

ДОНБАСЬКА ДЕРЖАВНА МАШИНОБУДІВНА АКАДЕМІЯ

КАФЕДРА “Обладнання і технологій зварювального виробництва”

ЗАТВЕРДЖЕНО:

На засіданні Вченої ради

Голова Вченої ради

Ректор ДДМА

В.А.Федорінов

(підпис, ініціали, прізвище)

Протокол № \_\_\_\_\_ від \_\_\_\_\_ 2012 р.

РОБОЧА НАВЧАЛЬНА ПРОГРАМА ДИСЦИПЛІНИ

Теорія процесів зварювання

Для напрямів підготовки (спеціальностей):

6.050504 “Зварювання”

(“Технологія та устаткування зварювання”)

(заочна форма навчання, прискорений курс)

Декан факультету

(назва факультету)

(підпис, ініціали, прізвище)

Програму рекомендовано кафедрою

ОіТЗВ

(назва кафедри)

Протокол № \_\_\_\_\_ від \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

(протокол, номер, дата)

Завідувач кафедри ОіТЗВ

(назва кафедри)

Макаренко Н.О.

(підпис, ініціали, прізвище)

Краматорськ, 2012

## І ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

Навчальний матеріал, що пропонується цією програмою, має відомості, необхідні студентам для формування знань з термодинаміки та теплових процесів зварювання, а також про явища, що проходять в різних фазах або між ними в процесі зварювання. Підготовку до вивчення цієї дисципліни студенти отримують в рамках дисципліни циклу підготовки бакалавра.

Дисципліна “Теорія процесів зварювання” базується на знаннях та навичках, набутих при вивченні загально-інженерних та професійно-орієнтованих дисциплін. Перелік дисциплін та розділів знаходиться в таблиці 1.1. Знання, що отримані при вивченні дисципліни “Теорія процесів зварювання”, необхідні для засвоєння навчального матеріалу з дисциплін: “Зварювання плавленням”, “Напруження і деформації”, “Зварювання тиском”, “Виготовлення зварних конструкцій”, а також при виконанні дипломного проекту.

Таблиця 1.1 - Взаємозв'язок модулів дисципліни “Теорія процесів зварювання”, з модулями таких, що забезпечують, і забезпечуваних дисциплін.

№ мод	Забезпечується	модулі	Забезпечує	модулі
1	Хімія	1, 2	Технологія і обладнання зварювання плавленням	1 - 2
	Фізика	2	Технологія і обладнання зварювання тиском	1
	Вища математика	1, 2	Напруження і деформації	1
	Металознавство і термічна обробка металів зварних з'єднань	1, 2	Сучасні матеріали і технологічні процеси зміцнення та відновлення	1
			САПР технології зварювання	1
			Наплавлення та напилення	1
			Курсове і дипломне проектування	
2	Фізика	4	Технологія і обладнання зварювання	1
			Наплавлення та напилення	2
			Джерела живлення для зварювання	1
3	Фізика	2	Технологія і обладнання зварювання плавленням	2,3
	Металознавство і термічна обробка зварних з'єднань	1	Паяння металів	1
			Теоретичні основи відновлення та зміцнення сталей	1
			Металургійні основи наплавлення	1

## ІІ РОЗПОДІЛ НАВЧАЛЬНОГО ЧАСУ

Розподіл навчальних годин за видами занять приведений і табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Розподіл навчального часу

Форма навчання	триместр	Кредити	Модулі	Всього	Розподіл за триместрами та видами занять						Вид підсумкового контролю
					лекції	лаб. роб	практ. заняття	контр. знань	С Р С		
									всього	у тому числі: ІСЗ	
Заочна прискорена	10	2,5	1	90	12	4	4	4	66	18	залік
	12	3,5	2	126	16	8	4	6	92	20	іспит
Курсова робота	12	1,0	1	36			12	4	20		диф.залік

### ІІІ МЕТА І ЗАВДАННЯ ДИСЦИПЛІНИ

3.1. Мета вивчення дисципліни “Теорія процесів зварювання” полягає в тому, щоб майбутні фахівці набули в систематизованій послідовності знань основ термодинаміки, кінетики процесів, що можливі при зварюванні, основ теплопередачі і розрахунків теплопередачі при зварюванні металоконструкцій та їх охолодженні, уміння творчо підходити до вирішення багатосторонніх задач технологічних процесів зварювання та конструювання зварних виробів. Екологічний технологічний процес та оптимальну зварну конструкцію можна отримати, якщо вміти досить точно визначити заходи утворення тріщин в швах і ЗТВ, передбачити умови зварювання, за яких попереджується утворення пор в металі зварних швів, знижується розчинність газів та утворення неметалевих включень. При вивченні дисципліни “Теорія процесів зварювання” студенти набувають навички вести розрахунки режимів зварювання, площі перетину зварних швів, температурне поле в ЗТВ та інше.

#### 3.2. Завдання дисципліни

Задачею дисципліни являється розвиток знань та навичок використання теоретичних знань, набутих в процесі вивчення попередніх курсів, для широкого впровадження теоретичного аналізу і передбачення в виробничу діяльність. Головною задачею дисципліни є закладення теоретичних основ для подальшого вивчення професійно-спрямованих дисциплін.

Дисципліна “ Теорія процесів зварювання ” викладаються на третьому курсі в сьомому та восьмому триместрах з метою підготовки студентів до вивчення дисциплін: «Напруження і деформації», «Зварювання плавленням», «Зварювання тиском», «Джерела живлення», до виконання курсового та дипломного проектування, а також до практичної діяльності в умовах виробництва.

Вивчення дисципліни передбачає придбання студентами знання:

- основних законів термодинаміки;
- кінетики перебігу фізико-хімічних процесів;
- рівноваги цих процесів в гомогених та гетерогених системах;
- основ теплопередачі, методів рішення загального диференційного рівняння теплопровідності;
- поняття термічного циклу зварювання. Визначення максимальної температури термічного циклу для окремих способів зварювання;
- розрахунку продуктивності розплавлення електроду;
- розрахунку параметрів зони проплавлення;
- розрахунку ефективності проплавлення основного металу;
- розрахунку швидкості охолодження точки зварного з'єднання;
- розрахунку швидкості зварювання різних видів швів.
- заходів зниження токсичності газів, що утворюються при зварюванні;

- заходів по попередженню утворення гарячих та холодних тріщин;
- заходів по попередженню пороутворення при зварюванні;
- методів рафінування металу зварних швів;
- заходів по зменшенню зони термічного впливу, особливо, зони перегрівання металу цієї зони;
- вміння підбирати зварювальні матеріали згідно з матеріалами зварної конструкції.

#### IV ТЕМАТИЧНИЙ ПЛАН

##### IV.1 Розподіл навчального часу за темами

Найменування розділів тем	Розподіл за семестрами та видами занять					
	Всього	Лекції	Лабораторні роботи	Практичні роботи	Контроль знань	СРС
1	2	3	4	5	6	7
<b>Модуль 1</b>	90	12	4	4	4	66
<b>Розділ 1. Основні закони термодинаміки</b>		2				10
Тема 1.1. Термодинамічне визначення зварювання. Перший закон термодинаміки. Ентальпія як температурна функція.		1				5
Тема 1.2. Другий закон термодинаміки. Ентропія та її обчислення		1				5
<b>Розділ 2. Кінетика процесів в гомогенних та гетерогенних системах</b>		2				10
Тема 2.1. Рівновага в гомогенних системах. Про можливість досягнення рівноваги при зварюванні. Рівняння ізотерми реакції Вант-Гоффа		1				5
Тема 2.2 Про рухливість рівноваги. Рівновага в гетерогенних системах.		1				5
<b>Розділ 3. Розрахунки теплових процесів при зварюванні</b>		8	4			46
Тема 3.1. Теплові процеси при зварюванні. Закон теплопровідності Фур'є. Тема 3.2. Диференційне рівняння температуропровідності. Краєві умови.		1				4
Тема 3.3. Схеми тіл, що нагріваються при зварюванні. Види зосереджених джерел теплоти.		1				4
Тема 3.4. Зварювальна дуга, як джерело нагрівання. Дія рухливого джерела на напівнескінченне тіло. Рухоме та швидко рухоме джерело теплоти постійної потужності при наплавленні валика на масивне тіло та при зварюванні листів встик з по-		1				6

вним проплавленням						
Тема 3.5. Термічний цикл. Максимальна температура термічного циклу.		1				6
Тема 3.6. Розрахунок миттєвої та середньої швидкості охолодження металу зварних швів та ЗТВ. Розрахунки критичної швидкості охолодження зварних з'єднань.		1				6
Тема 3.7. Плавлення основного металу при зварюванні. Розрахунки розмірів зварювальної ванни. Теплова ефективність процесу проплавлення. Тема 3.8. Плавлення електродного металу. Приблизний розрахунок процесу нагрівання електроду струмом.		1				6
Тема 3.9. Продуктивність процесу розплавлення і наплавлення. Коефіцієнти розплавлення і наплавлення.		1				6
Тема 3.10. Нерівномірність розплавлення електрода. Розрахунки площ наплавлення та проплавлення. Розрахунки швидкості зварювання швів типу I і II. Контроль знань		1			4	8
<b>Модуль 2</b>	72	8	4	2		58
<b>Розділ 4. Електрична зварювальна дуга</b>		4	4			30
Тема 4.1. Електрична зварювальна дуга та газове полум'я як джерела теплоти при зварюванні. Нові зварювальні джерела теплоти		1				8
Тема 4.2. Іонізація газів в розрядному проміжку. Емісія електронів із катоду в зварювальній дузі. Тема 4.3. Вольтамперні характеристики зварювальної дуги.		1				8
Тема 4.4. Зварювальна дуга змінного струму. Тема 4.5. Перенесення металу через дуговий проміжок		1				8
Тема 4.6. Фізичні процеси в дуговому розряді. Тепловий баланс енергій в дуговому розряді. Тема 4.7. Магнітогідродинаміка зварювальної дуги.		1				6
<b>Розділ 5. Взаємодія газів з металом при зварюванні.</b>		4				28
Тема 5.1. Розчинність газів в металі зварних швів в процесі зварювання. Розчинність атомарного та молекулярного водню.		1				8
Тема 5.2. Розчинність азоту в металах при зварюванні.		1				6

Тема 5.3. Розчинність кисню в металах при зварюванні. Тема 5.4. Окислення металу газоподібним киснем.		1				8
Тема 5.5. Розкислювальна здатність легуючих елементів. Тема 5.5. Випаровування металів при зварюванні		1				6
<b>Модуль 3</b>	54	8	4	2	6	34
<b>Розділ 6. Кристалізація металу зварювальної ванни</b>		4	2			18
Тема 6.1. Процеси первинної кристалізації металу. Дефекти первинної кристалізації.		1				4
Тема 6.2. Технологічна міцність зварних з'єднань. Гарячі тріщини.		1				6
Тема 6.3. Вторинна кристалізація зварних з'єднань. Дефекти вторинної кристалізації. Холодні тріщини.		1				4
Тема 6.4. Вплив термодформаційного циклу зварювання на структуру та властивості металу в зварних з'єднаннях.		1				4
<b>Розділ 7. Зварювальні шлаки. Їх взаємодія з металом зварювальної ванни</b>		4	2			16
Тема 7.1. Зварювальні шлаки. Їх функції, властивості, структура і взаємодія з металом зварювальної ванни і швів.		1				4
Тема 7.2. Фізичні властивості зварювальних шлаків Тема 7.3. Склад зварювальних шлаків. Взаємодія металу і шлаку при зварюванні		1				4
Тема 7.4. Рафінування металу зварювальних швів.		1				4
Тема 7.5. Легування металу зварювальних швів Контроль знань		1			6	4
<b>ВСЬОГО</b>	216	28	12	8	10	158

## IV.2 Лекції

### Модуль 1

#### Розділ 1. Основні закони термодинаміки

**Лекція 1. Термодинамічне визначення зварювання. Перший закон термодинаміки. Другий закон термодинаміки.**

**Тема 1.1. Термодинамічне визначення зварювання. Перший закон термодинаміки. Ентальпія як температурна функція.**

Термодинамічне визначення зварювання та споріднених технологій. Перший закон термодинаміки. Його поняття, обчислення та використання. Ізохоричні і ізобаричні процеси. Ентальпія як температурна функція. Закон Гесса.

Література [1, 2, 3].

Завдання на СРС. Термодинамічна класифікація способів зварювання. Оцінка енергетичної ефективності та вимог для джерел енергії для зварювання

### **Тема 1.2. Другий закон термодинаміки. Ентропія та її обчислення**

Другий закон термодинаміки. Ентропія та її обчислення. Термодинамічні потенціали. Залежність енергії Гіббса від температури.

Література [1, 2, 3].

Завдання на СРС. Максимальна робота процесу.

## **Розділ 2. Кінетика процесів в гетерогенних та гомогенних системах.**

**Лекція 2. Рівновага в гомогенних системах. Рівняння ізотерми реакції Вант – Гоффа. Рівновага в гетерогенних системах.**

**Тема 2.1. Рівновага в гомогенних системах. Про можливість досягнення рівноваги при зварюванні. Рівняння ізотерми реакції Вант –Гоффа.**

Рівновага фізико – хімічних систем. Визначення рівноваги в гомогенних системах, розрахунки постійної рівноваги. Рівняння ізотерми реакції.

Література [1, 2, 3, 7].

Завдання на СРС. Розрахунки постійної рівноваги в газових та рідинних середовищах. Вплив температури і концентрації реагуючих речовин на швидкість хімічних реакцій.

### **Тема 2.2 Про рухливість рівноваги. Рівновага в гетерогенних системах.**

Рівновага в гетерогенних системах. Про досягнення рівноваги при зварюванні. Принцип рухливості рівноваги. Визначені закономірності розрахунків постійної рівноваги в однорідному та багатофазному середовищі.

Література [1, 2, 3, 7].

Завдання на СРС. Ступень повноти реакції і склад рівноважної суміші. Вплив на рівновагу активності оксидів та їх летучості.

## **Розділ 3. Розрахунки теплових процесів при зварюванні**

**Лекція 3. Теплові процеси при зварюванні. Закон теплопровідності Фур'є. Диференційне рівняння температуропровідності. Схеми тіл, що нагріваються при зварюванні. Види зосереджених джерел теплоти.**

### **Тема 3.1. Теплові процеси при зварюванні. Закон теплопровідності Фур'є**

Поняття температурного поля. Градієнт температур. Закон теплопровідності Фур'є. Теплообмін з поверхні тіл. Конвективний і теплообмін. Коефіцієнт теплопровідності. Його залежність від природи матеріалу і температури.

Література [2].

Завдання на СРС. Теплофізичні властивості металу.

### **Тема 3.2. Диференційне рівняння температуропровідності. Краєві умови.**

Загальне диференціальне рівняння теплопровідності. Краєві та початкові умови для його рішення при зварюванні. Метод джерел і його використання для розрахунків теплових полів окремих випадків зварювання.

Література [1, 2, 3, 5].

Завдання на СРС. Методи рішення загального диференціального рівняння теплопровідності.

**Тема 3.3. Схеми тіл, що нагріваються при зварюванні. Види зосереджених джерел теплоти.**

Схеми тіл, що нагріваються. Зосереджені миттєві джерела теплоти. Точкове миттєве зосереджене джерело нагрівання. Лінійне миттєве зосереджене джерело нагрівання. Плоске мит-

тєве зосереджене джерело нагрівання. Розрахунок межевої температури при використанні таких джерел. Принцип накладення температур. Вплив режимів зварювання і теплофізичних властивостей матеріалів на розподіл температур. Схеми зварювальних процесів. Етапи теплопередавання.

Література [1, 2, 3].

Завдання на СРС. Розрахункові схеми зварювальних процесів.

**Лекція 4. Теплові властивості зварювальної дуги. Дія рухливого джерела на напівнескінченне тіло. Термічний цикл. Максимальна температура термічного циклу.**

**Тема 3.4. Зварювальна дуга, як джерело нагрівання. Дія рухливого джерела на напівнескінченне тіло. Рухоме та швидкорухоме джерело теплоти постійної потужності при наплавленні валика на масивне тіло та при зварюванні листів встик з повним проплавленням**

Теплові властивості зварювальної дуги. Дія рухливого джерела на напівнескінченне тіло. Розрахунок граничної температури при автоматичному наплавленні валика на масивне тіло. Розрахунок граничної температури при автоматичному зварюванні листів встик з повним проплавленням.

Література [1, 2, 3].

Завдання на СРС. Нагрів тіл обертання. Теплові процеси при точечному зварюванні.

**Тема 3.5. Термічний цикл. Максимальна температура термічного циклу.**

Термічний цикл. Максимальна температура термічного циклу. Розрахунок максимальної температури термічного циклу при автоматичному наплавленні валика на масивне тіло. Розрахунок максимальної температури термічного циклу при автоматичному зварюванні листів встик.

Література [1, 2, 3].

Завдання на СРС. Термічний цикл при багатошаровому зварюванні.

**Лекція 5. Розрахунок миттєвої та середньої швидкості охолодження металу зварних швів та ЗТВ. Плавлення основного металу при зварюванні. Плавлення електродного металу.**

**Тема 3.6. Розрахунок миттєвої та середньої швидкості охолодження металу зварних швів та ЗТВ. Розрахунки критичної швидкості охолодження зварних з'єднань.**

Регулювання термічного циклу зварювання при однопрохідному зварюванні. Обґрунтування поняття та розрахунки миттєвої швидкості охолодження металу зварних швів та ЗТВ. Розрахунок миттєвої й середньої швидкості охолодження при автоматичному наплавленні валика на масивне тіло. Розрахунок миттєвої і середньої швидкості охолодження при автоматичному зварюванні аркушів встик з повним проплавленням. Розрахунки критичної швидкості охолодження металу зварних з'єднань. Критична швидкість охолодження при безперервному охолодженні при зварюванні.

Література [1, 2, 3].

Завдання на СРС. Схема розрахунку швидкості охолодження при зварюванні металу товщиною від 10 до 25 мм. Визначення критичної швидкості охолодження на основі експериментальних даних.

**Тема 3.7. Плавлення основного металу при зварюванні. Розрахунки розмірів зварювальної ванни. Теплова ефективність процесу проплавлення.**

Плавлення основного металу при зварюванні. Розрахунки параметрів зварювальної ванни при автоматичному наплавленні валика на масивне тіло та автоматичному зварюванні листів встик з повним їх проплавленням. Розрахунок довжини зварювальної ванни. Ефективність процесу проплавлення. Визначення ККД процесу проплавлення. Визначення площі проплавлення.

Література [1, 2, 3].



Завдання на СРС. Розрахунки параметрів зварювальної ванни при електронно-випромінювальному і електрошлаковому зварюванні.

**Тема 3.8. Плавлення електродного металу. Приблизний розрахунок процесу нагрівання електроду струмом.**

Плавлення електродного металу. Диференціальне рівняння нагрівання електрода зварювальною дугою при РДЗ. Нагрівання електрода струмом при автоматичному й напівавтоматичному зварюванні.

Література [1, 2, 3].

Завдання на СРС. Приближений метод розрахунку процесу нагрівання електрода струмом.

**Лекція 6. Продуктивність процесу розплавлення і наплавлення. Нерівномірність розплавлення електрода. Розрахунки площ наплавлення та проплавлення.**

**Тема 3.9. Продуктивність процесу розплавлення і наплавлення. Коефіцієнти розплавлення і наплавлення.**

Продуктивність процесу розплавлення і наплавлення. Коефіцієнти розплавлення і наплавлення. Коефіцієнт загальних втрат електродного металу.

Література [1, 2, 3].

Завдання на СРС. Праця над конспектом і підготовка реферату.

**Тема 3.10. Нерівномірність розплавлення електрода. Розрахунки площ наплавлення та проплавлення. Розрахунки швидкості зварювання швів типу I і II.**

Нерівномірність розплавлення електрода. Розрахунки площ наплавлення та проплавлення основного металу. Види зварних швів. Розрахунки швидкості зварювання швів типу I і II.

Література [1, 3-5].

Завдання на СРС. Особливості нагрівання і охолодження металу при деяких видах зварювання.

**Модуль 2**

**Розділ 4. Електрична зварювальна дуга**

**Лекція 7. Електрична зварювальна дуга та газове полум'я як джерела теплоти при зварюванні. Іонізація газів в розрядному проміжку. Емісія електронів із катоду в зварювальній дузі. Вольтамперні характеристики зварювальної дуги.**

**Тема 4.1. Електрична зварювальна дуга та газове полум'я як джерела теплоти при зварюванні. Нові зварювальні джерела теплоти**

Електрична зварювальна дуга та газове полум'я як джерела теплоти при зварюванні. Природа теплоти, її концентрації, вплив останньої на ЗТВ. Нові зварювальні джерела теплоти: електронний промінь, плазмовий струмінь, електрошлакове джерело теплоти, зварювання тертям.

Література [1, 2, 3].

Завдання на СРС: Порівняльні характеристики різних джерел теплоти.

**Тема 4.2. Іонізація газів в розрядному проміжку. Емісія електронів із катоду в зварювальній дузі.**

Іонізація газів в розрядному проміжку. Рівняння Сага та В.В. Фролова для чистого газу та суміші. Методи іонізації газів в розрядному проміжку. Емісія електронів із катоду в зварювальній дузі. Термоелектронна та автоелектронна емісії.

Література [1, 2, 3, 6, 7].

Завдання на СРС: Термоелектронна та автоелектронна емісії.

#### **Тема 4.3. Вольтамперні характеристики зварювальної дуги.**

Вольтамперні характеристики зварювальної дуги. Стиснута зварювальна дуга, або плазмова дуга.

Література [1, 2, 3, 7].

Завдання на СРС: Дуга на форсованому режимі.

#### **Лекція 8. Зварювальна дуга змінного струму. Перенесення металу через дуговий проміжок. Фізичні процеси в дуговому розряді. Магнітогідродинаміка зварювальної дуги.**

##### **Тема 4.4. Зварювальна дуга змінного струму.**

Зварювальна дуга змінного струму. Методи підвищення стабільності дугового розряду при зварюванні на змінному струмі.

Література [1, 3, 5].

Завдання на СРС: Теплова ефективність дуги змінного струму.

##### **Тема 4.5. Перенесення металу через дуговий проміжок**

Перенесення металу через дуговий проміжок Сили, що діють на краплю електродного металу, що висить на торці електроду. Вплив режимів зварювання і середовища, в якому відбувається електричний розряд, на перенесення електродного металу через дуговий проміжок.

Література [2, 4, 7].

Завдання на СРС: Методи керування перенесенням металу.

##### **Тема 4.6. Фізичні процеси в дуговому розряді. Тепловий баланс енергій в дуговому розряді.**

Фізичні процеси в дуговому розряді. Тепловий баланс енергій в дуговому розряді при зварюванні.

Література [1, 3, 7].

##### **Тема 4.7. Магнітогідродинаміка зварювальної дуги.**

Магнітогідродинаміка зварювальної дуги. Вплив магнітних полів та феромагнітних мас на зварювальну дугу.

Література [1, 3].

Завдання на СРС: Дуга яка обертається.

#### **Розділ 5. Взаємодія газів з металом при зварюванні**

##### **Лекція 9. Розчинність газів в металі зварних швів в процесі зварювання. Розчинність атомарного та молекулярного водню. Розчинність азоту в металах при зварюванні.**

##### **Тема 5.1. Розчинність газів в металі зварних швів в процесі зварювання. Розчинність водню.**

Розчинність газів в металі зварних швів в процесі зварювання. Розчинність атомарного водню. Розчинність молекулярного водню. Вплив водню на властивості металу зварних швів.

Література [1, 3, 6, 7].

##### **Тема 5.2. Розчинність азоту в металах при зварюванні.**

Розчинність азоту в металі зварних швів в процесі зварювання. Вплив азоту на властивості металу зварних швів.

Література [1, 2].

Завдання на СРС: Денітрація металу зварних швів в процесі зварювання.

##### **Лекція 10. Розчинність кисню в металах при зварюванні. Окислення металу газо-подібним киснем. Розкислювальна здатність легуючих елементів. Випаровування металів при зварюванні.**

##### **Тема 5.3. Розчинність кисню в металах при зварюванні.**

Джерела кисню при зварюванні. Розчинність кисню в металах при зварюванні.  
Література [2, 3, 6].

Завдання на СРС: Вплив кисню на властивості металів зварних швів.

#### **Тема 5.4. Окислення металу газоподібним киснем.**

Окислення металу газоподібним киснем. Пружність дисоціації оксидів чистих металів та в розчинах.

Література [1, 2, 3, 7].

#### **Тема 5.5. Розкислювальна здатність легуючих елементів.**

Розкислювальна здатність легуючих елементів. Графіки В.І.Дятлова для оцінки розкислювальної здатності елементів при зварюванні сталей. Розкислення з отриманням кондинсованих продуктів реакції. Розкислення з отриманням газообразних продуктів реакції. Дифузійне розкислення. Література [1, 2, 8].

Завдання на СРС: Розкислення металу за допомогою кислих та основних шлаків.

#### **Тема 5.6. Випаровування металів при зварюванні.**

Випаровування металів при зварюванні. Пружність пару чистого металу та металу в розчині.

Література [1, 2, 3, 7].

Завдання на СРС: Розрахунок хімічного складу розчину по відомих пружностях чистих металів.

### **Модуль 3**

#### **Розділ 6. Кристалізація металу зварювальної ванни.**

**Лекція 11. Процеси первинної кристалізації металу. Технологічна міцність зварних з'єднань. Гарячі тріщини.**

**Тема 6.1. Процеси первинної кристалізації металу. Дефекти первинної кристалізації.**

Первинна кристалізація металу зварювальної ванни. Геометричне представлення первинної кристалізації металу зварювальної ванни. Методи регулювання первинної кристалізації зварних швів. Теорія утворення пор при зварюванні. Методи попередження пор при зварюванні. Механізм та стадії утворення пор при зварюванні. Шлакові вclusions в металі швів.

Література [2, 3, 7, 8, 9].

Завдання на СРС: Ліквіація в металі швів.

#### **Тема 6.2. Технологічна міцність зварних з'єднань. Гарячі тріщини.**

Теорія утворення гарячих тріщин. Механізм їх утворення. Поняття температурного інтервалу крихкості. Види гарячих тріщин. Методи попередження гарячих тріщин. Методи дослідження зварювальних матеріалів і технології зварювання на чутливість металу зварних з'єднань до утворення гарячих тріщин. Технологічні проби для оцінки чутливості металу зварних з'єднань до утворення гарячих тріщин.

Література [1, 2, 8].

Завдання на СРС: Шляхи підвищення технологічної міцності зварних з'єднань.

**Лекція 12. Вторинна кристалізація зварних з'єднань. Холодні тріщини. Вплив термомодеформаційного циклу зварювання на структуру та властивості металу в зварних з'єднаннях.**

**Тема 6.3. Вторинна кристалізація зварних з'єднань. Дефекти вторинної кристалізації. Холодні тріщини.**

Вторинна кристалізація. Теорія утворення холодних тріщин. Методи попередження холодних тріщин при зварюванні. Методи дослідження чутливості зварювальних матеріалів і технологій зварювання на утворення холодних тріщин. Кількісні методи оцінки. Технологічні проби для оцінки чутливості утворення холодних тріщин.

Література [2, 3, 7, 9].

Завдання на СРС: Хрупке руйнування металу зварних з'єднань.

#### **Тема 6.4. Вплив термдеформаційного циклу зварювання на структуру та властивості металу в зварних з'єднаннях.**

Вплив режимів зварювання на метал шва і навколошовної зони. Метал шва і навколошовна зона при зварюванні низьковуглецевої сталі. Властивості металу шва і зони термічного впливу при зварюванні низьколегованих сталей, що гартуються. Зварний шов і ЗТВ при зварюванні чавуна

Література [1, 2, 3].

Завдання на СРС: праця над конспектом і підготовка реферату.

### **Розділ 7. Зварювальні шлаки. Їх взаємодія з металом зварювальної ванни**

#### **Лекція 13. Зварювальні шлаки. Їх функції, властивості, структура і взаємодія з металом зварювальної ванни і швів.**

##### **Тема 7.1. Зварювальні шлаки. Їх функції, властивості, структура і взаємодія з металом зварювальної ванни і швів.**

Зварювальні шлаки. Їх функції, властивості, структура і взаємодія з металом зварювальної ванни і швів. Методи дослідження властивостей шлаків: температури плавлення, в'язкості, густини, нагрівальної здатності, здатності відокремлюватись та інших.

Література [2, 3, 7].

##### **Тема 7.2. Фізичні властивості зварювальних шлаків**

Фізичні властивості зварювальних шлаків. Температура плавлення зварювальних шлаків. Щільність шлаку. В'язкість зварювальних шлаків. Віддільність шлаку.

Література [2, 3, 7].

Завдання на СРС: Методи оцінки віддільності шлакової корки.

##### **Тема 7.3. Склад зварювальних шлаків. Взаємодія металу і шлаку при зварюванні**

Склад зварювальних шлаків. Хімічна взаємодія металів зварних швів і зварювальних шлаків при різних способах зварювання.

Література [1, 2, 3].

#### **Лекція 14. Рафінування металу зварних швів. Легування металу зварювальних швів**

##### **Тема 7.4. Рафінування металу зварних швів.**

Рафінування металу зварних швів на сірку та фосфор через зварювальні шлаки.

Література [2, 3, 7].

##### **Тема 7.5. Легування металу зварювальних швів**

Методи легування металу зварних швів.

Література [1, 2, 6].

Завдання на СРС: Визначення коефіцієнтів переходу хімічних елементів в метал зварних швів при різних способах зварювання.

## **IV.3 ПРАКТИЧНІ ЗАНЯТТЯ**

### **Модуль 1. Розділ 3.**

Практичне заняття 1. Нагрів та плавлення основного та електродного метала.

#### **Модуль 2. Розділ 4.**

Практичне заняття 2. Розрахунки ступені дисоціації молекулярних газів за рівняннями Сага і В.В.Фролова. Розрахунки термо і автоелектроної емісії. Побудова вольт-амперних характеристик зварювальної дуги.

#### **Модуль 3. Розділ 6.**

Практичне заняття 3. Розрахунки критичної швидкості охолодження точки зварного з'єднання при зварюванні гартівних сталей. Визначення складових структури гартівних сталей по величині критичної швидкості охолодження.

#### **Розділ 7.**

Практичне заняття 4. Розрахунки хімічного складу металу шва з урахуванням окислювально-відновчих процесів, що відбуваються між шлаком з металом на різних стадіях процесу зварювання.

### **IV.4. ЛАБОРАТОРНІ РОБОТИ**

Мета лабораторного практикуму - закріпити та поглибити теоретичні знання студентів, набуті при вивченні дисципліни “Теорія процесів зварювання” в галузі розрахунків та досліджень основ теплопередачі в зварних конструкціях в різних умовах зварювання та різних режимах, надати навички практичного дослідження процесів, що відбуваються в зоні розплавлення електроду, а також в зварювальній ванні, ЗТВ та інше..

#### **Модуль 1**

Лабораторна робота №1. Дослідження теплових характеристик зварювальної дуги – 4 години.

#### **Модуль 2**

Лабораторна робота №4. Джерела енергії при зварюванні. Електрична зварювальна дуга – 4 години.

#### **Модуль 3**

Лабораторна робота №6. Дослідження стійкості сталі до виникнення холодних тріщин – 2 години.

Лабораторна робота №7. Вплив легуючих елементів на механічні характеристики шва – 2 години.

### **IV.5. ІНДИВІДУАЛЬНІ ЗАВДАННЯ**

Мета індивідуального завдання полягає в поглибленні, узагальненні та закріпленні знань, які студенти одержали в процесі навчання, а також вміння використовувати їх на практиці.

Для самостійного вивчення пропонується:

По розділу 1. Розрахувати напрямок перебігу реакцій в заданих умовах.

По розділу 2. Розрахувати постійні рівноваги, що протікають в різних фазах і умовах.

Обґрунтувати рухомість рівноваги на прикладі дисоціації одноатомного та двоатомного газів.

По розділу 3. Провести схематизацію окремих способів зварювання.

Провести розрахунки миттєвої середньої та критичної швидкості охолодження точки зварного з'єднання для конкретних умов зварювання та охолодження.

Провести розрахунки швидкості зварювання різних типів швів.

По розділу 4. Визначення енергій Гіббса і Гельмгольца для реакцій згідно з методичними вказівками для виконання індивідуальних завдань.

По розділу 5. Вплив каталізаторів на рівновагу фізико-хімічних процесів і на повноту їх перебігу.

По розділу 6. Розрахунки межової температури для ручного дугового зварювання листів встик з повним проплавленням.

По розділу 7. Сумісний аналіз основностей зварювальних шлаків, одержаних розрахунковим шляхом по різних формулах.

#### **IV.6. КОНТРОЛЬНІ РОБОТИ**

При вивченні дисципліни передбачається виконання студентами двох контрольних робіт.

Мета контрольних робіт – перевірка підготовки студентів з певних розділів робочої навчальної програми.

Перша контрольна робота виконується по модулю 1 і містить два теоретичних питання і дві задачі. Друга контрольна робота виконується по модулям 2 та 3 і містить два теоретичних питання і шість задач. Перше питання контрольного завдання і три задачі відповідають модулю 2, друге питання і три задачі модулю 3.

Контрольні роботи виконуються згідно з варіантом, який видається викладачем та містяться в методичних вказівках.

Критерії оцінки контрольних робіт додаються до робочої програми (Додаток А).

#### **V. МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

При вивченні даної навчальної дисципліни необхідно звернути увагу на інженерний підхід до рішення розрахункових задач та розуміння механізмів виникнення явищ. Необхідною умовою успішного вирішення питання є використання законів кінетики процесів для розрахунку окремих задач щодо перебігу реакцій, а також теплопередач, детальний аналіз елементів явищ, вплив напружень, навантажень, чистоти металу, температури та інш.

Наочність навчальних занять повинна забезпечуватись роздатковим та ілюстративним матеріалами.

Перспективним є використання комп'ютерної техніки при викладанні окремих розділів програми.

Для контролю поточної успішності студентів та сприяння їх ритмічної роботи на протязі семестру пропонується дотримуватись наступного триместрового графіку, який знаходиться в додатку В.

Оцінювання знань студентів проводиться за рейтинговою стобальною системою. Ці бали набираються студентом у ході здачі обов'язкових та додаткових контрольних заходів. Для отримання допуску до іспиту студент повинен набрати не менше 55 балів.

#### **VI. НАВЧАЛЬНО – МЕТОДИЧНІ МАТЕРІАЛИ**

##### **Основна література**

1. Теория сварочных процессов / Под ред. В.В.Фролова, М.: Машиностроение, 1988. – 559 с.
2. Багрянский К.В., Добротина З.А., Хренов К.К. Теория сварочных процессов. - К.: Вища школа, 1976. – 424 с.
3. Петров Г.Л., Тумарев А.С. Теория сварочных процессов. - М.: Высш.школа, 1977. – 392 с.
4. Рыкалин Н.Н. Расчет тепловых процессов при сварке. – М.: Машгиз, 1954. – 296 с.

5. Исаев С.И. Термодинамика. Учебн. для вузов. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2000. – 416 с.
6. Прохоров Н.Н. Физические процессы в металлах при сварке. Т.1. Элементы физики металлов и процессы кристаллизации. Изд-во «Металлургия», М.:1968. – 695 с.
7. Лившиц М.Г., Богуцкий А.А. Методические указания к лабораторным работам по дисциплине «Теория сварочных процессов» - Краматорск: КИИ, 1987. – Ч.1.-Ч.3 – 52 с
8. Лившиц М.Г., Богуцкий А.А. Методические указания к лабораторным работам по дисциплине «Теория сварочных процессов» - Краматорск: КИИ, 1987. – Ч.2. – 36 с
9. Богуцкий А.А. Методические указания к практическим занятиям по дисциплине «Теория сварочных процессов» - Краматорск: ДГМА, 2003.– 60 с
10. Богуцкий А.А. Методические указания к курсовой работе по дисциплине «Теория сварочных процессов» - Краматорск: ДГМА, 2003.– 24 с.
11. Богуцкий А.А. Методичні вказівки до курсової роботи з дисципліни «Теорія зварювальних процесів» - Краматорськ: ДДМА, 2001.– 24 с.
12. Богуцкий А.А. Методические указания к курсовой работе по дисциплине «Теория сварочных процессов» - Краматорск: ДГМА, 2003.– 24 с.
13. Карпенко В.М., Богуцкий А.А. Методичні вказівки до виконання самостійної роботи з дисципліни «Теорія зварювальних процесів» - Краматорськ: ДДМА, 2002.– 32 с.

### Додаткова література

1. Афанасьев В.Н., Исаев С.И., Котиков Н.А.. Задачник по технической термодинамике и теории тепломассообмена. – М.: Высш.школа, 1986. –324 с.
2. Карапетьянц М.Х. Примеры и задачи по химической термодинамике. – М.: Химия, 1974. –301 с.
3. Махненко В.И. Тепловые процессы при сварке // Сварка в СССР. Гл.2. С. 27...44. – М.: Наука, 1981. Т.2. – 494 с.
4. Лабораторные работы по сварке / Под ред. Проф. Г.А. Николаева. – М.: Высш. школа, 1971. – 320 с.
- 5.Меджибожский М.Я. Основы термодинамики и кинетики сталеплавильных процессов. – Киев-Донецк.: Вища школа,1979. – 280 с.
6. Волченко В.Н. Источники энергии сварочных процессов. – М.: Машиностроение, 1971. – 75 с.

Робочу навчальну програму розробили  
доцент кафедри зварювального виробництва

Богуцький О.А.

старший викладач кафедри зварювального виробництва

Жаріков С.В.

### Критерії оцінки контрольної роботи

Умови оцінки виконання контрольних робіт здійснюється за схемою:

1. Контрольна робота виконана без зауважень з першого пред'явлення викладачу.

Викладач робить запис на контрольній роботі “До захисту” та зараховує студенту 10 балів, які входять у загальний підсумок балів, що складають рівень знань за курсом.

2. Контрольна робота виконана із невеликим зауваженням, що потребують доробки (повторного пред'явлення).

Викладач робить запис на контрольній роботі “До захисту з доробкою” та зараховує студенту від 5 до 10 балів, які входять у загальний підсумок балів, що складають рівень знань за курсом.

3. Контрольна робота має грубі помилки та значні недоліки у виконанні завдань, що потребують другого та третього пред'явлення викладачу.

Викладач робить запис на контрольній роботі “На доробку” та зараховує студенту від 0 до 5 балів, які входять у загальний підсумок балів, що складають рівень знань за курсом.

### Критерії оцінки захисту контрольної роботи та підсумкового модульного контролю

Захист являє собою письмову відповідь за типовим завданням в межах тем, які відповідають питанням до захисту модулів 1, 2 та 3.

Умови оцінки захисту контрольних робіт здійснюється за схемою:

Загалом після виконання контрольної роботи та її захисту студент-заочник отримує бали, що складають першу частину підсумкового рейтингу знань та вмінь за курсом “ Теорія процесів зварювання ”.

Перша контрольна робота виконується по модулю 1.

Максимально перша частина підсумкового рейтингу складає 40 балів (12 балів за виконання контрольної роботи + 8 балів за захист лабораторних робіт + 20 балів за захист контрольної роботи).

Мінімально перша частина підсумкового рейтингу складає 25 балів (6 балів за виконання контрольної роботи + 5 балів за захист лабораторних робіт + 14 балів за захист контрольної роботи).

В першій контрольній роботі передбачено виконання однієї обов'язкової контрольної точки (максимум 12 балів, мінімум 6 балів) та її захист (максимум 20 балів, мінімум 14 балів).

Обов'язкова контрольна точка складається з двох задач, рішення кожної яких оцінюється від 1 до 2 балів та двох теоретичних питань, відповідь на кожне з яких оцінюється від 2 до 4 балів.

Також оцінка по 1 модулю містить залікове завдання (максимум 60 балів, мінімум 30 балів). Завдання на залік складається з задачі, рішення якої оцінюється від 15 до 30 балів, а також питання, відповідь на яке оцінюється від 15 до 30 балів.

Друга контрольна робота виконується по модулям 2 та 3.

Максимально перша частина підсумкового рейтингу складає 40 балів (12 балів за виконання контрольної роботи + 8 балів за захист лабораторних робіт + 20 балів за захист контрольної роботи).

Мінімально перша частина підсумкового рейтингу складає 25 балів (7 балів за виконання контрольної роботи + 5 балів за захист лабораторних робіт + 13 балів за захист контрольної роботи).

По другому модулю передбачено виконання однієї обов'язкової контрольної точки (максимум 12 балів, мінімум 7 балів) та її захист (максимум 20 балів, мінімум 13 балів).



Обов'язкова контрольна точка складається з трьох задач, рішення кожної яких оцінюється від 1 до 2 балів та одного теоретичного питання, відповідь на яке оцінюється від 4 до 6 балів.

Також оцінка по 2 модулю містить залікове завдання (максимум 60 балів, мінімум 30 балів). Завдання на залік складається з задачі, рішення якої оцінюється від 15 до 30 балів, а також питання, відповідь на яке оцінюється від 15 до 30 балів.

По третьому модулю передбачено виконання однієї обов'язкової контрольної точки (максимум 12 балів, мінімум 7 балів) та її захист (максимум 20 балів, мінімум 13 балів).

Обов'язкова контрольна точка складається з трьох задач, рішення кожної яких оцінюється від 1 до 2 балів та одного теоретичного питання, відповідь на яке оцінюється від 4 до 6 балів.

Також оцінка по 3 модулю містить залікове завдання (максимум 60 балів, мінімум 30 балів). Завдання на залік складається з задачі, рішення якої оцінюється від 15 до 30 балів, а також питання, відповідь на яке оцінюється від 15 до 30 балів.

**Склад модулів дисципліни „Теорія процесів зварювання”, розподіл часу на їх засвоєння, терміни контролю**

№ п/п	Стислий зміст модуля	Триместр	Загальна кількість годин	Кредити ECTS	Кількість ауд. годин	Коефіцієнт вагомості	Форми та методи контролю	Тиждень проведення
1.	Основні закони термодинаміки. Кінетика процесів в гомогенних та гетерогенних системах. Основи теплових розрахунків при зварюванні. Розрахунки теплових процесів при зварюванні.	10	90	2,5	24	1,0	Захист лабораторних робіт Перевірка контрольної роботи Захист контрольної роботи	14 15 16
2.	Електрична зварювальна дуга. Взаємодія газів з металом при зварюванні.	11, 12	72	2	14	0,5	Захист лабораторних робіт	10
3.	Кристалізація металу зварювальної ванни. Зварювальні шлаки. Їх взаємодія з металом зварювальної ванни	11, 12	54	1,5	20	0,5	Захист лабораторних робіт Перевірка контрольної роботи Захист контрольної роботи	18 19 20
4	Курсова робота	12	36	1,0	16	1,0		
	Всього		252	7,0	74			