

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)

(підпис)

«06» липня 2020 р.

« Конструкційні сталі та їх здатність до зварювання »

(назва навчальної дисципліни)

З/П

(шифр за ОП)

ПРОГРАМА

навчальної дисципліни

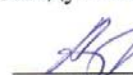
рівень вищої освіти – доктор філософії з матеріалознавства
форма навчання – денна
спеціальність – 132 – Матеріалознавство
галузь знань – 13 – механічна інженерія
освітня програма – Матеріалознавство

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


(підпис)

А.І. Устїнов

(ініціали, прізвище)

«06» липня 2020 р.

Київ – 2020

Розробники робочої програми:

Зав. відділом, д.т.н., с.н.с. Головка Віктор Володимирович
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ім'я, по батькові)


(підпис)

Пров. наук. співр., д.т.н., с.н.с. Скульський Валентин Юрійович
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ім'я, по батькові)


(підпис)

Пров. наук. співр., д.т.н., с.н.с. Гайворонський Олександр Анатолійович
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ім'я, по батькові)


(підпис)

Робочу програму затверджено на засіданні вченої ради
ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України

Протокол від «03» липеня 2020 року № 1

Вчений секретар
ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України


(підпис) І.М. Клочков
(ініціали, прізвище)

«06» липеня 2020 р.

Вступ

Програму навчальної дисципліни «Конструкційні сталі та їх здатність до зварювання»
(назва навчальної дисципліни)

складено відповідно до освітньої програми 132 «Матеріалознавство»
(ОПШ/ОНП, назва)

III рівня вищої освіти доктор філософії
(рівень вищої освіти)

спеціальності 132 – Матеріалознавство
(код і назва спеціальності)

Навчальна дисципліна належить до циклу професійної та практичної підготовки
(загальної / професійної підготовки)

Статус навчальної дисципліни вибіркова
(обов'язкова / вибіркова)

Обсяг навчальної дисципліни 3 кредити ЄКТС.

Міждисциплінарні зв'язки:

- «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'єднаних з'єднань матеріалів» (1/II),
- «Структура з'єднань матеріалів плавленням» (2/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).

Дисципліна забезпечує виконання – дисертаційної роботи доктора філософії з матеріалознавства.

Зварюваність вуглецевих та низьколегованих сталей визначаються всією попередньою технологією одержання зварних з'єднань. Вони тісно пов'язані з термічним циклом зварювання, перегрівом металу зварювальної ванни над лінією ліквідус, витримкою металу в рідкому стані, швидкістю кристалізації, складом та фізико-хімічними параметрами зварювальних матеріалів та ін. Структура металу зварних швів суттєво впливає на показники зварюваності металу. Тому для розуміння технологічних сторін виготовлення зварних металоконструкцій необхідно знати як структуру металу швів та і можливості впливу на механічні властивості зварних з'єднань, таким чином, щоб одержувати необхідну структуру і властивості зварних конструкцій. Тому метою кредитного модуля «Характеристики конструкційних сталей та їх здатність до зварювання» є надання аспірантам знань про структуру та властивості металів швів і зварних з'єднань, які впливають на характеристики зварюваності, про методи визначення зварюваності вуглецевих та низьколегованих сталей.

Дослідник в галузі зварювання як спеціаліст повинен мати глибокі теоретичні знання і володіти відповідними навичками використання фундаментальних знань для їх застосування при одержанні високоякісних зварних з'єднань з підвищеними властивостями металу швів.

Даний курс має велике значення для формування майбутнього дослідника-зварника, він розширює науково-дослідницькі та технологічні можливості спеціаліста.

В подальшому набуті знання і вміння будуть використовуються при розробці нових процесів зварювання та отримання з'єднань з металів в однорідному та різнорідному сполученні, а також дозволять удосконалювати існуючі конструкції за рахунок використання нових прогресивних матеріалів.

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).
- Системний науковий світогляд та загальнокультурний кругозір(код ФК 3).
- 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 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 (ЗН 3);
- 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);
- Постійно удосконалювати свій загальний інтелектуальний та професійний рівень(код УМ 11);
- генерувати нові ідеї для вирішення науково-дослідних проектів та дослідницько-конструкторських робіт (код УМ 12);
- 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 години / 4 кредити ECTS.

Навчальна дисципліна містить наступні розділи:

1. Характеристики вуглецевих та низьколегованих сталей та їх здатність до зварювання
2. Характеристики теплостійких, жароміцних і корозійностійких сталей та їх здатність до зварювання
3. Характеристики конструкційних сталей підвищеної і високої міцності та високовуглецевих сталей та їх здатність до зварювання

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
З/П	Конструкційні сталі та їх здатність до зварювання	4	-	4	120	40	32	8	-	80

3 Зміст навчальної дисципліни

Розділ 1. Характеристики вуглецевих та низьколегованих сталей та їх здатність до зварювання

Тема 1.1. Основні аспекти проблеми зварюваності

Предмет та задачі курсу. Формування поняття зварюваності. Класифікація методів оцінювання зварюваності. Опис проблем зварюваності вуглецевих та низьколегованих сталей на базі сучасні знання про природу зварювальних процесів. ДСТУ 30242- 97 «Дефекти з'єднань при зварюванні металів плавленням. Класифікація, позначення і визначення».

Найбільш суттєві дефекти при зварюванні та наплавлені вуглецевих і низьколегованих сталей, які визначають зварюваність сталей. Умови фазових та структурних перетворень, які мають місце при формуванні зварного з'єднання. Розгляд особливостей формування структури вуглецевих і низьколегованих сталей з метою визначення факторів, які можуть спричинити утворення таких небезпечних дефектів як тріщини.

Тема 1.2. Гарячі тріщини в металі зварних з'єднань

Види тріщин в металі зварних з'єднань. Механізм утворення гарячих тріщин. Можливі місця виникнення гарячих тріщин. Основна причина виникнення гарячих тріщин – деформація металу в наслідок структурних перетворень. Теоретичні

уявлення щодо утворення гарячих тріщини. Температурні інтервали крихкості ТИХ1, ТИХ2, ТИХ3. Вплив перлітного розширення структури на стійкість проти утворення гарячих тріщин. Запобігання утворенню гарячих тріщин. Заходи боротьби з причинами, що сприяють утворенню гарячих тріщин.

Оцінювання схильності металу шва до утворення гарячих тріщин шляхом розрахунку сіркового еквіваленту. Нормативи щодо заварювання тріщин. Методи випробування на опір утворенню гарячих тріщин при зварюванні плавленням. Розрахунок стійкості проти утворення гарячих тріщин при машинних випробуваннях зварюваних зразків на розтягування. Розрахунок критичної швидкості зварювання за результатами технологічних випробувань.

Тема 1.3. Холодні тріщини в зварних з'єднаннях

Механізм утворення холодних тріщин. Можливі місця виникнення холодних тріщин. Різновиди холодних тріщин в зварних з'єднаннях. Основні положення теорії, відповідно з якою холодні тріщини утворюються в зварному шві чи ЗТВ при наявності загартувальних структур, Роль структури в розвитку мікропластичної деформації в приграничних зонах зерен. Вплив поведінки водню в металі на схильність вуглецевих та низьколегованих сталей до крихкого руйнування.

Розрахункові методи оцінювання схильності сталей до утворення холодних тріщин. Стандартні методи визначення вмісту водню в металі швів. Заходи щодо зменшення ризиків утворення холодних тріщин. Методи випробування на стійкість проти утворення холодних тріщин при зварюванні плавленням.

Тема 1.4. Пори в зварних швах

Умови формування пори у зварних швах. Реакції розпаду молекул газу та газової дисоціації. Процеси розчинення газів в зварювальній дузі, краплі рідкого металу і зварювальній ванні. Утворення пор в шві в результаті вивільнення водню або азоту або окису вуглецю з металу в момент його затвердіння. Формування газових бульбашок в рідкому металі. Утворення газових включень в результаті реакції вигорання карбону

Етапи утворення пор. Вплив міжфазних процесів на формування пор в рідкому металі. Пори в швах, зварених електродами з покриттям основного виду. Пори в швах, виконаних електродами карбонатно - флюоритного типу. Пори в швах, зварених електродами з покриттям рутилового виду. Пори при зварюванні порошковим дротом. Зниження ймовірності утворення пористості зварних швів. Випробування на стійкість проти утворення пор.

Тема 1.5. Неметалеві включення в металі швів

Вплив неметалевих включень на формування структури та механічні властивості зварних швів. Основні способи перенесення хімічних елементів в зварювальній дузі. Поняття кисневого потенціалу металевих та шлакових розплавів. Вільна енергія утворення оксидів та нітридів. Схема руху домішок в міждендридній області при кристалізації. Вплив інтенсивності потоків в зварювальній ванні на розподіл включень в металі швів. Особливості морфологічної будови неметалевих включень в зварних швах

Вплив включень на кінетику міжфазних границь. Вплив кисню на формування мікроструктури і в'язкість металу зварних швів. Вплив неметалевих включень на збіднення твердого розчину. Вплив розміру включення на структуру металу швів. Особливості впливу неметалевих включень на механічні властивості

швів. Вплив неметалевих включень на утворення тріщин в металі швів. Методи визначення характеристик неметалевих включень.

Розділ 2: Характеристики теплостійких, жароміцних і корозійностійких сталей та їх здатність до зварювання

Тема 2.1. Сталі і особливості фазових перетворень

Загальна класифікація сталей. Фізико-металургійні основи фазових перетворень. Рівноважне і нерівноважне перетворення. Формування структури в залежності від легування. Структури загартування. Основні види термічної обробки. Відпуск і процеси при відпуску, розпад мартенситу.

Тема 2.2. Закономірності перетворень і формування структури при зварюванні

Реакція сталей на термодформаційний цикл зварювання. Процеси при термодформаційному циклі зварювання. Особливості структурних змін в ЗТВ вуглецевих, низьколегованих і високолегованих сталей, їх вплив на технологічні і експлуатаційні властивості зварних з'єднань.

Тема 2.3. Структура, властивості і основи зварювання теплостійких сталей

Теплостійкість. Теплостійкі сталі, їх угруповання. Характеристики теплостійкості. Повзучість. Фізико-металургійні основи зміцнення. Загальна характеристика структур в ЗТВ при зварювання. Структура і експлуатаційні властивості. Загальні відомості щодо технології зварювання. Проблеми при одержанні зварних з'єднань; характеристика фізико-металургійних явищ на стадіях зварювання і відпуску, які впливають на технологічну міцність; заходи з запобігання утворенню дефектів.

Тема 2.4. Загальна характеристика високолегованих хромистих сталей і технології їх зварювання.

Високолеговані сталі. Роль хрому і нікелю у формуванні експлуатаційних властивостей хромистих сталей. Легування, поняття Cr- і Ni-еквівалентів; фазовий склад і його регулювання. Структура і властивості хромистих сталей, технологічні заходи з їх зварювання.

Тема 2.5 Експлуатаційні властивості високолегованих хромонікелевих сталей, пошкодження при зварюванні і в агресивних середовищах. Загальні рекомендації з запобігання утворенню дефектів.

Високолеговані хромонікелеві сталі. Вплив легуювання Ni і Cr на структуру, фізико-металургійні властивості. Групи сталей за призначенням. Здатність до зварювання. Різновид тріщин у зварних з'єднаннях.

Процеси при кристалізації, формування структури і хімічної неоднорідності. Вплив легування на схильність до гарячих тріщин і заходи з їх попередження. Види корозії; вплив термодформаційного циклу зварювання на корозійну стійкість зварних з'єднань. Загальні рекомендації зі зварювання.

Розділ 3: Характеристики конструкційних сталей підвищеної і високої міцності та високовуглецевих сталей та їх здатність до зварювання

Тема 3.1. Характеристика конструкційних сталей за класом міцності та загальні положення з розробки технологій їх зварювання

Розподіл та типи конструкційних сталей за вмістом легуючих елементів та механічних властивостей. Вплив легуючих елементів на рівень міцності та пластичності сталей, способи виготовлення та галузі застосування виробів із сталей підвищеної та високої міцності, умови їх експлуатування. Вимоги та послідовність виконання науково-дослідних робіт з досліджень зварюваності та розробки технологій зварювання виробів.

Тема 3.2. Визначення зварюваності та умов утворення холодних тріщин в зварних з'єднаннях конструкційних сталей підвищеної та високої міцності

Способи визначення зварюваності конструкційних сталей підвищеної і високої міцності та фізико-механічних властивостей зварних з'єднань. Розрахункові та експериментальні методи досліджень. Вплив стану структури зварних з'єднань, дифузійного водню та зварювальних напружень, а також системи легування металу шва на утворення та розвиток холодних тріщин в зварних з'єднаннях.

Тема 3.3. Зварюваність та розробка технологій зварювання при виготовленні та ремонті виробів з конструкційних низьколегованих сталей підвищеної та високої міцності

На прикладах сучасних розробок розглядається послідовність виконання науково-дослідних робіт при розробці технологій зварювання відповідальних виробів з конструкційних низьколегованих і вуглецевих сталей підвищеної та високої міцності, що були застосовані при ремонті зварюванням гірничо-збагачувального обладнання, несучих рам автосамоскидів САТ-785С вантажністю 125 т, рам візків локомотивів ВЛ80 та інших відповідальних виробів. Умови забезпечення високої якості зварних з'єднань та надійності виробів після зварювання.

Тема 3.4. Зварюваність та розробка технологій зварювання виробів з конструкційних середньо та високовуглецевих легованих сталей високої міцності

На прикладах сучасних розробок розглядається послідовність виконання науково-дослідних робіт з досліджень зварюваності та розробки технологій зварювання при виготовленні відповідальних виробів з конструкційних середньо та високовуглецевих легованих сталей високої міцності та твердості, які були застосовані при зварюванні металоконструкцій військової бронетехніки та бронезахисту млинів вуглеподрюбнювачів ТЕС. Необхідна послідовність досліджень з отриманням результатів, до дозволяють забезпечити високу якість зварних з'єднань та надійні експлуатаційні властивості виробів.

Тема 3.5. Зварюваність та розробка технологій зварювання-наплавлення виробів з високовуглецевих сталей високої міцності

На прикладах сучасних розробок розглядається послідовність виконання науково-дослідних робіт при дослідженнях зварюваності високовуглецевих сталей ($C = 0,55-0,75\%$) та розробки технологій зварювання-наплавлення зношених поверхонь залізничних коліс. Вплив вмісту вуглецю в сталі та параметрів термодформаційного циклу наплавлення на зміни структури та фізико-механічні властивості наплавлень. Технологічні рекомендації по відновленню наплавленням залізничних коліс магістрального залізничного транспорту, які забезпечують високу якість наплавлень та надійність залізничних коліс після відновлення в умовах зростаючих експлуатаційних навантажень.

4. Рекомендований перелік практичних занять

За час проведення практичних занять аспіранти знайомляться з методиками, що призначені для використання на практиці теоретичних відомостей, які наведені при вивченні окремих тем.

Практичне заняття 1.1. Методи металографічного дослідження структури металу зварних швів.

Практичне заняття 2.1. Методи визначення стійкості проти крихкого руйнування металу швів високолегованих сталей.

Практичне заняття 3.1.

Розрахунки технологічних параметрів процесу зварювання броневих сталей.

5. Рекомендований перелік комп'ютерних практикумів

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

6. Рекомендовані індивідуальні завдання

Самостійна робота студентів включає підготовку до лекцій, практичних занять.

7. Рекомендована література

7.1 Література базова:

Розділ 1

1. Гладкий І.П. Властивості та технологія обробки металевих та неметалевих конструкційних матеріалів / І.П. Гладкий, В.І.Мощенко, В.П. Тарабанова. – Харків : Вид-во ХНАДУ, 2004. □ 274 с.
2. Технология конструкционных материалов и материаловедение. Учебное пособие / И.П. Гладкий, В.И. Мощенко, В.П. Тарабанова, Н.А. Лалазарова, Д.Б. Глушкова. : Харьков: ХНАДУ, 2014. : 528 с.
3. Дяченко С.С. Матеріалознавство : підручник / С. С. Дяченко, І. В. Дощечкіна, А. О. Мовлян, Е. І. Плешаков. – Харків : Вид-во ХНАДУ, 2007. – 440 с.
4. Лебедев В.Г. Матеріалознавство і термічна обробка зварних з'єднань : Конспект лекцій. - Одеса: Наука і техніка, 2007.-88 с.
5. Єфіменко М.Г., Радзівілова Н.О. Металознавство і термічна обробка зварних з'єднань / М.Г. Єфіменко, Н.О. Радзівілова. – Харків: - 2003. - 488 с.
6. Попович В.,Голубець В. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство. Кн. 1 Суми, “Університет книга”, 2002.-264с., т.2-260с
7. Добровольський О.Г. Матеріалознавство та матеріали у машинобудуванні: Навчальний посібник.К. КНУБА., 2004 – 109 с.
8. Городжа А.Д., Добровольський О.Г. та інші Матеріалознавство та електроматеріали: Навчальний посібник. К. КНУБА., 2006 – 304 с.
9. Никифоров В.М. Технологія металів і конструкційні матеріали. К., Вища школа,1984,344с.
10. Технология конструкционных материалов. Под ред. Г. А. Прейса. – К.: Вища школа, 1984. – 359 с.
11. Большаков В.И. и др. Металловедение и сварка строительных сталей. К.: УНК ВО, 1989, 223 с...

Розділ 2

1. Каховский Н. И., Фартушный В. Г., Ющенко К. А. Электродуговая сварка сталей. К.: Наукова думка, 1975. 480 с.
2. Геллер Ю. А., Рахштадт А. Г. Материаловедение. М.: Металлургия, 1989, 456 с.
3. Гуляев А. П. Термическая обработка стали. Москва: Машгиз, 1060, 496 с.
4. Гуляев А. П. Металловедение. М.: Металлургия, 1978, 648 с.
5. Новиков И. И. Теория термической обработки. М.: Металлургия, 1978, 392 с.
6. Земзин В. Н., Шрон Р. З., Термическая обработка и свойства сварных соединений. Л.: Машиностроение, 1978, 367 с.
7. Курдюмов Г. В., Утевский Л. М., Энтин Р. И. Превращения в железе и стали. М.: Наука, 1977, 238 с.
8. Kraus G., Marder A. R. The morphology of martensite in iron. Metallurgical Transactions, 1971, p. 2343-2357.
9. Грабин В. Ф. Металловедение сварки плавлением. К.: Наукова думка, 1982, 416 с.
10. Лившиц Л. С. Металловедение для сварщиков. М.: Машиностроение, 1979, 253 с.
11. Грабин В. Ф., Денисенко А. В. Металловедение сварки низко- и среднелегированных сталей, К.: Наукова думка, 1978, 276 с.
12. Акулов А. И., Бельчук Г. А., Демянцевич В. П. Технология и оборудование сварки плавлением., М.: Машиностроение, 1977, 432 с.
13. Металловедение и термическая обработка стали. Справ. издание. в 3 т. Т II. Основы термической обработки. Ред. Бернштейн М. Л., Рахштадт А. Г. М.: Металлургия, 1983. 368 с.
14. Козлов Р. А. Сварка теплоустойчивых сталей. Л.: Машиностроение, 1986, 161 с.
15. Герман С. И Электродуговая сварка теплоустойчивых сталей перлитного класса. М.: Машиностроение, 1972, 202 с.
16. Макаров Э. Л. Холодные трещины при сварке легированных сталей. М.: Машиностроение, 1981, 247 с.
17. Земзин В. Н., Шрон Р. З., Термическая обработка и свойства сварных соединений. Л.: Машиностроение, 1978, 367 с.
18. Хромченко Ф. А., Гинзбург Г. М. Технология и организация сварочных работ на монтаже тепловых электростанций. М.: Энергия, 1967, 416 с.
19. Гарофало Ф. Законы ползучести и длительной прочности металлов. М.: Металлургия, 1968, 304 с.
20. Каховский Н. И. Сварка высоколегированных сталей. К.: Техніка, 1975, 376 с.
21. Гривняк И. Свариваемость сталей. М.: Машиностроение, 1984, 216 с.
22. Лившиц Л. С., Хакимов А. Н. Металловедение сварки и термическая обработка сварных соединений. М.: Машиностроение, 1989, 336 с.
23. Yosiaki Arata, Fukuhisa Matsuda, Hiroji Nakagawa at al. Solidification Crack Susceptibility in Weld Metals of Fully Austenitic Stainless Steels (Report III) –

- Effect of Strain Rate on Cracking Threshold in Weld Metal during Solidification. Transactions of JWRI. 6, No.2, 1977, p. 37-46.
24. Fukuhisa Matsuda, Hiroji Nakagawa, Seishiro Ogata, Seiji Katayama. Fractographic Investigation on Solidification Crack in the Vatestraint Test of Fully Austenitic Stainless Steel – Studies on Fractography of Welded Zone. Transactions of JWRI. 7, No.2, 1978, p. 59-70.
25. John C. Lippold. Welding Metallurgy and Weldability. Wiley, 2015, 417 p.
- 26 Структура и коррозия металлов и сплавов. Атлас. Ред Ульянов Е. А. Москва: Металлургия, 1989, 400 с.
27. Шоршоров М. Х., Чернышова Т. А., Красовский А. И. Испытания металлов на свариваемость. М.: Металлургия, 1972, 240 с.
28. Fukuhisa Matsuda, Hiroji Nakagawa, Kazuhiko Sorada. Dynamic observation of Solidification and Solidification Cracking during Welding with Optical Microscope – Solidification Front and Behavior of Cracking. Transactions of JWRI. 11, No.2, 1987, p. 67-77.
29. Петров Г. Л. Тумарев А. С. Теория сварочных процессов. М.: Высшая школа, 1977, 392 с.

Розділ 3

1. Гудремон Э. Специальные стали. Т.1. – М.: Государственное НТИ литературы по черной и цветной металлургии, 1959.
2. Берштейн М.Л., Займовский В.А. Структура и механические свойства металлов. – М.: Металлургия, 1973.
3. Сварка и свариваемые материалы (Справочник в 3-х томах). Т.1. Свариваемость материалов / Под ред. В.Н. Волченкова. – М.: Металлургия, 1991.
4. Єфіменко М.Г., Радзівілова Н.О. Металознавство і термічна обробка зварних з'єднань. – Харків: НТУ ХП, 2003. – 488с.
5. Колесная сталь / И.Г. Узлов, М.И. Гасик, А.Т. Есаулов и др. – К.: Техніка, 1985.
6. Технология электрической сварки металлов и сплавов плавлением / Под ред. акад. Б.Е. Патона. – М.: Машиностроение, 1974.
7. Макаров Э.Л. Холодные трещины при сварке легированных сталей. – М.: Машиностроение, 1981.
8. Грабин В.Ф., Денисенко А.В. Металловедение сварки низко- и среднелегированных сталей. – К.: Наукова думка, 1978. – 272с.
9. Шоршоров М.Х., Чернышова Т.А., Красовский А.Н. Испытания металлов на свариваемость. – М.: Металлургия, 1972.
10. Seyffarth P. Z.T.U. – Schaubilder. – Berlin: VEB Verlag, 1982.
11. Козлов Р.А. Водород при сварке корпусных сталей. – Л.: Судостроение, 1969.
12. Филиппов Г.А., Саррак В.И. Локальное распределение водорода и внутренние микронапряжения в структуре закаленной стали // Физика металлов и материаловедение. – 1980. – 49. - №1. – С.121-125.

13. О двух путях релаксации остаточных микронапряжений в мартенсите стали / Л.Е.Алексеева, В.И.Саррак, С.О.Суворова, Г.А.Филиппов // Металлофизика.-1975.-Вып. 61.- С. 79-84.
14. Походня И.К., Швачко В.И. Физическая природа обусловленных водородом холодных трещин в сварных соединениях конструкционных сталей // Автомат. сварка. – 1997. – №5. – С.3-10.
15. Ющенко К.А. Свариваемость и перспективные процессы сварки материалов // Автомат. сварка. – 2004. - №9. – С. 40-45.
16. Махненко В.И. Расчетные методы исследования кинетики сварочных напряжений и деформаций. – К.: Наукова думка, 1976.
17. Мусияченко В.Ф. Основы металлургии и технологии сварки высокопрочных низколегированных сталей / В.Ф. Мусияченко – К.: Наукова думка, 1976.
18. Прочность сварных соединений при переменных нагрузках /Под ред. В.И.Труфякова. – Киев: Наукова думка, 1990.
19. Макара А.М., Мосендз Н.А. Сварка высокопрочных сталей. – К.: Техніка, 1971.
20. Влияние типа металла шва на структуру, свойства и сопротивляемость соединений высокопрочных закаливающихся сталей образованию холодных трещин / В.Г.Гордонный, А.А.Гайворонский, В.А.Саржевский, Ю.М.Лебедев // Автомат. сварка. – 1992. - №11-12. – С.13-16.
21. Образование холодных трещин в сварных соединениях броневых сталей высокой прочности и твердости отечественного и зарубежного производства / А.А.Гайворонский, В.Д.Позняков, А.В.Клапатюк, А.М.Денисенко и др. // Механіка та машинобудування. – 2017. - №1. – С.221-227.
22. Особенности превращения аустенита и механические свойства металла в зоне термического влияния соединений стали марки 71 при дуговой сварке / В.Д.Позняков, А.А.Гайворонский, В.А.Костин, В.В.Дураченко, Ю.Н.Костин // Механіка та машинобудування. – 2017. - №1. – С.254-260.
23. Контактное-усталостное повреждение колес грузовых вагонов / Труды ВНИИЖТ. Под ред. проф. С.М. Захарова. М.: Интекст. – 2004. -160с.
24. Структурные изменения в участке перегрева металла ЗТВ железнодорожных колес при дуговой сварке / А.А.Гайворонский, В.В.Жуков, В.Г.Васильев и др. // Автоматическая сварка. -2014. - №1. – С.17-23.
25. Гайворонський О.А. Умови забезпечення якості відновлених наплавленнями залізничних коліс // Наука та прогрес транспорту. Вісник ДНУЗТ ім.В.Лазаряна. – 2016. -№5 (65). - С.136-151.
26. Гайворонский А.А. Влияние диффузионного водорода на сопротивляемость замедленному разрушению сварных соединений высокоуглеродистой стали // Автоматическая сварка. -2013. - №5. – С.15-21.

27. Гайворонский А.А. Сопrotивляемость образованию холодных трещин металла ЗТВ сварного соединения высокопрочных углеродистых сталей // Автоматическая сварка. -2014. - №2. – С.3-12.
28. Свариваемость высокопрочной углеродистой стали 65Г / А.А.Гайворонский, В.В.Жуков, А.С.Шишкевич // Сварка и диагностика. – 2014. - №5. - С.50-54.

7.2 Література допоміжна:

Інформаційні ресурси

1. <http://moodle.ipk.kpi.ua/moodle/course/view.php?id=165>
2. <http://library.weld.kpi.ua/metal-science>
3. <https://books.google.com.ua/books>

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»

Програму розробили:

Д.т.н., с.н.с.

В.В.Головко

Д.т.н., с.н.с.

В.Ю. Скульський

Д.т.н., с.н.с.

О.А. Гайворонський