

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.

СПЕЦІАЛЬНІ МЕТАЛУРГІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

6/1

(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:

Зав. відділу металургії і зварювання титанових сплавів Інституту
електрозварювання ім. Є.О. Патона НАНУ
д.т.н., чл-кор., проф. Ахонін Сергій Володимирович

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


(підпис)

Зав. відділу фізико-металургійні проблеми електрошлакових
технологій
Інституту електрозварювання ім. Є.О. Патона НАНУ
д.т.н., чл-кор., проф. Медовар Лев Борисович

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


(підпис)

Провідний науковий співробітник відділу плазмово-шлакової
металургії Інституту електрозварювання ім. Є.О. Патона НАНУ
д.т.н. Шейко Іван Васильович

(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)

Вступ

Програму навчальної дисципліни «Спеціальні металургійні технології»
(назва навчальної дисципліни)

складено відповідно до освітньої програми ОНП 6/І
(ОПІ/ОНП, назва)

ІІІ рівня вищої освіти доктор філософії
(рівень вищої освіти)

спеціальності 136 – металургія
(код і назва спеціальності)

Навчальна дисципліна належить до циклу професійної підготовки, шифр 6/І
(загальної / професійної підготовки)

Статус навчальної дисципліни обов'язкова
(обов'язкова / вибіркова)

Обсяг навчальної дисципліни 5 кредити ЄКТС.

Міждисциплінарні зв'язки “Основи структуроутворення металів і сплавів” – код 5/І;

“Методи отримання металів і сплавів” – код 4/ІІ;

“Методи дослідження металів і сплавів” – код 2/ІІ.

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

–здатність ініціювати інноваційні комплексні проекти в металургії та дотичні до неї міждисциплінарні проекти, лідерство під час їх реалізації (код ФК 1);

–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 проводити наукові дослідження в металургійній галузі на основі сучасних теорій термодинаміки, кінетики металургійних процесів, фізики рідкого стану і структуроутворення металів і сплавів (код ФК 13);

–здатність проводити наукові дослідження спеціальних металургійних технологій (код ФК 14);

–здатність адаптувати і узагальнювати результати сучасних досліджень у 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);

–методик аналізу та синтезу знань при вирішенні проблем у широкому контексті металургійних та міждисциплінарних задач, у тому числі за умов невизначеності чи неповної інформації (код ЗН 4);

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

–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).

–сучасних теорій, положень, методів досліджень у металургійній галузі (код ЗН 14);

–термодинаміки та кінетики металургійних процесів (код ЗН 15);

–сучасних спеціальних металургійних технологій (код ЗН 18);

–методів моделювання та оптимізації технологічних процесів у металургії (код ЗН 20).

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);

–розробляти та реалізовувати наукові та/або інноваційні інженерні проекти, які дають можливість переосмислити наявне та створити нове цілісне знання та/або професійну практику і розв'язувати значущі наукові та

технологічні проблеми металургії з дотриманням норм академічної етики і врахуванням соціальних, екологічних та правових аспектів (код УМ 5);

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

–організовувати спільну роботу з фахівцями з різних галузей в рамках наукових проектів (код УМ 12);

–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);

–проводити наукові дослідження на основі сучасних теорій термодинаміки, кінетики металургійних процесів, фізики рідкого стану і структуроутворення металів і сплавів (код УМ 29);

–проводити наукові дослідження сучасних спеціальних металургійних технологій (код УМ 30).

2. Структура навчальної дисципліни

На вивчення навчальної дисципліни відводиться 150 годин / 5 кредити ECTS.

Навчальна дисципліна містить кредитний модуль: “Спеціальні металургійні технології”

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	5/150	36	18	96	Екзамен

3. Зміст навчальної дисципліни

Кредитний модуль -- Спеціальні металургійні технології.

Зміст

Вступ.

Розділ 1 Спеціальна електрометалургія, основні напрямки та перспективи розвитку.

Тема 1.1 Основні напрямки спеціальної електрометалургії.

- Тема 1.2 Тенденції розвитку спеціальної електromеталургії в світі.
- Розділ 2 Електронно-променева плавка металів і сплавів - новий спосіб вакуумної металургії.
- Тема 2.1 Принцип електронно-променевого нагріву. Фізико-хімічні основи рафінування металів і сплавів у вакуумі.
- Тема 2.2 Управління кристалізацією металу при електронно-променевої плавці з проміжною ємністю. Якість металу після електронно-променевого переплаву.
- Розділ 3 Плазмово-дугова технологія.
- Тема 3.1 Основні електричні та теплофізичні параметри низькотемпературної плазми. Фізико-хімічні та теплофізичні особливості плазмово-дугової плавки.
- Тема 3.2 Технологічні способи плазмово-дугової плавки. Формування і кристалізація злитка при ПДТ.
- Розділ 4 Вакуумно-дуговий переплав.
- Тема 4.1 Плавлення металу електричною дугою у вакуумі. Класифікація процесів ВДП і їх фізико-хімічні особливості.
- Тема 4.2 Якість злитків, виливків і техніко-економічні показники процесу.
- Розділ 5 Індукційна плавка.
- Тема 5.1 Нагрівання металу в електромагнітному полі. Фізико-хімічні особливості плавки металу в індукційних печах.
- Тема 5.2 Основи технології, обладнання та якість металу.
- Розділ 6 Електрошлакова технологія.
- Тема 6.1 Фізико-хімічні та теплофізичні явища при ЕШП.
- Тема 6.2 Техніка, технологія і устаткування для ЕШП.

Вступ.

Задачі і зміст курсу. Загальні положення. Короткий історичний аналіз розвитку спеціальних електromеталургійних технологій у промисловості України та світі.

Розділ 1 Спеціальна електromеталургія, основні напрямки та перспективи розвитку.

Тема 1.1 Основні напрямки спеціальної електromеталургії.

Електронно-променева плавка. Плазмово-дуговий переплав. Вакуумно-дугова плавка. Індукційна плавка. Електрошлаковий переплав.

Тема 1.2 Тенденції розвитку спеціальної електromеталургії в світі.

Адитивні технології. Укрупнення зливків. Гібридні процеси.

Розділ 2. Електронно-променева плавка металів і сплавів - новий спосіб вакуумної металургії.

Тема 2.1 Принцип електронно-променевого нагріву. Фізико-хімічні основи рафінування металів і сплавів у вакуумі.

Електронно-променеві гармати. Потужність електронного пучка, глибина проникнення електронів. Класифікація процесів рафінування. Аналіз впливу основних факторів на інтенсивність рафінування металів і сплавів у вакуумі. Основні технологічні схеми плавок, конструктивні особливості установок для електронно-променевого переплаву і їх технічні характеристики.

Тема 2.2 Управління кристалізацією металу при електронно-променевій плавці. Якість металу після електронно-променевого переплаву.

Умови кристалізації металу при електронно-променевій плавці. Ефективність рафінування металів і сплавів від газів, неметалевих включень і легколетючих домішок. Підвищення технологічної пластичності та експлуатаційних властивостей металу електронно-променевої плавки. Нові технологічні процеси електронно-променевої плавки.

Розділ 3 Плазмово-дугова технологія.

Тема 3.1 Основні електричні та теплофізичні параметри низькотемпературної плазми. Фізико-хімічні та теплофізичні особливості плазмово-дугового плавки.

Вольт-амперні характеристики плазмової дуги. Ступінь іонізації. Температурне поле. Розчинність газів у металах і сплавах. Особливості поведінки газів при ПДТ. Активність, параметри взаємодії, залежність від температури та тиску. Активація газів у дузі. Рекомбінація газів. Зона абсорбції і зона десорбції. Основні реакції в системах: газ-метал, газ-шлак-метал.

Тема 3.2 Технологічні способи плазмово-дугової плавки. Формування і кристалізація злитка при ПДТ.

Формування і кристалізація злитка, перенесення металу, теплові поля в зливку ПДТ. Класифікація процесів і обладнання плазмово-дугової плавки металів і сплавів. Принципові електричні та конструктивні схеми печей і установок. Якість злитків, виливків і техніко-економічні показники процесу.

Розділ 4 Вакуумно-дуговий переплав.

Тема 4.1. Плавлення металу електричною дугою у вакуумі. Класифікація процесів ВДП і їх фізико-хімічні особливості.

Електрична дуга як джерело теплоти. Класифікація процесів ВДП. Фізико-хімічні особливості плавлення металу електричною дугою у вакуумі. Дегазація металу на різних стадіях плавлення.

Тема 4.2. Якість злитків, виливків і техніко-економічні показники процесу.

Конструктивно-технологічні особливості процесів ВДП. Основи технології, обладнання та якість металу. Особливості формування злитка.

Розділ 5. Індукційна плавка.

Тема 5.1. Нагрівання металу в електромагнітному полі. Фізико-хімічні особливості плавки металу в індукційних печах.

Фізико-хімічні особливості плавки металу в індукційних печах. Нагрівання металу в електромагнітному полі. Перемішування рідкого металу. Взаємодія металу з тиглем.

Тема 5.2. Основи технології, обладнання та якість металу.

Основи технології, обладнання та якість металу. Відкрита індукційна плавка. Плавка в секційному водоохолоджуваному кристалізаторі. Зонна плавка. Плазмово-індукційне вирощування монокристалів тугоплавких металів.

Розділ 6. Електрошлакова технологія.

Тема 6.1. Шлакова ванна як джерело теплоти. Фізико-хімічні та теплофізичні явища при ЕШП.

Фізико-хімічні та теплофізичні явища при ЕШП. Основні реакції в шлаці та металі, поведінка неметалевих включень. Температурні поля, характер плавлення металу і його кристалізація.

Тема 6.2. Техніка, технологія і устаткування для ЕШП.

Техніка, технологія і устаткування для ЕШП. Принципові електричні та конструктивні схеми печей і установок ЕШП. Області застосування та якість електрошлакового металу.

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

За час проведення практичних занять аспіранти отримують прикладні професійні навички щодо застосування основних технологій спеціальної металургії на практиці.

Практичне заняття № 1

Конструкційні та технологічні особливості електронно-променевої плавки.

Практичне заняття № 2

Конструкційні та технологічні особливості індукційної плавки в керамічному тиглі.

Практичне заняття № 3

Конструкційні та технологічні особливості індукційної плавки в водоохолоджуваному секційному кристалізаторі.

Практичне заняття № 4

Конструкційні та технологічні особливості плазмово-дугової плавки у водоохолоджуваному кристалізаторі.

Практичне заняття № 5

Конструкційні та технологічні особливості плазмово-дугової плавки у керамічному тиглі.

Практичне заняття № 6

Конструкційні та технологічні особливості електрошлакової плавки з витратним електродом.

Практичне заняття № 7

Конструкційні та технологічні особливості електрошлакової плавки з невитратним графітовим електродомом.

Практичне заняття № 8

Конструкційні та технологічні особливості плазмово-індукційної зонної плавки.

Практичне заняття № 9

Конструкційні та технологічні особливості плазмово-дугового спінінгування.

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. Волкотруб М.П. Процеси спеціальної електрометалургії: Підручник / М.П. Волкотруб, Д.Ф.Чернега, В.Г.Могилатенко, В.О.Шаповалов; За ред. Б.Є. Патона. – К.: «Хімджест». – 2014. – 284 с.
2. Латаш Ю.В., Матях В.Н. Современные способы производства слитков особо высокого качества. Киев, «Наукова думка», 1987, 286 с.
3. Патон Б.Е., Тригуб Н.П., Аонин С.В., Жук Г. В. Электронно-лучевая плавка титана.– К.: Наукова думка. 2006. – 248с.
4. Патон Б.Е., Тригуб Н.П. и др. Электронно-променева плавка. Киев, "Наукова думка", 1997,265 с.
5. Патон Б.Е., Григоренко Г.М., Шейко И.В., Шаповалов В.А., Найдек В.Л., Костяков В.Н. Плазменные технологии и оборудование в металлургии и литейном производстве. – К.: Наукова думка. 2013. – 488с.
6. Григоренко Г.М., Помарин Ю.М. Водород и азот в металлах при плазменной плавке. Киев, «Наукова думка», 1989, 200 с.
7. Линчевский Б.В. Вакуумная индукционная плавка. М. «Металлургия», 1975.
8. Григоренко Г. М., Шейко И. В. Индукционная плавка металлов в холодных тиглях и секционных кристаллизаторах. К.: Сталь, 2006. 320 с.
9. Патон Б. Е., Шаповалов В. А., Григоренко Г. М., Шейко И. В., Жолудь В.В. Плазменно-индукционное выращивание профилированных монокристаллов тугоплавких металлов: монография / НАН Украины, Ин-т электросварки им. Е. О. Патона. – Киев: Наукова думка, 2016. – 219 с.
10. Патон Б.Е. и др. Электрошлаковый металл. Киев, «Наукова думка», 1981
11. Медовар Б.И. и др. Металлургия электрошлакового процесса. Киев, «Наукова думка», 1986

6.2 Література допоміжна:

1. Электронно-лучевая плавка в литейном производстве /С. В. Ладохин, Н. И. Левицкий, В. Б. Чернявский и др. – Киев: Сталь, 2007. – 627 с.
2. Тихоновский А.А. и др. Рафинирование металлов и сплавов методом электроннолучевой плавки. Киев, «Наукова думка», 1984.
3. Мовчан Б.А., Тихоновский А.А., Курапов Ю.А. Электроннолучевая плавка и рафинирование металлов и сплавов. Киев, «Наукова думка», 1973, 236 с.
4. Линчевский Б.В. Вакуумная металлургия стали и сплавов. М. «Металлургия», 1980.
5. Лакомский В.И. Плазменно-дуговой переплав. Киев, «Техника», 1974, 336 с.
6. Шаповалов В.О., Шейко І.В., Ремізов Г.О. Плазмові процеси та устаткування в металургії; За ред. Б.Є.Патона. – К.: «Хімджест». – 2012. – 384 с.
7. Клюев М.М. Плазменно-дуговой переплав. М. «Металлургия», 1980.
8. Ерохин А.Л. Плазменно-дуговая плавка металлов и сплавов. М., «Наука», 1975, 188 с.
9. Патон Б.Е., Медовар Б.И. Электрошлаковые печи, Киев, «Наукова думка», 1977

7. Засоби діагностики успішності навчання

Для поточного контролю успішності навчання рекомендується проведення однієї модульної контрольної роботи (на контрольну роботу виносяться питання усього лекційного курсу, і СР аспірантів):

Підсумковий контроль результатів навчання з дисципліни проводиться у формі екзамену.

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

Програму розробили:

Зав. відділом

д.т.н. чл-кор., проф.



(підпис)

С.В. Ахонін

Зав. від., д.т.н., професор



(підпис)

Л.Б. Медовар

п.н.с., д.т.н.



(підпис)

І.В. Шейко

с.н.с., к.т.н.



(підпис)

В.В. Якуша

Розрахунок часу на самостійну роботу

Час на самостійну роботу аспіранта складає

$$T_{\text{СР Асп.}} = 1t_{\text{Л}} + 1t_{\text{ПЗ}} + 1\text{МКР} + \text{Екзамен}, = \\ 1 \times 36 + 1 \times 18 + 1 \times 12 + 30 = 96$$

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