

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний університет кораблебудування

імені адмірала Макарова

Херсонський навчально-науковий інститут

Кафедра зварювання

T735



ЗАТВЕРДЖУЮ
Заступник директора
з навчальної роботи

к.т.н., проф. Дудченко О.М.

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Program of the Discipline

ТЕПЛОВІ ПРОЦЕСИ ЗВАРЮВАННЯ

THERMAL PROCESSES OF THE WELDING

рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

тип дисципліни – обов'язкова

мова викладання – українська

Херсон – 2025 рік

Робоча програма навчальної дисципліни «Теплові процеси зварювання» є однією із складових комплексної підготовки фахівців галузі знань G Інженерія, виробництво та будівництво спеціальності G9 Прикладна механіка, освітньо-професійна програма «Інжиніринг зварювання та споріднених процесів»

“20” 08 2025 року. – 31 с.

Розробник: Лой С.А., доцент НУК.

Проект робочої програми навчальної дисципліни «Теплові процеси зварювання» узгоджено з гарантом освітньої програми.

Гарант освітньої програми «Інжиніринг зварювання та споріднених процесів»

доцент _____ /Спіхтаренко В.В./

Проект робочої програми навчальної дисципліни «Теплові процеси зварювання» розглянуто на засіданні кафедри зварювання

Протокол № 01 від “26” 08 2025 року.

В.о. завідувача кафедри _____ /Матвієнко М.В./

Робочу програму навчальної дисципліни «Теплові процеси зварювання» затверджено методичною радою ХННІ НУК

Протокол № 01 від “27” 08 2025 року.

Голова МР ХННІ НУК _____ /Дудченко О.М./

ЗМІСТ

Вступ.....	4
1. Опис навчальної дисципліни.....	5
2. Мета навчальної дисципліни.....	6
3. Передумови для вивчення дисципліни.....	7
4. Очікувані результати навчання.....	8
5. Програма навчальної дисциплін.....	9
6. Методи навчання, засоби діагностики результатів навчання та методи їх демонстрування.....	21
7. Форми поточного та підсумкового контролю.....	22
8. Критерії оцінювання результатів навчання.....	25
9. Засоби навчання.....	27
10. Рекомендовані джерела інформації.....	27
Додаток.....	29

ВСТУП

Анотація

Дисципліна „Теплові процеси зварювання” являється складовою частиною загального курсу „Теорія процесів зварювання”. Вона покликана допомогти здобувачам вищої освіти (ЗВО) отримати знання про способи нагріву при зварюванні, фізичні процеси в зварювальних джерелах, методи вирішування диференційного рівняння теплопровідності для різноманітних зварюваних тіл та типів джерел, основи впливу нагріву-охолодження на структурні перетворення в металах при зварюванні; ознайомити студентів з фізико-технологічними основами, які відбуваються при формуванні концентрованих теплових зварювальних джерел нагріву та їх впливом на процеси плавлення, розповсюдження тепла та структурні перетворення при нагріванні матеріалів; розкрити фізичну сутність теплових явищ, які відбуваються при різних способах зварювання, їх впливу на властивості металу шва та зони термічного впливу.

Ключові слова: зварювання, теплопровідність, температурне поле, термічний цикл, структурні перетворення, способи нагріву, джерела тепла.

Abstract

The discipline "Thermal processes of welding" is a component of the general course "Theory of welding processes". It is designed to help students of higher education (SHE) gain knowledge about methods of heating during welding, physical processes in welding sources, methods of solving the differential equation of thermal conductivity for various welded bodies and types of sources, the basics of the influence of heating and cooling on structural transformations in metals during welding; to acquaint students with the physical and technological basics that occur during the formation of concentrated thermal welding heat sources and their influence on melting processes, heat propagation and structural transformations when materials are heated; to reveal the physical essence of thermal phenomena that occur during various welding methods, their influence on the properties of the weld metal and the thermally affected zone.

Keywords: welding, thermal conductivity, temperature field, thermal cycle, structural transformations, methods of heating, heat sources.

1 Опис навчальної дисципліни

Найменування показників	Галузь знань, спеціальність (освітня програма), освітній рівень	Характеристика навчальної дисципліни	
		денна форма навчання	заочна форма навчання
Кількість кредитів – 7,0	Галузь знань: G Інженерія, виробництво та будівництво	Обов'язкова	
Модулів – 2		Рік підготовки	
Змістових модулів – 4		2-й	2-й
Електронний адрес РПНД на сайті ХННІ НУК: http://kb.nuos.edu.ua/Licensing%20and%20accreditation%20specialties/2025%20Welding%20and%20related%20process%20engineering_b.html	Спеціальність: G9 Прикладна механіка освітня програма «Інжиніринг зварювання та споріднених процесів»	Семестри	
Загальна кількість годин – 210		4-й	4-й
Тижневих годин для денної форми навчання: аудиторних – 5; самостійної роботи ЗВО – 9		Лекції	
		30 год.	8 год.
		Практичні	
		30 год.	4 год.
Лабораторні			
15 год.	6 год.		
Самостійна робота			
135 год.	192 год.		
Вид контролю Екзамен, КР			
Форма контролю: комбінована (письмовий контроль, тестовий контроль)			
Освітньо-кваліфікаційний рівень: перший (бакалаврський)			

2 Мета та завдання навчальної дисципліни

Мета вивчення дисципліни «Теплові процеси зварювання» – надати знання про способи нагріву при зварюванні, фізичні процеси в зварювальних джерелах, методи вирішування диференційного рівняння теплопровідності для різноманітних зварюваних тіл та типів джерел, основи впливу нагріву-охолодження на структурні перетворення в металах при зварюванні; ознайомити ЗВО з фізико-технологічними основами, які відбуваються при формуванні концентрованих теплових зварювальних джерелах нагріву та їх впливом на процеси плавлення, розповсюдження тепла та структурні перетворення при нагріванні матеріалів; розкрити фізичну сутність теплових явищ, які відбуваються при різних способах зварювання, їх впливу на властивості металу шва та зони термічного впливу.

Метою вивчення дисципліни є формування у ЗВО згідно зі Стандартом вищої освіти України, затвердженим Наказом Міністерства освіти і науки України № 865 від 20.06.2019 р., та освітньо-професійною програмою першого (бакалаврського) рівня вищої освіти «Інжиніринг зварювання та споріднених процесів» таких компетентностей:

Інтегральна компетентність – здатність розв’язувати складні спеціалізовані задачі і практичні проблеми у зварюванні та споріднених процесах і технологіях або у процесі навчання, що передбачає застосування певних теорій та методів відповідних наук і характеризується комплексністю та невизначеністю умов.

Загальні компетентності:

ЗК 02. Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності.

ЗК 07. Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями.

ЗК 13. Здатність оцінювати та забезпечувати якість виконуваних робіт.

Фахові компетентності

ФК 01. Здатність аналізу матеріалів, конструкцій та процесів на основі законів, теорій та методів математики, природничих наук і прикладної механіки.

ФК 02. Здатність робити оцінки параметрів працездатності матеріалів, конструкцій і машин в експлуатаційних умовах та знаходити відповідні рішення для забезпечення заданого рівня надійності конструкцій і процесів, в тому числі і за наявності деякої невизначеності.

ФК 05. Здатність використовувати аналітичні та чисельні математичні методи для вирішення задач прикладної механіки, зокрема здійснювати розрахунки на міцність, витривалість, стійкість, довговічність, жорсткість в процесі статичного та динамічного навантаження з метою оцінки надійності деталей і конструкцій машин.

ФК 06. Здатність виконувати технічні вимірювання, одержувати, аналізувати та критично оцінювати результати вимірювань.

ФК 07. Здатність застосовувати комп'ютеризовані системи проектування (CAD), виробництва (CAM), інженерних досліджень (CAE) та спеціалізоване прикладне програмне забезпечення для вирішення інженерних завдань з прикладної механіки.

ФК 09. Здатність представлення результатів своєї інженерної діяльності з дотриманням загальноприйнятих норм і стандартів.

ФК 11. Здатність використовувати знання в галузі фізико-хімічних, термодформаційних та металургійних процесів для обґрунтованого призначення способів і технологічних параметрів зварювання і споріднених процесів.

ФК 12. Здатність використовувати знання в галузі механіки, електротехніки і теорії процесів зварювання, а також технології зварювання та споріднених процесів для призначення типового устаткування для реалізації технології зварювання, наплавлення та напилювання.

ФК 14. Здатність використовувати знання в галузі виробництва зварних конструкцій для забезпечення виконання технологічного процесу виготовлення типових зварних конструкцій.

Завдання вивчення дисципліни полягають в ознайомленні студентів з фізико-технологічними основами, які відбуваються при формуванні концентрованих теплових зварювальних джерел нагріву та їх впливом на процеси плавлення, розповсюдження тепла та структурні перетворення при нагріванні матеріалів.

У результаті вивчення дисципліни ЗВО повинен знати способи нагріву при зварюванні, фізичні процеси в зварювальних джерелах, методи вирішування диференційного рівняння теплопровідності для різноманітних зварюваних тіл та типів джерел, основи впливу нагріву-охолодження на структурні перетворення в металах при зварюванні; обирати ефективне зварювальне джерело енергії, розраховувати процеси нагріву і охолодження зварних з'єднань.

3 Передумови для вивчення дисципліни

Передумовами для опанування ЗВО даної дисципліни є попередньо вивчені дисципліни програми: фізика, вища математика, основи технології металів і матеріалознавство.

4 Очікувані результати навчання

Вивчення даної навчальної дисципліни передбачає формування та розвиток у ЗВО таких результатів навчання:

РН 01. Вибирати та застосовувати для розв'язання задач прикладної механіки придатні математичні методи.

РН 02. Використовувати знання теоретичних основ механіки рідин і газів, теплотехніки та електротехніки для вирішення професійних завдань.

РН 08. Знати і розуміти основи інформаційних технологій, програмування, практично використовувати прикладне програмне забезпечення для виконання інженерних розрахунків, обробки інформації та результатів експериментальних досліджень.

РН 09. Знати та розуміти суміжні галузі (механіку рідин і газів, теплотехніку, електротехніку, електроніку) і вміти виявляти міждисциплінарні зв'язки прикладної механіки на рівні, необхідному для виконання інших вимог освітньої програми.

РН 17. Знання про фізико-технологічні властивості процесів отримання з'єднань або поверхонь.

5 Програма навчальної дисципліни

Модуль 1

Змістовий модуль 1. Класифікація способів зварювання та джерел енергії. Фізичні основи процесів у дуговому розряді

Тема 1. Класифікація способів зварювання по виду використовуваних джерел енергії.

Джерела інформації: [1] - розділ 1, стор. 9 – 12; [3] - розділ 1, стор. 8 – 30.

Тема 2. Будова дугового розряду. Класифікація зварювальних дуг. Основні процеси в стовпі дуги. Пружні та не пружні зіткнення, довжина вільного пробігу частинок, процеси іонізації і рекомбінації.

Джерела інформації: [1] - розділ 2, стор. 21 – 23; [3] - розділ 2, стор. 31 - 47; [6] - розділ 3, стор. 88 - 90.

Тема 3. Термодинаміка плазми стовпа дуги, умови термодинамічної рівноваги, ступінь іонізації і рівняння Саха, ефективний потенціал іонізації для суміші газів в стовпі дуги.

Джерела інформації: [1] - розділ 2, стор. 25 – 28; [3] – розділ 2, стор. 48 - 59; [6] - розділ 3, с. 90 - 92.

Тема 4. Фізичні процеси в катодній зоні. Емісія електронів з поверхні тіл. Вплив температури, електричного поля та стану поверхні катода на емісію електронів. Побудова при анодній зоні дугового розряду і процеси перетворення енергії на аноді.

Джерела інформації: [1] - розділ 2, стор. 23 – 25; [3] – розділ 2, с. 60 - 73; [6] – розділ 3, с.93 - 95.

Тема 5. Баланс енергії дуги. Потужності, що виділяються і на катоді і аноді зварювальних дуг. Вплив власного магнітного поля на процеси в стовпі дуги.

Джерела інформації: [1] - розділ 2, стор. 28 – 30; [3] – розділ 2, с. 74 - 81; [6] – розділ 3, с. 96 - 102.

Тема 6. Магнітне поле зварювального контуру. Вплив зовнішніх магнітних полів на зварювальну дугу і технологічні процеси при зварюванні.

Джерела інформації: [3] – розділ 2, с. 82 - 86; [6] – розділ 3, с. 95 - 103.

Тема 7. Перенесення металу в дузі з плавким електродом. Сили, що діють на розплавлену краплю металу. Управління переносом металу.

Джерела інформації: [1] - розділ 2, стор. 33 – 46; [3] – розділ 2, с. 87 - 101.

Тема 8. Плазмотрони, електронно-променеві, фотонно-променеві джерела. Їх використання для зварювання, різання і нагріву.

Джерела інформації: [7] - розділ 3, стор. 195 – 198, 225 – 233, 257 – 277; [3] – розділ 3, с. 74 – 81, 102 - 103; [6] – розділ 3, с. 112 - 114.

Змістовий модуль 2. Теплові процеси при зварюванні

Тема 9. Диференційне рівняння теплопровідності, початкові і краєві умови при його рішенні. Вплив джерел нагріву, форми і розмірів виробів, теплофізичних властивостей матеріалів на рішення диференційного рівняння теплопровідності.

Джерела інформації: [1] - розділ 3, стор. 51 – 57; [3] – розділ 2, с. 139 - 157; [6] – розділ 4, с. 121 - 130.

Тема 10. Температурні поля і термічні цикли при дії миттєвих крапкових, лінійних і плоских джерел тепла в безкінечному тілі.

Джерела інформації: [2] - розділ 10, стор. 234 – 238; [3] – розділ 2, с. 158 - 162; [6] – розділ 4, с. 131 - 137.

Тема 11. Температурні поля і термічні цикли при дії крапкового джерела тепла, що рухається по поверхні напівнескінченого тіла. Особливості нагріву – охолодження в періоди теплонасичення і вирівнювання.

Джерела інформації: [2] - розділ 11, стор. 270 – 280; [3] – розділ 2, с. 167 - 170; [6] – розділ 4, с. 140 - 149.

Тема 12. Температурні поля і термічні цикли при дії рухомого лінійного джерела в тонких пластинах та плоского в стрижнях. Особливості розповсюдження тепла в періоди теплонасичення і вирівнювання. Вплив режимів зварювання та теплофізичних властивостей матеріалів на теплові процеси.

Джерела інформації: [2] - розділ 11, стор. 280 – 285; [3] – розділ 2, с. 171 - 178; [6] – розділ 4, с. 150 - 157.

Тема 13. Теплові процеси при наплавленні валика на масивне тіло та однопрохідному зварюванні пластин потужними швидкорухомого джерелами нагріву. Розрахунки термічних циклів, максимальних температур, швидкостей охолодження.

Джерела інформації: [2] - розділ 11, стор. 285 – 290; [3] – розділ 2, с. 179 - 182; [6] – розділ 4, с. 158 - 164.

Тема 14. Вплив обмеженості розмірів тіл на процеси розповсюдження тепла при зварюванні. Розподільні джерела тепла при зварюванні. Тепловий процес від миттєвого нормально-кругового джерела в нескінченній пластині і у напівнескінченому тілі. Температурне поле від дії рухомого нормально-кругового джерела.

Джерела інформації: [2] - розділ 11, стор. 290 – 293; [3] – розділ 2, с. 183 - 198; [6] – розділ 4, с. 165-170.

Тема 15. Практичне використання розрахункових формул при рішенні технологічних питань зварювання. Проплавлення зварюваного матеріалу. Розрахунки довжини і ширини зварювальної ванни. Повний тепловий і термічний к.к.д. проплавлення. Нагрів електродів і зварювального дроту дугою.

Джерела інформації: [2] - розділ 12, стор. 301 – 316; [3] – розділ 2, с. 216 - 232; [6] – розділ 4, с. 178 – 181; [9] – розділ 4, стор. 136 – 158.

Модуль 2. Курсова робота

Змістовий модуль 3. Розрахунки температурних полів та термічних циклів для джерел нагріву, що рухаються

Тема 1. Розрахунки температурного поля граничного стану на поверхні тіла і побудова ізотерм для температур: ліквідус, 1350 °С, критичної точки А3, 600 і 2000°С

Джерела інформації: [5] стор. 8 – 14, 18-21.

Тема 2. Визначення розподілу температур по осі "у", перпендикулярній осі переміщення джерела нагріву, коли довжина шва досягає 10 та 50 мм від початку зварювання.

Джерела інформації: [5] стор. 18-21.

Тема 3. Розрахунок термічного циклу в періоді теплонасичення та вирівнювання для точки, що нагрівається до 1350 °С, розташованої на відстані 50мм від початку зварювання.

Джерела інформації: [5] стор. 16-17, 22 - 24.

Змістовий модуль 4. Розрахунки температурних полів для джерел нагріву, що швидко рухаються. Визначення властивостей і структури високотемпературної ділянки ЗТВ

Тема 4. Розрахунок максимальних температур по осі "у", термічного циклу точки зони термічного впливу (ЗТВ), що нагрівається до 1350 °С, прийнявши джерело нагріву потужним швидкорухомим.

Джерела інформації: [5] стор. 24 - 27.

Тема 5. Розрахунок швидкості охолодження металу при температурі 550 °С. Визначення за допомогою діаграми Fe - Fe₃C довжини різних ділянок ЗТВ і по діаграмі термокінетичного перетворення аустеніту для даної марки сталі структури високо-температурних ділянок ЗТВ.

Джерела інформації: [5] стор. 28 - 31.

Тема 6. Оцінка зварюваності сталі на даному режимі і рекомендації по її поліпшенню.

Джерела інформації: [5] стор. 31 - 33.

5.1 Тематичний план навчальної дисципліни

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин									
	денна форма					заочна форма				
	усього	у тому числі				усього	у тому числі			
		л	л.р.	пр	с.р		л	л.р.	пр	с.р.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Модуль 1.										
Змістовий модуль 1. Класифікація способів зварювання та джерел енергії. Фізичні основи процесів у дуговому розряді										
Тема 1. Класифікація способів зварювання по виду використовуваних джерел енергії.	4	2	-	-	2		4	-	-	50
Тема 2. Будова дугового розряду. Класифікація зварювальних дуг. Основні процеси в стовпі дуги. Пружні та не пружні зіткнення, довжина вільного пробігу частинок, процеси іонізації і рекомбінації.	9	2	2	2	3			2	-	
Тема 3. Термодинаміка плазми стовпа дуги, умови термодинамічної рівноваги, ступінь іонізації і рівняння Саха, ефективний потенціал іонізації для суміші газів в стовпі дуги.	12	2	2	4	4			-	-	
Тема 4. Фізичні процеси в катодній зоні. Емісія електронів з поверхні тіл. Вплив температури, електричного поля та стану поверхні катоду на емісію електронів. Побудова при анодній зоні дугового розряду і процеси перетворення енергії на аноді.	12	2	2	4	4			-	-	

Тема 5. Баланс енергії дуги. Потужності, що виділяються на катоді і аноді зварювальних дуг. Вплив власного магнітного поля на процеси в стовпі дуги.	5	2	-	-	3			-	-	
Тема 6. Магнітне поле зварювального контуру. Вплив зовнішніх магнітних полів на зварювальну дугу і технологічні процеси при зварюванні.	5	2	-	-	3			-	-	
Тема 7. Перенесення металу в дузі з плавким електродом. Сили, що діють на розплавлену краплю металу. Управління переносом металу.	9	2	2	2	3			2	2	
Тема 8. Плазмотрони, електронно-променеві, фотонно-променеві джерела. Їх використання для зварювання, різання і нагріву.	4	2	-	-	2			-	-	
Разом за змістовим модулем 1	60	16	8	12	24	60	4	4	2	50
Змістовий модуль 2. Теплові процеси при зварюванні										
Тема 9. Диференційне рівняння теплопровідності, початкові і краєві умови при його рішенні. Вплив джерел нагріву, форми і розмірів виробів, теплофізичних властивостей матеріалів на рішення диференційного рівняння теплопровідності.	6	2	2	-	2		4	-	-	52
Тема 10. Температурні поля і термічні цикли при дії миттєвих крапкових, лінійних і плоских джерел тепла.	4	2	-	-	2			-	-	
Тема 11. Температурні поля і термічні цикли при дії крапкового джерела тепла,	7	2	-	2	3			-	-	

що рухається по поверхні напівнескінченного тіла. Особливості нагріву–охолодження в періоди теплонасичення і вирівнювання.									
Тема 12. Температурні поля і термічні цикли при дії рухомого лінійного джерела в тонких пластинах та плоского в стрижнях. Особливості розповсюдження тепла в періоди теплонасичення і вирівнювання. Вплив режимів зварювання та теплофізичних властивостей матеріалів на теплові процеси.	12	2	-	6	4			-	-
Тема 13. Теплові процеси при наплавленні валика на масивне тіло та однопрохідному зварюванні пластин потужними швидкорухомого джерелами нагріву. Розрахунки термічних циклів, максимальних температур, швидкостей охолодження.	13	2	3	4	4			-	2
Тема 14. Вплив обмеженості розмірів тіл на процеси розповсюдження тепла при зварюванні. Розподільні джерела тепла при зварюванні. Тепловий процес від миттєвого нормально-кругового джерела в нескінченній пластині і у напівнескінченному тілі. Температурне поле від дії рухомого нормально-кругового джерела.	4	2	-	-	2			-	-
Тема 15. Практичне використання розрахункових формул при рішенні	14	2	2	6	4			2	-

технологічних питань зварювання. Проплавлення зварюваного матеріалу. Розрахунки довжини і ширини зварювальної ванни. Повний тепловий і термічний к.к.д. проплавлення. Нагрів електродів і зварювального дроту дугою.										
Разом за змістовим модулем 2	60	14	7	18	21	60	4	2	2	52
Разом за модулем 1	120	30	15	30	45	120	8	6	4	102
Модуль 2 Курсова робота										
Змістовий модуль 1. Розрахунки температурних полів та термічних циклів для джерел нагріву, що рухаються										
Розділ 1. Розрахунки температурного поля граничного стану на поверхні тіла і побудова ізотерм для температур: ліквідус, 1350 °С, критичної точки А ₃ , 600 і 200 °С.	15	-	-	-	15	45				45
Розділ 2. Визначення розподілу температур по осі "у", перпендикулярній осі переміщення джерела нагріву, коли довжина шва досягає 10 та 50 мм від початку зварювання.	15	-	-	-	15					
Розділ 3. Розрахунок термічного циклу в періоди теплонасичення та вирівнювання для точки, що нагрівається до 1350 °С, розташованої на відстані 50мм від початку зварювання.	15	-	-	-	15					
Разом за змістовим модулем 1	45	-	-	-	45	45	-	-	-	45
Змістовий модуль 2. Розрахунки температурних полів для джерел нагріву, що швидко рухаються. Визначення властивостей і структури високотемпературної ділянки ЗТВ										

Розділ 1. Розрахунок максимальних температур по осі "у", термічного циклу точки зони термічного впливу (ЗТВ), що нагрівається до 1350 °С, прийнявши джерело нагріву потужним швидкорухомим.	15	-	-	-	15	45				45
Розділ 2. Розрахунок швидкості охолодження металу при температурі 550 °С. Визначення за допомогою діаграми Fe - Fe ₃ C довжини різних ділянок ЗТВ і по діаграмі термодинамічного перетворення аустеніту для даної марки сталі структури високо-температурних ділянок ЗТВ.	15	-	-	-	15					
Розділ 3. Оцінка зварюваності сталі на даному режимі і рекомендації по її поліпшенню.	13	-	-	-	13					
Розділ 4. Захист курсової роботи	2				2					
Разом за змістовим модулем 2	45	-	-	-	45	45	-	-	-	45
Разом за модулем 2	90	-	-	-	90	90	-	-	-	90
Всього з дисципліни	210	30	15	30	135	210	8	6	4	192

5.2 Теми лабораторних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин	
		денна форма	заочна форма
1	Дослідження електричної зварювальної дуги. <i>Джерела інформації:</i> [4], робота № 1.	2	-
2	Дослідження зварювальної дуги змінного струму. <i>Джерела інформації:</i> [4], робота № 2.	2	2
3	Дослідження особливостей горіння дуги на змінному струмі неплавким вольфрамовим електродом. <i>Джерела інформації:</i> [4], робота № 3.	2	-
4	Визначення технологічних характеристик при ручному електродуговому зварюванні покритими електродами. <i>Джерела інформації:</i> [4], робота № 4.	2	2
5	Визначення ефективного к.к.д. зварювального джерела нагріву. <i>Джерела інформації:</i> [4], робота № 5.	2	-
6	Визначення температурних полів і термічних циклів при зварюванні тонких пластин і масивних тіл великого протягу. <i>Джерела інформації:</i> [4], робота № 6.	3	-
7	Визначення розподілу температур нагрівання електрода. <i>Джерела інформації:</i> [4], робота № 8.	2	2
Разом :		15	6

Кожне завдання з лабораторної роботи виконується студентом індивідуально за консультативною допомогою науково-педагогічного працівника (НПП). Під час підготовки до виконання та під час проведення лабораторної роботи ЗВО повинен закріпити теоретичний лекційний і практичний матеріал, навчитися самостійно працювати з літературою.

5.3 Теми практичних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин	
		денна форма	заочна форма
1.	Розрахунок часу існування іонів та термоелектронної емісії після обриву дуги змінного струму <i>Джерела інформації:</i> [4], стор. 8 – 10.	2	-
2.	Розрахунок ефективного потенціалу та ступеня іонізації для дуги при нормальному тиску. <i>Джерела інформації:</i> [3] – розділ 2, стор. 44 – 55.	4	
3.	Розрахунок різниці напруг у двох послідовних	2	-

	напівперіодах дуги змінного струму неплавким вольфрамовим електродом <i>Джерела інформації:</i> [4], стор. 11 – 15.		
4.	Розрахунок технологічних характеристик при ручному електродуговому зварюванні покритими електродами <i>Джерела інформації:</i> [4], стор. 15 – 17.	2	2
5.	Розрахунки повної та ефективної теплової потужності для різних способів зварювання. <i>Джерела інформації:</i> [1] - розділ 2, стор. 20 – 21, розділ 3, стор. 57 – 59; [2] – розділ 11, стор. 262 – 269.	2	-
6.	Розрахунок максимальних температур та термічного циклу точки, що нагрівається до температурі 1350 °С при дії джерел, що швидко рухаються. <i>Джерела інформації:</i> [5], стор. 24 – 27.	2	-
7.	Розрахунок температурного поля граничного стану на поверхні тіла та побудова ізотерм температур: ліквідусу, 1350 °С, критичної точки А ₃ . <i>Джерела інформації:</i> [5], стор. 8 – 14, 18 – 21.	4	-
8.	Визначення температури в період теплового насичення для точок осі “у” при різній довжині шва (валика). <i>Джерела інформації:</i> [5], стор. 14 – 17, 21 – 22.	2	-
9	Розрахунок термічного циклу в період теплового насичення і вирівнювання для точки, що нагрівається при зварюванні (наплавленні) до 1350 °С. <i>Джерела інформації:</i> [5], стор. 16 – 17, 21 – 24.	2	-
10	Визначення швидкості охолодження металу при температурі 550 °С та часу охолодження від А ₃ до М _н . <i>Джерела інформації:</i> [5], стор. 30 – 33.	2	2
11	Визначення довжини різних ділянок зони термічного впливу та структури високотемпературної ділянки. <i>Джерела інформації:</i> [5], стор. 28 – 30, 51 – 62.	2	-
12	Розрахунки нагріву та плавлення електродного дроту. Використання теплових розрахунків згідно умов зварювання. <i>Джерела інформації:</i> [2] - розділ 12, стор. 301 – 316.	4	-
Разом :		30	4

5.4 Самостійна робота

Самостійна робота студента передбачає опрацювання лекційного матеріалу, підготовку до виконання лабораторних та практичних занять, опрацювання окремих питань тем змістових модулів, виконання завдання курсової роботи, виконання та підготовку до захисту лабораторних робіт, підготовку до поточного (модульного) контролю.

№ з/п	Назва теми	Кількість годин	
		денна форма	заочна форма
Модуль 1			
1.	Класифікація способів зварювання по виду використовуємих джерел енергії.	2	5
2.	Будова дугового розряду. Класифікація зварювальних дуг. Основні процеси в стовпі дуги. Пружні та не пружні зіткнення, довжина вільного пробігу частинок, процеси іонізації і рекомбінації.	3	7
3.	Термодинаміка плазми стовпа дуги, умови термодинамічної рівноваги, ступінь іонізації і рівняння Саха, ефективний потенціал іонізації для суміші газів в стовпі дуги.	4	6
4.	Фізичні процеси в катодній зоні. Емісія електронів з поверхні тіл. Вплив температури, електричного поля та стану поверхні катода на емісію електронів. Побудова при анодній зоні дугового розряду і процеси перетворення енергії на аноді.	4	6
5.	Баланс енергії дуги. Потужності, що виділяються на катоді і аноді зварювальних дуг. Вплив власного магнітного поля на процеси в стовпі дуги.	3	6
6.	Магнітне поле зварювального контуру. Вплив зовнішніх магнітних полів на зварювальну дугу і технологічні процеси при зварюванні.	3	6
7.	Перенесення металу в дузі з плавким електродом. Сили, що діють на розплавлену краплю металу. Управління переносом металу.	3	8
8.	Плазмотрони, електронно-променеві, фотонно-променеві джерела. Їх використання для зварювання, різання і нагріву.	2	6
9.	Диференційне рівняння теплопровідності, початкові і краєві умови при його рішенні. Вплив джерел нагріву, форми і розмірів виробів, теплофізичних властивостей матеріалів на рішення диференційного рівняння теплопровідності.	2	8
10.	Температурні поля і термічні цикли при дії миттєвих крапкових, лінійних і плоских джерел тепла.	2	7
11.	Температурні поля і термічні цикли при дії крапкового джерела тепла, що рухається по поверхні напівнескінченного тіла. Особливості нагріву–охолодження в періоди теплонасичення і вирівнювання.	3	7
12.	Температурні поля і термічні цикли при дії рухомого лінійного джерела в тонких пластинах та плоского в стрижнях. Особливості розповсюдження тепла в періоди	4	8

	теплонасичення і вирівнювання. Вплив режимів зварювання та теплофізичних властивостей матеріалів на теплові процеси.		
13.	Теплові процеси при наплавленні валика на масивне тіло та однопрохідному зварюванні пластин потужними швидкорухомого джерелами нагріву. Розрахунки термічних циклів, максимальних температур, швидкостей охолодження.	4	7
14.	Вплив обмеженості розмірів тіл на процеси розповсюдження тепла при зварюванні. Розподільні джерела тепла при зварюванні. Тепловий процес від миттєвого нормально-кругового джерела в нескінченній пластині і у напівнескінченному тілі. Температурне поле від дії рухомого нормально-кругового джерела.	2	7
15.	Практичне використання розрахункових формул при рішенні технологічних питань зварювання. Проплавлення зварюваного матеріалу. Розрахунки довжини і ширини зварювальної ванни. Повний тепловий і термічний к.к.д. проплавлення. Нагрів електродів і зварювального дроту дугою.	4	8
Разом за модулем 1:		45	102
Модуль 2 Курсова робота			
1.	Розрахунки температурного поля граничного стану на поверхні тіла і побудова ізотерм для температур: ліквідус, 1350 °С, критичної точки А ₃ , 600 і 200 °С.	15	15
2.	Визначення розподілу температур по осі "у", перпендикулярній осі переміщення джерела нагріву, коли довжина шва досягає 10 та 50 мм від початку зварювання.	15	15
3.	Розрахунок термічного циклу в періоди теплонасичення та вирівнювання для точки, що нагрівається до 1350 °С, розташованої на відстані 50мм від початку зварювання.	15	15
4.	Розрахунок максимальних температур по осі "у", термічного циклу точки зони термічного впливу (ЗТВ), що нагрівається до 1350 °С, прийнявши джерело нагріву потужним швидкорухомим.	15	15
5.	Розрахунок швидкості охолодження металу при температурі 550 °С. Визначення за допомогою діаграми Fe - Fe ₃ C довжини різних ділянок ЗТВ і по діаграмі термодинамічного перетворення аустеніту для даної марки сталі структури високо-температурних ділянок ЗТВ.	15	15
6.	Оцінка зварюваності сталі на даному режимі і рекомендації по її поліпшенню.	13	13
7	Захист курсової роботи	2	2
Разом за модулем 2:		90	90
Разом за дисципліну:		135	192

5.5 Розподіл годин самостійної роботи

№ з/п	Назва теми	Кількість годин	
		денна форма	заочна форма
4-й семестр			
1	Підготовка до лекцій	5	15
2	Підготовка до лабораторних робіт	14	6
3	Підготовка до практичних робіт	11	4
4	Підготовка до поточного модульного контролю	5	-
5	Виконання контрольної роботи	-	15
6	Самостійне вивчення тем, що не входять до лекційного курсу	5	47
7	Курсова робота	90	90
8	Підготовка до екзамену	5	15
Разом за дисципліну:		135	192

6 Методи навчання, засоби діагностики результатів навчання та методи їх демонстрування

Методи навчання:

для всіх видів занять:

- робота з літературою - опрацювання різних видів джерел, спрямоване на формування нових знань, їх закріплення, вироблення вмій і навичок та реалізацію контрольної-корекційної функції в умовах формальної освіти;

для лекційних занять:

- лекція - усний виклад навчального матеріалу, який характеризується великим обсягом, складністю логічних побудов, сконцентрованістю розумових образів, доведень і узагальнень;

- відеометод - використання відеоматеріалів для активізації наочнотуттєвого сприймання; забезпечує більш легке і міцне засвоєння знань в їх образно-понятійній цілісності та емоційній забарвленості;

для лабораторних занять:

- лабораторна робота - метод поглиблення і закріплення теоретичних знань шляхом дослідження питань, що розглядаються в роботі;

для практичних занять:

- практичне заняття - метод поглиблення і закріплення теоретичних знань шляхом виконання розрахунків та оцінювання їх результатів.

Засобами оцінювання та методами демонстрування результатів навчання є:

– звіти з виконання лабораторної роботи та презентації результатів виконаних робіт на комп'ютері (або письмовий контроль результатів);

– звіти з виконання практичної роботи та презентації результатів виконаних практичних робіт (письмовий контроль результатів);

– усні відповіді на лабораторних та практичних заняттях;

- поточні модульні контрольні роботи у формі тестування (тестовий контроль);;
- екзамен, курсова робота

7 Форми поточного та підсумкового контролю

Досягнення студента оцінюються за 100-бальною системою Університету. Підсумкова оцінка навчального курсу включає в себе оцінки з поточного контролю і оцінки заключного іспиту. Питома вага заключного іспиту в загальній системі оцінок – 40 балів. Право здавати заключний іспит дається студенту, який з урахуванням максимальних балів проміжних оцінок і заключного іспиту набирає не менше 60 балів. Підсумкова оцінка навчального курсу є сумою проміжних оцінок і оцінки іспиту. Поточний контроль проводиться на кожному лабораторному й практичному занятті та за результатами виконання завдань самостійної роботи. Він передбачає оцінювання теоретичної підготовки здобувачів вищої освіти із зазначеної теми (у тому числі, самостійно опрацьованого матеріалу) під час виконання практичних завдань та лабораторних робіт. Зарахування кредитів навчального курсу можливо тільки після досягнення результатів, запланованих РПНД, що виражається в одній з позитивних оцінок, передбачених чинним законодавством.

7.1 Форми контролю результатів навчальної діяльності здобувачів вищої освіти та їх оцінювання

Критерії оцінювання лабораторних та практичних робіт

Кількість балів	Критерії оцінювання
2	Робота виконана у встановлений термін. Виконана самостійно, чітко сформульовані цілі, завдання. Застосовувалися коректні методи обробки отриманих результатів. У висновках проведена коректна інтерпретація результатів
1,6	Робота виконана у встановлений термін. Здобувач вищої освіти виконує роботу згідно з інструкцією, іноді після консультації викладача в цілому правильно складає звіт та робить висновки
1,2	Робота виконана з порушенням встановлених термінів. Здобувач вищої освіти виконує роботу згідно з інструкцією, іноді після консультації викладача; складає звіт, що містить неточності у висновках та помилки
0,8	Робота виконана з порушенням встановлених термінів. Студент виконує лабораторну згідно з інструкцією; складений звіт містить неточності у висновках та помилки

0,4	Здобувач вищої освіти складає скорочену умову завдання, робить виконання роботи частково
0	Здобувач вищої освіти не виконав роботу

7.2 Критерії оцінювання поточного модульного контролю знань у формі тестування

Правильних відповідей, %	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10
Бал (ПМК1)	10	9	8	7	4	5	4	3	2	1
Бал (ПМК2)	10	9	8	7	4	5	4	3	2	1

7.3 Критерії оцінювання контрольної роботи (для заочної форми навчання)

Бал	Критерій оцінювання
50	Робота виконана у встановлений термін. Матеріал викладено у достатньому обсязі, аргументовано і у правильній послідовності. Під час захисту роботи ЗВО вільно орієнтується в матеріалах
30	Робота виконана у встановлений термін. Матеріал викладено у достатньому обсязі, але частка програм наведена без результатів розрахунків. Під час захисту роботи ЗВО вільно орієнтується в матеріалах
10	Робота виконана з порушенням встановлених термінів. Матеріал викладено у правильній послідовності, але недостатньо повно, більша частка програм наведена без результатів розрахунків. Під час захисту роботи ЗВО слабо орієнтується в матеріалах
0	Роботу не виконано

Критерії оцінювання підсумкового контролю

Бал	Критерії оцінювання
40	Студент зробив роботу самостійно без помилок та відповідає на теоретичні питання без помилок
30	Студент зробив роботу самостійно без помилок, але відповіді на теоретичні питання не повні
20	Студент зробив роботу з незначними помилками, але відповідає на теоретичні питання без помилок
10	Студент зробив роботу з суттєвими помилками, але відповідає на теоретичні питання без помилок
0	Студент не зробив роботу і не відповідає на теоретичні питання без помилок

Узагальнюючі результати поточного контролю знань

Форма контролю	Максимальна кількість балів	
	денна форма	заочна форма
4-й семестр		
Виконання і захист лабораторних робіт	7 роб. × 2 бала = 14 балів	3 роб. × 2 бала = 6 балів
Виконання і захист практичних робіт	10 роб. × 2 бала = 20 балів 2* роб. × 3 бала = 6 балів	2 роб. × 2 бала = 4 бала
Поточний модульний контроль (ЗМ1 і ЗМ2)	2 МКР × 10 балів = 20 балів	-
Виконання контрольної роботи	-	1 роб. × 50 балів = 50 балів
Всього	60	60

*Практичні роботи 7, 12 оцінюються в 3 бали.

7.4 Критерії оцінювання курсової роботи

Параметри оцінювання	Кількість балів	Критерії оцінювання за бальною шкалою
Пояснювальна записка	40	Зміст роботи відповідає обраній темі; наявність чітко сформульованої проблеми; адекватність дослідження предметної галузі; визначення ступеню розробленості проблеми дослідження; наявність посилань на використану літературу та відповідність оформлення роботи стандарту; грамотне використання мови програмування, відповідність висновків меті та завданням курсової роботи. В роботі представлено розроблене програмне забезпечення, яке дозволяє отримати перевірені результати. Робота виконувалась систематично та вчасно подана на перевірку керівнику у відповідності із планом виконання курсової роботи.
	35	Зміст роботи відповідає обраній темі; наявність чітко сформульованої проблеми; адекватність дослідження предметної галузі; визначення ступеню розробленості проблеми дослідження; наявність посилань на використану літературу та відповідність оформлення роботи стандарту; грамотне використання мови програмування, відповідність висновків меті та завданням курсової роботи. В роботі представлено розроблене програмне забезпечення, яке дозволяє отримати перевірені результати. Робота виконувалась не систематично та подана на перевірку керівнику з порушенням плану виконання курсової роботи.
	30	Зміст роботи відповідає обраній темі; але має поверхневий аналіз, матеріал викладено непослідовно та

		необґрунтовано. В роботі представлено розроблене програмне забезпечення, достовірність результатів роботи якого визиває сумніви. Робота виконувалась не систематично та подана на перевірку керівнику з порушенням плану виконання курсової роботи.
	20	Робота, оформлена за вимогами, які пред'являються до курсових робіт, але має недостатньо критичний аналіз, матеріал викладено непослідовно та необґрунтовано. Основні тези роботи розкриті, але недостатньо обґрунтовані, нечітко сформульовано висновки, пропозиції і рекомендації. В роботі представлено розроблене програмне забезпечення достовірність результатів роботи якого визиває сумніви.
	15	Студент відтворює значну частину теоретичного матеріалу, виявляє знання і розуміння основних положень і лише за допомогою викладача може виправляти помилки, серед яких є значна кількість суттєвих. В роботі не представлено розроблене діюче програмне забезпечення.
	5	Робота не носить дослідницького характеру, не має аналізу і не відповідає вимогам, які пред'являються до курсових робіт. У роботі немає висновків або вони носять декларативний характер. В роботі не представлено розроблене діюче програмне забезпечення.
Ілюстративна частина	20	Презентація гарно організована, доповідь супроводжується ілюстративними матеріалами, матеріали ілюстрації підготовлені відповідно до вимог що висуваються.
	15	Презентація гарно організована, доповідь супроводжується ілюстративними матеріалами, на які не завжди дано посилання у доповіді або ілюстративні матеріали оформлені з незначними зауваженнями.
	10	Ілюстративні матеріали низької якості, в організації презентації спостерігається невпевненість.
	5	Ілюстративні матеріали низької якості, в доповіді немає посилань на ілюстративні матеріали.
Захист роботи	40	Доповідь логічно побудована, студент чітко та стисло викладає основні результати виконання роботи, показує глибокі знання з питань теми, оперує даними дослідження, вносить пропозиції по темі дослідження, під час доповіді вміло використовує презентацію, впевнено і докладно відповідає на поставлені запитання.
	35	Студент спроможний чітко та стисло викласти основні результати виконання роботи, дає правильні відповіді на всі запитання, але не завжди упевнений в аргументації, чи не завжди коректно її формулює.
	30	Студент спроможний чітко та стисло викласти основні результати виконання роботи, належно обґрунтовує

		положення роботи, але допускає неточності у відповідях на запитання.
	25	Студент спроможний чітко та стисло викласти основні результати виконання роботи але допускає суттєві неточності у відповідях на запитання, не завжди належно обґрунтовує положення роботи.
	20	Студент невпорядковано викладає основні результати виконання роботи, намагається дати відповідь на поставлені запитання і робить спроби аргументувати положення роботи.
	15	Студент невпорядковано викладає основні результати виконання роботи, робить спроби аргументувати положення роботи, надає неповні, поверхові, необґрунтовані відповіді на поставлені питання.
	10	Студент демонструє задовільні знання з теми виконання роботи, але не може впевнено й чітко відповісти на додаткові запитання членів комісії, та належно обґрунтувати положення роботи.
	5	Студент невпорядковано викладає основні результати виконання роботи, не спроможний дати відповідь на запитання, відстоювати свою позицію

8 Критерії оцінювання результатів навчання

Змістовий модуль	Тема	Денна форма		Заочна форма	
		Вид роботи	Бали	Вид роботи	Бали
1	2	3	4	5	6
4-й семестр					
ЗМ 1	T2	Лабораторна робота № 1 Практична робота № 1	2 2	Лабораторна робота № 1	2
	T3	Лабораторна робота № 2 Практична робота № 2	2 2	-	-
	T4	Лабораторна робота № 3 Практична робота № 3 Практична робота № 4	2 2 2	-	-
	T7	Лабораторна робота № 4 Практична робота № 5	2 2	Лабораторна робота № 4 Практична робота № 5	2 2
	T1- T8	Поточний модульний контроль	10	-	-
ЗМ 2	T9	Лабораторна робота № 5	2	-	-
	T11	Практична робота № 6	2	-	-

Змістовий модуль	Тема	Денна форма		Заочна форма	
		Вид роботи	Бали	Вид роботи	Бали
1	2	3	4	5	6
	Т12	Практична робота № 7	3	-	-
		Практична робота № 8	2		
	Т13	Лабораторна робота № 6	2	Практична робота № 10	2
		Практична робота № 9	2		
		Практична робота № 10	2		
Т15	Лабораторна робота № 7	2	Лабораторна робота № 7	2	
	Практична робота № 11	2			
	Практична робота № 12	3			
Т9-Т15	Поточний модульний контроль	10	-	-	
Т1-Т15	-	-	Контрольна робота	50	
Підсумковий контроль	Екзамен	40	Екзамен	40	
Сума		100		100	

8.1 Критерії оцінювання курсової роботи

Пояснювальна записка	Ілюстративна частина	Захист роботи	Сума
до 40	до 20	до 40	100

9 Засоби навчання

Технічні засоби навчання: мультимедійний проектор, персональні комп'ютери з підключенням до мережі Інтернет.

При проведенні занять за дистанційною формою навчання (у період військового стану) використовуються дистанційні платформи й інформаційно-комунікаційні технології (Moodle, Google Classroom, DingTalk, ZOOM Cloud

Meetings, Skype, Viber, WeChat, Telegram, соціальні мережі тощо).

10 Рекомендовані джерела інформації

Основна література

1. Конспект лекцій з дисципліни «Теорія процесів зварювання» для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня зі спеціальності 131 «Прикладна механіка» за освітньо-професійною програмою «Прикладна механіка» усіх форм навчання / Укл. Д.Г.Носов – Кам'янське, ДДТУ, 2019. - 171 с.
2. Свідерський, В.П. Термодинаміка і теплові процеси зварювання : навч. посібник / В.П. Свідерський, В.С. Яремчук. – Хмельницький : ХНУ, 2014. – 375 с.
3. Теория сварочных процессов [Текст] /Под редакцией В.В. Фролова. – М.: Высшая школа, 1988. - 559 с.
4. Лебедев, Ю.М. Збірник лабораторних робіт з курсу "Термодинаміка і теплові процеси зварювання" [Текст] / Ю.М. Лебедев, С.А. Лой, С.М. Самохін. - Миколаїв: УДМТУ, 2003. - 40 с.
5. Лебедев, Ю.М. Розрахунки теплових процесів при зварюванні [Текст]: методичні вказівки до виконання курсової роботи / Ю.М. Лебедев, В.Ф. Лебедева, С.А. Лой. – Миколаїв: НУК, 2007. - 64 с.
6. Петров, Г.Л. Теория сварочных процессов [Текст]: учебник для вузов/ Г.Л. Петров, А.С. Тумарев. – М.: Высшая школа, 1977. - 392 с.
7. Спеціальні способи зварювання [Текст]: підручник/ І.В. Кривцун, В.В. Квасницький, С.Ю. Максимов, Г.В. Єрмолаєв, за загальною редакцією академіка НАН України, доктора технічних наук, професора Б.Є. Патона. - Миколаїв: НУК, 2017. - 348 с.

Допоміжна література

8. Шоршоров, М.Х. Фазовые превращения и изменение свойств стали при сварке [Текст]: атлас/ М.Х. Шоршоров, В.В. Белов – М.: Наука, 1972. - 220 с.
9. Багрянский, К.В. Теория сварочных процессов [Текст] / К.В. Багрянский, З.А. Добротина, К.К. Хренов. – Киев: Вища школа, 1976. – 424 с.

Інформаційні ресурси

1. Херсонський навчально-науковий інститут Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова. – Режим доступу: <http://www.kb.nuos.edu.ua> (дата звернення: 25. 10.2023 р.).

2. Електронні інформаційні ресурси НБУВ. – Режим доступу:
<http://www.irbis-nbuv.gov.ua> (дата звернення: 25. 10.2023 р.).

Розробник, доцент НУК



С.А. Лой

Питання для модульного контролю**Модуль 1**

4-й семестр

Контрольні питання до 1-го змістового модуля

1. Фізико-хімічні властивості утворення зварних, паяних, клейових з'єднань.
2. Види енергії, що використовують при зварюванні.
3. Способи електричного зварювання.
4. Електричний розряд. Види розряду.
5. Які види емісії електронів спостерігаються з поверхні катода зварювальної дуги?
6. Суть іонізації газу. Потенціал і ступінь іонізації.
7. Які параметри впливають на умови досягнення термодинамічної рівноваги стовпа дуги?
8. Як оцінити довжину вільного пробігу частинок в стовпі дуги?
9. Рухливість заряджених частинок в електричному полі.
10. Енергетичний баланс зварювальної дуги.
11. Особливості зварювальної дуги змінного струму.
12. Вплив магнітного поля на зварювальну дугу.
13. Для яких цілей впливають на зварювальну дугу зовнішнім магнітним полем?
14. Вплив параметрів режиму зварювання, теплофізичних властивостей і розміру виробу на ефективну теплову потужність.
15. Коефіцієнти розплавлення, наплавлення, втрат при зварюванні плавким електродом.
16. Які основні сили діють на краплю розплавленого металу при зварюванні плавким електродом?
17. Як досягається стиснення стовпа дуги і де воно використовується?
18. Тепловий баланс для різних способів зварювання.
19. Класифікація зварювальних джерел енергії.
20. Використання хімічної енергії при зварюванні.
21. Електрична провідність твердих тіл, розплавів, газів.
22. Електронна емісія, її суть і види.
23. Які види іонізації спостерігаються в стовпі дуги?
24. Як розрахувати ефективний потенціал іонізації?
25. Який зв'язок потенціалу іонізації з розривною довжиною дуги?
26. Як оцінити енергію, яка виділяється на катод і аноді?
27. Зварювальна дуга. Процеси, які протікають в її областях.

28. Вольт-амперна характеристика зварювальної дуги.
29. Способи підвищення стійкості дуги змінного струму.
30. Технологічні особливості зварювальної дуги при різних способах зварювання.
31. Які види перенесення електродного металу спостерігаються при зварюванні?
32. Як розрахувати силу пінч-ефекту, діючу на краплю розплавленого металу?
33. Чим викликана необхідність зварювання алюмінію на змінному струмі або на постійному, але зворотної полярності?
34. Теплова потужність, ефективний ККД нагріву, погонна енергія зварювання.
35. Вплив компонентів, що входять до складу електродного покриття, на процес іонізації.
36. Чому електронно-променеве зварювання проводиться у вакуумній камері? Переваги і недоліки електронно-променевого зварювання.
37. Які переваги і недоліки зварювання на змінному струмі?
38. Методи визначення ефективного ККД нагріву.
39. Як відрізняється ККД нагріву при зварюванні плавким і неплавким електродами?
40. Як розраховується густина струму при різних видах емісії електронів?
41. Вплив домішок на поверхні катода на емісію електронів.
42. Фотонно-променеві джерела нагріву для зварювання і різання металу.
43. Плазмово-дугові джерела нагріву у зварювальному виробництві.

Контрольні питання до 2-го змістового модуля

1. Типи джерел тепла і схеми тіл, що нагріваються, при вирішенні теплових задач зварювання.
2. Температурне поле (ТП) і термічний цикл при зварюванні.
3. ТП при дії миттєвого зосередженого точкового джерела тепла на поверхні масивного тіла.
4. ТП при дії миттєвого зосередженого плоского джерела тепла в нескінченному тілі і стрижні.
5. Миттєве лінійне джерело теплоти в нескінченній пластині.
6. Термічні цикли в періоди теплового насичення і вирівнювання при нагріві рухомими джерелами тепла.
7. Термічний цикл і максимальні температури в масивному тілі при дії потужного швидко рухомого джерела тепла.
8. Термічний цикл і максимальні температури при автоматичному однопрохідному зварюванні пластин.
9. ТП рухомого нормально-кругового джерела тепла.
10. У яких випадках застосовується метод відображення?
11. Розплавлення електрода. Основні характеристики процесу розплавлення.

12. Як оцінити довжину зварювальної ванни?
13. Способи передачі тепла в твердому тілі і на його поверхні.
14. Як за допомогою діаграми термодинамічного перетворення аустеніту визначити структуру зони термічного впливу (ЗТВ) низьколегованих сталей?
15. ТП при дії рухомого зосередженого джерела тепла на поверхні напівнескінченного тіла в стадії теплонасичення і вирівнювання.
16. Рухоме площинне джерело тепла в нескінченному стрижні.
17. Вплив параметрів режиму зварювання і теплофізичних властивостей матеріалу на ТП.
18. ТП при дії миттєвого лінійного джерела тепла в нескінченному тілі і тонкій пластині.
19. Розподілені джерела тепла.
20. Швидкість охолодження металу при наплавленні валика на площинний шар.
21. Нагрів електродів струмом і зварювальною дугою.
22. Нагрів і проплавлення основного металу зварювальною дугою.
23. Як розрахувати зміну температур при приварюванні за один прохід вузької смуги до листа?
24. Які особливості розрахунку температур при багатопрохідному зварюванні пластин з V-подібною обробкою та таврових і з'єднань внапусток?
25. Початкові і граничні умови для розв'язання диференційного рівняння теплопровідності.
26. Диференційне рівняння теплопровідності.
27. Коефіцієнт теплонасичення для масивного виробу, стрижня, пластини.
28. Вплив теплообміну з навколишнім середовищем на диференційне рівняння теплопровідності і на поширення тепла при нагріванні пластин і стрижнів лінійним і плоским джерелами.
29. Як запобігти утворенню мартенситу в ЗТВ при зварюванні сталей, що загартовуються?
30. Які особливості розрахунку температур при наплавленні валика на плоский шар?
31. Як визначити протяжність ділянок ЗТВ при зварюванні низьколегованих сталей?
32. Розрахунок миттєвих швидкостей охолодження при наплавленні на масивний виріб і однопрохідному зварюванні.
33. Як розрахувати зміну температури з часом при охолодженні тонкої рівномірно нагрітої пластини?