

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ім. Ю. М. ПОТЕБНІ
КАФЕДРА МЕТАЛУРГІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ, ЕКОЛОГІЇ ТА ТЕХНОГЕННОЇ БЕЗПЕКИ



ЗАТВЕРДЖУЮ

Директорка Інженерного навчально-наукового інституту ЗНУ ім. Ю. М. Потебні

Наталія Метеленко
(підпис)

Наталія МЕТЕЛЕНКО
(ініціали та прізвище)

« » _____ 2023

Фізико-хімічні процеси позаагрегатного рафінування металу
(назва навчальної дисципліни)

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

підготовки бакалаврів
(назва освітнього ступеня)

денної (очної) та заочної (дистанційної) форм здобуття освіти
спеціальності 136 Металургія
(шифр, назва спеціальності)

освітньо-професійна програма Металургія

Укладач: Харченко О.В. к.т.н., с.н.с., доцент каф. МТЕТБ
(ПІБ, науковий ступінь, вчене звання, посада)

Обговорено та ухвалено
на засіданні кафедри металургійних
технологій, екології та техногенної безпеки

Протокол № 1 від “29” серпня 2023 р.
Завідувач кафедри МТЕТБ

Юрій Бєлоконь
(підпис) Юрій БЄЛОКОНЬ
(ініціали, прізвище)

Ухвалено науково-методичною радою
ІННІ ім. Ю. М. Потебні

Протокол № 1 від “30” серпня 2023 р.
Голова науково-методичної ради ІННІ ім.
Ю. М. Потебні

Тетяна Шарапова
(підпис) Тетяна ШАРАПОВА
(ініціали, прізвище)

Погоджено
Гарант освітньо-професійної програми

Оксана Воденнікова
(підпис) Оксана ВОДЕННІКОВА
(ініціали, прізвище)

Погоджено
Відповідальний за секцію «Металургійний
профіль»

Оксана Воденнікова
(підпис) Оксана ВОДЕННІКОВА
(ініціали, прізвище)

2023 рік

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ім. Ю. М. ПОТЕБНІ
КАФЕДРА МЕТАЛУРГІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ, ЕКОЛОГІЇ ТА ТЕХНОГЕННОЇ БЕЗПЕКИ

ЗАТВЕРДЖУЮ

Директорка Інженерного навчально-наукового інституту ЗНУ ім. Ю. М. Потебні

_____ Наталія МЕТЕЛЕНКО
(підпис) (ініціали та прізвище)

«_____» _____ 2023

Фізико-хімічні процеси позаагрегатного рафінування металу

(назва навчальної дисципліни)

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

підготовки бакалаврів
(назва освітнього ступеня)

денної (очної) та заочної (дистанційної) форм здобуття освіти

спеціальності 136 Металургія
(шифр, назва спеціальності)

освітньо-професійна програма Металургія
(назва)

Укладач: Харченко О.В., к.т.н., с.н.с., доцент каф. МТЕТБ
(ПІБ, науковий ступінь, вчене звання, посада)

Обговорено та ухвалено
на засіданні кафедри металургійних
технологій, екології та техногенної безпеки

Протокол № 1 від "29" серпня 2023 р.
Завідувач кафедри МТЕТБ

_____ Юрій БСЛОКОНЬ
(підпис) (ініціали, прізвище)

Ухвалено науково-методичною радою
ІННІ ім. Ю. М. Потебні

Протокол № 1 від "30" серпня 2023
р.

Голова науково-методичної ради ІННІ ім.
Ю. М. Потебні

_____ Тетяна ШАРАПОВА
(підпис) (ініціали, прізвище)

Погоджено:
Гарант освітньо-професійної програми

_____ Оксана ВОДЕННИКОВА
(підпис) (ініціали, прізвище)

Погоджено:
Відповідальний за секцію «Металургійний
профіль»

_____ Оксана ВОДЕННИКОВА
(підпис) (ініціали, прізвище)

2023 рік

1. Опис навчальної дисципліни

1	2	3	
Галузь знань, спеціальність, освітня програма рівень вищої освіти	Нормативні показники для планування і розподілу дисципліни на змістові модулі	Характеристика навчальної дисципліни	
		очна (денна) форма здобуття освіти	заочна (дистанційна) форма здобуття освіти
Галузь знань 13 Механічна інженерія (шифр і назва)	Кількість кредитів – 5	Обов'язкова / <u>Вибіркова</u>	
Спеціальність 136 Металургія (шифр і назва)	Загальна кількість годин – 150	Цикл дисциплін BCC10	
Освітньо-професійна програма Металургія (назва)		Семестр:	
	8-й	8-й	
	Лекції		
	Змістових модулів – 8	27 год.	4 год.
		Практичні/Семінарські/ <u>Лабораторні</u>	
Рівень вищої освіти: бакалаврський	Кількість поточних контрольних заходів – 4	18 год.	4 год.
		Самостійна робота	
		105 год.	142 год.
		Вид підсумкового семестрового контролю: екзамен	

2. Мета та завдання навчальної дисципліни

Метою викладання дисципліни «Фізико-хімічні процеси позаагрегатного рафінування металу» є надання студентам теоретичних і практичних знань про методи позаагрегатного рафінування металу і фізико-хімічні процеси, що лежать в їх основі, про сучасний стан розвитку технологій для їх реалізації. «Фізико-хімічні процеси позаагрегатного рафінування металу» 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 розкисленні сталі;
- фізико-хімічні процеси, що відбуваються при вакуумуванні сталі;
- фізико-хімічні процеси, що відбуваються при обробці металу інертними газами та лужноземельними металами;
- технології та сучасні методи позаагрегатного рафінування металу.

вміти:

- за допомогою програми «Excalibur» розраховувати рівноважний склад системи «метал-шлак-газ»;
- за допомогою програми «Excalibur» розраховувати оптимальні режими розкислення, легування, десульфурзації та вакуумування 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 «Фізико-хімічні процеси позаагрегатного рафінування металу» 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 застосування 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 «Фізико-хімічні процеси позаагрегатного рафінування металу» відноситься до вибіркового компонентів освітньо-професійної програми. Вона безпосередньо пов'язана з іншими дисциплінами циклу професійної підготовки («Теорія і технологія сталеплавильного виробництва», «Конвертерне виробництво сталі», «Сировинні матеріали та їх підготовка до металургійного виробництва» 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 «Фізико-хімічні процеси позаагрегатного рафінування металу», 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

Змістовий модуль 1 – Основні завдання позаагрегатної обробки металу

Тема 1. Основні завдання позаагрегатної обробки металу і методи їх вирішення.

Основні завдання позаагрегатної обробки металу і методи їх вирішення. Умови при позаагрегатному рафінуванні у порівнянні з конвертерами і дуговими печами. Технологічні переваги позаагрегатної обробки металу.

Тема 2. Диференціальні коефіцієнти засвоєння.

Диференціальні коефіцієнти засвоєння в комп'ютерних системах управління плавкою і позапічної обробкою сталі. Термодинамічні моделі багатоконпонентної конденсованої фази.

Змістовий модуль 2 – Розкислення сталі та способи його реалізації

Тема 3. Розкислення сталі та основні способи його реалізації.

Розчинність кисню в залізі, загальні принципи розкислення. Залежність розчинності кисню в залізі від величини парціального тиску кисню в газовій фазі над металом і температури. Залежність граничної концентрації кисню в

рідкому залізі під шлаком із чистого оксиду заліза від температури. Залежність окисленості сталі від вмісту вуглецю. Розкислювальна здатність окремих елементів. Константа рівноваги реакції розкислення. Залишковий вміст і коефіцієнт активності елемента-розкислювача. Активність продуктів розкислення. Ефективність комплексних розкислювачів. Основні способи розкислення сталі. Осадове розкислення. Типи включень при осадовому розкисленні сталі. Екстракційне розкислення. Вакуумно-вуглецеве розкислення. Видалення продуктів розкислення. Формули Стокса й Адомара-Рибчинського. Укрупнення продуктів розкислення. Процес утворення скупчень включень при розливання сталі. Видалення включень корунду та інших дрібних включень.

Тема 4. Розкислення сталі воднем. Застосування екзотермічних матеріалів. Пряме легування.

Розкислення сталі воднем. Застосування екзотермічних феросплавів і матеріалів для розкислення-легування сталі в ковші. Теорія і практика прямого легування сталі в ковші оксидними матеріалами.

Змістовий модуль 3 – Модифікування сталі й неметалевих включень.

Тема 5. Модифікування сталі й неметалевих включень.

Доцільність застосовувати модифікування сталі й неметалевих включень. Глобуляризація включень. Практичні рекомендації з технології модифікування сталі. Витрата модифікаторів.

Змістовий модуль 4 – Продувка сталі в ковші інертним газом

Тема 6. Продувка сталі в ковші інертним газом.

Технологія продувки та обладнання. Витрата аргону. Застосування «хибного стопора». Застосування вогнетривких пористих пробок. Гідродинаміка ванни. Ймовірний розподіл векторів швидкостей руху потоків рідкої сталі. Вплив продувки на якість сталі. Дегазація і зневуглецювання сталі в результаті продувки. Поняття хімічного вакууму. Вторинне кипіння металу.

Змістовий модуль 5 – Рафінування сталі у вакуумі

Тема 7. Фізико-хімічні процеси вакуумування й дегазації металу.

Реакція окислення вуглецю та її константа рівноваги. Складові зовнішнього тиску на бульбашку оксиду вуглецю. Роль атмосферного, феростатичного і капілярного тиску. Кінетичні фактори, що лімітують вуглецеве розкислення. Процеси дегазації. Реакції, що відповідають за розчинність водню і азоту в рідкому залізі. Закон квадратного кореня Сівертса. Вплив легуючих елементів. Можливі механізми видалення

розчинених у металі водню та азоту. Стадії процесу десорбції водню і азоту з рідкої сталі. Диференційні рівняння швидкості стадій десорбції. Утворення бульбашок СО на твердій міжфазній поверхні.

Тема 8. Вакуумна обробка сталі в ковші.

Схема установок вакуумування в ковші. Особливості вакуумування в ковші розкисленої і нерозкисленої сталі. Вплив перемішування металу на ефективність вакуумування. Ступінь видалення водню.

Тема 9. Вакуумна обробка сталі в струмені.

Роздрібнення металу на краплі. Відносна поверхня крапель. Диференційні рівняння швидкості видалення розчинених газів з крапель металу. Промислове застосування вакуумування сталі в струмені. Схеми установок струменевого рафінування сталі. Ступінь видалення водню і азоту.

Тема 10. Порційне вакуумування сталі.

Схема і принцип дії установки порційного вакуумування сталі. Характер зміни тиску у вакуум-камері. Способи зменшення втрат тепла. Коефіцієнт рециркуляції металу. Зниження загального вмісту кисню. Залежність ефективності вакуумування сталі від вмісту вуглецю. Ступінь видалення водню.

Тема 11. Циркуляційне вакуумування сталі.

Схема і принцип дії установки циркуляційного вакуумування сталі. Залежність швидкості циркуляції металу при обробці сталі від витрати аргону і діаметра підйомного патрубку. Зміна витрати аргону і тиску у вакуум-камері, концентрацій вуглецю і кисню в металі по ходу циркуляційного вакуумування. Ступінь видалення водню при обробці розкисленої і нерозкисленої сталі.

Змістовий модуль 6 – Вакуумна обробка в ковші з дуговим нагрівом. Процеси ASEA-SKF і VAD

Тема 12. Процес ASEA–SKF.

Процес ASEA–SKF – схема і принцип дії. Переваги і недоліки процесу.

Тема 13. Процес VAD.

Процес VAD – схема і принцип дії. Кінетична схема вакуумної обробки сталі в ковші з дуговим нагрівом. Зміна вмісту вуглецю в сталі по ходу процесу.

Змістовий модуль 7 – Обробка сталі в ковші порошками і синтетичними шлаками

Тема 14. Фізико-хімічні процеси десульфурзації сталі в ковші.

1	15	5	2	3	1	-	-	2	1	10	13	4	5	9
2	15	6	2	4	1	-	-	2	1	9	13	3	5	8
3	15	5	2	3	1	-	-	2	1	10	13	3	5	8
4	15	4	2	2	1	-	-	2	1	11	13	3	4	7
5	15	9	-	5	-	-	-	4	-	6	15	3	4	7
6	15	5	-	3	-	-	-	2	-	10	15	3	4	7
7	15	6	-	4	-	-	-	2	-	9	15	3	4	7
8	15	5	-	3	-	-	-	2	-	10	15	3	4	7
Усього за змістові модулі	120	45	8	27	4	-	-	18	4	75	112	25	35	60
Підсумковий семестровий контроль екзамен	30									30	30	20	20	40
Загалом								90					100	

5. Теми лекційних занять

№ змістового модуля	Назва теми	Кількість годин	
		д.ф.	з.ф.
1	<i>Тема 1. Основні завдання позаагрегатної обробки металу і методи їх вирішення.</i> Основні завдання позаагрегатної обробки металу і методи їх вирішення. Умови при позаагрегатному рафінуванні у порівнянні з конвертерами і дуговими печами. Технологічні переваги позаагрегатної обробки металу.	1	1
1	<i>Тема 2. Диференціальні коефіцієнти засвоєння.</i> Диференціальні коефіцієнти засвоєння в комп'ютерних системах управління плавкою і позапічної обробкою сталі. Термодинамічні моделі багатокомпонентної конденсованої фази.	2	1
2	<i>Тема 3. Розкислення сталі та основні способи його реалізації.</i> Розчинність кисню в залізі, загальні принципи розкислення. Залежність розчинності кисню в залізі від величини парціального тиску кисню в газовій фазі над металом і температури. Залежність граничної концентрації кисню в рідкому залізі під шлаком із чистого оксиду заліза від температури. Залежність окисленості сталі від вмісту вуглецю. Розкислювальна здатність окремих елементів. Константа рівноваги реакції розкислення. Залишковий вміст і коефіцієнт активності елемента-розкислювача. Активність продуктів розкислення. Ефективність комплексних розкислювачів. Основні способи розкислення сталі. Осадове розкислення. Типи включень при осадовому розкисленні сталі. Екстракційне розкислення. Вакуумно-вуглецеве розкислення.	2	1

	Видалення продуктів розкислення. Формули Стокса й Адомара-Рибчинського. Укрупнення продуктів розкислення. Процес утворення скупчень включень при розливання сталі. Видалення включень корунду та інших дрібних включень.		
2	<i>Тема 4. Розкислення сталі воднем. Застосування екзотермічних матеріалів. Пряме легування.</i> Розкислення сталі воднем. Застосування екзотермічних феросплавів і матеріалів для розкислення-легування сталі в ковші. Теорія і практика прямого легування сталі в ковші оксидними матеріалами.	2	1
3	<i>Тема 5. Модифікування сталі й неметалевих включень.</i> Доцільність застосовувати модифікування сталі й неметалевих включень. Глобуляризація включень. Практичні рекомендації з технології модифікування сталі. Витрата модифікаторів.	3	-
4	<i>Тема 6. Продувка сталі в ковші інертним газом.</i> Технологія продувки та обладнання. Витрата аргону. Застосування «хибного стопора». Застосування вогнетривких пористих пробок. Гідродинаміка ванни. Ймовірний розподіл векторів швидкостей руху потоків рідкої сталі. Вплив продувки на якість сталі. Дегазація і зневуглецювання сталі в результаті продувки. Поняття хімічного вакууму. Вторинне кипіння металу.	2	-
5	<i>Тема 7. Фізико-хімічні процеси вакуумування й дегазації металу.</i> Реакція окислення вуглецю та її константа рівноваги. Складові зовнішнього тиску на бульбашку оксиду вуглецю. Роль атмосферного, феростатичного і капілярного тиску. Кінетичні фактори, що лімітують вуглецеве розкислення. Процеси дегазації. Реакції, що відповідають за розчинність водню і азоту в рідкому залізі. Закон квадратного кореня Сівертса. Вплив легуючих елементів. Можливі механізми видалення розчинених у металі водню та азоту. Стадії процесу десорбції водню і азоту з рідкої сталі. Диференційні рівняння швидкості стадій десорбції. Утворення бульбашок СО на твердій міжфазній поверхні.	1	-
5	<i>Тема 8. Вакуумна обробка сталі в ковші.</i> Схема установок вакуумування в ковші. Особливості вакуумування в ковші розкисленої і нерозкисленої сталі. Вплив перемішування металу на ефективність вакуумування. Ступінь видалення водню.	1	-
5	<i>Тема 9. Вакуумна обробка сталі в струмені.</i> Роздрібнення металу на краплі. Відносна поверхня крапель. Диференційні рівняння швидкості видалення розчинених газів з крапель металу. Промислове застосування вакуумування сталі в струмені. Схеми установок струменевого рафінування сталі. Ступінь видалення водню і азоту.	1	-
5	<i>Тема 10. Порційне вакуумування сталі.</i> Схема і принцип дії установки порційного вакуумування сталі. Характер зміни тиску у вакуум-камері. Способи зменшення втрат тепла. Коефіцієнт рециркуляції металу. Зниження загального вмісту кисню. Залежність ефективності вакуумування сталі від вмісту вуглецю. Ступінь видалення водню.	1	-

5	<i>Тема 11. Циркуляційне вакуумування сталі.</i> Схема і принцип дії установки циркуляційного вакуумування сталі. Залежність швидкості циркуляції металу при обробці сталі від витрати аргону і діаметра підйомного патрубку. Зміна витрати аргону і тиску у вакуум-камері, концентрацій вуглецю і кисню в металі по ходу циркуляційного вакуумування. Ступінь видалення водню при обробці розкисленої і нерозкисленої сталі.	1	-
6	<i>Тема 12. Процес ASEA-SKF.</i> Процес ASEA-SKF – схема і принцип дії. Переваги і недоліки процесу.	2	-
6	<i>Тема 13. Процес VAD.</i> Процес VAD – схема і принцип дії. Кінетична схема вакуумної обробки сталі в ковші з дуговим нагрівом. Зміна вмісту вуглецю в сталі по ходу процесу.	1	-
7	<i>Тема 14. Фізико-хімічні процеси десульфурації сталі в ковші.</i> Вплив сірки на якість сталі. Механізм видалення сірки з рідкої сталі. Коефіцієнт розподілу сірки між металом і шлаком. Реакція видалення сірки та її константа рівноваги. Значення вмісту алюмінію в сталі і окислювального потенціалу шлаку для глибокої десульфурації. Десульфурація твердим вапном. Можливість ресульфурації сталі після продувки порошками в ковші.	2	-
7	<i>Тема 15. Обробка сталі порошками лужноземельних металів та їх сполук.</i> Умови введення порошкоподібних реагентів в метал. Розрахунок глибини введення кальцію в рідку сталь. Схема і принцип дії установки для обробки сталі в ковші порошкоподібними матеріалами. Хід процесу та якість сталі. Зміна вмісту кисню і сірки в сталі в процесі обробки. Схема і принцип дії агрегату для отримання і введення в метал порошкового дроту.	1	-
7	<i>Тема 16. Обробка сталі в ковші рідкими синтетичними шлаками.</i> Теоретичні основи і технологія обробки. Хімічний склад і питома витрата використовуваних синтетичних шлаків. Результати рафінування сталі синтетичним шлаком. Недоліки процесу рафінування сталі синтетичним шлаком в порівнянні з іншими методами позаагрегатної обробки металу. Устаткування для приготування кускових і порошкоподібних матеріалів. Визначення необхідного ступеня подрібнення кускових матеріалів для позапічного доведення і рафінування сталі.	1	-
8	<i>Тема 17. Комбінована обробка сталі в ковші з нагрівом.</i> Схема і принцип дії установки ківш-печі. Основні вимоги до ковша-печі. Роль активного шлаку в ковші-печі для видалення сірки. Легування сталі в ковші-печі.	1	-
8	<i>Тема 18. Агрегати на постійному струмі. Процес ВЕЛР. Комплексні технології.</i> Агрегати позапічної обробки на постійному струмі. Процес ВЕЛР. Комплексні технології позапічної обробки чавуну і сталі.	2	-
Разом		27	8

6. Теми лабораторних занять

№ змістового модуля	Назва теми	Кількість годин	
		д.ф.	з.ф.
1	Вивчення інтерфейсу користувача програмного комплексу «Excalibur»	2	1
2	Оптимізація розкислення-легування конструкційної низьколегованої сталі 12ГС	2	1
3	Оптимізація розкислення напівспокійної конструкційної сталі 3пс	2	1
4	Оптимізація розкислення киплячої конструкційної сталі 08кп	2	1
5	Вакуумування конструкційної низьколегованої сталі 12ГС	4	-
6	Оптимізація легування конструкційної низьколегованої сталі 30ГС	2	-
7	Оптимізація легування і десульфурації конструкційної низьколегованої сталі 09Г2С	2	-
8	Оптимізація легування конструкційної низьколегованої сталі 14ХГС	2	-
Разом		18	4

7. Самостійна робота

№ змістового модуля	Назва теми	Кількість годин	
		д.ф.	з.ф.
1	Диференціальні коефіцієнти засвоєння в комп'ютерних системах управління плавкою і позапічної обробкою сталі	4	4
1	Термодинамічні моделі багатокомпонентної конденсованої фази	3	3
2	Розкислення сталі воднем	2	4
2	Застосування екзотермічних феросплавів і матеріалів для розкислення-легування сталі в ковші	4	6
2	Типи включень при осадовому розкисленні сталі. Процес утворення скупчень включень при розливання сталі	2	4
2	Теорія і практика прямого легування сталі в ковші оксидними матеріалами	4	6
4	Фурми і пористі пробки для позаагрегатної обробки	4	6
4	Масообмін під час одночасного видалення декількох газів в умовах кипіння розплаву	4	6
5	Відновлення оксидів легуючих елементів при вакуумній обробці	2	4
5	Окислення вуглецю в високохромістких сталях в вакуумі	4	6
5	Пульсаційна обробка вакуумом	4	6
5	Окислювальне вакуумування сталі. Процес VOD/ASV	2	6
5	Видалення сірки з металу при зниженому тиску	2	5

7	Десульфурация твердим вапном	6	5
7	Позапічна обробка сталі на машинах безперервного розливання	6	10
7	Видалення домішок кольорових металів	6	6
7	Можливість ресульфурации сталі після продувки порошками в ковші	5	3
7	Устаткування для приготування кускових і порошкоподібних матеріалів	2	2
7	Визначення необхідного ступеня подрібнення кускових матеріалів для позапічного доведення і рафінування сталі	2	2
8	Агрегати позапічної обробки на постійному струмі. Процес ВЕЛР.	4	8
8	Комплексні технології позапічної обробки чавуну і сталі	6	6
Разом		105	142

8. Види контролю і система накопичення балів

Сумарний рейтинговий бал за період вивчення дисципліни «Фізико-хімічні процеси позаагрегатного рафінування металу» 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 «Фізико-хімічні процеси позаагрегатного рафінування металу» передбачене проведення підсумкового контролю у формі заліку, максимальна оцінка якого складає 40 балів.

Критерії оцінювання знань студентів при виконанні лабораторних робіт

В ході виконання лабораторної 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 лабораторної 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 лабораторної роботи, логічного викладення матеріалу відповіді, студент вміє аналізувати теоретичне підґрунтя і практичне застосування методів позаагрегатної обробки металу. 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	Лабораторна робота «Оптимізація розкислення-легування конструкційної низьколегованої сталі 12ГС»	5
3	Лабораторна робота «Оптимізація розкислення напівспокійної конструкційної сталі 3пс»	5
4	Лабораторна робота «Оптимізація розкислення киплячої конструкційної сталі 08кп»	5
2-4	Тестування за розділом 1	5
5	Лабораторна робота «Вакуумування конструкційної сталі 12ГС»	5
6	Лабораторна робота «Вакуумування конструкційної сталі 12ГС» (продовження)	5
5-6	Тестування за розділом 2	10
9	Лабораторна робота № 4 «Оптимізація легування конструкційної сталі 14ХГС»	5
10	Лабораторна робота № 5 «Оптимізація легування і десульфурації конструкційної сталі 09Г2С»	5
9-10	Тестування за розділом 3	10
	Усього за видами поточного контролю	60

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 (відмінно)	5 (відмінно)	Зараховано
B	85 – 89 (дуже добре)	4 (добре)	
C	75 – 84 (добре)		
D	70 – 74 (задовільно)	3 (задовільно)	
E	60 – 69 (достатньо)		
FX	35 – 59 (незадовільно – з можливістю повторного складання)	2 (незадовільно)	Не зараховано
F	1 – 34 (незадовільно – з обов'язковим повторним курсом)		

10. Рекомендована література

Основна:

1. Воденніков С. А., Харченко О. В., Лічконенко Н. В. Фізико-хімічні процеси позаагрегатного рафінування металу : навч. посібник для студ. ЗДІА спец. 6.050401 "МЧМ" ден. та заоч. форм навчання. Запоріжжя : ЗДІА, 2015. 108 с.
2. Харченко О. В., Лічконенко Н. В., Панова В. О. Фізико-хімічні процеси позаагрегатного рафінування металу : методичні вказівки до лабораторних занять для здобувачів ступеня вищої освіти бакалавра спеціальності 136 «Металургія» освітньо-професійної програми «Металургія». Запоріжжя : Інженерний інститут ЗНУ, 2019. 32 с.
3. Поволоцький Д. Я., Кудрін В. А., Вишкар'єв А. Ф. Позапічна обробка сталі. Київ : Наукова думка, 1995. 256 с.
4. Кудрін В. А. Металургія сталі. Київ : Наукова думка, 1989. 560 с. Бібліогр.: с. 555.
5. Голубцов В. А. Теорія і практика введення домішок у сталь поза печі. Дніпропетровськ, 2006. 423 с. Бібліогр.: с. 367-422.
6. Чуйко Н. М., Перев'язко А. Т., Данічек Р. Е. та ін. Позапічні способи поліпшення якості сталі. Київ : Техніка, 1978. 128 с. Бібліогр.: с. 123-128.
7. Поволоцький Д. Я. Розкислення сталі. Київ : Техніка, 1972. 208 с. Бібліогр.: с. 199-207.
8. Kharchenko O.V. Thermodynamic modeling of «metal-slag-gas» system in control systems for melting, deoxidation, alloying and out-of-furnace steel processing. Monograph. Kyiv : Naukova Dumka, 2023. 240 p. ISBN 978-966-00-1911-9.

Додаткова:

1. Кнюппель Г. Розкислення та вакуумна обробка сталі. Часть I. Термодинамічні і кінетичні закономірності. Київ : Техніка, 1973. 312 с. Бібліогр.: с. 305-311.
2. Кнюппель Г. Розкислення та вакуумна обробка сталі. Часть II. Основи і технологія ковшової металургії. Київ : Техніка, 1984. 414 с. Бібліогр.: с. 389-410.
3. Віхлевшук В. А., Харахулах В. С., Бродський С. С. Ковшове доведення сталі. Дніпропетровськ : Системні технології, 2000. 190 с. Бібліогр.: с. 171-187.
4. Новік Л. М. Позапічна вакуумна металургія сталі. Київ : Наукова думка, 1986. 190 с. Бібліогр.: с. 182-188.
5. Кудрін В. А. Позапічна обробка чавуну та сталі. Київ : Наукова думка, 1992. 336 с. Бібліогр.: в кінці розділів.

6. Харченко О. В., Лічконенко Н. В., Мосейко Ю. В. та ін. Можливості та перспективи використання програми «Excalibur» у навчальному процесі. *Збірник наукових праць ЗДІА. Металургія*. 2013. Вип. 1(29). С. 169-175.

Інформаційні ресурси:

1. Національна бібліотека України імені В. І. Вернадського. Електронні ресурси. : веб-сайт. URL: <https://www.nbuv.gov.ua/e-resources/> (дата звернення 30.08.2023).
2. Підприємства. УкрРудПром – інформаційно-аналітичний портал України : веб-сайт. URL: <https://www.ukrrudprom.ua> (дата звернення 01.09.2023).