

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 «ХП»

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»;

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 забезпечування 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,
1	2	3	4	5
1	ЛП	2	<p>Тема 1. Характеристика кольорових металів і сплавів на їх основі.</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>Тема 2. Властивості міді, нікелю та титану.</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	Тема 3. Леговані сплави кольорових металів 3.1. Алюмінієві сплави. 3.2. Мідні сплави. 3.3. Титанові сплави.	[1–10]
	С		<u>Завдання на самостійну роботу.</u>	
5	Л4	2	Тема 4. 4.1. 4.2. 4.3.	[1–10]
6	ПЗ2	4		[1–5]
	С		<u>Завдання на самостійну роботу.</u>	
7	Л5	2	Тема 5. 5.1. 5.2.	[1–10]

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

1	2	3	4	5
	С		<u>Завдання на самостійну роботу.</u>	
11	Л8	2	Тема 8. 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 (γ) 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: $\sigma_B = 78\text{--}108$ МПа; $\delta = 40\%$; $\psi = 80\%$;

Ti: $\sigma_B = 245\text{--}345$ 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/см³;

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 Fe₂O₃, Fe₃O₄ 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 ґратку ГЦК, $\gamma - Al = 2,7$ г/см³, $T_{пл} = 660$ °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 пошкоджують 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 σ_B до 148–176 МПа. При цьому відносне видовження (δ) 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 витриманні 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 σ_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 °С 0,086 см³/г. Механічні властивості міді залежать від її чистоти і ступіні пластичного деформування. Чиста мідь має невелику міцність і відносно високу пластичність ($\sigma_{\text{в}} = 216\text{--}235$ МПа, $\delta = 80\%$, $\psi = 60\%$) і добре зварюється. При підвищенні температури міцність міді зменшується. Відносно видовження δ і ψ практично не змінюються до температури 200 °С. Проте в інтервалі температур 200–600 °С пластичність міді різко знижується. А при нагріванні міді понад 600 °С 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 % $\sigma_{\text{в}}$ дорівнює 390–440 МПа, а відносно видовження δ знижується до 2–4 %. Пластична деформація підвищує на 3–5 % електричний опір міді. Рекристалізувальні процеси в zdeформовній міді починаються при

нагріванні до 200–230 °С. Для міді високої чистоти температура рекристалізування є близькою до 140 °С. Рекристалізування zdeформовної міді призводить до перетворювання структури, яка має волокнисту форму в структуру полієдричну. Критична ступінь деформації дорівнює 1–5 %. Знеміцнювання міді починається при температурі, яка перевищує 150 °С.

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 низьких 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 ²
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 феромагнітний. 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 α -модифікації з ГПУ ґраткою в β -модифікацію з ОЦК ґраткою

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 ґратку, 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				σ_b , МПа	δ , %
	O ₂	N ₂	H ₂	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. σ_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 відносять 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 обробленням 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	σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	Примітка
АМцМ	127,5	49,0	23	Без термічного оброблення
АМцП	157,0	127,5	10	Без термічного оброблення

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 дюралюміні. 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. $\sigma_b = 410\text{--}460$ МПа.

Жароміцний сплав типу АК (АК-4; АК-4-1 та ін.) працюють при температурі ≤ 300 °С. Такі сплави легують міддю, нікелем і залізом. Легування забезпечує утворення зміцнювальних фаз типу FeNiAl₉ у сплавах АК-4 і АК-4-1. Водночас 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 сплави 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 $\leq 4\text{--}5\%$. Латуні і томпак містять до 45% цинку. Проте його вміст в латуні, як правило не перевершує границю α -твердого розчину за діаграмою Cu–Zn (39% Zn). Такі однофазні α -латуні мають значну пластичність і задовільно зварюються. При вмісті Zn $> 39\%$ латуні набувають двофазну структуру ($\alpha + \beta$), мають підвищену твердість, добре обробляються у гарячому стані. Водночас при температурі $20\text{ }^\circ\text{C}$ 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 α - і β -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, %	σ_B , МПа	δ , %	Галузь використання
1	2	3	4	5
α -сплави				
BT1-00	–	300–450	30	

BT1-0	–	400–450	30	Зварні з'єднання конструкцій, з високою корозійною тривкістю $T_e \leq 250\text{--}300\text{ }^\circ\text{C}$
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 α -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	Штамповарні 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 β -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 α -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 ВТ6, ВТ14, ВТ3-1, ВТ22, добре деформуються в гарячому стані. Зварюються задовільно і потребують після зварювального термічного оброблення.

Псевдо β -сплави зварюються задовільно. Після зварювання з'єднання має високі пластичні властивості. Завдання отримати зварні з'єднання зі збігом на високому рівні σ_B і δ , ψ повністю не вирішена.

Питання для самоперевірення

Рекомендована література: [1–7].

ЛЕКЦІЯ

Тема

.1.

Питання для самоперевірення

Рекомендована література: [1–7].

ЛЕКЦІЯ

Тема

.1.

Питання для самоперевірення

Рекомендована література: [1–7].

ЛЕКЦІЯ

Тема

.1.

Питання для самоперевірення

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

Основна література

1.

ЗМІСТ

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

Тема 4.

ЛЕКЦІЯ 5.

Тема 5.

ЛЕКЦІЯ 6.

Тема 6.

ЛЕКЦІЯ 7.

Тема 7.

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