

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ

ДОНБАСЬКА ДЕРЖАВНА МАШИНОБУДІВНА АКАДЕМІЯ

ЗАТВЕРДЖЕНО:

На засіданні Вченої ради

Голова Вченої ради

Ректор ДДМА

\_\_\_\_\_ В.А.Федорінов  
(підпис, ініціали, прізвище)

Протокол № \_\_\_\_\_ від \_\_\_\_\_ 2012 р.  
(протокол, номер, дата)

## РОБОЧА НАВЧАЛЬНА ПРОГРАМА ДИСЦИПЛІНИ

### Теорія процесів зварювання

Для напрямку підготовки 6.050504 “Зварювання”  
(спеціальності “Технологія та устаткування зварювання”)  
(денне відділення прискорена форма навчання)

Декан факультету

\_\_\_\_\_ Машинобудівний \_\_\_\_\_  
(назва факультету)

\_\_\_\_\_ Гринь О.Г.  
(підпис, ініціали, прізвище)

Програму рекомендовано кафедрою

\_\_\_\_\_ ОіТЗВ \_\_\_\_\_  
(назва кафедри)

Протокол № 20 від 05.06.2012 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	Зварювання плавленням	1 - 2
	Фізика	2	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	1
			Курсове і дипломне проектування	
2	Фізика	4	Зварювання плавленням	1
			Нанесення покриття	2
			Джерела живлення для зварювання	1
3	Фізика	2	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

## II 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	практ. заняття	лаб. роб	контр. знань	С Р С		
									всього	У тому числі: ІСЗ	
денна (ускор)	9	2,0	1	72	18	9	9	4	32	20	мк
	10	3,0	1	108	45		15	6	42	30	іспит
курс. робота	10	1,0	1	36		15		4	17	10	диф. залік

## III 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 цьому 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	Контрольні роботи	СРС
1	2	3	4	5	6	7
<b>Модуль 1</b>	<b>72</b>	<b>18</b>	<b>9</b>	<b>9</b>	<b>4</b>	<b>32</b>
<b>Розділ 1. Електрична зварювальна дуга</b>	<b>45</b>	<b>12</b>	<b>5</b>	<b>7</b>	<b>0</b>	<b>21</b>
Тема 1.1. Електрична зварювальна дуга та газове полум'я як джерела теплоти при зварюванні. Нові зварювальні джерела теплоти	15	2	5	2		4
Тема 1.2. Іонізація газів в розрядному проміжку. Емісія електронів із катоду в зварювальній дузі.	9	2		2		3
Тема 1.3. Вольтамперні характеристики зварювальної дуги.	10	2		2		4
Тема 1.4. Зварювальна дуга змінного струму.	8	2		1		3
Тема 1.5. Перенесення металу через дуговий проміжок	8	2				4
Тема 1.6. Фізичні процеси в дуговому розряді. Тепловий баланс енергій в дуговому розряді.	7	2				3
<b>Розділ 2. Розрахунки теплових процесів при зварюванні</b>	<b>23</b>	<b>6</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>11</b>
Тема 2.1. Теплові процеси при зварюванні. Закон теплопровідності Фур'є.	7	2				3
Тема 2.2. Диференційне рівняння температуропровідності. Краєві умови.	8	2				4
Тема 2.3. Схеми тіл, що нагріваються при зварюванні. Види зосереджених джерел теплоти.	14	2	4	2		4
Контрольна робота	4				4	
<b>Модуль 2</b>	<b>59</b>	<b>22</b>	<b>8</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>29</b>
<b>Розділ 2. Розрахунки теплових процесів при</b>	<b>32</b>	<b>10</b>	<b>8</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>14</b>

<b>зварюванні</b>						
Тема 2.4. 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	8	2	4			2
Тема 2.5. Термічний цикл. Максимальна температура термічного циклу.	7	1	4			2
Тема 2.6. Розрахунок миттєвої та середньої швидкості охолодження металу зварних швів та ЗТВ. Розрахунки критичної швидкості охолодження зварних з'єднань.	3	1				2
Тема 2.7. Плавлення основного металу при зварюванні. Розрахунки розмірів зварювальної ванни. Теплова ефективність процесу проплавлення.	4	2				2
Тема 2.8. Плавлення електродного металу. Приблизний розрахунок процесу нагрівання електроду струмом.	4	2				2
Тема 2.9. Продуктивність процесу розплавлення і наплавлення. Коефіцієнти розплавлення і наплавлення.	3	1				2
Тема 2.10. Нерівномірність розплавлення електрода. Розрахунки площ наплавлення та проплавлення. Розрахунки швидкості зварювання швів типу I і II.	3	1				2
<b>Розділ 3. Основні закони термодинаміки</b>	<b>6</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>4</b>
Тема 3.1. Термодинамічне визначення зварювання. Перший закон термодинаміки. Ентальпія як температурна функція.	3	1				2
Тема 3.2. Другий закон термодинаміки. Ентропія та її обчислення	3	1				2
<b>Розділ 4. Кінетика процесів в гомогенних та гетерогенних системах</b>	<b>8</b>	<b>4</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>4</b>
Тема 4.1. Рівновага в гомогенних системах. Про можливість досягнення рівноваги при зварюванні. Рівняння ізотерми реакції Вант-Гоффа	4	2				2
Тема 4.2 Про рухливість рівноваги. Рівновага в гетерогенних системах.	4	2				2
<b>Розділ 5. Взаємодія газів з металом при зварюванні.</b>	<b>13</b>	<b>6</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>7</b>
Тема 5.1. Розчинність газів в металі зварних швів в процесі зварювання. Розчинність атомарного та молекулярного водню.	3	1				2
Тема 5.2. Розчинність азоту в металах при зварюванні.	2	1				1
Тема 5.3. Розчинність кисню в металах при зварюванні.	2	1				1
Тема 5.4. Окислення металу газоподібним киснем.	2	1				1

Тема 5.5. Розкислювальна здатність легуючих елементів.	2	1				1
Тема 5.6. Випаровування металів при зварюванні.	2	1				1
<b>Модуль 3</b>	<b>49</b>	<b>23</b>	<b>7</b>	<b>0</b>	<b>6</b>	<b>13</b>
<b>Розділ 6. Кристалізація металу зварювальної ванни</b>	<b>26</b>	<b>14</b>	<b>4</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>8</b>
Тема 6.1. Процеси первинної кристалізації металу. Дефекти первинної кристалізації.	4	2				2
Тема 6.2. Технологічна міцність зварних з'єднань. Гарячі тріщини.	6	4				2
Тема 6.3. Вторинна кристалізація зварних з'єднань. Дефекти вторинної кристалізації. Холодні тріщини.	10	4	4			2
Тема 6.4. Вплив термодформаційного циклу зварювання на структуру та властивості металу в зварних з'єднаннях.	6	4				2
<b>Розділ 7. Зварювальні шлаки. Їх взаємодія з металом зварювальної ванни</b>	<b>17</b>	<b>9</b>	<b>3</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>5</b>
Тема 7.1. Зварювальні шлаки. Їх функції, властивості, структура і взаємодія з металом зварювальної ванни і швів.	3	2				1
Тема 7.2. Фізичні властивості зварювальних шлаків	6	2	3			1
Тема 7.3. Склад зварювальних шлаків. Взаємодія металу і шлаку при зварюванні	3	2				1
Тема 7.4. Рафінування металу зварювальних швів.	2	1				1
Тема 7.5. Легування металу зварювальних швів	3	2				1
Контрольна робота	6				6	

## IV.2 Лекції

### Модуль 1

#### Розділ 1. Електрична зварювальна дуга

**Тема 1.1. Електрична зварювальна дуга та газове полум'я як джерела теплоти при зварюванні. Нові зварювальні джерела теплоти**

Лекція 1. Електрична зварювальна дуга та газове полум'я як джерела теплоти при зварюванні. Природа теплоти, її концентрації, вплив останньої на ЗТВ.

Література [1, 2, 3].

Завдання на СРС: Праця над конспектом і підготовка реферату.

**Тема 1.2. Іонізація газів в розрядному проміжку. Емісія електронів із катоду в зварювальній дузі.**

Лекція 2. 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.

Література [1, 2, 3, 6, 7].

Завдання на СРС: праця над конспектом і підготовка реферату.

### **Тема 1.3. Вольтамперні характеристики зварювальної дуги.**

Лекція 3. Вольтамперні характеристики зварювальної дуги. Дуга на форсованому режимі. Стиснута зварювальна дуга, або плазмова дуга.

Література [1, 2, 3, 7].

Завдання на СРС: праця над конспектом і підготовка реферату.

### **Тема 1.4. Зварювальна дуга змінного струму.**

Лекція 4. Зварювальна дуга змінного струму. Методи підвищення стабільності дугового розряду при зварюванні на змінному струмі. Теплова ефективність дуги змінного струму.

Література [1, 3, 5].

Завдання на СРС: праця над конспектом і підготовка реферату.

### **Тема 1.5. Перенесення металу через дуговий проміжок**

Лекція 5. Перенесення металу через дуговий проміжок Сили, що діють на краплю електродного металу, що висить на торці електроду. Методи керування перенесенням металу.

Література [2, 4, 7, 8].

Завдання на СРС: праця над конспектом і підготовка реферату.

### **Тема 1.6. Фізичні процеси в дуговому розряді. Тепловий баланс енергій в дуговому розряді.**

Лекція 6. Фізичні процеси в дуговому розряді. Тепловий баланс енергій в дуговому розряді при зварюванні.

Література [1, 3, 7].

Завдання на СРС: праця над конспектом і підготовка реферату.

## **Розділ 2. Розрахунки теплових процесів при зварюванні**

### **Тема 2.1. Теплові процеси при зварюванні. Закон теплопровідності Фур'є.**

Лекція 7. 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 2.2. Диференційне рівняння температуропровідності. Краєві умови.**

Лекція 8. 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 2.3. Схеми тіл, що нагріваються при зварюванні. Види зосереджених джерел теплоти.**

Лекція 9. Схеми тіл, що нагріваються. Зосереджені миттєві джерела теплоти. Точкове миттєве зосереджене джерело нагрівання. Лінійне миттєве зосереджене джерело нагрівання. Плоске миттєве 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.

## **Модуль 2**

**Тема 2.4. 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**

Лекція 10. 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 зварюванню листів встик з повним проплавленням.

Література [1, 2, 3].

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

**Тема 2.5. Термічний цикл. Максимальна температура термічного циклу.**

**Тема 2.6. Розрахунок миттєвої та середньої швидкості охолодження металу зварних швів та ЗТВ. Розрахунки критичної швидкості охолодження зварних з'єднань.**

Лекція 11. 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. 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.

Література [1, 2, 3].

Завдання на СРС. Термічний цикл при багатошаровому зварюванні. Схеми розрахунку швидкості охолодження при зварюванні металу товщиною від 10 до 25 мм.

**Тема 2.7. Плавлення основного металу при зварюванні. Розрахунки розмірів зварювальної ванни. Теплова ефективність процесу проплавлення.**

Лекція 12. 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 2.8. Плавлення електродного металу. Приблизний розрахунок процесу нагрівання електроду струмом.**

Лекція 13. 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.

### **Тема 2.9. Продуктивність процесу розплавлення і наплавлення. Коефіцієнти розплавлення і наплавлення.**

### **Тема 2.10. Нерівномірність розплавлення електрода. Розрахунки площ наплавлення та проплавлення. Розрахунки швидкості зварювання швів типу І і ІІ.**

Лекція 14. Продуктивність процесу розплавлення і наплавлення. Коефіцієнти розплавлення і наплавлення. Коефіцієнт загальних втрат електродного металу. Нерівномірність розплавлення електрода. Розрахунки площ наплавлення та проплавлення основного металу.

Література [1, 2, 3-5].

Завдання на СРС. Особливості нагрівання і охолодження металу при деяких видах зварювання. Праця над конспектом і підготовка реферату.

## **Розділ 3. Основні закони термодинаміки**

### **Тема 3.1. Термодинамічне визначення зварювання. Перший закон термодинаміки. Ентальпія як температурна функція.**

### **Тема 3.2. Другий закон термодинаміки. Ентропія та її обчислення**

Лекція 15. Термодинамічне визначення зварювання та споріднених технологій. Перший закон термодинаміки. Ізохоричні і ізобаричні процеси. Ентальпія як температурна функція. Закон Гесса. Другий закон термодинаміки. Ентропія та її обчислення. Термодинамічні потенціали. Залежність енергії Гіббса від температури.

Література [1, 2, 3].

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

## **Розділ 4. Кінетика процесів в гетерогенних та гомогенних системах.**

### **Тема 4.1. Рівновага в гомогенних системах. Про можливість досягнення рівноваги при зварюванні. Рівняння ізотерми реакції Вант -Гоффа**

Лекція 16. 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 4.2 Про рухливість рівноваги. Рівновага в гетерогенних системах.**

Лекція 17. Рівновага в гетерогенних системах. Про досягнення рівноваги при зварюванні. Принцип рухливості рівноваги. Визначені закономірності розрахунків постійної рівноваги в однорідному та багатоазному 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 5. Взаємодія газів з металом при зварюванні**

**Тема 5.1. Розчинність газів в металі зварних швів в процесі зварювання. Розчинність атомарного та молекулярного водню.**

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

Лекція 18. Розчинність газів в металі зварних швів в процесі зварювання. Розчинність атомарного водню. Розчинність молекулярного водню. Розчинність азоту в металі зварних швів в процесі зварювання.

Література [1, 2, 3, 6, 7].

Завдання на СРС: праця над конспектом і підготовка реферату.

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

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

Лекція 19. Джерела кисню при зварюванні. Розчинність кисню в металах при зварюванні. Вплив кисню на властивості металів зварних швів. Окислення металу газоподібним киснем. Пружність дісоціації оксидів чистих металів та в розчинах.

Література [1, 2, 3, 6, 7].

Завдання на СРС: праця над конспектом і підготовка реферату.

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

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

Лекція 20. Розкислювальна здатність легуючих елементів. Розкислення металу за допомогою кислих та основних шлаків. Випаровування металів при зварюванні. Пружність пару чистого металу та металу в розчині.

Література [1, 2, 3, 7, 8].

Завдання на СРС: праця над конспектом і підготовка реферату.

## **Модуль 3**

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

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

Лекція 21. Первинна кристалізація металу зварювальної ванни. Методи регулювання первинної кристалізації зварних швів. Теорія утворення пор при зварюванні. Методи попередження пор при зварюванні. Шлакові включення в металі швів.

Література [2, 3, 7, 8, 9].

Завдання на СРС: праця над конспектом і підготовка реферату.

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

Лекція 22. Теорія утворення гарячих тріщин. Механізм їх утворення. Поняття температурного інтервалу крихкості. Види гарячих тріщин.

Література [1, 2, 8].

Завдання на СРС: праця над конспектом і підготовка реферату.

Лекція 23. 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. Шляхи підвищення технологічної прочності зварних з'єднань.

Література [2, 8].

Завдання на СРС: праця над конспектом і підготовка реферату.

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

Лекція 24. Вторинна кристалізація. Теорія утворення холодних тріщин. Методи попередження холодних тріщин при зварюванні.

Література [2, 3, 7, 9].

Завдання на СРС: праця над конспектом і підготовка реферату.

Лекція 25. Методи дослідження чутливості зварювальних матеріалів і технологій зварювання на утворення холодних тріщин. Кількісні методи оцінки. Технологічні проби для оцінки чутливості утворення холодних тріщин. Хрупке руйнування металу зварних з'єднань.

Література [2, 3, 7, 9].

Завдання на СРС: праця над конспектом і підготовка реферату.

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

Лекція 26. Вплив режимів зварювання на метал шва і навколошовної зони. Метал шва і навколошовна зона при зварюванні низьковуглецевої сталі.

Література [1, 2, 3].

Завдання на СРС: праця над конспектом і підготовка реферату.

Лекція 27. 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**

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

Лекція 28. 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].

Завдання на СРС: праця над конспектом і підготовка реферату.

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

Лекція 29. Фізичні властивості зварювальних шлаків. Температура плавлення зварювальних шлаків. Щільність шлаку. В'язкість зварювальних шлаків. Віддільність шлаку. Методи оцінки віддільності шлакової корки.

Література [2, 3, 7].

Завдання на СРС: праця над конспектом і підготовка реферату.

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

Лекція 30. Склад зварювальних шлаків. Хімічна взаємодія металів зварних швів і зварювальних шлаків при різних способах зварювання.

Література [1, 2, 3].

Завдання на СРС: праця над конспектом і підготовка реферату.

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

Лекція 31. Рафінування металу зварних швів на сірку та фосфор через зварювальні шлаки.

Література [2, 3, 7].

Завдання на СРС: праця над конспектом і підготовка реферату.

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

Лекція 32. Методи легування металу зварних швів. Визначення коефіцієнтів переходу хімічних елементів в метал зварних швів при різних способах зварювання.

Література [1, 2, 6].

Завдання на СРС: праця над конспектом і підготовка реферату.

## **IV.3 ПРАКТИЧНІ ЗАНЯТТЯ**

### **Модуль 1**

#### **Розділ 1.**

Практичне заняття 1. Розрахунок ентальпії та ентропії системи. Визначення енергії Гібса.

Практичне заняття 2. Розрахунок константи рівноваги реакцій, які протікають при різних температурах.

Практичне заняття 3 . Розрахунок середньої швидкості охолодження точок зварного з'єднання при зварюванні гартівних сталей.

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

Практичне заняття 4. Розрахунки ступені дисоціації молекулярних газів за рівняннями Сага і В.В.Фролова. Розрахунки термо і автоелектроної емісії. Побудова вольт-амперних характеристик зварювальної дуги.

#### 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.

Лабораторна робота №2. Дослідження проплавлення металу при дуговому зварюванні – 3 години.

##### Модуль 2

Лабораторна робота №3. Дослідження продуктивності процесу нагрівання та плавлення електроду при дуговому зварюванні. – 4 години.

Лабораторна робота №4. Дослідження еластичності дугового розряду – 4 години.

##### Модуль 2

Лабораторна робота №5. Дослідження теплових характеристик зварювальної дуги – 4 години.

Лабораторна робота №6. Дослідження стійкості сталі до виникнення холодних тріщин – 3 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. 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 2. Визначення енергій Гіббса і Гельмгольца для реакцій згідно з методичними вказівками для виконання індивідуальних завдань.

По розділу 3. Розрахувати напрямок перебігу реакцій в заданих умовах.

По розділу 4. Розрахувати постійні рівноваги, що протікають в різних фазах і умовах.

Обґрунтувати рухомість рівноваги на прикладі дисоціації одноатомного та двоатомного газів.

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 розразунковим шляхом по різних формулах.

## **IV.6. КОНТРОЛЬНІ РОБОТИ**

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

Контрольні роботи №1, 2 виконуються після вивчення відповідних розділів програми (дивись тематичний план).

Контрольні завдання на кожну контрольну роботу наведені в додатку 1.

## **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.

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. Богуцький 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., Богуцький 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 старший викладач кафедри обладнання і технологій зварювального виробництва С.В. Жаріков та асистент С.В. Бондарев.

Контрольні завдання на контрольну роботу №1 по розділам 1, 2:

**Варіант 1**

1. Хімічна спорідненість компонентів реакції. Залежність енергії Гіббса від температури.
2. Розрахунок зони проплавлення основного металу. Розрахунок довжини зварювальної ванни для автоматичного наплавлення валика на масивне тіло.

**Варіант 2**

1. Закон теплопровідності Фур'є.
2. Термічний цикл. Розрахунок максимальної температури термічного циклу при автоматичному наплавленні валика на масивне тіло і автоматичному зварюванні листів встик.

**Варіант 3**

1. Початкові і граничні умови.
2. Розрахунок миттєвої й середньої швидкості охолодження металу зварних швів.

**Варіант 4**

1. Схеми джерел нагрівання.
2. Продуктивність процесу розплавлення і наплавлення. Коефіцієнти розплавлення і наплавлення.

**Варіант 5**

1. Схеми тіл, які нагріваються.
2. Розрахунок довжини зварювальної ванни при автоматичному зварюванні листів встик з повним проплавленням. Розрахунок параметрів зварювальної ванни.

**Варіант 6**

1. Загальне диференціальне рівняння теплопровідності.
2. Ефективність процесу проплавлення. Визначення термічного ККД зварювання

**Варіант 7**

1. Дія рухливого джерела на напівнескінченне тіло. Розрахунок граничної температури при автоматичному наплавленні валика на масивне тіло і автоматичному зварюванню листів встик з повним проплавленням.
2. Розрахунок швидкості зварювання швів першого і другого типу.

Контрольні завдання на контрольну роботу №2 по розділам 2-7:

**Варіант 1**

1. Іонізація ідеальних газів. Потенціал іонізації. Методи іонізації. Рівняння Сага. Іонізація сумішів газів.
2. Розчинність атомарного водню в металі зварних швів. Вплив концентрації розчиненого водню на властивості металу.

**Варіант 2**

1. Вплив магнітних полів на дугу.
2. Окислення металу газоподібним киснем. Пружність дисоціації оксидів металів.

**Варіант 3**

1. Зварювання на перемінному струмі. Методи стабілізації дуги на перемінному струмі.
2. Розчинність азоту в металі зварних швів. Вплив концентрації розчиненого азоту на властивості металів.

**Варіант 4**

1. Фізичні процеси в розрядному проміжку зварювальної дуги. Тепловий баланс дуги.
2. Розчинність кисню в металах при зварюванні. Вплив концентрації розчиненого кисню на властивості металів.

**Варіант 5**



1. Емісія електронів з катоду. Термоелектронна та автоелектронна емісія.
2. Випаровування металу.

#### **Варіант 6**

1. Вольтамперні характеристики зварювальної дуги. Формула Г.Айртона та її використання для різних гілок характеристики.
2. Розкислювальна здатність легуючих елементів.

#### **Варіант 7**

1. Сили, що діють на краплю електродного металу, яка висить на торці електроду. Методи регулювання перенесенням крапель електродного металу через розрядний проміжок.
2. Розчинність молекулярного водню в металі зварних швів.

#### **Варіант 8**

1. Теорія утворення гарячих тріщин. Кристалізаційні та полігонізаційні гарячі тріщини. Механізм їх утворення.
2. Рафінування металу зварних швів зварювальними шлаками.

#### **Варіант 9**

1. Методи попередження утворення гарячих тріщин. Вплив окремих елементів на утворення гарячих тріщин.
2. Фізичні властивості зварювальних шлаків.

#### **Варіант 10**

1. Методи попередження холодних тріщин.
2. Склад зварювальних шлаків. Взаємодія металу і шлаку при зварюванні

#### **Варіант 11**

1. Теорія утворення холодних тріщин. Затримане руйнування металу. Механізм утворення холодних тріщин.
2. Легування металу зварних швів.

#### **Варіант 12**

1. Теорія утворення пор при зварюванні. Етапи пороутворення. Механізм утворення пор. Методи попередження пор при зварюванні.
2. Зварювальні шлаки. Їх функції, властивості, структура і взаємодія з металом зварювальної ванни і швів.

**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	Форми та методи контролю	Тиждень проведення
1	Електрична зварювальна дуга. Взаємодія газів з металом при зварюванні. Основи теплових розрахунків при зварюванні.	9	90	2,5	40	Захист лабораторної роботи №1 Захист лабораторної роботи №2 Практичні заняття Контрольна робота №1	4 6 8 9
2	Розрахунки теплових процесів при зварюванні. Основні закони термодинаміки	10	77	1,75	30	Захист лабораторної роботи №3 Захист лабораторної роботи №4	4 6
3	Кристалізація металу зварювальної ванни. Зварювальні шлаки. Їх взаємодія з металом зварювальної ванни.	10	49	1,75	36	Захист лабораторної роботи №5 Захист лабораторної роботи №6 Контрольна робота №2	10 14 18
4	Курсова робота	10	54	1,5	125		9
	Всього		270	7,5	130		

Індивідуальний навчальний план  
підготовки студента \_\_\_\_\_  
у 2011/2012 навчальному році  
напряом підготовки \_\_\_\_\_

Факультет машинобудівний

Курс 3

Група \_\_\_\_\_

№	Дисципліна	Триместр	Час на засвоєння	Кредити ECTS	Навчальні заняття в годинах					Вид підсумкового контролю	Кількість модулів
					Разом	Лекції	Лабораторні роботи	Практичні роботи	Контрольні роботи		
	Теорія зварювальних процесів	9	72	2,0	40	18	9	9	4	мк	1
		10	108	3,0	66	45	15	0	6	екзамен	1