


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


(підпис) І.В. Кривцун
(ініціали, прізвище)

« 06 » липень 2020 р.

**«Методи дослідження фазового складу, структури та
фізико-механічних властивостей матеріалів»**

(назва навчальної дисципліни)

4/1
(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 03.072020 р. № 1

Завідувач випускового відділу


(підпис) А.І. Устїнов
(ініціали, прізвище)

« 06 » липень 2020 р.

Київ – 2020

Розробники програми навчальної дисципліни

«Методи дослідження фазового складу та фізико-механічних властивостей матеріалів»

Методи дослідження фазового складу, структури та фізико-механічних властивостей матеріалів

складена відповідно до програми навчальної дисципліни:

«Методи дослідження фазового складу, структури та фізико-механічних властивостей матеріалів», 4/1

Розробники робочої програми:

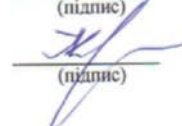
В.о. зав. відділу, кандидат техн. наук Григоренко Світлана Георгіївна
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ім'я, по батькові)


(підпис)

Ст. наук. співр., канд. техн. наук Савицький Віктор Володимирович
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ім'я, по батькові)


(підпис)

Завідувач відділу, доктор технічних наук Торон Василь Михайлович
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ім'я, по батькові)


(підпис)

Програму затверджено на засіданні відділу фізико-хімічних досліджень матеріалів
(повна назва відділу)

Протокол від «03» липень 2020 року № 1

В.о. завідувача відділу


(підпис)

С.Г. Григоренко
(ініціали, прізвище)

«06» липень 2020 р.

Вступ

Програму навчальної дисципліни **«Методи дослідження фазового складу, структури та фізико-механічних властивостей матеріалів»** складено відповідно до освітньо-наукової програми підготовки **Матеріалознавство III** рівня вищої освіти спеціальності

132 - Матеріалознавство

Навчальна дисципліна належить до циклу дисциплін професійної та практичної підготовки.

Статус навчальної дисципліни обов'язкова

Обсяг навчальної дисципліни 7 кредитів ECTS

Предмет навчальної дисципліни: аналіз структури та властивостей металів, сплавів та зварних з'єднань; термічний та механічний вплив на структуру та властивості; класифікація способів термічної обробки, механізми виникнення зварювальних напружень і деформацій; особливості розподілу залишкових напружень в зварних конструкціях; експериментальні методи визначення напружень та деформацій; методи визначення механічних властивостей та характеристик тріщиностійкості; основи конструкційної міцності.

Міждисциплінарні зв'язки:

Навчальна дисципліна пов'язана з дисциплінами:

- «Властивості матеріалів в нерівноважному стані та методи їх отримання» (3/I),
- «Твердофазні процеси формування нероз'ємних з'єднань матеріалів» (1/II),
- «Структура з'єднань матеріалів отриманих плавленням» (2/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).

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 6).
- 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 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 виявляти, ставити та вирішувати проблеми дослідницького характеру в сфері механічної інженерії, оцінювати та забезпечувати якість виконуваних досліджень(код ФК 6).
- 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:

- Методологію пошуку, оброблення, аналізу та синтезу інформації в спеціальному та міждисциплінарному контексті(код ЗН 2).
- сучасних методів теоретичного та експериментального дослідження структури та властивостей матеріалів (код ЗН 6);
- закономірностей керування складом, структурою та властивостями матеріалів різної природи та функціонального призначення (код ЗН 7);
- фундаментальних принципів фізичного, математичного, фізико-хімічного та імітаційного моделювання (код ЗН 8);
- Сучасного стану матеріалознавства та критеріїв підбору матеріалу, включаючи нові класи наноматеріалів, кластерних матеріалів, композиційних, багатошарових та інших (код ЗН 9);
- Основних положень про механічні і фізичні характеристики матеріалів, методів визначення характеристик матеріалів, елементів конструкцій та покриттів(код ЗН 13);

Уміння:

- 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);
- Придатності до зварювання низьковуглецевих конструкційних сталей підвищеної та високої міцності, особливості процесу зварювання в реальних умовах монтажу, придатності до зварювання легованих і високолегованих жаростійких та жароміцних сталей, особливості зварювання високовуглецевих сталей, зварювальних матеріалів для отримання нероз'ємних з'єднань з наперед заданими властивостями (код УМ 16);
- практично використовувати сучасні апаратні засоби для визначення структурних характеристик матеріалів їх механічних та фізичних властивостей, робити прогноз на основі визначеного комплексу їх властивостей щодо ресурсу експлуатаційних можливостей використання матеріалів (код УМ 17).

2. Структура навчальної дисципліни

На вивчення навчальної дисципліни відводиться 210 годин / 7 кредити ECTS.

Навчальна дисципліна містить кредитний модуль «Сучасні методи визначення характеристик структури та властивостей матеріалів».

Рекомендований розподіл навчального часу

Шифр	Назва навчальної дисципліни	Розподіл за семестрами		Кількість Кредитів ECTS	Кількість годин					
		Екзамени	Заліки		Загальний обсяг	Аудиторних			Самостійна робота	
						Всього	у тому числі	лекцій		практичні
4/1	Сучасні методи визначення характеристик структури та властивостей матеріалів	1	-	7	210	86	48	38	-	124

3. Зміст навчальної дисципліни

Розділ 1. Особливості структуроутворення сплавів і зварних з'єднань при термічному та механічному впливі.

Тема 1.1. Металографічні методи дослідження структури металів та сплавів.

Макроскопічні методи дослідження. Виготовлення макро- та мікрошліфів, способи травлення. Світлова металографія. Електронна мікроскопія. Якість та властивості матеріалів. Методи вимірювання твердості.

Тема 1.2. Діаграма стану системи залізо-вуглець.

Компоненти та фази залізовуглецевих сплавів. Процеси при структуроутворенні залізовуглецевих сплавів. Критичні точки діаграми. Правило фаз.

Тема 1.3. Фазові перетворення в сплавах заліза. Теорія та технологія термічної обробки металів.

Фазові перетворення при нагріванні сталі. Зростання аустенітного зерна. Діаграма ізотермічного розпаду аустеніту. Дифузійне перлітне перетворення. Бездифузійне мартенситне перетворення. Проміжне бейнітне перетворення. Основні види термічної обробки. Хіміко-термічна обробка. Термомеханічна обробка.

Тема 1.4. Структура зварного з'єднання.

Формування структури зварного з'єднання в залежності від методу зварювання. Термічна обробка зварних з'єднань.

Тема 1.5. Леговані сталі та сплави.

Легуючі елементи та домішки в сталях. Класифікація легуючих елементів. Вплив легуючих елементів на температуру поліморфних перетворень. Вплив легуючих елементів на властивості фериту та аустеніту. Неметалеві включення в сталях.

Тема 1.6. Кольорові метали та їх сплави.

Титан і сплави на його основі. Фізико-хімічні властивості титану. Вплив легуючих елементів на діаграму стану титану. Промислові титанові сплави. Алюміній та сплави на його основі.

Розділ 2. Напруження та деформація в зварних з'єднаннях.

Тема 2.1. Класифікація зварних з'єднань

Класифікація зварних з'єднань по геометричними ознаками, застосовуваним швах, способам зварювання, тощо. Основні поняття. Види зварних швів: стикові, кутові, точкові. Основні види зварювальних технологій, які використовуються для отримання з'єднань різного типу. Види зварних з'єднань, особливості стикових, кутових, таврових з'єднань.

Тема 2.2. Основні види руйнувань. Крихке та в'язке руйнування.

Основні положення механіки руйнування. Характерні особливості крихкого, крихке-в'язкого і в'язкого видів руйнування.

Тема 2.3. Феноменологічні уявлення про напружений стан суцільного середовища.

Тензор напружень, тензор деформацій, вектор переміщень. Інваріанти тензорів напружень і деформацій. Основні положення механіки суцільного середовища, застосовність понять механічного напруження. Математичний опис напружено-деформованого стану, закон Гука. Основи тензорного аналізу. Види напружень.

Тема 2.4. Умови появи непружних деформацій миттєвої пластичності і повзучості, температурні деформації.

Діаграма одновісного навантаження, межа плинності, зміцнення. Фізичні механізми зміни природи деформування матеріалу з ростом зовнішнього навантаження. Деформування при підвищених температурах і тривалому статичному навантаженні. Критерії переходу до пластичного деформації.

Тема 2.5. Механізм виникнення зварювальних напружень і деформацій.

Вплив локального нерівномірного нагрівання та плавлення на кінетику розвитку деформацій в металі. Модель трьох стрижнів. Види зварювальних деформацій.

Тема 2.6. Основні особливості розподілу залишкових зварювальних напружень в конструкціях.

Види напружено-деформованого стану, напруження в покриттях. Можливі наближення напружено-деформованого стану для зварних з'єднань і конструкцій різного типу і їх математична інтерпретація. Напруження і деформації в зварних конструкціях від зовнішнього навантаження. Особливості розподілу напружень в зоні стикових, таврових з'єднань.

Тема 2.7. Концентрація напружень і деформацій.

Номинальні напруження для зварних з'єднань і вузлів. Взаємодія напружень, обумовлених зовнішнім силовим впливом на конструкцію, з залишковими післязварювальними напруженнями. Методи оцінки локальних напружень в області геометричних або фізичних неоднорідностей. Розрахунок характерних концентраторів напружень. Механічна післязварювальна обробка.

Тема 2.8. Чисельні методи визначення зварювальних напружень і деформацій.

Механічна і фізична моделі розрахунку зварювальних напружень і деформацій. Основні поняття про метод скінчених елементів. Пакети програм.

Тема 2.9. Малоциклова та багатоциклова втома.

Виникнення і розвиток втомних пошкоджень металу. Діаграма Веллера. Діаграма Гудмана. Основні фактори, що визначають характеристики опору втомі зварних з'єднань.

Тема 2.10. Експериментальні методи вимірювання переміщень, деформацій та напружень.

Механічні, оптичні та електротензометричні методи вимірювання переміщень та деформацій. Експериментальні методи визначення залишкових напружень. Фізичні (акустичні, магнітні, дифракційні) та механічні (метод Закса, отворів, розрізки, тощо) методи дослідження напруженого стану зварних конструкцій, їх основні переваги та недоліки.

Розділ 3. Механічні властивості матеріалів та їх експериментальне визначення.

Тема 3.1. Методи визначення властивостей матеріалів при статичному навантаженні. Випробування матеріалів на розтяг-стиск. Характеристики міцності і пластичності. Ідеалізовані діаграми. Потенційна енергія деформації (повна, питома).

Тема 3.2. Особливості крихкого та в'язкого руйнування матеріалів.

Діаграма стиску. Основні механічні характеристики. Особливості руйнування пластичних і крихких матеріалів при розтягуванні-стисненні маловуглецевої сталі і чавуну.

Тема 3.3. Критерії крихкого руйнування.

Загальні поняття про теорії міцності. Критерій руйнування шляхом відриву (крихке руйнування). Короткі відомості про першу і другу теорії міцності. Теорія міцності Мора.

4. Рекомендована тематика практичних занять

Для закріплення знань, що були одержані на лекційних заняттях та для придбання умінь і навичок в аналізі структури та її впливу на механічні та фізичні властивості металів, сплавів та зварних з'єднань, у питаннях розрахунку розподілу локальних напружень у типових зварних з'єднаннях та в аналізі основ конструкційної міцності передбачено практичними заняттями за темами:

Практичне заняття № 1.1. Підготовка об'єктів для металографічних досліджень. Дослідження та аналіз макро- і мікроструктури литого металу (2 години).

Практичне заняття № 1.2. Побудова кривих охолодження та визначення фаз. Аналіз стану діаграми залізо – цементит (2 години).

Практичне заняття № 1.3. Дослідження та аналіз макро- і мікроструктури зварних з'єднань сталей та кольорових металів, отриманих різними способами зварювання (2 години).

Практичне заняття № 1.4. Визначення величини (балу) зерна (2 години).

Практичне заняття № 1.5. Вимірювання твердості матеріалів. Вимірювання мікротвердості структурних складових матеріалів (2 години).

Практичне заняття №2.1. Розрахунок розподілу залишкових зварювальних напружень на основі моделі трьох стрижнів (2 години).

Практичне заняття №2.2. Розрахунок розподілу залишкових зварювальних напружень в покриттях (2 години).

Практичне заняття №2.3. Робота з програмним пакетом Code-Aster для чисельного розрахунку методом скінчених елементів (2 години).

Практичне заняття №2.4. Побудова геометричної моделі та розбиття на скінчені елементи зварного з'єднання в пакеті програм Code-Aster (2 години).

Практичне заняття №2.5. **Розрахунок** кінетики залишкових напружень та деформацій в зварних з'єднаннях з використанням пакету програм Code-Aster (2 години).

Практичне заняття №2.6. **Розрахунок** кінетики залишкових напружень та деформацій в покриттях з використанням пакету програм Code-Aster (2 години).

Практичне заняття №2.7. Експериментальне вимірювання деформацій методами лазерної інтерферометрії та визначення залишкових напружень методом спекл-інтерферометрії в поєднанні з методом отворів (2 години).

Практичне заняття № 3.1. Визначення механічних властивостей при статичному навантаженні та побудова діаграм «напруження-деформація» (4 години).

Практичне заняття № 3.2. Визначення характеристик тріщиностійкості матеріалів при статичному навантаженні (4 години).

Практичне заняття № 3.3. Визначення характеристик крихкого руйнування матеріалів (4 години).

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 Базова:

1. Гуляев А.П. Металловедение: Учебник для вузов. - М.: Металлургия, 1985. - 542с.
2. Лахтин Ю.М., Леонтьева В.П. Материаловедение: Учебник для вузов. - М.: Машиностроение, 1990. - 528 с.
3. Арзамасов Б.Н., Макарова В.И., Мухин Г.Г., Рыжов Н.М., Силаева В.И. – М: *Материаловедение/ 6-е издание.* - М.- изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. – 648 с.
4. Бялік О.М., Черненко В.С., Писаренко В.М., Москаленко Ю.Н. Металознавство: Підручник: - Київ: ІВЦ «Політехніка», 2001. – 375 с.
5. Кузін О.А., Яцюк Р.А. Металознавство та термічна обробка металів. Підручник - Львів: Афіша, 2002.- 304 с.
6. Пилюшенко В.Л., Винокур Б.Б., Кондратюк С.Е., Зац Е.Л., Пилюшенко Р.А., Кологривова Л.Н. Справочник по практическому металловедению. – К.: Техніка, 1984.-135 с.
- 7 Сварные конструкции. Основы проектирования конструкций. Под ред. Л.М. Лобанова. – Киев: Наукова думка, 1993. – 416 с.
8. Махненко В.И. Расчетные методы исследования кинетики сварочных напряжений и деформаций. – Киев: Наукова Думка, 1976. – 320 с.
9. Труфяков В.И. Усталость сварных конструкций. К.: Наукова думка, 1973. – 216 с.
10. Махненко В.И. Ресурс безопасной эксплуатации сварных соединений и узлов современных конструкций. – Киев: Наукова Думка, 2006. –619 с.
11. Рыкалин Н.Н. Расчеты тепловых процессов при сварке. М.: Государственное научно-техническое издательство научно-технической литературы, 1951. – 296 с.
12. Экспериментальные методы исследования деформаций и напряжений/ Б.С. Касаткин, А.Б. Кудрин, Л.М. Лобанов, В.А. Пивторак, П.И. Получин, Н.А. Чичинев. Киев: Наукова думка, 1981, - 584с.
13. Галлагер Р. Метод конечных элементов. Основы: Пер. с англ.- М.: Мир, 1984. – 428 с.
14. Макклиток Ф., Аргон А. Деформация и разрушение материалов. М.: Мир, 1970. 443 с.

15. Опір матеріалів/ Писаренко Г.С., Квітка О.Л., Уманський Є.С. – 2-ге видання доповнене і перероблене – Київ, «Вища школа», 2004. 653с.
16. Давид Брок. Основы механики разрушения. – М.: Металлургия, 1980. – 192 с.
17. Механіка руйнування та міцність матеріалів Том 1-11/Довідковий посібник під загальною редакцією В.В. Панасюка. – Львів.: Спослом, 2009. – 304 с.

12.2 Допоміжна:

1. Гольдштейн М.И., Грачев С.В., Векслер Ю.Г. Специальные стали. – М.: Металлургия, 1985. – 367 с.
2. Блатнер М.Е. Теория термической обработки. – М.: Металлургия, 1984. – 327 с.
3. Грабин В.Ф. Металловедение сварки плавлением. К.: Наукова думка, 1982. – 416 с.
4. Ильин А.А., Колачев Б.А., Полькин И.С. (2009) *Титановые сплавы. Состав, структура, свойства*. Справочник. Москва, ВИЛС – МАТИ.
5. Большаков В.И., Сухомлин Г.Д., Лаухин Д.В. Атлас структур металлов и сплавов. – Днепропетровск: ГВУЗ «ПГАСА», 2010. – 174 с.
6. Грабин В.Ф., Денисенко А.В., Новикова Д.П., Сидяренко В.А. Реактивы для выявления макро- и микроструктур сварных соединений сталей и сплавов. К.: Наукова думка, 1977.
7. Слайд - лекции по курсу «Материаловедение»:
http://metall-2006.narod.ru/metall_slaid_lekcia.html
8. Прохоров Н.Н. Физические процессы в металлах при сварке. В двух томах, Металлургия, Москва, 1976.
9. Теория сварочных процессов. Под ред. В.В. Фролова. –М.: Высшая школа, 1988.– 660 с.
10. Работнов Ю.Н. Механика твердого деформируемого тела. – М.: «Наука», 1988. – 712 с.
11. Самарский А.А., Гулин А.В. Численные методы. – М.: Наука, 1989. – 432 с.
12. <https://www.code-aster.org>.
13. Давид Брок. Основы механики разрушения. – М.: Металлургия, 1980. – 192 с.
14. Механіка руйнування та міцність матеріалів Том 1-11/Довідковий посібник під загальною редакцією В.В.Панасюка. – Львів.: Спослом, 2009. – 304 с.
15. В.И. Махненко Ресурс безопасной эксплуатации сварных соединений и узлов современных конструкций.-К. Наукова думка-2006.-617с
16. Журнал «Проблемы прочности»- К. Институт проблем прочности НАН Украины, 2000-2020гг
17. Международный научно-технический и производственный журнал "Техническая диагностика и неразрушающий контроль". - К.: ИЭС им. Е.О. Патона, 1985-2020 гг.

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»