

Черкаський державний технологічний університет
Факультет електронних технологій, автотранспорту та машинобудування

«ЗАТВЕРДЖУЮ»
Голова вченої ради
факультету ЕТАМ
Андрій Чорній
Протокол № 4
«26» червня 2024р.

ПРОГРАМА
навчальної дисципліни вільного вибору
(цикл дисциплін зі спеціальності)

**Різання металів випромінюванням оптоволоконних
лазерів високої потужності**
(назва навчальної дисципліни)

підготовки здобувачів освітньо-наукового ступеня
доктора філософії

галузь знань 13 Механічна інженерія
шифр і назва галузі знань

спеціальність 131 Прикладна механіка
шифр і назва спеціальності

освітня програма Лазерні технології та процеси фізико-технічної
обробки
назва освітньої програми

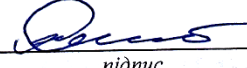
2024 рік

Робоча програма навчальної дисципліни «Різання металів випромінюванням оптичних лазерів високої потужності» підготовки здобувачів освітнього ступеня «доктора філософії» за спеціальністю 131 «Прикладна механіка», освітня програма «Лазерні технології та процеси фізико-технічної обробки». - 11 стор.

Розробник: Юрій КОВАЛЕНКО, к.т.н., доцент, доцент кафедри технологій та обладнання машинобудівних виробництв


Робоча програма навчальної дисципліни затверджена на засіданні кафедри проектування харчових виробництв та верстатів нового покоління

Протокол № 9 від «25» червня 2024 року

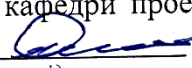
Завідувач кафедри  /Василь ОСИПЕНКО/
підпис Власне ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Обговорено та рекомендовано до затвердження методичною комісією факультету електронних технологій, автотранспорту та машинобудування

«26» червня 2024 р., протокол №6

Голова методичної комісії факультету ЕТАМ  /Олександр ГАВРИШ/
підпис Власне ім'я, ПРІЗВИЩЕ

ПОГОДЖЕНО:

Завідувач кафедри проектування харчових виробництв та верстатів нового покоління  /Василь ОСИПЕНКО /
підпис Власне ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Навчально-методичний відділ  /Олексій КОЖЕМЯКІН/
підпис Власне ім'я, ПРІЗВИЩЕ

«___» _____ 20__ р.

ПРОГРАМУ ПРОЛОНГОВАНО ДО «___» _____ 202__ р.

Завідувач кафедри _____ / _____ /
підпис Власне ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Навчально-методичний відділ _____ / _____ /
підпис Власне ім'я, ПРІЗВИЩЕ

«___» _____ 20__ р.

1. ІНФОРМАЦІЯ ПРО ВИКЛАДАЧА

Прізвище, ім'я, по батькові	Коваленко Юрій Іванович
Науковий ступінь	к.т.н.
Вчене звання	доцент
Посада	доцент кафедри технології та обладнання машинобудівних виробництв
Місце роботи	ЧДТУ, кафедра технології та обладнання машинобудівних виробництв
Адреса кафедри	4 корпус к.302, бул. Шевченка, 460, м. Черкаси, 18006
Контактний телефон	+380984462938
Профайл викладача	https://tomv.chdtu.edu.ua/staff/kovalenko-yurij-ivanovych/
e-mail:	u.kovalenko@cdtu.edu.ua
Профайл дисципліни	https://drive.google.com/drive/folders/1Xpj_Lo7vL8j7rqHu4OnmApn2zIZLGq5X?usp=sharing
Розклад консультацій	Відповідно до розкладу викладача після завершення занять

2. ОПИС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Галузь знань, спеціальність, освітня програма, освітній рівень	Загальні характеристики		Навчальне навантаження з дисципліни	
			денна форма	заочна форма
<u>Галузь знань</u> <i>13 Механічна інженерія</i>	Вибіркова		Курс підготовки:	
			1	
<u>Спеціальність</u> <i>131 Прикладна механіка</i>	Загальна кількість кредитів ЄКТС	4	Семестр підготовки:	
	Загальна кількість годин	120	1	
<u>Освітня програма</u> Лазерні технології та процеси фізико-технічної обробки	Кількість аудиторних годин	48	Лекції	
			32	
	Кількість годин самостійної роботи	72	Практичні, семінарські	
			16	
<u>Освітній рівень</u> доктор філософії	Мова навчання - українська		Лабораторні	
			-	
			Самостійна робота	
			72	
			Форма підсумкового контролю	
		залік		

3 ПРЕДМЕТ, МЕТА І ЗАВДАННЯ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Предмет вивчення дисципліни	Процеси, технології та обладнання для лазерного різання металів
Мета викладання дисципліни	Формування у аспірантів комплексних наукових і професійних знань та навичок у сфері теоретичних основ лазерного різання металевих деталей із застосуванням високопотужних оптоволоконних лазерів.
Завдання вивчення дисципліни	Надання аспірантам необхідних знань із: – принципи процесу лазерного різання металів та його закономірності; – розуміння впливу основних технологічних параметрів на якість лазерного різання; – розуміння процесу лазерного різання металів, нержавіючої сталі, алюмінієвих та мідних сплавів; розуміння процесу лазерного різання конструкційної сталі в середовищі кисню.

4 РЕЗУЛЬТАТИ НАВЧАННЯ

№ з/п	Результати навчання
1	Глибоке розуміння процесів лазерного різання різних металів. Знання фізичних основ лазерного випромінювання та його взаємодії з матеріалами. Аналіз впливу складу металу, товщини та теплопровідності на якість різання. Визначення оптимальних технологічних режимів для різних металів (сталь, алюміній, титан тощо).
2	Використання математичних моделей для прогнозування температурних полів та зон термічного впливу. Розрахунок необхідної потужності лазера, швидкості подачі та допоміжного газу для мінімізації відходів та деформацій. Оптимізація параметрів різання за допомогою числових методів та програмних засобів.
3	Розуміння методології наукових досліджень у сфері лазерного різання. Основи проведення експериментальних досліджень та аналізу отриманих результатів. Використання сучасних засобів вимірювання для оцінки параметрів лазерного різання. - Розробка нових методів покращення ефективності лазерного різання на основі досліджень.
4	Вміння розробляти програми досліджень та проекти технологічного устаткування.

5 ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Змістовий модуль №1

«Особливості лазерного різання».

Тема 1. Вступ. Базові принципи процесу лазерного різання металу

Мета і завдання дисципліни. Поглинання лазерного випромінювання металами. Вплив гаусового розподілу інтенсивності випромінювання на площі світлової плями його локалізації d_1 на процес різання. Середня величина щільності потужності на показник d_1

Тема 2. Модель лазерного різання.

Формування поверхні фронту різання та математичне моделювання лазерного різання. Видалення рідкої фази за допомогою потоку асистуючого газу. Основні закономірності лазерного різання металів при досягненні максимальної глибини. Накопичення тепла вздовж визначеного контуру різання. Вплив швидкості лазерного різання на процес. Механізм виникнення термодеоформацій. Залежність ефективності видалення рідкої фази від швидкості різання. Фактори, що впливають на ширину різку. Оптимізація локалізації випромінювання та контроль ширини різку. Методи вдосконалення локалізації випромінювання для підвищення ефективності процесу.

Тема 3. Лазерне різання металів.

*Параметри, що впливають на процес лазерного різання металів. Негативний вплив легувальних елементів і домішок у металах. Вплив стану поверхні, конструктивних особливостей та розташування сопла відносно металевієї поверхні. Вплив фокусної відстані фокусуємого об'єктива на якість різку. Технологія врізання, особливості початку та завершення процесу різання. Алгоритм обробки ділянок прискорення, уповільнення та проходження кутів контуру різання. Режими різання металів малої товщини (0,1–0,5 мм). Методика різання в режимі *in fly* як спосіб підвищення якості та швидкості процесу. Гранична глибина різання в режимі *in fly* та специфіка його виконання. Режими лазерного різання конструкційної сталі в середовищі стисненого повітря із застосуванням безперервного випромінювання волоконних лазерів.*

Тема 4. Лазерне різання нержавіючої сталі.

Особливості лазерного різання нержавіючих сталей. Залежність швидкості різання та чистоти бічної поверхні різку від хімічного складу матеріалу (вмісту заліза, хрому, вуглецю, марганцю, кремнію та нікелю). Дослідження методів мінімізації висоти ґрата під час різання нержавіючої сталі товщиною 1–5 мм. Лазерне різання із застосуванням джерела випромінювання потужністю 2 кВт. Умови мінімізації висоти ґрат: При різанні в середовищі стисненого повітря нержавіючої сталі з вмістом хрому 12% і товщиною від 1 мм і більше. При різанні нержавіючої сталі з вмістом хрому 18% і товщиною до 5 мм. При різанні нержавіючих сталей товщиною 4–5 мм волоконним лазером потужністю 2 кВт.

Режими лазерного різання нержавіючої сталі товщиною до 10 мм із використанням випромінювання лазера потужністю 2 кВт.

Тема 5. Лазерне різання сплавів алюмінію та міді

Вплив фізичних і технологічних параметрів на лазерне різання алюмінієвих сплавів. Вплив коефіцієнта відбиття, температури плавлення та випаровування на процес лазерного різання алюмінієвих сплавів. Вплив асистуючого газу на якість різку. Вплив конструкції сопла та його прохідного діаметра на ефективність різання. Розташування оброблюваної поверхні алюмінієвого сплаву відносно перетяжки каустики у формуванні якості різку.

Порівняльний аналіз результатів лазерного різання алюмінієвих сплавів:

Товщиною до 5 мм із використанням волоконних лазерів потужністю 1 кВт та 2 кВт. Товщиною до 10 мм із застосуванням волоконного лазера потужністю 2 кВт.

Особливості лазерного різання міді. Умови ефективного лазерного різання латуні. Різання латуні волоконним лазером потужністю 1 кВт та 2 кВт: порівняння результатів і оптимізація параметрів.

Змістовий модуль №2**«Лазерне різання конструкційної сталі в середовищі кисню»****Тема 6. Різання конструкційної сталі в середовищі кисню випромінюванням волоконного лазера різною потужністю.**

Лазерне різання конструкційної сталі в середовищі кисню. Вплив потужності лазера та параметрів газового середовища:

- *Особливості різання конструкційної сталі волоконним лазером потужністю 1 кВт у середовищі кисню.*
- *Формування поперечного профілю фронту різку та утворення ребер на бічній поверхні.*
- *Вплив підвищених витрат кисню на якість та результати різання.*
- *Оптимальні умови для покращення якості різку.*

Порівняння ефективності різання конструкційної сталі при різних потужностях лазера:

- *Волоконний лазер потужністю 1,5 кВт.*
- *Волоконний лазер потужністю 2,0 кВт.*

Підвищення швидкості та якості різання сталі товщиною 3–10 мм:

Тема 7. Вплив теплових деформацій на якість киснево-лазерного різання.

Вплив теплових деформацій на результати киснево-лазерного різання. Вплив акумуляції тепла на контурі різання на якість його бічної поверхні. Зниження акумуляції тепла на контурі різання

Тема 8. Лазерне різання сталі Ст3.

Особливості різання в середовищі кисню сталі Ст3. Збільшення глибини якісного різання сталі Ст3. Особливості проведення врізання в середовищі кисню в сталь Ст3 товщиною від 3 до 16 мм. Вплив залишкових напружень у сталі на процес різання Вплив коливань на результати різання.

6 ТЕМАТИЧНИЙ ПЛАН НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

№ теми	Назва модулів і тем	Форми організації навчання, кількість годин						Література, інформаційні ресурси
		Денна форма			Заочна форма			
		Лекції	Практичні, лабораторні	Самостійна робота	Лекції	Практичні,	Самостійна робота	
Змістовий модуль №1. «Особливості лазерного різання»								
1	Тема 1. Вступ. Базові принципи процесу лазерного різання металу.	2	2	4				1, 4, 6, 7
2	Тема 2. Модель лазерного різання	4		6				1, 2, 3, 11, 12
3	Тема 3. Лазерне різання металів.	6	6	14				1, 7, 8, 9, 10
4	Тема 4. Лазерне різання нержавіючої сталі.	4		16				3, 11, 12, 13
5	Тема 5. Лазерне різання сплавів алюмінію та міді	4		16				1, 4, 6, 8
Змістовий модуль №2. «Лазерне різання конструкційної сталі в середовищі кисню»								
х6	Тема 6. Різання конструкційної сталі в середовищі кисню випромінюванням волоконного лазера різною потужністю.	4	2	6				6, 7, 8, 9, 12
7	Тема 7. Вплив теплових деформацій на якість киснево-лазерного різання.	4	6	6				1, 5, 9, 10
8	Тема 8. Лазерне різання сталі Ст3.	4		4				3, 5, 6, 7
	Разом	32	16	72				

7 ПРАКТИЧНІ / СЕМІНАРСЬКІ ЗАНЯТТЯ

№ з/п	Тема заняття	Кількість годин	
		Денна	Заочна
1	Ознайомлення з принципами роботи оптоволоконного лазера. Вплив параметрів лазерного випромінювання на якість різання металу	2	
2	Алгоритм різання ділянок розгону, гальмування та кутів контуру різання. Розрахунок режимів різання металів товщиною 0,1–0,5 мм. Оптимізація параметрів лазерного різання. Аналіз продуктивності лазерного різання. Вплив допоміжного газу на якість різання. Контроль точності та повторюваності лазерного різання. Вплив частоти імпульсного лазерного випромінювання на якість різання. Визначення зони термічного впливу (ЗТВ) при лазерному різанні	4	
3	Різання в режимі «In Fly». Оптимізація параметрів різання в режимі «In Fly» для досягнення найкращої якості та швидкості. Аналіз енергетичної ефективності режиму "In Fly". Автоматизовані системами управління лазерними установками.	4	
4	Математичне моделювання теплових процесів при лазерному різанні металів.	6	
	Разом:	16	

8 САМОСТІЙНА РОБОТА

8.1 Рекомендації до самостійної роботи здобувачів вищої освіти денної форми навчання

Використовуючи надані літературу та інформаційні ресурси опрацювати та проаналізувати кожен тему. За виникнення труднощів сприйняття матеріалу теми, підготувати перелік запитань до викладача.

№ з/п	Назва теми	Кількість годин	Література, інформаційні ресурси
1	Мета і завдання дисципліни. Поглинання лазерного випромінювання металами. Вплив гаусового розподілу інтенсивності випромінювання на площі світлової плями його локалізації d_1 на процес різання. Середня величина щільності потужності на показник d_1	4	1, 2, 3, 5, 7

2	Формування поверхні фронту різання та математичне моделювання процесу лазерного різання. Основні закономірності лазерного різання металів при досягненні максимальної глибини прорізу. Вплив швидкості лазерного різання на перебіг процесу. Чинники, що визначають ширину різку. Методи покращення локалізації випромінювання для підвищення ефективності процесу.	6	1, 4, 6, 9, 11
3	Параметри, які впливають на процес різання металів. Негативний вплив присадок у металах. Алгоритм різання ділянок розгону, гальмування та кутів контуру різання. Режими різання металів товщиною 0,1-0,5 мм. Різання в режимі in fly: метод підвищення якості та швидкості цього процесу.	14	2, 3, 4, 9, 6
4	Особливості різання нержавіючих сталей. Залежність швидкості різання та чистоти бічної поверхні різку від вмісту присадок (залізо, хром, вуглець, марганець, кремній та нікель). Дослідження можливостей мінімізації висоти ґрата при різанні нержавіючої сталі завтовшки 1-5 мм. Різання лазером потужністю 2 кВт.	16	1, 7, 9, 10, 13
5	Лазерне різання сплавів алюмінію. Вплив технологічних параметрів на процес різання сплавів алюмінію. Різання алюмінієвих сплавів випромінюванням волоконного лазера потужністю 2 кВт. Лазерне різання міді. Лазерне різання латуні. Різання латуні волоконним лазером.	16	1, 6, 7, 3, 8,
6	Різання конструкційної сталі в середовищі кисню випромінюванням волоконного лазера потужністю 1-2 кВт. Умови проведення різання для покращення якості різання. Підвищення якості різання конструкційної сталі. Вплив теплових деформацій на якість киснево-лазерного різання. Лазерне різання сталі Ст3.	16	3, 12, 13
	Разом:	72	

9 КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ

9.1 МЕТОДИ КОНТРОЛЮ

- контроль виконання практичних робіт;
- фронтальне та індивідуальне усне опитування при виконанні практичних робіт.

9.2 КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ

ДЕННА ФОРМА

Вид навчальної роботи	Кількість балів максимум
<u>Постійна частина</u>	
ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ №1 «Особливості лазерного різання» - 28 годин	
Виконання практичної роботи №1	20
Виконання практичної роботи №2	30
<i>Всього за змістовим модулем №1</i>	50
ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ №2 «Лазерне різання конструкційної сталі в середовищі кисню» - 20 годин	
Виконання практичної роботи №3	20
Виконання практичної роботи №4	30
<i>Всього за змістовим модулем №2</i>	50
<u>Додаткова частина</u>	
Участь в науковій конференції за темою дисципліни	10
ІТОГОВА СЕМЕСТРОВА ОЦІНКА	100

10 РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

Основна

1. John Dowden. The Theory of Laser Materials Processing: Heat and Mass Transfer in Modern Technology / John Dowden, Wolfgang Schulz. // ISSN 0933-033X ISSN 2196-2812 (electronic) Springer Series in Materials Science ISBN 978-3-319-56710-5 ISBN 978-3-319-56711-2 (eBook) DOI 10.1007/978-3-319-56711-2. 2017. – P.427.
(<https://drive.google.com/file/d/1bqOKuJ3RtrAesvIZpOg0cAD-MhPwtyWN/view?usp=sharing>)
2. Пупань Л. І. Лазерні технології у машинобудуванні: навч. посібник для студентів спеціальності «Прикладна механіка» денної, заочної та дистанційної форм навчання / Л. І. Пупань. – Харків: НТУ «ХПІ», 2020. – 109

с. (<https://drive.google.com/file/d/1VDydNAFuine8SsCBr0JxYJj8n-MDoM5G/view?usp=sharing>)

3. Джемелінський В.В., Лесик Д.А. Основи професійної діяльності: навч. посібник / (електронне видання). – К., НТУУ «КПІ», 2017. – 177 с. (https://drive.google.com/file/d/1xIW_VoZSLB35Bb61YUnRBcyIB5sq39S/view?usp=sharing)

4. Charles L. Cariston. Laser Cutting. – USA, Michigan, 2004.

5. Low D. K. Y., Li L., Byrd P. J. Hydrodynamic Physical Modeling of Laser Drilling // Transaction of the ASME, 852. Vol. 124. November 2002.

6. Lars HARTWIG. Material Processing with a 3kW Single Mode Fibre Laser. / Lars HARTWIG, Robby EBERT, Sascha KLOETZER, Sebastian WEINHOLD, Jan DRECHSEL, Frank PEUCKERT, Joerg SCHILLE, and Horst EXNER. // JLMN-Journal of Laser Micro/Nanoengineering Vol. 5, No. 2, 2010. P 128-133. (<https://drive.google.com/file/d/1mZSo7xdeCedgY2FfCxOKdEWCQKOaPF89/view?usp=sharing>).

7. Catherine Wandera. Cutting of stainless steel with fiber and disk laser / Catherine Wandera, Antti Salminen, Flemming O. Olsen, and Veli Kujanpää // ICALEO 2006, 404 (2006); doi: 10.2351/1.5060827 View online: <https://doi.org/10.2351/1.5060827> View Table of Contents: <http://lia.scitation.org/toc/ica/2006/1> Published by the Laser Institute of America (<https://drive.google.com/file/d/1hgrpe4jKfZcn6CwygVJp6bSb9eFKDAV7/view?usp=sharing>).

8. Muhammad Alsaadawy, Montasser Dewida, Ahmed Said, Ibrahim Maher, Taher A. Shehabeldeen. A comprehensive review of studying the influence of laser cutting parameters on surface and kerf quality of metals. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology (2024) 130:1039–1074 <https://doi.org/10.1007/s00170-023-12768-1>. (<https://drive.google.com/file/d/1WlthJlohmrTbWqv5z7TDEOrD30WVPJ3/view?usp=sharing>)

9. Riveiro, A., Quintero, F., Boutinguiza, M., Del Val, J., Comesaña, R., Lusquiños, F., & Pou, J. (2019). Laser cutting: A review on the influence of assist gas. Materials, 12(1), 157. Ullah, S., Li, X., Guo, G., Rodríguez, A.R., Li, D., Du, J., & Wei, L. (2022). Energy efficiency and cut-quality improvement during fiber laser cutting of aluminum alloy in the different hardened conditions. Materials Today Communications, 33, 104236. (<https://drive.google.com/file/d/1ScFMJUhiRO9R3rT24wBagisHwKqAAySR/view?usp=sharing>)

Допоміжна

10. Darwish, M., Orazi, L., & Angeli, D. (2019). Simulation and analysis of the jet flow patterns from supersonic nozzles of laser cutting using OpenFOAM. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 102, 3229-3242. (<https://drive.google.com/file/d/1QRdNTywma5Z5qukTEO1-kmr5xsKaSk7u/view?usp=sharing>).

11. Sobich M., Crouse P. L. and Li L. Appl. Elimination of striation in laser cutting of mild steel // Phys., 40 (2007), 6908 – 6916.

12. Г.С. Тимчик. Лазерні технології: Практикум: Навчальний посібник / Укладачі: Г.С. Тимчик, Г.В. Богатирьова, М.С. Мамута / (електронне видання). – К., НТУУ «КПІ», 2022. – 127 с. (<https://drive.google.com/file/d/1OeCsxHcxrW2A8qr-ozhYPgrYdVuSElc9/view?usp=sharing>).

13. Fieret, J., Terry, M.J., & Ward, B.A. (1987, Sept.). Invited paper overview of flow dynamics in gas-assisted laser cutting. In High Power Lasers: Sources, Laser-Material Interactions, High Excitations, and Fast Dynamics, 801, 243-250. SPIE.

(<https://drive.google.com/file/d/1pvOh4vmeXj31OaxINPNLFgtWhPVIT59w/view?usp=sharing>).

11 МЕТОДИ НАВЧАННЯ

При вивченні дисципліни використовуються наступні методи навчання:

1. Словесні: лекція, бесіда, пояснення, розповідь, самостійна робота, консультації.
2. Наочні методи: демонстрація об'єктів («педагогічний малюнок»).
3. Практичні – проведення досліджень при виконанні практичних робіт та самостійної роботи.
4. За характером діяльності студентів використовуються методи проблемного навчання (постановка проблеми та її вирішення), дослідницькі методи.
5. При навчанні основними формами роботи є індивідуальна, групова та фронтальна.
6. Реалізуються принципи особистісно-орієнтованого навчання.

12 ПОЛІТИКА ДИСЦИПЛІНИ

Політика щодо відвідування. Відвідування занять є обов'язковим. Якщо здобувач вищої освіти відсутній з поважної причини (наприклад, індивідуальний графік навчання, хвороба), то навчання може відбуватись в он-лайн формі за погодженням із викладачем дисципліни, а також студент повинен презентувати виконані завдання під час самостійної підготовки та консультації викладача.

Політика щодо правил поведінки на заняттях. Здобувач вищої освіти зобов'язаний виконати необхідний мінімум навчальної роботи, приймати активну участь під час виконання поставлених завдань, не заважати у проведенні заняття.

Політика щодо строків та перескладання. Усі завдання, передбачені програмою навчальної дисципліни, мають бути виконані у встановлений

термін. Роботи, які здаються із порушенням термінів без поважних причин, оцінюються на нижчу оцінку. Перескладання модулів відбувається із дозволу деканату за наявності поважних причин (наприклад, лікарняний).

Політика щодо академічної доброчесності: Середовище в аудиторії є дружнім, творчим, відкритим до конструктивної критики. Презентації, реферати та доповіді мають бути авторськими оригінальними. Списування під час модульної контрольної роботи та екзамену заборонені.