

Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут»

ТЕОРІЯ ПРОЦЕСІВ ЗВАРЮВАННЯ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

**до засвоєння кредитних модулів з дисципліни
для студентів напрямку підготовки 6.050504 «Зварювання»**

Рекомендовано вченою радою зварювального факультету НТУУ «КПІ»

Київ
2013

Теорія процесів зварювання: метод. вказівки до засвоєння кредитних модулів з дисципліни для студ. напряму підготов. 6.050504 «Зварювання» /Уклад.: О. А. Сливінський – К.: НТУУ «КПІ», 2013. – 14 с.

*Гриф надано вченою радою
зварювального факультету НТУУ «КПІ»
(Протокол № 5 від 28.01. 2013 р.)*

Навчальне електронне видання

ТЕОРІЯ ПРОЦЕСІВ ЗВАРЮВАННЯ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до засвоєння кредитних модулів з дисципліни
для студентів напряму підготовки 6.050504 «Зварювання»

Укладач: *Сливінський Олексій Анатолійович*

Відповідальний редактор: *О. В. Прохоренко, канд. техн. наук, доц.*

Рецензент: *Р.М. Рижов, д-р техн. наук, проф.*

ЗМІСТ

Вступ.....	4
Інструктивно-методичні матеріали до засвоєння кредитних модулів дисципліни.....	6
Література.....	14

ВСТУП

Дисципліна «Теорія процесів зварювання» є базовою в підготовці бакалаврів за напрямом «Зварювання». Вона охоплює широке коло питань з теорії фізичних, теплових, термомеханічних та фізико-хімічних процесів, що протікають в ході зварювальної обробки, а також споріднених технологічних процесів: різання, паяння, нанесення покриття та ін. Підготовка сучасних, високоерудованих фахівців у галузі зварювального виробництва неможлива без формування у студентів наукового підходу до аналізу зварювальних процесів та засвоєння ними причинно-наслідкових зв'язків між характером зварювальних процесів та якістю зварного з'єднання.

Мета вивчення дисципліни – засвоєння та узагальнення особливостей зварювальних процесів в стрункій системі теоретичних знань, набуття навичок теоретичного та експериментального дослідження цих процесів, оволодіння методами аналізу й розрахунку закономірностей та кінетики їх протікання, знання основних шляхів керування ними для одержання якісних зварних з'єднань.

В результаті вивчення дисципліни студент повинен знати: фізичні процеси перетворення енергії джерел живлення, фізико-хімічні процеси формування хімічного складу металу шва, фізичні процеси утворення зварного з'єднання, методи управління ефективністю використання джерел тепла і технологічні властивості джерел тепла, методи управління плавленням і переносом електродного металу, принцип саморегулювання дугового зварювання, ефективність плавлення основного металу, процеси утворення газової фази, методику термодинамічного аналізу фізико-хімічних процесів, вплив газової фази на властивості зварного шва і методи захисту від повітря, процеси утворення і властивості шлакової фази, механізм взаємодії шлак-метал, розкислення і рафінування металу шва, загальні

основи кристалізації металу і сплаву, методи управління кристалізацією металу шва, мікро- і макродефекти кристалізації і загальні методи їх запобігання, здатність до зварювання металів і сплавів.

Студент повинен вміти: користуватись термодинамічними розрахунками для визначення теплової ефективності фізико-хімічних процесів, напрямків протікання реакції, константи рівноваги, складу газової фази, пружності дисоціації оксидів; виконувати розрахунки температурних полів зварювання, розмірів зварювальної ванни, термічного циклу зварювання і структури металу зварного з'єднання; експериментально досліджувати основні зварювальні процеси і розраховувати параметри цих процесів.

Дисципліна складається з кредитних модулів «ТПЗ-1. Джерела нагрівання та теплові процеси при зварюванні», «ТПЗ-2. Фізико-хімічні та металургійні процеси при зварюванні» та викладається протягом 2-х семестрів.

Вивчення дисципліни «Теорія процесів зварювання» базується практично на всіх фундаментальних і загальнотехнічних дисциплінах, що вивчаються в I-III семестрах. При цьому дуже важливе значення має хороше засвоєння студентами фізики, хімії, металознавства, математики.

З іншого боку, матеріал дисципліни є теоретичною основою вивчення технологічних дисциплін зварювання, джерел живлення, напружень і деформацій при зварюванні, контролю якості при зварюванні тощо.

Дане навчальне видання служить інструктивно-методичним матеріалом для полегшення засвоєння студентами денної та заочної форм навчання найбільш складних та фундаментальних понять змістовних модулів дисципліни «Теорія процесів зварювання».

Інструктивно-методичні матеріали до засвоєння кредитних модулів дисципліни

ВСТУП

Лекція 1. Історична довідка становлення учбової дисципліни, мета та завдання дисципліни. Історія становлення і розвитку процесів зварювання, наукових знань про зварювання. Українська школа зварювання.

Розділ 1. ДЖЕРЕЛА ТЕПЛА ПРИ ЗВАРЮВАННІ

Тема 1.1 Фізична суть зварювання

Лекція 2. Способи з'єднання твердих тіл. Фізична суть зварювання. Види, способи і методи зварювання: визначення, принципові схеми, області застосування та позначення за вітчизняними та міжнародними стандартами.

Види енергії, що використовуються при зварюванні, їх перетворювачі. Концентрація енергії. Баланс енергій процесу зварювання. Ефективність зварювальних джерел нагрівання.

Література: [1], стор. 8-25; [2], стор. 8-26; [3], стор. 8-31.

Завдання на СРС: [1], стор. 354, питання для самоперевірки 1-25.

Тема 1.2 Фізичні процеси зварювальної дуги

Лекція 3. Явище електропровідності газів. Види розрядів у газах. Особливості дугового розряду. Поняття про вільну і стиснену дугу. Будова електричної дуги, розподіл напруги в дузі. Області дугового розряду. Статична ВАХ дуги.

Література: [1], стор. 26-33; [2], стор. 36-39; [3], стор. 88-90.

Завдання на СРС: [1], стор. 355, питання для самоперевірки 26-44.

Лекція 4. Катодна область дуги, фізичні процеси в ній. Робота і потенціал виходу. Види емісії електронів з катода. Густина струму емісії. Напруженість електричного поля в катодній області. “Гарячі” та “холодні” катоди.

Література: [1], стор. 33-67; [2], стор. 61-73.

Завдання на СРС: [1], стор. 356, питання для самоперевірки 45-71.

Лекція 5. Столп вільної дуги, фізичні процеси в ньому. Іонізація газу та пари, потенціал та робота іонізації. Ступеневість іонізації атомів. Види іонізації. Поняття про ступінь іонізації, методи її обчислення.

Література: [1], стор. 67-87; [2], стор. 43-54; [3], стор. 90-92.
Завдання на СРС: [1], стор. 357, питання для самоперевірки 72-84.

Лекція 6. Іонізація суміші газів та ефективний потенціал іонізації.
Перенесення струму в стовпі дуги. Дрейф заряджених часток в стовпі дуги. Каналова модель стовпа дуги. Густина струму в стовпі дуги.
Література: [1], стор. 87-99.
Завдання на СРС: [1], стор. 357, питання для самоперевірки 85-91, 94.

Лекція 7. Вольт-амперна характеристика вільної дуги. Принцип мінімуму Штеенбека. Температура стовпа вільної дуги.
Література: [1], стор. 100-112, [2], стор. 58-60.
Завдання на СРС: [1], стор. 358, питання для самоперевірки 95-99.

Лекція 8. Фізичні процеси в анодній області. Анодне падіння напруги.
Стиснена дуга, принципи її отримання.
Література: [1], стор. 99-100, 112-113, 117-120; [2], стор. 99-103.
Завдання на СРС: [1], стор. 358, питання для самоперевірки 92, 93, 100-102.

Лекція 9. ВАХ стисненої дуги. Температура стисненої дуги.
Баланс енергій на катоді, на аноді і в стовпі дуги. Тепловиділення на катоді й аноді. Загальний енергетичний баланс дуги.
Література: [1], стор. 120-130.
Завдання на СРС: [1], стор. 358, питання для самоперевірки 101, 103-105.

Лекція 10. Вплив полярності на стабільність дугового розряду та ефективність електродугової обробки матеріалів. Особливості дуги змінного струму. Напруга запалювання, асиметрія напруги і струму, вентильний ефект.

Магнітогідроелектричні явища в дузі. Взаємодія дуги з магнітним полем. Явище магнітного дуття: причини та способи уникнення.
Література: [1], стор. 131-150; [2], стор. 79-87, 91-92.
Завдання на СРС: [1], стор. 359, питання для самоперевірки 106-112.

Лекція 11. Принцип саморегулювання процесу дугового зварювання. Коефіцієнт саморегулювання. Взаємодія зовнішніх ВАХ джерела живлення і ВАХ дуги в реалізації принципу саморегулювання.
Література: [1], стор. 150-159.
Завдання на СРС: [1], стор. 359, питання для самоперевірки 113-119.

Тема 1.3 Недугові джерела тепла при зварюванні

Лекція 12. Контактний опір, як джерело тепла при зварюванні. Варіанти використання контактної опору і опору деталі. Вплив геометричного фактора на контактний опір.

Література: [3], стор. 103-112.

Завдання на СРС: [3], стор. 119, контрольні запитання 16-19.

Лекція 13. Променеві джерела зварювального нагрівання. Електронний промінь – принципи одержання, фізичні процеси, схеми і принципи дії установок для електронно-променевого зварювання.

Лазерний промінь – принципи одержання. Конструкції і принципи дії установок лазерного зварювання. Технологічні можливості лазерів у зварювальному виробництві.

Література: [2], стор. 106-128; [3], стор. 112-119.

Завдання на СРС: [2], стор. 119, контрольні запитання 20-24.

Розділ 2. НАГРІВАННЯ ТА ПЛАВЛЕННЯ МЕТАЛУ ПРИ ЗВАРЮВАННІ

Тема 2.1 Основні положення теплопередачі

Лекція 14. Основні теплофізичні показники та поняття. Види теплопередачі. Конвекція, радіація, теплопровідність.

Література: [1], стор. 160-167, 169-171; [2], стор. 141-146.

Завдання на СРС: [1], стор. 359, питання для самоперевірки 120-144.

Лекція 15. Розповсюдження тепла в твердому тілі. Закон Фур'є. Диференційне рівняння теплопровідності.

Література: [1], стор. 167-169, 171-177; [2], стор. 150-152.

Завдання на СРС: [1], стор. 361, питання для самоперевірки 145-146.

Лекція 16. Часткові випадки диференційного рівняння теплопровідності. Методи рішення диференційного рівняння теплопровідності.

Література: [1], стор. 177-181.

Завдання на СРС: [1], стор. 361, питання для самоперевірки 147-152.

Тема 2.2 Метод джерел при обчисленні температурних полів

Лекція 17. Схематичне представлення тіл, які зварюються і джерел нагрівання при зварюванні. Комбінації схематизованих тіл і джерел, найбільш наближені до реальних зварювальних процесів.

Література: [1], стор. 181-183; [2], стор. 140-141, 152-157; [3], стор. 131-134.

Завдання на СРС: [1], стор. 361, питання для самоперевірки 153-168.

Лекція 18. Аналітичні рішення диференційного рівняння теплопровідності для миттєвих джерел тепла. Температурні поля миттєвих джерел тепла. Розповсюдження тепла в обмежених тілах. Крайові умови.

Література: [1], стор. 183-204; [2], стор. 157-162.

Завдання на СРС: [1], стор. 363, питання для самоперевірки 169-190.

Лекція 19. Принцип суперпозиції в теплових розрахунках. Розповсюдження тепла в напівобмежених тілах з ізотермічною та адіабатичною границею.

Диференційне рівняння вільного поверхневого охолодження. Коефіцієнт температуровіддачі пластини і стержня.

Література: [1], стор. 204-212.

Завдання на СРС: [1], стор. 364, питання для самоперевірки 191-195.

Лекція 20. Температурне поле пластини при дії миттєвого лінійного джерела і стержня при дії миттєвого плоского джерела.

Література: [3], стор. 140-156.

Завдання на СРС: [3], стор. 181, контрольні запитання 8-14.

Тема 2.3 Розрахункові схеми нагрівання основного металу при зварюванні

Лекція 21. Рухоме точкове джерело тепла на поверхні напівобмеженого тіла з адіабатичною границею. Рухоме лінійне джерело тепла в пластині з тепловіддачею.

Література: [1], стор. 215-227.

Завдання на СРС: [1], стор. 365, питання для самоперевірки 196-199.

Лекція 22. Потужні швидкодіючі джерела тепла.

Література: [1], стор. 228-240.

Завдання на СРС: [1], стор. 365, питання для самоперевірки 200-203.

Лекція 23. Вплив параметрів режиму зварювання та теплофізичних властивостей матеріалу на температурне поле граничного стану.

Література: [1], стор. 257-258; [2], стор. 205-208.

Завдання на СРС: [1], стор. 366, питання для самоперевірки 207-209.

Лекція 24. Термічний цикл зварювання і його основні характеристики. Вплив термічного циклу на структуру і властивості зварного з'єднання.

Література: [1], стор. 262-271; [2], стор. 211-222.

Завдання на СРС: [1], стор. 366, питання для самоперевірки 211-213.

Лекція 25. Обчислення розмірів зон, які нагріваються до заданих температур.

Проплавлення основного металу при дуговому зварюванні. Теплова ефективність процесу проплавлення.

Об'єм та середня температура зварювальної ванни.

Література: [1], стор. 259-262, 272-302

Завдання на СРС: [1], стор. 366, питання для самоперевірки 210, 214-223.

Тема 2.4 Перенесення електродного металу при дуговому зварюванні

Лекція 26. Нагрівання і плавлення електродного металу при дуговому зварюванні.

Форми перенесення електродного металу. Характеристика сил, що діють на краплю при перенесенні.

Література: [1], стор. 303-331; [2], стор. 222-228.

Завдання на СРС: [1], стор. 368, питання для самоперевірки 230-237.

Лекція 27. Радіус краплі електродного металу. Час існування краплі. Особливості перенесення при різних способах дугового зварювання. Методи управління перенесенням електродного металу.

Література: [1], стор. 332-353.

Завдання на СРС: [1], стор. 368, питання для самоперевірки 238-255.

Розділ 3. МЕТАЛУРГІЙНІ ПРОЦЕСИ ПРИ ЗВАРЮВАННІ ПЛАВЛЕННЯМ

Тема 3.1 Фізико-хімічні основи процесів зварювання плавленням

Лекція 1. Реакційна зона зварювання – основні поняття і визначення.

Термодинамічні характеристики металургійних реакцій; поняття про хімічні потенціали, хімічна спорідненість речовин.

Література: [1], стор. 7-10.

Лекція 2. Поняття термодинамічної рівноваги, використання його для аналізу процесів в реакційній зоні зварювання.

Хімічна рівновага в гомогенних системах та в гетерогенних системах. Рівняння Вант-Гоффа. Методи визначення та чисельного розрахунку константи рівноваги хімічних реакцій.

Література: [1], стор. 10-12.

Тема 3.2 Газова фаза при зварюванні та її взаємодія з металічною фазою

Лекція 3. Процеси утворення газової фази. Випаровування металів і сплавів, закон Рауля. Дисоціація карбонатів.

Література: [1], стор. 14-15.

Лекція 4. Термічна дисоціація молекулярних газів, ступінь дисоціації молекулярного газу. Склад газової фази при зварюванні в CO_2 і в середовищі повітря.

Література: [1], стор. 16-17.

Лекція 5. Дисоціація оксидів. Утворення газових продуктів взаємодії компонентів металічної та шлакової фаз. Розчинність газів в металах. Термодинаміка розчинів.

Література: [1], стор. 18-20.

Лекція 6. Нескінченно розведений та досконалий розчини. Закони Генрі та Сівертса. Реальні розчини, поняття термодинамічної активності компоненти розчину.

Література: [1], стор. 21-24.

Лекція 7. Незмішувані розчини, закон розподілення. Принцип очистки металу, зонна плавка. Плазмовий, електрошлаковий та електронно-променевий переплави.

Лекція 8. Окислення чистого металу, пружність дисоціації оксиду. Окислення сплаву. Особливості окислення сплавів при зварюванні.

Вплив кисню на властивості металу зварного шва.

Література: [1], стор. 25-30.

Лекція 9. Розкислення металу шва. Необхідні умови розкислення. Оксидні включення. Здатність до розкислення. Взаємодія металу з азотом. Аномалія розчинності азоту, вплив азоту на властивості шва.

Література: [1], стор. 31-40.

Лекція 10. Взаємодія металу шва з воднем. Залишковий і дифузійний водень. Вплив водню на властивості шва.

Газовий, газошлаковий і шлаковий захист шва від повітря. Кількісна оцінка рівня захисту.

Література: [1], стор. 41-46.

Тема 3.3 Шлакова фаза при зварюванні та її взаємодія з металічною фазою

Лекція 11. Класифікація шлаків. Види зв'язку в оксидних сполуках. Структура шлаку та теорії будови зварювальних шлаків.

Фізико-хімічні та технологічні властивості шлаків.

Література: [1], стор. 52-66.

Лекція 12. Механізм взаємодії шлак-метал. Вплив сірки та фосфору на властивості металу шва. Рафінування металу зварного шва. Легування металу шва через зварювальний електрод і шлак. Коефіцієнт переходу легуючих елементів.

Література: [1], стор. 67-80.

Розділ 4. ЗДАТНІСТЬ МЕТАЛІВ ТА СПЛАВІВ ДО ЗВАРЮВАННЯ

Тема 4.1 Особливості кристалізації металу зварного шва

Лекція 13. Вплив режиму зварювання на первинну структуру шва. Швидкість кристалізації металу шва. Вплив швидкості зварювання і форми ванни на характер первинної кристалізації. Металургійні і технологічні методи управління кристалізацією металу зварного шва.

Література: [1], стор. 84-88.

Лекція 14. Пори і неметалеві включення в зварних швах. Механізми утворення пор. Металургійні методи боротьби з порами.

Література: [1], стор. 88-94.

Тема 4.2 Тріщини в зварних з'єднаннях

Лекція 15. Поняття термомодеформаційного циклу зварювання, його наслідки для зварюваного металу. Тріщини в зварних з'єднаннях та їх класифікація.

Література: [1], стор. 95-97.

Лекція 16. Гарячі тріщини. Деформаційно-кінетична теорія технологічної міцності М. М. Прохорова. Поняття температурного інтервалу крихкості. Класифікація гарячих тріщин. Механізми утворення кристалізаційних, сегрегаційних та підсолідусних тріщин. Заходи запобігання утворенню гарячих тріщин при зварюванні.

Література: [1], стор. 98-103.

Лекція 17. Холодні тріщини. Гіпотези утворення холодних тріщин: гартувальна, воднева, затриманого руйнування. Показник еквівалентного вуглецю. Заходи запобігання утворенню холодних тріщин.

Література: [1], стор. 104-115.

Лекція 18. Методи оцінки опірності металу проти утворення гарячих та холодних тріщин.

Здатність до зварювання – комплексний показник властивостей зварюваного металу і технології зварювання. Принципова та технологічна зварюваність.

ЛІТЕРАТУРА

Основна:

1. Теорія процесів зварювання-1. Джерела нагрівання та теплові процеси при зварюванні. Текст лекцій / В. М. Коперсак. – К.: НТУУ «КПІ», 2011. – 384 с.
2. Теория сварочных процессов / под ред. В. В. Фролова – М.: Высш. шк., 1988. – 559 с.
3. Петров Г. Л., Тумарев А. С. Теория сварочных процессов. Изд. второе, перераб. – М.: Высш. шк., 1977. – 392 с.
4. Теорія процесів зварювання-2. Фізико-хімічні та металургійні процеси при зварюванні. Текст лекцій / В. М. Коперсак. – К.: НТУУ «КПІ», 2011. – 252 с.

Додаткова:

4. Сварка в машиностроении. Справочник. т. 1 / под ред. Н. А. Ольшанского. – М.: Машиностроение, 1978. – 501 с.
5. Ерохин А. А. Основы сварки плавлением. – М.: Машиностроение, 1978. – 447 с.
6. Лебедев Б. Д. Расчеты в теории сварочных процессов. К: УМК ВО 1992. – 317 с.
7. Кох Б. А. Основы термодинамики металлургических процессов сварки: Учеб. пособие / Б. А. Кох. – Л.: Судостроение, 1975. – 236 с.