



ЗВАРЮВАННЯ ТИСКОМ

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	Перший (бакалаврський)
Галузь знань	13 Механічна інженерія
Спеціальність	131 Прикладна механіка
Освітня програма	Інжиніринг зварювання, лазерних та споріднених технологій
Статус дисципліни	Вибіркова
Форма навчання	Заочна, змішана
Рік підготовки, семестр	3 курс, весняний семестр
Обсяг дисципліни	120 годин / 4 кредити ECTS; лекції – 12 год., практичні - 2 год., лабораторні роботи – 2 год., СРС – 104 год.
Семестровий контроль/ контрольні заходи	Залік/ модульна контрольна робота, РГР
Розклад занять	згідно www.rozklad.kpi.ua
Мова викладання	Українська
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: к.т.н., доцент Чвертко Євгенія Петрівна, e.chvertko@kpi.ua Практичні: к.т.н., доцент Чвертко Євгенія Петрівна, e.chvertko@kpi.ua Лабораторні: к.т.н., Мінаков Антон Сергійович, macabez15@gmail.com
Розміщення курсу	Лекції з дисципліни, підручник, методичні вказівки до лабораторних занять розміщуються в Google Classroom https://classroom.google.com/u/0/c/NDYzODU2MTQ5MDQw

Програма навчальної дисципліни

1. Опис навчальної дисципліни, її мета, предмет вивчення та результати навчання

Дисципліна "Зварювання тиском" розроблена відповідно до Програми Міжнародного інституту зварювання підготовки міжнародних інженерів зі зварювання «IIW Guideline for International Welding Engineers, Technologists, Specialists and Practitioners. Minimum Requirements for the Education, Examination and Qualification» (розділи 1.11 Resistance Welding, 1.12.2 Other Welding Processes). Метою Програми є представлення зрізу сучасних знань в області зварювальної науки, технологій та обладнання з використанням міжнародних стандартів і кращої виробничої практики. Вивчення дисципліни забезпечує конкурентні переваги фахівця при роботі на підприємствах України і 65 промислово розвинених країн світу.

Мета дисципліни - формування у студентів системи здатностей використовувати знання конструкції та принципу дії сучасного зварювального обладнання для створення нових зразків машин і установок для зварювання тиском.

Предмет дисципліни — технологічні процеси зварювання тиском і відповідне обладнання, вимоги міжнародних і національних стандартів.

Вивчення освітнього компоненту передбачає підсилення та розвиток у студентів компетентностей, передбачених освітньою програмою «Інжиніринг зварювання, лазерних та споріднених технологій» першого (бакалаврського) рівня вищої освіти.

Компетентності:

- 1) Здатність використовувати знання в галузі фізико-хімічних, термодеоформаційних та металургійних процесів для обґрунтованого призначення способів і технологічних параметрів зварювання і споріднених процесів (ФК11)
- 2) Здатність використовувати знання в галузі фундаментальних наук для вирішення технічних задач зі зварювання та споріднених технологій (ФК12)
- 3) Здатність проводити технологічну і технікоекономічну оцінку ефективності використання нових технологій і технічних засобів (ФК3)
- 4) Здатність здійснювати оптимальний вибір технологічного обладнання, комплектацію технічних комплексів, мати базові уявлення про правила їх експлуатації(ФК4)

Відповідно до **освітньої програми** студенти після засвоєння дисципліни мають продемонструвати такі **результати навчання**.

Програмні результати навчання:

- 1) Знати і розуміти термодинамічні процеси зварювання і фізико-технологічні властивості отримання з'єднань або поверхонь (РН17)
- 2) Здійснювати оптимальний вибір способів зварювання і виконувати розрахунки параметрів режимів зварювання для отримання якісного зварного з'єднання з сучасних конструкційних матеріалів (РН19)
- 3) Здійснювати оптимальний вибір обладнання та комплектацію технічних комплексів (РН14)
- 4) Розуміти принципи роботи систем автоматизованого керування технологічним обладнанням, зокрема мікропроцесорних, вибирати та використовувати оптимальні засоби автоматики (РН11)

2. Пререквізити та постреквізити дисципліни (місце в структурно-логічній схемі навчання за відповідною освітньою програмою)

Для успішного засвоєння дисципліни «Зварювання тиском» студент повинен мати базові знання з дисциплін:

Загальна фізика;

Теорія процесів зварювання;

Знання, отримані при вивченні даної дисципліни використовуються студентами під час підготовки кваліфікаційних робіт бакалаврів.

3. Зміст навчальної дисципліни

Утворення з'єднань при контактному точковому, рельєфному та шовному зварюванні

Теоретичні основи утворення з'єднання при контактному зварюванні. З'єднання ідеальних та реальних тіл. Етапи формування з'єднання. Класифікація способів утворення з'єднань. Схема формування з'єднань. Процеси нагрівання металу в зоні зварювання. Джерела теплоти. Електричні опори зони зварювання, їх роль в процесах нагрівання та утворенні з'єднання. Залежність контактних опорів від умов зварювання, поняття "ситового" характеру провідності. Власний опір деталей. Способи визначення загального опору зони зварювання. Кінетика зміни електричних опорів у процесі нагрівання, її залежність від умов зварювання. Температурні та електричні поля. Об'ємні та плоскі джерела тепла, їх питомі потужності. Тепловий баланс. Температурні поля в зоні зварювання, їх залежність від параметрів режиму. Поняття "жорстких" і "м'яких" режимів. Електричні поля, фактори, що визначають їх нерівномірність. Явище шунтування струму. Визначення зварювального струму та струму, що протікає у вторинному контурі машини. Теорія теплової подібності, наближений розрахунок параметрів режиму. Пластична деформація при зварюванні. Теплове розширення металу при зварюванні. Процеси масопереносу.

Технологія точкового, рельєфного та шовного контактного зварювання

Вплив параметрів режиму зварювання на розміри ядра. Основні дефекти з'єднання, їх утворення та заходи попередження. Вибір раціональної конструкції елементів з'єднань. Основні конструктивні елементи і параметри з'єднань. Загальна схема технологічного процесу виготовлення зварних вузлів.

Технологія зварювання матеріалів із різними властивостями. Особливості процесів точкового, рельєфного і шовного зварювання та його програмування. Раціональна та типові циклограми зміни параметрів режиму. Вплив властивостей матеріалів, що зварюються на вибір параметрів режиму зварювання. Класифікація сплавів за теплофізичними властивостями та режими їх зварювання.

Особливості зварювання деталей різної товщини та сплавів з різними фізичними властивостями. Інші випадки застосування методів контактного зварювання.

Технологія контактного стикового зварювання опором та оплавленням

Схема процесу стикового зварювання опором. Джерела теплоти при зварюванні. Електричні опори та їх зміна при зварюванні. Розрахунок струму та визначення інших параметрів процесу. Типова циклограма процесу. Області раціонального використання способу.

Схема процесу стикового зварювання оплавленням. Контактний опір при зварюванні. Механізм нагрівання при оплавленні. Основні параметри режиму, їх визначення. Циклограма процесу зварювання. Стійкість оплавлення. Методи інтенсифікації нагрівання металу, їх застосування при зварюванні.

Інші способи зварювання тиском

Схема процесу конденсаторного зварювання. Джерела теплоти при зварюванні. Типова циклограма процесу. Області раціонального використання способу.

Схема процесу зварювання дугою, що обертається магнітним полем (МІАВ). Джерела теплоти при зварюванні. Типова циклограма процесу. Області раціонального використання способу.

Схема процесу зварювання тертям. Джерела теплоти при зварюванні. Типова циклограма процесу. Класифікація матеріалів для зварювання тертям. Області раціонального використання способу.

Схема процесу ультразвукового зварювання. Джерела теплоти при зварюванні. Типова циклограма процесу. Області раціонального використання способу.

Схема процесу зварювання струмами високої частоти. Джерела теплоти при зварюванні. Типова циклограма процесу. Області раціонального використання способу.

Схема процесу пресового холодного зварювання. Джерела теплоти при зварюванні. Типова циклограма процесу. Області раціонального використання способу.

Схема процесу дифузійного зварювання. Джерела теплоти при зварюванні. Типова циклограма процесу. Області раціонального використання способу.

Загальні відомості про машини зварювання тиском

Загальні відомості про машини. Класифікація машин контактного зварювання. Конструкція вузлів механічної частини машини контактного зварювання. Приводи стискання та затискання деталі, їх класифікація та схеми. Пневматичні пристрої, схеми та принцип дії їх основних вузлів. Електроди точкових та шовних машин. Стійкість електродів. Роликові головки. Приводи роликів. Системи охолодження машин контактного зварювання. Інженерні основи експлуатації.

4. Навчальні матеріали та ресурси

Базова література:

- 1) В. Пахаренко Зварювання тиском. - Електронний підручник, 2013. - 320 с. Підручник можна знайти в бібліотеці КПІ ім. Ігоря Сікорського. Слід читати повністю.
- 2) Пахаренко В.А. Зварювання тиском. – «Екотехнологія», 2011. - 272с.

Додаткова література:

- 1) ISO 18278-1:2015 Resistance welding — Weldability — Part 1: General requirements for the evaluation of weldability for resistance spot, seam and projection welding of metallic materials
- 2) ISO 18278-2:2016 Resistance welding — Weldability — Part 2: Evaluation procedures for weldability in spot welding
- 3) ISO 14373:2015 Resistance welding — Procedure for spot welding of uncoated and coated low carbon steels
- 4) ISO 18595:2021 Resistance welding — Spot welding of aluminium and aluminium alloys — Weldability, welding and testing

- 5) *ISO 14270:2016 Resistance welding — Destructive testing of welds — Specimen dimensions and procedure for mechanized peel testing resistance spot, seam and embossed projection welds*
- 6) *ISO 669:2016 Resistance welding — Resistance welding equipment — Mechanical and electrical requirements*
- 7) *ISO 16433:2006 Resistance welding — Procedure for seam welding of uncoated and coated low carbon steels*
- 8) *ISO 16432:2006 Resistance welding — Procedure for projection welding of uncoated and coated low carbon steels using embossed projection(s)*
- 9) *ISO 14327:2004 Resistance welding — Procedures for determining the weldability lobe for resistance spot, projection and seam welding*
- 10) *ISO 6520-2:2013 Welding and allied processes — Classification of geometric imperfections in metallic materials — Part 2: Welding with pressure*
- 11) *ISO 17662:2016 Welding — Calibration, verification and validation of equipment used for welding, including ancillary activities*

Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Лекційні заняття

Лекція 1. Теоретичні основи утворення з'єднання при контактному зварюванні

Сутність способів зварювання тиском, історія їх розробки та роль вітчизняної науки у їх розвитку. Основні параметри процесів зварювання тиском. Способи контактного зварювання.

Теоретичні основи утворення з'єднання при контактному зварюванні. З'єднання ідеальних та реальних тіл. Етапи формування з'єднання.

Лекція 2 Процеси нагрівання металу в зоні зварювання

Класифікація способів утворення з'єднань. Схема формування з'єднань. Процеси нагрівання металу в зоні зварювання. Джерела теплоти. Електричні опори зони зварювання, їх роль в процесах нагрівання та утворенні з'єднання. Залежність контактних опорів від умов зварювання, поняття “ситового” характеру провідності.

Лекція 3 Опір зони зварювання. Температурні та електричні поля

Власний опір деталей. Способи визначення загального опору зони зварювання. Кінетика зміни електричних опорів у процесі нагрівання, її залежність від умов зварювання.

Температурні та електричні поля. Об'ємні та плоскі джерела тепла, їх питомі потужності. Тепловий баланс. Температурні поля в зоні зварювання, їх залежність від параметрів режиму. Поняття “жорстких” і “м'яких” режимів. Електричні поля, фактори, що визначають їх нерівномірність. Явище шунтування струму.

Розрахунок зварювального струму та струму, що протікає у вторинному контурі машини. Теорія теплової подібності, наближений розрахунок параметрів режиму.

Лекція 4 Основні дефекти з'єднання, їх утворення та заходи попередження

Пластична деформація при зварюванні. Теплове розширення металу при зварюванні. Процеси масопереносу.

Вплив параметрів режиму зварювання на розміри ядра. Основні дефекти з'єднання, їх утворення та заходи попередження.

Лекція 5 Загальні відомості про машини зварювання тиском

Загальні відомості про машини. Класифікація машин контактного зварювання. Конструкція вузлів механічної частини машини контактного зварювання. Приводи стискання та затискання деталі, їх класифікація та схеми. Пневматичні пристрої, схеми та принцип дії їх основних вузлів.

Лекція 6 Інженерні основи раціональної експлуатації машин та установок для контактного зварювання тиском

Установка і монтаж обладнання. Вибір силової, повітряної та водяної мереж. Атестація і передача в експлуатацію обладнання. Основи налагодження на режим. Попереджувальні заходи і ремонти. Забезпечення вимог охорони праці та довкілля.

Практичні заняття

Практична робота № 1

За заданим матеріалом та товщиною деталей обрати раціональну циклограму процесу та розрахувати параметри режиму контактної точкової зварювання для умови з'єднання внапуск пластин однакової товщини кількома точками.

Лабораторні заняття

Лабораторна робота № 1

Вивчення конструкції контактної точкової машини стаціонарного типу і дослідження на ній технологічного процесу зварювання.

6. Самостійна робота студента

Види самостійної роботи (104 год.):

6.1 Обробка і оформлення даних, отриманих при виконанні лабораторних занять, в тому числі заповнення форм специфікацій і протоколів, прийнятих у виробничій практиці – 1 година на кожне заняття (всього – 1 год.).

6.2 Обробка і оформлення даних, отриманих у ході практичних занять — 1 година на кожне заняття (всього – 1 год.).

6.3 Підготовка до лекцій – 1 година на кожну лекцію (всього – 6 год.).

6.4 Виконання розрахунково-графічної роботи — 20 год.

6.5 Підготовка до модульної контрольної роботи — 70 год.

6.6 Підготовка до заліку – 6 год.

Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Політика навчальної дисципліни ЗВАРЮВАННЯ ТИСКОМ є складовою частиною загальної політики в галузі якості КПІ імені Ігоря Сікорського і полягає у виконанні викладачем і студентами наступних принципів.

- 1) На лекціях і лабораторних заняттях обов'язковим є відключення телефонів. На заліку забороняється використання засобів зв'язку для пошуку інформації на гугл-диску викладача чи в інтернеті.
- 2) Лабораторні заняття виконуються командами студентів (підгрупами). Склад команди визначають студенти за погодженням з викладачем. Закінчені

результати виконання кожного заняття демонструються викладачеві на наступному занятті.

- 3) Лабораторні заняття повинні бути виконані і захищені до початку залікової сесії. Перездачі заліку допускаються згідно чинних норм, які діють в КПІ ім. Ігоря Сікорського.
- 4) Академічна доброчесність є базовим принципом освітнього процесу і підлягає беззаперечному виконанню викладачем і студентами.
- 5) Викладач є лідером і гарантом підготовки методичних матеріалів, навчання, контролю і поліпшення дисципліни на сучасному рівні з урахуванням вимог міжнародних стандартів з використанням кращої практики підприємств та університетів світу.

8. Види контролю та рейтингова система оцінювання результатів навчання (PCO)

Поточний контроль проводиться за рішенням викладача в двох формах: експрес-опитування по темі попередньої лекції на початку лекції, опитування за темою заняття на початку лабораторного заняття.

Семестровий контроль: залік.

Умови допуску до семестрового контролю: виконання та захист повного комплексу лабораторних і практичних робіт, сумарний семестровий рейтинг не нижчий 60.

Розрахунок рейтингових балів

Експрес-опитування на лекціях;

Ваговий бал – 5. Максимальна кількість балів на всіх лекціях складає: $5 \text{ балів} \times 6 = 30 \text{ балів}$.

Виконання та захист лабораторних робіт;

Ваговий бал – 1...2. Максимальна кількість балів складає: $2 \text{ бали} \times 1 = 2 \text{ бали}$:

захист в установлений термін – 2 бали

наступні захисти – 1 бал

Виконання та захист практичних робіт;

Ваговий бал – 1...2. Максимальна кількість балів складає: $2 \text{ бали} \times 1 = 2 \text{ бали}$:

захист в установлений термін – 2 бали

наступні захисти – 1 бал

Модульна контрольна робота

Ваговий бал – 0...30. Максимальна кількість балів складає: $30 \text{ балів} \times 1 = 30 \text{ балів}$:

Повна вичерпна відповідь на питання контрольної роботи дає 30 балів, неповна або частково неправильна – 15, відсутність відповіді або неправильна відповідь – 0.

Виконання розрахунково-графічної роботи;

Ваговий бал – 30. Максимальна кількість балів складає: $30 \text{ балів} \times 1 = 30 \text{ балів}$:

зарахування в установлений термін – 30 балів

наступні зарахування – 15 балів

Заохочувальні бали

максимальна кількість балів складає 6 балів.

Бали надаються за можливі творчі досягнення з дисципліни, за активну участь у виконання лабораторних або практичних робіт.

Сума вагових балів контрольних заходів протягом семестру складає: $RC = 30 + 2 + 2 + 30 + 30 + 6 = 100 \text{ балів}$.

Здобувачі, які виконали всі умови допуску до заліку та мають рейтингову оцінку 60 і більше балів, отримують відповідну до набраного рейтингу оцінку без додаткових випробувань.

Здобувачі, які виконали всі умови допуску до заліку та мають рейтингову оцінку менше 60 балів, а також ті здобувачами, хто бажає підвищити свою рейтингову оцінку, на останньому за розкладом занятті з дисципліни в семестрі викладач проводить семестровий контроль у вигляді залікової контрольної роботи.

Залікова контрольна робота складається з 5-ти питань. Повна вичерпна правильна відповідь на кожне питання оцінюється 20 балами, часткова — 10 балами. Загальний бал залікової контрольної роботи визначається як сума балів за відповіді на питання.

Залікова складова шкали дорівнює: $RE = 100$ балів.

Рейтингова шкала з дисципліни складає: $R = 100$ балів.

Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою:

Кількість балів	Оцінка
100-95	Відмінно
94-85	Дуже добре
84-75	Добре
74-65	Задовільно
64-60	Достатньо
Менше 60	Незадовільно
Не виконані умови допуску	Не допущено

9. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

Перелік питань, які виносяться на модульний контроль:

- 12) Умови утворення з'єднань при зварюванні тиском.
- 13) Технологічна схема контактного точкового зварювання.
- 14) Технологічна схема контактного шовного зварювання
- 15) Технологічна схема контактного рельєфного зварювання
- 16) Технологічна схема контактного стикового зварювання опором
- 17) Технологічна схема контактного зварювання оплавленням
- 18) Технологічна схема пресового зварювання дугою що обертається магнітним полем
- 19) Технологічні схеми способів зварювання тертям (радіальне, лінійне, орбітальне, зварювання тертям з перемішуванням)
- 20) Технологічна схема пресового холодного зварювання
- 21) Технологічна схема ультразвукового зварювання
- 22) Технологічна схема дифузійного зварюванням
- 23) Технологічна схема зварювання струмами високої частоти
- 24) Джерела теплоти при контактному зварюванні
- 25) Процеси нагрівання і плавлення металу
- 26) Пластина деформація та її роль в утворенні зварного з'єднання при використанні різних технологій контактного зварювання
- 27) Видалення поверхневих плівок при контактному зварюванні
- 28) Шутнування струму
- 29) Теплове розширення металу при зварюванні
- 30) Процеси масопереносу в контактах струмопідвід-деталь
- 31) Типові дефекти контактного зварювання
- 32) Види конструкцій для контактного точкового зварювання: відкриті, напіввідкриті, закриті. Особливості процесу для кожного з них
- 33) Технологічні прийоми при контактному точковому зварюванні деталей із різномірних матеріалів

- 34) Технологічні прийоми при контактному стиковому зварюванні деталей із різномірних матеріалів
- 35) Технологічні прийоми при контактному точковому зварюванні деталей із співвідношенням товщин більшим за 1:3
- 36) Технологічні прийоми при контактному стиковому зварюванні деталей із суттєво відмінною площею перерізу
- 37) Технологічні прийоми при контактному точковому зварюванні деталей із покриттям
- 38) Особливості контактного точкового мікрозварювання
- 39) **Схеми розрахунку зварювального струму при контактному зварюванні**

Перелік питань, які виносяться на залік:

- 1) Умови утворення з'єднань при зварюванні тиском.
- 40) Технологічна схема контактного точкового зварювання.
- 41) Технологічна схема контактного шовного зварювання
- 42) Технологічна схема контактного рельєфного зварювання
- 43) Технологічна схема контактного стикового зварювання опором
- 44) Технологічна схема контактного зварювання оплавленням
- 45) Технологічна схема пресового зварювання дугою що обертається магнітним полем
- 46) Технологічні схеми способів зварювання тертям (радіальне, лінійне, орбітальне, зварювання тертям з перемішуванням)
- 47) Технологічна схема пресового холодного зварювання
- 48) Технологічна схема ультразвукового зварювання
- 49) Технологічна схема дифузійного зварюванням
- 50) Технологічна схема зварювання струмами високої частоти
- 51) Джерела теплоти при контактному зварюванні
- 52) Процеси нагрівання і плавлення металу
- 53) Пластина деформація та її роль в утворенні зварного з'єднання при використанні різних технологій контактного зварювання
- 54) Видалення поверхневих плівок при контактному зварюванні
- 55) Штукатурення струму
- 56) Теплове розширення металу при зварюванні
- 57) Процеси масопереносу в контактах струмопідвід-деталь
- 58) Типові дефекти контактного зварювання
- 59) Види конструкцій для контактного точкового зварювання: відкриті, напіввідкриті, закриті. Особливості процесу для кожного з них
- 60) Технологічні прийоми при контактному точковому зварюванні деталей із різномірних матеріалів
- 61) Технологічні прийоми при контактному стиковому зварюванні деталей із різномірних матеріалів
- 62) Технологічні прийоми при контактному точковому зварюванні деталей із співвідношенням товщин більшим за 1:3
- 63) Технологічні прийоми при контактному стиковому зварюванні деталей із суттєво відмінною площею перерізу
- 64) Технологічні прийоми при контактному точковому зварюванні деталей із

покриттям

65) *Особливості контактного точкового мікрозварювання*

66) *Схеми розрахунку зварювального струму при контактному зварюванні*

Приклад завдання на РГР:

Розробити технологію зварювання та обрати серійне обладнання для наступних умов:

Спосіб зварювання: контактне точкове

Матеріал: сталь Ст3

Геометричні параметри деталей: пластини однакової товщини, товщина 1 мм

Зварювальна машина: стаціонарна

Виліт машини: 1 м

Тип привода стискання: поршневий

Робоча програма навчальної дисципліни (силабус):

Складена доцентом, к.т.н, доц. Чвертко Євгенією Петрівною.

Ухвалено кафедрою зварювального виробництва (протокол №6 від 18.11.23)

Погоджено Методичною комісією інституту НН ІМЗ ім. Є.О. Патона (протокол №05/23 від 11.12.23)