

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ФАКУЛЬТЕТ МЕТАЛУРГІЇ  
КАФЕДРА МЕТАЛУРГІЇ

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Декан факультету металургії

\_\_\_\_\_ Румянцев В.Р.  
(підпис) (ініціали та прізвище)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2020 р.

**ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ЛЕГУВАННЯ СТАЛІ**  
(назва навчальної дисципліни)

**РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ**

підготовки \_\_\_\_\_ магістра  
(назва освітнього ступеня)

спеціальності \_\_\_\_\_ 136 «Металургія»  
(шифр, назва спеціальності)

освітньо-професійна програма \_\_\_\_\_ «Металургія»  
(назва)

Укладач /Укладачі: \_\_\_\_\_ Харченко О. В., к.т.н., доцент  
(ПІБ, науковий ступінь, вчене звання, посада)

Обговорено та ухвалено  
на засіданні кафедри \_\_\_\_\_ металургії

Протокол № 1 від “23” січня 2020 р.  
Завідувач кафедри \_\_\_\_\_ металургії  
\_\_\_\_\_ проф. Терновий Ю.Ф.  
(підпис) (ініціали, прізвище)

Ухвалено науково-методичною радою  
факультету \_\_\_\_\_ металургії

Протокол № 5 від “24” січня 2020 р.  
Голова науково-методичної ради  
факультету \_\_\_\_\_ металургії  
\_\_\_\_\_ доц. Мосейко Ю.В.  
(підпис) (ініціали, прізвище)

2020 рік

## 1. Опис навчальної дисципліни

| Найменування показників                                                                                | Галузь знань,<br>спеціальність, освітньо-<br>професійна програма,<br>рівень вищої освіти | Характеристика навчальної<br>дисципліни    |                          |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|--------------------------|
|                                                                                                        |                                                                                          | денна форма<br>навчання                    | заочна форма<br>навчання |
| Кількість кредитів – 4                                                                                 | Галузь знань<br><b>13 Механічна інженерія</b><br>(шифр і назва)                          | Нормативна                                 |                          |
| Розділів – 3                                                                                           | Спеціальність<br><b>136 «Металургія»</b><br>(шифр і назва)                               | Цикл дисциплін професійної<br>підготовки   |                          |
| Загальна кількість<br>годин – 120                                                                      |                                                                                          | <b>Рік підготовки:</b>                     |                          |
|                                                                                                        |                                                                                          | I - й                                      | I - й                    |
| Тижневих годин для денної<br>форми навчання:<br>аудиторних – 3<br>самостійної роботи<br>студента – 5,7 | Освітньо-професійна програма<br><b>«Металургія»</b>                                      | <b>Лекції</b>                              |                          |
|                                                                                                        |                                                                                          | 26 год.                                    | 8 год.                   |
|                                                                                                        |                                                                                          | <b>Практичні</b>                           |                          |
|                                                                                                        |                                                                                          | 14 год.                                    | 4 год.                   |
|                                                                                                        | Рівень вищої освіти:<br><b>магістерський</b>                                             | <b>Лабораторні</b>                         |                          |
|                                                                                                        |                                                                                          | -                                          | -                        |
|                                                                                                        |                                                                                          | <b>Самостійна робота</b>                   |                          |
|                                                                                                        |                                                                                          | 80 год.                                    | 108 год.                 |
|                                                                                                        |                                                                                          | <b>Вид підсумкового контролю:</b><br>залік |                          |

## 2. Мета та завдання навчальної дисципліни

**Метою** викладання дисципліни «Перспективні технології легування сталі» є надання студентам теоретичних і практичних знань про перспективні технології легування сталі і фізико-хімічні процеси, що лежать в їх основі, сучасного стану розвитку технологій для їх реалізації. «Перспективні технології легування сталі» є фаховою дисципліною, для вивчення якої необхідні знання з наступних дисциплін: «Теорія металургійних процесів», «Хімічна термодинаміка», «Теорія і технологія сталеплавильного виробництва».

**Завданням** дисципліни є:

- закріплення засвоєних знань, на базі яких будуть отримані фундаментальні та прикладні знання для проведення різноманітних досліджень, компетентного і відповідального вирішення виробничо-технічних задач;
- надання студентам навичок роботи зі спеціалізованим науково-дослідним та навчальним програмним комплексом «Excalibur»;
- надання студентам компетентностей згідно стандарту вищої освіти за спеціальністю 136 «Металургія».

У результаті вивчення навчальної дисципліни студент повинен **знати:**

- фізико-хімічні процеси, що відбуваються при легуванні сталі;

- технологію прямого легування сталі марганецьвмісними оксидними матеріалами;
- технологію прямого легування сталі ванадійвмісними оксидними матеріалами;
- технологію вторинного електротермічного легування і рафінування сталі.

**вміти:**

- за допомогою програми «Excalibur» розраховувати рівноважний склад системи «метал-шлак-газ»;
- за допомогою програми «Excalibur» розраховувати оптимальні режими легування сталі за умов одно- та двосторонніх обмежень, що накладаються на наявність легуючих матеріалів, температуру, маси і склад металу, шлаку і газу;
- аналізувати результати взаємодії розчинених елементів між собою і з киснем шлакової та газової фази.

Згідно з вимогами освітньо-професійної програми студенти повинні досягти таких **компетентностей**:

- здатність застосовувати системний підхід до вирішення проблем металургії;
- критичне осмислення наукових фактів, концепцій, теорій, принципів і методів, необхідних для професійної діяльності в сфері металургії;
- здатність застосовувати і інтегрувати знання на основі розуміння інших інженерних спеціальностей;
- здатність виявляти, класифікувати і описувати ефективність систем, компонентів і процесів в металургії на основі використання аналітичних методів і методів моделювання;
- усвідомлення контекстів, в яких можуть бути застосовані знання металургії (наприклад, управління процесами та обладнанням, менеджмент, розробка технології тощо);
- усвідомлення характеристик специфічних матеріалів, обладнання, процесів та продуктів відповідної спеціалізації.

Після вивчення дисципліни «Перспективні технології легування сталі» студенти набувають знання та вміння, які відповідають результатам освітньо-професійної програми «Металургія»:

- ПР03. Передові знання принаймні за однією зі спеціалізацій в металургії;
- ПР08. Вміння розробляти і проектувати, відповідно до спеціалізації, складні вироби, процеси і системи, які задовольняють встановлені вимоги, що передбачає обізнаність про нетехнічні (суспільство, здоров'я і безпека, навколишнє середовище, економіка) аспекти, обрання і застосовування адекватної методології проектування, у тому числі інструментами автоматизованого проектування;
- ПР 10. Розуміння особливостей матеріалів, що застосовуються,

обладнання та інструментів, інженерних технологій і процесів, а також їх обмежень відповідно до спеціалізації.

### **Міждисциплінарні зв'язки.**

Відповідно до ОПП дисципліна «Перспективні технології легування сталі» відноситься до вибірових компонентів освітньо-професійної програми. Вона безпосередньо пов'язана з іншими дисциплінами циклу професійної підготовки («Сировинні матеріали та їх підготовка до металургійного виробництва», «Теорія і технологія сталеплавильного виробництва», «Конвертерне виробництво сталі», та ін.). Для вивчення даної дисципліни необхідні знання з теорії металургійних процесів, хімічної термодинаміки, теорії і технології сталеплавильного виробництва. Знання та вміння, набуті при вивченні дисципліни «Перспективні технології легування сталі», будуть використовуватись безпосередньо у виробничому процесі в сталеплавильних цехах металургійних підприємств та в науково-дослідницькій роботі. Вони також необхідні для формування і розвитку основних загальнокультурних і професійних компетентностей.

## **3. Програма навчальної дисципліни**

### **Розділ 1 – Теоретичні основи нових ресурсозберігаючих технологій легування сталі**

#### *Тема 1. Вступ до дисципліни. Історична довідка про легування сталі.*

Вступ до дисципліни. Історична довідка про легування сталі. Природно-легована сталь. Тигельна сталь. Технологічні передумови для виробництва феросплавів. Наукові передумови для виробництва легованої сталі. Початок промислового виробництва легованої сталі.

#### *Тема 2. Загальна фізико-хімічна характеристика процесів легування сталі.*

Розчинення легуючих елементів в рідкому залізі. Коефіцієнти активності елементів в залізі. Параметри взаємодії Вагнера. Вплив легуючих елементів на розчинність в рідкому залозі газів, сірки і фосфору. Роль пічного шлаку при легуванні сталі.

#### *Тема 3. Теплові ефекти розкислення-легування сталі.*

Теплота нагріву феросплавів до температури рідкої сталі. Теплота плавлення феросплавів. Теплота розчинення компонентів феросплавів в сталі. Теплота хімічних реакцій окислення компонентів феросплавів. Тепловий ефект розкислення-легування конструкційної сталі.

#### *Тема 4. Диференціальні коефіцієнти засвоєння.*

Визначення диференціальних коефіцієнтів засвоєння. Зв'язок з рівняннями рівноваги у термодинамічній системі «метал-шлак-газ». Виведення диференціальних коефіцієнтів засвоєння у явному вигляді.

Вимоги до матриці диференціальних коефіцієнтів засвоєння. Диференціальна концентраційна матриця. Застосування диференціальних коефіцієнтів засвоєння для оптимізації шихтових матеріалів.

## **Розділ 2 – Вторинне електротермічне легування і рафінування сталі**

*Тема 5. Теоретичні основи вторинного електротермічного легування і рафінування (ВЕЛР).*

Теоретичні та практичні передумови технології електротермічного легування і рафінування сталі. Принцип електронейтральності шлаку. Крива електронейтральності. Координати хімічних елементів на кривій електронейтральності. Зсув рівноваги в системі «метал-шлак-газ» при додаванні електричного заряду до шлаку. Питомий заряд шлаку. Тепловий ефект і кратність шлаку в позитивних і негативних процесах ВЕЛР.

*Тема 6. Схема лабораторної і промислової установок ВЕЛР.*

Схема лабораторної установки ВЕЛР і принцип її дії. Вольт-амперна характеристика лабораторної установки. Схема промислової установки ВЕЛР і принцип її дії. Експериментальні дослідження технології ВЕЛР. Рафінувальний ефект ВЕЛР.

*Тема 7. Легування сталі лужноземельними металами.*

Вплив питомого заряду шлаку і зовнішнього тиску на пружність і кратність газової фази, вміст домішок і легуючих елементів в процесі вторинного електротермічного легування і рафінування металу. Особливості поведінки лужноземельних металів в процесі ВЕЛР. Технологічні аспекти легування сталі лужноземельними металами в процесі ВЕЛР.

*Тема 8. Застосування ВЕЛР для киснево-конвертерного виробництва.*

Експериментальні і теоретичні передумови використання негативного заряду шлаку на процес киснево-конвертерної плавки. Інтенсифікація киснево-конвертерної плавки шляхом надання шлаковому розплаву конвертерної ванни негативного потенціалу. Вплив низьковольтного електричного потенціалу шлаку з негативним зарядом на процеси, що протікають при окислювальному рафінуванні залізовуглецевого розплаву. Можливість зменшення частки рідкого чавуну в шихті плавки і зменшення обсягу кисневого дуття при виплавці напівпродукту в конверторній ванні.

## **Розділ 3 – Розвиток технологій прямого легування сталі оксидними матеріалами**

*Тема 9. Пряме легування сталі марганецьвмісними оксидними матеріалами.*

Наскрізні втрати марганцю при видобутку сировини, його збагаченні, при виплавці феросплавів і при легуванні сталі. Теплові втрати при виробництві марганцевистих феросплавів. Алюмотермічне і силікотермічне

відновлення марганцю з оксидних матеріалів. Недоліки прямого легування сталі марганцем.

*Тема 10. Особливості технології прямого легування сталі марганецьвмісними оксидними матеріалами.*

Матеріали для прямого легування сталі марганцем. Вимоги до якості марганцевої сировини. Особливості кінетики процесу прямого легування. Використання оксидних матеріалів при виробництві високомарганцевістих сталей. Економічні аспекти відновлення марганцю з марганецьвмісних матеріалів.

*Тема 11. Пряме легування сталі ванадійвмісними оксидними матеріалами.*

Термодинамічні умови відновлення ванадію з ванадійвмісних оксидних матеріалів. Відновлення пентаксиду ванадію вуглецем. Відновлення пентаксиду ванадію кремнієм. Спільне відновлення пентаксіда ванадію вуглецем і кремнієм.

*Тема 12. Особливості технології прямого легування сталі ванадійвмісними оксидними матеріалами.*

Відновлення збагаченого ванадієвого шлаку вуглецем. Можливості процесу прямого легування сталі ванадієм з ванадійвмісного шлаку. Технологія мікролегування сталі ванадієм з ванадійвмісного шлаку в умовах ЕСПЦ.

#### 4. Структура навчальної дисципліни

| Назви тематичних розділів і тем                                                         | Кількість годин |              |       |      |        |              |              |       |      |        |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|--------------|-------|------|--------|--------------|--------------|-------|------|--------|
|                                                                                         | денна форма     |              |       |      |        | заочна форма |              |       |      |        |
|                                                                                         | усього          | у тому числі |       |      |        | усього       | у тому числі |       |      |        |
|                                                                                         |                 | л            | практ | лаб. | сам.р. |              | л            | практ | лаб. | сам.р. |
| 1                                                                                       | 2               | 3            | 4     | 5    | 6      | 7            | 8            | 9     | 10   | 11     |
| <b>Розділ 1 – Теоретичні основи нових ресурсозберігаючих технологій легування сталі</b> |                 |              |       |      |        |              |              |       |      |        |
| Тема 1. Вступ до дисципліни. Історична довідка про легування сталі.                     | 10              | 2            |       |      | 8      | 20           | 2            |       |      | 18     |
| Тема 2. Загальна фізико-хімічна характеристика процесів легування сталі.                | 10              | 4            |       |      | 6      |              |              |       |      |        |

|                                                                                        |           |           |          |  |           |           |          |          |  |           |
|----------------------------------------------------------------------------------------|-----------|-----------|----------|--|-----------|-----------|----------|----------|--|-----------|
| Тема 3. Теплові ефекти розкислення-легування сталі.                                    | 10        | 2         | 2        |  | 6         | 20        | 2        |          |  | 18        |
| Тема 4. Диференціальні коефіцієнти засвоєння.                                          | 10        | 2         | 2        |  | 6         |           |          |          |  |           |
| <b>Разом за розділом 1</b>                                                             | <b>40</b> | <b>10</b> | <b>4</b> |  | <b>26</b> | <b>40</b> | <b>4</b> |          |  | <b>36</b> |
| <b>Розділ 2 – Вторинне електротермічне легування і рафінування сталі</b>               |           |           |          |  |           |           |          |          |  |           |
| Тема 5. Теоретичні основи вторинного електротермічного легування і рафінування (ВЕЛР). | 10        | 2         | 2        |  | 6         | 20        | 1        | 1        |  | 18        |
| Тема 6. Схема лабораторної і промислової установок ВЕЛР.                               | 10        | 2         |          |  | 8         |           |          |          |  |           |
| Тема 7. Легування сталі лужноземельними металами.                                      | 10        | 2         | 2        |  | 6         | 20        | 1        | 1        |  | 18        |
| Тема 8. Застосування ВЕЛР для киснево-конвертерного виробництва.                       | 10        | 2         | 2        |  | 6         |           |          |          |  |           |
| <b>Разом за розділом 2</b>                                                             | <b>40</b> | <b>8</b>  | <b>6</b> |  | <b>26</b> | <b>40</b> | <b>2</b> | <b>2</b> |  | <b>36</b> |

|                                                                                     |    |   |   |  |   |    |   |   |  |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----|---|---|--|---|----|---|---|--|----|
| <b>Розділ 3 – Розвиток технологій прямого легування сталі оксидними матеріалами</b> |    |   |   |  |   |    |   |   |  |    |
| Тема 9. Пряме легування сталі марганецьвмісними оксидними матеріалами.              | 10 | 2 | 2 |  | 6 | 20 | 1 | 1 |  | 18 |

|                                                                                                  |            |           |           |  |           |            |          |          |  |            |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|-----------|-----------|--|-----------|------------|----------|----------|--|------------|
| Тема 10. Особливості технології прямого легування сталі марганецьвмісними оксидними матеріалами. | 10         | 2         |           |  | 8         |            |          |          |  |            |
| Тема 11. Пряме легування сталі ванадійвмісними оксидними матеріалами.                            | 10         | 2         | 2         |  | 6         | 20         | 1        | 1        |  | 18         |
| Тема 12. Особливості технології прямого легування сталі ванадійвмісними оксидними матеріалами.   | 10         | 2         |           |  | 8         |            |          |          |  |            |
| <b>Разом за розділом 3</b>                                                                       | <b>40</b>  | <b>8</b>  | <b>4</b>  |  | <b>28</b> | <b>40</b>  | <b>2</b> | <b>2</b> |  | <b>36</b>  |
| <b>Усього годин</b>                                                                              | <b>120</b> | <b>26</b> | <b>14</b> |  | <b>80</b> | <b>120</b> | <b>8</b> | <b>4</b> |  | <b>108</b> |

### 5. Теми лекційних занять

| № теми з/прогр. | Назва теми                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Кількість годин |      |
|-----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|------|
|                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | д.ф.            | з.ф. |
| 1               | ВСТУП ДО ДИСЦИПЛІНИ. Історична довідка про легування сталі. Природно-легована сталь. Тигельна сталь. Технологічні передумови для виробництва феросплавів. Наукові передумови для виробництва легованої сталі. Початок промислового виробництва легованої сталі.                                                   | 2               | 1    |
| 2               | ЗАГАЛЬНА ФІЗИКО-ХІМІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОЦЕСІВ ЛЕГУВАННЯ СТАЛІ. Розчинення легуючих елементів в рідкому залізі. Коефіцієнти активності елементів в залізі. Параметри взаємодії Вагнера. Вплив легуючих елементів на розчинність в рідкому залозі газів, сірки і фосфору. Роль пічного шлаку при легуванні сталі. | 4               | 1    |
| 3               | ТЕПЛОВІ ЕФЕКТИ РОЗКИСЛЕННЯ-ЛЕГУВАННЯ СТАЛІ. Теплота нагріву феросплавів до температури рідкої сталі. Теплота плавлення феросплавів. Теплота розчинення компонентів феросплавів в сталі. Теплота хімічних реакцій окислення компонентів феросплавів. Тепловий ефект розкислення-легування конструкційної сталі.    | 2               | 1    |
| 4               | ДИФЕРЕНЦІАЛЬНІ КОЕФІЦІЄНТИ ЗАСВОЄННЯ. Визначення диференціальних коефіцієнтів засвоєння. Зв'язок з рівняннями                                                                                                                                                                                                     | 2               | 1    |

|    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |   |     |
|----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|-----|
|    | рівноваги у термодинамічній системі «метал-шлак-газ». Виведення диференціальних коефіцієнтів засвоєння у явному вигляді. Вимоги до матриці диференціальних коефіцієнтів засвоєння. Диференціальна концентраційна матриця. Застосування диференціальних коефіцієнтів засвоєння для оптимізації шихтових матеріалів.                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |   |     |
| 5  | ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ВТОРИННОГО ЕЛЕКТРО-ТЕРМІЧНОГО ЛЕГУВАННЯ І РАФІНУВАННЯ (ВЕЛР). Теоретичні та практичні передумови технології електротермічного легування і рафінування сталі. Принцип електронеутральності шлаку. Крива електронеутральності. Координати хімічних елементів на кривій електронеутральності. Зсув рівноваги в системі «метал-шлак-газ» при додаванні електричного заряду до шлаку. Питомий заряд шлаку. Тепловий ефект і кратність шлаку в позитивних і негативних процесах ВЕЛР.                                                                                                                  | 2 | 0,5 |
| 6  | СХЕМА ЛАБОРАТОРНОЇ І ПРОМИСЛОВОЇ УСТАНОВОК ВЕЛР. Схема лабораторної установки ВЕЛР і принцип її дії. Вольт-амперна характеристика лабораторної установки. Схема промислової установки ВЕЛР і принцип її дії. Експериментальні дослідження технології ВЕЛР. Рафінувальний ефект ВЕЛР.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 2 | 0,5 |
| 7  | ЛЕГУВАННЯ СТАЛІ ЛУЖНОЗЕМЕЛЬНИМИ МЕТАЛАМИ. Вплив питомого заряду шлаку і зовнішнього тиску на пружність і кратність газової фази, вміст домішок і легуючих елементів в процесі вторинного електротермічного легування і рафінування металу. Особливості поведінки лужноземельних металів в процесі ВЕЛР. Технологічні аспекти легування сталі лужноземельними металами в процесі ВЕЛР.                                                                                                                                                                                                                              | 2 | 0,5 |
| 8  | ЗАСТОСУВАННЯ ВЕЛР ДЛЯ КИСНЕВО-КОНВЕРТЕРНОГО ВИРОБНИЦТВА. Експериментальні і теоретичні передумови використання негативного заряду шлаку на процес киснево-конвертерної плавки. Інтенсифікація киснево-конвертерної плавки шляхом надання шлаковому розплаву конвертерної ванни негативного потенціалу. Вплив низьковольтного електричного потенціалу шлаку з негативним зарядом на процеси, що протікають при окислювальному рафінуванні залізовуглецевого розплаву. Можливість зменшення частки рідкого чавуну в шихті плавки і зменшення обсягу кисневого дуття при виплавці напівпродукту в конверторній ванні. | 2 | 0,5 |
| 9  | ПРЯМЕ ЛЕГУВАННЯ СТАЛІ МАРГАНЕЦЬВМІСНИМИ ОКСИДНИМИ МАТЕРІАЛАМИ. Наскрізні втрати марганцю при видобутку сировини, його збагаченні, при виплавці феросплавів і при легуванні сталі. Теплові втрати при виробництві марганцевистих феросплавів. Алюмотермічне і силікотермічне відновлення марганцю з оксидних матеріалів. Недоліки прямого легування сталі марганцем.                                                                                                                                                                                                                                                | 2 | 0,5 |
| 10 | ОСОБЛИВОСТІ ТЕХНОЛОГІЇ ПРЯМОГО ЛЕГУВАННЯ СТАЛІ МАРГАНЕЦЬВМІСНИМИ ОКСИДНИМИ МАТЕРІАЛАМИ. Матеріали для прямого легування сталі марганцем. Вимоги до                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 2 | 0,5 |

|              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |           |          |
|--------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|----------|
|              | якості марганцевої сировини. Особливості кінетики процесу прямого легування. Використання оксидних матеріалів при виробництві високомарганцовістих сталей. Економічні аспекти відновлення марганцю з марганецьвмісних матеріалів.                                                                      |           |          |
| 11           | ПРЯМЕ ЛЕГУВАННЯ СТАЛІ ВАНАДІЙВМІСНИМИ ОКСИДНИМИ МАТЕРІАЛАМИ. Термодинамічні умови відновлення ванадію з ванадійвмісних оксидних матеріалів. Відновлення пентаксиду ванадію вуглецем. Відновлення пентаксиду ванадію кремнієм. Спільне відновлення пентаксіда ванадію вуглецем і кремнієм.              | 2         | 0,5      |
| 12           | ОСОБЛИВОСТІ ТЕХНОЛОГІЇ ПРЯМОГО ЛЕГУВАННЯ СТАЛІ ВАНАДІЙВМІСНИМИ ОКСИДНИМИ МАТЕРІАЛАМИ. Відновлення збагаченого ванадієвого шлаку вуглецем. Можливості процесу прямого легування сталі ванадієм з ванадійвмісного шлаку. Технологія мікролегування сталі ванадієм з ванадійвмісного шлаку в умовах ЕСПЦ. | 2         | 0,5      |
| <b>Разом</b> |                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | <b>26</b> | <b>8</b> |

## 6. Теми практичних занять

| № теми з/прогр. | Назва теми                                                                                                                       | Кількість годин |          |
|-----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|----------|
|                 |                                                                                                                                  | д.ф.            | з.ф.     |
| 2               | Оптимізація технології прямого легування конструкційної низьколегованої сталі 12ГС марганецьвмісними оксидними матеріалами       | 2               | 2        |
| 3               | Оптимізація технології прямого легування напівспокійної конструкційної сталі 3пс марганецьвмісними оксидними матеріалами         | 2               | -        |
| 4               | Оптимізація технології прямого легування киплячої конструкційної сталі 08кп марганецьвмісними оксидними матеріалами              | 2               | -        |
| 5               | Оптимізація технології прямого легування низьколегованої сталі 30ГСЛ для відливок марганецьвмісними оксидними матеріалами        | 2               | -        |
| 6               | Оптимізація технології вторинного електротермічного легування і рафінування конструкційної низьколегованої сталі 12ГС            | 2               | 2        |
| 9               | Оптимізація технології вторинного електротермічного легування і рафінування конструкційної низьколегованої сталі 09Г2С           | 2               | -        |
| 10              | Оптимізація технології вторинного електротермічного легування високоміцної низьколегованої сталі 35ХГСА лужноземельними металами | 2               | -        |
| <b>Разом</b>    |                                                                                                                                  | <b>14</b>       | <b>4</b> |

## 7. Самостійна робота

| № теми<br>з/прогр. | Назва теми                                                                                                            | Кількість<br>годин |      |
|--------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|------|
|                    |                                                                                                                       | д.ф.               | з.ф. |
| 4                  | Диференціальні коефіцієнти засвоєння в комп'ютерних системах управління плавкою і позапічної обробкою сталі           | 7                  | 9    |
| 4                  | Термодинамічні моделі багатокомпонентної конденсованої фази                                                           | 7                  | 9    |
| 5                  | Розкислення сталі воднем                                                                                              | 7                  | 9    |
| 5                  | Застосування екзотермічних феросплавів і матеріалів для розкислення-легування сталі в ковші                           | 7                  | 9    |
| 6                  | Типи включень при осадовому розкисленні сталі. Процес утворення і видалення включень при легуванні і розливання сталі | 7                  | 9    |
| 6                  | Відновлення оксидів легуючих елементів при вакуумній обробці                                                          | 7                  | 9    |
| 7                  | Легування і модифікування сталі з використанням нанотехнологій                                                        | 7                  | 9    |
| 7                  | Використання нанотехнологій в металургії сталі                                                                        | 6                  | 9    |
| 8                  | Обробка металу нанопорошковими інокуляторами                                                                          | 6                  | 9    |
| 8                  | Мікролегування сталі нітридо- і карбідоутворюючими елементами                                                         | 7                  | 9    |
| 9                  | Модифікування неметалевих включень сталі лужноземельними металами                                                     | 7                  | 9    |
| 9                  | Модифікування неметалевих включень сталі рідкоземельними металами                                                     | 7                  | 9    |
| Разом              |                                                                                                                       | 80                 | 108  |

## 8. Види контролю і система накопичення балів

Сумарний рейтинговий бал за період вивчення дисципліни «Перспективні технології легування сталі» складає 100 балів.

Оцінювання навчальних успіхів студентів реалізується шляхом проведення поточного та підсумкового контролю успішності.

Передбачено, що для кожного розділу дисципліни значення максимальної рейтингової оцінки складає 20 балів.

Робочим навчальним планом підготовки з дисципліни «Перспективні технології легування сталі» передбачене проведення підсумкового контролю у формі заліку, максимальна оцінка якого складає 40 балів.

### *Критерії оцінювання знань студентів при виконанні практичних завдань*

В ході виконання практичної роботи кожен студент складає індивідуальний звіт, що повинен містити теоретичну і розрахункову частину, графічну частину (за необхідністю) та висновки, в яких чітко

формулюють основні результати роботи. За підготовленим звітом проводиться співбесіда.

Оцінка «відмінно» (100% балів) виставляється, якщо студент активно працював під час виконання практичної роботи, дає повні відповіді на поставлені запитання під час захисту роботи і демонструє при цьому глибоке володіння лекційним матеріалом і навчальною літературою.

Оцінка «добре» (75-99% балів) виставляється за умови активної участі у виконанні практичної роботи, логічного викладення матеріалу відповіді, студент вміє аналізувати теоретичне підґрунтя і практичне застосування перспективних технологій легування сталі. Але у відповідях або рішенні задачі допущені неточності, деякі незначні помилки, які студент може сам виправити.

Оцінка «задовільно» (60-74% балів) виставляється в тому випадку, коли студент в цілому володіє суттю питання заданої тематики, демонструє знання лекційного матеріалу. Але на занятті веде себе пасивно, дає неповні відповіді на питання, допускає суттєві помилки у рішенні завдання.

Оцінка «незадовільно» (35-59% балів) виставляється в тому випадку, коли студент показав неспроможність відповідати на поставлені питання, або дає неправильні безсистемні відповіді, завдання вирішено з грубими помилками, відсутнє розуміння сутності висновків і узагальнень по роботі.

Відсутність відповіді (рішення) або повністю неправильна відповідь оцінюються в «0» балів.

### *Контроль самостійної роботи*

Контроль самостійної роботи студентів і якість освоєння окремих тем дисципліни відбувається за рахунок:

- проведення опитувань (5-10 хв.) на початку або наприкінці кожного практичного заняття з метою оцінки домашньої підготовки і оцінки розуміння матеріалу студентами за тематикою занять;
- захисту звітів по лабораторних роботах і практичних завданнях;
- проведення тестування під час поточного контролю;
- оцінки знань і вмінь на екзамені.

### *Розподіл балів за поточними видами контролю з дисципліни*

| № теми | Вид поточного контролю                                                                                                                        | Макс-на кіл-сть балів |
|--------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| 2      | Практична робота «Оптимізація технології прямого легування конструкційної низьколегованої сталі 12ГС марганецьвмісними оксидними матеріалами» | 5                     |
| 3      | Практична робота «Оптимізація технології прямого легування напівспокійної конструкційної сталі 3пс марганецьвмісними оксидними матеріалами»   | 5                     |
| 4      | Практична робота «Оптимізація технології прямого легування киплячої конструкційної сталі 08кп марганецьвмісними оксидними матеріалами»        | 5                     |

|      |                                                                                                                                                    |           |
|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 2-4  | Тестування за розділом 1                                                                                                                           | 5         |
| 5    | Практична робота «Оптимізація технології прямого легування конструкційної низьколегованої сталі 30ГС марганецьвмісними оксидними матеріалами»      | 5         |
| 6    | Практична робота «Оптимізація технології вторинного електротермічного легування і рафінування конструкційної низьколегованої сталі 12ГС»           | 5         |
| 5-6  | Тестування за розділом 2                                                                                                                           | 10        |
| 9    | Практична робота № 4 «Оптимізація технології вторинного електротермічного легування і рафінування конструкційної низьколегованої сталі 09Г2С»      | 5         |
| 10   | Практична робота № 5 «Оптимізація технології вторинного електротермічного легування конструкційної низьколегованої сталі лужноземельними металами» | 5         |
| 9-10 | Тестування за розділом 3                                                                                                                           | 10        |
|      | <b>Усього за видами поточного контролю</b>                                                                                                         | <b>60</b> |

### *Оцінювання знань студентів на заліку*

Під час складання заліку студент виконує письмове завдання у формі контрольної роботи, яка передбачає відповіді на два теоретичних і одне практичне питання. Кожне теоретичне питання оцінюється у 15 балів, а відповідь на питання практичної направленості – 10 балів.

### *Критерії оцінки відповіді на теоретичне питання*

|                                                                                                                    |          |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| Знання визначень, основних понять, грамотне застосування понять і термінів                                         | 3 бали   |
| Повнота розкриття питання                                                                                          | 4 бали   |
| Вміння розкрити взаємозв'язок між окремими компонентами (постулатами та їх застосуванням, даними і формулами тощо) | 4 бали   |
| Відповіді на додаткові питання                                                                                     | 4 бали   |
| Усього:                                                                                                            | 15 балів |

### *Критерії оцінки виконання практичного завдання*

|                                       |          |
|---------------------------------------|----------|
| Адекватність формалізації умов задачі | 2 бали   |
| Обґрунтованість вибору методу рішення | 3 бали   |
| Правильність проведення розрахунків   | 3 бали   |
| Повнота аналізу отриманих результатів | 2 бали   |
| Усього:                               | 10 балів |

### Шкала оцінювання: національна та ECTS

| За шкалою ECTS | За шкалою університету                                        | За національною шкалою |               |
|----------------|---------------------------------------------------------------|------------------------|---------------|
|                |                                                               | Екзамен                | Залік         |
| A              | 90 – 100<br>(відмінно)                                        | 5 (відмінно)           | Зараховано    |
| B              | 85 – 89<br>(дуже добре)                                       | 4 (добре)              |               |
| C              | 75 – 84<br>(добре)                                            |                        |               |
| D              | 70 – 74<br>(задовільно)                                       | 3 (задовільно)         |               |
| E              | 60 – 69<br>(достатньо)                                        |                        |               |
| FX             | 35 – 59<br>(незадовільно – з можливістю повторного складання) | 2 (незадовільно)       | Не зараховано |
| F              | 1 – 34<br>(незадовільно – з обов’язковим повторним курсом)    |                        |               |

### 10. Рекомендована література

#### Основна:

1. Харченко О. В., Лічконенко Н. В. Перспективні технології легування сталі : методичні вказівки до практичних робіт для здобувачів ступеня вищої освіти бакалавра спеціальності 136 «Металургія» освітньо-професійної програми «Металургія». Запоріжжя : Інженерний інститут ЗНУ, 2020. 32 с.
2. Казачков И. П. Легирование стали. Київ : Техніка, 1982. 120 с.
3. Баптизманский В. И., Исаев Е. И., Жигулин В. И. и др. Раскисление и легирование стали экзотермическими ферросплавами. Київ : Техніка, 1970. 180 с.
4. Курдюков А. А., Офенгенден А. М. Раскисление и легирование стали в ковше. Донецк : Донбасс, 1969. 67 с.
5. Нохрина О. И., Козырев Н. А., Рожихина И. Д. Высокие технологии в металлургии. Новокузнецк : Изд. центр СибГИУ, 2011. 344 с.
6. Голубцов В. А. Теория и практика введения добавок в сталь вне печи. Челябинск, 2006. 423 с.
7. Рашев Ц. В. Производство легированной стали. Москва : Металлургия, 1981. 248 с.
8. Ицкович Г. М. Раскисление стали и модифицирование неметаллических включений. Москва : Металлургия, 1981. 296 с.

9. Поволоцкий Д. Я., Кудрин В. А., Вишкарёв А. Ф. Внепечная обработка стали. Москва : МИСИС, 1995. 256 с. ISBN 5-87623-007-3.
10. Кудрин В. А. Metallургия стали. Москва : Metallургия, 1989. 560 с. Бібліогр.: с. 555. ISBN 5-229-00234-4.
11. Голубцов В. А. Теория и практика введения добавок в сталь вне печи. Челябинск, 2006. 423 с. Бібліогр.: с. 367-422.
12. Чуйко Н. М., Перевязко А. Т., Даничек Р. Е. и др. Внепечные способы улучшения качества стали. Киев : Техніка, 1978. 128 с. Бібліогр.: с. 123-128.
13. Поволоцкий Д. Я. Раскисление стали. Москва : Metallургия, 1972. 208 с. Бібліогр.: с. 199-207.

#### **Додаткова:**

1. Харченко А. В., Синяков Р. В., Личконенко Н. В. Вторичное электротермическое легирование и рафинирование низколегированной стали. *Метал та лиття України*. 2019. Том 27. №10-12. С. 56-63.
2. Харченко А. В., Личконенко Н. В., Мосейко Ю. В. и др. Возможности и перспективы использования программы «Excalibur» в учебном процессе. *Збірник наукових праць ЗДІА. Metallургія*. 2013. Вип. 1(29). С. 169-175.
3. Кнюппель Г. Раскисление и вакуумная обработка стали. Часть I. Термодинамические и кинетические закономерности. Москва : Metallургия, 1973. 312 с. Бібліогр.: с. 305-311.
4. Кнюппель Г. Раскисление и вакуумная обработка стали. Часть II. Основы и технология ковшевой metallургии. Москва : Metallургия, 1984. 414 с. Бібліогр.: с. 389-410.
5. Вихлевщук В. А., Харахулах В. С., Бродский С. С. Ковшевая доводка стали. Днепропетровск : Системные технологии, 2000. 190 с. Бібліогр.: с. 171-187. ISBN 966-7316-37-8.
6. Кудрин В. А. Внепечная обработка чугуна и стали. Москва : Metallургия, 1992. 336 с. Бібліогр.: в кінці розділів. ISBN 5-229-00714-1.
7. Найдёк В. Л., Костяков В. Н., Шинский О. И. и др. Особенности технологии прямого легирования сплавов из оксидных расплавов. *Процессы литья*. 2009. №4. С. 3-6. ISSN 0235-5884.
8. Наконечный А. Я., Урцев В. Н., Синяков Р. В. и др. Прямое легирование стали марганцем – один из эффективных элементов организации комплексных ресурсосберегающих технологий. *Сталь*. 2009. №11. С. 17-22.
9. Толымбеков М. Ж., Ахметов А. Б., Такенов Т. Д. Опробование технологии прямого легирования стали марганцеворудными материалами. *Сталь*. 2004. №1. С. 22-24.

**Інформаційні ресурси:**

1. Національна бібліотека України імені В. І. Вернадського. Електронні ресурси. : веб-сайт. URL: <http://www.nbuv.gov.ua/e-resources/> (дата звернення 30.08.2019).
2. Предприятия. УкрРудПром – информационно-аналитический портал Украины : веб-сайт. URL: <http://www.ukrrudprom.ua> (дата звернення 01.09.2019).
3. Портал о черной и цветной металлургии: статьи, обзоры, книги : веб-сайт. URL: <http://steeltimes.ru/allmet/allmet.php> (дата звернення 30.08.2019).

Погоджено  
з навчальним відділом

---

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.