

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

**КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ**

**з дисципліни «Зварювання спеціальних сталей і кольорових металів»**

для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка»

освітньої програми «Зварювання та споріднені процеси і технології»

першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

денної та дистанційної форм навчання

закладів вищої освіти

Затверджено

редакційно-видавничою

радою університету,

протокол № . . 2024 р.

Харків  
НТУ «ХПІ»

2024

УДК 620.22(075) 621(075) 669(075)

ББК 620.22

М 34

Рецензенти:

*О. І. Пономаренко*, д-р. техн. наук, проф., Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»; *В. В. Дмитрик*, д-р. техн. наук, проф., Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

Конспект лекцій з дисципліни «Зварювання спеціальних сталей і кольорових металів» для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка» освітньої програми «Зварювання та споріднені процеси і технології» першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної та дистанційної форм навчання закладів вищої освіти / Укл. Дмитрик В. В., – Харків : НТУ «ХПІ», 2024. – 144 с.

ISBN

Конспект лекцій містить 8 лекцій з дисципліни «Зварювання спеціальних сталей і кольорових металів» для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка» освітньої програми «Зварювання та споріднені процеси і технології» першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної та дистанційної форм навчання закладів вищої освіти.

Іл. . Табл. . Бібліогр. назв.

УДК 620.22(075) 621(075) 669(075)

ISBN

© Дмитрик В. В., 2024

## ВСТУП

Конспект лекцій призначений для студентів курсу денної та дистанційної форм навчання освітньої програми «Зварювання та споріднені процеси і технології» першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за спеціальністю 131 «Прикладна механіка» при вивчанні нормативної дисципліни «Зварювання спеціальних сталей і кольорових металів».

Конспект є одним з важливіших складових елементів методичного забезпечення дисципліни. Він призначений для самостійної роботи студентів і закріплення знань за темами, підготовки до лабораторних занять і проведення підсумкового контролю.

Основною метою викладання дисципліни «Зварювання спеціальних сталей і кольорових металів» є:

- підготовка студентів до навчання в університеті відповідно до сучасних інтеграційних процесів у міжнародній освіті в контексті Болонської декларації.
- підвищення теоретичної та практичної підготовки майбутніх спеціалістів в області автоматизації виробничих процесів і обладнання;
- формування теоретичних і практичних уявлень необхідних для

Предметом вивчення дисципліни є організація професійної підготовки фахівців з вищою освітою, сфера професійної діяльності фахівців.

Основними завданнями, які мають бути виконані в процесі вивчення дисципліни, є теоретична підготовка студентів з наступних питань:

- законодавство України про вищу освіту;

- стандарти вищої освіти в Україні;
- зміст і методи навчання у вищих навчальних закладах;
- інформаційне і навчально-методичне забезпечування підготовки фахівців

з вищою освітою.

## СТРУКТУРА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

№ з/п.	Види навчальних занять (Л, ЛЗ, ПЗ, СР)	Кількість годин	Номер семестру (якщо дисципліна викладається у декількох семестрах). Найменування тем та питань кожного заняття. Завдання на самостійну роботу.	Рекомендована література (базова, допоміжна)
1	2	3	4	5
1	ЛП	2	<p><b>Тема 1. Характеристика кольорових металів і сплавів на їх основі.</b></p> <p>1.1. Фізико-хімічні властивості кольорових металів.</p> <p>1.2. Алюміній і його властивості.</p>	[1–10]
	С		<u>Завдання на самостійну роботу.</u>	
2	ЛЗ	2	<p><b>Тема 2. Властивості міді, нікелю та титану.</b></p> <p>2.1. Мідь та її властивості.</p> <p>2.2. Нікель та його властивості.</p> <p>2.3. Титан та його властивості.</p>	[1–10]
3	ПЗ1	4		[1–5]
	С		<u>Завдання на самостійну роботу.</u>	

1	2	3	4	5
4	Л2	2	<b>Тема 3. Леговані сплави кольорових металів</b> 3.1. Алюмінієві сплави. 3.2. Мідні сплави. 3.3. Титанові сплави.	[1–10]
	С		<u>Завдання на самостійну роботу.</u>	
5	Л4	2	<b>Тема 4.</b>  4.1.  4.2.  4.3.	[1–10]
6	ПЗ2	4		[1–5]
	С		<u>Завдання на самостійну роботу.</u>	
7	Л5	2	<b>Тема 5.</b>  5.1.  5.2.	[1–10]

1	2	3	4	5
			5.3.	
	С		<u>Завдання на самостійну роботу.</u>	
8	Л6	2	<b>Тема 6.</b>  6.1.  6.2.  6.3.	[1–10]
9	ПЗЗ	4		[1–5]
	С		<u>Завдання на самостійну роботу.</u>	
10	Л7	2	<b>Тема 7.</b>  7.1.  7.2.  7.3.	[1–10]

1	2	3	4	5
	С		<u>Завдання на самостійну роботу.</u>	
11	Л8	2	<b>Тема 8.</b>  8.1.  8.2.  8.3.	[1–10]
16	ПЗ4	2		[1–5]
	С		<u>Завдання на самостійну роботу.</u>	
Разом (годин)			32 = 16 Л + 16 ПЗ	



## ЛЕКЦІЯ 1

### Тема 1. ХАРАКТЕРИСТИКА КОЛЬОРОВИХ МЕТАЛІВ І СПЛАВІВ НА ЇХ ОСНОВІ

1.1. Фізико-хімічні властивості кольорових металів.

1.2. Алюміній і його властивості.

#### 1.1. Фізико-хімічні властивості кольорових металів

Метали за виключенням заліза (сталі, чавуни) відносяться до кольорових металів.

Кольорові метали характеризуються широким спектром фізико-хімічних і механічних властивостей. Наприклад: свинець Pb є легкоплавким; магній є легким; вольфрам і молібден (тугоплавкі). Мідь (Cu) і алюміній (Al) мають високу електро- і теплопровідність. Титан має низьку електро- і теплопровідність.

Зварюваність кольорових металів визначається їх фізико-механічними властивостями. І тому при зварюванні необхідно враховувати специфічні фізико-хімічні властивості основного металу, а вже потім габарити та форму з'єднання.

Залежно від суцільності, температури плавлення і здатності вступати в хімічні реакції з іншими елементами. Першочергово з газами, які входять до складу атмосфери, конструкційні кольорові метали розподіляються за наступними групами:

1. Легкі метали: магній, берилій, алюміній. Їх щільність ( $\gamma$ ) є малою. Наприклад,  $\gamma - Al = 2,7 \text{ г/см}^3$ ;  $\gamma - Be = 1,85 \text{ г/см}^3$ ;  $\gamma - Ti = 4,51 \text{ г/см}^3$ ;  $\gamma - V = 6,1 \text{ г/см}^3$ .

Механічні властивості кольорових металів також мають значний розкид. Наприклад,

Al:  $\sigma_B = 78\text{--}108 \text{ МПа}$ ;  $\delta = 40 \%$ ;  $\psi = 80 \%$ ;

Ti:  $\sigma_B = 245\text{--}345 \text{ МПа}$ ;  $\delta = 40\text{--}55 \%$ ;  $\psi = 55\text{--}70 \%$ ;

Ni:  $\sigma_B = 393\text{--}491$  МПа;  $\delta = 40\text{--}50$  %;  $\psi = 70\text{--}75$  %;

Mo:  $\sigma_B = 293\text{--}686$  МПа;  $\delta = 15\text{--}30$  %;  $\psi = 12\text{--}40$  %;

Cr:  $\sigma_B = 294\text{--}686$  МПа;  $\delta = 12\text{--}40$  %;  $\psi = 3\text{--}30$  %.

2. Важкі метали: цинк, нікель, мідь та ін. Їх щільність не менше  $\gamma = 7$  г/см<sup>3</sup>;

3. Хімічно активні та тугоплавкі метали – ванадій, вольфрам, молібден, ніобій, титан, хром, цирконій. Ці метали об'єднує схильність до взаємодії і утворення хімічних сполук з іншими елементами. Першочергово з атмосферними газами. Водночас порівняно із залізом молібден, ванадій, вольфрам і магній менш активно реагують з киснем. Низькі оксиди ніобію, ванадію і титану характеризуються меншою міцністю ніж Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> і FeO. Одночасно активність більшості кольорових металів до азоту значно перевищує активність заліза.

Метали вважають тугоплавкими, якщо їх температура плавлення є більш високою ніж температура плавлення хрому 1 875 °С. За ступіню зростання температури плавлення тугоплавкі метали можна розташовувати в ряд: хром, ванадій, гафній, ніобій, молібден, тантал, вольфрам.

Кольорові метали піддають практично всім видам механічного оброблення: виливання; ОМТ (оброблення металів тиском), різання та ін. В тому числі зварюванню і паянню. Із легованих металів виготовляють широку гаму конструкцій і деталей машин. Значно впливає на властивості кольорових металів термічне оброблення.

## 1.2. Алюміній і його властивості

Алюміній (Al). Al – не зазнає поліморфних перетворень, має гратку ГЦК,  $\gamma - Al = 2,7$  г/см<sup>3</sup>,  $T_{пл} = 660$  °С. Алюміній пластичний, гарно зварюється, легко оброблюється тиском, гарний провідник тепла і електроенергії. Проте електропровідність алюмінію дорівнює 60–85 % електропровідності міді. Алюміній – слабомагнітний.

Алюміній – хімічно активний елемент. Навіть при кімнатній температурі

на його поверхні утворюється оксид  $Al_2O_3$ . Наявність оксидної плівки на поверхні алюмінію попереджує його від подальшої взаємодії з навколишнім середовищем. Водночас тугоплавка оксидна плівка утруднює процес зварювання алюмінію. Ливарні властивості алюмінію є низькими, що зумовлено значним проявом ефектом осідання, а також його невеликою рідкоплинністю і високою пористістю литва.

Оксидна плівка на поверхні алюмінію і його сплавів має високу корозійну тривкість в атмосферних умовах, а також в тих середовищах, які не руйнують плівку. Сірководень, сірчаний газ і аміак не впливають на корозійну здатність алюмінію при кімнатній температурі. Водний пар і вода не пошкоджує плівку навіть і при високій температурі. Алюміній має високу корозійну тривкість у морській воді. Алюміній тривкий в концентрованій азотній кислоті, а також в сірчаній кислоті. Проте при підвищенні температури та концентрації кислоти корозія стрімко зростає. Сильніше діють на алюміній соляна кислота і лужні сполуки  $NaOH$ ,  $KOH$ , які розчиняють алюміній з утворенням алюмінатів  $NaAlO_2$ ,  $KAlO_2$ . В контакті з більшістю металів алюміній є анодом, і тому його корозія в електролітах прискорюється.

Алюмінієві сплави розділяють на здформовні та ливарні. Із технічно чистого алюмінію виготовляють прутки, профілі та інші напівфабрикати.

Холодне пластичне деформування помітно підвищує міцність і зменшує пластичність металу. Наприклад, нагартування листів технічного алюмінію підвищує його границю міцності  $\sigma_b$  до 148–176 МПа. При цьому відносне видовження ( $\delta$ ) зменшується на 1–2 %. Зміцнювання отримане в результаті нагартування, зберігається до температур, які є нижчими його температури рекристалізування. Наприклад, для алюмінію марки А995 – це близько 400 °С.

Алюміній характеризується значною схильністю до зростання зерна при зварюванні та термічному оброблянні, що необхідно усвідомлювати. Розмір зерна в алюмінії та його сплавах можна регулювати рекристалізувальним відпалюванням. Величина зерна після рекристалізування залежить від рівня пластичної

деформації та визначає властивості алюмінію після відпалювання. Температуру рекристалізувального відпалювання вибирають в інтервалі температур 300–500 °С при витримуванні 0,5–2 год. Швидкість охолодження технічного алюмінію не впливає на його кінцеву структуру, і тому охолодження проводиться при температурі навколишнього середовища.

Наявність домішок заліза і кремнію суттєво впливає на структуру і властивості алюмінієвих сплавів. Наявність заліза і кремнію сприяє подрібнюванню зерна і змінюванню механічних властивостей.

Наприклад, для алюмінію марки А995  $\sigma_B = 39,7$  МПа, то в алюмінії марки А7 ( $Fe \leq 0,16\%$ ,  $Si \leq 0,16\%$ ) 68–78 МПа.

Нагартування дає збільшення  $\sigma_B$  до 130–145 МПа. Водночас пластичність знижується. В основному зварюється алюміній без нагартування.

Дрібне зерно алюмінію і його сплавів після відпалювання забезпечує значну технологічну пластичність і покращує зварюваність. Сплави на основі алюмінію мають відносно високу питому міцність у поєднанні із задовільною пластичністю. І така властивість роботи їх цінним конструкційним матеріалом.

Алюмінієві сплави широко використовуються в литому і здеформованому станах. Із таких сплавів виготовляють зварні конструкції для різних галузей господарства: авіаційної, космічної, машинобудівної, автомобільної, харчової та ін. Збільшується використання зварних конструкцій в машинобудуванні.

### **Питання для самоперевірення**

**Рекомендована література: [1–7].**

## ЛЕКЦІЯ 2

### Тема 2. ВЛАСТИВОСТІ МІДІ, НІКЕЛЮ ТА ТИТАНУ

- 2.1. Мідь та її властивості.
- 2.2. Нікель та його властивості.
- 2.3. Титан та його властивості.

#### 2.1. Мідь та її властивості

Мідь має ГЦК ґратку і не зазнає поліморфних перетворювань. Мідь (Cu) діамагнітний матеріал з питомою магнітною проникністю при 20 °C 0,086 см<sup>3</sup>/г. Механічні властивості міді залежать від її чистоти і ступіні пластичного деформування. Чиста мідь має невелику міцність і відносно високу пластичність ( $\sigma_B = 216\text{--}235$  МПа,  $\delta = 80\%$ ,  $\psi = 60\%$ ) і добре зварюється. При підвищенні температури міцність міді зменшується. Відносне видовження  $\delta$  і  $\psi$  практично не змінюються до температури 200 °C. Проте в інтервалі температур 200–600 °C пластичність міді різко знижується. А при нагріванні міді понад 600 °C пластичність міді відновлюється. Такий провал пластичності обумовлений особливостями взаємодії домішкових атомів з рухомими дислокаціями.

Пластична деформація міді сприяє її нагартуванню. Так при деформації міді понад 45–50 %  $\sigma_B$  дорівнює 390–440 МПа, а відносне видовження  $\delta$  знижується до 2–4 %. Пластична деформація підвищує на 3–5 % електричний опір міді. Рекристалізувальні процеси в здеформованій міді починаються при нагріванні до 200–230 °C. Для міді високої чистоти температура рекристалізування є близькою до 140 °C. Рекристалізування здеформованої міді призводить до перетворення структури, яка має волокнисту форму в структуру полієдричну. Критична ступінь деформації дорівнює 1–5 %. Знеміцнювання міді починається при температурі, яка перевищує 150 °C.

Відпалювання міді проводять при температурі 500–600 °С. При більш високій температурі відпалювання пластичні властивості помітно знижуються через збільшення розміру зерен і утворення текстури рекристалізування.

В атмосферних умовах мідь дуже повільно окиснюється. Проте при підвищенні температури мідь активно взаємодіє з киснем, сіркою, воднем, фосфором воднем і галогенами. До вуглецю мідь пасивна. Також мідь не реагує із азотом. Чиста прісна та морська вода і сухе повітря практично не викликають корозії міді. Незначно впливають на тривкість міді сухі гази, органічні кислоти та спирти. Мідь тривка до розбавлених сірчаної та соляної кислот, якщо відсутні інші розкислювачі. Мідь розчиняється в гарячій сірчаній і особливо азотній кислотах.

Технічна мідь містить домішки: вісмут, сурму, миш'як, залізо, нікель, свинець, олово, сірку, кисень, цинк та ін. Домішки та легувальні елементи зменшують теплопровідність і електропровідність міді, змінюють температуру плавлення, щільність, механічні властивості та інші властивості міді.

Найбільш шкідливою домішкою в міді є наявність кисню. Саме кисень знижує механічні та фізико-хімічні властивості міді. Наприклад корозійну тривкість. Тому шляхом розкислювання зводять до мінімальної ступіні концентрацію кисню в міді. Наприклад, для відповідальних зварних з'єднань використовують мідь в якій кисень відсутній. Напівфабрикати, смуги та листи виготовляють з міді марок М1, М2, М1р, М2р, М3, М3р гарячекатаними і холоднокатаними. Холоднокатані напівфабрикати постачаються у стані після відпалювання (м'якими) і без відпалювання (твердими).

Мідь характеризується високими фізико-хімічними властивостями: електропровідністю, теплопровідністю корозійною тривкістю, здатністю пластично деформуватися в гарячому і холодному станах. І тому надається можливим використовувати мідь у різних галузях: електротехнічній, хімічному машинобудуванні (теплообмінники, холодильники, вакуумні апарати та ін.). Мідь практично не має холодноламкості, зберігає високу пластичність і в'язкість до досить низь-

ких температур. Тому мідь широко використовується в криогенній техніці.

Таблиця 2.1 – Механічні властивості технічної міді марок М1б, М1, М2, М3

Марка	Метод оброблення	$T, ^\circ\text{C}$	$\sigma_{\text{в}}, \text{МПа}$	$\sigma_{0,2}, \text{МПа}$	$\delta, \%$	$\psi, 60 \%$	КСУ, Дж/см <sup>2</sup>
М1б	Гаряче прокатування	+ 20	216	49	55,5	70,0	–
		– 80	259	49	57,2	68,0	–
М1	Відпалювання	+ 20	235	–	29,0	70,0	229
		– 196	273	–	41,0	72,0	219
М2	Відпалювання	+ 20	268	185	37,5	77,0	–
		– 253	304	207	60,0	75,0	–
М3	Відпалювання	+ 20	199	66	45,4	84,0	179
		– 183	300	81	53,1	85,9	213

## 2.2. Нікель та його властивості

Нікель має ГЦК ґратку і не зазнає поліморфних перетворень. Нікель ферромагнітний. Точка Кюрі 358 °С. Однією із важливих магнітних властивостей нікелю є магнітострикція, тобто відносне змінювання довжини магнітного тіла при намагнічуванні. Залежно від напруженості магнітного поля нікель відповідно скорочується.

Нікель зберігає пластичні властивості як при високій так і при досить низькій температурі. Нікель гарно обробляється в гарячому і холодному станах.



Після холодного деформування нікель отримує наклеп і сильно зміцнюється. Наклеп знімається шляхом відпалювання при температурі, яка є вищою температури рекристалізування (200–600 °С). Відпалювання знижує міцність нікелю і підвищує його пластичність.

Таблиця 2.2 – Механічні властивості технічного нікелю

$T, ^\circ\text{C}$	$\sigma_{\text{в}}, \text{МПа}$	$\delta, \%$	$\psi, 60 \%$
+ 17	442	35	77
– 196	620	46	89
– 253	775	48	69

Нікель є хімічно малоактивним. Нікель утворює комплексні сполуки. В атмосферних умовах нікель один з найбільш корозійно-тривких металів. На початковій стадії окиснювання на його поверхні утворюється тонка і міцна захисна плівка, яка протидіє подальшому окиснюванню і корозії. Нікель зберігає високу корозійну тривкість і при нагріванні. Нікель тривкий в розплавах лужних, в нейтральних і лужних розчинах солей, соляної, сірчаної, азотної, оцтової та вугільної кислот. Водночас на нікель сильно діє азотна і азотиста кислота (за винятком концентрованої). В розбавлених органічних кислотах та інших органічних сполуках нікель є достатньо тривким. Із нікелю виготовляють апаратуру, яка працює при нормальній температурі в контакті з сірчаною і розбавленою соляною кислотами.

Нікель широко використовується як легувальна добавка для нержавких і сталей та сплавів, які містять нікель. В такі сталі та сплави входять залізо, мідь, цинк, кобальт. Як конструкційний матеріал технічно чистий нікель використовують для виготовлення хімічного обладнання. Наприклад, для резервуарів і цистерн для хімічних реактивів, ефірних олив, для транспортування лужних та інших хімічних і харчових продуктів.

### 2.3. Титан та його властивості

При температурі 882 °С титан поліморфно перетворюється, тобто переходить із низькотемпературної  $\alpha$ -модифікації з ГПУ граткою в  $\beta$ -модифікацію з ОЦК граткою

Чистий титан характеризується високою пластичністю. Наявність високої пластичності обумовлена декількома площинами ковзання і двійникування. І саме в цьому його відмінність від магнію, берилію і цинку, які також мають ГПУ гратку, проте одну або дві площини ковзання.

Щільність титану є значно нижчою ніж щільність заліза і тому його відносять до легких металів. Температура плавлення титану є більш високою ніж температура плавлення заліза. Відповідно 1 668 °С і 1 536 °С. Коефіцієнт теплопровідності титану майже в 4 рази менше ніж у заліза. Питомий електроопір титану перевищує цей показник заліза майже в 6 разів, а стосовно алюмінію в 20 разів, що значимо для зварювання титану і його сплавів. При збільшенні домішок у титані його електроопір суттєво збільшується і при підвищенні температури. Виключення складають сплави титану з вмістом алюмінію. При дуже низькій температурі (близько 0,5К) титан стає надпровідником.

Титан – хімічно-активний метал. Легко вступає в реакції з атмосферними газами – киснем і азотом. При підвищенні температури реакційна здатність титану підвищується.

При нормальній температурі на поверхні титану створюється щільна оксидна плівка. Наявність такої плівки надає титану високу корозійну тривкість в атмосферних умовах, морській воді та агресивних середовищах. Титан тривкий азотній кислоті при яких-небудь її концентраціях і температура (за виключенням кислоти, яка димить). Також титан тривкий до сірчаної кислоти з концентрацією до 20 % при нормальній температурі.

Недолік титану – це невеликий показник модуля пружності. І тому в конструкціях збільшують поперечний їх переріз. Легування титану помітно збільшує

цей показник.

Технічний титан містить значну кількість домішок: кисень, азот, водень і вуглець. Наявність домішок підвищує міцність титану, проте знижує його пластичність і в'язкість. Водень викликає водневу крихкість. Причому наявність домішок погіршує його зварюваність. Титан, технічний, табл. 2.3 є високопластичним металом, який добре зварюється

Таблиця 2.3 – Механічні властивості технічного титану марок VT1-00, VT1-0

Марка	Домішки, не більше				$\sigma_b$ , МПа	$\delta$ , %
	O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	H <sub>2</sub>	Всього		
VT1-00	0,10	0,04	0,008	0,43	290–440	25
VT1-0	0,12	0,04	0,010	0,67	390–540	20

Титан зберігає високу міцність при високих температурах до 500–600 °С.

Особливі фізико-механічні властивості титану – його висока питома міцність і корозійна тривкість. Області використання титану збільшуються. Титан широко використовується в космічній, авіаційній, ракетній техніці, суднобудуванні, хімічному машинобудуванні та ін. галузях.

### **Питання для самоперевірення**

**Рекомендована література: [1–7].**

## ЛЕКЦІЯ 3

### Тема 3. ЛЕГОВАНІ СПЛАВИ КОЛЬОРОВИХ МЕТАЛІВ

3.1. Алюмінієві сплави.

3.2. Мідні сплави.

3.3. Титанові сплави.

Кольорові метали у багатьох випадках не можуть широко використовуватися через відносно низьку міцність, а також незадовільні властивості при підвищених або низьких температурах, а також інші умови експлуатування.

І тому сплави на основі кольорових металів дозволяють вирішувати різні завдання сучасної техніки.

#### 3.1. Алюмінієві сплави

*Алюмінієві сплави* характеризуються високою питомою міцністю.  $\sigma_B$  алюмінієвих сплавів досягає 500–700 МПа, що близько до міцності сталей.

Як легувальний елемент в алюмінієвих сплавах використовують магній, манган, мідь, кремній, цинк. Рідше нікель, титан, цирконій і берилій. Більшість легувальних елементів утворюють з алюмінієм тверді розчини обмеженої розчинності, а також проміжні фази з алюмінієм і між собою. Наприклад,  $Mg_2Si$ ,  $CuAl_2$  та ін.

Алюмінієві сплави класифікують за технологією виготовлення на здеформовні та ливарні. Також, алюмінієві сплави класифікують: за здатністю до термічного оброблення (які не зміцнюються термічно і ті, які зміцнюються термічно); за властивостями (високоміцні, підвищеної пластичності, нормальної міцності, корозійно-тривкі, жароміцні та ін.)

До алюмінієвих сплавів які не зміцнюються термічним обробленням від-

носять сплави системи Al–Mn (АМц) і Al–Mg (АМг). Ці сплави відрізняються високою пластичністю, гарною зварюваністю і високою корозійною тривкістю.

Найбільше розповсюдження в зварних конструкціях набули сплави АМг3, АМг5, АМг6. Такі сплави використовують для конструкцій, де необхідна висока міцність і корозійна тривкість основного металу і металу шва. Наприклад, зварних з'єднань вагонів, мостів, ліній електропередавання та ін. Низьколеговані алюмінієві сплави, які мають невисоку міцність і високу корозійну тривкість (тип АМц) використовують у хімічному машинобудуванні та будівельних конструкціях.

Алюмінієвий сплав, який зміцнюється термічним оброблянням В95 є сплавом системи Al–Zn–Mg–Cu з добавками мангану і хрому. Саме манган і хром підвищують корозійну здатність і підсилюють ефект старіння сплаву. Крім того манган усуває шкідливий вплив заліза. Після термічного зміцнювання сплав має наступні механічні характеристики:  $\sigma_B = 600$  МПа;  $\sigma_{0,2} = 550$  МПа;  $\delta = 12$  %. Недоліком сплаву В95 є знижена пластичність і чутливість до концентрації напружень, а також значна чутливість до зварювання плавленням. Контактним способом сплав В95 гарно зварюється.

Таблиця 3.1 – Механічні властивості алюмінієвих сплавів марок АМц і АМг

Марка	$\sigma_B$ , МПа	$\sigma_{0,2}$ , МПа	$\delta$ , %	Примітка
АМцМ	127,5	49,0	23	Без термічного обробляння
АМцП	157,0	127,5	10	Без термічного обробляння
АМг2	196,0	98,0	23	Відпалювання
АМг2	245,0	196,0	10	Неповне відпалювання
АМг6	334,0	167,0	20	Відпалювання
АМг6	383,0	294,0	10	Нагартування 20 %

В ряді зварних конструкцій використовують дюралюміни. Це алюмінієві

сплави підвищеної міцності, які зміцнюються термічним оброблянням. Система Д1: Al–Cu–Mg–Mn: Д16 % 3,8–4,9 Cu; 0,4–1,6 Mg; 0,4–0,9 Mn.  $\sigma_b = 410–460$  МПа.

Жароміцний сплав типу АК (АК-4; АК-4-1 та ін.) працюють при температурі  $\leq 300$  °С. Такі сплави легують міддю, нікелем і залізом. Легування забезпечує утворення зміцнювальних фаз типу FeNiAl<sub>9</sub> у сплавах АК-4 і АК-4-1. Одночас такі сплави мають низьку корозійну тривкість. Сплави АК-4 і АК-4-1 обмежено зварюються.

На відміну сплави АК6 і АК8 мають задовільну пластичність. Добре піддаються гарячому деформуванню і задовільно зварюються. Їх границя міцності 390–490 МПа.

В литих деталях із алюмінієвих сплавів необхідно виправляти дефекти за допомогою зварювання. Найбільш розповсюджені плавни системи Al–Si – силуміни.

### **3.2. Мідні сплави**

Мідні сплави зберігають плюсові властивості міді (високу тепло і електропровідність та корозійну тривкість). Проте порівняно з міддю сплави мають підвищену міцність і гарні технологічні властивості. Для легування міді переважно використовують елементи, які розчиняються в міді. Це алюміній, цинк, олово, берилій, кремній, манган і нікель.

Мідні сплави розділяють на здеформовні та ливарні, а також на ті, які не зміцнюються термічно і ті, які зміцнюються термічно. Класифікування мідних сплавів за термічним складом передбачає: латуні (головний легувальний елемент – цинк); бронзи, це сплави міді з оловом, алюмінієм, кремнієм та ін. елементами при вмісті цинку  $\leq 4–5$  %. Латуні і томпак містять до 45 % цинку. Проте його вміст в латуні, як правило не перевершує границю  $\alpha$ -твердого розчину за діаграмою Cu–Zn (39 % Zn). Такі однофазні  $\alpha$ -латуні мають значну пластичність і задовільно зварюються. При вмісті Zn  $> 39$  % латуні набувають двофазну струк-

туру ( $\alpha + \beta$ ), мають підвищену твердість, добре обробляються у гарячому стані. Водночас при температурі 20 °С їх пластичність є низькою і такі латуні погано зварюються.

### 3.3. Титанові сплави

Титанові сплави мають ряд переваг порівняно з чистим титаном. При щільності більшість титанових сплавів ( $\gamma = 4,4\text{--}4,65 \text{ г/см}^3$ ), яка є близькою до технічно чистого титану. За структурою титанові сплави, табл. 3.2 класифікують на однофазні  $\alpha$ - і  $\beta$ -сплави, псевдооднофазні та двофазні ( $\alpha + \beta$ ), що залежить від вмісту легувальних елементів. Дія легувальних елементів визначається впливом на поліморфні перетворювання титану.

Таблиця 3.2 – Хімічний склад, механічні властивості і галузі використання титанових сплавів

Марка	Вміст легувальних елементів, %	$\sigma_B$ , МПа	$\delta$ , %	Галузь використання
1	2	3	4	5
<b><math>\alpha</math>-сплави</b>				
BT1-00	–	300–450	30	Зварні з'єднання конструкцій, з високою корозійною тривкістю $T_e \leq 250\text{--}300 \text{ }^\circ\text{C}$
BT1-0	–	400–450	30	
BT5	5 Al	750–900	10	Зварні з'єднання конструкцій для роботи при температурі $T_e \leq 450 \text{ }^\circ\text{C}$ BT5-1 використовують при $T_e = -253 \text{ }^\circ\text{C}$
BT5-1	5 Al; 2,5 Sn	750–900	12	



Продовження таблиці 3.2

1	2	3	4	5
BT18	6,0 Al; 11,0 Zn; 1,0 Mo; 1,0 Nb; 0,25 Si	950– 1 200	10	Деталі компресорів та їх зварні з'єднання, які працюють при $T_e \leq 600 \text{ }^\circ\text{C}$
BT14	45 Al; 1 V; 3 Mo	930– 1 250	6	Штамповзварні з'єднання, які довготривало працюють при температурі до $T_e \leq 350\text{--}400 \text{ }^\circ\text{C}$ і короткочасно при $T_e = 700 \text{ }^\circ\text{C}$
( $\alpha + \beta$ )-сплави				
BT8	6,5 Al; 3,3 Mo; 0,35 Si	1 050– 1 230	11	Зварні з'єднання, конструкцій, які працюють при температурі $T_e \leq 400 \text{ }^\circ\text{C}$
BT9	6,5 Al; 3,3 Mo; 1,0 Zr; 0,35 Si	1 050– 1 250	11	Зварні з'єднання, конструкцій, які працюють при температурі до $T_e \leq 500 \text{ }^\circ\text{C}$
Псевдо $\alpha$ -сплави				
OT4-1	1,5 Al; 1,0 Mn	600– 750	15	Тонкостінні зварні з'єднання, які працюють при температурі до $T_e \leq 350\text{--}400 \text{ }^\circ\text{C}$
OT4	3,5 Al; 1,5 Mn	700– 900	11	Зварні з'єднання складної форми, які працюють при температурі до $T_e \leq 350\text{--}400 \text{ }^\circ\text{C}$
BT4	5,0 Al; 1,5 Mn	1 000– 1 200	10	Штамповзварні з'єднання, які довготривало працюють при

Закінчення таблиці 3.2

1	2	3	4	5
				температурі до $T_e \leq 400\text{--}450\text{ }^\circ\text{C}$ і короткочасно при $T_e \leq 730\text{ }^\circ\text{C}$
BT20	6 Al; 1 Zr; 1 V; 1 Mo	950– 1 1150	8	Штамповарні з'єднання, які довготривало працюють при температурі до $T_e = 500\text{ }^\circ\text{C}$ і короткочасно при $T_e \leq 800\text{ }^\circ\text{C}$
Псевдо $\beta$ -сплави				
BT9	3 Al; 7 Mo; 11 Cr	850– 1 300	5	Штамповарні з'єднання, які довготривало працюють при температурі до $T_e \leq 150\text{--}250\text{ }^\circ\text{C}$ і короткочасно при $T_e \leq 750\text{ }^\circ\text{C}$
TC6	3 Al; 7 Mo; 11 Cr	850– 1 300	6	Штамповарні з'єднання, які довготривало працюють при температурі до $T_e \leq 150\text{--}250\text{ }^\circ\text{C}$ і короткочасно при $T_e \leq 750\text{ }^\circ\text{C}$

Псевдо  $\alpha$ -сплави мають структуру  $\alpha + \beta$  (невелика кількість 5–7 % добре зварюються).

Сплави ( $\alpha + \beta$ ) мають двофазну структуру. Їх  $\sigma_B = 750\text{--}1\ 000$  МПа. Добре деформуються. Зварюються задовільно.

Високоміцні сплави BT6, BT14, BT3-1, BT22, добре деформуються в гарячому стані. Зварюються задовільно і потребують після зварювального термічного оброблення.

Псевдо  $\beta$ -сплави зварюються задовільно. Після зварювання з'єднання має високі пластичні властивості. Завдання отримати зварні з'єднання зі збігом на високому рівні  $\sigma_B$  і  $\delta$ ,  $\psi$  повністю не вирішена.

## **Питання для самоперевірення**

**Рекомендована література: [1–7].**

## ЛЕКЦІЯ 4

### **Тема 4. ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ ІНДУКЦІЙНОГО ОБРОБЛЕННЯ ТА ЇХ ВИКОРИСТАННЯ**

4.1. Технологічні процеси індукційного оброблення та їх використання.

#### **4.1. Технологічні процеси індукційного оброблення та їх використання**

Індукційне оброблення широко використовується в Україні і в зарубіжних країнах для нагрівання металу під кування, штампування, прокатування та інші процеси. Важливе використання індукційного оброблення – зміцнювальне термічне оброблення.

В різних галузях України спостерігається збільшення використання високоміцних сталей. І тому процеси зміцнювання сталей з використанням концентрованих джерел енергії – лазерного, рентгенівського, електронного, йонного, плазмового та високочастотного (ВЧ) оброблень знаходять зростаюче використання. Швидкісне нагрівання поверхневого шару (ПШ) деталі з самоохолодженням за рахунок тепловідведення в глибину основного металу приводить до утворення дрібнозернистих структур з твердістю понад 4 000 МПа. Водночас основна маса металу залишається на рівні міцності та пластичності, який властивий для гарячекатаного стану.

Перспективним способом поверхневого зміцнювання є загартування з використанням електромагнітного імпульсу. При дії електромагнітного імпульсу виділення енергії відбувається по всьому об'єму поверхневого шару. Швидкість нагрівання шару практично не залежить від його теплопровідних властивостей. В останні роки для використання ВЧ-гартування розробляються потужні ВЧ-генератори енергії і нові локальні способи нагрівання. Такі ВЧ-генератори забезпечать енерговкладення в ПШ до  $10^9$  Вт/м<sup>2</sup>.

Раніше конструктивно-технологічні особливості середньочастотного (до 10 кГц) і високочастотного (до 1 МГц) індукційного нагрівання та загартування ПШ не дозволяли їм конкурувати з лазерним і електронно-променевим способами термічного оброблення. З приводу відносно низьких поверхневих потужностей електричного нагрівання (ПШ) до  $10^7$  Вт/м<sup>2</sup>. При нагріванні до гартувальних температур кінетика зростання зерна залежить від швидкості нагрівання, температури максимального нагрівання  $T_{м. н.}$  та тривалості витримування ПШ в області температур аустенітування  $\tau_a$ .

При реалізуванні наведених технологій реалізується ефект поверхневої взаємодії електромагнітного поля з поверхнею електропровідного матеріалу (скін-ефект). Це явище виражається в нерівномірному розподіленні (щільності) змінного електричного струму по перерізу провідника. При цьому щільність струму зменшується від поверхні взаємодії з електромагнітним полем до його центральної ділянки.

Ступінь нерівномірності щільності струму характеризується глибиною проникання електромагнітного поля у конструкційний матеріал. Проникання зменшується при збільшенні частоти струму або пов'язаного з ним електромагнітного потоку, а також при збільшенні електропровідності та магнітної проникності матеріалу. За глибину проникання електромагнітного поля у матеріал, приймається відповідний геометричний параметр. На такому параметрі амплітуди напруженностей електричного і магнітного полів зменшуються в  $e$  разів.

В об'ємі металу, який обмежений глибиною проникання, виділяється кількість теплоти, яка дорівнює  $0,864q_s$ . Де  $q_s$  – щільність енергії електромагнітної хвилі на поверхні тіла. Глибина проникання поля може бути розрахована як

$$\Delta = 503 \sqrt{\frac{\rho}{\mu f}}, \quad (4.1)$$

де  $\rho$  – питомий опір матеріалу;  $\mu$  – відносна магнітна проникність;  $f$  – частота

поля.

Необхідно мати на увазі, що питомий електроопір металів залежить від температури  $\rho = f(T)$ . Відносна магнітна проникність також залежить від температури і напруженості магнітного поля  $\mu = f(H, T)$  і тому результати розраховувань за наведеною формулою будуть наближеними.

Нагрівання деталі до утворювання парамагнітної аустенітної структури ( $\mu = 1,0$ ) приводить до зростання глибини проникання.

Швидкість нагрівання визначається кількістю енергії, яка вводиться в шар, який нагрівається і визначається об'ємною щільністю внутрішніх джерел тепла  $q_v$  (Вт/м<sup>3</sup>). Ця величина може бути розрахована як

$$q_v = \frac{q_v}{\Delta}, \quad (4.1)$$

При змінюванні глибини проникання  $\Delta$  змінюється і величина  $q_v$ . І тому відрізняється нагрівання деталі в діапазоні до точки Кюрі (холодний режим) і після точки Кюрі (гарячий режим).

Сформувалися два основні напрями у використанні високоенергетичних індукційних методів гартування, які відрізняються необхідною глибиною шару, який загартувався.

1. Штампи, калібри, вимірювальний інструмент та інші деталі, для яких необхідна товщина шару, який зміцнюється, не перевищує десятків мікрометрів. Це визначає використання робочих частот більше 10 МГц і джерел живлення в декілька кіловат.

2. Шестерні, вали, колеса та ін. деталі, для яких допускається зношування при експлуатуванні. Характерна глибина зміцнювання для яких дорівнює від 1 до 3 мм.

Досягнення відповідної глибини нагрівання до необхідної температури є можливим при використанні ВЧ-генераторів з робочими частинами менше

декількох мегагерц і потужністю в десятки кіловат.

Ефективність і універсальність методу високочастотного імпульсного загартування визначається наступними особливостями:

- оброблянню піддається тільки частина матеріалу;
- режим автозагартування виключає необхідність зовнішніх гартувальних середовищ;
- метод не передбачає попереднє підготування оброблення поверхні деталі;
- внаслідок короткого часу дії прояв відпалювання не відчувається;
- процес високопродуктивний і підлягає автоматизуванню;
- об'ємно-поверхневий характер тепловиділення у поверхневому шарі при високих питомих потужностях дозволяє вести загартування з температур близьких до плавлення. І саме це при утворюванні зміцнених фаз додатково підвищує властивості міцності та в'язкості ПШ за рахунок зменшення розмірів зерен.

### **Питання для самоперевірення**

1. Що являє собою процес гартування?
2. Пояснити особливість використання способу поверхневого індукційного оброблення деталей.
3. Як реалізується ефект поверхневої взаємодії електромагнітного поля з поверхнею електромагнітного матеріалу заготовки?
4. Яка структура є аустенітною?
5. Від яких чинників залежить магнітна проникність в поверхню заготовки?
6. Пояснити механізм поверхневого гартування виробів.
7. В чому полягає ефект використання високочастотного імпульсного загартування?

**Рекомендована література: [1–7].**



## ЛЕКЦІЯ 5

### Тема 5. СУЧАСНІ ВИРОБНИЦТВА УКРАЇНИ

5.1. Високоенергетичне індукційне оброблення.

5.2. Вплив швидкості загартування на структуру сталі.

Сьогодні область використання високоенергетичних технологій робочих процесів сучасних виробництв на Україні розширюється. Нанесення високоефективних покриттів, зміцнювання деталей машин, наплавлювання, газо- і водоочищення, утилізування відходів, полімеризування – це далеко не повний перелік областей використання робочих процесів.

Високоенергетичні технології оброблення деталей мають ряд переваг:

– можливість оброблення матеріалів з відповідними властивостями без використання значних механічних зусиль. З поверхні деталі, яка оброблюється, матеріал видаляється шляхом дії енергії, а не механічної дії;

– відсутність інструменту для механічної дії відповідно його зношування;

– значне скорочування витрат матеріалу, яке виконується за рахунок підвищення точності операцій;

– висока продуктивність, особливо помітна при порівнянні з механічним обробленням твердих і крихких матеріалів;

– висока економічна ефективність, обумовлена тим, що збільшення складності оброблення матеріалів не надає пропорційного збільшення витрат на обладнання, оснащення та інструмент;

– можливість повного або часткового автоматизування процесу;

– покращування умов праці.

До робочих процесів сучасних виробництв відносяться високочастотне (ВЧ) індукційне, лазерне, електронно-променеве, йонне, плазмове та рентгенівське оброблення. Саме такі процеси є найбільш перспективними для отримання

виробів з особливими властивостями.

### **5.1. Високоенергетичне індукційне оброблення**

Індукційне оброблення сталевих і чавунних деталей машин і обладнання є одним із базових напрямів в машинобудуванні. Таке оброблення розділяють на традиційне індукційне оброблення, коли характерний рівень питомих поверхневих потужностей дорівнює  $10^7$  Вт/м<sup>2</sup> і високоенергетичне імпульсне оброблення при питомих потужностях  $10^7$ – $10^9$  Вт/м<sup>2</sup>. В першому випадку динаміка нагрівання і охолодження така, що структурно-фазовий склад визначається температурою і діаграмами стану сплавів. У другому випадку, швидкості процесів нагрівання і охолодження у шарі металу стають близькими до швидкостей дифузійного масоперенесення і фазоутворювання. І тоді рівновісний підхід до аналізування розвивання процесів в шарі стає недопускаємим. Наприклад, при нагріванні шару сталі за час  $\tau \leq 0,1$  фазоутворювання стає порівняним з тривалістю перетворювання перліту в аустеніт.

Такий ефект надає необхідність суттєвого перегрівання шару порівняно з рівновісною температурою  $A_{c1}$  для даної сталі. При швидкостях нагрівання і охолодження  $V > 10^3$  К/с відбувається зміщення температурних інтервалів починання і закінчування утворювання мартенситу ( $M_n$ – $M_k$ ) і утворюються метастабільні фази. Саме ці процеси складають основу високоенергетичного індукційного оброблення деталей з використанням безперервних та потужних імпульсних високочастотних полів. Наприклад, ВІЗ – високочастотне імпульсне загартування. Наведені процеси сьогодні характеризуються швидким розвиванням.

### **5.2. Вплив швидкості загартування на структуру сталі**

При швидкостях нагрівання  $V > 10^4$  К/с і тривалості аустенітування  $\tau \leq 0,05$  с для заевтектоїдних і евтектоїдних сталей, які не мають в структурі вільного

фериту, температура максимального нагрівання  $T_{\text{м. н.}} > 1\,500\text{ К}$ . Така температура помітно більше  $A_1$  (температури евтектоїдного перетворювання). В результаті, після різкого охолодження ( $V_{\text{охол}} > 1\,000\text{ К/с}$ ) можн отримати мартенсит такої будови, яка не має голок.

В доевтектоїдних сталях зростання зерна аустеніту починається відразу після досягнення температури евтектоїдного перетворювання  $T \geq A_1$ . Таке перетворювання відбувається шляхом руху границь зерен аустеніту до границь зерен фериту. До часу закінчування перетворювання збиткового фериту зерно зростає і утворюється мартенсит, який має дрібні голки. Відповідно ефект зміцнювання буде мати менший прояв.

Відомо, що підвищування швидкості нагрівання і охолодження поверхневого шару сталей сприяє утворюванню метастабільних фаз і нерівноважних структур. Залежно від швидкості загартування  $V_T$  різноманітність структур характеризується наявністю сумішей рівновісних кристалів  $V_T < 10^3\text{ К/с}$  і при  $V_T < 10^{10}\text{--}10^{12}\text{ К/с}$  металевого скла. Стосовно сталей наведені ефекти починають проявлятися при  $V_T > 10^3\text{ К/с}$ . Наприклад, для сталі 10P6M5 при зростанні  $V_T$  від  $10^3$  до  $10^6\text{ К/с}$  встановлений перехід від дендритної до дрібнозернистої структури, а також до сфероподібної структури.

Керування процесом високочастотного імпульсного загартування є доцільним для отримання необхідних високих властивостей поверхневого шару (фазовий склад, глибина зміцнювання, дисперсність зерна та ін.). Водночас такі властивості ґрунтуються на використанні, при реалізуванні відповідних процесів, знань динміки та механіки нагрівання, охолодження і структурно-фазових перетворювань у шарі.

Складність прямого експериментального вивчання таких процесів робить необхідним розробляння і проведення розрахункових експериментів, що необхідно для вирішування наведених завдань. І це вимагає створювання надійних моделей, які описують розглянуті процеси. Такі моделі передбачають урахування теплових, механічних і структурних явищ, а також їх взаємодію.

## **Питання для самоперевірення**

1. Які переваги мають високоенергетичні технології оброблення деталей?
2. Які технології оброблення виробів відносять до сучасних виробництв?
3. Пояснити, чому високоенергетичне індукційне оброблення надає змогу підвищити твердість і зносостійкість поверхневого шару.
4. Який механізм утворення мартенситу?
5. Що характеризують критичні точки  $A_1$  і  $A_3$ ?
6. Навести приклади робочих процесів сучасних виробництв.

**Рекомендована література:** [1–7].

## ЛЕКЦІЯ 6

### Тема 6. ЛАЗЕРНЕ ОБРОБЛЯННЯ МАТЕРІАЛІВ

Лазер – це оптичний квантовий генератор, тобто пристрій, який перетворює різні види енергії (електричну, світлову, хімічну, теплову та ін.) в енергію когерентного електромагнітного випромінювання оптичного діапазону. Дія лазера ґрунтується на використанні індукційованого випромінювання світла системою збуджених атомів, йонів, молекул або інших частинок речовини (активним середовищем), який знаходиться в оптичному резонаторі. Таке підсилювання надається можливим, якщо активне середовище знаходиться в стадії інверсії насиченості. Наведений стан характеризується порушенням рівноважного розподілення елементарних частинок (електронів, атомів, йонів молекул та ін.). І тоді кількість частинок на збудженому енергетичному рівні перевершує кількість частинок на нижче розташованому місці. Для створення і підтримування в активному середовищі інверсії використовують різні методи збуджування (накачування). Такі методи залежать від структури активного середовища. Накачування може відбуватися під дією світла (оптичне накачування), пучка електронів, сильного електричного поля, в газовому розряді, в результаті хімічних реакцій, інжекції нерівновісних носіїв заряду (інжекційне накачування), при просторовому сортуванні молекул (в молекулярних генераторах), а також іншими методами.

При багаторазовому проходженні підсилююмого випромінювання між дзеркалами оптичного резонатора формується потужний спрямований пучок лазерного випромінювання. Лазерне випромінювання вводиться із резонатора через одно із дзеркал, яке виготовляють частково прозорим. Основу конструкції будь якого лазера складає активний елемент (робоче тіло). Саме в активному елементі

безпосередньо відбувається генерування лазерного випромінювання при дії накачування.

Лазерне випромінювання охоплює широкий діапазон довжин хвиль. А саме від вакуумного ультрафіолетового до довгохвильового інфрачервоного і субміліметрового, табл. 6.1.

Таблиця 6.1 – Діапазон довжин хвиль світлового випромінювання

Область	Інфрачервона	Червона	Помаранчева	Жовта	Зелена	Голуба	Синя	Фіолетова	Ультрафіолетова
$a_{\max}$ , МКМ	0,75	0,76	0,62	0,59	0,56	0,50	0,48	0,45	0,40
$a_{\min}$ , МКМ	0,76	0,62	0,59	0,56	0,50	0,48	0,45	0,40	0,005

Лазери можуть надавати випромінювання в різних режимах: безперервно на протязі довготривалого терміну; одноразово у вигляді одноразового спалаху; у імпульсному режимі з різними частотами повторювання імпульсів. До основних параметрів лазерів відноситься: робоча довжина хвилі; потужність випромінювання; ККД тобто відношення потужності лазерного випромінювання до потужності його збуджування.

Світловий промінь може бути поліхроматичним та монохроматичним. *Поліхроматичне* випромінювання утворюється в результаті нагрівання тіл. При цьому електрони переходять на більш високий енергетичний рівень під дією теплової енергії. Внаслідок такого переходу і відбувається спонтанне (самовільне) випромінювання збуджених атомів. Залежно від температури випромінювання відбувається у відповідній області спектру. Від ультрафіолетової до інфрачервоної. Випромінювання називається *монохроматичним*, якщо його частина

і довжина хвилі є постійними. Поліхроматична хвиля надається, як сума декількох монохроматичних хвиль. Когерентною називають хвилю, якщо амплітуда, частота, фаза, напрямок розповсюдження і поляризування є постійними в часі або змінюються за визначеним законом. Монохроматична хвиля завжди когерентна. Когерентність двох монохроматичних хвиль означає, що вони мають набір хвиль з однаковими частотами і різниця їх фаз є постійною в часі.

Загалом, під лазерними технологіями розуміють сукупність способів оброблення виготовлення, змінювання стану, властивостей, форми заготовок під впливом лазерного випромінювання.

В більшості процесів використовують термічну дію лазерного променя на матеріал, який оброблюється. Ефективність лазерних технологій обумовлена локальністю дії, високою щільністю потоку енергії в зоні оброблення, можливістю проведення процесу в будь-якому прозорому середовищі (вакуумі, газі, рідині твердому тілі). Також ефективність характеризується тим, що подавання енергії до зони оброблення в замкнутому об'ємі є безконтактним.

Лазер забезпечує швидке поверхневе нагрівання деталі, яка оброблюється. І тому відповідна лазерна технологія може використовуватися для термічного оброблення металів. Теплове нагрівання при використанні лазерної технології регулюється в широкому інтервалі за рахунок змінювання параметрів випромінювання і режиму оброблення. Змінювання параметрів забезпечує в свою чергу змінювання швидкості нагрівання і охолодження, тривалості перебування матеріалу при високих температурах, яке дозволяє отримати необхідну структуру і необхідні механічні властивості поверхневого шару.

Лазерне оброблення поверхні характеризують дуже високі швидкості її нагрівання і охолодження. В місці контакту лазерного променя і поверхні матеріалу швидкість локального нагрівання дорівнює  $V_H = 10^6$  К/с. Локальність нагрівання забезпечує наявність градієнту: ділянка з високою температурою обме-

жена металом з відносно низькою температурою. Відбувається інтенсивне тепловідведення. Швидкість охолодження дорівнює сотні тисяч градусів в секунду. Це набагато більше, ніж при штатному охолодженні, після загартовального нагрівання, у воді. Швидке нагрівання і охолодження приводить до утворення специфічних структур, які є характерними для лазерного методу оброблення.

Технологічні здобутки лазерного оброблення поверхні це локальність і безконтактність нагрівання, відсутність деформації, висока швидкість і продуктивність нагрівання, дистанційне оброблення в труднодоступних місцях, можливість автоматизування.

Завданням лазерного оброблення є цілеспрямоване змінювання структурного, фазового і хімічного стану поверхневого шару заготовки. Внаслідок лазерного оброблення метали і сплави набувають в локальних об'ємах такі властивості, які не можна досягти при традиційних методах оброблення.

### **Питання для самоперевірення**

1. Що являють собою лазери?
2. Мета використання лазерів?
3. Яким є діапазон хвиль світлового випромінювання?
4. Чому змінюються властивості поверхневого шару виробів при його лазерному обробленні?

**Рекомендована література:** [1–7].



# ЛЕКЦІЯ

## Тема

.1.

## **Питання для самоперевірення**

**Рекомендована література: [1–7].**

## ЛЕКЦІЯ

### Тема

.1.

## **Питання для самоперевірення**

**Рекомендована література: [1–7].**

## СПИСОК ДЖЕРЕЛ ІНФОРМАЦІЇ

1. Андреев А. О. Технологія машинобудування. Основи отримання вакуумно-дугових покриттів [Електронний ресурс] : підруч. / А. О. Андреев, В. М. Павленко, Ю. О. Сисоєв. – Харків : Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського «Харків. авіац. ін-т», 2018. – 288 с. – Електрон. версія друк вид. – Режим доступу : <https://www.twirpx.com/file/2650863/>
2. Дубовий О. М. Технологія напилення покриттів [Електронний ресурс] : Підручник / О. М. Дубовий, А. М. Степанчук. – Миколаїв : Видавництво НУК, 2007. – 235 с. – Електрон. версія друк вид. – Режим доступу : [http://eir.nuos.edu.ua/xmlui/bitstream/handle/123456789/582/Dubovoj\\_Tehnologiya.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://eir.nuos.edu.ua/xmlui/bitstream/handle/123456789/582/Dubovoj_Tehnologiya.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
3. Інтегровані технології обробки матеріалів [Електронний ресурс] : підручник / Геворкян Е. С., Тимофєєва Л. А., Нерубацький В. П. та ін. – Харків : УкрДУЗТ, 2016. – 240 с. – Електрон. версія друк вид. – Режим доступу : <http://lib.kart.edu.ua/bitstream/123456789/2402/1/ba.pdf>
4. Інженерія поверхні [Електронний ресурс] : підручник / Ющенко К. А., Борисов Ю. С., Кузнецов В. Д. та ін. – Київ : Наук. думка, 2007. – 558 с. – Електрон. версія друк вид. – Режим доступу : <https://www.twirpx.com/file/153924/>
5. Інженерне матеріалознавство [Електронний ресурс] : підручник / Дубовий О. М., Казимиренко Ю. О., Лебедєва Н. Ю. та ін. – Миколаїв : НУК, 2009. – 444 с. – Електрон. версія друк вид. – Режим доступу : [http://eir.nuos.edu.ua/xmlui/bitstream/handle/123456789/575/Dubovoj\\_Injenerne.pdf?sequence=1](http://eir.nuos.edu.ua/xmlui/bitstream/handle/123456789/575/Dubovoj_Injenerne.pdf?sequence=1)
6. Кирилович В. А. Основи технологій обробки поверхонь деталей машин [Електронний ресурс] : підручник / В. А. Кирилович, П. П. Мельничук, В. А. Яновський ; за ред. В. А. Кириловича. – Житомир : Видавець О.О. Євенок, 2017. – 266 с. – Електрон. версія друк вид. – Режим доступу : [https://learn.ztu.edu.ua/pluginfile.php/29639/mod\\_resource/content/2/BD.pdf](https://learn.ztu.edu.ua/pluginfile.php/29639/mod_resource/content/2/BD.pdf)

7. Кузін О. А. Металознавство та термічна обробка металів [Електронний ресурс] : підручник / О. А. Кузін, Р. А. Яцюк. – Львів : Афіша, 2002. – 300 с. – Електрон. версія друк вид. – Режим доступу : <https://www.twirpx.com/file/2538480/>

8. Прикладне матеріалознавство [Електронний ресурс] : підручник для вищих навчальних закладів III-IV ступенів акредитації / Авт. колектив: Сушко О. В., Посвятенко Е. К., Кюрчев С. В. та ін. – Мелітополь : ТПЦ «Forward press», 2019. – 352 с. – Електрон. версія друк вид. – Режим доступу : <http://elar.tsatu.edu.ua/bitstream/123456789/7209/1/be.pdf>

9. Степанчук А. М. Теоретичні та технологічні основи отримання порошків металів, сплавів і тугоплавких сполук [Електронний ресурс] : Підручник / А. М. Степанчук. – Київ : ІВЦ “Видавництво «Політехніка»”, 2006. – 410 с. – Електрон. версія друк вид. – Режим доступу : <https://studfile.net/preview/3741032/#3741032>

10. Технічне регулювання та контроль на підприємстві [Електронний ресурс] : підручник / Должанський А. М., Максакова О. С., Черноіваненко К. О. та ін. ; за ред. А. М. Должанського. – Дніпро : Свідлер А.Л., 2023. Т. 2 : Технології та дефекти продукції металургії. – 632 с. – Електрон. версія друк вид. – Режим доступу : <https://crust.ust.edu.ua/bitstreams/d0c75f11-88e5-433e-bf1c-1541e384b5a7/download>

11. Афанасьєва О. В. Функціональні матеріали оптоелектронної техніки [Електронний ресурс]. Навч. посіб. / О. В. Афанасьєва. – Харків: ХНУРЕ, 2019. Частина перша. – 168 с. Частина друга. – 172 с. – Електрон. версія друк вид. – Режим доступу : [https://openarchive.nure.ua/bitstream/document/9498/1/Afanasyeva\\_FM\\_1.pdf](https://openarchive.nure.ua/bitstream/document/9498/1/Afanasyeva_FM_1.pdf)

12. Бацуровська І. В. Електротехнології [Електронний ресурс] : навч. посіб. / І. В. Бацуровська. Миколаїв : МНАУ, 2021. – 258 с. – Електрон. версія друк вид. – Режим доступу :

<https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/10102/1/bacurovska-elektrotehnologiyi.pdf>

13. Білик І. І. Технологія нанесення покриттів та їх властивості [Електронне мережне навчальне видання] : навч. посіб. для здобувачів ступеня магістр за освітньо-професійною програмою «Нанотехнології та комп'ютерний дизайн матеріалів» спеціальності 132 Матеріалознавство / І. І. Білик, С. О. Руденький ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 120 с. – Режим доступу : [https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/56927/1/Tekhnolohiia\\_nanesennia\\_pokryttiv\\_ta\\_yikh\\_vlastyvosti.pdf](https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/56927/1/Tekhnolohiia_nanesennia_pokryttiv_ta_yikh_vlastyvosti.pdf)

14. Гожій С. П. Основи фізико-технічних та хіміко-термічних процесів для підвищення ресурсу виробів машинобудування [Електронний ресурс]. Навч. посіб. з вибіркової компоненти «Основи фізико-технічних та хіміко-термічних процесів для підвищення ресурсу виробів машинобудування» для студентів галузі знань 13 Механічна інженерія, спеціальностей 131 Прикладна механіка усіх форм навчання / Уклад. С. П. Гожій. – Електронні текстові дані (1 файл: 4,89 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 104 с. – Режим доступу : <https://ela.kpi.ua/bitstreams/24f7ac44-4cd2-4c07-b567-95c119263dd5/download>

15. Застосування спеціалізованого програмного забезпечення в матеріалознавстві та термічній обробці металів та сплавів [Електронний ресурс] : метод. посіб. / Подольський Р. В., Бабаченко О. І., Кононенко Г. А. та ін. ; Україн. держ. ун-т науки і технол. – Дніпро : 2022. – 66 с. – Електрон. версія друк вид. – Режим доступу : [https://nmetau.edu.ua/file/metodichniy\\_posibnik\\_podolskiy\\_ta\\_in\\_.pdf](https://nmetau.edu.ua/file/metodichniy_posibnik_podolskiy_ta_in_.pdf)

16. Кіяновський М. В. Електрофізичні та електрохімічні методи обробки поверхонь деталей у машинобудуванні [Електронний ресурс] : навч. посіб. / М. В. Кіяновський, Н. І. Цивінда. – Кривий Ріг : Видавничий центр КТУ, 2011. – 412с. – Електрон. версія друк вид. – Режим доступу : <https://www.twirpx.com/file/1090682/>

17. Методи поверхневого зміцнення у процесі виготовлення деталей машин [Електронний ресурс] : навч. посіб. / Фесенко А. Г., Бечке К. В., Манжеліївський С. В. та ін. – Дніпропетровськ : РВВ ДНУ, 2015. – 104 с. – Електрон. версія друк вид. – Режим доступу : [http://repository.dnu.dp.ua:1100/upload/a96c0b4097bdde8f1a71abeca0cae5deMetodi-poverxneвого-zmicnennya-u-procesi-vigotovlennya-detalej-mashin\\_Bechke.pdf](http://repository.dnu.dp.ua:1100/upload/a96c0b4097bdde8f1a71abeca0cae5deMetodi-poverxneвого-zmicnennya-u-procesi-vigotovlennya-detalej-mashin_Bechke.pdf)

18. Молчанов В. Ф. Термічна обробка деталей машин [Електронний ресурс]. Навч. посіб. / В. Ф. Молчанов. – Дніпродзержинськ : Видавництво ДДТУ, 2008. – 216 с. – Електрон. версія друк вид. – Режим доступу : <https://www.twirpx.com/file/1990563/>

19. Мохорт А. В. Термічна обробка металів [Електронний ресурс] : Навч. посіб. / А. В. Мохорт, М. Г. Чумак. – Київ: Либідь, 2002. – 512 с. – Електрон. версія друк вид. – Режим доступу : <https://lib-rsttchvhqm34pyp62gjqpq3.booksc.eu/dl/2447387/d683af>, <https://www.twirpx.com/file/254083/>

20. Нанесення покриття [Електронний ресурс] : Навч. посіб. / Корж В. М., Кузнецов В. Д., Борисов Ю. С. та ін. ; за ред. К. А. Ющенко. – Київ : Арістей, 2005. – 204 с. – Електрон. версія друк вид. – Режим доступу, <https://www.twirpx.com/file/1548451/>

21. Погребна Н. Е. Способи зміцнення металів [Електронний ресурс]. Навч. посіб. / Н. Е. Погребна, В. З. Куцова, Т. В. Котова. – Дніпро : НМетАУ, 2021. – 89 с. – Електрон. версія друк вид. – Режим доступу : [http://nmetau.edu.ua/file/sposobi\\_zmitsnennya\\_metaliv.pdf](http://nmetau.edu.ua/file/sposobi_zmitsnennya_metaliv.pdf)

22. Рожков О. Д. Технологія нанесення покриттів. Частина I [Електронний ресурс] : Навч. посіб. / О. Д. Рожков. – Дніпропетровськ : НМетАУ, 2008. – 51 с. – Електрон. версія друк вид. – Режим доступу : [https://nmetau.edu.ua/file/tehnologiya\\_nanesennya\\_pokrittiv\\_chastina\\_1.pdf](https://nmetau.edu.ua/file/tehnologiya_nanesennya_pokrittiv_chastina_1.pdf)

23. Рожков О. Д. Технологія нанесення покриттів. Частина II [Електронний ресурс] : Навч. посіб. / О. Д. Рожков. – Дніпропетровськ : НМетАУ, 2008. – 38 с.



– Електрон. версія друк вид. – Режим доступу :  
[https://nmetau.edu.ua/file/tehnologiya\\_nanesennya\\_pokrittiv\\_chastina\\_ii.pdf](https://nmetau.edu.ua/file/tehnologiya_nanesennya_pokrittiv_chastina_ii.pdf)

24. Сігова В. І. Методи локальної поверхневої обробки деталей машин [Електронний ресурс]. Навч. посіб. / В. І. Сігова, П. В. Руденко. – Суми : Вид-во СумДУ, 2008. – 218 с. – Електрон. версія друк вид. – Режим доступу :  
<https://essuir.sumdu.edu.ua/bitstream/123456789/1009/3/Obrobka.pdf>

25. Сігова В. І. Технологічні процеси зміцнення та АСУ ТП (лабораторні роботи, завдання для контрольних робіт і ІДЗ) [Електронний ресурс]. Навч. посіб. / В. І. Сігова, Л. Ф. Руденко. – Суми : Вид-во СумДУ, 2008. – 197 с. – Електрон. версія друк вид. – Режим доступу :  
<https://essuir.sumdu.edu.ua/bitstream/123456789/1007/3/ASUTP.pdf>

26. Соколов С. В. Основи модифікації поверхні [Електронний ресурс] : навч. посіб. / С. В. Соколов. – Суми : СумДУ, 2003. – 82 с. – Електрон. версія друк вид. – Режим доступу :  
<https://essuir.sumdu.edu.ua/bitstream/123456789/2463/1/m2050.pdf>

27. Степанчук А. М. Матеріали для напилювання покриттів [Електронний ресурс] : навч. посібник / А. М. Степанчук ; НТУУ «КПІ». – Електронні текстові дані. – Київ : Центр учбової літ., 2017. – 236 с. – Режим доступу :  
[http://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/2019/Stepan\\_2017\\_236.pdf](http://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/2019/Stepan_2017_236.pdf)

28. Сусліков Л. М. Фізика і технологія наноматеріалів [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студентів фізико-технічних спеціальностей / Л. М. Сусліков, В. С. Дьордяй. – Ужгород : Видавництво «Говерла», 2023. – 437 с. – Електрон. версія друк вид. – Режим доступу :  
<https://dSPACE.uzhnu.edu.ua/jspui/bitstream/lib/56783/1/9A.pdf>

29. Сушенцева Л. Л. Матеріалознавство в машинобудуванні [Електронний ресурс] : [Електронний посібник] / Л. Л. Сушенцева, В. В. Чорна, С. В. Чорний. – Харків : СМІТ, 2008. – Електрон. версія друк вид. – Режим доступу :  
<https://fizmat.7mile.net/materialoznavstvo/index.html>,  
<http://media.slav.gov.ua/155/1/mashinobuduvanna.zip>

30. Ткач О. П. Наноматеріали і нанотехнології в приладобудуванні [Електронний ресурс] : навч. посіб. / О. П. Ткач. – Електронне видання каф. Прикладної фізики. – Суми : СумДУ, 2014. – 127 с.

<https://essuir.sumdu.edu.ua/bitstream/123456789/38270/1/nanomateriali.pdf>

31. Тонкоплівкові матеріали та технології їх одержання [Електронний ресурс] : Навч. посіб. / Калинушкін Є. П., Федоркова Н. М., Синиціна Ю. П. та ін. – Дніпропетровськ : НМетАУ, 2009. – 175 с. – Електрон. версія друк вид. – Режим доступу :

[https://nmetau.edu.ua/file/navchalniy\\_posibnik\\_tonkoplivkovi\\_materiali.pdf](https://nmetau.edu.ua/file/navchalniy_posibnik_tonkoplivkovi_materiali.pdf)

32. Функціональні матеріали та покриття [Електронний ресурс] : навч. посіб. / Азаренков М. О., Береснєв В. М., Литовченко С. В. та ін. – Харків : ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2013. – 202 с. – Електрон. версія друк вид. – Режим доступу :

<http://physics-technology.karazin.ua/resources/8199ea6884950ee8ea92c5bcfbef6776.pdf>

33. Шиліна О. П. Вакуумно-конденсаційне напилювання покриттів [Електронний ресурс] : навч. посіб. / О. П. Шиліна, В. І. Савуляк, А. Ю. Осадчук. – Вінниця : ВНТУ, 2007. – 103 с. – Електрон. версія друк вид. – Режим доступу :

[https://ir.lib.vntu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/7740/Vak\\_kond\\_napil.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://ir.lib.vntu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/7740/Vak_kond_napil.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

34. Архіпова Т. Ф. Вакуумно-конденсаційні технології нанесення покриттів [Електронний ресурс]. Конспект лекцій / Т. Ф. Архіпова, А. Ю. Осадчук, М. Ю. Байло. – Вінниця : ВНТУ, 2014. – 120 с. – Електрон. версія друк вид. – Режим доступу :

35. Бережний С. П. Конспект лекцій з дисципліни «Інженерія поверхні» (Частина 1) для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка» освітня програма «Відновлення та підвищення зносостійкості деталей та конструкцій» усіх форм навчання [Електронний ресурс] / Укл.: С. П. Бережний. – Запоріжжя : ЗНТУ, 2018 – 78 с. – Електрон. версія друк вид. – Режим доступу : <http://eir.zntu.edu.ua/bitstream/123456789/3606/1/M06726.pdf>

36. Бережний С. П. Конспект лекцій з дисципліни «Інженерія поверхні» (Частина 2) для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка» освітня програма «Відновлення та підвищення зносостійкості деталей та конструкцій» усіх форм навчання [Електронний ресурс] / Укл.: С. П. Бережний. – Запоріжжя : ЗНТУ, 2018. – 79 с. – Електрон. версія друк вид. – Режим доступу : <http://eir.zntu.edu.ua/bitstream/123456789/3607/1/M06727.pdf>

37. Бережний С. П. Конспект лекцій з дисципліни «Інженерія поверхні» (Частина 3) для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка» освітня програма «Відновлення та підвищення зносостійкості деталей та конструкцій» усіх форм навчання [Електронний ресурс] / Укл.: С. П. Бережний. – Запоріжжя : ЗНТУ, 2018. – 77 с. – Електрон. версія друк вид. – Режим доступу : <http://eir.zntu.edu.ua/bitstream/123456789/3608/1/M06728.pdf>

38. Бережний С. П. Конспект лекцій з дисципліни «Інженерія поверхні» (Частина 4) для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка» освітня програма «Відновлення та підвищення зносостійкості деталей та конструкцій» усіх форм навчання [Електронний ресурс] / Укл.: С. П. Бережний. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2018. – 28 с. – Електрон. версія друк вид. – Режим доступу : <http://eir.zp.edu.ua/bitstream/123456789/3609/1/M06729.pdf>

39. Волчок І. П. Тексти (конспект) лекцій з дисципліни “Функціональні наноструктурні матеріали та покриття” для студентів спеціальності 132 “Матеріалознавство” з освітньої програми «Композиційні та порошкові матеріали, покриття» усіх форм навчання [Електронний ресурс] / Укл.: І. П. Волчок. – Запоріжжя : НУ «Запорізька політехніка», 2020. – 79 с. – Електрон. версія друк вид. – Режим доступу : [http://eir.zntu.edu.ua/bitstream/123456789/6361/1/Lecture\\_notes.pdf](http://eir.zntu.edu.ua/bitstream/123456789/6361/1/Lecture_notes.pdf)

40. Гасило Ю. А. Конспект лекцій з дисципліни «Основи технології відновлення деталей» для здобувачів вищої освіти другого (магістерського) рівня за спеціальністю 131 - Прикладна механіка за освітньо-професійною програмою «Технологія та устаткування зварювання» [Електронний ресурс] / Уклад.

Ю. А. Гасило. – Кам'янське : ДДТУ, 2017. – 147 с. – Електрон. версія друк вид. – Режим доступу : <https://www.dstu.dp.ua/Portal/Data/1/27/1-27-kl16.pdf>

41. Лисенко О. Б. Конспект лекцій з дисципліни «Теорія і практика термообробки» для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти зі спеціальності 104 Фізика та астрономія, за освітньо-професійною програмою «Фізика та астрономія» всіх форм навчання [Електронний ресурс] / Уклад. О. Б. Лисенко. – Кам'янське : ДДТУ, 2019. – 124 с. – Електрон. версія друк вид. – Режим доступу :

42. Лузан С. О. Інженерія поверхні [Текст] : курс лекцій / С. О. Лузан, О. І. Сідашенко. – Харків : Водний Спектр Джі-Ем-Пі, 2019. – 186 с.

43. Смирнов І. В. Відновлення деталей машин та конструкцій [Електронний ресурс] : Конспект лекцій для студентів напряму 6.050504 «Зварювання», спеціальності 6.050504.03 «Відновлення та підвищення зносостійкості машин і конструкцій» / Уклад. І. В. Смирнов. – Електронні текстові дані. – Київ : НТУУ «КПІ», 2012. – 147 с. – Режим доступу :

44. Методи локальної поверхневої обробки та методи відновлення [Електронний ресурс]. Практикум : навч. посіб. / Грешта В. Л., Кононенко Ю. І., Лазечний І. М., Лисиця О. В., Трикоз Г. Г. – Запоріжжя : ЗНТУ, 2014. – 115 с. – Електрон. версія друк вид. – Режим доступу : [http://fm-zntu.at.ua/load/metodi\\_lokalnoji\\_poverkhnevoji\\_obrobki\\_ta\\_meto\\_di\\_vidnovlennja/3-1-0-115](http://fm-zntu.at.ua/load/metodi_lokalnoji_poverkhnevoji_obrobki_ta_meto_di_vidnovlennja/3-1-0-115)

45. Контроль параметрів якості функціональних покриттів [Електронний ресурс] : монографія / Антонюк В. С., Тимчик Г. С., Бондаренко Ю. Ю. та ін. ; НТУУ «КПІ». – Електронні текстові дані. – Київ : КПІ, 2018. – 396 с. – Режим доступу : <https://www.twirpx.com/file/2445324/>

46. Нові комбіновані методи оброблення робочих поверхонь деталей машинобудування (із застосуванням нейросітьового аналізу) [Електронний ресурс] : монографія / Ковалевський С. В., Онищук С. Г., Тулупов В. І. та ін.

– Краматорськ : ДДМА, 2013. – 196 с. – Електрон. версія друк вид. – Режим доступу : [https://www.researchgate.net/profile/Sergey-Kovalevskiy/publication/279332346\\_Novi\\_kombinovani\\_metodi\\_obroblenna\\_robotich\\_poverhon\\_detalej\\_masinobuduvanna\\_iz\\_zastosuvannam\\_nejrositovogo\\_analizu/links/5592467c08ae15962d8e55a2/Novi-kombinovani-metodi-obroblenna-robotich-poverhon-detalej-masinobuduvanna-iz-zastosuvannam-nejrositovogo-analizu.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Sergey-Kovalevskiy/publication/279332346_Novi_kombinovani_metodi_obroblenna_robotich_poverhon_detalej_masinobuduvanna_iz_zastosuvannam_nejrositovogo_analizu/links/5592467c08ae15962d8e55a2/Novi-kombinovani-metodi-obroblenna-robotich-poverhon-detalej-masinobuduvanna-iz-zastosuvannam-nejrositovogo-analizu.pdf)

47. Покриття у приладобудуванні [Електронний ресурс] : монографія / Антонюк В. С., Тимчик Г. С., Бондаренко Ю. Ю. та ін. – Електронні текстові дані. – Київ : НТУУ «КПІ». Вид-во «Політехніка», 2016. – 360 с. – Режим доступу : <http://195.22.112.37/bitstream/ntb/36387/1/Pokryttya-u-pryladobud.pdf>

48. Технологічне забезпечення довговічності технічних трибосистем [Електронний ресурс] : монографія / Диха О. В., Свідерський В. П., Дробот О. С., Машовець Н. С. та ін. – Хмельницький : ХНУ, 2021. – 178 с. – Електрон. версія друк вид. – Режим доступу : [https://tam.khmnpu.edu.ua/wp-content/uploads/sites/37/2021/10/Mono\\_Dyha\\_2021.pdf](https://tam.khmnpu.edu.ua/wp-content/uploads/sites/37/2021/10/Mono_Dyha_2021.pdf)

49. Технологічне забезпечення якості продукції машинобудування [Електронний ресурс] / Фролов Є. А., Кравченко С. І., Попов С. В. та ін. – Полтава : 2019. – 204 с. – Електрон. версія друк вид. – Режим доступу : <http://dSPACE.pdaa.edu.ua:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/8616/5-BookManuscript-22-2-10-20191120.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

50. Технології відновлення і зміцнення деталей електрообладнання з використанням композиційних матеріалів» [Монографія]. Заблудський М. М., Наливайко В. А., Радько І. П. та ін. – Київ : «Видавничий центр НУБІП України», 2022. – 268 с. – Електрон. версія друк вид. – Режим доступу : <https://dglib.nubip.edu.ua/server/api/core/bitstreams/1c0a9b26-64cc-49de-8138-caa4486c0885/content>

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП</b> .....	3
<b>СТРУКТУРА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ</b> .....	5
<b>ЛЕКЦІЯ 1.</b>	
<b>Тема 1. ХАРАКТЕРИСТИКА КОЛЬОРОВИХ</b>	
<b>МЕТАЛІВ І СПЛАВІВ НА ЇХ ОСНОВІ</b> .....	10
1.1. Фізико-хімічні властивості кольорових металів .....	10
1.2. Алюміній і його властивості .....	11
<b>ЛЕКЦІЯ 2.</b>	
<b>Тема 2. ВЛАСТИВОСТІ МІДІ, НІКЕЛЮ ТА ТИТАНУ</b> .....	14
2.1. Мідь та її властивості .....	14
2.2. Нікель та його властивості .....	16
2.3. Титан та його властивості. ....	18
<b>ЛЕКЦІЯ 3.</b>	
<b>Тема 3. ЛЕГОВАНІ СПЛАВИ КОЛЬОРОВИХ МЕТАЛІВ</b> .....	21
3.1. Алюмінієві сплави .....	21
3.2. Мідні сплави .....	23
3.3. Титанові сплави .....	24
<b>ЛЕКЦІЯ 4.</b>	
<b>Тема 4.</b>	
<b>ЛЕКЦІЯ 5.</b>	
<b>Тема 5.</b>	
<b>ЛЕКЦІЯ 6.</b>	
<b>Тема 6.</b>	
<b>ЛЕКЦІЯ 7.</b>	
<b>Тема 7.</b>	

## **ЛЕКЦІЯ 8.**

### **Тема 8.**

**ТЛУМАЧНИЙ СЛОВНИК ТЕРМІНІВ .....**

**СПИСОК ДЖЕРЕЛ ІНФОРМАЦІЇ .....**

**Для приміток**



**Для приміток**

**Для приміток**

Навчальне видання

**Конспект лекцій**

з дисципліни «Зварювання спеціальних сталей і кольорових металів»  
для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка»  
освітньої програми «Зварювання та споріднені процеси і технології»  
першого (бакалаврського) рівня вищої освіти  
денної та дистанційної форм навчання  
закладів вищої освіти

Укладачі :        ДМИТРИК Віталій Володимирович

Відповідальний за випуск *проф.*

Роботу до видання рекомендувала *проф. Ольга Пономаренко.*

Комп'ютерна верстка *Г. А. Федоренко*

В авторській редакції

План 2024 р., поз.

Підписано до друку . . . 2024. Формат 60x84 1/16. Папір офсетний

Riso-друк. Гарнітура Times New Roman. Ум. друк. арк.

Наклад 50 прим. Зам. № . Ціна договірна

---

Видавничий центр НТУ «ХП».

вул. Кирпичова, 2, м. Харків-2, 61002

Свідоцтво про державну реєстрацію ДК № 5478 від 21.08.2017 р.

---

Електронна версія