

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**  
шифр навчальної дисципліни за ОНП 6/І  
(назва кредитного модуля)

**РОБОЧА ПРОГРАМА**  
**кредитного модуля**

рівень вищої освіти – доктор філософії з металургії  
форма навчання – денна  
спеціальність – 136 – металургія  
галузь знань – 13 – механічна інженерія  
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.

Робоча програма кредитного модуля:

«Спеціальні металургійні технології»  
(назва кредитного модуля)

складена відповідно до програми навчальної дисципліни

«Спеціальні металургійні технології», ОНП 6/1  
(назва навчальної дисципліни та код за ОП)

Розробники робочої 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)

## 1. Опис кредитного модуля

Рівень ВО, спеціальність, освітня програма, форма навчання	Загальні показники	Характеристика кредитного модуля
Рівень ВО <b><u>Третій (доктор філософії)</u></b>	Назва дисципліни <b><u>Спеціальні металургійні технології</u></b>	Лекції <b><u>36 год.</u></b>
Спеціальність <b><u>136 – Металургія</u></b> (шифр і назва)	Цикл (загальної/професійної підготовки)	Практичні (семінарські) <b><u>18</u></b> год.
Освітня програма <b><u>ОНП 6/І, Спеціальні металургійні технології</u></b> (ОПП, ОНП, назва)	Статус кредитного модуля <b><u>Обов'язковий</u></b> (обов'язковий, вибірковий)	Лабораторні роботи _____ год.
		Самостійна робота 96 год., у тому числі на виконання індивідуального завдання <b><u>0</u></b> год.
	Семестр <b><u>4</u></b>	Індивідуальне завдання <b><u>-</u></b> (вид)
Форма навчання <b><u>Денна</u></b> (денна, заочна)	Кількість кредитів (годин) <b><u>5/150</u></b>	Вид та форма семестрового контролю <b><u>Екзамен</u></b> (екзамен / залік; усний / письмовий / тестування тощо)

Цей курс є логічним продовженням профілюючих курсів циклу професійної підготовки таких як "Термодинаміка і кінетика металургійних процесів", "Фізика рідкого стану і металургійна спадковість", "Основи структуроутворення металів і сплавів" і має тісний зв'язок із рядом фізичних та матеріалознавчих дисциплін, а саме - з фізикою металів, загальною і атомною фізикою, фізикою газового розряду, фізикою твердого тіла, фізичною металургією та ін.

Доктор філософії з металургії як фахівець повинен мати глибокі теоретичні знання і володіти відповідними навичками використання фундаментальних знань для їх застосування при одержанні високоякісних, з підвищеними властивостями металів та сплавів.

Даний курс має велике значення для формування майбутнього доктора філософії з металургії, розширює технологічні можливості фахівця. Кредитний модуль пов'язаний з дисциплінами «Основи структуроутворення металів і сплавів», «Методи отримання металів і сплавів», «Методи дослідження металів і сплавів».

## 2. Мета та завдання кредитного модуля

2.1. Метою кредитного модуля є формування в аспірантів здатностей:

– 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).

## 2.2. Основні завдання кредитного модуля.

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).3. Структура кредитного модуля

Назви розділів і тем	Кількість годин				
	Всього	у тому числі			
		Лекції	Практичні (семінарські)	Лабораторні	СР аспіранта
1	2	3	4	5	6
<b>Розділ 1 Спеціальна електromеталургія, основні напрямки та перспективи розвитку</b>					
Тема 1.1 Основні напрямки спеціальної електromеталургії.	8	2	2		4
Тема 1.2 Тенденції розвитку спеціальної електromеталургії в світі.	8	2	2		4
<b>Разом за розділом 1</b>	<b>16</b>	<b>4</b>	<b>4</b>		<b>8</b>
<b>Розділ 2 Електронно-променева плавка металів і сплавів - новий спосіб вакуумної металургії</b>					
Тема 2.1 Принцип електронно-променевого нагріву. Фізико-хімічні основи рафінування металів і сплавів у вакуумі.	8	2	2		4
Тема 2.2 Управління кристалізацією металу при електронно-променевій плавці з проміжною ємністю. Якість металу після електронно-променевого переплаву.	16	6	2		8
<b>Разом за розділом 2</b>	<b>24</b>	<b>8</b>	<b>4</b>		<b>12</b>

<b>Розділ 3 Плазмово-дугова технологія</b>					
Тема 3.1 Основні електричні та теплофізичні параметри низькотемпературної плазми. Фізико-хімічні та теплофізичні особливості плазмово-дугової плавки.	8	2	2		4
Тема 3.2 Технологічні способи плазмово-дугової плавки. Формування і кристалізація злитка при ПДТ.	8	2	2		4
<b>Разом за розділом 3</b>	<b>16</b>	<b>4</b>	<b>4</b>		<b>8</b>
<b>Розділ 4 Вакуумно-дуговий переплав</b>					
Тема 4.1. Плавлення металу електричною дугою у вакуумі. Класифікація процесів ВДП і їх фізико-хімічні особливості.	8	2	2		4
Тема 4.2 Якість злитків, виливків і техніко-економічні показники процесу.	8	2	2		4
<b>Разом за розділом 4</b>	<b>16</b>	<b>4</b>	<b>4</b>		<b>8</b>
<b>Розділ 5 Індукційна плавка</b>					
Тема 5.1 Нагрівання металу в електромагнітному полі. Фізико-хімічні особливості плавки металу в індукційних печах.	12	6			6
Тема 5.2 Основи технології, обладнання та якість металу.	12	6			6
<b>Разом за розділом 5</b>	<b>24</b>	<b>12</b>			<b>12</b>
<b>Розділ 6 Електрошлакова технологія.</b>					
Тема 6.1 Фізико-хімічні та теплофізичні явища при ЕШП.	8	2	2		4
Тема 6.2 Техніка, технологія і устаткування для ЕШП.	4	2			2
<i>Модульна контрольна робота 1</i>	12				12
<b>Разом за розділом 6</b>	<b>24</b>	<b>4</b>	<b>2</b>		<b>18</b>
Підготовка до екзамену	30				30
<b>Усього годин</b>	<b>150</b>	<b>36</b>	<b>18</b>		<b>96</b>

#### 4. Лекційні заняття

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, завдання на СР з посиланням на літературу)
1	<p><b>Предмет та задачі курсу. Основні напрямки спеціальної електрометалургії.</b> Електронно-променева плавка. Плазмово-дуговий переплав. Вакуумно-дугова плавка. Індукційна плавка. Електрошлаковий переплав.(2 години).</p> <p>Література основна: [1, 2] Література допоміжна: [6] Завдання на СР аспіранту : - <i>передумови розвитку спеціальної металургії;</i> - <i>вплив домішок на властивості сталі;</i></p>

	- сталевий зливок і шляхи підвищення його якості;
2	<p><b>Тенденції розвитку спеціальної електрометалургії в світі.</b> Адитивні технології. Укрупнення зливків. Гібридні процеси. (2 години).</p> <p>Література основна: [1, 9] Література допоміжна: [6] Завдання на СР аспіранту :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- композиційні зливки для енергетичного машинобудування;</li> <li>- 3D-технології титану;</li> <li>- плазмово-індукційне вирощування монокристалів тугоплавких металів;</li> <li>-</li> </ul>
3.	<p><b>Принцип електронно-променевого нагріву. Фізико-хімічні основи рафінування металів і сплавів у вакуумі.</b> 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.</p> <p>Література основна: [3, 4] Література допоміжна: [1, 3] Завдання на СР аспіранту :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- явища, що супроводжують електронно-променеве нагрівання поверхні металу;</li> <li>- основні формули та закономірності електронно-променеве нагрівання;</li> <li>- основні типи електронно-променевих гармат;</li> <li>- основні типи вакуумних насосів.</li> </ul>
4.	<p><b>Управління кристалізацією металу при електронно-променевій плавці. Якість металу після електронно-променевого переплаву.</b> 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.</p> <p>Література основна: [3, 4] Література допоміжна: [1, 2] Завдання на СР аспіранту :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- режими нагрівання електронним променем;</li> <li>- тепловий баланс електронно-променевої плавки;</li> <li>- перегрівання поверхні металевої ванни при ЕПП;</li> <li>- особливості будови зливків електронно-променевої плавки;</li> </ul>
5.	<p><b>Основні електричні та теплофізичні параметри низькотемпературної плазми. Фізико-хімічні та теплофізичні особливості плазмово-дугової плавки.</b> Вольтамперні 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.</p>

	<p>Література основна: [5, 6]  Література допоміжна: [5, 7]  Завдання на СР аспіранту :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>тепловміст низькотемпературної плазми;</i></li> <li>- <i>плазмоутворюючі гази та суміші;</i></li> <li>- <i>умови горіння плазмової дуги.</i></li> </ul>
6.	<p><b>Технологічні способи плазмово-дугової плавки. Формування і кристалізація злитка при ПДТ.</b>  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.</p> <p>Література основна: [5, 6] .  Література допоміжна: [6, 8]  Завдання на СР аспіранту :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>класифікація металургійних плазмотронів;</i></li> <li>- <i>легування сталей та сплавів азотом із газової фази;</i></li> <li>- <i>витратний плазмотрон.</i></li> </ul>
7.	<p><b>Плавлення металу електричною дугою у вакуумі. Класифікація процесів ВДП і їх фізико-хімічні особливості.</b>  Електрична дуга як джерело теплоти. Класифікація процесів ВДП. Фізико-хімічні особливості плавлення металу електричною дугою у вакуумі. Дегазація металу на різних стадіях плавлення.</p> <p>Література основна: [1, 2]  Література допоміжна: [ 4 ]  Завдання на СР аспіранту :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>розподілення потенціалу по довжині дугового розряду;</i></li> <li>- <i>регулювання довжини дуги.</i></li> </ul>
8.	<p><b>Якість злитків, виливків і техніко-економічні показники процесу.</b>  Конструктивно-технологічні особливості процесів ВДП. Основи технології, обладнання та якість металу. Особливості формування злитка.</p> <p>Література основна: [1,2]  Література допоміжна: [ 4 ]  Завдання на СР аспіранту :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>системи живлення та вакуумування;</i></li> <li>- <i>дефекти будови злиwkів ВДП.</i></li> </ul>
9.	<p><b>Нагрівання металу в електромагнітному полі. Фізико-хімічні особливості плавки металу в індукційних печах.</b>  Фізико-хімічні особливості плавки металу в індукційних печах. Нагрівання металу в електромагнітному полі. Перемішування рідкого металу. Взаємодія металу з тиглем.</p> <p>Література основна: [7-9]  Література допоміжна: [ 4 ]  Завдання на СР аспіранту :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>стадії нагрівання сталюого тіла;</i></li> </ul>



	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>робоча частота струму;</i></li> <li>- <i>електричний ккд індукційної плавки;</i></li> </ul>
10.	<p><b>Основи технології, обладнання та якість металу.</b> Основи технології, обладнання та якість металу. Відкрита індукційна плавка. Плавка в секційному водоохолоджуваному кристалізаторі. Зонна плавка. Плазмово-індукційне виробування монокристалів тугоплавких металів.</p> <p>Література основна: [7, 8] Література допоміжна: [ 4 ] Завдання на СР аспіранту :  <ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>вакуумна індукційна плавка;</i></li> <li>- <i>індукційна плавка у зваженому стані;</i></li> <li>- <i>типи високочастотних генераторів;</i></li> <li>- <i>інтенсифікація індукційної плавки.</i></li> </ul> </p>
11.	<p><b>Шлакова ванна як джерело теплоти. Фізико-хімічні та теплофізичні явища при ЕШП.</b> Фізико-хімічні та теплофізичні явища при ЕШП. Основні реакції в шлаці та металі, поведінка неметалевих включень. Температурні поля, характер плавлення металу і його кристалізація.</p> <p>Література основна: [10, 11] Література допоміжна: [ 9 ] Завдання на СР аспіранту :  <ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>шлаки, що використовуються при ЕШП;</i></li> <li>- <i>особливості старту;</i></li> <li>- <i>особливості формування зливків при ЕШП.</i></li> </ul> </p>
12.	<p><b>Техніка, технологія і устаткування для ЕШП.</b> Техніка, технологія і устаткування для ЕШП. Принципові електричні та конструктивні схеми печей і установок ЕШП. Області застосування та якість електрошлакового металу.</p> <p>Література основна: [1, 10, 11] Література допоміжна: [ 9 ] Завдання на СР аспіранту :  <ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>дугошлаковий процес;</i></li> <li>- <i>порційне електрошлакове відливання зливків.</i></li> </ul> </p>

## 5. Практичні заняття<sup>1</sup>

Основним завданням циклу практичних занять є закріплення знань, що були одержані на лекційних заняттях.

№ з/п	Назва теми заняття
1.	<p><i>Практичне заняття № 1 .Конструкційні та технологічні особливості електронно-променевої плавки. (2 години).</i></p> <p><i>Завдання на СР аспіранту:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>номограми із вибору параметрів плавки для забезпечення отримання металу заданого ступеня чистоти;</i></li> </ul>

<sup>1</sup> За наявності ПЗ

	<p><i>- практичні рекомендації щодо влаштування вакуумних систем електронно-променевих плавильних установок.</i></p>
2.	<p><i>Практичне заняття № 2. Конструкційні та технологічні особливості індукційної плавки в керамічному тиглі.</i>  <i>Завдання на СР аспіранту:</i>  <i>- ознайомитись з технологіями футерування та спікання плавильного тигля для відкритої індукційної плавки;</i>  <i>- розрахунок індукційної печі без магнітопроводу.</i></p>
3.	<p><i>Практичне заняття № 3. Конструкційні та технологічні особливості індукційної плавки у водоохолоджуваному секційному кристалізаторі.</i>  <i>Завдання на СР аспіранту:</i>  <i>- дослідження енергетичних характеристик системи індуктор - кристалізатор - садка установок індукційного переплаву в секційному кристалізаторі;</i>  <i>- будова та особливості роботи лампових високочастотних генераторів</i></p>
4.	<p><i>Практичне заняття № 4. Конструкційні та технологічні особливості плазмово-дугової плавки у водоохолоджуваному кристалізаторі.</i>  <i>Завдання на СР аспіранту:</i>  <i>- тепловий розрахунок металургійного плазмотрона;</i>  <i>- схеми живлення та запуску дугових плазмотронів прямої дії;</i>  <i>- розрахунок вмісту азоту в сталі при плазмово-дуговому легуванні із газової фази;</i></p>
5.	<p><i>Практичне заняття № 5. Конструкційні та технологічні особливості плазмово-дугової плавки у керамічному тиглі.</i>  <i>Завдання на СР аспіранту:</i>  <i>- схеми живлення трьохфазної групи плазмотронів;</i>  <i>- схеми газопостачання та газоочищення.</i></p>
6.	<p><i>Практичне заняття № 6. Конструкційні та технологічні особливості електрошлакової плавки з витратним електродомом.</i>  <i>Завдання на СР аспіранту:</i>  <i>- регулятори струму електрошлакових печей;</i>  <i>- розрахунок робочих характеристик електрошлакового переплаву.</i></p>
7.	<p><i>Практичне заняття № 7. Конструкційні та технологічні особливості електрошлакової плавки з невитратним графітовим електродомом.</i>  <i>Завдання на СР аспіранту:</i>  <i>- особливості підготовки флюсів до плавки;</i>  <i>- джерела живлення електрошлакових печей.</i></p>
8.	<p><i>Практичне заняття № 8. Конструкційні та технологічні особливості плазмово-індукційної зонної плавки.</i>  <i>Завдання на СР аспіранту:</i>  <i>- регулювання потужності плазмотрона по висоті та дожині плоского зливка;</i>  <i>- склад плазмово-утворюючої суміші газів та її вплив на процес формування зливка.</i></p>
9.	<p><i>Практичне заняття № 9. Конструкційні та технологічні особливості плазмово-дугового спінігування.</i>  <i>Завдання на СР аспіранту:</i>  <i>- матеріальний баланс процесу плазмово-дугового спінігування;</i>  <i>- особливості підготовки поверхні барабана-холодильника для спінігування.</i></p>

## 6. Семінарські заняття<sup>2</sup>

Семінарські заняття навчальним планом не передбачені.

## 7. Лабораторні заняття<sup>3</sup>

Лабораторні заняття навчальним планом не передбачені.

## 8. Самостійна робота<sup>4</sup>

Робочою навчальною програмою кредитного модулю «Спеціальні металургійні технології» відведено 96 годин на самостійну роботу аспіранта, яка міститься в роботі над конспектом лекцій, монографіями, підручниками, науковими періодичними виданнями, базами наукової електронної інформації при підготовці до лекцій, 9 практичних занять, 1 модульної контрольної роботи при підготовці до іспиту. Розрахунок годин самостійної роботи проводиться за формулою:

$$T_{CP \text{ Асп.}} = 1t_L + 1t_{ПЗ} + 1MCP + \text{Екзамен},$$

де: *L* – лекції; *ПЗ* – практичні заняття; *MCP* – модульні контрольні роботи; Екзамен.

$$T_{CP \text{ Асп.}} = 1 \times 36 + 1 \times 18 + 1 \times 12 + 30 = 96$$

## 9. Контрольні роботи<sup>5</sup>

Пропонується проведення 1 контрольної роботи на базі 1 модульної контрольної роботи після вивчення окремих розділів 1- 6 дисципліни. Форма і методи контролю визначаються викладачем у залежності від конкретного часу аудиторних занять та кількості аспірантів.

Метою граничних контрольних робіт є визначення ступеня засвоєння аспірантом представленого в курсі матеріалу. При цьому визначаються основні знання, вміння та навички, придбані а при вивченні аспірантами дисципліни.

### **Контрольна робота, запитання:**

- *передумови розвитку спеціальної металургії;*
- *основні напрямки спеціальної електрометалургії;*
- *вплив домішок на властивості сталі;*
- *сталевий зливоч і шляхи підвищення його якості;*
- *тенденції розвитку спеціальної електрометалургії в світі;*
- *адитивні технології 3D-технології;*
- *гібридні процеси;*
- *укрупнення зливків;*
- *явища, що супроводжують електронно-променево нагрівання поверхні металу;*
- *основні формули та закономірності електронно-променевого нагрівання;*
- *основні типи електронно-променевих гармат;*

---

<sup>2</sup> За наявності СЗ

<sup>3</sup> За наявності ЛР, КП

<sup>4</sup> За умови виділення певної частки навчального матеріалу на самостійне вивчення.

<sup>5</sup> За наявності

- *потужність електронного пучка;*
- *режими нагрівання електронним променем;*
- *глибина проникнення електронів;*
- *перегрівання поверхні металевої ванни при ЕПП;*
- *основні технологічні схеми плавок;*
- *конструктивні особливості установок для електронно-променевого переплаву і їх технічні характеристики.*
- *основні типи вакуумних насосів;*
- *ефективність рафінування металів і сплавів від газів, неметалевих включень і легколетючих домішок;*
- *номограми із вибору параметрів плавки для забезпечення отримання металу заданого ступеня чистоти;*
- *умови кристалізації металу при електронно-променевої плавці;*
- *особливості будови зливків електронно-променевої плавки;*
- *тепловий баланс електронно-променевої плавки;*
- *нові технологічні процеси електронно-променевої плавки.*
- *вольт-амперні характеристики плазмової дуги;*
- *тепловіст низькотемпературної плазми;*
- *ступінь іонізації;*
- *температурне поле;*
- *розчинність газів у металах і сплавах;*
- *активація газів у дузі;*
- *рекомбінація газів;*
- *зона абсорбції і зона десорбції;*
- *активність, параметри взаємодії, залежність від температури та тиску;*
- *основні реакції в системах: газ-метал, газ-шлак-метал;*
- *плазмоутворюючі гази та суміші;*
- *умови горіння плазмової дуги.*
- *формування і кристалізація злитка;*
- *перенесення металу;*
- *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.*
- *класифікація металургійних плазмотронів;*
- *легування сталей та сплавів азотом із газової фази;*
- *електрична дуга як джерело теплоти;*
- *фізико-хімічні особливості плавлення металу електричною дугою у вакуумі;*
- *дегазація металу на різних стадіях плавлення;*
- *конструктивно-технологічні особливості процесів ВДП;*
- *регулювання довжини дуги;*
- *особливості формування злитка при ВДП*
- *системи живлення та вакуумування;*
- *дефекти будови зливків ВДП.*
- *нагрівання металу в електромагнітному полі;*
- *перемішування рідкого металу;*
- *взаємодія металу з тиглем;*
- *робоча частота струму;*
- *типи високочастотних генераторів;*
- *вакуумна індукційна плавка;*
- *плавка в секційному водоохолоджуваному кристалізаторі;*
- *зонна плавка;*
- *плазмово-індукційне вирощування монокристалів тугоплавких металів.*

- індукційна плавка у зваженому стані;
- інтенсифікація індукційної плавки;
- фізико-хімічні та теплофізичні явища при ЕШП;
- основні реакції в шлаці та металі, поведінка неметалевих включень;
- температурні поля;
- характер плавлення металу;
- особливості формування зливків при ЕШП;
- принципові електричні та конструктивні схеми печей і установок ЕШП;
- особливості старту;
- дугошлаковий процес;
- порційне електрошлакове відливання зливків.
- області застосування та якість електрошлакового металу.

## 10. Рейтингова система оцінювання результатів навчання<sup>б</sup>

Рейтингова система оцінювання результатів навчання наведена в додатку 1.

## 11. Методичні рекомендації

Робоча навчальна програма складена з урахуванням направлення підготовки фахівця. Для послідовного і повного вивчення та засвоєння матеріалу вона розбивається на 6 основних розділів. Особливу увагу слід приділяти не тільки засвоєнню конкретних теоретичних положень, а й практичному їх використанні. При складанні заліку аспіранти на основі одержаних ними знань повинні охарактеризувати методи підвищення ефективності металургійного виробництва.

## 12. Рекомендована література

### 12.1. Базова

1. Волкотруб М.П. Процеси спеціальної електрометалургії: Підручник / М.П.Волкотруб, Д.Ф.Чернега, В.Г.Могилатенко, В.О.Шаповалов; За ред. Б.С.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. Ключев 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

### Рейтингова система оцінки успішності аспірантів

з кредитного модуля (дисципліни): «Спеціальні металургійні технології», ОНП 6/І для спеціальності: 136 - Металургія

відділ: Плазмово-шлакової металургії

Розподіл навчального часу за видами занять і завдань з дисципліни згідно з робочим навчальним планом.

Семестр	Навчальний час		Розподіл навчальних годин				Контрольні заходи		
	кредити	академічних годин	Лекції	Практика	Лаб. заняття	СР аспіранта	МКР	РР	Семестрова атестація
4	5	150	36	18	-	96	1	-	Екзамен

Рейтинг аспіранта з дисципліни<sup>7</sup> складається з балів, що він отримує за:

1. Письмове питання, яке кожен аспірант отримує в кінці кожного практичного заняття (час відповіді 15 хвилин).
2. Результати 1 модульної контрольної роботи.
3. Відповідь при проведенні екзамену.

#### Система рейтингових (вагових) балів та критерії оцінювання

1. Робота на практичних заняттях.

**Ваговий бал – 2.** Максимальна кількість балів на всіх практичних заняттях дорівнює  $2 \cdot 9 = 18$  балів (*1-2 бали* - відповідь на питання, *0 балів* - відсутність відповіді)

2. Модульний контроль

**Ваговий бал 6.** Максимальна кількість балів за контрольну роботу дорівнює 30. Контрольна робота складається з *5 питань*, що максимально оцінюються по *6 бали* кожне.

«відмінно» - 6 балів;

«добре» - 5-4 бали;

«задовільно» - 3 бали;

«незадовільно» - 2 та менше балів.

3. Штрафні бали

ü Відсутність на лекції, практичному занятті без поважної причини **-1 бал**;

**Розрахунок шкали (R) рейтингу:**

---

Сума вагових балів контрольних заходів протягом семестру складає:

$$R_c = 18 + 30 = 48 \text{ балів}$$

При проведенні заліку аспіранти виконують письмову контрольну роботу. Кожне завдання містить два теоретичних і одне практичне питання. Перелік питань наведено в робочій навчальній програмі. Кожне теоретичне питання оцінюється у 16 балів а практичне у 20 балів.

Система оцінювання теоретичних питань:

- «відмінно» - повна відповідь (не менше 90% потрібної інформації) – 16...14 балів;
- «добре» - достатньо повна відповідь (не менше 75% потрібної інформації, або незначні неточності) – 13...9 балів;
- «задовільно» - неповна відповідь (не менше 60% потрібної інформації та деякі помилки) – 8 -4 балів;
- «незадовільно» - загалом неправильна відповідь, або її відсутність – 0 балів.

Система оцінювання практичного заняття:

- «відмінно» - повне безпомилкове розв'язування завдання – 20...16 балів;
- «добре» - повне розв'язування завдання з несуттєвими неточностями 15...10 балів;
- «задовільно» - завдання виконано з певними недоліками – 9...5 балів;
- «незадовільно» - завдання не виконано – 0 балів.

Сума стартових балів і балів за іспитову контрольну роботу переводиться до іспитової оцінки згідно з таблицею:

Бали $R_D = R_C + R_E$	Залікова оцінка
95...100	Відмінно
85...94	Дуже добре
75...84	Добре
65...74	Задовільно
60...64	Достатньо
Менше 60	Незадовільно
Не зараховано розрахункову роботу або $R_C < 20$	Не допущено

**Програму розробили:**

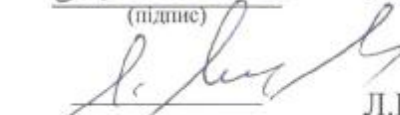
Зав. відділом

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