

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  
Заступник директора  
ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України  
академік НАН України  
  
С.І. Кучук-Яценко  
(ініціали, прізвище)  
«06» липня 2020 р.

МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТАЛІВ І СПЛАВІВ

2/П

(шифр за ОП)

**ПРОГРАМА**

**навчальної дисципліни**

**рівень вищої освіти** - доктор філософії з металургії

**спеціальність** - 136 – Металургія

**освітня програма** - Металургія

Затверджено на випускному  
відділі за спеціальністю 136  
«Металургія»

Інституту електрозварювання  
ім. Є.О. Патона НАН України  
Протокол №1 від 3.07.2020 р.  
Завідувач випускового відділу  
чл.-кор. НАН України, проф.

  
В.О. Шаповалов

Київ – 2020 р.

РОЗРОБНИКИ ПРОГРАМИ:

В.О. Зав. відділу фізико-хімічних досліджень матеріалів Інституту  
електрозварювання ім. Є.О. Патона НАНУ

к.т.н. Григоренко Світлана Георгіївна

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ім'я, по батькові)



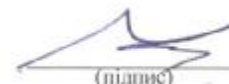
(підпис)

Провідний науковий співробітник відділу фізико-хімічних  
досліджень матеріалів Інституту електрозварювання

ім. Є.О. Патона НАНУ

к.т.н. Грицків Ярослав Петрович

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ім'я, по батькові)



(підпис)

Старший науковий співробітник відділу плазмово-шлакової  
металургії Інституту електрозварювання ім. Є.О. Патона НАНУ

к.т.н. Якуша Володимир Вікторович

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ім'я, по батькові)



(підпис)

Молодший науковий співробітник відділу плазмово-шлакової  
металургії Інституту електрозварювання ім. Є.О. Патона НАНУ

Порохонько Віталій Богданович

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ім'я, по батькові)



(підпис)

## Вступ

Програму навчальної дисципліни «Методи дослідження металів і сплавів»  
(назва навчальної дисципліни)

складено відповідно до освітньої програми ОНП 2/П,  
(ОПІ/ОНП, назва)

III рівня вищої освіти доктор філософії  
(рівень вищої освіти)

спеціальності 136 – металургія  
(код і назва спеціальності)

Навчальна дисципліна належить до циклу професійної підготовки, шифр 2/П.  
(загальної / професійної підготовки)

Статус навчальної дисципліни вибіркова  
(обов'язкова / вибіркова)

Обсяг навчальної дисципліни 6 кредитів ЄКТС.

Міждисциплінарні зв'язки “Спеціальні металургійні технології” – код 6/І

“Структура та властивості матеріалів” – код 1/П.

Дисципліна забезпечує виконання – дисертаційної роботи доктора філософії з металургії.

### **1.1. Метою навчальної дисципліни є формування у аспірантів компетентностей:**

– здатність проводити критичний аналіз, оцінку і синтез нових та складних ідей (код ЗК-5);

– здатність розроблення та реалізація проектів, включаючи власні дослідження (код ЗК-7);

– здатність планувати й організовувати роботу дослідницьких колективів з рішення наукових і науково-освітніх завдань (код ЗК-10);

– здатність до самостійного освоєння нових методів дослідження. (код ЗК-11);

– здатність досліджувати проблеми із використанням системного аналізу та інших методів дослідження (код ЗК-12);

– здатність працювати в міжнародному контексті (код ЗК-13);

– здатність виконувати оригінальні дослідження, досягати наукових результатів, які створюють нові знання в металургії і дотичних до неї міждисциплінарних напрямках і можуть бути опубліковані у провідних наукових виданнях з металургії та суміжних галузей (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-5);

– здатність оцінювати властивості матеріалів на основі існуючих та спеціально розроблених моделей та методів досліджень. (код ФК-6);

– здатність визначати і оцінювати актуальність наукового напрямку та практичне значення досліджень (код ФК-10);

– здатність адаптувати і узагальнювати результати сучасних досліджень в металургійній галузі знань для вирішення наукових і практичних проблем (код ФК-15).

## **1.2. Завдання навчальної дисципліни**

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

### **знання:**

– передових концептуальних та методологічних знань з металургії та на межі предметних галузей, а також дослідницьких навичок для проведення наукових і прикладних досліджень на рівні останніх світових досягнень (код ЗН-1);

– новітніх світових досягнень науки, техніки та технологій в галузі металургія та суміжних сферах (код ЗН-5);

– сучасних методів теоретичного та експериментального дослідження властивостей матеріалів (код ЗН-6);

– закономірностей керування складом, структурою та властивостями матеріалів різної природи та функціонального призначення (код ЗН-7);

– сучасної вітчизняної та зарубіжної науково-технічної інформації в професійній сфері діяльності (код ЗН-12).

– термодинаміки та кінетики металургійних процесів (код ЗН-15).

### **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);

– розробляти та досліджувати концептуальні, математичні і комп'ютерні моделі металургійних процесів і систем, ефективно використовувати їх для отримання нових знань та/або створення інноваційних продуктів в металургії (код УМ-3);

– планувати і виконувати експериментальні дослідження з металургії та дотичних міждисциплінарних напрямів з використанням сучасних обладнання та методик, аналізувати результати експериментів у контексті усього комплексу сучасних знань щодо досліджуваної проблеми (код УМ-4);

– застосовувати аналіз та синтез знань під час вирішення проблем в широкому контексті металургійних та міждисциплінарних задач за умов невизначеності чи неповної інформації (код УМ-7);

– планувати теоретичне та експериментальне дослідження, оцінювати, адаптувати та узагальнювати його результати (код УМ-9);

– проводити економічний аналіз витрат і результативності науково-дослідних робіт та проектів (код УМ-15);

– постійно удосконалювати свій загальний інтелектуальний та професійний рівень (код УМ-18);

- генерувати нові ідеї для вирішення науково-дослідних проектів та дослідницько-конструкторських робіт (код УМ-19);
- розробляти нові методики досліджень у галузі металургії (код УМ-26);
- планувати і проводити аналітичні, імітаційні та експериментальні дослідження, критично оцінювати дані і робити висновки (код УМ-27);
- використовувати новітні методи дослідження металів і сплавів. (код УМ-32).

## 2. Структура навчальної дисципліни

На вивчення навчальної дисципліни відводиться 180 годин / 6 кредити ECTS.

Навчальна дисципліна містить кредитний модуль: “ Методи дослідження металів і сплавів ”

Рекомендований розподіл навчального часу

Форма навчання	Семестри	Усього кредитів / годин	Розподіл навчального часу за видами занять			Семестрова атестація
			Лекції	Практичні заняття	СР аспіранта*	
Денна	4	6/180	18	18	144	Залік

\* Розрахунок наведено в додатку А

## 3. Зміст навчальної дисципліни

Кредитний модуль -- Методи дослідження металів і сплавів.

### Зміст

Вступ.

Тема 1. Фізичні основи сучасних хімічних методів аналізу.

Тема 2. Електрохімічні методи аналізу: кондуктометрія, електрохімічне осадження, потенціометрія, полярографія.

Тема 3. Основи оптичних методів спектрального аналізу (ОСА).

Тема 4. Експресний емісійний спектральний аналіз. Мобільні спектрометри.

Тема 5. Фізичні основи рентгеноспектрального аналізу (РСА).

Тема 6. Спеціальні методи аналізу: Оже-спектроскопія, мас-спектроскопія, аналіз газів в металах.

Тема 7. Методи дослідження структури металів. Мікроскопія і дифрактометрія.

Тема 8. Електронна мікроскопія просвічує і растрова.

Тема 9. Основні властивості матеріалів і їх зв'язок з хімічним складом і структурою.

## **Вступ.**

Задачі і зміст курсу. Загальні положення. Короткий аналіз основних методів дослідження металів і сплавів.

### **Тема 1.** Фізичні основи сучасних хімічних методів аналізу.

Фізичні властивості розчинів. Офарбування, помутніння, зміна показника заломлення, поляризованість, люмінесценція розчинів. Електрична поляризація молекули води і електричні потенціали іонів металів і хімічних комплексів.

### **Тема 2.** Електрохімічні методи аналізу: кондуктометрія, електрохімічне осадження, потенціометрія, полярографія.

Особливості вимірювання електропровідності розчинів. Закон Фарадея. Потенціал нейтралізації аніонів та катіонів. Формула Нерста. Якісний і кількісний полярографічний аналіз.

### **Тема 3.** Основи оптичних методів спектрального аналізу (ОСА).

Емісійний і абсорбції спектральний аналіз. Атомізація збудження й іонізація металевих проб металів. Принципи просторового розкладання світла по частоті (довжині хвилі) електромагнітного випромінювання. Типи спектральних приладів. Монохроматори і поліхроматори. Методи дослідження оптичних спектрів.

### **Тема 4.** Експресний емісійний спектральний аналіз. Мобільні спектрометри.

Сучасні можливості реєстрації та обробки оптичних спектрів. Використання математичного моделювання процесів міжатомної взаємодії в багатокомпонентних плазмових середовищах для універсалізації методик кількісного спектрального аналізу. Мініатюризація оптичних систем, джерел іскрового збудження і систем реєстрації для портативних і мобільних спектрометрів.

### **Тема 5.** Фізичні основи рентгеноспектрального аналізу (РСА).

Природа рентгенівського випромінювання. Безперервні і лінійчаті спектри. Характеристичне рентгенівське випромінювання атомів. Детектори реєстрації рентгенівських випромінювань. Газопроточні іонізаційні і сцинтиляційні лічильники. Напівпровідникові детектори.

### **Тема 6.** Спеціальні методи аналізу: Оже-спектроскопія, мас-спектроскопія, аналіз газів в металах.

Електрони Оже і аналіз надтонких шарів. Аналітичні можливості мас-спектрального аналізу. Типи мас-спектрометрів. Виключно низькі межі виявлення хімічних елементів і проблеми введення проби. Методи аналізу газів у металах. Методи відновлювального плавлення для визначення азоту, кисню, водню.

### **Тема 7.** Методи дослідження структури металів. Мікроскопія і дифрактометрія.

Макро і мікроструктура. Дослідження розміру і форми зерен, текстура. Дослідження фазового складу. Типи кристалічних решіток. Оптична

металографія і рентгенівська порошкова дифрактометрія. Метод Дебая-Шеррера.

**Тема 8.** Електронна мікроскопія просвічує і растрова.

Поняття фізичної межі роздільної здатності в мікроскопії. Хвильова природа електронного світла. Лінзи в електронній мікроскопії. Принцип побудови просвічуючого (ПЕМ) і растрового електронного (РЕМ) мікроскопів. Особливості роздільної здатності, збільшення, контрасту, глибини поля зору для ПЕМ і РЕМ. Дослідницькі можливості ПЕМ і РЕМ. Пробопідготовка об'єктів для дослідження в ПЕМ і РЕМ.

**Тема 9.** Основні властивості матеріалів і їх зв'язок з хімічним складом і структурою

Електричні, магнітні, теплові властивості металів і сплавів, їх зв'язок з хімічним складом і структурою металів. Механічні властивості сплавів. Використання впливів на структуру з метою отримання металів з заданими властивостями.

#### **4. Рекомендований перелік практичних занять (комп'ютерних практикумів)**

За час проведення практичних занять аспіранти отримують прикладні професійні навички щодо застосування основних методів дослідження металів і сплавів на практиці.

Практичне заняття № 1

Визначення вуглецю в сталях на кулонометричних аналізаторах АН 7529, АН 7560.

Практичне заняття № 2

Аналіз хімічного складу високолегованих сталей на спектроваку ДФС-51.

Практичне заняття № 3

Аналіз сірки і фосфору в низьколегованих сталях на установці Спектровкак - 1000 фірми Берд.

Практичне заняття № 4

Дослідження включень в металах методом рентгенівського мікроаналізу в растровому електронному мікроскопі.

Практичне заняття № 5

Аналіз вмісту азоту і кисню в титані на приладах фірми «LECO».

Практичне заняття № 6

Аналіз мікроструктури чавуну на металографічному мікроскопі Неофот-2.

Практичне заняття № 7

Дослідження металевої фольги в просвічує електронному мікроскопі JSM-200.

Практичне заняття № 8

Дослідження параметрів плавки в підвішеному стані.

Практичне заняття № 9

Дослідження параметрів плавки на плазмово-дуговій установці УПІ.

#### **5. Рекомендовані індивідуальні завдання**

Самостійна робота аспірантів включає підготовку до лекцій, практичних робіт, модульної контрольної роботи та екзамену (див. Методичні вказівки до самостійної роботи). Розподілення часу на самостійну роботу наведено в додатку А.

## **6. Рекомендована література**

### **6.1 Література базова:**

1. Журавлєв Л.Г., Филатов В.И. Физические методы исследования металлов и сплавов: Учебное пособие для студентов металлургических специальностей. – Челябинск: ЮУрГУ, 2004. – 157 с.
2. Ю.С.Ляликов. Физико-Химические методы анализа. Изд. Химия.М.-Л., 1984. – 560 с.
3. Канарчук В.Є., Шевченко В.І. Методи дослідження металів: Навчальний посібник. – Київ: НТУ, 2001. — 98 с.
4. Шаповалов Э.Т., Баранова Л.И., Зекцер Г.О. Электрохимические методы в металловедении и фазовом анализе. — Москва: Металлургия, 1988. – 166 с.
5. А.Н. Зайдель. Основы спектрального анализа. Изд. Наука, м., 1965. – 324 с.
6. Е.Г.Орешникова. Спектральный анализ. Изд. Высшая школа, 1982. – 375 с.
7. Ю.М.Буралев. Атомно-эмиссионная спектрометрия металлов и сплавов. Донецк., ДонГУ, 2000. - 376 с.
8. Рентгенофлюорисцентный анализ. Под ред. Х. Эрхарда, М., Металлургия, 1985. – 436 с.
9. Кристаллография, рентгенография и электронная микроскопия. (Уманский Я.С., Скаков Ю.А., Иванов А.Н., Расторгуев Н.М.) М.:Металлургия, 1982. – 632 с.
10. Электронная микроскопия тонких кристаллов.(П.Хирш, А.Хови, Р.Николсон и др.) Пер. с англ. Под ред. Л.М.Утевского. М.: Мир, 1968. – 574.
11. Практическая растровая электронная микроскопия. /Под ред. Дж.Гоулдстейна и Х. Яковица. М.: Мир. 1978. – 656 с.
12. Варюхин В.Н., Пашинская Е.Г., Завдоев А.В. Возможности метода дифракции обратнорассеянных электронов для анализа структуры деформированных материалов. – Киев: Наукова думка, 2014. — 104 с.
13. Клименко А.П., Клименко Е.А. Магнитное превращение и структура сталей. – Днепропетровск: Пороги, 2017. — 172 с.
14. Жуковец И.И. Механические испытания металлов.– Москва: Высшая школа, 1986. – 199 с.

### **6.2 Література допоміжна:**

1. А.Н. Зайдель. Элементарные оценки ошибок измерений. Л.. Наука: 1968. – 86 с.
2. ГОСТ 18895-97 Сталь. Метод фотоэлектрического спектрального анализа.
3. ГОСТ 28033-88 Сталь. Метод рентгенофлюорисцентного анализа



4. Лазарев А.И., Харламов И.П. Анализ металлов. Справочное издание. — М.: Металлургия, 1987. — 320 с.
5. Большаков В.И., Сухомлин Д.В., Лаухин Д.В. Атлас структур металлов и сплавов: Учебное пособие для студентов технических вузов. - Днепропетровск: ПГАСА, 2010. - 174 с.
6. Лобанов М.Л. и др. Методы исследования текстур в материалах: Учебно-методическое пособие. — Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2014. — 115 с.
7. Степин В.В., Курбатова В.И., Федорова Н.Д. Анализ черных металлов и сплавов. 3-е изд., перераб. и доп. — М.: Металлургия, 1980. — 272 с.

### 8. Засоби діагностики успішності навчання

Для поточного контролю успішності навчання рекомендується проведення чотирьох контрольних робіт – одна модульна контрольна робота розбивається на 4 контрольні роботи за окремими розділами по 0,5 години (на контрольні роботи виносяться питання лекційного курсу, практичних робіт і СР аспірантів):

1. Фізичні основи сучасних хімічних методів аналізу. Електрохімічні методи аналізу.
2. Основи оптичних методів спектрального аналізу (ОСА). Експресний емісійний спектральний аналіз.
3. Фізичні основи рентгеноспектрального аналізу (РСА). Спеціальні методи аналізу: Оже-спектроскопія, мас-спектроскопія, аналіз газів в металах.
4. Методи дослідження структури металів. Мікроскопія і дифрактометрія. Електронна мікроскопія просвічує і растрова.

Підсумковий контроль результатів навчання з дисципліни проводиться у формі заліку.

Навчальна програма складена на основі ОНП підготовки докторів філософії спеціальності 136 – “Металургія”.

#### *Програму розробили:*

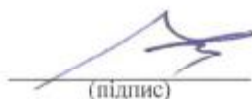
В.О. Зав. відділом  
к.т.н.



(підпис)

С.Г. Григоренко

п.н.с. к.т.н.,



(підпис)

Я.П. Грицків

с.н.с. к.т.н.



(підпис)

В.В. Якуша

м.н.с.



(підпис)

В.Б. Порохонько

### Розрахунок часу на самостійну роботу

Час на самостійну роботу аспіранта складає

$$T_{\text{CPA}} = 1t_{\text{Л}} + 2t_{\text{ПЗ}} + 4\text{МКР} + \text{Залік} = \\ 1 \times 18 + 2 \times 18 + 4 \times 21 + 6 = 144$$

**Примітка:** Л – лекції; ПЗ – практичні заняття; МКР – модульні контрольні роботи; Залік.