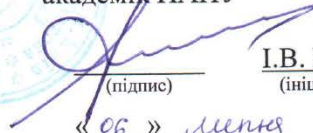


НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ЕЛЕКТРОЗВАРЮВАННЯ ім. Є.О.ПАТОНА НАЦІОНАЛЬНОЇ
АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ
Відділ аспірантури при ІЕЗ ім. Є.О.Патона НАН України



ЗАТВЕРДЖУЮ
Заст. директора
ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України
академік НАНУ



І.В. Кривцун
(ініціали, прізвище)

« 06 » липень 2020 р.

**« Структура з'єднань матеріалів отриманих
плавленням»**

(назва навчальної дисципліни)

2/П

(шифр за ОП)

**ПРОГРАМА
навчальної дисципліни**

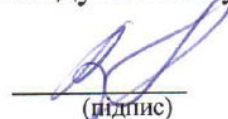
рівень вищої освіти – доктор філософії з матеріалознавства
форма навчання – денна
спеціальність – 132 – Матеріалознавство
галузь знань – 13 – механічна інженерія
освітня програма – Матеріалознавство

Затверджено на засіданні випускового
відділу за спеціальністю 132
«Матеріалознавство»

Інститут електрозварювання
ім. Є.О. Патона НАНУ

Протокол від 03.07 2020 р. № 1

Завідувач випускового відділу




А.І. Устінюв
(ініціали, прізвище)

« 06 » липень 2020 р.

Київ – 2020

РОЗРОБНИКИ ПРОГРАМИ:

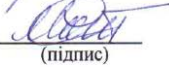
Зав. відділу, док. техн. наук, с. н. с. Жерносеков Анатолій Максимович
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ім'я, по батькові)


(підпис)

Зав. відділу, док. техн. наук, с. н. с. Максимов Сергій Юрійович
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ім'я, по батькові)


(підпис)

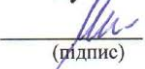
Зав. відділу, док. техн. наук, с. н. с. Максимова Світлана Василівна
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ім'я, по батькові)


(підпис)

Програму затверджено на засіданні відділу фізико-механічних досліджень зварюваності
конструкційних сталей
(повна назва відділу)

Протокол від «03» липня 2020 року № 1

Завідувач відділу


(підпис) С.Ю.Максимов
(ініціали, прізвище)

«06» липня 2020 р.

Вступ

Програму навчальної дисципліни **Структура з'єднань матеріалів отриманих плавленням** складено відповідно до освітньо-професійної програми підготовки **аспірантів спеціальності 132 – матеріалознавство** III рівня вищої освіти доктор філософії спеціальності 132 – Матеріалознавство.

Навчальна дисципліна належить до циклу **дисциплін професійної та практичної підготовки**.

Статус навчальної дисципліни – **вибіркова**.

Обсяг навчальної дисципліни - 4 кредити ЄКТС.

Предмет навчальної дисципліни: способи дугового зварювання і паяння, імпульсно-дугове зварювання, математичне моделювання процесів формування та переносу електродного металу, джерела живлення для дугового зварювання, фізико-металургійні особливості підводного дугового зварювання, стабілізація процесу горіння дуги та переносу металу у водному середовищі, взаємодія металу з газами, керування структурою та властивостями зварних та паяних з'єднань, матеріали і технологія паяння та підводного зварювання і різання,

Міждисциплінарні зв'язки:

Навчальна дисципліна пов'язана з дисциплінами:

- «Методи дослідження фазового складу, структури та фізико-механічних властивостей» (4/I),
- «Властивості матеріалів в нерівноважному стані та методи їх отримання» (3/I),
- «Твердофазні процеси формування нероз'ємних з'єднань матеріалів» (1/II),
- «Конструкційні сталі та їх здатність до зварювання» (3/II),
- «Конструкційні сплави на основі нікелю, титану та алюмінію і їх здатність до зварювання» (4/II),
- «Основи конструкційної міцності» (5/II),
- «Дослідження процесу руйнування матеріалів методом акустичної емісії» (6/II),
- «Теорія і експериментальні методи дослідження розповсюдження хвиль акустичної емісії в матеріалах» (7/II),
- «Прогнозування руйнування конструкцій методом акустичної емісії»(8/II).

В подальшому набуті знання і вміння використовуються при вивченні дисциплін де є необхідним проводити розробку нових та удосконалювати існуючі електродні матеріали і методи зварювання та паяння матеріалів і оцінки зварюваності конструкційних сталей.

1. Мета та завдання навчальної дисципліни

1.1. Метою навчальної дисципліни є формування у аспірантів компетентностей:

- Здатність проводити критичний аналіз, оцінку і синтез нових та складних ідей (код ЗК 2).
- Здатність переосмислювати наявне та створювати нове цілісне знання та/або професійну практику і розв'язувати значущі соціальні, наукові, культурні, етичні та інші проблеми (код ЗК 3).
- Здатність розроблення та реалізація проектів, включаючи власні дослідження (код ЗК 4).
- Здатність ініціювання дослідницько-інноваційних проектів та автономно працювати під час їх реалізації(код ЗК 5).
- Здатність до самостійного освоєння нових методів дослідження(код ЗК 8).
- Здатність досліджувати проблеми із використанням системного аналізу та інших методів дослідження(код ЗК 9).
- Критичне осмислення наукових фактів, гіпотез, теорій, у професійній діяльності в сфері матеріалознавства(код ЗК 11).

- Здатність ініціювати, розробляти і реалізовувати комплексні інноваційні проекти в механічній інженерії та дотичні до неї міждисциплінарні проекти, лідерство під час їх реалізації(код ФК 1).
- Здатність самостійно виконувати наукові дослідження в галузі матеріалознавства на основі сучасних теорій та методів термодинаміки, кінетики процесів в матеріалах, фізики конденсованого стану, та інформаційнокомунікаційних технологій(код ФК 2).
- Здатність узагальнювати результати сучасних досліджень структури та властивостей матеріалів для вирішення наукових і практичних проблем, на основі фундаментальних та спеціальних знань синтезувати та створювати нові матеріали заданого функціонального призначення (код ФК 4).
- Здатність оцінювати властивості матеріалів на основі існуючих та спеціально розроблених моделей та методів досліджень (код ФК 5).
- Здатність проводити теоретичні й експериментальні дослідження, фізико-математичне, фізико-хімічне та комп'ютерне моделювання розроблюваних матеріалів та процесів з метою оптимізації їх властивостей (код ФК 8).
- Здатність на основі фундаментальних та спеціальних знань проектувати та
- створювати нові матеріали заданого функціонального призначення(код ФК 9).
- Здатність використовувати новітні методи досліджень металів і сплавів в науково-дослідницькій діяльності (код ФК 11).

1.2. Основні завдання навчальної дисципліни.

Згідно з вимогами освітньо-професійної програми аспіранти після засвоєння навчальної дисципліни мають продемонструвати такі результати навчання.

Знання:

- методик аналізу та синтезу знань при вирішенні проблем в широкому контексті матеріалознавчих та міждисциплінарних задач, в тому числі, за умов невизначеності чи неповної інформації (код ЗН 1);
- загальних принципів і методів природничих та технічних наук, а також методології наукових досліджень, їх застосування у власних дослідженнях у сфері матеріалознавства (код ЗН 3);
- фізичних, хімічних та математичних принципів матеріалознавства (код ЗН 4);
- новітніх світових досягнень науки, техніки та технологій в галузі матеріалознавства та суміжних сферах (ЗН 5);
- закономірностей керування складом, структурою та властивостями матеріалів різної природи та функціонального призначення (код ЗН 7);

Уміння:

- Використовувати необхідні для обґрунтування висновків докази, зокрема, результати теоретичного аналізу, експериментальних досліджень і математичного та/або комп'ютерного моделювання, наявні емпіричні дані(код УМ 2);
- Застосовувати логіку та методологію наукового пізнання(код УМ 3);
- Застосовувати аналіз та синтез знань при вирішенні проблем в широкому контексті матеріалознавчих та міждисциплінарних задач, в тому числі, за умов невизначеності чи неповної інформації(код УМ 4);
- Забезпечувати оригінальні розробки та ідей в контексті наукового дослідження(код УМ 5);

- Орієнтуватися в сучасних тенденціях та потребах суспільства з метою їх використання в професійній галузі; проявити вищу ступінь відповідальності за соціальні, культурні та екологічні наслідки комплексної технічної діяльності в контексті сталого розвитку; виявити готовність до ведення технічної діяльності з дотриманням етичних норм(код УМ 6);
- синтезувати знання та формулювати висновки, обґрунтовувати їх для фахової та нефахової аудиторії (код УМ 8);
- На основі аналізу потреб виробництва формулювати вимоги щодо рівня властивостей нових матеріалів(код УМ 10);
- генерувати нові ідеї для вирішення науково-дослідних проектів та дослідницько-конструкторських робіт (код УМ 12);
- оцінювати вплив нерівноважних умов отримання матеріалів на характеристики їх роботоздатності, та застосовувати сучасні методи їх підвищення (код УМ 14);
- практично застосувати отримані теоретичні знання при виборі матеріалів залежно від реальних умов експлуатації та функціонального призначення (код УМ 15);
- Практично визначати умови необхідні для реалізації процесу з'єднання матеріалів методом паяння, відбирати необхідні матеріали для реалізації процесу паяння, враховувати особливості впливу гравітації та оточуючого середовища на формування нероз'ємних з'єднань(код УМ 19);
- Практично визначати умови необхідні для реалізації процесу з'єднання конструкційних сталей та проводити відбір зварювальних матеріалів для отримання необхідних властивостей нероз'ємних з'єднань(код УМ 20);

2. Структура навчальної дисципліни

На вивчення навчальної дисципліни відводиться 120 годин/ 3 кредити ECTS.

Навчальна дисципліна містить розділи:

1. Управління електрофізичними процесами при зварюванні плавленням.
2. Матеріалознавчі аспекти процесів структуроутворення нероз'ємних з'єднань в умовах водного середовища.
3. Фізико-хімічні процеси паяння металів і сплавів.

Рекомендований розподіл навчального часу

Шифр	Назва навчальної дисципліни	Розподіл за семестрами		Кількість Кредитів ECTS	Кількість годин					
		Екзамени	Заліки		Загальний обсяг	Аудиторних у тому числі			Самостійна робота	
						Всього	лекцій	практичні		семінарські
2/П	Структура з'єднань матеріалів отриманих плавленням	3	-	4	120	40	32	8	-	80

3. Зміст навчальної дисципліни

Розділ 1. Управління електрофізичними процесами при зварюванні плавленням.

Тема 1.1. Способи дугового зварювання.

Історія виникнення дугового зварювання. Видатні вітчизняні та зарубіжні вчені та їх вклад в розвиток дугового зварювання. Класифікація електричного зварювання плавленням. Сутність основних способів зварювання.

Тема 1.2. Перспективи розвитку способу зварювання плавким електродом в захисних газах.

Види переносу металу електрода та їх технологічні властивості. Основні складові зварювального процесу та їх вплив на вид переносу електродного металу. Вплив захисного середовища на процес зварювання та розбризкування металу. Перенос металу електрода з короткими замиканнями дугового проміжку, процеси CMT, STT, Cold Arc, сутність процесу та їх переваги. Тенденції удосконалення устаткування для дугових та комбінованих способів зварювання.

Тема 1.3. Розвиток імпульсно-дугового зварювання плавким електродом в захисних газах.

Імпульсно-дугове зварювання плавким електродом в захисних газах: вимоги до джерела живлення, параметри імпульсів, форма імпульсів. Розвиток процесу імпульсно-дугового зварювання для різних матеріалів (алюмінієві сплави, конструкційні сталі) та в комбінованих технологіях: лазер - дуга, дві дуги, дуга-плазма.

Тема 1.4. Підвищення ефективності процесу імпульсно-дугового зварювання плавким електродом в захисних газах.

Розробки ІЕЗ ім. Є.О. Патона щодо розвитку процесу імпульсно-дугового зварювання плавким електродом. Ступінчаста форма імпульсу струму, її переваги. Особливості синергетичного управління параметрами режимів при імпульсно-дуговому зварюванні. Системи автоматичної стабілізації процесу імпульсно-дугового зварювання в умовах промислових виробничих збурень. Вплив швидкості наростання фронтів імпульсів на процес зварювання.

Тема 1.5. Методи математичного моделювання процесів формування та переносу металу електроду.

Емпіричні, аналітичні та численні математичні моделі, їх переваги та недоліки. Ефективність розплавлення електроду при різних видах дугового зварювання. Залежність середньої температури краплі розплавленого металу від сили та полярності струму зварювання.

Тема 1.6. Дослідження щодо процесів імпульсно-дугового зварювання алюмінієвих сплавів, сплавів на основі міді, конструкційних сталей, в тому числі високоміцних трубопровідних сталей.

Особливості застосування устаткування для імпульсно-дугових процесів, в тому числі для зварювання в різних просторових положеннях. Вплив параметрів імпульсів на розбризкування металу, структуру та механічні властивості металу швів та зварних з'єднань.

Тема 1.7. Імпульсний вплив при зварюванні змінним струмом синусоїдальної форми.

Підвищення технологічної ефективності процесу зварювання при стабілізації дуги змінного струму. Стабілізатори горіння дуги, їх переваги та параметри. Дослідження щодо оптимізації параметрів імпульсів стабілізації дуги змінного струму. Зварювання із застосуванням стабілізаторів горіння дуги змінного струму конструкційних сталей (мікроструктурі складові та механічні характеристики металу швів та зварних з'єднань).

Тема 1.8. Дослідження зварювального устаткування щодо впливу вищих гармонік струму на електричну мережу.

Вплив однофазних та трифазних джерел живлення на електричну мережу. Гармонійний склад струму та напруги мережі, коефіцієнти нелінійних спотворень струму THD_I і напруги THD_U . Особливості впливу інверторних джерел живлення. Пристрої придушення вищих гармонік зварювального струму.

Розділ 2. Матеріалознавчі аспекти процесів структуроутворення нероз'ємних з'єднань в умовах водного середовища. Особливості формування структури з'єднання в умовах водного середовища.

Тема 2.1. Фізико-металургійні аспекти проблеми підводного дугового зварювання конструкційних сталей.

Історія розвитку підводного зварювання. Види підводного зварювання та їх особливості. Проблеми отримання якісного зварного з'єднання мокрим підводним зварюванням. Особливості термічного циклу мокрого підводного зварювання.

Тема 2.2. Умови стійкого горіння дуги у водному середовищі, еволюція парогазового пузиря і перенос електродного металу.

Парогазовий пузир, склад, стадії еволюції. Вплив параметрів режиму зварювання, швидкості течії та глибини на динаміку розвитку пузиря. Способи стабілізації геометричних параметрів пузиря. Типи переносу електродного металу і способи його стабілізації. Взаємозв'язок між параметрами парогазового пузиря, переносом електродного металу і формуванням металу шва.

Тема 2.3. Впливу умов зварювання безпосередньо у воді на взаємодію розплавленого металу з газами.

Вплив водного середовища і гідростатичного тиску на газонасиченість металу шва. Процес пороутворення при мокрому підводному зварюванні. Механізм утворення холодних тріщин у зоні термічного впливу, методи підвищення тріщиностійкості.

Тема 2.4. Закономірності впливу хімічного складу і умов зварювання на формування структури і властивості металу шва і ЗТВ.

Особливості формування мікроструктури металу шва і зони термічного впливу. Неметалеві включення, залежність їх морфології від вмісту кисню і розмірів аустенітних зерен.

Тема 2.5. Способи керування властивостями зварних з'єднань в умовах водного середовища.

Ефективність мікролегування металу шва. Механічні властивості зварних з'єднань і способи керування ними.

Тема 2.6. Електродні матеріали і основні технологічні аспекти підводного зварювання.

Типи електродних матеріалів, вимоги до їх складу. Корозійна стійкість зварних з'єднань, виконаних під водою. Спеціалізоване обладнання для мокрого підводного зварювання. Типові дефекти підводних металоконструкцій і способи їх ремонту. Приклади практичного застосування підводного зварювання. Способи різання під водою.

Розділ 3. Фізико-хімічні процеси паяння металів і сплавів.

Тема 3.1. Теоретичні основи процесу отримання нероз'ємних з'єднань шляхом паяння.

Сутність і фізико-хімічні основи паяння різних матеріалів. Визначення термінів: паяння, припій, основний метал. Класифікація методів паяння за джерелами нагріву, за фізико-хімічними процесами. Класифікація припоїв за температурою плавлення. Конструктивні особливості виконання паяних з'єднань. Підготовка деталей до процесу паяння, видалення оксидних плівок з контактних поверхонь основного металу.

Тема 3.2. Фізико-металургійні процеси, що протікають під час процесу паяння.

Змочування основного металу та розтікання припою. Контактні кути змочування, рівняння Юнга. Механізм та результати взаємодії між основним металом і припоєм. Затікання припою в капілярні зазори: дифузія, розчинення основного твердого металу рідким припоєм. Вплив хімічних елементів-депресантів і параметрів процесу паяння на розчинення основного металу. Види ерозії, що виникають при паянні. Особливості процесу кристалізації металу паяного шву.

Тема 3.3. Обладнання для паяння, виготовлення (шляхом лиття) і дослідження експериментальних припоїв і паяних з'єднань.

Особливості виготовлення і застосування адгезійно-активних припоїв (литих). Апаратура для дослідження їх технологічних властивостей. Основні типи установок для високотемпературного і низькотемпературного паяння. Вплив геометричних параметрів, конструктивних особливостей на вибір джерел нагріву та формування паяних з'єднань.

Обладнання для дослідження хімічної неоднорідності і структуроутворення паяних швів: оптична та електронна растрова мікроскопія; мікрорентгеноспектральний аналіз. Установки для визначення механічних характеристик і мікротвердості паяних з'єднань (шляхом наноіндентування та з застосуванням традиційних мікротвердомірів).

Тема 3.4. Аморфні (мікрокристалічні) припої, методи виготовлення, властивості, застосування при високотемпературному паянні титанових сплавів.

Критерії аморфізації припоїв, установки і методи їх отримання в аморфному стані. Структурні особливості аморфних припоїв і вплив на формування паяних з'єднань. Титанові сплави, структура, хімічний склад та механічні властивості. Високотемпературне паяння титанових сплавів. Вплив температурного-часових параметрів нагріву на структуру і властивості паяних з'єднань.

Тема 3.5. Технологічні аспекти процесу паяння нержавіючих, низьколегованих сталей, мідних сплавів.

Застосування паяних з'єднань нержавіючих, низьколегованих сталей, мідних сплавів. Умови дисоціації оксидів, обладнання та технологічні особливості процесу паяння. Застосування захисних середовищ (флюсів) під час паяння. Припої для паяння нержавіючих, низьколегованих сталей, мідних сплавів.

Тема 3.6. Високотемпературне паяння жароміцних сплавів на основі нікелю.

Класифікація та основні характеристики жароміцних нікелевих сплавів. Способи зміцнення, структура та функції основних легуючих елементів. Припої для високотемпературного паяння жароміцних нікелевих сплавів. Вплив хімічного складу припою, дифузійних процесів і технологічних параметрів процесу високотемпературного паяння на формування структури паяних швів. Вплив хімічних елементів-депресантів на формування структури паяних з'єднань нікелевих жароміцних сплавів при застосуванні нікелевих припоїв.

Тема 3.7. Паяння алюмінієвих сплавів.

Застосування алюмінієвих сплавів різних систем легування. Вирішення проблем, пов'язаних з руйнуванням оксидних плівок на поверхні алюмінієвих сплавів. Припої і методи паяння алюмінієвих сплавів різних систем легування. Пічне паяння з застосуванням флюсових систем. Вплив хімічного складу основного металу на формування структури паяного шву.

Тема 3.8. Проблеми і особливості паяння різнорідних матеріалів.

Вплив хімічного складу, різниці в коефіцієнтах термічного лінійного розширення (ТКЛР) основних металів і припою на формування паяних з'єднань. Власні напруження і деформація при паянні, утворення інтерметалідних фаз. Конструктивні особливості паяних різнорідних з'єднань.

Рекомендована тематика практичних занять

Закріплення знань, що були одержані на лекційних заняттях та придбання умінь і навичок в аналізі основ конструкційної міцності передбачено практичним заняттям за темою:

Практичне заняття №1.1 Основні складові зварювального процесу та їх вплив на вид переносу електродного металу. Вплив захисного середовища на процес зварювання та розбризкування металу.

Практичне заняття №1.2. Особливості впливу інверторних джерел живлення на електричну мережу. Гармонійний склад струму та напруги мережі, коефіцієнти нелінійних спотворень струму THD_I і напруги THD_U .

Практичне заняття №2.1. Вплив режимів зварювання порошковим дротом на формування металу шва і його геометричні параметри.:

- оцінка зварювально-технологічних характеристик порошкового дроту;
- визначення можливого діапазону зміни геометричних параметрів металу шва.

Практичне заняття №2.2. Вплив гідростатичного тиску і типу порошкового дроту на формування металу шва:

- вплив глибини на електричні параметри, стабільність процесу горіння дуги і переносу електродного металу;
- вплив глибини на зовнішній вид металу шва та його геометричні параметри.

Практичне заняття №3.1. Ознайомлення з обладнанням і конструкційними особливостями установок для дослідження температури солідусу і ліквідусу експериментальних припоїв та вакуумного паяння різних матеріалів. Техніка безпеки при роботі на установках. Підготовка зразків, проведення робіт з паяння. Ознайомлення з експонатами паяних зразків.

Ознайомлення з конструкційними особливостями та основними вузлами установок для флюсового паяння. Техніка безпеки при роботі на установках. Ознайомлення з експонатами паяних зразків.

5. Рекомендований перелік комп'ютерних практикумів

Лабораторні роботи (комп'ютерні практикуми) навчальним планом не передбачені.

6. Рекомендовані індивідуальні завдання

Самостійна робота аспірантів включає підготовку до лекцій, практичних занять та екзамену.

7. Рекомендована література.

7.1 До розділу 1.

Базова:

1. Патон Б.Е., Лебедев В.К. Электрооборудование для дуговой и шлаковой сварки.: Машиностроение, 1966. 360 с.
2. Ерохин А.А. Основы сварки плавлением. Физико-химические закономерности. М.: Машиностроение, 1973. 448 с.
3. Потапьевский А.Г. Сварка в защитных газах плавящимся электродом. М.: «Машиностроение», 1974. 240 с.
4. Технология электрической сварки металлов и сплавов плавлением. Под ред. Б. Е. Патона. М.: Машиностроение, 1974. 768 с.
5. Багрянский К.В., Добротина З.А., Хренов К.К. Теория сварочных процессов. К.: Вища школа, 1976. 424 с.
6. Schellhase M. Der Schweißlichtbogen – ein technologisches Werkzeug. Berlin: VEB Verlag Technik, 1985. 236 s.
7. Жежеленко И.В., Рабинович М.Л., Божко В.М. Качество электроэнергии на промышленных предприятиях. К.: Техника, 1981. 160 с.
8. Б.Е. Патон, И.И. Заруба, В.В. Дыменко, А.Ф. Шатан. Сварочные источники питания с импульсной стабилизацией горения дуги. К.: «Екотехнологія», 2007. 248 с.
9. Жерносеков А.М. Тенденции развития управления процессами переноса металла в защитных газах (Обзор). Автоматическая сварка. 2012. № 1. С. 33-38.
10. Рымар С.В., Жерносеков А.М., Сидорец В.Н. Влияние однофазных источников питания сварочной дуги на электрическую сеть. Автоматическая сварка. 2012. №1. С. 33-38.
11. Семенов А.П. Методы математического моделирования процессов формирования и переноса капель электродного металла при сварке плавящимся электродом (Обзор). Автоматическая сварка. 2014. № 10. С. 3-12.

Допоміжна:

1. Killing R. Schutzgase zum Lichtbogenschweißen – schweißtechnische Eigenschaften. Der Praktiker. 1993. № 8. S. 448-455.
2. Шейко П.П. Однопроходная импульсно-дуговая сварка модулированным током изделий из сплава АМг6. Автоматическая сварка. 1996. №7. С. 31-32.
3. Герольд Г., Помранке И., Цвинкерт Г. Особенности дуговой сварки в защитных газах со струйно-вращательным переносом электродного металла. Автоматическая сварка. 1998. № 11. С. 40-47.
4. Gas metal arc welding. Transfer modes. Classification of metal transfer in electric arc welding processes. Welding Journal. February 1997. P. 57-58.
5. Геке С., Хедергард Й, Лундин М., Кауфманн Г. МИГ/МАГ сварка тандемом. Сварочное производство. 2002. № 4. С. 30-35.
6. Шейко П.П., Павшук В.М., Жерносеков А.М., Шимановский Ю.О. Источник питания для импульсно-дуговой сварки плавящимся электродом с автоматической стабилизацией сварочных параметров. Сварщик. 2003. №4. С. 4.
7. Бондаренко В.Л. Дуговая сварка с импульсной подачей электродной проволоки - процесс СМТ, предложенный фирмой «Фрониус». Автоматическая сварка. 2004. № 12. С. 55-58.
8. Сидорец В.Н., Жерносеков А.М. Численное моделирование системы источник питания – дуга с плавящимся электродом. Автоматическая сварка. 2004. № 12. С.10- 16.
9. Автоматизированная сварка трубопроводов: Сварка за рубежом. Автоматическая сварка. 2005. № 1. С. 52-56.
10. Виджери Д.Дж. Механизация сварки трубопроводов. Svetsaren (руск.) – том 60. 2005. № 1. С. 22-25.
11. Ueyama T., Ohnawa T., Uezono T. etc. Solution to Problem of arc interruption and stable arc length control in tandem pulsed GMA welding- study of arc stability in tandem pulsed GMA welding (Report2). Quarterly journal of Japan Welding Society. 2005. Vol.23. № 4. P. 526-535.
12. Волков И.В., Курильчук М.Н., Пентегов И.В., Рымар С.В. Улучшение качества электроэнергии в сетях промышленных предприятий посредством фильтров высших гармоник тока. Вісник Приазовського державного технічного університету. Зб. наук. праць, Енергетика. Маріуполь: ПДТУ, 2005. Ч. 2, вип. № 15. С. 15-19.
13. Жерносеков А.М., Андреев В.В. Импульсно-дуговая сварка плавящимся электродом (Обзор) . Автоматическая сварка. 2007. № 10. С. 48-52.
14. Сидорец В.Н., Андрианов А.А. Методы анализа режимов стабилизации сварочной дуги переменного тока. Технічна електродинаміка. 2007. Тематичний випуск. Силова електроніка та енергоефективність. Частина 5. С. 71-74.
15. Сидорец В.Н., Жерносеков А.М. Компьютерное моделирование импульсно-дуговых систем. Автоматическая сварка. 2007. № 1. С. 49-52.
16. Сато К. Современные источники питания для дуговой сварки с низким разбрызгиванием. Технология сварки (яп.). 2008. № 2. С. 60-65.
17. Maxl G., Posch G. MAG–Wechselstromschweißen von hochfesten Feinkornbaustählen. Schweiss & Prüftechnik. 2008. № 3. S. 35-38.
18. Зябкин О.В., Кусков В.Н., Потапов Д.А. Крылов А.П. Влияние параметров импульсной сварки методом STT на тепловыделение и структуру соединения. Заготовительные производства в машиностроении. 2009. № 4. С.13-15.
19. Жерносеков А.М., Сидорец В.Н. Математичне моделювання систем дугового зварювання з дрібнокрапельним переносом металу. Вісник Національного університету „Львівська політехніка” Електроенергетичні та електромеханічні системи. 2009. № 637. С. 27-31.
20. Ках П., Салминен А., Мартикаинен Дж. Особенности применения гибридной лазерно-дуговой сварки (Обзор). Автоматическая сварка. 2010. № 6. С. 38-47.

21. Машин В.С., Пашуля М.П., Шонин В.А. Импульсно дуговая сварка плавящимся электродом в аргоне тонколистовых алюминиевых сплавов. Автоматическая сварка. 2010. № 5. С. 49-53.

22. Кривцун І. В., Семенов О. П., Демченко В. Ф. До теорії формування крапель електродного металу при дуговому зварюванні плавким електродом. Доп. НАНУ. 2011. № 6. С. 90-96.

23. Сидорец В.Н., Бушма А.И., Жерносеков А.М., Верещаго Е.Н. Особенности газовой защиты при импульсно- дуговой сварке. Збірник наукових праць. Тем випуск: Проблеми удосконалення електричних машин і апаратів. Теорія і практика. Харків: НТУ «ХПІ» 2012. № 61 (967). С.155–163.

24. Лабур Т.М., Жерносеков А.М., Яворская М.Р., Пашуля М.П. Импульсно-дуговая сварка плавящимся электродом алюминиевых сплавов с регулируемой формой импульсов. Сварочное производство. 2013. № 11. С. 3-7.

25. Talalaev R., Veinthal R., Laansoo A., Sarkans M. Cold metal transfer (CMT) welding of thin sheet metal products. Estonian journal of engineering. 2012. V. 18. No. 3. P. 243–250.

26. Жерносеков А.М., Сидорец В.Н., Шевчук С.А. Комбинированное импульсное воздействие защитных газов и сварочного тока на металл швов при сварке плавящимся электродом. Сварочное производство. 2013. № 12. С. 9-13.

27. Жерносеков А.М. Хаскин В.Ю., Набок Т.Н. Импульсная лазерно-дуговая сварка углеродистых сталей. Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2014. № 5/1(71). С. 12-16.

28. Кайтель С., Нойберт Я. Технологии гибридной лазерно-дуговой сварки кольцевых швов на магистральных трубопроводах. Автоматическая сварка. 2014. № 4. С. 37-43.

7.2. До Розділу 2.

Базова:

1. A. Brown, R. Brown, C.-L. Tsai, K. Masubuchi. Report on fundamental research on underwater welding. Report #MITSG 74-29. 1974. 317 p.

2. М. Мадатов. Подводная сварка и резка металлов. Л., Судостроение. 1967.

3. Подводная сварка и резка металлов. Киев, ИЭС. Под редакцией А.Е.Асниса. 1980.

4. А.А. Игнатушенко. Сварка под водой. Итоги науки и техники. 1981. Т.13. С.3-54.

5. Underwater Wet Welding and Cutting. Woodhead Publishing. 1998. 114 p.

6. К.В. Багрянский, З.А. Добротина, К.К. Хренов. Теория сварочных процессов. Вища школа. 1976. 424 с.

7. А.А. Ерохин. Основы сварки плавлением. М. Машиностроение. 1973. 448 с.

8. Л.С. Лифшиц. Металловедение для сварщиков. М. Машиностроение. 1979. 253 с.

9. В.В. Підгаєцький. Пори, включення і тріщини в зварних швах. Техніка. 1970. 236 с.

10. М.П. Браун. Влияние легирующих элементов на свойства стали. Киев. 1962. 192 с.

11. Гольдштейн, Я. Е. Инокулирование железоуглеродистых сплавов/ Я.Е. Гольдштейн, В.Г. Мизин. М: Металлургия, 1993. – 416 с.

12. А. Н. Задиранов, А.М. Кац. Теоретические основы кристаллизации металлов и сплавов. М. МГИУ. 2008. 194 с.

13. A. Sanchez-Osio, S. Liu. The influence of consumable composition and solidification on inclusion formation and growth in low carbon steel underwater wet welds. Welding Research Council Bulletin. 1995. Issue: 399. 58 p.

14. Технология электрической сварки металлов и сплавов плавлением. Под ред. Б.Е.Патона. М. Машиностроение. 1974. 768 с.

Допоміжна:

1. Chon-Liang Tsai, Koichi Masubuchi. Mechanisms of rapid cooling in underwater welding. Applied Ocean Research. 1979. Volume 1, Issue 2. P.99–110.

2. K. Masubuchi. Underwater factors affecting welding metallurgy. Underwater welding of offshore platforms and pipelines. Proc. of Conf. November 5-6 1980. New Orleans. 19 p.
3. A.E. Asnis, I.M. Savich, A.A. Grishanov. Structural Strength of Underwater Welded Joints. Proceedings of the International Conference Held at Trondheim, Norway, 27–28 June 1983. P.319–330.
4. J. Kinugawa, S. Fukushima, T. Fukushima. Estimation of maximum hardnesses and cracking susceptibility of heat affected zones in underwater wet welding of steels. Welding for Challenging Environments. Proceedings of the International Conference on Welding for Challenging Environments, Toronto, Ontario, Canada, 15–17 October 1985. P.213–222.
5. S. Liu, D.L. Olson, S. Ibarra. Electrode Formulation for Underwater Welding. Intl. Conf. Proc. 'Underwater Welding', AWS. New Orleans, Louisiana, March 1991. P.98-119.
6. Ю.Я. Грецкий, С.Ю. Максимов. Металлургические особенности мокрой подводной сварки покрытыми электродами (Обзор). Автоатическая сварка. 1994. №12. С.10-15.
7. Ю.Я. Грецкий, С.Ю. Максимов. Структура и свойства соединений низколегированных сталей при подводной мокрой сварке покрытыми электродами. Автоатическая сварка. 1995. #5. С.7-11.
8. Ю.Я. Грецкий, С.Ю. Максимов. Влияние никеля на структуру и свойства швов при подводной сварке порошковой проволокой. Автоатическая сварка. 1995. №7-8. С.15-17.
9. T. Fukuoka. Evaluations of Cooling Process of Underwater Welding. Journal of the marine engineering society in japan. 2000. V.35, #11. P.786-791.
10. S. Crali, Z. Cozuch, I. Garasic. Electrodes for wet underwater welding. International conference. Welding and connection 2000. New materials and prospects. Israel. P.187-196.
- 11 Faustino Perez-Guerrero, Stephen Liu. Explaining Porosity Formation in Underwater Wet Welds. 26th International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering. Volume 4: Materials Technology; Ocean Engineering. San Diego, California, USA, June 10–15 2007. P.249-257.
- 12 Luciano Andrade, Stephen Liu, Faustino Perez. Enhanced Shielded Metal Arc Electrode Development for Underwater Wet Welding: Technology Transfer to Industry. Final Report (CSM Project 4-42857). Phase IV. 2009. 49 p.
13. International Workshop on the State of the Art Science and Reliability of Underwater Welding and Inspection Technology-2010. November 17-19, 2010, Houston, Texas, USA.
- 14 Ezequiel C. P. Pessoa, Valter R. dos Santos, Mauricio de Jesus Monteiro, Fernando Rizzo Assuncao, Alexandre Q. Bracarense, Leonardo A. Vieira. Factors Affecting Hydrogen Assisted Cracking in Wet Welding of Ferritic Steels with Covered Electrodes. Trends in Welding Research 2012: Proceedings of the 9th International Conference. June 4-8.
15. Wesley Carlos Dias da SILVA, Leandro Fonseca RIBEIRO, Alexandre Queiroz Bracarense, Ezequiel Caires Pereira Pessoa. ASME 2012 31st International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering. Volume 6: Materials Technology; Polar and Arctic Sciences and Technology; Petroleum Technology Symposium, Rio de Janeiro, Brazil, July 1–6. P.1-8.
16. Ivica GARASIC, Zoran KOZUH. Underwater welding and cutting. 2014. 60 p.
17. Ning Guo, Duo Liu, Wei Guo, Haixin Li, Jicai Feng. Effect of Ni on microstructure and mechanical properties of underwater wet welding joint. Materials & Design. 2015. Volume 77. P.25–31.
18. Wenbin Gao, Dongpo Wang, Fangjie Cheng, Caiyan Deng, Yang Liu, Wei Xu. Enhancement of the fatigue strength of underwater wet welds by grinding and ultrasonic impact treatment. Journal of Materials Processing Technology. 2015. #223. 305–312.
19. N. Guo, Y. FU, J. Feng, Y. Du, Z. DENG, M. Wang, D. Tang. Classification of Metal Transfer Mode in Underwater Wet Welding. WELDING JOURNAL. 2016. V.95, #4. 133s-140s.
20. Nur Syahroni, Imam Rochani, Harfian Nizar. Experimental study of electrode selection effects on mechanical properties of underwater wet welded-joints. Journal of Engineering and Applied Sciences. 2016. VOL. 11, NO. 2. P.1010-1015.
21. Gerardo Teran Mendez, Selene I. Capula Colindres, Julio Cesar Velazquez, Daniel Angeles Herrera, Esther Torres Santillan, Alexandre Queiros Bracarense. Fracture Toughness and Charpy CVN Data for A36 Steel with Wet Welding. Soldagem & Inspecao. 22(3). P.258-268.

22. C. Sundarapandiyan, A. Balamurugan, M. Mohan. A Review on Under Water Welding Process. *International Journal of Innovations in Engineering and Technology*. 2017. Volume 8 Issue 1. P.260-265.

23. Jianfeng Wang, Qingjie Sun, Laijun Wu, Yibo Liu, Junbo Teng, Jicai Feng. Effect of ultrasonic vibration on microstructural evolution and mechanical properties of underwater wet welding joint. *Journal of Materials Processing Technology*. 2017. V.246. 185–197.

24. Duo Liu, Ning Guo, Changsheng Xu, HongLiang Li, Ke Yang, Jicai Feng. Effects of Mo, Ti and B on Microstructure and Mechanical Properties of Underwater Wet Welding Joints. *Journal of Materials Engineering and Performance*. 2017. Volume 26, Issue 5. 2350–2358.

25. Hao Chen, Ning Guo, Xianghua Shi, Yongpeng DU, Jicai Feng, Guodong Wang. Effect of hydrostatic pressure on protective bubble characteristic and weld quality in underwater flux-cored wire wet welding. *Journal of Materials Processing Technology*. 2018. Volume 259, September. P. 159-168.

26. Jianfeng Wang, Qingjie Sun, Tao Zhang, Pengwei Xu, Jicai Feng. Experimental study of arc bubble growth and detachment from underwater wet FCAW. *Welding in the World*. 2019. №7. P.1747–1759.

27. Hao Chen, Ning Guo, Lu Huang, Xin Zhang, Jicai Feng, Guodong Wang. Effects of arc bubble behaviors and characteristics on droplet transfer in underwater wet welding using in-situ imaging method. *Materials & Design*. 2019. V.170. 30 p.

7.3. До Розділу 3.

Базова:

1. Справочник по пайке. Под ред. И.Е. Петрунина. М: Машиностроение. 2003. 480 с.
2. Г.В. Ермолаев, В.В. Квасницький, В.Ф. Квасницький, С.В. Максимова, В.Ф. Хорунов, В.В. Чигарьов. Паяння матеріалів. Підручник. Миколаїв: НУК. 2015. 340 с.
3. Ю.С. Долгов, Ю.Ф. Сидохин. Вопросы формирования паяного шва. М: Машиностроение. 1973. 136 с.
4. Schwartz M.M. Brazing. Ed. 2, ASM International, Materials Park, Ohio, 2003. 421 p.
5. С.В. Лашко, Н.Ф. Лашко. Пайка металлов. М.: Машиностроение. 1988. 376 с.
6. Л. Н. Ларионов, В. И. Исайчев. Структура и свойства металлов и сплавов. Справочник. Диффузия в металлах и сплавах. Киев: Наукова думка. 1987. 506 с.
7. Maksymova S.V., Khorunov. V.F. Diffusion processes and formation of structure of brazed joints on titanium aluminides. *Journal of Applied Physical Science International*. 2015. № 4. P. 24-29.
8. У. Уэндландт. Термические методы анализа. М.: Мир.1978. 526 с.
9. Практическая растровая электронная микроскопия. Под ред. Дж. Гоулдстейна и Х. Яковица. Москва: Мир: 1978.
10. Новые аморфные припои для пайки титана и его сплавов. Б. А. Калинин, О. Н. Севрюков, В. Т. Федотов, А. Н. Плющев, А. П. Яйкин // *Сварочное производство*, 2001. № 3. С.37-39.
11. V. Khorunov, S. Maksymova. Production and application of rapidly quenched brazing alloys. *Welding International*. 2006. №20 (5). P. 405-409.
12. Хорунов В.Ф., Максимова С.В., Иванченко В.Г. Получение паяных соединений гамма алюминида титана и исследование их свойств. Адгезия расплавов и пайка материалов. - 2004. №37. С.100-108.
13. Khorunov V.F., Maksymova S.V. Structure and properties of intermetallic alloys brazed joints *Welding. Proceeding of International Conference, Hefei, China, Oct. 2007*. P. 348-352.
14. V.F. Khorunov, S.V. Maksymova. Brazing of superalloys and the intermetallic alloy (γ -TiAl). *Advanced in brazing. Science, technology and applications*. Ed. by Dusan P. Seculic, Cambridge: WPL. 2013. P. 85-120.
15. Максимова С.В. (2007) Аморфные припои для пайки нержавеющей стали и титана и структура паяных соединений. Адгезия расплавов и пайка материалов. №40. С. 70-81.

16. Хорунов В.Ф. Основы пайки тонкостенных конструкций из высоколегированных сталей. Киев: Наукова думка. 2008. 238 с.
17. С. В. Максимова, В. Ф. Хорунов, В. А. Шонин. Механические свойства паяных соединений дисперсно-упрочненного медного сплава. Автоматическая сварка. 2010. №10. С. 23-28.
18. Литейные жаропрочные сплавы. Эффект С. Т. Кишкина: Науч.-техн. сб. Под ред. Е. Н. Каблова. М: Наука. 2006. 272 с.
19. В. П. Бунтушкин, М. Б. Бронфин, О. А. Базылева, О. Б. Тимофеева. Влияние легирования и структуры отливок на жаропрочность интерметаллида Ni3Al при высокой температуре. Металлы. 2004. № 2. С. 107–110.
20. Патон Б. Е., Строганов Г. Б., Кишкин С. Т. и др. Жаропрочность литейных никелевых сплавов и защита их от окисления. Киев: Наукова думка. 1967. 256 с.
21. Р. С. Курочко. Сварка и пайка жаропрочных материалов горячего тракта ГТД. Авиационная промышленность. 1982. № 8. Электронный ресурс: Режим доступа: <http://viam.ru/public/files/1982/1982-198570.pdf>
22. Захаров А.М. Диаграммы состояния двойных и тройных систем. М.: Металлургия. 1990.
23. Ю.В. Найдич. Контактные явления в металлических расплавах. К: Наукова думка. 1972. 198 с.
24. V. F. Khorunov and O. M. Sabadash. Brazing of aluminium and aluminium to steel. Advanced in brazing. Science, technology and applications. Ed. by Dusan P. Seculic, Cambridge: WPL. 2013. P. 249 -279.
25. Металловедение алюминиевых сплавов. Справ. изд. 2-е перераб, и доп. Беляев А.И. и др. М.: Металлургия. 1980. 280 с.
26. Машиностроение. Энциклопедия, Технология сварки, пайки и резки. Т.111-4 . Ред. Б.Е. Патона. М: Машиностроение. 2006. 642 с.

Допоміжна:

1. В.Е. Хряпин, А. В. Лакедемонский. Справочник паяльщика. М.: Машиностроение. 1974. 328 с.
2. Справочник по пайке. Под ред. И.Е. Петрунина. М.: Машиностроение. 1984. 400 с.
3. Дыбков В. И. Твердофазная химическая кинетика и реактивная диффузия. Киев: НАН Украины. 2002. с. 135.
4. Вертоградский В.А., Рыкова Т.П. Исследование фазовых превращений в сплавах типа ЖС методом ДТА. Жаропрочные и жаростойкие стали и сплавы на никелевой основе. М.: Наука. 1984. С.223-227.
5. Б. А. Калинин, В. Т. Федотов, О. Н. Севрюков и др. Аморфные ленточные припои для высокотемпературной пайки. Опыт разработки технологии производства и применения. Сварочное производство. 1996. №1. С. 15-19.
6. С. В. Максимова, В. Ф. Хорунов, В. В. Воронов. Влияние величины зазора и исходного состояния припоя на структурообразование паяных соединений титанового сплава. Автоматическая сварка. 2013. №3. С. 30-35.
7. Максимова С.В. Формирование паяных соединений алюминидов титана. Автоматическая сварка. 2009. №3. С. 7-13.
8. Rabinkin A. High-temperature brazing: filler metals and processing. Advanced in brazing. Science, technology and applications. UK: Cambridge: WPL. 2013. P. 121-159.
9. В. Ф. Хорунов, И. В. Зволинский, С. В. Максимова. Дуговая пайка низкоуглеродистых сталей. Автоматическая сварка. 2013. №4. С. 23-27.
10. И.С. Малашенко, В.В. Куренкова, А.Ф. Белявин, В.В. Трохимченко. Кратковременная прочность и микроструктура паяных соединений сплава ВЖЛ12У, полученных с использованием борсодержащего припоя с присадкой кремния. Современная электрометаллургия. 2006. №4. С. 26-42.
11. Б.А. Гринберг, М.А. Иванов. Интерметаллиды Ni3Al: микроструктура, деформационное поведение. Екатеринбург: УрО РАН. 2002. 360 с.

12. Герчикова Н. С., Кишкин С. Т., Кораблева Г. Н., Поляк Э. В. Кинетика структурных изменений в никель-хромовых жаропрочных сплавах в условиях старения, ползучести и эксплуатации. Электронномикроскопические исследования структуры жаропрочных сплавов и сталей. М.: Металлургия. 1969. С.5-19.
13. Химушин Ф. Ф. Жаропрочные стали и сплавы. М.: Металлургия. 1969. 749 с.
14. Корнилов И. И. Металлиды и взаимодействие между ними. М.: Наука, 1964. 179 с.
15. Дэкер Р. Ф., Симс Ч. Т. Металловедение сплавов на никелевой основе. Жаропрочные сплавы. Пер. с англ под ред. Ч. Симса, В. Хагеля. М.: Металлургия. 1976. С 39-82.
16. Massalski T.V. Binary Alloy Phase Diagrams, American Society for metals. (Ohio: Metals Park: ASM International: 1990, CD).
17. В. Ф. Хорунов, О.М. Сабадаш. Флюсовая дуговая пайка алюминия с оцинкованной сталью. Автоматическая сварка. 2013. № 2. С. 32 – 37.
18. Мондольфо Л. Ф. Структура и свойства алюминиевых сплавов. Пер. с англ. М.: Металлургия, 1979. 640 с.
19. Максимова С. В., Воронов В. В., Ковальчук П., В., Ларионов А. В. Влияние температуры пайки на структуру паяных разнородных соединений молибден-нержавеющая сталь. Металлофизика и новейшие технологии. Киев. 2017. т. 39. № 9. С. 1227-1237.
20. Дриц М.Е. и др. Двойные и многокомпонентные системы на основе меди. Справочник. Москва: Наука. 1979. 248 с.
21. Li Yajiang, Wang Juan, Liu Kun, Zheng Deshuang. Microstructure and Fracture Morphology of Mo/CuCr18-Ni18 Brazing Joint with Ni-Cr-P Filler Metal. International Brazing and Soldering Conference, Long Beach. USA. 2015. April 19–22. CD.
22. P. T. Vianco, F. M. Hosking, J. J. Stephens, C. A. Walker, M. K. Neilsen, S. J. Glass, S. L. Monroe. Aging of Braze Joints: Interface Reactions in Base Metal/Filler Metal Couples, Part II: High-Temperature Au-Ni-Ti Braze Alloy. Welding J. 2002, No.11. P. 256-264s.

8. Підсумковий контроль результатів навчання

Підсумковий контроль результатів навчання проводиться у формі екзамену.

9. Засоби діагностики успішності навчання

Семестрова атестація проводиться у виді екзамену. Для оцінювання результатів навчання застосовується 100 - бальна рейтингова система і університетська шкала оцінювання.

Навчальна програма складена на основі ОНП підготовки докторів філософії спеціальності 132 – «Матеріалознавство»