

**Програма підготовки бакалаврів у галузі знань 13–Механічна інженерія
зі спеціальності 131–«Прикладна механіка»
«Теорія процесів зварювання»**

**504 год / 14 кредитів ЕКТС
(90 год. лекцій, 60 год. лабораторних занять, 45 год. практичних занять)**

Навчальний контент

1 - й семестр

Модуль 1.

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

Тема 1. Класифікація способів зварювання по виду використовуємих джерел енергії. Розвиток теорії зварювальних джерел енергії та теплових процесів зварювання. Зв'язок дисципліни з попередніми та послідовними курсами.

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

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

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

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

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

Тема 7. Перенесення металу в дузі з плавким електродом. Сили, що діють на розплавлену краплю металу. Управління переносом металу. Плавлення та випаровування дрових електродів.

Тема 8. Плазмотрони, їх побудова та використання для зварювання, різання і нагріву. Електронно-променеві джерела та особливості їх застосування при зварюванні.

Тема 9. Фотонно-променеві джерела енергії. Фізичні умови отримання когерентного випромінювання. Перспективність використання квантових генераторів для зварювання і різання матеріалів.

Змістовий модуль 2. Теплові процеси при зварюванні

Тема 10. Технологічні питання теорії розповсюдження тепла при зварюванні. Диференційне рівняння теплопровідності, початкові і краєві умови при його рішенні. Вплив джерел нагріву, форми і розмірів виробів, теплофізичних властивостей матеріалів на рішення диференційного рівняння теплопровідності.

Тема 11. Температурні поля і термічні цикли при дії миттєвих крапкових, лінійних і плоских джерел тепла в безкінечному тілі.

Тема 12. Вплив умов теплообміну поверхні тіл на рішення диференційного рівняння теплопровідності. Температурне поле і термічні цикли при дії миттєвих: крапкового джерела нагріву на поверхні напівнескінченого тіла, лінійного джерела тепла в тонких пластинах і плоского джерела в стержнях.

Тема 13. Температурні поля і термічні цикли при дії крапкового джерела тепла, що рухається по поверхні напівнескінченого тіла. Особливості нагріву – охолодження в періоди теплонасичення і вирівнювання.

Тема 14. Температурні поля і термічні цикли при дії рухомого лінійного джерела в тонких пластинах та плоского в стрижнях. Особливості розповсюдження тепла в періоди теплонасичення і вирівнювання. Вплив режимів зварювання та теплофізичних властивостей матеріалів на теплові процеси.

Тема 15. Теплові процеси при наплавленні валика на масивне тіло та однопрохідному зварюванні пластин потужними швидкорухомого джерелами нагріву. Розрахунки термічних циклів, максимальних температур, швидкостей охолодження в металах при зварюванні.

Тема 16. Вплив обмеженості розмірів тіл на процеси розповсюдження тепла при зварюванні. Метод відображення. Теплові процеси при нагріві рухаючіми крапковими джерелами нагріву пластини середньої товщини (плоского шару).

Тема 17. Розподільні джерела тепла при зварюванні. Тепловий процес від миттєвого нормально-кругового джерела в нескінченній пластині і у напівнескінченому тілі. Температурне поле від дії рухомого нормально-кругового джерела.

Тема 18. Практичне використання розрахункових формул при рішенні технологічних питань зварювання. Проплавлення зварюваного матеріалу. Розрахунки довжини і ширини зварювальної ванни. Повний тепловий і термічний к.к.д. проплавлення. Нагрів електродів і зварювального дроту дугою.

Модуль 2. Курсова робота

Змістовий модуль 1. Розрахунки температурних полів та термічних циклів для джерел нагріву, що рухаються

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

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

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

Змістовий модуль 2. Розрахунки температурних полів для джерел нагріву, що швидко рухаються. Визначення властивостей і структури високотемпературної ділянки ЗТВ

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

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

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

2 - й семестр

Модуль 3.

Змістовий модуль 1. Основи термодинаміки металургійних процесів зварювання

Тема 1. Хімічна термодинаміка та кінетика металургійних процесів зварювання. Розвиток теорії металургійних процесів зварювання та їх особливості. Значення хімічної термодинаміки для металургійних процесів.

Тема 2. Основні поняття та величини хімічної термодинаміки. Приклад її використання для визначення результатів зварювання. Системи, процеси, теплоємність. Параметри стану.

Тема 3. Стандартні умови. Правило фаз Гіббса. Газові закони. Термохімія. Закон Лавуазьє-Лапласа. Закон Гесса.

Тема 4. Перший початок термодинаміки для різних систем та його використання для аналізу процесів. Внутрішня енергія та ентальпія індивідуальних речовин і систем, а також їх зміни в ході реакції.

Тема 5. Другий початок термодинаміки. Ентропія речовин та систем. Властивості ентропії. Ентропія речовин у розчинах.

Тема 6. Об'єднана формула Гіббса. Вільна енергія Гельмгольца та Гіббса. Енергія Гіббса речовин у розчинах. Хімічний потенціал.

Тема 7. Властивості потенціалів. Фундаментальне рівняння Гіббса. Рівняння Гіббса-Гельмгольца в скінчених приростах.

Тема 8. Методи розрахунків вільної енергії Гіббса хімічних реакцій. Використання закону взаємодії мас та рівняння Вант-Гоффа для розрахунків складу газової фази при зварюванні.

Тема 9. Вчення про рівновагу. Фізичні умови рівноваги гетерогенних систем. Закон взаємодії мас для гомогенних та гетерогенних систем. Взаємозв'язок константи рівноваги та енергії Гіббса (рівняння Вант-Гоффа). Рівняння ізобари та ізотерми хімічних реакцій. Принцип рухомої рівноваги.

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

Тема 10. Термодинаміка розчинів. Характеристика розчинів при зварюванні. Класи розчинів. Розрахунок хімічних потенціалів речовини у розчині.

Тема 11. Рівновага між газом, розчиненим у конденсованому розчині і у газовій фазі (рівняння Дальтона-Генрі). Закон розподілу речовин у незмішуваних розчинах (закон Нернста-Шилова).

Тема 12. Розчинення газів у металі та їх вплив на властивості металу. Рівновага при фазових перетвореннях. Застосування законів термодинаміки до розрахунку процесу випаровування.

Тема 13. Рівняння Клапейрона-Клаузіуса. Швидкість випаровування речовин. Випаровування розчинів. Розрахунок втрат елементів при зварюванні за рахунок випаровування. Кипіння розчинів.

Тема 14. Окиснення металу при зварюванні. Спорідненість елементів до кисню. Стандартна і фактична спорідненість. Методи розрахунку спорідненості.

Тема 15. Застосування розрахункових методів оцінки спорідненості елементів до кисню у металургії зварювання. Взаємодія металів з газами. Система С-О, О-Н, С-Н-О та їх взаємодія з металами. Окислювальна здатність газової атмосфери.

Тема 16. Номограма Шашкова. Системи Fe-O-C і Fe-O-H. Процеси карбідотворення. Карбіди, нітриди, гідриди і можливість їх утворення при зварюванні. Пористість і воднева крихкість металів.

Тема 17. Кінетика гомогенних реакцій і дифузійних процесів. Енергія активації і залежність швидкості реакцій від температури.

Тема 18. Рівняння швидкостей реакції I і II порядку. Кінетика гетерогенних процесів і дифузійних процесів. Кінетичний і дифузійний режими. Ланцюгові реакції у зварювальній техніці.

3-й семестр

Модуль 4.

Змістовий модуль 1. Металургійні процеси при зварюванні плавленням

Тема 1. Зварювання, як процес створення безперервного міжатомного зв'язку. Умови розвитку металургійних процесів при зварюванні плавленням. Металургійний цикл зварювання плавленням. Розподіл температур в зоні плавлення металу та його вплив на хід процесів. Можливості використання законів рівноваги до зварювальних процесів.

Тема 2 Металургійні характеристики фаз при зварюванні плавленням. Газова фаза. Атмосферні гази. Захисні активні та інертні гази. Вакуум та його використання для зварювальних і споріднених процесів.

Тема 3. Зварювальні шлакові системи. Роль шлаків в металургійних процесах. Властивості та будова шлаків. Діаграми плавкості та в'язкості шлакових систем.

Тема 4. Рафінування металу шва при зварюванні. Способи видалення кисню з металу шва. Розрахунок кількості елементів, які видаляють кисень. Дифузійне видалення кисню. Видалення сірки та фосфору з металу шва при зварюванні.

Тема 5. Легування металу шва при зварюванні. Способи легування: через зварювальний дріт, електродне покриття, флюси, газову фазу. Розрахунок легування металу шва при зварюванні в захисних газах.

Тема 6. Розрахунок хімічного складу металу шва при зварюванні якісними електродами. Термодинамічний розрахунок легування металу шва через шлакову фазу.

Тема 7. Захисні гази. Металургійні процеси при електродуговому зварюванні. Залежність металургійних процесів від режимів зварювання. Металургійні процеси при газополум'яному зварюванні. Особливості металургійних процесів при зварюванні порошковим дротом. Самозихисний зварювальний дріт.

Тема 8. Металургійні процеси при зварюванні під флюсом. Класифікація флюсів. Металургійні процеси при зварюванні під плавленими та керамічними флюсами.

Тема 9. Газо-шлаковий захист металу при зварюванні. Електродні покриття, їх призначення та типи. Металургійні процеси при зварюванні якісними електродами.

Змістовий модуль 2. Металургійні процеси при зварюванні плавленням

Тема 10. Кристалізація металів і сплавів. Первинна кристалізація металу та її особливості при зварюванні. Загальні положення теорії кристалізації. Поняття про термічне та концентраційне переохолодження. Гомогенна та гетерогенна кристалізація, швидкість кристалізації. Хімічна та фізична мікронеоднорідність металу.

Тема 11. Схеми кристалізації металу шва. Фактори, які впливають на первинну структуру зварного шва. Способи подрібнення структури металу при зварюванні. Вторинна кристалізація металу при зварюванні. Пори та механічні включення в зварних швах. Механізм виникнення та засоби попередження пор, що створюються розчинними та нерозчинними в металі газами.

Тема 12. Гарячі тріщини при зварюванні. Кристалізаційні та підсолідусні тріщини. Міцність та пластичність металів і сплавів при кристалізації та високих температурах. Фактори, які впливають на виникнення кристалізаційних тріщин. Механізм виникнення та засоби попередження підсолідусних тріщин. Механізм виникнення та засоби попередження гарячих тріщин у навколошовній зоні.

Тема 13. Холодні тріщини. Механізм виникнення та засоби попередження холодних тріщин. Схильність металу до сповільненого руйнування. Фактори, які впливають на виникнення холодних тріщин. Заходи попередження холодних тріщин.

Тема 14. Крихке руйнування металу. Деформаційне та термічне старіння металу при зварюванні. Крихкість металу в зв'язку з фазовими перетвореннями. Засоби попередження крихкості металу зварних з'єднань. Механізм та природа виникнення тріщин від повторного нагрівання.

Тема 15. Здатність металів до зварювання плавленням. Поняття та методи визначення здатності до зварювання. Розрахункові і експериментальні методи визначення стійкості металу проти гарячих тріщин.

Тема 16. Розрахункові і експериментальні методи визначення стійкості металу проти холодних тріщин.

Тема 17. Визначення стійкості металу проти переходу до крихкого стану. Визначення експлуатаційних характеристик зварних з'єднань. Особливості зварювання конструкційних вуглецевих сталей. Низьковуглецеві сталі. Високовуглецеві сталі. Низьколеговані сталі та їх зварюваність.

Тема 18. Особливості зварювання середньо - та високолегованих сталей, що підлягають гартуванню. Особливості зварювання високолегованих хромонікелевих сталей та жароміцних нікелевих сплавів. Особливості зварювання кольорових металів та їх сплавів.

Модуль 5. Курсова робота

Змістовий модуль 1. Випаровування легуючих елементів зі сплаву та визначення газової фази при зварюванні.

Тема 1. Розрахунок процесів випаровування металів при зварюванні плавленням.

Тема 2. Розрахунок хімічного складу газової фази при зварюванні в газових сумішах.

Змістовий модуль 2. Хімічна спорідненість елементів сплаву до кисню та процеси розкислення.

Тема 3. Розрахунок хімічної спорідненості елементів сплаву до кисню.

Тема 4. Розрахунок розкислюваної здатності елементів сплаву.

**Програма підготовки бакалаврів у галузі знань 13–Механічна інженерія
зі спеціальності 131–«Прикладна механіка»
«Теорія процесів зварювання»**

504 год / 14 кредитів ЕКТС

(90 год. лекцій, 60 год. лабораторних занять, 45 год. практичних занять)

Теми лабораторних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1-й семестр		
1	Дослідження електричної зварювальної дуги.	2
2	Дослідження зварювальної дуги змінного струму.	2
3	Дослідження особливостей горіння дуги на змінному струмі неплавким вольфрамовим електродом.	2
4	Визначення технологічних характеристик при ручному електродуговому зварюванні покритими електродами.	2
5	Визначення ефективного к.к.д. зварювального джерела нагріву.	2
6	Визначення температурних полів і термічних циклів при зварюванні тонких пластин і масивних тіл великого протягу.	3
7	Визначення розподілу температур нагрівання електрода.	2
Разом за 1 семестр:		15
2-й семестр		
1	Техніка безпеки при проведенні лабораторних занять.	3
2	Спектральний аналіз металів	4
3	Дослідження фізико-хімічних та металургійних процесів при ацетиленокисневому зварюванні.	4
4	Дослідження процесу утворення пор у металі шва при електродуговому зварюванні.	4
Разом за 2 семестр:		15
3-й семестр		
5	Дослідження металургійних процесів при зварюванні якісними електродами.	5
6	Вивчення процесів легування металу шва при автоматичному зварюванні під флюсом.	5
7	Дослідження металургійних процесів при зварюванні в атмосфері захисних газів.	5

8	Дослідження стійкості зварних з'єднань проти утворення гарячих тріщин.	5
9	Дослідження стійкості зварних з'єднань проти утворення холодних тріщин.	5
10	Дослідження процесів формування з'єднань при зварюванні тиском, взаємодії припоїв з основним матеріалом та інших високотемпературних процесів за допомогою установки ІМАШ 20-78.	5
Разом за 3 семестр:		30

**Програма підготовки бакалаврів у галузі знань 13–Механічна інженерія
зі спеціальності 131–«Прикладна механіка»
«Теорія процесів зварювання»**

504 год / 14 кредитів ЕКТС

(90 год. лекцій, 60 год. лабораторних занять, 45 год. практичних занять)

Теми практичних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1-й семестр		
1	Розрахунок ефективного потенціалу та ступеня іонізації для дуги при нормальному тиску.	4
2	Розрахунок часу існування іонів та термоелектронної емісії після обриву дуги змінного струму.	2
3	Розрахунок різниці напруг у двох послідовних напівперіодах дуги змінного струму неплавким вольфрамовим електродом	2
4	Розрахунок технологічних характеристик при ручному електродуговому зварюванні покритими електродами	2
5	Розрахунки повної та ефективною теплової потужності для різних способів зварювання.	2
6	Розрахунок максимальних температур та термічного циклу точки, що нагрівається до температурі 1350 °С при дії джерел, що швидко рухаються.	2
7	Розрахунок температурного поля граничного стану на поверхні тіла та побудова ізотерм температур: ліквідусу, 1350 °С, критичної точки A_3 .	4
8	Визначення температури в період теплового насичення для точок осі «у» при різній довжині шва (валика). Джерела інформації: [4], стор. 14 – 17, 21 – 22.	2
9	Розрахунок термічного циклу в період теплового насичення і вирівнювання для точки, що нагрівається при зварюванні (наплавленні) до 1350 °С.	2
10	Визначення швидкості охолодження металу при температурах 550 °С та часу охолодження від A_3 до M_n .	2
11	Визначення довжини різних ділянок зони термічного впливу та структури високотемпературної ділянки.	2
12	Розрахунки нагріву та плавлення електродного дроту.	4

	Використання теплових розрахунків згідно умов зварювання.	
Разом за 1 семестр:		30
2-й семестр		
1	Розрахунок теплових ефектів реакції та температур. Розрахунок зміни вільної енергії Гіббса системи у ході реакції та констант рівноваги реакції.	3
2	Розрахунок складу газової фази при дисоціації газів.	4
3	Розрахунок процесів випаровування сплавів при зварюванні.	4
4	Розрахунок процесів окислення елементів при зварюванні.	4
Разом за 2 семестр:		15

**Програма підготовки бакалаврів у галузі знань 13–Механічна інженерія
зі спеціальності 131–«Прикладна механіка»**

«Теорія процесів зварювання»

504 год / 14 кредитів ЕКТС

(90 год. лекцій, 60 год. лабораторних занять, 45 год. практичних занять)

Завдання для самостійної роботи

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1-й семестр		
1	Класифікація способів зварювання по виду використовуваних джерел енергії. Будова дугового розряду. Класифікація зварювальних дуг. Основні процеси в стовпі дуги. Термодинаміка плазми стовпа дуги, умови термодинамічної рівноваги, ступінь іонізації і рівняння Сага, ефективний потенціал іонізації для суміші газів в стовпі дуги.	5
2	Фізичні процеси в катодній зоні. Емісія електронів з поверхні тіл. Вплив температури, електричного поля та стану поверхні катоду на емісію електронів. Побудова при анодній зоні дугового розряду і процеси перетворення енергії на аноді. Баланс енергії дуги. Потужності, що виділяються на катоді і аноді зварювальних дуг. Вплив власного магнітного поля на процеси в стовпі дуги. Магнітне поле зварювального контуру. Вплив зовнішніх магнітних полів на зварювальну дугу і технологічні процеси при зварюванні	5
3	Перенесення металу в дузі з плавким електродом. Сили, що діють на розплавлену краплю металу. Управління переносом металу. Плазмотрони, їх побудова та використання для зварювання, різання і нагріву. Електронно-променеві джерела та особливості їх застосування при зварюванні.	6
4	Фотонно-променеві джерела енергії. Фізичні умови отримання когерентного випромінювання. Технологічні питання теорії розповсюдження тепла при зварюванні. Вплив джерел нагріву, форми і розмірів	6

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
	виробів, теплофізичних властивостей матеріалів на рішення диференційного рівняння теплопровідності.	
5	Температурні поля і термічні цикли при дії миттєвих крапкових, лінійних і плоских джерел тепла в безкінечному тілі. Температурне поле і термічні цикли при дії миттєвих: крапкового джерела нагріву на поверхні напівнескінченного тіла, лінійного джерела тепла в тонких пластинах і плоского джерела в стержнях.	5
6	Вплив обмеженості розмірів тіл на процеси розповсюдження тепла при зварюванні. Метод відображення. Теплові процеси при нагріві рухаючи ми крапковими джерелами нагріву пластини середньої товщини (плоского шару). Температурне поле від дії рухомого нормально-кругового джерела. Розрахунки довжини і ширини зварювальної ванни. Повний тепловий і термічний к.к.д. проплавлення. Нагрів електродів і зварювального дроту дугою.	6
	Виконання етапів курсової роботи	57
Разом:		90
2-й семестр		
1	Рішення домашніх завдань з курсу хімічної термодинаміки	84
Разом:		84
3-й семестр		
1	Розрахунок процесів випаровування металів при зварюванні плавленням.	22
2	Розрахунок хімічного складу газової фази при зварюванні в газових сумішах.	23
3	Розрахунок хімічної спорідненості елементів сплаву до кисню.	23
4	Розрахунок розкислюваної здатності елементів сплаву.	22
Разом:		90

**Програма підготовки бакалаврів у галузі знань 13–Механічна інженерія
зі спеціальності 131–«Прикладна механіка»
«Теорія процесів зварювання»**

504 год / 14 кредитів ЕКТС

(90 год. лекцій, 60 год. лабораторних занять, 45 год. практичних занять)

1-й семестр

Модуль 1

Контрольні питання до 1-го змістового модуля

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

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

Контрольні питання до 2-го змістового модуля

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

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

2-й семестр

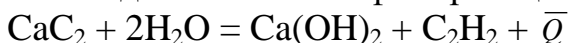
Модуль 3

Контрольні питання до 1-го змістового модуля

1. У чому полягає суть першого початку термодинаміки (ТД) для різних систем? Дайте його математичний запис.

2. Поясніть суть законів Гесса та Лавуазьє-Лапласа. Яким чином, користуючись ними, можна визначити тепловий ефект реакції?

3. Знайдіть тепловий ефект реакції утворення ацетилену



Ентальпії речовин: $\Delta H^\circ_{298(\text{CaC}_2)} = -59 \frac{\text{кДж}}{\text{моль}}$; $\Delta H^\circ_{298(\text{H}_2\text{O})} = -242 \frac{\text{кДж}}{\text{моль}}$;

$$\Delta H^\circ_{298(\text{Ca(OH)}_2)} = -987 \frac{\text{кДж}}{\text{моль}}; \Delta H^\circ_{298(\text{C}_2\text{H}_2)} = -226 \frac{\text{кДж}}{\text{моль}}$$

Відповідь: $\bar{Q} = 126 \text{ кДж}$

4. Знайдіть тепловий ефект реакції відновлення заліза алюмінієм



Ентальпії речовин: $\Delta H^\circ_{298(\text{FeO})} = -269 \frac{\text{кДж}}{\text{моль}}$; $\Delta H^\circ_{298(\text{Al}_2\text{O}_3)} = -1692 \frac{\text{кДж}}{\text{моль}}$;

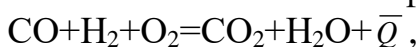
Відповідь: $\bar{Q} = 910 \text{ кДж}$

5. У чому полягає суть другого початку термодинаміки? Дайте його математичний вираз.

6. Яка фізична суть ентропії і її відмінність від теплоємності речовини, що має ту ж розмірність? Визначить зміну ентропії NiS при нагріванні від 298 до 490 °К. Рівняння теплоємності $C_{p\text{NiS}} = 9,25 + 12,8 \cdot T^{-3}$.

7. Що розуміють під ізотермічними потенціалами? Наведіть математичний вираз для ізохорно-ізотермічного та ізобарно-ізотермічного потенціалів.

8. Визначити тепловий ефект реакції при 298 К:



якщо $H^\circ_{298(\text{CO})} = -110 \frac{\text{кДж}}{\text{моль}}$; $H^\circ_{298(\text{CO}_2)} = -395 \frac{\text{кДж}}{\text{моль}}$; $\Delta H^\circ_{298(\text{H}_2\text{O})} = -286 \frac{\text{кДж}}{\text{моль}}$

9. Розрахувати константу рівноваги реакції:

/задача 8/ при $T = 300 \text{ К}$, якщо $S^\circ_{298(\text{CO})} = S^\circ_{298(\text{H}_2)} = S^\circ_{298(\text{O}_2)} = 200 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$;

$$S^\circ_{298(\text{CO})} = 37,0 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}; S^\circ_{298(\text{H}_2\text{O})} = 33,0 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$$

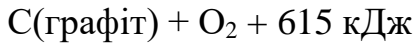
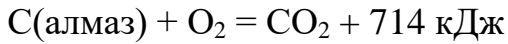
10. Запишіть константу рівноваги реакції Кр

/задача 8/ для $T_1 = 400^\circ\text{C}$ та $T_2 = 300 \text{ К}$.

11. Визначити зміну вільної енергії Гіббса реакції 1 для $T = 3000 \text{ К}$
/задача 8/

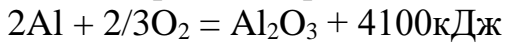
12. Яку максимальну кількість тепла Ви втратите при випаровуванні з поверхні шкіри 8 г. води, якщо теплота випаровування складає 40 кДж/моль?

13. Дано рівняння реакції:



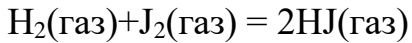
Визначить ΔH процесу переходу графіту в алмаз.

14. Дано рівняння реакції:



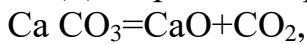
Визначить ΔH при відновленні 1 моля Fe_2O_3 алюмінієм при термітному зварюванні.

15. Визначить константу рівноваги реакції



при 400°C , якщо $P_{(\text{H}_2)} = 10^{-2} \text{ атм}$; $P_{(\text{J}_2)} = 10^{-2} \text{ атм}$; $P_{(\text{HJ})} = 10^{-4} \text{ атм}$

16. Дано рівняння реакції:



що проходить у закритій системі. Як вплине на тиск CO_2 добавка в систему CaCO_3 ?

17. Для однієї і тої ж реакції при T_1 константа $K_{N(T_1)}$ дорівнює 10^{-5} , а при T_2 – 10^{-3} . При якій температурі реакція протікає інтенсивніше?

18. Який із елементів А чи В буде окиснюватися найбільш повно та інтенсивно, якщо при температурі T $P_{(\text{O}_2)} = 10^{-6} \text{ Па}$; $P_{\text{O}_2(\text{BO})} = 10^{-10} \text{ Па}$, А – основа сплаву, концентрація В складає 1,0 %? Атомні маси елементів близькі. Формули оксидів відповідно АО и ВО. Оксиди не розчиняються в сплаві.

19. Система та ж, що в задачі 1, однак сплав розчиняє оксид АО та містить $5 \cdot 10^{-3} \%$ кисню, а концентрація насичення – 0,05 %.

Який із елементів окислюється більш інтенсивно і повно?

20. Запишіть рівняння константи рівноваги, яка виражена через парціальний тиск для реакції



Як знайти чисельне значення константи?

21. Визначить константу розподілення речовини А в двох розчинниках 1 і 2 при температурі 1650°C та концентрацію в першому з них речовини А, якщо у другому міститься цієї речовини 0,2 %, а концентрації насичення рівні в першому 0,4 %, в другому 1,2 %.

22. Чи буде кипіти сплав, який складається з елементів А і В при температурі T , якщо $P_{(\text{A})} = 10^{-8} \text{ атм}$; $P_{(\text{B})} = 10^{-12} \text{ атм}$, А – основа сплаву, концентрація В складає 10,0 %? Атомні маси елементів близькі.

Сплав гріють:

1) на повітрі;

2) в вакуумі 10^{-1} Па .

23. Як можна визначити по зміні величини ізотермічного потенціалу реакції її напрям?

24. Що виражає собою хімічний потенціал системи?

Перелік контрольних питань для другого змістового модуля:

1. Як визначаються ентропія та вільна енергія Гіббса чистої речовини та речовини у розчині?
2. Що розуміють під розбавленим та досконалим розчинами? Виразіть хімічний потенціал для розчинника і розчиненої речовини у розчинах.
3. Як визначити хімічний потенціал речовини, яка знаходиться в реальному розчині? Що таке активність?
4. Що називається рівновагою хімічної реакції і якою характеристикою вона визначається?
5. Проаналізуйте рівняння ізотерми реакції. Що воно дозволяє визначити?
6. Як впливає тиск і температура на становище константи рівноваги реакцій? Запишіть залежність константи рівноваги від температури.
7. Як обчислюється константа рівноваги реакцій? Користуючись наближеними методами розрахунку, визначить K_p реакції $\text{CO} + \text{H}_2\text{O} = \text{CO}_2 + \text{H}_2$ при 1000 та 2000 °К

$$\Delta H^\circ_{298(\text{CO})} = -110 \frac{\text{кДж}}{\text{моль}}; \Delta H^\circ_{298(\text{H}_2\text{O})} = -242 \frac{\text{кДж}}{\text{моль}}; \Delta H^\circ_{298(\text{CO}_2)} = -394 \frac{\text{кДж}}{\text{моль}};$$

$$S^\circ_{298(\text{CO})} = 198 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}; S^\circ_{298(\text{H}_2\text{O})} = 189 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}};$$

$$S^\circ_{298(\text{CO}_2)} = 214 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}; S^\circ_{298(\text{H}_2)} = 130 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$$

8. Які умови необхідні для розчинення газів у рідині?
9. У чому полягає суть закону розподілу Нернста?
10. Які особливості притаманні поверхні контактуючих фаз?
11. Що таке випаровування? Від чого залежить випаровування чистої речовини, а також тої, що знаходиться в розчині?
12. Що називається дифузією? Запишіть в математичній формі перший і другий закони Фіка.
13. Що таке коефіцієнт дифузії і які фактори впливають на його величину?
14. У чому полягають особливості процесів дифузії, які протікають при зварюванні плавленням?
15. Напишіть рівняння дисоціації двох - і трьохатомних газів, що найбільш часто зустрічаються атмосфері дуги.
16. Який механізм насичення рідкого металу газами (хімічне та електричне поглинання газів металами)?
17. Яка мінімальна температура полум'я необхідна для газового зварювання сталей?
18. Як розрахувати тепловий ефект хімічної реакції?
19. У чому полягає суть термодинамічного методу оцінки окислювальної здатності газозварювального полум'я та газової фази взагалі?
20. Які умови окиснювання, відновлення та рівноваги?

21. Яка структура номограми А.М. Шашкова? Як за допомогою цієї номограми встановити взаємодію ацетиленокисневого полум'я з елементами сталі?

22. У чому різниця між технічними термінами "нормальне" або "окислювальне" полум'я та металургійними властивостями полум'я?

23. У чому полягає стандартна та фактична спорідненість елементів до кисню?

24. Яким є вплив спорідненості елементів до кисню на їх концентрацію в металі шва?

3-й семестр

Модуль 4

Перелік контрольних питань для першого змістового модуля

1. У чому проявляється вплив кисню на властивості сталі?
2. Як впливає азот на властивості сталі?
3. Як впливає вуглець на властивості сталі?
4. Якими шляхами попадають кисень, водень, азот і вуглець в реакційний простір при дуговому зварюванні?
5. У чому проявляється вплив оксидів вуглецю на властивості сталі?
6. Призначення шлаків при зварюванні. Фізичні властивості шлаків.
7. У чому полягають основи молекулярної та іонної теорії шлаків?
8. Що таке кислотність або основність шлаків?
9. Схарактеризуйте основні фізичні властивості зварювальних шлаків.
10. У чому полягає різниця довгих та коротких шлаків?
11. Схарактеризуйте важливі прості оксиди, які входять до складу зварювальних шлаків.
12. Назвіть три основні системи зварювальних шлаків.
13. У чому полягають металургійні функції шлаків?
14. Що таке коефіцієнт ефективності масообміну і як його визначають?
15. Виведіть рівняння визначення хімічного складу металу шва для таких випадків:
 - 1) легуючий елемент тільки у флюсі;
 - 2) легуючий елемент відсутній у електродному або в основному металі;
 - 3) багатопшарове наплавлення;
 - 4) зварювання якісними електродами.
16. Назвіть три основні види окиснення компонентів метала та шлаку.
17. Назвіть способи розкислення металу шва.
18. Назвіть приклад розкислення сталі з утворенням конденсованих продуктів реакції.
19. Дайте характеристику основних розкислювачів сталі: Si, Mn, Ti, Al; підкресліть позитивні та негативні властивості кожного з них.

20. Опишіть процеси розкислення сталі вуглецем та воднем (з утворенням газоподібних продуктів реакції).
21. Який механізм дифузійного розкислення сталі шлаком?
22. У чому полягають особливості розкислення сталі кислими і основними шлаками?
23. Способи легування металу шва, їх особливості, переваги і недоліки.
24. Що таке коефіцієнт переходу елемента? У чому недоліки цього показника?
25. У чому полягають механізми рафінування сталі від сірки та фосфору? Способи їх вилучення з металу шва.
26. У чому полягають особливості умов рафінування сталі шлаком при дуговому зварюванні порівняно з мартенівським процесом?
27. Яка роль СаО і Mn в процесі рафінування сталі від сірки?
28. Опишіть механізм виведення фосфору із сталі в процесі рафінування.
29. Визначити в шві вміст кремнію і марганцю при зварюванні у вуглекислому газі при рівній участі основного металу і зварювального дроту в металі шва, якщо коефіцієнти їх переходу в шов із дроту відповідно рівні 0,37 і 0,53. Концентрація в основному металі 0,5 % кожного, а в дроті кремнію 0,7 %, марганця 1,8 %.
30. Перелічіть засоби запобігання пор в металі шва.
31. Призначення шлаків.
32. Перелічіть шляхи легування металу шва при зварюванні покритими електродами.
33. Назвіть способи захисту зварювальної ванни.
34. Назвіть вимоги до елементів - розкислювачів.
35. Який механізм утворення пор розчинними та нерозчинними в металі газами?
36. Які існують способи запобігання порам, обумовленим розчинними та нерозчинними газами?
37. Як впливає режим зварювання на стійкість металу шва проти пор?
38. Наведіть конкретні приклади різних способів запобігання порам.
39. Порівняйте проблеми попередження пор при зварюванні у вуглекислому газі та водяній парі.
40. Схарактеризуйте основні компоненти зварювальних матеріалів, які дають можливість попередити утворення пор.
41. Як впливає іржа та прошарок захисного ґрунту на утворення пор?
42. Як необхідно готувати кромки та зварювальні матеріали для попередження пор?
43. Чи може бути концентрація марганцю в наплавленому металі більшою, ніж в основному металі або електродному дроті?
44. Чому кількість марганцю різна в електродному дроті та в краплі, що утворилася на кінці електрода?
45. Схарактеризуйте способи легування металу шва при зварюванні якісними електродами.

46. Як розрахувати очікуваний хімічний склад металу шва при зварюванні якісними електродами?
47. Як можна збільшити коефіцієнт переходу легуючого елемента з електрода в шов?
48. Як залежить вміст марганцю в наплавленому металі від вмісту MnO у флюсі?
49. Як змінюється склад краплі електродного дроту в процесі плавлення?
50. Які фактори визначають перехід марганцю в шов за рахунок його відновлення з MnO, який уведено в шлак?
51. Внаслідок чого може змінюватися склад металу шва при зварюванні в атмосфері аргону?
52. Які зміни складу та механічних властивостей металу викликає його взаємодія з вуглекислим газом?
53. Чи можна ліквідувати наслідки взаємодії металу з киснем в атмосфері вуглекислого газу?
54. Схарактеризуйте способи легування металу шва при зварюванні в захисних газах.
55. Які особливості та переваги зварювання в газових сумішах?
56. Які переваги, особливості та області застосування зварювання порошковими дротами?

Перелік контрольних питань для другого змістового модуля

1. Що таке безперервна та періодична кристалізація металу?
2. У чому полягає різниця дифузійної і бездифузійної кристалізації?
3. У чому полягає суть концентраційного переохолодження і як воно впливає на формування кристалів при кристалізації?
4. У чому полягають особливості первинної кристалізації металу при зварюванні?
5. Які причини утворення шаруватості та стовпчатості будови зварних швів?
6. Чим пояснюється переривчастість кристалізації металу при зварюванні?
7. Назвіть особливості кристалізації металу шва.
8. Які гази можуть бути причиною пористості зварних швів?
9. Які причини утворення шлакових включень в металі шва?
10. Від яких факторів залежить швидкість спливання шлакових часток в металічній ванні (Закон Стокса)?
11. Що таке ліквідація в металі шва та її види?
12. У чому проявляється вплив ліквідації на механічні властивості металу шва?
13. Опишіть по діаграмі залізо-вуглець механізм вторинної кристалізації низьковуглецевої сталі при зварюванні.

14. Як впливають особливості нагрівання та охолодження металу шва при зварюванні на результати його вторинної кристалізації?
15. Опишіть мікроструктуру основних ділянок зони термічного впливу при зварюванні низьковуглецевої сталі.
16. Що таке технологічна та експлуатаційна міцність конструкції?
17. Опишіть характер об'ємних змін низьковуглецевої сталі в процесі її охолодження із розплаву до кімнатної температури.
18. Який характер пружно-пластичних деформацій, що виникають в металі шва при дуговому зварюванні?
19. У чому полягають особливості будови і властивостей сталі, яка знаходиться в інтервалі температур T_L – T_C ?
20. Який механізм утворення гарячих тріщин при деформації металу, що знаходиться в двофазному твердо-рідкому стані?
21. Сутність методики оцінки стійкості металу шва проти утворення тріщин за критичною швидкістю деформації?
22. У чому сутність методики ПДТУ для кількісної оцінки стійкості металу шва проти утворення кристалізаційних тріщин?
23. Як впливають C, S, Si, Cu на технологічну міцність металу шва?
24. Як і чому жорсткість конструкції збільшує небезпеку виникнення кристалізаційних тріщин при зварюванні?
25. Основні причини виникнення холодних тріщин при зварюванні.
26. У яких сталях виникають холодні тріщини та як впливають різні елементи термічного циклу при зварюванні на кінцеву структуру і на виникнення холодних тріщин?
27. Яка роль водню в утворенні холодних тріщин при зварюванні?
28. Який механізм впливу водню на утворення холодних тріщин в металі?
29. Як пояснюється механізм утворення холодних тріщин при зварюванні за теорією сповільненого руйнування? У чому полягає суть схеми Зінера?
30. Засоби попередження гарячих тріщин при зварюванні.
31. Засоби попередження холодних тріщин при зварюванні.
32. Що розуміють під здатністю металів до зварювання тих чи інших матеріалів?
33. Які види випробувань для оцінки здатності металів до зварювання широко використовують у зварювальній техніці?
34. Дайте загальну характеристику групи вуглецевих конструкційних сталей. За якою ознакою їх класифікують у зварювальній техніці?
35. Чим пояснити високу чутливість середньо - та високовуглецевих конструкційних сталей до кристалізаційних тріщин в швах і до холодних в наволошовній зоні? Як вирішуються ці проблеми?
36. Дайте загальну характеристику легованих сталей. Як вони поділяються за ступенем легування і структурою? Які властивості характерні для різних груп легованих сталей?

37. Проаналізуйте умови, при яких можуть виникнути холодні тріщини в навколошовній зоні. При зварюванні яких легованих сталей вони можуть виникнути і чому?

38. Які сталі найбільш чутливі до утворення холодних тріщин? Причини цього.

39. Чим пояснити, що наявність у шві аустенітної структури збільшує стійкість проти утворення холодних тріщин в навколошовній зоні? При зварюванні яких сталей це має важливе значення?

40. Проаналізуйте вплив хімічного складу металу шва на можливе утворення в ньому кристалізаційних тріщин. Приведіть приклади і поясніть причини високої і низької стійкості швів проти утворення таких тріщин для різних груп легованих сталей.

41. Які шляхи використовуються для утворення швів, що не схильні до створення кристалізаційних тріщин при зварюванні легованих сталей?

42. Поясніть причини знеміцнення в зоні термічного впливу. При зварюванні яких матеріалів можна виявити знеміцнення в зоні термічного впливу? Від чого залежить розвиток цього процесу?

43. Чим пояснюється, що при зварюванні легованих термозміцнених сталей однією з важливих проблем їх зварювання є складність забезпечення металу шва, навколошовної зони та зварному з'єднанню в цілому властивостей основного металу? Як вирішується ця проблема?

44. Які види окрихчування металу шва і зони термічного впливу можуть спостерігатися при зварюванні високолегованих сталей? Яким чином можна запобігти цьому? Поясніть на прикладі конкретних сталей.

45. Чому при зварюванні хромонікелевих сталей феритного і аустенітного класів зварні з'єднання в різних ділянках виявляються чутливими до міжкристалічної корозії? Як вирішується ця проблема?

46. Які сталі і чому називають особливо чутливими до росту зерна при зварюванні?

47. Дайте загальну характеристику чавуна – його будові і властивостям. Чому чавун відноситься до важко зварюваних матеріалів?

48. Назвіть особливості теплофізичних властивостей міді та її сплавів.

49. Які проблеми зварювання міді і її сплавів, як вони вирішуються?

50. Чому нікель особливо чутливий до утворення гарячих тріщин і пор в швах? Як вирішують ці проблеми?

51. Перелічіть особливості теплофізичних властивостей алюмінію і його сплавів. Як можна оцінити здатність до зварювання цих матеріалів?

52. Дайте загальну характеристику теплофізичних і механічних властивостей титану та його сплавів. Чому титан і його сплави відносяться до кращих конструкційних матеріалів.

53. Поясніть чому при електродуговому зварюванні важко отримати зварні з'єднання з титану або його сплавів, які б мали високу пластичність? Яким чином удається розв'язати цю проблему?

54. Яким чином формується зона сплавлення при зварюванні сталей, різних по складу і структурному класу. Що таке прошарок перехідного складу і яким шляхом можна уникнути його появи?

55. Які причини виникнення перехідних прошарків дифузійного характеру в зоні сплавлення різнорідних сталей? Як розв'язується ця проблема?

56. Поясніть причину виникнення в зварних вузлах із різнорідних сталей високих залишкових напружень, які не знімаються термообробкою після зварювання. Яким чином можна зменшити величину цих напружень?

57. Перелічіть фактори, які впливають на утворення кристалізаційних тріщин і засоби їх запобігання.

58. Перелічіть фактори, які впливають на утворення холодних тріщин і засоби їх запобігання.

59. Які ви знаєте розрахункові методи визначення стійкості металу проти гарячих тріщин?

60. Які ви знаєте розрахункові методи визначення стійкості металу проти холодних тріщин?

61. Які ви знаєте способи визначення стійкості металу проти переходу в крихкий стан?

62. Перелічіть закономірності сповільненого руйнування металу.

63. Схарактеризуйте механізм утворення кристалізаційних та підсолідусних тріщин.

64. Які фактори впливають на утворення гарячих тріщин?

65. Назвіть і дайте характеристику способам запобігання утворенню гарячих тріщин при зварюванні вуглецевих та низьколегованих сталей.

66. Як впливають хімічний склад, хімічна та фізична мікро неоднорідність металу шва, температура та режим зварювання на стійкість проти гарячих тріщин?

67. Схарактеризуйте існуючі розрахункові та експериментальні методи визначення стійкості металу проти гарячих тріщин.

68. Які способи запобігання утворенню гарячих тріщин при зварюванні хромонікелевих аустенітних сталей існують?

69. Схарактеризуйте механізм утворення холодних тріщин.

70. Які фактори впливають на утворення холодних тріщин?

71. Які способи запобігання утворенню холодних тріщин існують?

72. Дайте характеристику розрахунковим та експериментальним методам визначення стійкості металу проти холодних тріщин.

73. Які структурні перетворення аустеніту гартованих сталей та способи регулювання структури металу навколошовної зони існують?

74. Як розраховують режим зварювання та необхідну температуру попереднього підігріву для гартованих сталей?

75. Яка роль діаграм АРА та як їх використовують при зварюванні?