

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ КОРАБЛЕБУДУВАННЯ
імені адмірала Макарова

Кораблебудівний навчально-науковий інститут

Кафедра зварювального виробництва

T71620



ЗАТВЕРДЖЕНО

Проректор з науково-
педагогічної роботи

Слободян С.О.

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Program of the Discipline

Теорія процесів зварювання

Theory of welding processes

рівень вищої освіти *перший (бакалаврський)*

тип дисципліни *обов'язкова*

мова викладання *українська*

Робоча програма навчальної дисципліни "Теорія процесів зварювання" є однією із складових комплексної підготовки фахівців галузі знань 13 "Механічна інженерія" спеціальності 131 "Прикладна механіка" освітня програма "Інжиніринг зварювання та споріднених процесів"

"__" ____ 2026 року, 22 с.

Розробник: КОСТІН О.М., канд. техн. наук, професор НУК, професор кафедри зварювального виробництва

Проект робочої програми навчальної дисципліни "Теорія процесів зварювання" узгоджено з гарантом освітньої програми

Гарант освітньої програми "Інжиніринг зварювання та споріднених процесів"
канд. техн. наук, професор НУК  О.М. Костін

Проект робочої програми навчальної дисципліни "Теорія процесів зварювання" розглянуто на засіданні кафедри зварювального виробництва

Протокол № 10 від « 3 » 04 2026 р.

в.о. завідувача кафедри

 С.В. Драган

Проект робочої програми навчальної дисципліни "Теорія процесів зварювання" розглянуто Науково-методичною комісією кораблебудівного навчально-наукового інституту

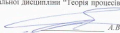
Протокол № 8 від « 14 » 04. 2026 р.

Голова

 О.П. Ястреба

Проект робочої програми навчальної дисципліни "Теорія процесів зварювання" погоджено з навчальним відділом

Начальник відділу

 А.В. Лабартнова

Робоча програма навчальної дисципліни "Теорія процесів зварювання" затверджена Навчально-методичною радою НУК

Протокол № 4 від « 29 » 04. 2026 р.

Голова НМР НУК

 С.О. Слободан

ЗМІСТ

Вступ	4
1. Опис навчальної дисципліни	5
2. Мета вивчення навчальної дисципліни	6
3. Передумови для вивчення дисципліни	6
4. Очікувані результати навчання	6
5. Програма навчальної дисципліни	7
6. Методи навчання, засоби діагностики результатів навчання та методи їх демонстрування	16
7. Форми поточного та підсумкового контролю	17
8. Критерії оцінювання результатів навчання	20
9. Засоби навчання	20
10. Рекомендовані джерела інформації	21

ВСТУП

Анотація

Дисципліна “Теорія процесів зварювання” є базисом для підготовки фахівців із зварювання та закладає теоретичні основи розуміння зварювальних процесів, що має на меті оволодіння знаннями фізико-хімічних та металургійних процесів, як наукової основи технологій зварювання плавленням металів і сплавів різними способами та опанування сучасних методів дослідження здатності металів до зварювання плавленням і попередження утворення дефектів металургійного характеру в з’єднаннях. Навчальна дисципліна складається з двох основних розділів: основи термодинаміки металургійних процесів зварювання та металургійні процеси при зварюванні плавленням.

Програма навчальної дисципліни “Теорія процесів зварювання” є сполучною ланкою при переході від загальних математичних та природничих дисциплін до загально-професійних дисциплін та розрахована на студентів, які вивчили вищу математику, фізику, хімію, опір матеріалів, основи технології матеріалів і матеріалознавство.

Дисципліна “Теорія процесів зварювання” носить фундаментальний міждисциплінарний характер та забезпечує підготовку студентів до вивчення основних фахових дисциплін: теплові процеси зварювання, технологія та устаткування зварювання плавленням та зварювальні матеріали, технологія та устаткування зварювання тиском, контроль якості зварювання, виробництво зварних конструкцій, спеціальні способи зварювання та паяння матеріалів.

Ключові слова: теоретичні основи, термодинаміка, фізико-хімічні процеси, металургійні процеси, зварювання плавленням, дефекти з’єднань, зварюваність.

Abstract

The discipline "Theory of welding processes" is the basis for the training of welding specialists and lays the theoretical foundations for understanding welding processes, which aims to master the knowledge of physico-chemical and metallurgical processes, as the scientific basis of fusion welding technologies, metals and alloys in various ways, and mastering modern methods investigation of the ability of metals to weld by fusion and prevention of the formation of metallurgical defects in joints. The educational discipline consists of two main sections: the basics of thermodynamics of metallurgical welding processes and metallurgical processes in fusion welding.

The program of the study discipline "Theory of welding processes" is a connecting link in the transition from general mathematical and natural disciplines to general professional disciplines and is designed for students who have studied higher mathematics, physics, chemistry, resistance of materials, the basics of materials technology and material science.

The discipline "Theory of welding processes" has a fundamental interdisciplinary nature and provides students with the training to study the main professional disciplines: welding thermal processes, fusion welding technology and equipment and welding materials, pressure welding technology and equipment, welding quality control, production of welded structures, special welding methods and soldering of materials.

Keywords: theoretical foundations, thermodynamics, physical and chemical processes,

metallurgical processes, fusion welding, joint defects, weldability.

1. Опис навчальної дисципліни

Найменування показників	Галузь знань, спеціальність (освітня програма), освітній рівень	Характеристика навчальної дисципліни	
		денна форма навчання	заочна форма навчання
Кількість кредитів – 8,0: 4 (5 семестр); 4 (6 семестр)	Галузь знань G - Інженерія, виробництво та будівництво	Обов’язкова	
Модулів – 2		Рік підготовки:	
Змістових модулів – 4		3-й	3-й
Інтернет-адреса розміщення програми: https://nuos.edu.ua/studentu/polozhennya-nuk/opis-opp/	Спеціальність G9 - Прикладна механіка Освітня програма «Інжиніринг зварювання та споріднених процесів»	Семестр	
Індивідуальне науково-дослідне завдання: - Немає		5, 6-й	5, 6-й
Загальна кількість годин – 240		Лекцій	
		60 год.	28 год.
		Практичні	
		---	---
Тижневих годин для денної форми навчання: аудиторних – 4 (5 семестр) / 4 (6 семестр) самостійної роботи студента – 4 (5 семестр) / 4 (6 семестр)	Освітній рівень: перший(бакалаврський)	Лабораторні	
		60 год.	28 год.
		Самостійна робота	
		120 год.	184 год.
		Індивідуальні завдання: - год.	
Види контролю: модуль 1 - залік модуль 2 - екзамен			
		Форма контролю: комбінована	

2. Мета вивчення навчальної дисципліни

Метою вивчення навчальної дисципліни “Теорія процесів зварювання” є формування у студентів відповідно до освітньої програми таких компетентностей:

ЗК 2 - Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності;

ФК 1 - Здатність аналізу матеріалів, конструкцій та процесів на основі законів, теорій та методів математики, природничих наук і прикладної механіки;

ФК 2 - 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 6 - Здатність виконувати технічні вимірювання, одержувати, аналізувати та критично оцінювати результати вимірювань.

3. Передумови для вивчення дисципліни

Передумовами для вивчення даної дисципліни є дисципліни: вища математика, фізика, хімія, опір матеріалів, основи технології матеріалів і матеріалознавство.

4. Очікувані результати навчання³

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

РН 8 - знати і розуміти основи інформаційних технологій, програмування, практично використовувати прикладне програмне забезпечення для виконання інженерних розрахунків, обробки інформації та результатів експериментальних досліджень;

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

РН 19 - Знання про вплив хімічного складу зварювальних матеріалів на формування металу шва і фізико-хімічні процеси при зварюванні, алгоритму вибору і технології виготовлення зварювальних матеріалів;

РН 21 - Уміння оцінювати здатність до зварювання конструкційних матеріалів в однорідних і різномірних сполученнях.

5. Програма навчальної дисципліни

Модуль 1. Основи термодинаміки металургійних процесів зварювання

Змістовий модуль 1. Основи хімічної термодинаміки.

Тема 1. Предмет та зміст дисципліни. Хімічна термодинаміка та кінетика металургійних процесів зварювання. Розвиток теорії металургійних процесів зварюванні плавленням та їх особливості [1], с. 12-22; [2], с. 160-178; [3], с. 8-20; [8], с. 8-18.

Тема 2. Основні поняття та величини хімічної термодинаміки. Стандартні умови. Правило фаз Гіббса. Газові закони [1], с. 21-28, 35-46; [2], с. 160-178; [3], с. 250-252; [8], с. 32-38.

Тема 3. Перший початок термодинаміки для різних систем та його використання для аналізу процесів. Внутрішня енергія та ентальпія індивідуальних речовин і систем. Другий початок термодинаміки. Ентропія речовин та систем [1], с. 28-40; [3], с. 252-266; [8], с. 32-42.

Тема 4. Об'єднана формула Гіббса. Вільна енергія Гельмгольца та Гіббса. Енергія Гіббса речовин у розчинах [1], с. 40-46; [3], с. 267-276; [8], с. 43-57.

Тема 5. Властивості потенціалів. Фундаментальне рівняння Гіббса. Рівняння Гіббса-Гельмгольца в скінчених приростах [1], с. 46-48; [8], с. 58-67.

Тема 6. Методи розрахунків вільної енергії Гіббса хімічних реакцій. Використання закону взаємодії має та рівняння Вант-Гоффа для розрахунків складу газової фази при зварюванні [1], с. 51-54, 176-185; [2], с. 227-238.

Тема 7. Вчення про рівновагу. Фізичні умови рівноваги гетерогенних систем. Закон взаємодії має для гомогенних та гетерогенних систем. Взаємозв'язок константи рівноваги та енергії Гіббса (рівняння Вант-Гоффа). Рівняння ізобари та ізотерми хімічних реакцій. Принцип рухомої рівноваги [1], с. 123-133; [2], с. 178-188; [3], с. 277-288.

Змістовий модуль 2. Термодинаміка розчинів, окиснення та кінетика хімічних реакцій.

Тема 8. Термодинаміка розчинів. Характеристика розчинів при зварюванні. Класи розчинів [1], с. 76-84; [3], с. 289-295; [6], с. 120-131; [8], с. 49-57.

Тема 9. Рівновага між газом, що розчинений у конденсованому розчині і у газовій фазі (рівняння Дальтона-Генрі). Закон розподілу речовин у незмішуваних розчинах (закон Нернста-Шилова) [2], с. 188-197; [3], с. 304-312; [6], с. 131-140; [8], с. 69-78.

Тема 10. Розчинення газів у метали та їх вплив на властивості металу. Рівновага при фазових перетвореннях. Застосування законів термодинаміки до розрахунку процесу випаровування при зварюванні [1], с. 225-227; [3], с. 331-348. [6], с. 141-148.

Тема 11. Рівняння Клапейрона-Клаузіуса. Швидкість випаровування речовин. Випаровування розчинів. Розрахунок втрат елементів при зварюванні за рахунок випаровування. Кипіння розчинів [1], с. 114-123; [5], с. 9-15.

Тема 12. Окиснення металу при зварюванні. Спорідненість елементів до кисню. Стандартна та фактична спорідненість. Методи розрахунку. Взаємодія металів з газами. Система С-О, О-Н, С-Н-О та їх взаємодія з металами. Окиснювальна здатність газової атмосфери [2], с. 197-204; [3], с. 313-325; [5], с. 25-31.

Тема 13. Номограма Шашкова. Системи Fe-O-C і Fe-O-H. Процеси карбідоутворення. Пористість і воднева крихкість металів [1], с. 132-140; [3], с. 331-348; [4], с. 52-60.

Тема 14. Кінетика гомогенних реакцій і дифузійних процесів. Енергія активації і залежність швидкості реакцій від температури [1], с. 211-218; [3], с. 295-304.

Тема 15. Рівняння швидкостей реакції I та II порядку. Кінетика гетерогенних процесів і дифузійних процесів. Кінетичний і дифузійний режими. Ланцюгові реакції у процесах зварювання [1], с. 133-140; [3], с. 304-313.

Модуль 2. Металургійні процеси та здатність металів до зварювання

Змістовий модуль 1. Металургійні процеси при зварюванні плавленням.

Тема 1. Зварювання, як процес створення безперервного міжатомного зв'язку. Умови розвитку металургійних процесів при зварюванні плавленням. Можливості використання законів рівноваги до зварювальних процесів. Металургійні характеристики фаз при зварюванні плавленням. Газова фаза. Атмосферні гази. Захисні активні та інертні гази [3], с. 331-348; [8], с. 183-189, 216-227.

Тема 2. Зварювальні шлакові системи. Роль шлаків в металургійних процесах. Діаграми плавкості та в'язкості шлакових систем [2], с. 238-244; [3], с. 368-379; [8], с. 227-233.

Тема 3. Рафінування металу шва при зварюванні. Способи видалення кисню з металу шва. Розрахунок кількості елементів, які видаляють кисень. Видалення сірки та фосфору з металу шва при зварюванні [2], с. 261-267; [3], с. 317-330, 366-367, 402-404; [5], с. 32-36; [8], с. 243-251, 259-263.

Тема 4. Легування металу шва при зварюванні. Способи легування: через зварювальний дріт, електродне покриття, флюси, газову фазу. Розрахунок легування металу шва при зварюванні в захисних газах [1], с. 167-173; [2], с. 259-261; [3], с. 360-366; [8], с. 252-258.

Тема 5. Захисні гази. Металургійні процеси при електродуговому зварюванні. Металургійні процеси при газополум'яному зварюванні. Особливості металургійних процесів при зварюванні порошковим дротом [2], с. 150-179; [3], с. 379-389; [4], с. 39-45; 78-82; [7], с. 72-82, 139-157; [8], с. 81-87, 234-243; [9], с. 16-22, 102-109; [10], с. 20-29.

Тема 6. Металургійні процеси при зварюванні під флюсом. Класифікація флюсів. Металургійні процеси при зварюванні під плавленими та керамічними

флюсами [2], с. 180-203; [3], с. 326-331, 368-379; [4], с. 71-75; [7], с. 84-97; [8], с. 227-233; [9], с. 46-49; [11], с. 5-9.

Тема 7. Газо-шлаковий захист металу при зварюванні. Електродні покриття, їх призначення та типи. Металургійні процеси при зварюванні якісними електродами [3], с. 389-400; [4], с. 64 69; [7], с. 29-39; [8], с. 234-242; [11], с. 12-16.

Змістовий модуль 2. Кристалізація та здатність металів до зварювання.

Тема 8. Кристалізація металів і сплавів. Первинна кристалізація металу та її особливості при зварюванні. Загальні положення теорії кристалізації. Гомогенна та гетерогенна кристалізація, швидкість кристалізації. Хімічна та фізична мікронеоднорідність металу [2], с. 267-269, [3], с. 433-453; [8], с. 264-277.

Тема 9. Схеми кристалізації металу шва. Фактори, які впливають на первинну структуру зварного шва. Вторинна кристалізація металу при зварюванні. Пори та механічні включення в зварних швах. Механізм виникнення та засоби попередження пор, що створюються розчинними та нерозчинними в металі газами [2], с. 269-278; [3], с. 453-473; [8], с. 278-288, 303-309.

Тема 10. Гарячі тріщини при зварюванні. Кристалізаційні та підсолідусні тріщини. Фактори, які впливають на виникнення кристалізаційних тріщин. Механізм виникнення та засоби попередження підсолідусних тріщин. Механізм виникнення та засоби попередження гарячих тріщин у навколошовній зоні [2], с. 295-304; [3], с. 473-489; [4], с. 83-97, [8], с. 291-302. [11], с. 22-26.

Тема 11. Холодні тріщини. Механізм виникнення та засоби попередження холодних тріщин. Фактори, які впливають на виникнення холодних тріщин. Заходи попередження холодних тріщин [2], с. 319-326; [3], с. 529-544; [4], с. 99-138; [8], с. 344-354; [11], с. 32-35.

Тема 12. Крихке руйнування металу. Деформаційне та термічне старіння металу при зварюванні. Крихкість металу в зв'язку з фазовими перетвореннями. Засоби попередження крихкості металу зварних з'єднань. Механізм та природа виникнення тріщин від повторного нагрівання [2], с. 319-340; [3], с. 544-548.

Тема 13. Здатність металів до зварювання плавленням. Поняття та методи визначення здатності до зварювання. Розрахункові і експериментальні методи визначення стійкості металу проти гарячих тріщин [2], с. 317-319, [3], с. 433-435; [4], с. 83-97; [7], с. 18-21; [8], с. 360-370.

Тема 14. Розрахункові і експериментальні методи визначення стійкості металу проти холодних тріщин. Особливості зварювання конструкційних вуглецевих сталей. Низьковуглецеві сталі. Високовуглецеві сталі. Низьколеговані сталі та їх зварюваність [2], с. 319-339; [3], с. 537-544; [4], с. 99-138; [8], с. 310-317.

Тема 15. Особливості зварювання середньо - та високолегованих сталей, що підлягають гартуванню. Особливості зварювання високолегованих хромонікелевих сталей та жароміцних нікелевих сплавів. Особливості

зварювання кольорових металів та їх сплавів [2], с. 330-357; [8], с. 318-339, 371-388; [9], с. 75-83.

Структура навчальної дисципліни

Назви модулів, змістових модулів і тем	Кількість годин									
	денна форма					заочна форма				
	у сьо- го	у тому числі				у сьо- го	у тому числі			
		л	л. р.	п.з.	с.р.		л *	л.р.	п.з.	с.р.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Модуль 1. Основи термодинаміки металургійних процесів зварювання										
Змістовий модуль 1. Основи хімічної термодинаміки.										
Тема 1. Предмет та зміст дисципліни. Хімічна термодинаміка та кінетика металургійних процесів зварюванні плавленням. Розвиток теорії металургійних процесів зварювання та їх особливості	8	2	2		4		6			6
Тема 2. Основні поняття та величини хімічної термодинаміки. Стандартні умови. Правило фаз Гіббса. Газові закони.	8	2	2		4			2		7
Тема 3. Перший початок термодинаміки для різних систем та його використання для аналізу процесів. Внутрішня енергія та ентальпія індивідуальних речовин і систем. Другий початок термодинаміки. Ентропія речовин та систем.	8	2	2		4					7
Тема 4. Об'єднана формула Гіббса. Вільна енергія Гельмгольца та Гіббса. Енергія Гіббса речовин у розчинах.	9	2	2		5					7
Тема 5. Властивості потенціалів. Фундаментальне рівняння Гіббса. Рівняння Гіббса-Гельмгольца в скінчених приростах.	9	2	2		5					7
Тема 6. Методи розрахунків вільної енергії Гіббса хімічних реакцій. Використання закону взаємодії має та рівняння Вант-Гоффа для розрахунків складу газової фази при зварюванні.	9	2	2		5			2		7
Тема 7. Вчення про рівновагу. Фізичні умови рівноваги гетерогенних систем. Закон взаємодії має для гомогенних та гетерогенних систем. Взаємозв'язок константи рівноваги та енергії Гіббса (рівняння Вант-Гоффа). Рівняння ізобари та ізотерми хімічних реакцій. Принцип рухомої рівноваги.	9	2	2		5			2		7
Разом за змістовим модулем 1	60	14	14		32	60	6	6		48

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Змістовий модуль 2. Термодинаміка розчинів, окиснення та кінетика хімічних реакцій.										
Тема 8. Термодинаміка розчинів. Характеристика розчинів при зварюванні. Класи розчинів	7	2	2		3		6			6
Тема 9. Рівновага між газом, що розчинений у конденсованому розчині і у газовій фазі (рівняння Дальтона-Генрі). Закон розподілу речовин у незмішуваних розчинах (закон Нернста-Шилова).	7	2	2		3					6
Тема 10. Розчинення газів у металі та їх вплив на властивості металу. Рівновага при фазових перетвореннях. Застосування законів термодинаміки до розрахунку процесу випаровування при зварюванні.	7	2	2		3					6
Тема 11. Рівняння Клапейрона-Клаузіуса. Швидкість випаровування речовин. Випаровування розчинів. Розрахунок втрат елементів при зварюванні за рахунок випаровування. Кипіння розчинів.	7	2	2		3			2		6
Тема 12. Окиснення металу при зварюванні. Спорідненість елементів до кисню. Стандартна та фактична спорідненість. Методи розрахунку. Взаємодія металів з газами. Система С-О, О-Н, С-Н-О та їх взаємодія з металами. Окиснювальна здатність газової атмосфери.	8	2	2		4			2		6
Тема 13. Номограма Шашкова. Системи Fe-O-C і Fe-O-H. Процеси карбідоутворення. Пористість і воднева крихкість металів.	8	2	2		4			2		6
Тема 14. Кінетика гомогенних реакцій і дифузійних процесів. Енергія активації і залежність швидкості реакцій від температури	8	2	2		4					6
Тема 15. Рівняння швидкостей реакції I та II порядку. Кінетика гетерогенних процесів і дифузійних процесів. Кінетичний і дифузійний режими. Ланцюгові реакції у процесах зварювання.	8	2	2		4					6
Разом за змістовим модулем 2	60	16	16		28	60	6	6		48

Разом за модулем 1	120	30	30		60	120	12	12		96
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Модуль 2. Металургійні процеси та здатність металів до зварювання										
Змістовий модуль 1. Металургійні процеси при зварюванні плавленням.										
Тема 1. Зварювання, як процес створення безперервного міжатомного зв'язку. Умови розвитку металургійних процесів при зварюванні плавленням. Можливості використання законів рівноваги до зварювальних процесів. Металургійні характеристики фаз при зварюванні плавленням. Газова фаза. Атмосферні гази. Захисні активні та інертні гази.	8	2	2		4		8			6
Тема 2. Зварювальні шлакові системи. Роль шлаків в металургійних процесах. Діаграми плавкості та в'язкості шлакових систем.	8	2	2		4					6
Тема 3. Рафінування металу шва при зварюванні. Способи видалення кисню з металу шва. Розрахунок кількості елементів, які видаляють кисень. Видалення сірки та фосфору з металу шва при зварюванні.	8	2	2		4			2		6
Тема 4. Легування металу шва при зварюванні. Способи легування: через зварювальний дріт, електродне покриття, флюси, газову фазу. Розрахунок легування металу шва при зварюванні в захисних газах.	9	2	2		5			2		6
Тема 5. Захисні гази. Металургійні процеси при електродуговому зварюванні. Металургійні процеси при газополум'яному зварюванні. Особливості металургійних процесів при зварюванні порошковим дротом.	9	2	2		5			2		7
Тема 6. Металургійні процеси при зварюванні під флюсом. Класифікація флюсів. Металургійні процеси при зварюванні під плавленими та керамічними флюсами.	9	2	2		5			2		7
Тема 7. Газо-шлаковий захист металу при зварюванні. Електродні покриття, їх призначення та типи. Металургійні процеси при зварюванні якісними електродами.	9	2	2		5					6

Разом за змістовим модулем 1	60	14	14		32	60	8	8		44
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Змістовий модуль 2. Кристалізація та здатність металів до зварювання.										
Тема 8. Кристалізація металів і сплавів. Первинна кристалізація металу та її особливості при зварюванні. Загальні положення теорії кристалізації. Гомогенна та гетерогенна кристалізація, швидкість кристалізації. Хімічна та фізична мікронеоднорідність металу.	8	2	2		4		8			5
Тема 9. Схеми кристалізації металу шва. Фактори, які впливають на первинну структуру зварного шва. Вторинна кристалізація металу при зварюванні плавленням. Пори та механічні включення в зварних швах. Механізм виникнення та засоби попередження пор, що створюються розчинними та нерозчинними в металі газами.	8	2	2		4					5
Тема 10. Гарячі тріщини при зварюванні. Кристалізаційні та підсолідусні тріщини. Фактори, які впливають на виникнення кристалізаційних тріщин. Механізм виникнення та засоби попередження підсолідусних тріщин. Механізм виникнення та засоби попередження гарячих тріщин у нашколовній зоні.	8	2	2		4			2		5
Тема 11. Холодні тріщини. Механізм виникнення та засоби попередження холодних тріщин. Фактори, які впливають на виникнення холодних тріщин. Заходи попередження холодних тріщин.	8	2	2		4			2		5
Тема 12. Крихке руйнування металу. Деформаційне та термічне старіння металу при зварюванні. Крихкість металу в зв'язку з фазовими перетвореннями. Засоби попередження крихкості металу зварних з'єднань. Механізм та природа виникнення тріщин від повторного нагрівання.	7	2	2		3			2		6

Тема 13. Здатність металів до зварювання плавленням. Поняття та методи визначення здатності до зварювання. Розрахункові і експериментальні методи визначення стійкості металу проти гарячих тріщин.	7	2	2		3			2		6
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Тема 14. Розрахункові і експериментальні методи визначення стійкості металу проти холодних тріщин. Особливості зварювання конструкційних вуглецевих сталей. Низьковуглецеві сталі. Високовуглецеві сталі. Низьколеговані сталі та їх зварюваність.	7	2	2		3					6
Тема 15. Особливості зварювання середньо - та високолегованих сталей, що підлягають гартуванню. Особливості зварювання високолегованих хромонікелевих сталей та жароміцних нікелевих сплавів. Особливості зварювання кольорових металів та їх сплавів.	7	2	2		3					6
Разом за змістовим модулем 2	60	16	16		28	60	8	8		44
Разом за модулем 2	120	30	30		60	120	16	16		88
Усього годин з навчальної дисципліни	240	60	60		120	240	28	28		184

Примітка:

* для студентів заочної форми навчання викладаються оглядові лекції за темами змістових модулів в обсягах відповідно до таблиці.

Теми лабораторних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	2	3
1	Вступне заняття. Техніка безпеки при проведенні лабораторних занять [4], с. 3-4; [11], с. 3-5.	2
2	Розрахунок теплових ефектів реакцій та температур. Розрахунок зміни теплоємності, ентальпії та ентропії системи в ході реакції [5], с. 25-30.	2
3	Вільна енергія Гіббса. Розрахунок зміни вільної енергії Гіббса з стандартними даними. Константи рівноваги реакцій у гомогенних та гетерогенних системах. Розрахунок констант рівноваги за рівнянням Вант-Гоффа [5], с. 25-30.	4 (*2)
4	Процеси випаровування та кипіння розчинів. Коефіцієнти активності речовин у розчинах. Умови випаровування та кипіння. Розрахунок процесів випаровування розчинів [5], с. 9-15.	4 (*2)
5	Взаємодія металу з киснем. Умова окиснювання. Стандартна та фактична спорідненість до кисню. Розрахунок стандартної і фактичної спорідненості до кисню. Розрахування хімічної спорідненості елементів до кисню та процесів розкиснення металу шва при зварюванні [5], с. 25-32.	4 (*2)
6	Розрахунок складу газової фази з використанням рівняння Вант-Гоффа. Розрахунок хімічного складу газової фази при зварюванні у газових сумішах [5], с. 19-25.	4 (*2)
7	Спектральний аналіз металу [4], с. 5-27.	4 (*2)
8	Растрова електронна мікроскопія та рентгеноспектральний мікроаналіз [4], с. 27-39.	2
9	Дослідження фізико-хімічних та металургійних процесів при ацетиленокисневому зварюванні [4], с. 39-51.	4 (*2)
10	Дослідження процесу утворення пор в металі шва при електродуговому зварюванні [4], с. 52-63.	4 (*2)
11	Дослідження металургійних процесів при електродуговому зварюванні покритими електродами [4], с. 64-71.	4 (*4)
12	Дослідження металургійних процесів при електродуговому зварюванні дротами суцільного перерізу [4], с. 64-71.	2
13	Дослідження металургійних процесів при зварюванні порошковими дротами [4], с. 64-71.	2
14	Дослідження металургійних процесів при електродуговому зварюванні під плавленими та керамічними флюсами [4], с. 64-71.	6 (*4)

1	2	3
15	Дослідження металургійних процесів при зварюванні в атмосфері захисних газів [4], с. 76-83.	4 (*2)
16	Дослідження стійкості зварних з'єднань проти утворення гарячих тріщин [4], с. 83-99.	4 (*2)
17	Дослідження стійкості зварних з'єднань проти утворення холодних тріщин [4], с. 99-141.	4 (*2)
Разом		60 (*28)

Примітка: *для заочної форми навчання.

Самостійна робота

Розподіл годин самостійної роботи (разом 1-й та 2-й модуль)

7 з/п	Вид роботи	Кількість годин		
		Норматив	Денна форма	Заочна форма
1	Підготовка до лекційних занять	1 (2) год. на 1 лек.	30	46
2	Підготовка до лабораторних робіт	підготовка до лабораторних робіт – до 3 (4) год. на 1 роб.	40	48
3	Підготовка до поточного модульного контролю	підготовка до контрольних заходів – 15 (30) год. на 1 захід	20	-
4	Підготовка до екзамену (заліку)		30	60
5	Виконання контрольної роботи	до 30 год. на 1 роб.	-	30
	Разом		120	184

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

Методи навчання:

- лекція;
- лабораторна робота;
- дослідницький.

Засобами діагностики результатів навчання та методами їх демонстрування є:

- - метод евристичних питань (МЕВ);
- стандартизовані тести;
- завдання на лабораторному обладнанні;
- комплексний іспит.

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 (заліку).

Питома вага заключного іспиту (заліку) в загальній системі оцінок - **40 балів**. Право здавати заключний іспит (залік) дається студенту, якій з урахуванням максимальних балів проміжних оцінок набирає не менше **60 балів**. Підсумкова оцінка навчального курсу є сумою проміжних оцінок і оцінки іспиту (заліку).

Поточний контроль проводиться на кожному лабораторному 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 завдань лабораторних робіт.

Зарахування кредитів навчального курсу можливо тільки після досягнення результатів, які заплановані РПНД, що виражається в одній з позитивних оцінок, яка передбачена чинним законодавством.

Форми контролю результатів навчальної діяльності студентів та їх оцінювання

Лабораторна робота (для денної та заочної форми навчання)

Бал	Критерії оцінювання
5	Робота самостійно виконана у встановлений термін, чітко сформульовані цілі, завдання та гіпотеза досліджень. Застосовувалися коректні методи обробки отриманих результатів (розрахунків) та проведений аналіз результатів.
4	Робота виконана у встановлений термін. Студент виконав лабораторну роботу відповідно інструкції, іноді після консультації викладача; описав спостереження; виконав розрахунки, в цілому правильно склав звіт та зробив висновки.
3	Робота виконана з порушенням встановлених термінів відповідно інструкції, іноді після консультації з викладачем; описав спостереження, виконав розрахунки, але складений звіт містить неточності у висновках та помилки.
2	Робота виконана з порушенням встановлених термінів відповідно інструкції; складений звіт містить неточності у висновках та помилки.
1	Робота виконана з порушенням встановлених термінів під керівництвом викладача; складений звіт містить неточності у висновках та помилки.
0	Робота не виконувалася.

Поточний модульний контроль у формі тестування

Правильних відповідей, %	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10
Бал	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1

Форма контролю	Максимальна кількість балів		Максимальна кількість балів	
	Денна форма		Заочна форма	
	1-й модуль	2-й модуль	1-й модуль	2-й модуль
Виконання лабораторних робіт	$8 \times 5 = 40$	$8 \times 5 = 40$	$6 \times 5 = 30$	$6 \times 5 = 30$
Поточний модульний контроль	$2 \times 10 = 20$	$2 \times 10 = 20$	---	---
Контрольна робота	---	---	30	30
Всього	60	60	60	60

Контрольна робота (для заочної форми навчання)

Бал	Критерії оцінювання
25-30	Робота виконана у встановлений термін. Матеріал викладено у достатньому обсязі, аргументовано і у правильній послідовності. Використані не тільки рекомендовані джерела інформації, а й новітні, самостійно знайдені у періодичних виданнях та в інтернет-ресурсах. Правильно сформульовані узагальнюючі висновки. Робота достатньо ілюстрована, оформлена акуратно, з дотриманням вимог до технічної документації. Під час захисту роботи студент вільно орієнтується в матеріалах.
18-24	Робота виконана у встановлений термін. Матеріал викладено у достатньому обсязі та логічно. Використані рекомендовані джерела інформації. Правильно сформульовані узагальнюючі висновки. Робота оформлена акуратно, з дотриманням вимог до технічної документації. Під час захисту роботи студент орієнтується в матеріалах, у відповідях є неточності.
12-17	Робота виконана з порушенням встановлених термінів. Матеріал викладено у правильній послідовності, але недостатньо повно. Недостатньо використані рекомендовані джерела інформації. Висновки сформульовані формально або не зв'язані з матеріалами роботи. В оформленні роботи є порушення вимог до технічної документації. Під час захисту роботи студент в цілому орієнтується в матеріалах, у відповідях є помилки та неточності.
6-11	Робота виконана з порушенням встановлених термінів. Матеріал викладено безсистемно, висновки сформульовані формально або відсутні. Робота оформлена неохайно, з порушенням вимог до технічної документації. Під час захисту роботи студент слабо орієнтується в матеріалах, у відповідях є помилки.
1-5	Робота виконана з порушенням встановлених термінів зі значною кількістю грубих помилок. Відповіді на питання переважно неправильні.
0	Роботу не виконано.

Підсумковий контроль у формі комплексного іспиту (заліку)

Підсумковий контроль складається з тестування (10 тестових завдань) та усної відповіді на 3 контрольних питання.

Тестування

Правильних відповідей, %	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10
Бал	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1

Усна відповідь (1 питання - 10 балів)

Бал	Критерії оцінювання
9-10	Студент вільно володіє матеріалом, знає основи хімічної термодинаміки та вміє їх застосовувати для оцінки фізико-хімічних процесів при зварюванні плавленням, має чітке розуміння металургійних процесів, що супроводжують формування зварного з'єднання, може виконувати достовірну оцінку здатності металів до зварювання та їх схильності до утворення дефектів металургійного характеру в з'єднаннях.
7-8	Студент володіє матеріалом, знає основи хімічної термодинаміки та вміє їх застосовувати для оцінки фізико-хімічних процесів при зварюванні плавленням, має розуміння металургійних процесів, що супроводжують формування зварного з'єднання, може виконувати загальну оцінку здатності металів до зварювання та їх схильності до утворення дефектів металургійного характеру в з'єднаннях.
5-6	Студент володіє матеріалом, орієнтується в основах хімічної термодинаміки та може їх застосовувати для оцінки фізико-хімічних процесів при зварюванні плавленням, має розуміння металургійних процесів, що супроводжують формування зварного з'єднання, має уявлення як виконувати достовірну оцінку здатності металів до зварювання та їх схильності до утворення дефектів металургійного характеру в з'єднаннях.
3-4	Студент в цілому володіє матеріалом, знає основи хімічної термодинаміки та вміє їх застосовувати для оцінки фізико-хімічних процесів при зварюванні плавленням, орієнтується в металургійних процесах, що супроводжують формування зварного з'єднання, знає основи оцінки здатності металів до зварювання та їх схильності до утворення дефектів металургійного характеру в з'єднаннях.
1-2	Студент в цілому має уявлення про основи хімічної термодинаміки та принципи їх застосовувати для оцінки фізико-хімічних процесів при зварюванні плавленням, орієнтується в металургійних процесах, що супроводжують формування зварного з'єднання, має поняття про оцінку здатності металів до зварювання та їх схильності до утворення дефектів металургійного характеру в з'єднаннях.
0	Студент не орієнтується у матеріалах питання, не може відповісти на додаткові питання за змістом навчальної дисципліни

8. Критерії оцінювання результатів навчання

Модуль 1

№№ змістового модуля і теми		Денна форма		Заочна форма	
		Вид роботи	Кількість балів	Вид роботи	Кількість балів
ЗМ 1	T1÷7	Лабораторні роботи № 2 ÷ 5	4 × 5 = 20	Лабораторні роботи № 3 ÷ 5	3 × 5 = 15
ПМК		Тест № 1	10	---	
ЗМ 2	T8÷15	Лабораторні роботи № 6 ÷ 9	4 × 5 = 20	Лабораторні роботи № 6, 7, 9	3 × 5 = 15
ПМК		Тест № 2	10	---	
-		Контрольна робота	---	Контрольна робота	30
Підсумковий контроль		Комплексний іспит (залік)	40	Комплексний іспит (залік)	40
Сума			100		100

Модуль 2

№№ змістового модуля і теми		Денна форма		Заочна форма	
		Вид роботи	Кількість балів	Вид роботи	Кількість балів
ЗМ 1	T1 7	Лабораторні роботи № 10 ÷ 13	4 × 5 = 20	Лабораторні ро- боти № 10, 11, 14	3 × 5 = 15
ПМК		Тест № 1	10	---	
ЗМ 2	T8÷15	Лабораторні роботи № 14 ÷ 17	4 × 5 = 20	Лабораторні робота № 15 ÷ 17	3 × 5 = 15
ПМК		Тест № 2	10	---	
-		Контрольна робота	---	Контрольна робота	30
Підсумковий контроль		Комплексний іспит	40	Комплексний іспит	40
Сума			100		100

9. Засоби навчання

1. Діючі зразки зварювального устаткування та обладнання:

1.1. Джерела живлення постійного та змінного струму: КИГ-401, КИУ-501, ВДУ-506, ТДФ-1001.

1.2. Напівавтомати А-547У (або КП 015, КП 007, КП 019), КП 016, автомати АДС 1000 – 4 та АДФ –1002.

1.3. Устаткування для ручного зварювання вольфрамовим електродом Marc-500 hf та УДГУ-501, пост для ручного дугового зварювання вольфрамовим електродом у середовищі захисних газів ПРС-3М.

1.4. Ацетиленокисневий та пропановий пальники, редуктора, ракава тощо.

1.5. Багатофункціональне джерело живлення PS-5000.

- 1.6. Муфельна піч лабораторна типу СНОЛ.
- 1.7. Мікроскоп «Неофот-21», мікроскоп - мікроаналізатор РЭММА-102-02.
- 1.8. Твердоміри ТП-7Р-1, ПМТ-3, ТК-2.
- 1.9. Стілоскопи СЛ-11А, «СПЕКТР», СЛП-4, «СПЕКТРОЛАБ», спектрограф ІПС-30, спектропроектор ПС-18, мікрофотометр МФ-2, стенди для випробувань на стійкість проти утворення гарячих та холодних тріщин.
- 1.10. Фрезерувальний та шліфувальний верстати тощо.
2. Матеріали та інструменти:
 - 2.1. Електроди УОНИ 13/55, ОК 48.00, Моноліт РЦ, АНО-21, ОЗЧ-1, ЦЛ11, Е395/9, вольфрамові та графітові електроди тощо.
 - 2.2. Дріт зварювальний Св-08Г2С (або ОК AristoRod 12.50), дріт порошковий ОК Tubrod 15.14 (або Weld 71Т-1), ПП-АН19Н, дріт зварювальний Св-08А (або ОК Autrod 12.20), флюс АН-348А (або ОК Flux 10.71), дріт зварювальний Св-08Г2С (або ОК Tigrod 12.64), Св-08 (або ОК Tigrod 12.60), аргон, вуглекислота, суміш $Ar - 18\%CO_2$, ацетилен, пропан, кисень.
 - 2.3. Планки з низьковуглецевої сталі, нікелевих сплавів, міді тощо.
 - 2.4. Шліфувальний папір, алмазні пасти, гас, спирт, ганчір'я тощо.
 - 2.5. Напилки, щітки, захисні окуляри, кліщі
3. Контрольно-вимірювальна апаратура, інструменти:
 - 3.1. Ваги лабораторні, лінійка, секундомір, штангенциркуль, мікрометр, універсальний шаблон зварювальника УШС-3 (або УШС-4).
 - 3.2. Амперметри, вольтметри, осцилографи тощо.
4. Демонстраційні матеріали:
 - 4.1. Плакати: металургійні та фізико-хімічні процеси при зварюванні, фізична сутність процесів зварювання, діаграми сталей, склад та механічні характеристики зварювальних матеріалів, металів та сплавів тощо.
 - 4.2. Слайди: схеми утворення та класифікація дефектів при зварюванні плавленням, діаграми в'язкості та плавлення шлаків, макро та мікроструктура зварних з'єднань тощо.

10. Рекомендовані джерела інформації

Основна література

1. Кох Б.А. Основы термодинамики металлургических процессов сварки. - Л.: Судостроение, 1975. - 240 с.
2. Багрянский К.В., Добротина З.А., Хренов К.К. Теория сварочных процессов - Киев: Вища школа, 1976 - 423 с.
3. Теория сварочных процессов / Под ред. В.В. Фролова. - М.: Высшая школа, 1988. - 558с.
4. Квасницький В.В. Теорія зварювальних процесів. Дослідження фізико-хімічних і металургійних процесів та здатності металів до зварювання: навч. посібник - Миколаїв: УДМТУ, 2002. - 184 с.

5. Квасницький В.Ф. Розрахунки на ЕОМ фізико-металургійних процесів зварювання: навч. посібник / Квасницький В.Ф., Дорошенко М.Н., Костін О.М. - Миколаїв: МКІ, 1991. - 44 с.

Допоміжна література

6. Киреев В.А. Краткий курс физической химии. - М.: Химия, 1969. -638 с.
7. Костін О.М. Зварювальні матеріали: навч. посібник. – Миколаїв: НУК, 2004. – 225 с.
8. Петров Т.Л., Тумарев А.С. Теория сварочных процессов. - М.: Высшая школа, 1977. - 392 с.
9. Голобородько Ж.Г. Збірник лабораторних робіт з дисципліни «Технологія та устаткування зварювання плавленням та зварювальні матеріали»: навч. посібник. / Ж.Г. Голобородько, О.М. Костін, Є.А. Бутурля, – Миколаїв: НУК, 2024. – 149 с.
10. Квасницький В.Ф. Спектральний аналіз металу та дослідження металургійних процесів при ацетилено-кисневому зварюванні: навч. посібник. / В.Ф. Квасницький, В.В. Квасницький, О.М. Костін – Миколаїв: УДМТУ, 1994. – 32с.
11. Квасницький В.Ф. Дослідження металургійних процесів при зварюванні та дослідження зварюваності металів: навч. посібник. / В.Ф. Квасницький, В.В. Квасницький, О.М. Костін – Миколаїв: УДМТУ, 1994. – 42с.

Інформаційні ресурси в інтернет

[http:// nuos. edu. ua](http://nuos.edu.ua)