постоброблення виробів на основі заліза	3,0	2,0	-	-	1,0
Тема 5.5. Постоброблення виробів на основі кобальту	3,0	2,0	-	0,5	0,5
<b>Разом за розділом 5</b>	<b>19,0</b>	<b>10,0</b>	<b>-</b>	<b>5,0</b>	<b>4,0</b>
<b>Розділ 6. Області застосування адитивних технологій</b>					
Тема 6.1. Аерокосмічні застосування	1,5	0,5	-	-	0,5
Тема 6.2. Медичні застосування	1,5	0,5	-	-	0,5
Тема 6.3. Автомобілебудування	1,5	0,5	-	-	0,5
Тема 6.4. Виробництво інструментів та ливарних форм	1,5	0,5	-	-	0,5
<b>Разом за розділом 6</b>	<b>6,0</b>	<b>2,0</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>2,0</b>
Контрольна модульна робота (Частина 1)	1,0	-	-	-	1,0
Контрольна модульна робота (Частина 2)	1,0	-	-	-	1,0
РГР	15,0				15,0
Залік	6,0				6,0
<b>Всього годин</b>	<b>120</b>	<b>36</b>	<b>9</b>	<b>9</b>	<b>66</b>

Перелік запланованих лекційних занять до дисципліни "Адитивні технології" приведено у таблиці 5.2.

Таблиця 5.2. Перелік лекційних занять

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, завдання на СРС з посиланням на літературу)
1	Лекція 1. Вступ. Мета та задачі освітнього компоненту. Виробництво порошків металів. Основні завдання на СРС: Особливості поширення 3D-друку на світовому ринку.
2	Лекція 2. Особливості металевих порошків для 3D-друку. Композитні матеріали в 3D-друці. Основні завдання на СРС: Які вимоги до збереження порошків для 3D-друку?
3	Лекція 3. Розвиток 3D-друку. Технології адитивного виробництва. Завдання на СРС: Яка адитивна технологія є має переваги при виготовленні виробів на основі титану?
4	Лекція 4. Відмінності між традиційним та адитивним виробництвом. Критерії застосування адитивних технологій.

	Завдання на СРС: Структура стандартів адитивного виробництва.
5	Лекція 5. Класифікація методів пошарового сплавлення порошку (PBF). Етапи адитивного виробництва металевих виробів методами PBF. Виробники 3D-принтерів на основі технології PBF. Завдання на СРС: Схематичне відображення методів пошарового сплавлення порошку.
6	Лекція 6. Технологія лазерного пошарового сплавлення порошку (LPBF). Завдання на СРС: Обмеження адитивної технології LPBF?
7	Лекція 7. Технологія електронно-променевого пошарового сплавлення порошку (EBF). Завдання на СРС: Які основні переваги адитивної технології EBF в порівнянні із технологією LPBF?
8	Лекція 8. Технологія струминного нанесення сполучного (BJ). Завдання на СРС: Які основні переваги адитивної технології BJ?
9	Лекція 9. Будова та особливості технологічних установок LPBF. Шляхи для підвищення продуктивності процесу LPBF. Програмне забезпечення для контролю процесу LPBF. Завдання на СРС: Проаналізувати можливості установок для лазерного пошарового сплавлення порошку компанії Concept Laser.
10	Лекція 10. Процес лазерного пошарового сплавлення порошку. Основні матеріали, параметри LPBF та стратегії сканування лазерного променя. Завдання на СРС: Які складнощі виникають при використанні не типових матеріалів?
11	Лекція 11. Виклики методу LPBF та шляхи поліпшення якості друкованих виробів. Завдання на СРС: Оцінка напруженого стану в LPBF-друкованих металевих/композитних матеріалах.
12	Лекція 12. Оптимізації методу LPBF. Завдання на СРС: Основні фактори (параметри) методу LPBF, які впливають на пористість виробів.
13	Лекція 13. Останні досягнення в постобробленні виробів на основі нікелю. Завдання на СРС: Визначити обмеження в методах інтенсивного поверхнево-пластичного деформування LPBF-друкованих виробів на основі нікелю, виходячи із оброблюваної геометрії.
14	Лекція 14. Останні досягнення в постобробленні виробів на основі алюмінію. Завдання на СРС: Дослідження механічних властивостей LPBF-друкованих сплавів на основі кобальту після постоброблення.
15	Лекція 15. Останні досягнення в постобробленні виробів на основі титану. Завдання на СРС: Порівняння механічних властивостей у LPBF-друкованих зразках на основі титану, отриманих різними 3D-принтерами.
16	Лекція 16. Останні досягнення в постобробленні виробів на основі заліза. Завдання на СРС: Визначення раціональних методів поверхневого модифікування LPBF-друкованих сплавів на основі заліза.
17	Лекція 17. Останні досягнення в постобробленні виробів на основі кобальту. Завдання на СРС: Дослідження корозійної стійкості LPBF-друкованих сплавів на основі кобальту.



18	<p>Лекція 18. Аерокосмічні та медичні застосування. Автомобілебудування. Виробництво інструментів та ливарних форм.</p> <p>Завдання на СРС: Виклики застосування технології LPBF для виготовлення виробів, які працюють в екстремальних умовах.</p>
----	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

#### *Практичні заняття*

*Основними завданнями циклу практичних занять є закріплення теоретичних положень. Цикл практичних занять має ціллю закріплення головних тем освітнього компоненту, які засвоєно теоретично. В зв'язку з тим, що головним його завданням є надання знань і умінь вибору якісного порошку в якості вихідного матеріалу та позиціонування розробленої 3D моделі на робочій платформі, а також ефективної стратегії лазерного пошарового сплавлення порошкового матеріалу та постоброблення. Перелік запланованих практичних занять до дисципліни "Адитивні технології" приведено у таблиці 5.3.*

*Таблиця 5.3. Перелік практичних занять*

№ з/п	Назва теми заняття та перелік основних питань	Кількість годин
1	Практичне заняття 1. Визначення основних елементів виробничого адитивного процесу: Метод LPBF для виготовлення металевих/композитних виробів	2,0
2	Практичне заняття 2. Позиціонування 3D моделей на платформі установки LPBF	1,0
3	Практичне заняття 3. Визначення стратегії сканування лазерного променя та параметрів 3D-друку методом LPBF	2,0
4	Практичне заняття 4. Особливості лазерного LPBF-друку похилих поверхонь	2,0
5	Практичне заняття 5. Визначення пористості в LPBF-надрукованих металевих виробах	2,0

#### *Лабораторні заняття*

*Основні завдання циклу лабораторних занять полягають в практичному закріпленні головних тем освітнього компоненту, оволодінні сучасними методами дослідження морфології та дисперсності порошку, а також вплив використаного порошку на властивості виготовлених виробів після 10 ітерацій для адитивного виробництва методами пошарового сплавлення порошку. Крім того, сучасні методики дослідження структури, поверхневих та об'ємних дефектів в LPBF-надрукованих та постоброблених металевих виробах, включаючи визначення поверхневої твердості, буде застосовано в даному освітньому компоненті. Знайомство з устаткуванням учбової лабораторії обов'язково супроводжується інструктажем з техніки безпеки. Перелік запланованих лабораторних робіт до дисципліни "Адитивні технології" приведено у таблиці 5.4.*

*Таблиця 5.4. Перелік лабораторних робіт*

№ з/п	Назва лабораторної роботи	Кількість годин
1	Лабораторна робота 1. Дослідження морфології та дисперсності порошку для адитивного виробництва методами пошарового сплавлення порошку	2,0

2	Лабораторна робота 2. Дослідження поверхневих дефектів в LPBF-надрукованих металевих виробках	2,0
3	Лабораторна робота 3. Дослідження структури та об'ємних дефектів в LPBF-надрукованих та постоброблених металевих виробках	2,0
4	Лабораторна робота 4. Визначення поверхневої твердості в LPBF-надрукованих та постоброблених металевих виробках	2,0
5	Лабораторна робота 5. Вплив постоброблення на властивості LPBF-надрукованих металевих виробів на основі нікелю та кобальту	1,0

## 6. Самостійна робота студента

Всього на опрацювання освітнього компоненту "Адитивні технології" в рамках навчального плану підготовки бакалаврів спеціальності професійного спрямування "Інжиніринг зварювання, лазерних та споріднених технологій" відведено 66 годин самостійної роботи, з яких 15 годин планується на виконання розрахунково-графічної роботи (РГР), 2 год. на підготовку до МКР та 6 год. на підготовку до заліку. 45 годин самостійної роботи відводиться на підготовку до лекційних, практичних та лабораторних занять, а також на самостійне опрацювання навчальної дисципліни (табл. 6.1).

Таблиця 6.1. Перелік тем та питань на самостійне опрацювання

№ з/п	Назви тем і питань, що виносяться на самостійне опрацювання та посилання на навчальну літературу	Кількість годин СРС
1	Тема 1.1. Виробництво порошків металів. Технологія відцентрової атомізації для отримання порошків для АМ-машин.	1,0
2	Тема 1.2. Основні металеві порошки для 3D-друку. Порівняння ціни металевих порошків на ринку в Україні, Європі та Америці.	2,0
3	Тема 1.3. Композитні матеріали в 3D-друці. Метод екструзії матеріалу (Material Extrusion) та інші адитивні технології для виготовлення не металевих виробів.	1,0
4	Тема 2.1. Розвиток 3D-друку. ASTM 52900: 2015 Адитивні технологічні процеси. Базові принципи. Частина 1. Терміни та визначення.	2,5
5	Тема 2.2. Технології адитивного виробництва. Адитивні технології для будівництва будинків.	2,5
6	Тема 2.3. Собівартість технологій 3D-друку. Які основні чинники, які впливають на вартість 3D-принтеру?	2,5
7	Тема 2.4. Відмінності між традиційним та адитивним виробництвом. Переваги адитивного (цифрового) виробництва з точки зору швидкого виходу продукції на ринок.	2,5
8	Тема 2.5. Критерії застосування адитивних технологій. Технічні характеристики деталей.	2,5
9	Тема 2.6. Структура стандартів адитивного виробництва. Термінологія ISO 17296-1; Процеси/Матеріали ISO 17296-2; Методи випробовування ISO 17296-3; Проектування/формати даних ISO 17296-4	2,5
10	Тема 3.1. Класифікація методів пошарового сплавлення порошку (PBF). Оцінка можливостей технології Багатоструминного сплавлення (Multi Jet Fusion – MJF).	2,0

11	Тема 3.2 Етапи адитивного виробництва металевих виробів методами PBF. Оцінити системи CAD/CAE на ртнку, пропонувані виробниками 3D-принтерів.	2,0
12	Тема 3.3 Виробники 3D-принтерів на основі технології PBF. Порівняти властивості надрукованих виробів, отриманих на різних 3D-принтерів, виробництва США (EOS), Німеччини (Concept Laser, Trumpf), Великої Британії (Renishaw) та інших.	2,0
13	Тема 3.4. Технологія лазерного пошарового сплавлення порошку (LPBF). Продуктивність методу LPBF. Механізм формування структурних дефектів на поверхні LPBF-виготовлених виробів. Вплив об'ємних дефектів на міцність LPBF-виготовлених виробів.	1,0
14	Тема 3.5 Технологія електронно-променевого пошарового сплавлення порошку (EBF). Оцінка властивостей у EBF-друкованих зразках на основі титану в порівнянні із технологією адитивного виробництва LPBF.	1,0
15	Тема 3.6. Технологія струминного нанесення сполучного (VJ). Чому дана адитивна технологія є раціональною для масового виробництва?	1,0
16	Тема 4.1. Будова та особливості технологічних установок LPBF. Витрати на матеріал, адитивне виробництво та постоброблення титанових сплавів, виготовлених методами LPBF, EBF та VJ.	2,0
17	Тема 4.2. Процес лазерного пошарового сплавлення порошку. Фізична модель формування поверхневих та об'ємних дефектів у LPBF-друкованих виробках.	1,0
18	Тема 4.3. Основні матеріали, параметри LPBF та стратегії сканування лазерного променя. Вплив стратегії сканування лазерного променя на розподіл залишкових напружень на поверхні та глибині.	1,0
19	Тема 4.4. Шляхи для підвищення продуктивності процесу LPBF. Сегментування 3D моделі: Стратегія skin-core.	1,0
20	Тема 4.5. Програмне забезпечення для контролю процесу LPBF. Можливості програмного забезпечення Dyndrite.	1,0
21	Тема 4.6. Виклики методу LPBF та шляхи поліпшення якості друкованих виробів. Вплив товщини порошкового шару на якість поверхонь, включаючи похилі поверхні та отвори різних розмірів.	1,0
22	Тема 5.1. Постоброблення виробів на основі нікелю. Магнітне полірування в якості фінішної операції виробів на основі нікелю.	0,5
23	Тема 5.2. Постоброблення виробів на основі алюмінію. Термічні методи постоброблення.	1,0
24	Тема 5.3. Постоброблення виробів на основі титану. Поверхневі методи постоброблення.	1,0
25	Тема 5.4. Постоброблення виробів на основі заліза. Комбіновані термомеханічні методи постоброблення.	1,0
26	Тема 5.5. Постоброблення виробів на основі кобальту. Термічні методи постоброблення.	0,5
27	Тема 6.1. Аерокосмічні застосування. Особливості виготовлення турбінних лопаток методами PBF.	0,5
28	Тема 6.2. Медичні застосування. Проаналізувати поточні досягнення та обмеження у використанні технологій PBF в медицині.	0,5

29	Тема 6.3. Автомобілебудування. Які типові матеріали використовуються в даній галузі виробництва?	0,5
30	Тема 6.4. Виробництво інструментів та ливарних форм. Аналіз методів постоброблення для інструментів, виготовлених методами адитивних технологій.	0,5
<b>Разом</b>		<b>45</b>

## Політика та контроль

### 7. Політика навчальної дисципліни "Адитивні технології"

*Викладання освітнього компоненту базується на загально прийнятих нормах та за традиційними правилами, які спонукають студентів бути зацікавленими в отриманні знань з навчальної дисципліни "Адитивні технології".*

#### **Правила відвідування занять та поведінки на заняттях**

*Для здобувачів вищої освіти очної форми навчання відвідування занять/консультацій не є обов'язковим. Поважними причинами для неявки на заняття/консультації є хвороба або академічна мобільність, які необхідно підтверджувати документами. Відсутність здобувача на заняттях/консультаціях передбачає самостійне опрацювання матеріалу та не звільняє здобувача від виконання завдання на самостійну підготовку або завдання поточного та підсумкового контролю. За об'єктивних причин (наприклад, міжнародна мобільність) навчання може відбуватись в он-лайн формі за погодженням з деканом факультету (директором інституту).*

*Порядок, умови захисту та оформленням відповідних текстових та графічних матеріалів, якість рішень і терміни їх виконання оцінюються балами, що відображене в рейтинговій системі оцінювання (PCO).*

*Проведення атестації здобувачів здійснюється відповідно до Положення про екзаменаційну комісію та атестацію здобувачів вищої освіти в КПІ ім. Ігоря Сікорського. Докладніше: <https://osvita.kpi.ua/node/35>.*

#### **Політика щодо оскарження оцінювання**

*Якщо здобувач вищої освіти не згоден з оцінюванням його знань він може оскаржити виставлену викладачем оцінку у встановленому порядку. Порядок повторного проходження здобувачами вищої освіти контрольних заходів урегульовані процедурами Положення про організацію освітнього процесу у ДДТУ Докладніше: <https://osvita.kpi.ua/node/39>.*

#### **Політика дедлайнів та перескладань**

*Порядок ліквідації академічних заборгованостей в Університеті реалізується відповідно до Положення про поточний, календарний та семестровий контроль результатів навчання в КПІ ім. Ігоря Сікорського. Детальніше: <https://osvita.kpi.ua/node/32>.*

*Перескладання заліку відбувається із дозволу декана факультету за наявності поважних причин (наприклад, лікарняний). У разі виникнення заборгованостей з навчальної дисципліни або будь-яких форс-мажорних обставин, студенти мають зв'язатися з викладачем по доступних (наданих викладачем) каналах зв'язку для розв'язання проблемних питань та узгодження алгоритму дій для відпрацювання.*

### **Політика академічної поведінки і етики**

Студенти мають бути толерантним, поважати думку оточуючих, заперечення формулювати в коректній формі, конструктивно підтримувати зворотний зв'язок на заняттях.

Норми етичної поведінки студентів і працівників визначені у розділі 2 Кодексу честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». Детальніше: <https://kpi.ua/code>.

Академічна доброчесність здобувачів вищої освіти є важливою умовою для опанування результатами навчання за дисципліною і отримання задовільної оцінки з поточного та підсумкового контролів. Запозичення мають бути оформлені відповідними посиланнями. Списування є забороненим. Політика та принципи академічної доброчесності визначені у розділі 3 Кодексу честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». Детальніше: <https://kpi.ua/code>.

Інші правила та етапи засвоєння освітнього компоненту, спрямовані на досягнення позитивного результату під час різних видах контролю, повинні відповідати нормативним документам Університету та не суперечити законодавству України.

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

### **Поточний контроль**

За темою лекційних занять, на практичних роботах проводяться експрес опитування за пройденими раніше темами, які спонукають кращому розумінню матеріалу, що викладається, та опитування за темою лекції або заняття.

### **Календарний контроль**

Для контролю поточного стану виконання вимог **силабусу** двічі на семестр за графіком навчального процесу Університету або Інституту проводяться модульні контрольні роботи, а система оцінювання наведена в PCO освітнього компоненту.

### **Семестровий контроль**

В якості контролю знань, опанованих студентами за семестр викладання освітнього компоненту, навчальним планом передбачено складання заліку, умови допуску до якого та принцип оцінювання викладено в PCO освітнього компоненту.

### **Рейтингова система оцінювання результатів навчання студентів за освітнім компонентом**

Розподіл навчального часу за видами занять і завдань освітнього компоненту згідно з робочим навчальним планом кредитного модуля приведено у таблиці 8.1.

Рейтинг студента з освітнього компоненту розраховується виходячи із 100-бальної шкали та складається з балів, отриманих за:

1. Модульна контрольна робота МКР (2 частини відповідно перед першою та другою атестацією);
2. Виконання та захист лабораторних робіт (4,5 занять);
3. Розв'язок типових задач на практичних заняттях (4,5 занять);
4. Активність на заняттях, тестові контролі / блиц опитування (18 занять).

Таблиця 8.1. Обсяг навчальної роботи на 2024-2025 навчальний рік

Семестр	Всього (кредит/годин)	Розподіл годин за видами занять				Кількість МКР	РГР	Семестрова атестація
		Лекції	Практичні заняття	Лабораторні роботи	СРС + підготовка до заліку			
1	4,0/120	36	9	9	66	2	15	залік

### Система рейтингових балів

1. Модульна контрольна робота (МКР). Ваговий бал – 15 балів, тобто 2 × 15 балів (для двох атестацій).

МКР поділяється на дві контрольні роботи тривалістю по одній акад. годині, які охоплюють матеріали всіх розділів і тем освітнього компоненту.

Кожна частина модульної контрольної роботи виконується в формі письмової відповіді на контрольні/тестові завдання. Максимальна оцінка за частину МКР складає 15 балів.

Максимальна кількість балів за МКР складає 2 частини × 15 балів = 30 балів, що становить 30% від підсумкового рейтингу. Під час виконання кожної частини модульної контрольної роботи студентам дозволяється користуватися власним рукописним конспекту.

#### Критерії оцінювання:

- максимальна оцінка виставляється у разі повного та правильного розкриття постановки задачі, місця та сутності методів розв'язання задачі, доведення всіх теорем, що пов'язані з задачею, аналізу обмежень та похибок розв'язання задачі;
- оцінка за відповідь на теоретичне питання знижується якщо є недоліки у відповіді;
- максимальна оцінка за розв'язання задачі виставляється у разі правильності рівнянь, формул та виразів, що використовуються; вибору алгоритму розв'язання задачі, її розв'язок з отриманням кількісних оцінок;
- оцінка за розв'язання задачі у 2 бали виставляється якщо правильно наведені вихідні рівняння, формули та вирази; вибрано алгоритм розв'язання задачі, але її розв'язок, або отримані кількісні оцінки неправильні;
- оцінка за розв'язання задачі в 1 бал виставляється якщо правильно обґрунтовано використання вихідних рівнянь, формул та виразів, але алгоритму розв'язання задачі не отримано.

2. Лабораторні роботи. Ваговий бал – 3 бали.

В ході вивчення освітнього компоненту студенти виконують 5 лабораторних робіт. Кожна з них за підсумками захисту оцінюється за п'ятирівневою системою з максимальним балом 5. Оцінка за лабораторні роботи, захищені із запізненням, знижується на кількість занять, які минули від заняття, встановленого розкладом навчального процесу на захист даної роботи. Максимальна оцінка за лабораторну роботу, виконану та захищену із запізненням більше чотирьох занять від встановленого терміну, становить 0 балів.

Максимальна кількість балів за відпрацювання всіх лабораторних робіт дорівнює 3 бали × 5 = 15 бали, що становить 15% від підсумкового рейтингу.



#### Критерії оцінювання:

- максимальний бал 4 виставляється за лабораторну роботу, виконану вчасно та у відповідності до робочого завдання, якщо отримані правильні результати, охайно виконаний звіт, правильно сформульовані висновки до роботи, на захисті продемонстровано розуміння усіх результатів та етапів їх отримання, вільне володіння теоретичним підґрунтям роботи;
- лабораторна робота оцінюється у 3 бали, якщо маютьесь незначні недоліки в процесі виконання роботи, у отриманих результатах, оформленні звіту, зроблених у висновках та під час захисту роботи;
- лабораторна робота оцінюється у 2 бали, якщо маютьесь суттєві недоліки в процесі виконання роботи, у отриманих результатах, оформленні звіту, зроблених висновках та під час захисту роботи;
- лабораторна робота оцінюється у 1 бал, якщо маютьесь значні недоліки в процесі виконання роботи, у отриманих результатах, оформленні звіту, зроблених висновках та під час захисту роботи;
- лабораторна робота оцінюється у 0.5 бали, якщо вона виконана самостійно, повністю у відповідності до робочого завдання та власноручно виконаний звіт, але не захищена.

#### 3. Розв'язок типових задач на практичних заняттях. Ваговий бал – 3 бали.

На практичних заняттях студенти опановують головні теми освітнього компоненту. Таких задач виділено 5. Кожна з них за підсумками захисту оцінюється за п'ятирівневою системою з максимальним балом 3. Оцінка за завдання, виконані з запізненням, знижується на кількість занять, які минули від заняття, встановленого розкладом навчального процесу на захист даної роботи. Максимальна оцінка за практичну роботу, виконану та захищену із запізненням більше чотирьох занять від встановленого терміну, становить 0 балів. Максимальна кількість балів за відпрацювання всіх завдань на практичних заняттях дорівнює 3 балів x 5 = 15 балів, що становить 15% від підсумкового рейтингу.

#### Критерії оцінювання:

- максимальний бал 3 виставляється за виконану вчасно та у відповідності до робочого завдання задачу, якщо отримані правильні результати розрахунків, охайно у відповідності з діючими стандартами оформлені текстовий і графічний документи, продемонстровано розуміння усіх результатів, вільне володіння теоретичним підґрунтям роботи;
- завдання оцінюється у 2,5 бали, якщо маютьесь незначні недоліки в процесі виконання роботи, у отриманих результатах, оформленні текстових і графічних матеріалів;
- завдання оцінюється у 2 бали, якщо маютьесь суттєві недоліки в процесі виконання роботи, у отриманих результатах розрахунків, оформленні текстових і графічних матеріалів;
- завдання оцінюється у 1 бали, якщо маютьесь значні недоліки в процесі виконання роботи, у отриманих результатах розрахунків, оформленні текстових і графічних матеріалів без відповідності до діючих стандартів і правил.

#### 4. Активність на заняттях, тестові контролі / бліц опитування. Ваговий бал – 10 балів.

#### 5. Виконання розрахунково-графічної роботи. Ваговий бал – 30 балів.

##### Розмір шкали:

- творчо виконана робота – 30 балів;
- роботу виконано з незначними недоліками – 21-29 балів;
- роботу виконано з певними помилками – 5-20 балів;
- роботу не зараховано (завдання не виконане або є грубі помилки) – 0-4 балів.

Примітка: За кожний тиждень запізнення з поданням РГР на перевірку нараховується штрафний  $r_{ш}$  –1 бал (усього не більше – 5 балів).

Розмір шкали PCO з освітнього компоненту дорівнює сумі вагових балів контрольних заходів протягом семестру і складає:  $RD = 30 + 15 + 15 + 10 + 30 = 100$  балів.

Рейтингова оцінка (RD) з освітнього компоненту формується як сума всіх рейтингових балів.

### **Умови атестації та допуску до заліку**

Умовою позитивної першої атестації (на 8 тижні) є отримання не менше 15 балів, виконавши 1 або 2 задачі згідно практичних занять та захистивши 1 лабораторну роботу (на час атестації).

Умовою позитивної другої атестації (на 14 тижні) – отримання не менше 25 балів, виконавши 2 або 3 задачі згідно практичних занять та захистивши 2–3 лабораторні роботи (на час атестації).

Умовою допуску до заліку є зарахування всіх лабораторних робіт, розв'язок типових задач та виконання РГР. Студенти, які не виконали умови до заліку не допускаються.

Студенти, які виконали усі передбачені індивідуальні завдання, лабораторно-практичну частину курсу та РГР ( $RD \geq 60$  балів), мають можливості:

- не складати залік, отримавши семестрову оцінку (залік) "автоматом" відповідно до набраного рейтингу (табл. 8.2);
- складати залік з метою підвищення оцінки за даною навчальною дисципліною.

Таблиця 8.2. Відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою

Кількість балів	Оцінка
100-95	Відмінно
94-85	Дуже добре
84-75	Добре
74-65	Задовільно
64-60	Достатньо
Менше 60	Незадовільно
Не виконані умови допуску	Не допущено

У випадку, коли залікову контрольну роботу виконують з метою підвищення оцінки, оцінка отримана "автоматом" скасовується і студент отримує оцінку тільки за результатом залікової контрольної роботи.

Студенти, які бажають складати залік, можуть покращити набрану оцінку на один ступінь за шкалою ECTS (з B на A, з D на C) тільки одного разу під час проведення заліку. У будь-якому разі підсумкова семестрова оцінка не може бути нижчою за середньоарифметичну оцінку навчальних модулів.

#### **Критерії оцінювання виконання залікової роботи:**

На заліку студенти повинні виконати письмову контрольну роботу або дати усну відповідь. Кожне завдання повинно містити два теоретичних запитання (завдання) і одне практичне. Кожне завдання складено з Переліку запитань до заліку з освітнього компоненту. Кожне запитання оцінюється у 5 балів за такими критеріями:

- «відмінно», повна відповідь, не менше 95% потрібної інформації, що виконана згідно з вимогами до рівня «умінь», (повне, безпомилкове розв'язування завдання) – 5 балів;
- «дуже добре» майже повна відповідь, не менше 85% потрібної інформації, що виконана згідно з вимогами до рівня «умінь», (повне, безпомилкове розв'язування завдання) – 4 бали;

- «добре», достатньо повна відповідь, не менше 75% потрібної інформації, що виконана згідно з вимогами до рівня «умінь або є незначні неточності (повне розв'язування завдання з незначними неточностями) – 3-3,5 балів;
- «задовільно», неповна відповідь, не менше 65% потрібної інформації, що виконана згідно з вимогами до «стереотипного» рівня та деякі помилки (завдання виконане з певними недоліками) – 2-2,5 балів;
- «достатньо», неповна відповідь, не менше 60% потрібної інформації, що виконана згідно з вимогами до «стереотипного» рівня та деякі помилки (завдання виконане з певними недоліками) – 1-1,5 бали;
- «незадовільно», відповідь не відповідає умовам до «достатньо», менше 60% – 0 балів.

**Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):**

**Складено** доцентом кафедри ЛТФТ, к.т.н., доцентом Лесиком Дмитром Анатолійовичем

**Ухвалено** кафедрою лазерної техніки та фізико-технічних технологій (протокол № 14 від 12.16.2024)

**Погоджено** Методичною комісією Інституту матеріалознавства та зварювання ім. Є.О. Патона (протокол № 12/24 від 28.06.2024)