

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Перший проректор з науково-
педагогічної роботи по організації
навчального процесу та його
науково-методичного забезпечення

_____ Романюк О. Н.

“__27__” _____05_____2013 року

Теорія процесів зварювання

(назва навчальної дисципліни)

ПРОГРАМА
нормативної навчальної дисципліни

підготовки _____ бакалавра _____

(назва освітньо-кваліфікаційного рівня)

напряму _____ 6.050504 «Зварювання» _____

(шифр і назва напряму)

Вінниця 2013 рік

РОЗРОБЛЕНО ТА ВНЕСЕНО:

кафедрою технології підвищення зносостійкості
(повна назва кафедри)

РОЗРОБНИКИ ПРОГРАМИ:

Савуляк В.І., д.т.н., проф. кафедри ТПЗ

Заболотний С.А., к.т.н., доцент кафедри ТПЗ

Програма нормативної навчальної дисципліни «Теорія процесів зварювання» затверджена на засіданні кафедри технології підвищення зносостійкості

Протокол від « 25 » 12 2012 року № 13 _

Завідувач кафедри _____ (проф. Савуляк В. І.)
(підпис) (прізвище та ініціали)

Заступник директора з НМР _____ к.т.н., доцент Петров О.В.

Схвалено Методичною радою Інституту машинобудування та транспорту

Протокол від « 13 » 02 2013 року № 6 _

Голова Методичної ради ІнМТ _____ (проф. Буренніков Ю. А.)
(підпис) (прізвище та ініціали)

Схвалено Методичною радою ВНТУ

Протокол від « 23 » 05 2013 року № 10 _

Голова _____ (проф. Романюк О. Н.)
(підпис) (прізвище та ініціали)

Вступ

Програма вивчення нормативної навчальної дисципліни складена з урахуванням вимог освітньо-професійних програм підготовки *бакалаврів* *напрямку* 6.050504 «Зварювання»

Предметом вивчення навчальної дисципліни «Теорія процесів зварювання» є особливості фізичних процесів, що супроводжують зварювання та споріднені технології.

Міждисциплінарні зв'язки: знання, що здобувають студенти під час вивчення дисципліни «Теорія процесів зварювання» використовуються ними в подальшому навчанні при опануванні наступних дисциплін програми підготовки бакалаврів - зварювальні джерела живлення; зварювання плавленням; зварювання тиском; автоматичне керування зварюванням; матеріали для напилення, наплавлення та трибоматеріалознавство; технологія та обладнання для напилення; технологія та обладнання для наплавлення; технологічні процеси комплексів зміцнення і відновлення; розпилюючі пристрої та устаткування; електронно-променеві технології; спеціалізовані джерела живлення; нові досягнення та обладнання для зміцнення і відновлення.

Програма навчальної дисципліни складається з таких змістових модулів:

1. Фізичні процеси зварювальної дуги.
2. Недугові джерела тепла при зварюванні.
3. Розрахунок теплових процесів при зварюванні.
4. Нагрівання та плавлення металу при зварюванні.
5. Термодинамічні основи зварювальних процесів.
6. Фізико-хімічні та металургійні процеси при зварюванні плавленням.
7. Фазові та структурні перетворення в металах при зварюванні.

1. Мета та завдання навчальної дисципліни

1.1. Мета викладання дисципліни «Теорія процесів зварювання» — надати майбутнім спеціалістам знання з теорії процесів зварювання задля забезпечення високої якості продукції, економії матеріалів та високої продуктивності праці й полягає у пізнанні природи фізико-хімічних процесів при зварюванні та властивостей зварних з'єднань, а також способів зміни їх властивостей для найбільш ефективного використання у заданих умовах експлуатації.

1.2. Основні завдання дисципліни:

- вивчення фізичних основ та класифікації процесів при зварюванні;
- розкриття фізико-хімічних процесів у дуговому розряді;
- вивчення термодинамічних та кінетичних основ металургійних процесів;
- з'ясування особливостей металургійних процесів при зварюванні;
- розкриття фізичної суті термодформаційних процесів при зварюванні та їх впливу на властивості зварних з'єднань;
- установлення залежності властивостей від складу зварюваних матеріалів та особливостей формування первинної структури металу шва;
- вивчення фазових та структурних перетворень у металах при зварюванні та методів керування цими перетвореннями з метою забезпечення необхідних властивостей з'єднання.

1.3. Згідно з вимогами освітньо-професійної програми студенти повинні:

— **знати:**

- фізичну сутність процесів у зварній дузі, зварній ванні та шлаковій фазі;
- особливості формоутворення швів при зварюванні різними способами;
- принципи отримання нероз'ємних з'єднань зварюванням і паянням;
- фізичні основи зварювальних процесів;
- сутність явищ, які відбуваються в металах та сплавах під час виготовлення зварних деталей, їх термічної обробки та експлуатації;
- взаємозв'язок цих явищ із властивостями.

— **вміти:**

- правильно аналізувати процеси при різних способах зварювання;
- у залежності від конструктивних особливостей, матеріалу та умов роботи визначати раціональний спосіб зварювання конструкції;
- правильно обирати методи зміцнення деталей машин;
- оцінювати поведінку зварного шва унаслідок впливу на зварну ванну різних факторів;
- за макро- та мікроструктурою оцінювати якість шва;
- користуватися діаграмами стану двокомпонентних сплавів для визначення структури шва та обґрунтованого призначення режиму термічної обробки зварного з'єднання;

- самостійно користуватися комп'ютерними базами даних, технічною та довідковою літературою для вибору матеріалів та способів їх зварювання на основі аналізу умов експлуатації та напруженого стану з урахуванням економічної доцільності їх використання;

- призначати обробку для забезпечення потрібної довговічності виробів.

На вивчення навчальної дисципліни відводиться 270 годин, 7,5 кредити ECTS.

2. Інформаційний обсяг навчальної дисципліни

Навчальний модуль 1. Фізичні основи зварювання. Електрична зварювальна дуга.

Тема 1. Вступ. Цілі, задачі та значення курсу. Загальні методичні вказівки до вивчення. Фізичні основи процесу зварювання металів.

ТЗП як наукова дисципліна. Мета і задачі вивчення курсу “Теорія зварювальних процесів. Зв’язок курсу з іншими дисциплінами.

Види елементарних зв’язків у твердих тілах та монолітних з’єднаннях.

Фізико-хімічні особливості отримання зварних, паяних та клейових з’єднань.

Тема 2. Джерела нагрівання під час зварювання

Загальні характеристики джерел нагрівання під час зварювання. Баланс енергії процесу зварювання. Ефективність джерел нагрівання під час зварювання. Потужність джерел нагрівання під час зварювання.

Тема 3. Електричний розряд у газах

Види розряду: нестійкий та стійкий (темновий, тліючий, коронний, дуговий). Збудження дуги: при переході із стійкого малопотужного розряду; в процесі створення високоіонізованого потоку пари; при переході з нестійкого іскрового розряду; при замиканні та наступному розмиканні струмонесучих електродів. Зони дугового розряду: катодна, анодна, стовп розряду. Анодна та катодна плями. Вольт-амперна характеристика дуги.

Тема 4. Електрична зварювальна дуга.

Загальні положення. Будова електричної дуги. Розподіл падіння напруги в дузі. Загальна характеристика фізичних процесів у дузі. Види зварювальних дуг та їх класифікація. Енергетична ємність різних областей дуги.

Тема 5. Фізичні процеси в катодній області дуги.

Об'ємний позитивний заряд катодної області. Катодна емісія. Термоелектронна емісія. Автоелектронна емісія. Фотоемісія. Вторинна електронна емісія. Густина термоемісійного струму. Вплив прискорюючого поля. Ефект Шоттки. Плівкові та оксидні, гарячі та холодні катоди.

Тема 6. Фізичні процеси в стовпі дуги.

Іонізація газів дугового проміжку. Методи обчислення ступеня іонізації. Іонізація суміші газів. Перенесення струму в стовпі зварювальної дуги. Каналова модель дуги К.К. Хренова.

Тема 7. Магнітогідродинаміка зварювальної дуги

Ларморівський радіус. Власне магнітне поле дуги та контуру зварювання. Пінч-ефект. Магнітне поле зварювального контуру. Магнітне дугтя. Дія феромагнітних мас. Зовнішнє магнітне поле і дуга. Поздовжнє поле. Поперечне поле. Обертова дуга. "Конусна" та "бігуча" обертові дуги.

Навчальний модуль 2. Теплові процеси при зварюванні

Тема 8. Термодинаміка

Поняття температури, градієнту температури, теплового потоку, теплопередачі. Конвекція. Радіація. Теплопровідність. Температурні поля.

Тема 9. Диференційне рівняння теплопровідності.

Вивід диференційного рівняння теплопровідності. Часткові випадки диференційного рівняння теплопровідності. Методи вирішення диференційного рівняння теплопровідності.

Тема 10. Метод джерел під час обчислення температурних полів.

Схематизація тіл, які нагріваються. Схематизація джерел нагрівання під час зварювання. Крайові умови. Принцип суперпозиції (накладання) в теплових розрахунках.

Тема 11. Аналітичні рішення диференційного рівняння теплопровідності.

Миттєве точкове джерело тепла в необмеженому тілі. Миттєве лінійне джерело тепла в необмеженому тілі. Миттєве плоске джерело тепла в необмеженому тілі.

Тема 12. Розповсюдження тепла в обмежених тілах.

Напівобмежене тіло з адіабатичною граничною поверхнею. Напівобмежене тіло з ізотермічною граничною поверхнею. Безперервно діючі зосереджені джерела тепла.

Тема 13. Типові схеми розрахунків нагрівання металу при зварюванні.

Рухоме точкове джерело тепла на поверхні напівобмеженого тіла з адіабатичною границею. Рухоме лінійне джерело тепла в необмеженій пластині з тепловіддачею. Потужне швидкодіюче точкове джерело тепла на поверхні напівобмеженого тіла з адіабатичною границею. Потужне швидкодіюче лінійне джерело тепла в пластині з тепловіддачею.

Тема 14. Спеціальні схеми розрахунків нагрівання металу при зварюванні.

Рух джерела тепла поблизу краю тіла. Нагрівання двох вузьких пластин рухомим джерелом. Нагрівання рухомим джерелом від краю тіла. Рухоме точкове джерело на поверхні тіла. Потужне швидкодіюче точкове джерело тепла на поверхні пластини. Вибір схеми розрахунків температурних полів при зварюванні.

Тема 15. Нагрівання основного металу при зварюванні.

Періоди тепло насичення та вирівнювання температури. Вплив параметрів режиму зварювання і теплофізичних властивостей зварювального металу на температурні поля. Обчислення розмірів ділянок які нагріваються до заданих температур. Термічний цикл однопрохідного зварювання.

Тема 16. Проплавлення основного металу зварювальною дугою.

Показники і характеристики проплавлення. Параметри проплавлення при різних схемах зварювання та наплавлення. Теплова ефективність процесу проплавлення. Об'єм та середня температура зварювальної ванни.

Тема 17. Нагрівання і плавлення присадкового металу.

Стрижень обмеженої довжини з фіксованим струмовідводом. Стрижень необмеженої довжини, який рухається відносно точки підведення струму.

Тема 18. Перенесення електродного металу в дузі.

Види переносу електродного металу. Сили, що діють на краплю електродного металу. Формування різних типів переносу. Особливості переносу електродного металу при різних способах зварювання. Методи керування переносом електродного металу.

Навчальний модуль 3. Фізико-хімічні основи зварювання

Тема 19. Елементи хімічної термодинаміки

Перше начало термодинаміки. Закон Гесса і визначення теплового ефекту реакцій. Теплота утворення. Обчислювання теплоємності речовин. Ізохорна та ізобарна теплоємність. Залежність теплового ефекту реакції від температури. Температурний коефіцієнт теплового ефекту. Друге начало термодинаміки. Оборотні та необоротні процеси. Ентропія. Максимальна робота як міра хімічної спорідненості або хімічної активності. Узагальнення першого та другого начал термодинаміки.

Тема 20. Рівновага фізико-хімічних систем

Поняття про хімічну рівновагу. Стійка (стабільна), нестійка (лабільна) та відносна (метастабільна) рівновага. Закон діючих мас для гомогенних систем. Закон діючих мас для гетерогенних систем. Визначення величини максимальної роботи реакції. Вплив тиску і температури на положення хімічної рівноваги. Рівняння ізобари реакції Вант-Гоффа. Принцип ле Шательє. Правило фаз та його використання.

Тема 21. Явища у рідких середовищах і на поверхнях поділу фаз

Закон розподілу речовини у розчинниках, що не змішуються. Закон розподілу Нернста. Поняття про поверхневу енергію. Поверхневий натяг та фактори, які на нього впливають. Явище адсорбції. В'язкість рідин. Внутрішнє тертя. Абсолютна в'язкість. Крихкий, в'язкий та рідкотекучий стани шлакової фази. Віскозіметрія падаючою кулькою та циліндром, що обертається. Процеси випаровування. Правило Трутона.

Тема 22. Дифузія в металах

Визначення дифузії. Основні закони дифузії: перший закон Фіка, другий закон Фіка. Фактори, що впливають на дифузійні процеси: природа взаємодіючих речовин, концентрація дифузанта, вплив третього компонента. Особливості процесів дифузії в умовах зварювання плавленням: між газовою та рідкою фазами; у рідкій фазі; на границі речовин, що не змішуються; на границі між рідкою і твердою фазами; у твердій фазі.

Тема 23. Хімічна спорідненість елементів до кисню

Способи оцінки спорідненості: по тепловому ефекту реакції окиснення; по зміні ізобарно-ізотермного потенціала утворення оксидів; по пружності дисоціації оксидів.

Тема 24. Основи вчення про корозію металів. Корозія зварених з'єднань

Рівномірна, місцева і міжкристалітна корозія. Електродні потенціали. Особливості корозії зварених з'єднань із різних металів і сплавів. Вплив пластичної деформації. Способи підвищення стійкості зварених з'єднань проти корозії.

Навчальний модуль 4. Металургійні основи зварювання

Тема 25. Умови плавлення металу та існування його у рідкому стані

Утворення зварювальної ванни.

Два типи ванн.

Розподіл температури у зварювальній ванні.

Тема 26. Газова фаза у зоні зварювання плавленням

Дисоціація газів. Константа рівноваги процесу дисоціації. Утворення ендотермічних сполук. Механізм насичення рідкого металу газами. Хімічне та електричне поглинання газів металом. Вплив кисню, азоту та водню на властивості сталі. Оксид вуглецю та його вплив на властивості сталі.

Тема 27. Шлакова фаза при зварюванні плавленням

Шлаки та їх призначення. Молекулярна й іонна теорії будови рідких шлаків. Властивості шлаків. Ступінь кислотності; кислі, основні та амфотерні оксиди. Фізичні властивості шлаків: теплові константи, в'язкість та її температурна залежність, газопроникність, густина у рідкому стані, здатність видалятися у твердому стані. “Довгі” та “короткі” шлаки. Характеристика найважливіших простих оксидів, що входять до складу шлакової фази: SiO_2 , MnO , FeO , TiO_2 , CaO , Al_2O_3 , P_2O_5 . Головні системи зварювальних шлаків: оксидного типу, сольового типу, оксидно-сольового типу.

Тема 28. Взаємодія між розплавленим металом, газовим середовищем і шлаком (розкислення, легування і рафінування металу)

Окисні процеси: пряме окиснення, окиснення нижчих оксидів до вищих, окиснення на основі реакцій обміну. Види процесів розкислення: з отриманням конденсованих продуктів реакції; з отриманням газоподібних продуктів реакції; дифузійне розкислення; розкислення за допомогою кислих і основних шлаків. Легування металу через металеву та шлакову фази. Коефіцієнт переходу та фактори, що на нього впливають. Рафінування металу – видалення сірки та фосфору.

Тема 29. Процеси кристалізації металу при зварюванні

Первинна кристалізація металу. Безперервна та періодична кристалізація. Кристалізація зварної ванни I-го типу. Кристалізація зварної ванни II-го типу. Гази в металі і механізм утворення пор. Шлакові вкраплення в металі шва. Ліквіація в металі шва. Методи регулювання первинної кристалізації зварних швів. Вторинна кристалізація в металі шва. Вплив багат шарових швів на їх структуру і властивості. Мікроструктура основного металу в зоні термічного впливу.

Тема 30. Технологічна міцність зварених з'єднань

Тріщини при зварюванні та їх класифікація. Гарячі тріщини при зварюванні. Термодеформаційні явища в металах при зварці. Деформаційна здатність металу при температурах, близьких до температури солідуса. Методика оцінки схильності металу шва до утворення гарячих тріщин. Вплив форми конструкції на утворення гарячих тріщин при зварюванні. Холодні тріщини при зварюванні. Причини виникнення холодних тріщин.

3. Рекомендована література

Базова

1. Василик А.В. Теплові розрахунки при зварюванні / А.В. Василик, Я.А. Дрогомирецький, Я.А. Криль. — Івано-Франківськ: Факел, 2004. — 209 с.
2. Коперсак В.М. Теорія процесів зварювання / В.М. Коперсак. — К.: 2011. — 384 с.
3. Квасницький В.В. Теорія зварювальних процесів. Дослідження фізико-хімічних і металургійних процесів та здатності металів до зварювання: Навчальний посібник. - Миколаїв: УДМТУ, 2002 - 181 с.
4. Теория сварочных процессов / Под ред. В. В. Фролова – М.: Высшая школа, 1988. – 559 с.
5. Багрянский К.В., Добротина З.А., Хренов К.К. Теория сварочных процессов. – М. : Высшая школа, 1976. – 424 с.
6. Багрянский К.В., Добротина З.А., Хренов К.К. Теория сварочных процессов. – Харьков, Изд-во Харьковского университета, 1968. – 503 с.
7. Петров Г.Л., Тумарев А.С. Теория сварочных процессов. – М. : Высшая школа, 1977. – 389 с.

Допоміжна

1. Винокуров В.А., Григорьянц А.Г. Теория сварочных деформаций и напряжений. – М. : Машиностроение, 1984. – 280 с.
2. Волченко В.Н. Источники энергии сварочных процессов. – М. : Машиностроение, 1971. – 75 с.
3. Киреев В.А. Методы практических расчетов в термодинамике химических реакций. – М. : Химия, 1975. – 535 с.
4. Лившиц Л.С., Хакимов А.Н. Металловедение сварки и термическая обработка сварных соединений. –М. : Машиностроение, 1989.– 336с.
5. Лившиц Л.С. Металловедение для сварщиков. – М. : Машиностроение, 1979. – 243 с.
6. Макаров Э.Л. Холодные трещины при сварке легированных сталей. – М. : Машиностроение, 1981. –248 с.
7. Новожилов Н.М. Основы дуговой сварки в газах. – М. : Машиностроение, 1979. – 230 с.
8. Потапов Н.Н. Основы выбора флюсов при сварке сталей. – М. : Машиностроение, 1979. – 169 с.
9. Прохоров Н.Н. Физические процессы в металлах при сварке. – М. : Металлургия, 1968. – Т.1; 1971. – Т.2.
10. Физическая химия / Под ред. К.С. Краснова. – М. : Высшая школа, 1982. – 686 с.
11. Корчагин И.Б. Технологии повышения износостойкости и восстановления деталей с использованием источников высокотемпературного нагрева: Учеб. пособие. - Воронеж: Воронеж. гос. техн. ун-т, 2005. - 146 с.
12. Савуляк В.І., Жуков А.О., Чорна Г.О. Побудова та аналіз моделей металевих сплавів. - Вінниця.: Універсум, - 1999. – 200 с.

4. Форми підсумкового контролю — іспит.

5. Засоби діагностики успішності навчання

Поточний контроль, який здійснюється у формі фронтального, індивідуального чи комбінованого контролю знань студентів під час практичного заняття, тестування, колоквиум, 2-х контрольних робіт (для студентів заочної форми навчання), іспит.