

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)

НАВЧАЛЬНА ПРОГРАМА ДИСЦИПЛІНИ

Теорія процесів зварювання

Для напрямів підготовки (спеціальностей):

6.050504 “Зварювання”

(спеціальності “Технологія та устаткування зварювання”)

Декан факультету

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

\_\_\_\_\_ Гринь О.Г.  
(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

## I. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

Дисципліна “Теорія процесів зварювання” є базою для вивчення інших дисциплін, що відносяться до циклу професійно-орієнтованих. В ній закладені знання з термодинаміки та теплових процесів зварювання, знання явищ і процесів, які виникають і протікають в зварювальній дузі та інших джерелах теплоти, що використовуються при зварюванні, а також тих, що протікають в металах зварних швів і зоні термічного впливу (ЗТВ), в шлаках та між фазами. Значне місце в «Теорії процесів зварювання» займає кристалізація металів при зварюванні та утворення тріщин та пор, як її наслідок.

Дана дисципліна базується на знаннях та практичних навичках, що одержані при вивченні фундаментальних дисциплін: хімія, вища математика, металознавство і термічна обробка металів, технологія конструкційних матеріалів, основи обробки металів.

Ці знання використовуються в подальшому при вивченні таких дисциплін, як:

- «Зварювання плавленням», в розділі «Дефекти зварних з'єднань» використовуються знання по теорії утворення холодних та гарячих тріщин, пор. В розділі «Зварювання легованих сталей» використовуються знання «Теорії зварювальних процесів» з впливу термічних циклів на властивості металу зони термічного впливу. Тут важливим є визначення середньої та критичної швидкості охолодження зварних з'єднань. В розділах «Зварювальні матеріали», «Технологія зварювання легованих сталей», «Технологія зварювання кольорових металів», «Технологія зварювання в особливих умовах» і інших використовуються знання з «Теорії процесів зварювання» в області розчинення газів в металах та їх вплив на властивості цих металів.

- «Проектування зварних конструкцій», «Напруження та деформація в зварних конструкціях», «Зварювання тиском», «Спеціальні методи зварювання», «Сучасні матеріали та технологія наплавлення», «Кінетика металургійних процесів при зварюванні» та інших використовуються також знання з «Теорії процесів зварювання» по геометричному представленню, кристалізації металів, оптимізації режимів зварювання, розчиненню газів в металах, утворенню розчинів в металах і шлаках, рафінування металу швів шлаками та інше.

### Мета і завдання дисципліни

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 студенти набувають навички вести розрахунки режимів зварювання, площі перетину зварних швів, температурного поля в ЗТВ та інше.

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.

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 по попередженню утворення гарячих та холодних тріщин;

заходів по попередженню пороутворення при зварюванні;

методів рафінування металу зварних швів;

заходів по зменшенню зони термічного впливу;

вміння підбирати зварювальні матеріали згідно з матеріалами зварної конструкції.

Студент повинен вміти:

розраховувати потрібні рівноваги для процесів, що протікають в різних фазах та між ними;

визначити можливість перебігу реакції та її напрям;

схематизувати різні конкретні процеси зварювання для рішення загального диференційного рівняння теплопровідності;

робити розрахунок різних параметрів процесу теплопередачі при зварюванні;

ставити задачі і проводити дослідження в області термодинаміки і теплопередачі.

визначити стабільність дугового процесу та засоби її покращення;

визначити вольтамперну характеристику дуги, підібрати вольтамперну характеристику джерела живлення, яка б забезпечувала оптимальну стабільність процесу;

визначити вплив магнітних полів на дуговий процес;

визначити вид перенесення металу через дуговий проміжок та засоби регулювання ним;

оцінити окислювальну здатність шлаків, або окремих оксидів;

оцінити розкислювальну схильність окремих хімічних елементів;

визначити схильність металу до зварювання;

знайти заходи попередження гарячих та холодних тріщин і пор в зварних швах;

розрахувати склад наплавленого металу за відомими коефіцієнтами переходу;

розрахувати кислотність зварювального шлаку;

оптимізувати склад зварювального шлаку;

визначити вимоги щодо зварювально-технологічних властивостей шлаків.

Розподіл навчальних годин за триместрами і види навчальних годин відповідно до робочих навчальних планів приведені в табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Розподіл навчального часу

Форма навчан- ня	Триместр	Кредити	Модулі	Всього	Розподіл за триместрами та видами занять						Вид підсум- кового контр- ролю
					лекцій	лаб раб	практ. занять	контр. знань	С Р С		
									всього	У тому числі: ІСЗ	
Денна	5	2,5	1	90	18	18		4	50	14	МК
	6	2,5	1	90	27	9	9	6	39	10	іспит
	7	4,5	1	162	60	15	15	6	66	12	іспит
Курсова робота	7	1,0	1	36			15	4	17		диф.залік
Денна прискорена	9	2,0	1	72	18	9	9	4	36	10	МК
	10	3,0	2	108	45	15		6	42	16	іспит
Курсова робота	10	1,0	1	36			15	4	17		диф.залік
Заочна	7	4,0	1	144	20	8	4	4	108	20	залік
	9	5,5	2	198	20	12	4	6	156	24	іспит
Курсова робота	10	1,0	1	36			12	4	20		диф.залік
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

## II ЗМІСТ НАВЧАЛЬНОГО МАТЕРІАЛУ

№ модуля	№ розділу	Найменування розділів дисципліни	№ тем	Найменування тем дисципліни
<b>Модуль 1</b>	<b>1</b>	<b>Електрична зварювальна дуга</b>	1.1	Електрична зварювальна дуга та газове полум'я як джерела теплоти при зварюванні. Нові зварювальні джерела теплоти
			1.2	Іонізація газів в розрядному проміжку. Емісія електронів із катоду в зварювальній дузі.
			1.3	Вольтамперні характеристики зварювальної дуги. Дуга на форсованому режимі. Стиснута зварювальна дуга, або плазмова дуга.
			1.4	Зварювальна дуга змінного струму. Методи підвищення стабільності дугового розряду при зварюванні на змінному струмі.
			1.5	Перенесення металу через дуговий проміжок. Сили, що діють на краплю електродного металу, що висить на торці електроду.
			1.6	Фізичні процеси в дуговому розряді. Тепловий баланс енергій в дуговому розряді.
			1.7	Магнітогідродинаміка зварювальної дуги. Вплив магнітних полів та феромагнітних мас на зварювальну дугу. Дуга яка обертається.

<b>Мо- дуль 2</b>	<b>2</b>	<b>Розрахунки тепло- вих процесів при зварюванні</b>	2.1	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.
			2.2	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.
			2.3	Схеми тіл, що нагріваються при зварюванні. Зосереджені миттєві джерела теплоти. 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. Теплові властивості зварювальної дуги
			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 Розрахунок граничної температури при автоматичному наплавленні валика на масивне тіло та при автоматичному зварюванню листів встик з повним проплавленням.
			2.5	Термічний цикл. Максимальна температура термічного циклу. Розрахунок максимальної температури термічного циклу при автоматичному наплавленні валика на масивне тіло та при автоматичному зварюванні листів встик.
			2.6	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 та при автоматичному зварюванні листів встик з повним проплавленням. Розрахунки критичної швидкості охолодження металу зварних з'єднань.

			2.7	Плавлення основного металу при зварюванні. Розрахунки параметрів зварювальної ванни при автоматичному наплавленні валика на масивне тіло та автоматичному зварюванні листів встик з повнім їх проплавленням. Розрахунок довжини зварювальної ванни. Ефективність процесу проплавлення. Визначення ККД процесу проплавлення. Визначення площі проплавлення.
			2.8	Плавлення електродного металу. Диференціальне рівняння нагрівання електрода зварювальною дугою при РДЗ. Нагрівання електрода струмом при автоматичному й напівавтоматичному зварюванні.
			2.9	Продуктивність процесу розплавлення і наплавлення. Коефіцієнти розплавлення і наплавлення.
			2.10	Нерівномірність розплавлення електрода. Розрахунки площ наплавлення та проплавлення. Розрахунки швидкості зварювання швів типу І і ІІ. Контрольна робота.
	3	Основні закони термодинаміки	3.1	Термодинамічне визначення зварювання та споріднених технологій. Перший закон термодинаміки. Його поняття, обчислення та використання. Ізохоричні і ізобаричні процеси. Ентальпія як температурна функція. Закон Гесса.
			3.2	Другий закон термодинаміки. Ентропія та її обчислення. Термодинамічні потенціали. Залежність енергії Гіббса від температури.
	4	Кінетика процесів в гомогенних та гетерогенних системах	4.1	Рівновага фізико – хімічних систем. Визначення рівноваги в гомогенних системах, розрахунки постійної рівноваги. Рівняння ізотерми реакції.
			4.2	Рівновага в гетерогенних системах. Про досягнення рівноваги при зварюванні. Принцип рухливості рівноваги. Визначені закономірності розрахунків постійної рівноваги в однорідному та багатоазному середовищі.
Модуль 3	5	Взаємодія газів з металом при зварюванні.	5.1	Розчинність газів в металі зварних швів в процесі зварювання. Розчинність атомарного та молекулярного водню.
			5.2	Розчинність азоту в металах при зварюванні. Вплив азоту на властивості металу зварних швів. Денітрація металу зварних швів в процесі зварювання.
			5.3	Розчинність кисню в металах при зварюванні. Джерела кисню при зварюванні. Вплив кисню на властивості металів зварних швів.

			5.4	Окислення металу газоподібним киснем. Пружність дісоціації оксидів чистих металів та в розчинах.
			5.5	Розкислювальна здатність легуючих елементів. Графіки В.І.Дятлова для оцінки розкислювальної здатності елементів при зварюванні сталей. Дифузійне розкислення. Розкислення металу за допомогою кислих та основних шлаків.
			5.6	Випаровування металів при зварюванні. Пружність пару чистого металу та металу в розчині. Контрольна робота.
	<b>6</b>	<b>Кристалізація металу зварювальної ванни.</b>	6.1	Процеси первинної кристалізації металу. Дефекти первинної кристалізації.
			6.2	Технологічна прочність зварних з'єднань. Гарячі тріщини.
			6.3	Вторинна кристалізація зварних з'єднань. Дефекти вторинної кристалізації. Холодні тріщини.
			6.4	Вплив термодформаційного циклу зварювання на структуру та властивості металу в зварних з'єднаннях.
	<b>7</b>	<b>Зварювальні шлаки. Їх взаємодія з металом зварювальної ванни</b>	7.1	Зварювальні шлаки. Їх функції, властивості, структура і взаємодія з металом зварювальної ванни і швів.
			7.2	Фізичні властивості зварювальних шлаків. Температура плавлення зварювальних шлаків. Щільність шлаку. В'язкість зварювальних шлаків. Віддільність шлаку. Методи оцінки віддільності шлакової корки.
			7.3	Склад зварювальних шлаків. Взаємодія металу і шлаку при зварюванні.
			7.4	Рафінування металу зварювальних швів.
			7.5	Легування металу зварювальних швів. Методи легування металу зварних швів. Визначення коефіцієнтів переходу хімічних елементів в метал зварних швів при різних способах зварювання. Контрольна робота.

### III ПРИБЛИЗНА ТЕМАТИКА ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ

Метою практичних занять є оволодіння методами проведення розрахунків розчинності газів при зварюванні в металі зварювальної ванни та на стадії крапель, його окислення та розкислення, зварювальної здатності та визначення напрямків металургійних процесів та можливостей їх перебігу.

Тематика практичних занять включає:

- розрахунки рівноважної розчинності газів при зварюванні;
- розрахунки концентрації розчинів металів з урахуванням їх впровадження при зварюванні;

- розрахунки пружності оксидів металів, що знаходяться в розчині;
- розрахунки розкислювальної здатності легуючих елементів;
- розрахунки температурної залежності енергії Гіббса можливих металургійних процесів;
- розрахунки зварювальної здатності сталей, схильних до гартування;
- розрахунок металургійних процесів, що протікають між фазами при зварюванні.

#### **IV ПРИБЛИЗНИЙ ПЕРЕЛІК ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ**

Метою виконання лабораторних робіт є набуття студентами навиків вимірювання параметрів процесу зварювання, які вони розраховують на практичних заняттях. Перелік лабораторних робіт наступний:

##### **Модуль 1**

Лабораторна робота №1. Джерела енергії при зварюванні. Електрична зварювальна дуга – 4 години.

Лабораторна робота №2. Дослідження дугового розряду змінного струму – 2 години

Лабораторна робота №3. Дослідження дугового розряду постійного струму – 4 години.

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

Лабораторна робота №5. Дослідження перенесення електродного металу – 4 години.

##### **Модуль 2**

Лабораторна робота №6. Дослідження теплових характеристик зварювальної дуги – 4 години.

Лабораторна робота №7. Дослідження проплавлення металу при дуговому зварюванні – 2 години.

Лабораторна робота №8. Дослідження продуктивності процесу нагрівання та плавлення електроду при дуговому зварюванні. – 3 години.

##### **Модуль 3**

Лабораторна робота №9. Дослідження стійкості сталі до виникнення холодних тріщин – 4 години.

Лабораторна робота №10. Дослідження причин утворення пор при автоматичному зварюванні під флюсом – 3 години.

Лабораторна робота №11. Дослідження зварювально-технологічних властивостей зварювальних шлаків – 4 години.

Лабораторна робота №12. Вплив легуючих елементів на механічні характеристики шва – 4 години.

#### **V ІНДИВІДУАЛЬНІ СЕМЕСТРОВІ 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.

По розділу 2. Визначення енергій Гіббса і Гельмгольца для реакцій згідно з методичними вказівками для виконання індивідуальних завдань.

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

По розділу 5. Розрахувати хімічний склад розчину по відомих пружностях чистих металів.

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.

## **VI КОНТРОЛЬНІ РОБОТИ**

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

Контрольні роботи №1, 2, 3 виконуються після вивчення відповідних розділів програми (дивись тематичний план).

Планується проведення 3 контрольних робіт. Контрольні завдання на кожну контрольну роботу наведені в додатку 1.

## **VII 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 ритмічній роботі 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.

## **VII 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 ОіТЗВ

старший викладач кафедри ОіТЗВ

Богуцкий О.А.

С.В. Жаріков.

**Контрольні завдання на контрольну роботу №1 по розділу 1:**

**Варіант 1**

1. Іонізація ідеальних газів. Потенціал іонізації. Методи іонізації. Рівняння Саха. Іонізація сумішів газів.

2. Фізичні процеси в катодній та анодній областях.

**Варіант 2**

1. Вплив магнітних полів на дугу.

2. Сили, що діють на краплю електродного металу, яка висить на торці електроду.

**Варіант 3**

1. Зварювання на перемінному струмі. Методи стабілізації дуги на перемінному струмі.

2. Емісія електронів з катоду. Термоелектронна та автоелектронна емісія.

**Варіант 4**

1. Фізичні процеси в розрядному проміжку зварювальної дуги. Тепловий баланс дуги.

2. Методи регулювання перенесенням крапель електродного металу через розрядний проміжок.

**Варіант 5**

1. Вольтамперні характеристики зварювальної дуги.

2. Вплив режимів зварювання на перенос електродного металу.

**Контрольні завдання на контрольну роботу №2 по розділам 2, 3, та 4:**

**Варіант 1**

1. Розрахунок зони проплавлення основного металу. Розрахунок довжини зварювальної ванни при автоматичному наплавленні валика на масивне тіло і автоматичному зварюванні листів встик

2. Перший початок термодинаміки. Внутрішня енергія.

**Варіант 2**

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

2. Другий закон термодинаміки. Ентропія.

**Варіант 3**

1. Розрахунок миттєвої й середньої швидкості охолодження металу зварних швів.

2. Рівновага в гетерогенних системах.

**Варіант 4**

1. Схеми тіл, які нагріваються. Схеми джерел нагрівання.

2. Рівновага фізико - хімічних систем. Рівновага в гомогенній системі.

**Варіант 5**

1. Продуктивність процесу розплавлення і наплавлення. Коефіцієнти розплавлення і наплавлення.

2. Хімічна спорідненість компонентів реакції. Залежність енергії Гіббса від температури.

**Варіант 6**

1. Ефективність процесу проплавлення. Визначення термічного ККД зварювання

2. Ізохоричні та ізобаричні процеси. Ентальпія.

### **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. Термодинамічні потенціали. Енергія Гіббса і Гельм-Гольца.

### **Контрольні завдання на контрольну роботу №3 по розділам 5, 6 та 7:**

#### **Варіант 1**

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

#### **Варіант 2**

1. Розчинність водню в металі зварних швів.
2. Фізичні властивості зварювальних шлаків.

#### **Варіант 3**

1. Розчинність кисню в металах при зварюванні. Вплив концентрації розчиненого кисню на властивості металів.
2. Склад зварювальних шлаків. Взаємодія металу і шлаку при зварюванні

#### **Варіант 4**

1. Окислення металу газоподібним киснем. Пружність дисоціації оксидів металів.
2. Легування металу зварних швів.

#### **Варіант 5**

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.

#### **Варіант 6**

1. Розчинність азоту в металі зварних швів. Вплив концентрації розчиненого азоту на властивості металів.
2. Методи попередження утворення гарячих тріщин. Вплив окремих елементів на утворення гарячих тріщин.

#### **Варіант 7**

1. Розкислювальна здатність легуючих елементів.
2. Теорія утворення холодних тріщин. Механізм утворення холодних тріщин. Методи попередження холодних тріщин.