

Міністерство освіти і науки України

Запорізький національний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні

(назва факультету)

Кафедра металургійних технологій, екології та техногенної безпеки

(повна назва кафедри)

**Пояснювальна записка
до кваліфікаційної магістерської роботи**

рівень вищої освіти другий ((магістерський) рівень)
(другий (магістерський) рівень)

на тему «Технологічні особливості виплавки феронікелю»

Виконав: студент 2 курсу, групи 8.1362-мчм

Партика Олексій Олексійович
(ПІБ) (підпис)

спеціальності
136 Металургія
(шифр і назва)

спеціалізація

(шифр і назва)

освітньо-професійна програма
Металургія чорних металів
(шифр і назва)

Керівник Скачков В.О.
(прізвище та ініціали) (підпис)

Рецензент Ю.О. Бєлоконь
(прізвище та ініціали) (підпис)

Запоріжжя – 2023 року

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ім Ю.М. ПОТЕБНІ

Кафедра металургійних технологій, екології та техногенної безпеки

Рівень вищої освіти другий магістерський рівень
другий (магістерський) рівень

Спеціальність 136 металургія
(шифр і назва)

Освітньо-професійна програма обробка металів тиском
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри МТЕТБ
Ю.О. Белоконь

“ 07 ” _____ 05 _____ 2023 року

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ (ПРОЕКТ) СТУДЕНТУ

Партика Олексій Олексійович

(ПРИЗВИЩЕ, ІМ'Я, ПО БАТЬКОВІ)

1. Тема проекту (роботи) Технологічні особливості виплавки феронікелю»

керівник роботи (проекту) Скачков Віктор Олексійович д.т.н.
доцент

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від “09” 10 2023 року
 № 1580-с

2. Строк подання студентом роботи

(проекта) 01.12.2023

3. Вихідні дані до роботи (проекта) провести аналіз сучасного виробництва феронікелю, провести розрахунок матеріального енергетичного балансу, вибрати основне обладнання для виробництва феронікелю

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Реферат. Вступ. Загальна частина. Технологічна частина, Механічна частина, Охорона праці та техногенна безпека, Висновки. Перелік посилань.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
Креслення, презентаційний матеріал 12 слайдах (на 12 сторінках)

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата
		завдання прийняв
<i>Розділ 1 назва розділу</i>	<i>Скачков В.О., професор</i>	
<i>Розділ 2 назва розділу</i>	<i>Скачков В.О., професор</i>	
<i>Розділ 3 назва розділу</i>	<i>Скачков В.О., професор</i>	
<i>Розділ 4 назва розділу</i>	<i>Скачков В.О., професор</i>	
<i>Нормоконтроль</i>	<i>Белоконь Ю.О. завідувач кафедри</i>	

7. Дата видачі

завдання 07.05.2023**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	<i>Вступ</i>	<i>09.10-16.10.2023</i>	
2	<i>Реферат</i>	<i>29-30.11.2023</i>	
3	<i>Розділ 1</i>	<i>17.10-27.10.2023</i>	
4	<i>Розділ 2</i>	<i>28.10 --06.11.2023</i>	
4	<i>Розділ 3</i>	<i>07-16.11.2023</i>	
5	<i>Розділ 4</i>	<i>17-26.11.2023</i>	
6	<i>Висновки</i>	<i>28.11.2023</i>	

Студент _____ О. О.Партика
(підпис) (прізвище та ініціали)Керівник проекту (роботи) _____ В.О.Скачков
(підпис) (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота магістра: 71 с. 8 рис. 17 табл., 18 джерел.

РУДА, СИРОВИНА, РУДОВІДНОВЛЮВАЛЬНА ПІЧ, ФУТЕРІВКА,
ВУГЛЕЦЕВИЙ ВІДНОВНИК, ФЕРОНІКЕЛЬ.

Мета роботи — Удосконалення технології підготовки шихтових матеріалів та процесу виплавки феронікелю ФН-5К

Методи дослідження: аналіз сучасного стану виробництва феронікелю, його властивостей і область його застосування. Приведений аналіз сучасного виробництва феронікелю, виконані розрахунки шихти, матеріального і енергетичного балансів. Встановлені шкідливості та небезпеки при роботі в процесі виплавки феронікелю. Розробки дипломного проекту можуть бути використані при модернізації технологічного обладнання та вдосконалення технології.

ЗМІСТ

Вступ	7
1 Аналіз сировинних ресурсів та технології виплавки феронікелю	11
1.1 Властивості та застосування нікелю	11
1.2 Аналіз технології та виробництва феронікелю	14
1.2.1 Призначення і вимога до сплаву	14
1.2.2 Властивості нікельвмісної сировини	17
1.2.3 Технології виробництва чорного феронікеля	19
1.2.4 Характеристики феросплавних печей	23
1.3 Технологічні особливості виплавки чорного феронікеля.....	24
2 Технологічні основи виробництва феронікелю	30
2.1 Фізико-хімічні процеси отримання феронікеля	30
2.2 Розрахунок шихти та матеріального балансу виплавки феронікелю ФН-5К.....	32
2.3 Узагальнена технологія виплавки ФН-5К.....	35
2.3.1 Дозування і подача шихтових матеріалів в піч	38
2.3.2 Проведення процесу виплавки чорного феронікелю	40
2.3.3 Рафінування чорного феронікеля.....	41
2.3.4 Випуск та розливання феронікелю	43
2.4 Системи механізації і автоматизації виробничого процесу	44
3 Технологічне оснащення виробництва феронікелю	46
3.1 Характеристики феросплавних печей	46
3.2 Основні елементи конструкції пропонованої печі	48
3.3 Робочі параметри пічних трансформаторів	50
3.4 Основні контрольно-вимірювальні прилади.....	52
4 Охорона праці та техногенна безпека	54
4.1. Основні шкідливості і небезпеці плавильного цеху	54
4.2 Охорона довкілля і ресурсозберігання	58
4.3 Заходи щодо зменшення шкідливих і небезпечних чинників	59
4.4 Засоби індивідуального захисту.....	64

4.5 Побутові і допоміжні приміщення.....	65
4.6 Пожежна безпека	66
Висновки	68
Перелік джерел посилання	70

Вступ

Актуальність. Феросплавне виробництво є невід'ємною частиною металургійного комплексу більшості промислово-розвинених держав. Велика залежність економіки України від постачань енергоносіїв з інших країн привела до того, що спад металургійного виробництва у нас був найбільшим в порівнянні з іншими державами.

Феросплави є передільною продукцією, призначеною для розкислювання, легування і модифікування чавуну і сталі. Тому рівень їх споживання визначається загальним станом металургійного виробництва в Україні і у світі в цілому.

Механічні і технологічні властивості нікелю залежать від змісту домішок, найбільш шкідливими з яких є сірка. Сірка практично не розчиняється в твердому нікелі і утворює сульфідну евтектику, яка плавиться при 645°C і викликає горячеломкість. У нікелі, що піддається гарячому плющенню, допускається не більше 0,015 % сірки, 0,002 % свинцю і 0,002 % вісмуту.

Нікелеві сплави при високих температурах не стійкі в сірковмісній атмосфері. При нагріві під час гарячої і термічної обробки не можна користуватися мазутом і іншим паливом, що містить більше 0,5 % сірки.

Нікелеві сплави добре зварюються і паяються. Гарячу обробку тиском проводять при температурах $1100-850^{\circ}\text{C}$ (НК0, 2), $1200-900^{\circ}\text{C}$ (НМц2, 5, НМц5), $1250-1000^{\circ}\text{C}$ (НМцАК2- 2-1, НХ9, 5). Застосовується термічна обробка - відпал, який проводять при температурах $800-900$.

Попит на нержавіючу сталь у світі росте щорічно на 4 – 5%, проте в Китаї цей показник значно вищий. Китайське споживання нікелю зросло протягом останніх п'яти років більш ніж на 20% в рік, причому ніяких ознак уповільнення цього зростання немає. Канадська компанія Inco, другий

виробник нікелю у світі, прогнозує до 2010 року зростання споживання нержавіючої сталі в Китаї удвічі.

На більшості підприємств виробництво феронікеля здійснюється за способом, розробленим норвезькою компанією "Елкем" і уперше введеному на заводі Дониамбо в 1958г.

Принципова технологічна схема переробки окислених нікелевих руд на феронікель за способом "Елкем". Технологічна схема заводу передбачає підготовку руди, випалення в трубчастих печах, що обертаються, електроплавлення огарка на феронікель і його рафінування.

Цікавий спосіб рафінування, розроблений шведською компанією ASEA для чорної металургії, використовується на заводах Бонао і Серра-Матосо. Рафінування здійснюють у вакуумних ковшах зі знімними зведеннями: один - с електродами для підігрівання металу, інший - для створення вакууму. При підігріванні феронікеля і завантаженні обпаленого і гашеного вапна з польовим шпатом і донному перемішуванні азотом наводять вапняні шлаки і здійснюють десульфурацію, а при накладенні вакууму з присадкою винищити і невеликою подачею кисню видаляють залишки кремнію і вуглецю. Такий спосіб рафінування забезпечує високу якість феронікеля, але при цьому збільшуються втрати нікелю.

Мета роботи: Метою дослідження є проведення аналізу способів отримання феронікелю, дати оцінку технологічних особливостей отримання феронікелю в рудновідновлювальних печах

Для досягнення поставленої мети в роботі необхідно вирішити такі завдання:

1. Проаналізувати сучасний стан виробництва та використання феронікеля.
2. Дослідити фізико-хімічні та технологічні особливості виробництва феронікелю в рудновідновлювальних печах.

3. Розглянути раціональні шляхи розробки технології та організації виробництва феронікелю в рудновідновлювальних печах.

Об'єкт дослідження: фізико-хімічні особливості процесу виробництва феронікелю в рудновідновлювальних печах.

Предмет дослідження: технологія процесу одержання виробництва феронікелю в рудновідновлювальних печах

Методи дослідження: хімічний аналіз в системі рудного сир'я, хімічний та гранулометричний аналіз сировинних компонентів виробництва феронікелю в рудновідновлювальних печах

Наукова новизна:

1. Встановлено умови конвертації чорного феронікелю в конвертері з основним футеруванням для видалення фосфору..
2. Встановлено механізми хімічних реакцій у процесі модифікування чорного феронікелю.

Практичне значення:

1. Показано доцільність встановлення у пічній ділянці двох руднотермічних печей типу РПЗ-40.
2. Встановлено умови виплавки 134 т чорного феронікелю на добу.

Апробація результатів роботи: результати досліджень, які включено до кваліфікаційної магістерської роботи, доповіли на конференції кафедри металургійних технологій, екології та техногенної безпеки.

Відомості про публікації: основні результати роботи викладені в збірці магістерських робіт і статей, і 1 тезах конференцій.

Структура і об'єм роботи. Кваліфікаційна робота магістра складається з вступу, 4 розділів, висновків, списку використаних джерел з 18 найменувань, викладена на 71 сторінках машинописного тексту, включаючи 8 рисунків, 8 таблиці.

1 Аналіз сировинних ресурсів та технології виплавки феронікелю

1.1 Властивості та застосування нікелю

У періодичній системі хімічних елементів Д.И.Менделеева нікель має атомний номер 28 і атомну масу 58,61. Відноситься до перехідних елементів тріади заліза його електронна конфігурація $3d^7s^2$ температура його плавлення $1455\text{ }^{\circ}\text{C}$ кипіння 3170 Д щільність $8,92\text{ г/см}^3$.

Нікель - метал сріблясто-білого кольору, що кристалізується в грати ГЦК з параметром, $a = 0,352\text{ нм}$ (при $200\text{ }^{\circ}\text{C}$) і поліморфних перетворень не має. При температурі нижче $3580\text{ }^{\circ}\text{C}$ (точка Кюрі) нікель є слабким феромагнетиком. Нікель - міцний, високопластичний метал, що відрізняється високою корозійною стійкістю, підвищеною температурою плавлення і високою каталітичною здатністю [1].

Твердість нікелю складає НВ 68-72. Середня теплоємність нікелю в інтервалі $120\text{-}1630\text{ }^{\circ}\text{C}$ складає $0,178\text{ кал/}(\text{г}\cdot^{\circ}\text{C})$, випари $0,181\text{ кал/}(\text{г}\cdot^{\circ}\text{C})$; теплопровідність технічного нікелю для інтервалу температур $20\text{-}100\text{ }^{\circ}\text{C}$ дорівнює $0,1428\text{ кал/}(\text{см}\cdot\text{з}\cdot^{\circ}\text{C})$. У хімічному відношенні нікель малоактивний. За звичайних умов він не взаємодіє ні з повітрям, ні з водою; сірчана соляна кислоти розчиняють нікель повільно, але в азотній кислоті він розчиняється добре. [2]

Механічні і технологічні властивості нікелю залежать від змісту домішок, найбільш шкідливими з яких є сірка. Сірка практично не розчиняється в твердому нікелі і утворює сульфідну евтектику, яка плавиться при $645\text{ }^{\circ}\text{C}$ і викликає горячеломкість. У нікелі, що піддається гарячому плющенню, допускається не більше $0,015\text{ }%$ сірки, $0,002\text{ }%$ свинцю і $0,002\text{ }%$ вісмуту.

Корозійні властивості нікелю високі завдяки утворенню на його поверхні тонкої і щільної захисної плівки. Нікель дуже стійок в атмосфері, прісній і морській воді, розчинах багатьох солей, лугах.

Система Ni – Fe. На рисунку 1.1 приведена діаграма рівноважного стану системи Ni – Fe. З якого виходить, що сплави системи утворюють безперервні тверді розчини на основі γ -структури; у рідкому стані обидва елементи мають необмежену розчинність. У рідкому нікелі структурно-чутливі властивості (зокрема, кінематична в'язкість) з підвищенням температури змінюються монотонно, тоді, як для рідкого заліза на кривій кінематична в'язкість температура має місце стрибок.

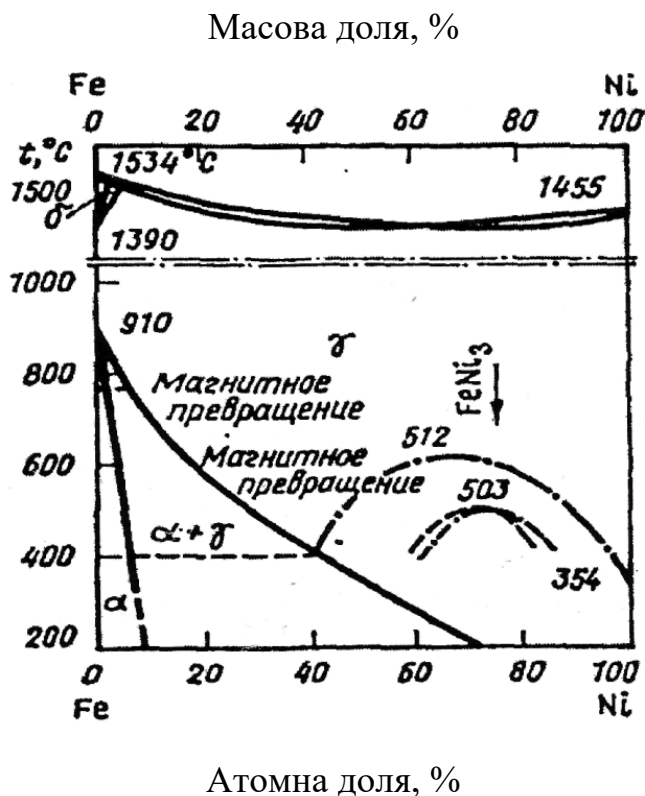


Рисунок 1.1 – Діаграма рівноважного стану системи Ni-Fe.

Система Ni – O приведена на рисунку 1.2. Кисень в нікелі розчиняється в значних кількостях, що виходить з приведених нижче даних:

Температура, К	1738	1777	1863	1925
Розчинність кисню в нікелі, %	0,34	0,69	1,03	1,66

Перша парціальна ентальпія розчинення кисню в рідкому нікелю ($T = 1740 - 1779$ К) рівна -200 кДж/міль.

Для електротермії феронікеля великий інтерес представляє оксид нікелю NiO. Температурна залежність тиску кисню при дисоціації NiO по реакції $2\text{NiO}(\text{т}) = 2\text{Ni}(\text{т}) + \text{O}_2$, визначена мас-спектрометриєю в області 1400 – 1570°C, має вигляд (Па): $\lg p_{\text{O}_2} = (-23840/7) + 13,45$. Стандартна теплота утворення NiO $\Delta H^0_{298\text{K}} = -239,74$ кДж/моль, уравнение зміни енергії Гіббса реакції утворення NiO з елементів $2\text{Ni} + \text{O}_2 = 2\text{NiO}$ має вигляд (Дж/моль) : $\Delta G_T^\circ = -456056 + 161,9T$. Кисень, азот і водень містяться в значних кількостях в електролітичному нікелі, широко використовуваному для виплавки сплавів на нікелевій основі, корозійностійких і інших сталей. Методом мас-спектрометрії встановлено, що кисень і водень в катодному нікелі знаходяться як у вигляді органічних сполук, так і в розчиненій формі, а азот існує у вигляді розчину.

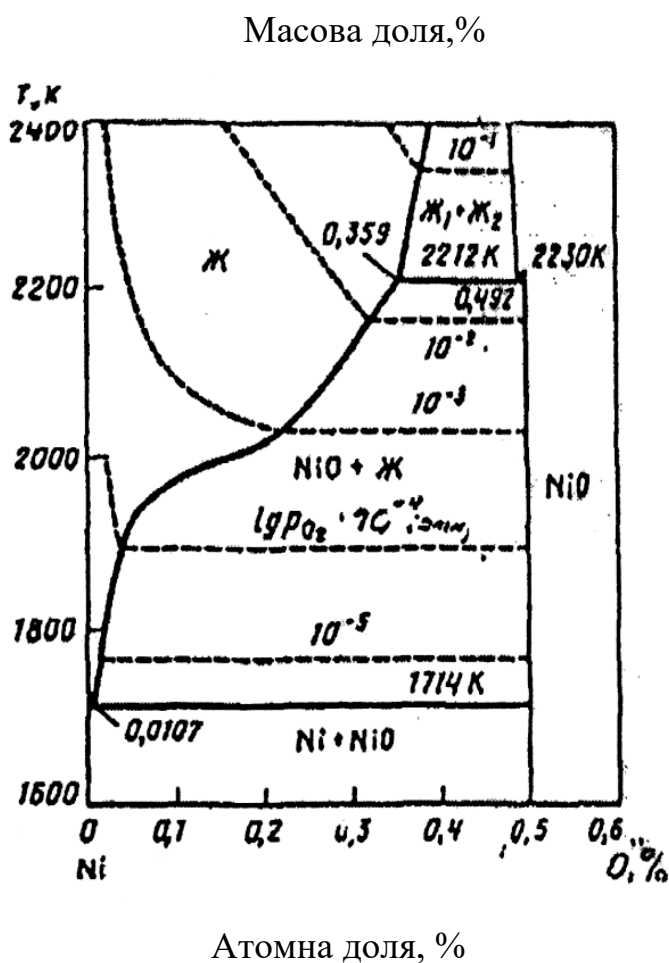


Рисунок 1.2 – Діаграма рівноважного стану системи Ni–O

Із сплавів із спеціальними властивостями виділяють феромагнітні (40 – 85% Ni) і такі, що магнітострикційні містять разом з нікелем і кобальт (4 – 18% Co). Жаростійкі сплави на основі нікелю зазвичай містять алюміній, кремній і марганець (алюмель) або хром (хромель). При виробництві коррозійностійких сталей використовують приблизно 8 – 13% Ni.

1.2 Аналіз технології та виробництва феронікелю

1.2.1 Призначення і вимога до сплаву

Стандартні нікелеві сплави можна умовно розділити на чотири групи: низьколеговані для електротехнічних цілей, термоелектродні (хромель, копель), корозійностійкі (монель-метал) і жаростійкі (ніхром і ферроніхром). Легуючими елементами в цих сплавах є алюміній, кремній, марганець, хром, мідь і залізо. [3]

Нікелеві сплави при високих температурах не стійкі в сірковмісній атмосфері. При нагріві під час гарячої і термічної обробки не можна користуватися мазутом і іншим паливом, що містить більше 0,5 % сірки.

Нікелеві сплави добре зварюються і паяються. Гарячу обробку тиском проводять при температурах 1100-850⁰С (НК0, 2), 1200-900⁰С (НМц2, 5, НМц5), 1250-1000⁰С (НМцАК2- 2-1, НХ9, 5). Застосовується термічна обробка - відпал, який проводять при температурах 800-900 .

На Побужском феронікелевому комбінаті виплавляють марки феронікеля : ФН-5М, ФН-5К, ФН- 6 які приведені в таблицю. 2.1.

Слід особливо відмітити широке застосування і призначення сплавів - і кислотостійких нікелевих сплавів, жароміцних сплавів, сплавів нікелю з міддю, берилієм, кобальтом, твердих сплавів, де нікель потрібний як єдиний матеріал. [4]

Таблиця 1.1 - Хімічний склад марок (%) і призначення нікелю

Элемент	Химический состав для марки, %		
	ФН-5М	ФН-5К	ФН-6
Нікель	Не менше 4,6	14,0–20,0	Не менше 2,5
Кобальт	0,1–0,45	1,5–8,0	0,1–0,4
Кремній	Не більше 0,3	Не більше 0,05	Не менше 3,5
Вуглець	Не більше 0,3	Не більше 0,03	Не менше 1,5
Хром	Не більше 0,3	Не більше 0,08	Не менше 1,0
Сірка	Не більше 0,04	Не більше 0,3	Не більше 0,1
Фосфор	Не більше 0,04	Не більше 0,05	Не більше 0,15
Медь	Не більше 0,3	1,0-3,0	Не більше 0,01

Попит на нержавіючу сталь у світі росте щорічно на 4 – 5%, проте в Китаї цей показник значно вищий. Китайське споживання нікелю зросло протягом останніх п'яти років більш ніж на 20% в рік, причому ніяких ознак уповільнення цього зростання немає. Канадська компанія Inco, другий виробник нікелю у світі, прогнозує до 2010 року зростання споживання нержавіючої сталі в Китаї удвічі. [3] Головними споживачами нікелю залишаються європейські країни приведені в таблиці 1.2.

Приріст споживання нікелю забезпечується промисловістю Китаю. Передбачається зростання споживання нікелю в Китаї в наступні роки: в 2004-м споживання склало 145 тисяч тонн, а в 2008-м споживання нікелю склало на рівні 175 тисяч тонн.

Значну долю вироблюваного у світі нікелю споживають США. Близько 41% спожитого в США в 2008 році нікелю припало на виробництво сплавів з іншими кольоровими металами, ще 41% – на виробництво нержавіючої сталі і різних сталевих сплавів, 16% – на гальванопокриття. Структура

Таблиця 1.2 – Споживання нікелю у світі

Країна	Споживання нікелю тис. тон			
	2003г	2005г	2006г	2008г
1	2	3	4	5
Європа	396,8	418,4	45,4	477
Азія	400,6	352,9	385	426
в тому числі:				
Китай	н.д.	н.д.	23,8	733
Республіка Корея	н.д.	н.д.	н.д.	113
Тайвань	н.д.	н.д.	н.д.	103
Японія	н.д.	н.д.	64,4	69,5
Південна і Північна Америка	192,4	165,9	155,4	168,5
в тому числі:				
США	147	129	121	126
Канада	н.д.	н.д.	н.д.	9
1	2	3	4	5
Мексика	н.д.	н.д.	н.д.	3
Африка	32,2	31,2	31,8	32
Австралія і Океанія	2	2	2	2
Інші	89	128,3	128,9	136,5

кінцевого споживання нікелю в 2008 році була наступною: виробництво транспортних засобів – 32%, хімічна промисловість - 14%, випуск електротехнічного устаткування – 11%, будівництво - 9%, інше машинобудування – 6%, виробництво побутових електротоварів – 7% і нафтопереробна промисловість – 6%. Видиме споживання первинного нікелю в США в 2004 році оцінювалося в 126 тис. тонн, близько 100 тис. тонн нікелю в США було витягнуто з імпортованої нікелевої лому.

Основними постачальниками нікелю на ринок США, Японія, Росія, Китай в 2000 – 2008 роках. Виробництво нержавіючої сталі в США в 2008 році оцінювалося в 1,56 мільйона тонн, що на 13% більше, ніж в 2005 році. Потреба України в нікелі в 2008 році складала 5,3 тисяч тонн, прогнози потреби на 2011 рік - 6,6 тисяч тонн. Єдиний в Україні виробник феронікеля - Побужский феронікелевий комбінат. Підприємство випускає продукцію за давальницькою схемою з руди, яка завозиться з Нової Каледонії. Уся продукція експортується. Проектні потужності ПФК (при переробці вітчизняної сировини) в перерахунку на феронікель приблизно 10 тисяч тонн нікелю в рік.

1.2.2 Властивості нікельвмісної сировини

Розвідані світові запаси нікелю складають 99.7 млн. т, що більш ніж в 100 разів перевищує річне його споживання. Найбагатші сульфідні мідно-нікелеві руди містять до 4% Ni. Відомі сульфідні мінерали нікелю : виоларит Ni_2FeS_4 , полидимит Ni_3S_4 , а ін. З цих руд у світі в 1978–1980гг. було отримано 80% усього нікелю. [2] Проте запаси їх обмежені, тому все ширше у виробництво залучають бідні силікатні руди, зміст нікелю в яких ледве досягає 1 – 2%. Це так звані латеритовые руди. Ці руди містять 1,3 – 2,2% Ni, 0,1 – 0,2% Co, до 45% Fe та ін. з'єднання. Залежно від складу порожньої породи силікатні руди розділяють на магнезійні, крем'янисті і глиноземисті різновиди. Відомі великі запаси залізняку (50 – 60% Fe і 1 – 1,5% Ni), серед якого виділяють лимонитовые і сапролитовые нікельвмісні руди. Особливостями хімічного і мінералогічного складів латеритових руд обумовлені різні способи витягання нікелю з руд. Переробка руд металургійними способами вимагає на 30 – 50% більше енергії, чим гідрометалургійними. Встановлено, що витрата енергії для витягання нікелю з латеритових руд на 100 – 240% вище, ніж для витягання нікелю з сульфідних руд. Ці металургійні способи застосовні в основному для

сумішей лимонитових і сапролітових руд при такому відношенні їх в суміші, щоб виходив феронікель із заданою концентрацією нікелю і шлак з оптимальним змістом MgO і Al₂O₃. Близько 70% усіх запасів нікелю у світі залягає у формі латеритових нікелевих руд. Проте досі виробничі і енергетичні витрати на розробку такого роду родовищ вищі, ніж у родовищ сульфідних руд. Загальні запаси латеритових нікелевих руд складають 12,6 мільярда тонн з середнім змістом металу 1,28%, що еквівалентно майже 161 мільйону тонн чистого нікелю. [3]

Мінерально-сировинна база нікелю України складається з Побугського родовища (Кіровоградська область). Мінералогічний склад руд Побужської групи представлений в таблиці.1.3.

Згідно промислової класифікації, ці руди належать до залозисто-крем'янистого типу. Мінеральний склад нонтронитов дуже невтриманий. Головним мінералом є нонтроніт. У великих кількостях, особливо в придайкових і прикорткових зонах зустрічається хлорит і вермикулит. Мінеральний склад серпентинитов украй мінливий. У ній знаходяться мінерали початкових порід (серпентини, піроксени і оливини), новоутворені залишкові мінерали-нонтроніт і гідрооксиди заліза, а також інфільтраційні соединения-керолит і гарнієрит. Керолит, гарнієрит і нонтроніт є головними носіями нікелю.

Таблиця 1.3 – Кількісний розподіл головних мінералів в рудах Побужського родовища.

Мінерали	Формула	Структурная формула	Разновидности
Гідроокисли	-	-	-
Заліза	-	-	-
Нонтроніт	(Fe,Al) ₂ O ₃ ·4SiO ₂ ·n H ₂ O	(Fe,Al) ₂ [Si ₄ O ₁₀][OH] ₂ · nH ₂ O	Ферринонтроніт Алюмінонтроніт
Гідрохлорити	-	-	-

Серпентин	$3\text{MgO}\cdot 2\text{SiO}_2\cdot 2\text{H}_2\text{O}$	$\text{Mg}_6[\text{Si}_4\text{O}_{10}][\text{OH}]_8$	Хризотил, антигорит, серпофит, бастит.
Галлуазит	$\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 2\text{SiO}_2\cdot n2\text{H}_2\text{O}$	$\text{Al}_4[\text{Si}_4\text{O}_{10}][\text{OH}]_8\cdot n\text{H}_2\text{O}$	Ферригаллуазит
Гідроокисли	-	-	-
Марганця	-	-	-
Магнетит	Fe_3O_4	-	-
Карбонати	-	-	-

В середньому Побужьє активні запаси нікелю складають близько 60 тисяч тонн з середнім змістом нікелю в руді 0,8 – 1,07%, що забезпечить роботу Побужського феронікелевого комбінату на 9 – 10 років. У районі Побужського феронікелевого комбінату виявлено декілька нових рудних місць і перспективних ділянок з ресурсами близько 52 тисяч тонн нікелю.

1.2.3 Технології виробництва чорного феронікеля

На більшості підприємств виробництво феронікеля здійснюється за способом, розробленим норвезькою компанією "Елкем" і уперше введеному на заводі Дониамбо в 1958г. [7]

Принципова технологічна схема переробки окислених нікелевих руд на феронікель за способом "Елкем" представлена на рис. 1.3.

Технологічна схема заводу передбачає підготовку руди, випалення в трубчастих печах, що обертаються, електроплавлення огарка на феронікель і його рафінування. [4]

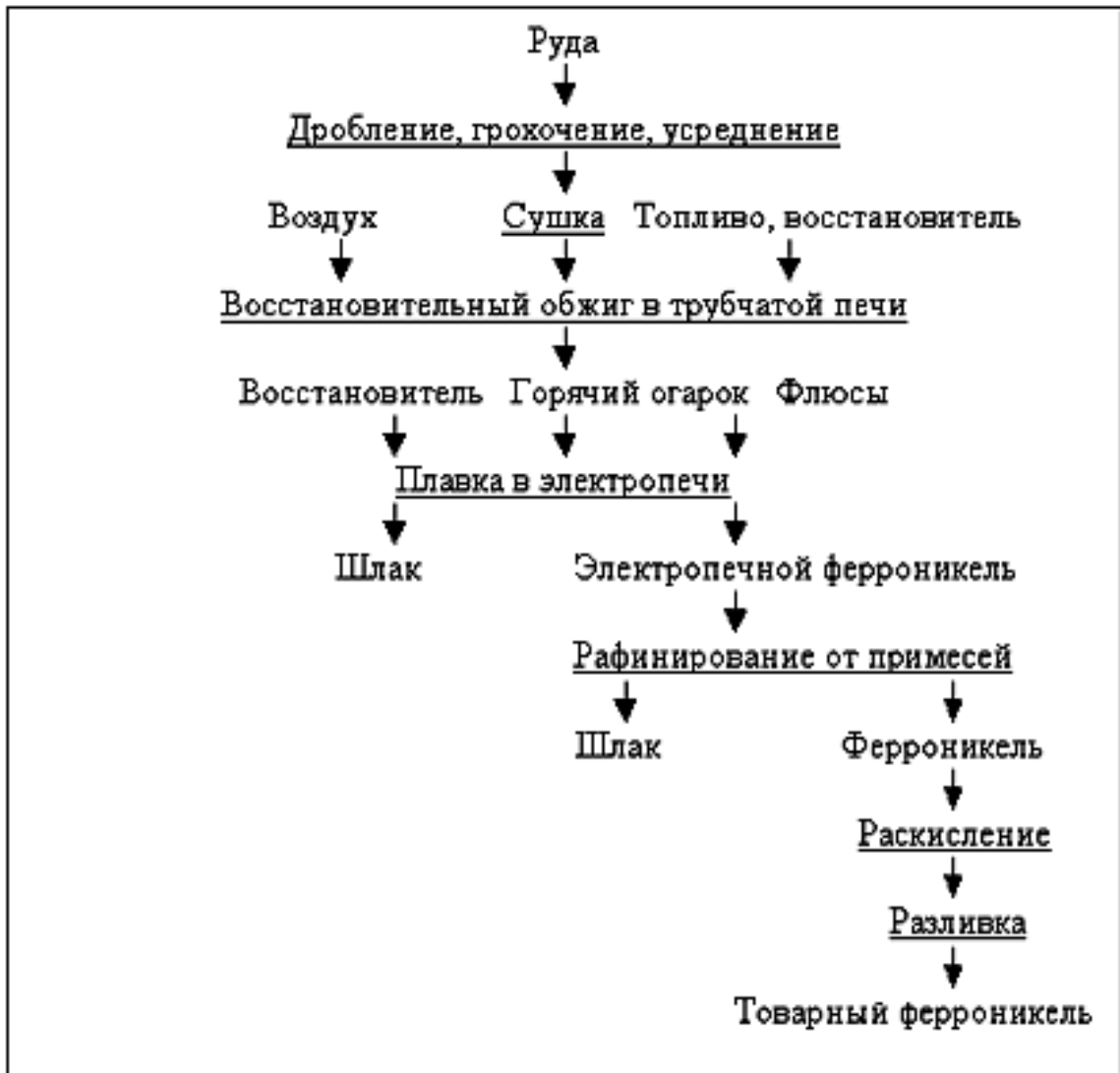


Рисунок 1.3 - Схема виробництва феронікеля за способом Элкем

У металургійну переробку поступають руди, що містять, %: Ni+Co 2,3 – 2,8; Fe 14 – 20; SiO₂ 32 – 37; MgO 20 – 24; Al₂O₃ до 3 та ін. Руда поступає на заводський склад з чотирьох родовищ, де закладається два штабелі по 300 тис. т кожен. З штабелів роторним екскаватором продуктивністю 700 т/ч, руда подається на два конвеєри, що транспортують її в сушарні барабани продуктивністю 300 т/ч, де вологість руди з 25 – 28% знижується до 18 – 20%. Випалення ведуть при 950⁰С. При цьому, окрім прожарення, відбувається часткове відновлення оксидів заліза. Прожарений і частково відновлений огарок вагон-кюбелями подається на завантаження в рудовосстановительные печі. Печі фірми "Элкем" круглі, діаметром 12,5 м,

заввишки 5,2 м, потужністю 11 МВт. Площа череня печей 123 м², питома потужність 89,0 кВт/м² площі череня. Діаметр самоспекаючихся електродів 1250 мм. Переробка окислених нікелевих руд за способом "Елкем" в наступному була освоєна на заводах багатьох країн (Греція, Бразилія, Колумбія, Індонезія).

Плавку на феронікель здійснюються в електропечах Елкем різної потужності: від 11 до 51 кВ·А. Вони обладнані підвісним зведеннями і мають центральне навантаження. Витрата електроенергії, залежно від якості руди, умов попередньої підготовки і особливо, випалення в трубчастих печах, що обертаються, змінюється від 480 до 650 кВт·ч/т, а витрата електродної маси - від 1 до 3 кг/т сухої руди.

Оригінальна технологія виробництва феронікеля застосовується на американському заводі Риддл. Її особливістю є проведення плавки руди і відновлення оксидів в окремих пічних агрегатах. Руду після дроблення, усереднювання і випалення в трубчастій печі, що обертається, в суміші з деревною тирсою плавлять в електропечах потужністю 14 МВ·А. Рудний розплав потім обробляють в реакційних ковшах феросиліцієм, роздрібнюваним до великої, - 16 мм шляхом 5-кратного переливання маси з одного ковша в іншій. Раніше феросиліцій виплавляли на заводі в окремій електропечі. Чорновий феронікель відрізняється низьким змістом домішок, %: Si 0,01; C 0,007; S, P і Cr 0,2%. Концентрація нікелю в нім відповідає 47%. Велика витрата електроенергії і вартість феросиліцію обмежує застосування цієї технології у великому масштабі.

Цікавий спосіб рафінування, розроблений шведською компанією ASEA для чорної металургії, використовується на заводах Бонао і Серра-Матосо. Рафінування здійснюють у вакуумних ковшах зі знімними зведеннями: один - с електродами для підігрівання металу, інший - для створення вакууму. При підігріванні феронікеля і завантаженні обпаленого і гашеного вапна з польовим шпатом і донному перемішуванні азотом наводять вапняні шлаки і здійснюють десульфурацію, а при накладенні вакууму з присадкою

випишити і невеликою подачею кисню видаляють залишки кремнію і вуглецю. Такий спосіб рафінування забезпечує високу якість феронікеля, але при цьому збільшуються втрати нікелю.

Необхідно також відмітити, що спосіб 3-ступінчастого рафінування чорного феронікеля застосовується тільки на Побужском феронікелевому комбінаті. Технологічна схема включає підготовку матеріалів до плавки, їх шихтовку, прожарення в трубчастих печах, що обертаються, плавку гарячого огарка в електричних руднотермічних печах, рафінування феронікеля від сірки, розплавленою содою в ковші і далі від кремнію, хрому, вуглецю і фосфору у вертикальних кисневих конвертерах дуплекс-процесом з наступним розливанням феронікеля. Десульфурація в ковші кальцинірованою содою-продувка киснем у вертикальному конвертері з динасовою футеруванням - продування киснем в аналогічному конвертері з магнезито-хромитовою футеруванням. Феронікель містить, %: 3,5 – 6 Ni; 0,2 Co; 2 – 8 Si; 2 – 2,7 C; 1,2 – 2,7 Cr; < 0,25 S. Витягання при плавці складає 90%.

Нині є багато розробок по витяганню нікелю з окислених (латеритових і силікатних) руд, зокрема спосіб переведення нікелю в сульфідну форму шляхом випалення окатанної тонкоподрібненої руди з вугіллям і сіркою при 720⁰C з наступним вилуговуванням.

Методи підготовки руд до плавки в усіх розглянутих процесах визначаються якістю початкової сировини і вживаних технологій і відрізняються один від одного лише окремими деталями і устаткуванням. На деяких заводах виробляється збагачення початкової сировини за рахунок вибірки крупнокускових фракцій, збіднених нікелем.

Проте остаточне рішення про доцільність застосування якої-небудь з даних технологій може бути прийняте на підставі техніко-економічних показників з урахуванням місцевих умов.

1.2.4 Характеристики феросплавних печей

Для плавки феронікеля застосовують електропечі великої потужності - від 17 до 83 МВ·А. Футерування ванни печей виконується, як правило, керамічними огнеупорами-периклазохромитом, периклазом. Стійкість футеровки забезпечується інтенсивним охладженням-водяним охладженням кожуха печі. Питомий проплав руди складає від 3,5 до 14т/(м²·сут). На більшості заводів плавлять руду, що містить 2,5% Ni (Дониамбо, Серро Матосо, і Японські заводи), але не нижче 1,3 – 1,6% Ni. В процесі плавки отримують чорновий феронікель, що містить 15 – 35% (Ni+Co). Витягання нікелю складає 88 – 95%.

Як приклад приведені показники заводу Дониамбо, що працює за способом Элкем. [5]

Завод Дониамбо має 11 трубчастих печей завдовжки по 72 – 95 м, 8 електропечей Элкем діаметром 12,5 м потужністю 11 МВт (площа кожної 123м², питома потужність 89 кВт/м²) і 3 печі Демаг прямокутних з площею череня 430 м² кожна (потужність 48 МВт, питома потужність 72 кВт/м²).

Виплавлений феронікель містить 22 – 25 % Ni, витягання 90-93%, питома витрата електроенергії 660 кВт·ч/т сухої руди. [7]

Завод Бонао в Домініканській республіці. Плавлять феронікель в електропечах Хэтч потужністю 55,5 МВ·А. Завдяки плавці заздалегідь відновленого матеріалу питома витрата електроенергії на цьому заводі знижена до 440 кВт·ч/т, а чорновий феронікель 32 – 40% і у меншій мірі забруднений домішками. У нім міститься, %: 0,26 Si; 0,15 S; 0,02 C і 0,01 – 0,03 P.

Завод Сороако (Індонезія), плавлять феронікель в електропечах потужністю 45 МВ·А.

На Побужском феронікелевому комбінаті для виплавки феронікеля застосовують руднотермические печі потужністю 40 МВ·А. Руднотермическая пекти закритого типу, виконана з овальним металевим кожухом. Охолодження бічних стін - водяне, череневого листа-воздушное. Футерування подины і стін електропечі в зоні металу, виконана з периклазохромитового огнеупора марки ПХСП ГОСТ 1088-93 (7 – 15% Cr₂O₃; ≥ 70% MgO). По периметру печі блоки встановлені горизонтально, двома рядами. Між футеруванням подины і кожухом печі є компенсаційний шар з вуглецевої череневої маси. Футерування бічних стін печі комбіноване. Блоки укладені горизонтально по периметру печі. У зоні шлакового розплаву футерування виконане з графітованих блоків, розміром 750×400×400мм. Блоки укладені горизонтально по периметру печі. У зоні огарка і підсклепінного простору футерування печі виконане з шамотної цеглини.

Зведення плоске, водоохолоджуване. Між секціями зведення проміжки ущільнені шамотною цеглиною, бетонним розчином і шаром піску. По подовжній осі печі встановлені вертикально шість електродів, що самообжигаются, які обладнані гідравлічною системою регулювання просторового їх положення і перепускання. Руднотермическая пекти встановлена в плавильному цеху заводу 1978 р.. Після сушки і розігрівання досягнута потужність 22 МВт, з якою почата промислова її експлуатація. Аналізуючи роботи печі, необхідно відмітити, що за період 1978-2007г. Проведено п'ять капітальних ремонтів, у тому числі 4 ремонти із заміною футерування бічних стін (1982, 1989, 1992, 2007г.).

1.3 Технологічні особливості виплавки чорного феронікеля

Технологічна схема передбачає переробку імпортової сировини, що містить 2,2 – 2,3% нікелю. Руда перевозиться морським транспортом в порти Іллічівська і Миколаєва, а звідти по залізничній дорозі поставляється на

склади споживачам. Споживачам також надходять твердий вуглецьвмісний відновник - антрацитовий штиб, флюс - вапняк, газове вугілля, зола. З складу подають руду в сушарне відділення, а потім через відділення великого і середнього дроблення - в шихтарник для формування шихти з відновником і вапняком. Шихта - суміш руди, відновника і флюсу прямує на сушку і прожарення в трубчасті печі, що обертаються. Після сушки і прожарення огарок (обпалена шихта) при температурі 900–950⁰С перевантажується у футеровані вагон-кюбели, які транспортують його до бункерів для завантаження в дві руднотермические електропечі. Продуктом електроплавлення огарка в РПЗ є чорновий феронікель (вихід 11 – 14% від руди), що містить 16 – 18% нікелю, залізо, вуглець, кремній, хром, сірку, фосфор і відвальний електропічний шлак (вихід 73 – 78% від руди). Чорновий феронікель піддається позапічній (ковшевої) десульфурзації розплавленою кальцинованою содою з наступним продуванням киснем у вертикальних 50-тонних конверторах з верхнім кисневим дуттям. У конверторах відбувається видалення домішок - хрому, кремнію, вуглецю, сірки і фосфору. В результаті виходить товарний феронікель, призначений для виплавки спеціальних сталей. [8]

Така технологія виробництва феронікелю дозволяє мати найвищу культуру виробництва, що практично виключає забруднення водного і повітря басейнів. Виробництво феронікеля - безвідходне. Пил, шлами, уловлені в процесі виробництва в повному об'ємі повертаються в технологічний цикл у вигляді брикетів і окатишів. Відвальні електропічні шлаки використовуються в дорожньому будівництві, для тієї, що підсипає внутрішньокар'єрних доріг, для заповнення вироблених просторів шахт і кар'єрів, для виробництва абразивних матеріалів, виготовлення цементов, жароміцного бетону, основний шлак конверторного процесу - для промивання горнів доменних печей на підприємствах чорної металургії, електропічний газ - як додаткове паливо при випаленні руди в ТВП.

На рис. 1.4 приведена технологическая схема производства фероникеля ФН-5К.

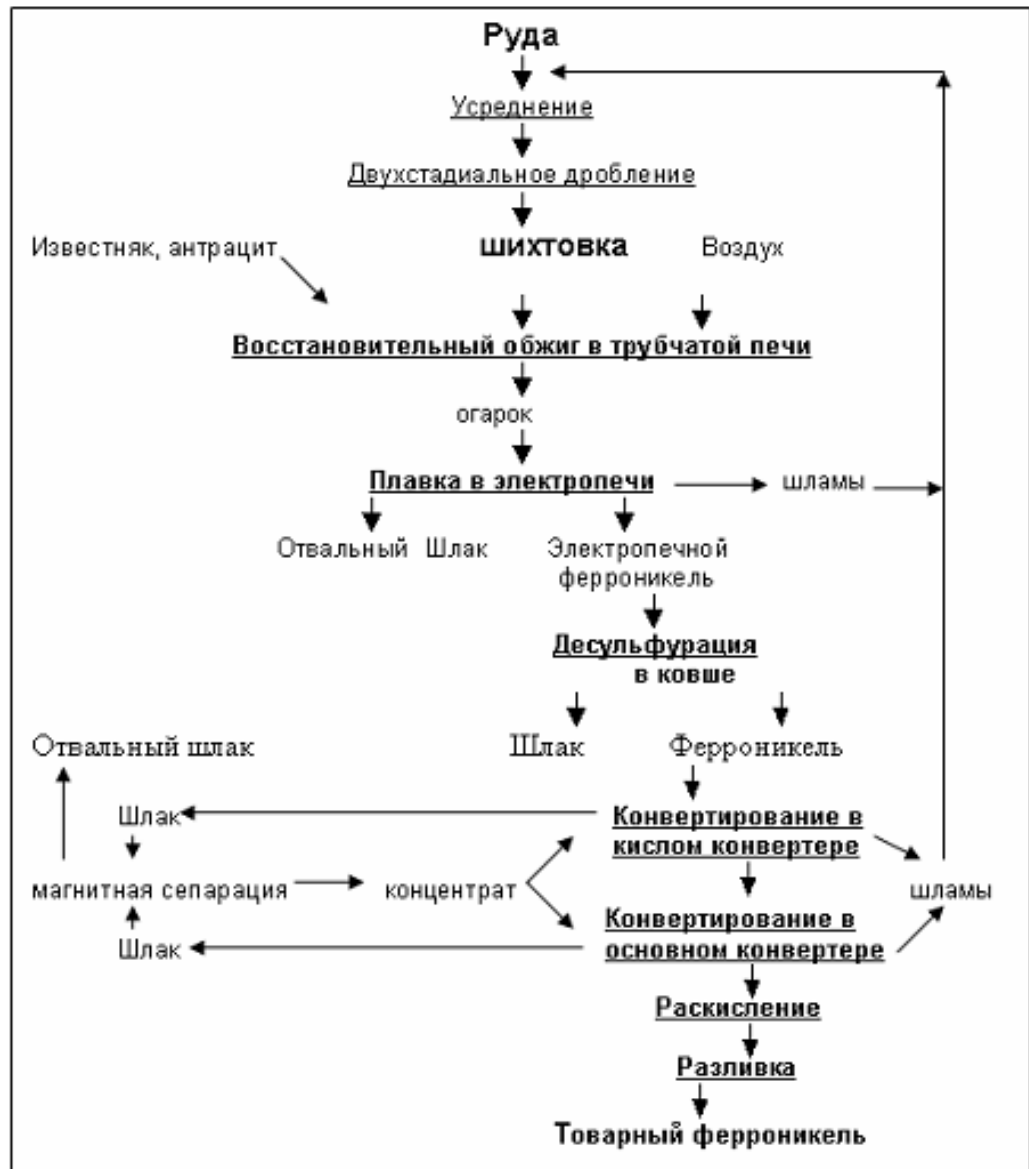


Рисунок 1.4 – Технологическая схема производства фероникеля ФН-5К

При производстве фероникеля используются: никелевая руда, що привезла, власна руда, шлами фероникелевого виробництва, оборотний пил, вторинні нікельвмісні матеріали, а також флюси, паливо і інші технологічні матеріали (у разі потреби).

Основною сировиною для виробництва фероникеля є окислена нікелева руда наступного хімічного складу (таблиця 1.4).

Таблиця 1.4 - Хімічний склад окисленої нікелевої руди, %_{мас}

NiO	Co	Fe	SiO ₂	MgO	Al ₂ O ₃	CaO	S	P	Cr ₂ O ₃
2,1–2,5	0,055	12–20	35–42	20–28	≤ 3	≤ 2	≤ 0,03	≤ 0,002	1–2

Окислена нікелева руда має дуже складний мінералогічний склад і, в основному, представлена різними видами силікатів:

- нонтронитами, з наближеною формулою:
(Mg, Fe⁺², Ni, Al, Fe⁺³) 2-3·n H₂O гарнієритом;
- гідрооксидами заліза різних видів : 60-80% Fe₂O₃; 4-9 % SiO₂; до 1,7% Al₂O₃; до 1% MgO і до 13 % H₂O;
- серпентинитами - чистими магнезійними силікатами Mg₆(Si₄O₁₀).
- в рудах частково присутні мінерали вільного кварцу, хлорити, гідрохлориди та ін.

Вологість руди не більше 30%.

Насипна вага руди: залежить від міри взрхленности руди і її вологості і міняється в межах 1,2-1,45т/м³. Велика що поступає у виробництво руди до 250мм. Руда рихла, представлена, в основному, серпентинитами з включенням гарнієритов. [8]

Руда доставляється на відкритий склад сировини залізничним транспортом - у відкритих вагонах. Зважування виробляється на залізничних вагах вантажопідйомністю 150 тонн. Кількість провішених вагонів не повинна перевищувати 10% від тих, які прибули одним поїздом, але не менш 2-х вагонів.

Руда розвантажується з вагонів на відкритій естакаді, складається пошарово в штабель об'ємом 100±10 тис. тонн краном грейфера - перевантажувача. Для коригування шихти по хімічному складу і з метою залучення нікелю до технологічного процесу можуть бути використані нікельвмісні шлами, що мають наступний хімічний склад табл.1.5.

Таблиця 1.5 - Хімічний склад шламів %_{мас}

Ni	Co	Fe _{общ.}	SiO ₂	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	S	P	C	H ₂ O
1,1- 1,9	0,08- 0,11	21,7- 35,0	23,0- 29,0	1,0- 3,7	3,5- 5,0	1,0- 4,3	1,0- 1,5	0,2- 0,31	0,05- 0,11	0,8- 1,5	до 50,0

Таблиця 1.6 – Хімічний склад власної руди, %_{мас}

Найменування елементів	Зміст, %
Нікель + кобальт	0,7 – 0,89
Залізо	19,0 – 24,5
Двуокись кремнія	35,0 – 42,0
Окись кальція + окись магнія	8,0 – 10,0

Як основний відновник можуть бути використані коксова дрібниця, газове вугілля з копалень Донецького басейну. Хімічний склад газового вугілля та золи представлені в таблиці 1.7 та таблиці 1.8.

Таблиця 1.7 - Хімічний склад газового вугілля, %_{мас}

C ^p	H ^p	S ^p	N ^p	O ^p	A ^p	Летучие	W ^p
63,0	4,45	1,9	1,19	9,06	8,84	29,0	11,6

Таблиця 1.8 - Хімічний склад золи, %_{мас}

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂
45,0	25,1	24,0	0,9	1,6	2,0	0,5	0,9

Як відновник в умовах рудної електроплавки застосовується антрацитове семечко марки АС фр. 6-13мм. Витрата антрацитового семечко становить 5-10% до ваги сухої руди.

Як основний флюс в технологічному процесі застосовується вапняк по ТУУ 14-16-35-90 або вапно, які використовуються при конвертації для отримання основних шлаків з метою глибшої десульфурації і дефосфорації.

Велика вапняку, використовуваного при конвертації 40-80 мм, масова сума оксидів кальцію для марки Ч1- 53,5%; для Ч2 - 51,5%; оксидів магнію не більше 5,0-4,0. Витрата вапняку при конвертації може досягати 150-250 кг на 1 тонну багатого електропічного феронікеля.

У трубчастих печах, що обертаються, як паливо для сушіння руди, розігріву і сушіння ковшів застосовується паливний мазут марок М-40 і М-100 за ДСТУ 4058-2001 з вмістом сірки не вище 2,0. Зразковий склад мазуту :

- вуглець - 81,3%; водень - 11,1%; зола - 0,5%; волога - 2%; сірка - 2,0%.

Теплотворна здатність мазуту 9500-9700 ккал/кг

У тому випадку, якщо електропіч працює в закритому газовому режимі при виробленні більше 2000 м³/год рудного газу з вмістом вуглецю більше 40%, тоді цей газ може використовуватися в трубчастих печах, що обертаються, як паливо.

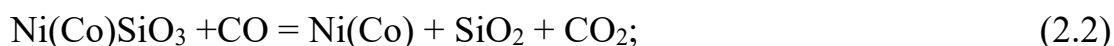
2 Технологічні основи виробництва феронікелю

2.1 Фізико-хімічні процеси отримання феронікеля

Фізико-хімічні перетворення при електроплавленні на феронікель включає: термічне розкладання складних з'єднань (що не пройшли розкладання при випаленні в трубчастій печі), відновлення оксидів нікелю, кобальту, заліза, хрому, марганцю, а також кремнезему. Плавлення шихти і утворення рідких фаз, обмінні реакції взаємодії цих фаз, розподіл металеві і шлакової фаз. [8]

Термічне розкладання складних з'єднань в електропечах закінчується, оскільки на плавку поступає шихта, що вже пройшла випалення і прожарення при 900-9500С в трубчастих печах, що оберталися.

Основні фізико-хімічні перетворення в електропечі починаються в шихтових укосах на відстані 300-400 мм від межі розділу шихта - розплав. Висхідний газовий потік, що складається з суміші гарячих газів, що містять до 80 % Із сприяє початку інтенсивного протіканні реакцій відновленні оксидів і силікатів нікелю і кобальту до металу. Тут же відбувається інтенсивний перехід оксидів заліза з гематиту і магнетиту в закис по наступних реакціях:



Вимірами встановлено, що до моменту розплавлення шихти міра відновлення нікелю до металу досягає 55-68,5 %.

Слід зазначити деякі важливі особливості електроплавлення руди на феронікель:

1. Здійснення більшості фізико-хімічних перетворень і шихті до її розплавлення і у момент розплавлення. Особливо це характерно для залістистих нікелевих руд.

2. Протікання відновних процесів у верхніх горизонтах шлакової ванни, обмежених завглибшки занурення електродів (характерно при плавці руди, що містить нікель, кобальт і залізо в силікатних формах).

3. Спінювання шлаків при швидкостях виділення газоподібних продуктів понад 3-4 см³/мін на 1м² дзеркала ванни печі (при цьому зміст заліза в шлаках складає 12,5-28 %).

4. Відновлення компонентів шихти твердим вуглецем у разі його вступу в нижні горизонти шихтових укосів, що створює умови для виникнення мікродуг і утворення зон з підвищеною температурою.

Невідповідність електричного режиму технології плавки може сприяти переходу печі на роботу з частковим дуговим розрядом. У цих випадках наявність твердого вуглецю призводить до інтенсивного протікання реакції відновлення кремнезему, оксидів хрому і насиченню сплаву залізонікеля, що утворився, кремнієм, хромом і вуглецем. Це у свою чергу знижує активність заліза в розплаві і збільшує втрати нікелю з відвальними шлаками із-за незначних швидкостей обмінних реакцій, що протікають між металевою і шлаковою фазами при осадженні крапель феронікеля.

При відновному електроплавленні окислених нікелевих руд протікають процеси відновлення шихти вуглецевим відновником і її плавлення з утворенням сплаву і шлаку, а також процеси взаємодії крапель сплаву, що утворилися, з оксидним розплавом. Зважаючи на обмежений контакт окисленого нікелю з твердим вуглецем при жидкофазном відновленні пряме

відновлення нікелю має підлегле значення, і остаточний розподіл нікелю між рідкими фазами в електропічній ванні визначається наступними реакціями:



При стабільному технологічному режимі плавки металева ванна печі однорідна по глибині і площі. Зміна технології плавки для отримання потрібного складу по нікелю не вимагає повного обміну металевої ванни. Цього можна досягти протягом 24-36 ч після зміни складу початкової шихти.

Продуктами електроплавлення окислених нікелевих руд є феронікель, шлаки, газу і пил.

Основною проблемою при виробництві феронікеля на Побужском феронікелевому комбінаті являється стійкість футерування, ремонт якого проводився кожні п'ять років. Розробка стійкішого футерування і вдосконалення технології виробництва феронікеля, що забезпечують тривалу роботу печі без капітальних ремонтів, є метою цього дипломного проекту.

2.2 Розрахунок шихти та матеріального балансу

виплавки феронікелю ФН-5К

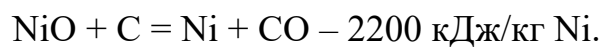
Вихідні дані для формування складу шихти та розрахунку матеріального балансу виплавки сплаву ФН-5К представлені у табл.2.1.

Таблиця 2.1 – Хімічний склад огарка %_{мас}

NiO	FeO	Fe ₂ O ₃	MgO	SiO ₂	C	Al ₂ O ₃	CaO	Σ
4,19	7,8	14,78	28,2	40,63	3,4	0,95	1,05	100

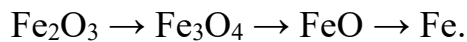
Матеріальний баланс плавки рахуємо на 1 т завантаженого в піч огарка.

Відновлення нікелю відбувається по реакції:



В результаті реакції в сплав перейде $30 \cdot 59/75 = 23,57$ кг нікелю. Для цього буде потрібно $30 \cdot 12/75 = 4,82$ кг вуглецю і утворюється $30 \cdot 28/75 = 11,25$ кг або 9 м^3 з.

Приймаємо, що відновлення оксидів заліза вуглецем відбувається за схемою:



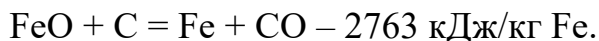
Виходячи з цього, розраховуємо перехід Fe₂O₃ огарка в FeO по сумарній реакції:



З 157,8 кг Fe₂O₃ огарка утворюється $157,8 \cdot 144/160 = 142$ кг FeO. На відновлення буде потрібно $157,8 \cdot 12/160 = 11,84$ кг вуглецю і утворюється $157,8 \cdot 28/160 = 27,62$ кг або $22,1 \text{ м}^3$.

Сумарна кількість FeO для подальшого відновлення буде рівна: $68 + 142 = 210$ кг

З FeO залізо відновлюється по реакції:



Приймаємо, що в реакції бере участь 60% FeO, решта переходить в шлак. Тоді, в метал переходить $(210 \cdot 56/72) \cdot 0,6 = 98$ кг заліза, в шлак $210 \cdot 0,4 = 84$ кг FeO. Для цього буде потрібно $(210 \cdot 12/72) \cdot 0,6 = 21$ кг вуглецю і утворюється $(210 \cdot 28/72) \cdot 0,6 = 49$ кг або $39,2 \text{ м}^3$.

Відновлення кремнію відбувається по реакції:



Приймаємо, що в реакції бере участь 2% SiO₂, решта переходить в шлак. Тоді, в метал переходить $(426,3 \cdot 28/60) \cdot 0,02 = 4,15$ кг кремнію, в шлак $426,3 \cdot 0,98 = 417,4$ кг SiO₂. Для цього буде потрібно $(426,3 \cdot 24/60) \cdot 0,02 = 3,56$ кг вуглецю і утворюється $(426,3 \cdot 56/60) \cdot 0,02 = 8,31$ кг або $6,65 \text{ м}^3$.

У шлак також перейде 262 кг MgO, 10,5 кг CaO і 9,4 кг Al₂O₃.

Всього утворюється $23,57 + 98 + 4,15 = 125,72$ кг металу. Феронікель містить близько 2% або в даному випадку $125,72 \cdot 2/98 = 2,57$ кг

На проведення відновних процесів буде потрібно $11,84 + 4,82 + 21 + 3,56 = 41,22$ кг вуглецю. Огарком вноситься 36 кг вуглецю. На 1 т огарка витрачається близько 2 кг електродів. Додатково потрібно буде внести $41,22 + 2,57 - 36 - 2 = 5,79$ кг вуглецю.

Склад чорнового феронікеля буде наступним, %_{мас}:

Ni	Fe	Si	C
18,38	76,39	3,23	2,00

Формується шлак при виплавці ФН у складі, %_{мас}:

FeO	MgO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO
11,72	32,45	53,09	1,4	1,36

Матеріальний баланс виплавки чорного феронікеля приведений в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 - Матеріальний баланс процесу виплавки чорного феронікеля ФН-5К

Поступило, кг		Вилучено, кг	
Огарка	1000	Металу	128,2
Електродів	2	Шлака	9
Вуглеця	5,79	Окисі вуглеця	783,3
			96,18
Всього	1007,79	Всього	1007,77

Витрата електроенергії на 1 тону нікелю складає 50000 кВт·ч або в перерахунку на 1 т чорного феронікеля 9190 кВт·ч.

2.3 Узагальнена технологія виплавки ФН-5К

В Україні виробництво феронікеля було засноване на базі Побужском феронікелевому комбінаті. До складу цього гірничо-електрометалургійного комплексу входять кар'єр по видобутку оксидної нікельвмісної руди (приблизно 1,0% Ni) Побужского родовища; власне електрометалургійний завод з барабанними печами, що обертаються, для випалення руди, двома потужними руднотермічними дуговими електропечами типу РПЗ-40ЦИ, установками позапічної (ковшевої) десульфурації (електропічного) феронікеля, чотирма 50-тонними конверторами з кислим і основним футеруванням для послідовного рафінування феронікеля від кремнію, хрому, вуглецю, фосфору і сірки, розливними машинами для механізованого розливання товарного феронікеля і ділянки переробки відвального шлаку з отриманням щебеня для дорожньо-транспортного будівництва. Вироблюваний в на вітчизняній руді феронікель містив 5 – 6% нікелю. При великій питомій витраті електроенергії (близько 70000 кВт·ч на 1т нікелю у

феронікелі) і постійно зростаючій ціні на електроенергію, виробництво бідного феронікеля виявилось малоефективним, а з початку 1990-х рр. зовсім нерентабельним. З метою поліпшення якості феронікеля і підвищення його конкурентоспроможності на міжнародному ринку нині на комбінаті проведені системні розробки по поліпшенню технології, електротермічного устаткування, що дозволило підвищити його якість до рівня, передбаченого проектом галузевого стандарту, що розробляється. Феронікель, що отримується способом руднотермічної відновного електроплавлення імпортової новокаледонської руди (2,2 – 2,5% Ni), має наступний хімічний склад, маси: % 15 – 17 Ni; 0,3 – 0,4 Co; 0,5 – 5,0 Si; 0,5 – 2,0 Cr; 1,8 – 2,5 C; 0,013 – 0,020 Cu; 0,2 – 0,4 S; 0,01 – 0,02 P, решта - залізо. [8]

Для зниження кількості примес-них елементів електропічної (чорновий) феррони-кель піддається трьохстадійному рафінуванню: десульфуратції содою в ковші: окислювальному рафінуванню в конвертері з кислим (динасовою футеруванням з метою зниження змісту хрому і кремнію : окислювальному рафінуванню в конвертері з основним (магнезито-хромитовою футеруванням) футеруванням для дефосфорації, зневуглецювання і остаточного окислення кремнію і хрому під основним шлаком. [2]

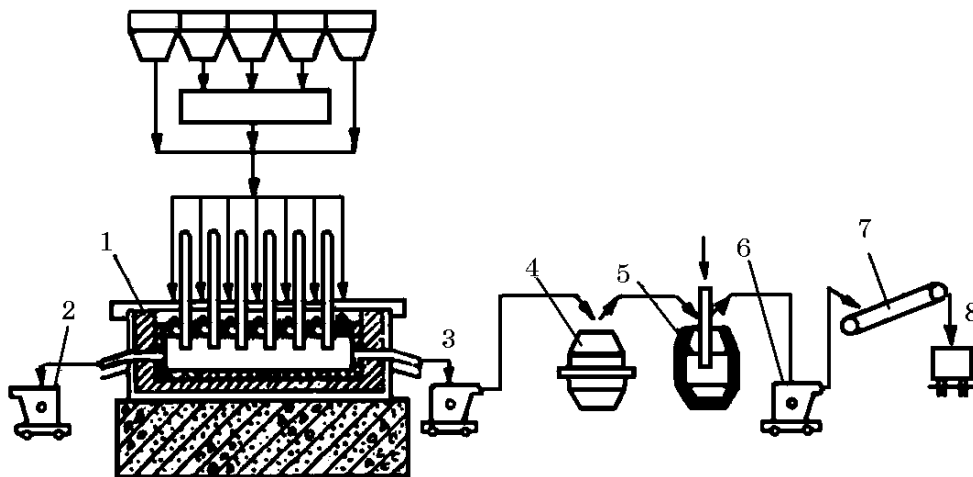
Технологічна схема отримання феронікеля в електропечах включає наступні основні стадії, приведені на рис. 2.1.

1. Підготовка і усереднювання нікельвмісної руди на відкритому складі.
2. Підготовка, дозування шихтових матеріалів і випалення шихти, що складається з руди, вапняку, антрациту і оборотного пилу, в барабанній печі, що обертається.
3. Електроплавлення гарячої шихти в руднотермічних електропечах типу РПЗ-40ЦИ для отримання чорнового феронікеля (3,5 – 6% Ni, 2 – 6% Si, < 0,2% S і 0,015% P).

4. Рафінування чорного феронікеля методами позапічної десульфурзації розплаву в ковші, наступним продуванням феронікеля киснем в конверторах з кислим і основним футеруванням.

5. Розливання рафінованого феронікеля на розливних машинах конвеєрного типу.

Навішування для випалення в барабанних печах складає: 1т сухої руди, 150 кг антрацитового штибу, 5 кг оборотного пилу. Печі мають діаметр 3м і довжину 75м. Зона випалення в печі складає 9–12м. Як паливо використовують газ або мазут. Температура факела досягає 1200°C , а шихти - не вище 850°C щоб уникнути перегрівання і утворення кільцевих настилій. Печі працюють за принципом протитечії. Температура газів, що відходять, $220 - 300^{\circ}\text{C}$, а шихти (огарка) 950°C .

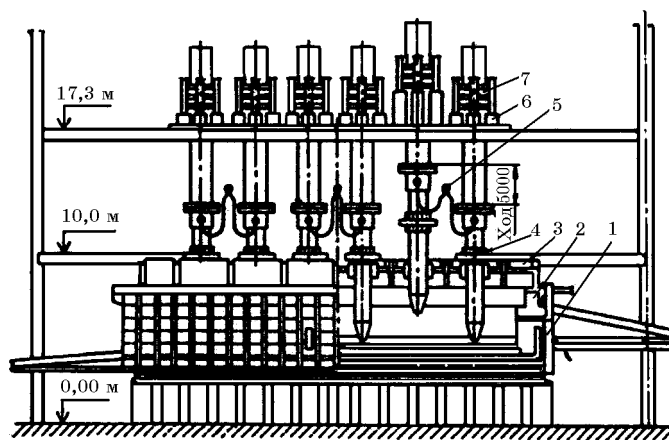


1 – електропіч; 2 – шлаковий ківш 3 – ківш для чорного нікелю; 4 – конвертер для видалення Si і Cr; 5 – конвертер для дефосфорації; 6 – ківш для рафінованого феронікеля; 7 – розливна машина; 8 – залізничний вагон.

Рисунок 2.1 – Технологічна схема виробництва феронікеля

Феросплавні печі обладнані електродами, що самообжигуючимися, діаметром 1200 мм. Максимальний струм в електроді 41,4кА. Процес ведуть на східцях напруги, відповідних 500, 403 і 297В. Випуск продуктів плавки

виробляється через три різновисотні льотки для феронікеля. Можна досягти добрих результатів стійкості футерування, і продуктивності шляхом збільшення кожуха печі на 1000мм вниз, при цьому за рахунок збільшення завантаження зменшиться температура зведення і склепінного устаткування що збільшує термін служби устаткування, отже уменшає витрати на ремонт. Отже при збільшенні продуктивності ми зможемо чіткіше тримати рівень металу що продовжить час роботи печі, і перекриє витрати на модернізацію.



1 - кожух печі; 2 - футерування; 3 - зведення; 4 - ущільнення; 5 - токоподвод, 6 - механізм переміщення електроду; 7 - механізм перепускання електроду.

Рисунок 2.2 - Схема печі для виплавки феронікеля

2.3.1 Дозування і подача шихтових матеріалів в піч

Дозування шихти здійснюється персоналом обпалювального переділу за допомогою весоизмерительной техніки. Вагове господарство на відмітці 31м, щодоби перевіряється працівниками цеху КИПиА. Не рідше за 1 раз в тиждень проводиться перевірка вагового господарства за допомогою бункерів з тензометричними датчиками у присутності працівників ОТК.

Уловлений пил з бункерів електрофільтрів в трубчастій печі ТВП, що обертається, після зволоження в змішувачах до вологості 14 – 20% транспортується на грудкування (обдавання або брикетування) або ж на місце її складування. Окомковання пил задається у виробництво разом з рудою рівномірно із складу рудної сировини в заданій кількості. У разі переробки рудної сировини з підвищеною вологістю (більше 30%) допускається подшихтовка пилу безпосередньо на руду при її подачі, без грудкування.

Нікельвмісні шлами газоочищень, що утворюються на електропічному і конвертерному переділі, є оборотним продуктом і повертаються у виробництво. Подача шламів здійснюється безпосередньо після згущування пульпи в трубчасту піч на шихту. Кількість шламів, що подаються, визначається відповідно до плану виробництва. Допускається повернення шламів у виробництво шляхом закладки на підшву рудного штабелю, в окомкованном виді разом з рудою і пилом із складу сировини. Гранулометричний склад огарка визначається контролером ОТК не рідше за один раз в декаду з видачею результатів плавильному цеху, виробничо-технічному відділу. [9]

Для подачі огарка в плавильний простір, електропечі обладнані бункерами, футерованими зсередини і ізольованими від металоконструкцій печі робочими кінцями і труботечками, що мають затвори.

Оперативний облік завантаженого в піч огарка здійснюється за допомогою зважування завантажених вагон-кюбелей на відмітці +17 м металургійного цеху МЦ. Кількість огарка у вагон-кюбеле повинна складати близько 9 т. Облік точної кількості завантаженого огарка здійснюється тензометричними датчиками з передачею даних в систему АСУТП РПЗ. Сумарна кількість огарка, завантаженого за зміну визначається за результатами годинного завантаження. Завантаження огарка в бункери електропечі виробляється у міру його витрачання.

2.3.2 Проведення процесу виплавки чорного феронікелю

Сировиною що переробляється в РПЗ для отримання феронікеля являється гарячий огарок з температурою до 900 – 950°C. Велика огарка має бути менше 80 мм. Огарок великою більше 80 мм завантажувати в РПЗ забороняється, оскільки цей матеріал може привести до забивання труботечок і простоям електропечі. Огарок отримують в трубчастих печах (ТВП), що обертаються, шляхом випалення шихти, що складається з суміші руди, відновника, оборотного пилу і шлаків. Співвідношення компонентів шихти встановлюється залежно від хімічного складу руди, шлаку, ходу печі і задається заступником начальника металургійного цеху або старшим майстром електропічної ділянки. [6]

Уловлений пил з бункерів електрофільтрів рівномірно в межах 6 – 8% до ваги сирової руди подається в трубчасті печі за наявності руди на стрічці.

Оперативний облік, огарка, що подається в піч, здійснюється шляхом зважування його на 10-тонних вагах (відмітці 17 м плавильного переділу) і щогодини передається на пульт РПЗ, сумарну кількість огарка, завантаженого за зміну визначається за результатами годинного завантаження. Завантаження огарка в бункери електропечі виробляється у міру його проплавлення. Подача огарка від ТВП до РПЗ здійснюється самохідним вагон-кюбелем. Управління вагон-кюбелей може бути місцевим, дистанційним, автоматичним. Для подачі огарка в плавильний простір, електропечі обладнані бункерами, футерованими зсередини і ізольованими від металокопункцій печі робочими кінцями і труботечками, що мають затвори. Управління завантаженням огарка в плавильний простір здійснюється за допомогою дискових затворів. Управління затворами може бути автоматичне або дистанційне. На руднотермічних печах встановлена автоматична система управління завантаженням "Програматор", яка забезпечує завантаження огарка в заданому тимчасовому режимі. Можлива

установка інших АСУ, удосконалювальних технологій електроплавлення. [13]

Вантажиться огарок в піч порціями залежно від потужності на електроді і його заглибленні, залежно від режиму роботи печі, хімічного складу огарка. Темп завантаження визначається співвідношенням знімання електроенергії на 1 тону огарка, який має бути близько 580 – 600 кВт·ч/т залежно від мінералогічного складу сировини, що переробляється.

Випуск продуктів плавки виробляється через три різновисотні льотки для феронікеля і три для шлаку. При проплавленні 1т огарка виходить 120 – 140 кг чорнового феронікеля і 650–700кг шлаку.

2.3.3 Рафінування чорнового феронікеля

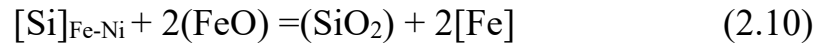
Процес рафінування чорнового феронікеля складається з попередньої десульфурзації рідкого чорнового феронікеля і послідовного рафінування від кремнію, хрому, вуглецю, сірки і фосфору у вертикальних конвертерах з кислим і основним футеруванням з верхнім продуванням киснем (дулекс-процес).

Чорновий феронікель має високий вміст сірки, що поступає з вуглецевого відновника і з руди, він піддається попередній позапічній десульфурзації в ковші карбонатом натрію (содою). В результаті отримують феронікель, по хімічному складу відповідний марку ФН- 6, який використовують в ливарному виробництві. Процес видалення сірки може в загальному вигляді представлений реакцією:

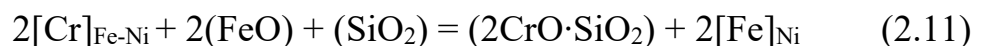


При десульфурзації феронікеля (0,3-0,4% Si) в ковші з содою (витрата 4-5% від ваги металу) міра десульфурзації складає 50-60% мінімальний вміст сірки вдався в досвідчених плавках до 0,48%. Очищений частково від сірки

феронікель заливають в конвертер з кислим футеруванням і піддають продуванню киснем для видалення кремнію і хрому. Окислення кремнію протікає по реакції:

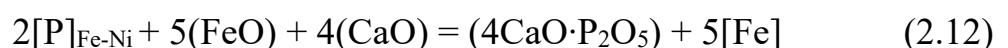


Для охолодження ванни в конвертер досаджують залізняк і власні відходи. Оксиди заліза, взаємодіючи з кремнеземом, знижують його активність в шлаку, що покращує умови окислення кремнію. Важливим завданням кислого процесу конвертації є зниження змісту у феронікелі хрому, якщо його концентрація обмежена (окрім марок ФН- 6 і ФН- 7). Кислі шлаки сприяють переходу хрому з металу в шлакову фазу по реакції:



Якщо переділу піддається феронікель з високим вмістом кремнію, шлаки, що утворюються, стають насиченими кремнеземом, вони мають високу в'язкість і нетехнологічні. У таких випадках в кислому конвертері ведуть окислення в основному кремнію. Щоб попередити окислення хрому і вуглецю присадками (залізняк, відходи), що охолоджують, домагаються певного температурного режиму конвертації 1370–1450⁰С, оскільки при $t > 14750\text{C}$ настає значне окислення вуглецю. Відвальний шлак рафінування в кислому конвертері має наступний склад, %: SiO₂ 52 – 55; Fe 15 – 25; CaO 1,7; MgO 2 – 6; Cr₂O₃ 1 – 8; Al₂O₃ 3; Ni 0,09.

Після рафінування в конверторі з кислим футеруванням феронікель заливають в конвертер з основним футеруванням і піддають конвертації для видалення фосфору. Процес окислення фосфору в основному конвертері при наявності високоосновних шлаків може бути представлений реакцією:



При продуванні розплаву киснем згори, разом з дефосфорацією при досягненні вищої температури відбувається і окислення вуглецю, внаслідок чого зміст його знижується до 0,1%. Після основної конвертації отримують товарний феронікель, по хімічному складу відповідний марці ФН-5М. Готовий сплав розливають на конвеєрних машинах. Маса зливка 40–50кг. Шлак основної конвертації має наступний склад, % CaO 15 – 20; SiO₂ 5 – 10; FeO 35 – 50; Ni 0,05; Co 0,005; Cr₂O₃ 1 – 10. Шлак кислої і основної конвертації піддають магнітній сепарації для витягання частинок феронікеля. Електропічний шлак використовується для отримання фракціонованого щебеня, вживаного в дорожньому будівництві, що забезпечує безвідходну технології. Питома витрата електроенергій на металургійну переробку 1т сухої нікельвмісної руди складає 573 кВт·ч/т.

2.3.4 Випуск та розливання феронікелю

Перед розливанням феронікеля для запобігання приварюванню злиwkів, виливниці (мульди) разливмашины обприскуються вапняним молоком і просушуються газом або природним чином на повітрі. [2]

Для обприскування мульд заготовлюється необхідна кількість вапняного молока і закачується в баки-обприскувачі. Готується до розливання приймальний жолоб. Підготовка полягає в заправці його формувальним піском і просушуванні газом. При необхідності розчищається і підмазується піском шкарпетка ковша, отвір у шкарпетки пробивається ломиком або прочищається кисневою трубкою.

Почати злив феронікеля, рівномірно кантуючи ківш. Струмінь металу повинен стікати рівно, не переповнюючи жолоб і мульди. При переповнюванні жолоба металом процес кантування ковша з розплавом необхідно уповільнити. У міру зливу металу кут нахилу кантівального пристрою слід збільшити.

Розливання феронікеля ведеться на такій швидкості, при якій зливки металу до кінця розливної стрічки устигають затвердіти.

Проби феронікеля при розливанні відбираються:

- на початку розливання;
- в середині розливання;
- у кінці розливання.

Після закінчення розливання феронікеля разливмашина готується до наступного зливу.

Температура металу на розливанні має бути 1300–1350°C

Для збереження магнітних властивостей при розливанні феронікеля марок ФН-5М, ФН-5К, ФН- 6 обертання конвеєрних стрічок разливмашины виробляти на 1 і 2 швидкостях.

Охолодження злиwkів водою на стрічках разливмашины і у вагоні - максимальне. Після закінчення розливання продовжувати охолодження злиwkів у вагоні водою протягом 10 – 15 хв.

2.4 Системи механізації і автоматизації виробничого процесу

Пристрої переміщення і перепускання електродів

Перепускання і переміщення електродів здійснюється за допомогою гідравлічних пристроїв, що живляться маслом під тиском 48 – 64 кг/см² від насосної акумуляторної станції (НАС), обслуговуваних в змінах черговим слюсарем по ремонту металургійного устаткування.

Перепускання електродів на задану величину і переміщення електродів при коригуванні електричного режиму виробляється за допомогою гідравлічного приводу. Величина робочого ходу електроду складає до 1200 мм, максимальна вантажопідйомність системи гідроперепускання 100 т.

З метою запобігання поломкам пристроїв і деталей електропечі для обмеження ходу електроду вгору і вниз в системі перепускання встановлені

кінцеві вимикачі. Забороняється знімати і встановлювати заново кінцеві вимикачі без дозволу старшого майстра, майстра ЕПУ.

Щоб уникнути виникнення пожежі в кабіні електродів на відмітці +17 м усі гідравлічні пристрої механізму перепускання мають бути чистими, не допускається наявність течі масла.

У міру обгорання електродів перепускання здійснювати не більш 200мм в зміну при разовому перепусканні не більше 50 мм.

Гума перепускних щік має бути не промасленою, в справному стані, так само як і кожух - це забезпечить при робочому тиску масла нормальне перепускання електродів.

Відповідальність за працездатність гідравлічного устаткування покладається на механіка ділянки, старшого механіка цеху.

3 Технологічне оснащення виробництва феронікелю

3.1 Характеристики феросплавних печей

Для плавки феронікеля застосовують електропечі великої потужності - від 17 до 83 МВ·А. Футерування ванни печей виконується, як правило, керамічними огнеупорами-периклазохромитом, периклазом. Стійкість футеровки забезпечується інтенсивним охладженням-водяним охладженням кожуха печі. Питомий проплав руди складає від 3,5 до 14т/(м²·сут). На більшості заводів плавлять руду, що містить 2,5% Ni (Доніамбо, Серро Матосо, і Японські заводи), але не нижче 1,3 – 1,6% Ni. В процесі плавки отримують чорновий феронікель, що містить 15 – 35% (Ni+Co). Витягання нікелю складає 88 – 95%.

Виплавлений феронікель містить 22 – 25 % Ni, витягання 90-93%, питома витрата електроенергії 660 кВт·ч/т сухої руди. [6]

Завод Бонао в Домініканській республіці. Плавлять феронікель в електропечах Хэтч потужністю 55,5 МВт. Завдяки плавці заздалегідь відновленого матеріалу питома витрата електроенергії на цьому заводі знижена до 440 кВт·ч/т, а чорновий феронікель 32 – 40% і у меншій мірі забруднений домішками. У нім міститься, %: 0,26 Si; 0,15 S; 0,02 C і 0,01 – 0,03 P.

Завод Сороако (Індонезія), плавлять феронікель в електропечах потужністю 45 МВт.

На Побужском феронікелевому комбінаті для виплавки феронікеля застосовують руднотермічні печі потужністю: 40 МВт. Руднотермічна піч закритого типу виконана з овальним металевим кожухом. Охолодження бічних стін - водяне, череневого листа-воздушное. Футерування подины і стін електропечі в зоні металу, виконана з периклазохромитового огнеупора

марки ПХСП 1088-93 (7 – 15% Cr₂O₃; ≥ 70% MgO). По периметру печі блоки встановлені горизонтально, двома рядами. Між футеруванням подины і кожухом печі є компенсаційний шар з вуглецевої череневої маси. Футерування бічних стін печі комбіноване. Блоки укладені горизонтально по периметру печі. У зоні шлакового розплаву футерування виконане з графітованих блоків, розміром 750×400×400мм. Блоки укладені горизонтально по периметру печі. У зоні огарка і підклепінного простору футерування печі виконане з шамотної цеглини.

Зведення плоске, водоохолоджуване. Між секціями зведення проміжки ущільнені шамотною цеглиною, бетонним розчином і шаром піску. По подовжній осі печі встановлені вертикально шість електродів, що самообжигаются, які обладнані гідравлічною системою регулювання просторового їх положення і перепускання. Руднотермична піч встановлена в плавильному цеху заводу 1978 р.. Після сушки і розігрівання досягнута потужність 22 МВт, з якою почата промислова її експлуатація. Аналізуючи роботи печі, необхідно відмітити, що за період 1978-2007г. Проведено п'ять капітальних ремонтів, у тому числі 4 ремонти із заміною футерування бічних стін (1982, 1989, 1992, 2007г.).

Продуктивність ділянки плавки визначається наявністю існуючих потужностей. Оптимальним рішенням є варіант ділянки, де встановлено дві феросплавні печі типу РПЗ-40. У цьому випадку добова продуктивність ділянки становитиме:

$$P_{c.p.} = (2 \times 24 \times W \times \cos \varphi \times K_u) / A,$$

де: 24 – число годин на добу;

W – встановлена потужність трансформатора кВт;

$\cos \varphi$ – середневзвешений коефіцієнт потужності печі;

K_u – коефіцієнт використання потужності печі;

A – питома витрата електроенергії при виплавці цього сплаву, кВт·ч/т.

$$\begin{aligned} \text{Пс.п.} &= (2 \times 24 \times 40000 \times 0,8 \times 0,803) / 9190 = \\ &= 134 \text{ т чорнового феронікеля.} \end{aligned}$$

Річна продуктивність феросплавної електропечі визначається співвідношенням:

$$\text{П}_{\text{п.г.}} = \text{П}_{\text{п.с.}} \cdot \tau_{\text{ф, т/ГОД}} \quad (3.2)$$

де: $\tau_{\text{ф}}$ – фактичний час печі за рік, сут.

$$\text{П}_{\text{п.г.}} = 134 \cdot 330 = 44290 \text{ т чорнового феронікеля в рік.}$$

3.2 Основні елементи конструкції пропонованої печі

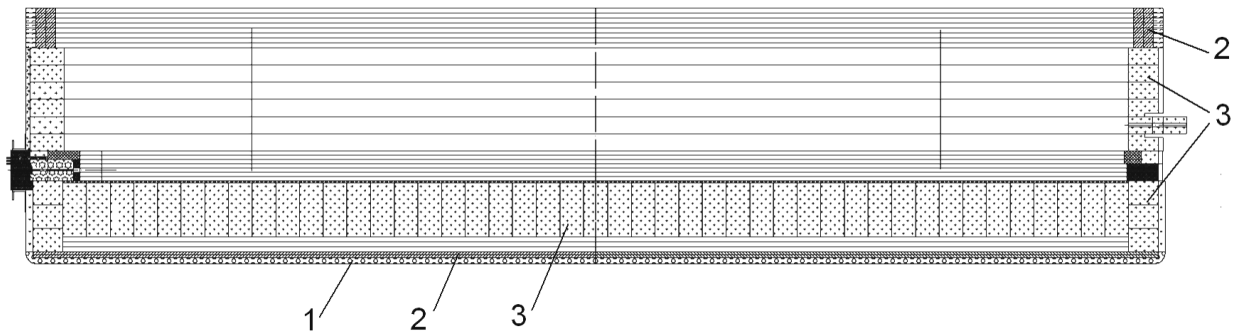
Основним елементом конструкції печі є футерування. Усі матеріали і вироби, вживані для футерування повинні відповідати ГОСТам, технічним умовам і кресленням проекту.

Футерування РПЗ - 40 виконане таким чином: подина і зона ванни металу - з вугільних блоків (у разі переробки високомагnezійної руди подина виконується з

периклазохромита або периклазу), стіни шлакової ванни - з графітованих блоків, стіни підсклепінного простору - з шамотної цеглини, зведення з водохлаждаемых кесонів; проміжки між

секціями ущільнені шамотним кирпичем і бетоном.

Схема футерування ванни печі приведена на рис. 3.1.



1 - шамотна крихта; 2 - цеглина шамотна; 3 - блоки вугільні

Рисунок 3.1 – Футерування руднотермической печі для виробництва чорного феронікеля

Тривалість служби футерування багатшлакових руднотермических печей (РПЗ) багато в чому визначає техніко-економічні показники виробництва феросплавів. Традиційне футерування електropечей на основі оксидних вогнетривів, в основному з хромомагнезитового цеглини, що застосовувалася декілька десятиліть тому, змінило комбіноване углеродисте футерування, що показало задовільну стійкість при виплавці бідного феронікеля. Хороша стійкість високотеплопровідних графітованих блоків забезпечується створенням на їх внутрішній поверхні шару захисного гарнісажа, що оберігає їх від корозії (окислення шлаком). Утворення гарнісажа визначається умовами теплової роботи вогнетривкової стінки і рядом фізичних властивостей контактуючого розплаву і огнеупора. Виходячи з умов утворення гарнісажа, легко пояснити механізм зносу оксидного і вуглецевого футерування. Оксидні вогнетриви мають порівняно великий тепловий опір, тому температура вогневої поверхні, як правило, перевищує температуру плавлення розплаву. Створюються сприятливі умови для розчинення вогнетривів в шлаку, чим і обумовлена їх низька стійкість. Порівнюючи коефіцієнти тепловіддачі від шлакового і металевих розплавів, слід зазначити, що в металевій зоні для створення умов утворення металевого гарнісажа тепловий потік має бути на порядок більше, що важко забезпечити

навіть у разі інтенсивного охолодження стінки. Внаслідок цього важливим при виборі футерування металеві зони є підбір огнеупора, стійкого до металевого розплаву. Проблемою є низька стійкість кераміки в шлаковому розплаві без охолодження. Створення на вогневій поверхні шлакового гарнісажа можливо шляхом закладки водоохолоджуваних холодильників (що зв'язане з підвищеними витратами), або при зменшенні теплового опору стінки - комбінуванням матеріалів стінки (стійкий до дії металу - високотеплопровідний огнеупор). Як приклад можна привести комбінацію кераміка (периклазохромит) - графіть. При цьому керамічна стінка захищає графітний шар від розчинення в металі, а низький сумарний тепловий опір гарантує утворення на вогневій поверхні кераміки шару шлакового гарнісажа, що захищає її. Деяке збільшення долі втрат тепла, пов'язаних з підвищенням теплопровідності незначної ділянки футерування (по рівню розділу метал-шлак) не зможе значною мірою вплинути на енергетичні показники виробництва.

Таким чином, стійкість вогнетривкого футерування з периклазохромитових цегли необхідно виключати безпосередній контакт огнеупора з вуглецевою масою шва і створити буферний шар між цеглиною периклазохромитовим і графітованими блоками, що знижує вірогідність прориву через вогнетривке футерування. Робота графітового футерування в цих режимах на ПФК була випробувана уперше і результати, отримані при експлуатації електропечей з даною конструкцій кладки, були задовільними.

3.3 Робочі параметри пічних трансформаторів

Таблиця 3.1 – Характеристика пічних трансформаторів

СТОРОНА ВН			СТОРОНА НН		
Положення показчика	Напруга, В	Струм, А	Положення показчика	Напруга,В	Струм, А

(ступені)			(ступені)		
1	2	3	4	5	6
З'єднання трансформаторів в «трикутник»					
1	35000		1	600	33330
2			2	580	34500
3		571	3	561,5	35650
4			4	544	36750
5			5	527,5	37900
6		556	6	512	
7		556	7	497,5	
8		541	8	484	
9		526	9	471	
10		512	10	458,5	
11			11		
1	2	3	4	5	6
12		500	17	447	
13			13		
14		487	14	435,5	
15		464	16	425	
16		464	16	415	
17		453	17	405,5	
18		443	18	396	
19		433	19	367,5	
20		35000	424	20	
21	415		21	371	
22	406		22	363	
23	398		23	356	

Схема електропостачання феросплавної печі РПЗ-40 наведено на рисунку

3.2.

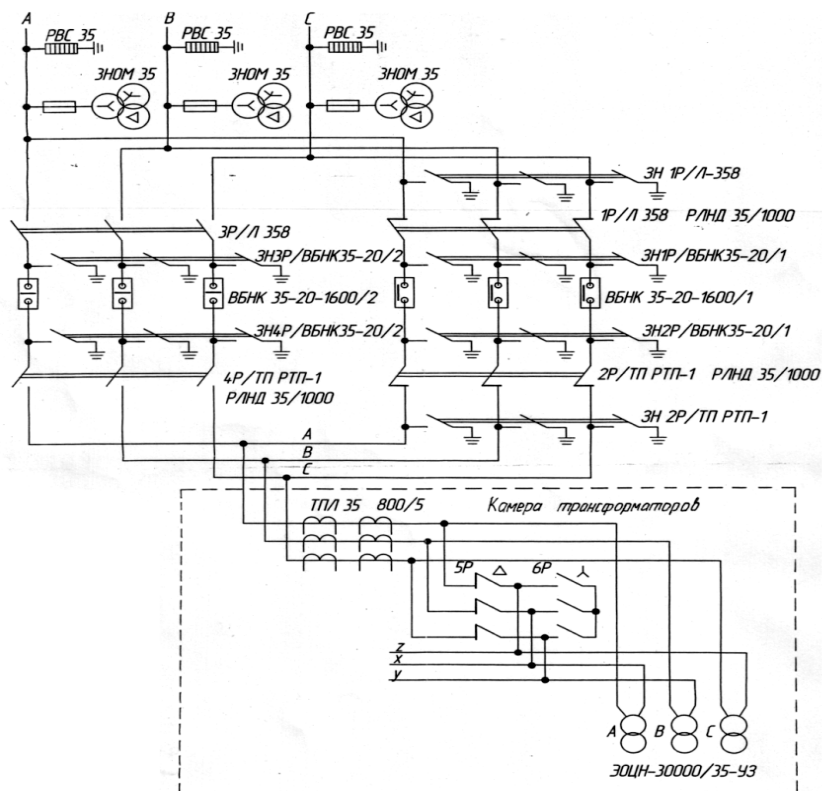


Рисунок 3.2 – Схема електропостачання феросплавної печі:

PBC- 35 - вентиляльний роз'єдинитель;

ZНОМ 35 - трансформатори напруги внутрішньої установки; ТТЛ 35 800/5 - трансформатор струму; РЛНД 35/100 - роз'єдинитель лінійний, зовнішньої установки;

ВБНК- 35-20-1600/1 - високовольтний бічний вимикач;

30 ЦН-30000/35-УЗ - електропічний, однофазний, з масляно- водяним охолодженням і примусовою циркуляцією масла, з регулюванням напругою під навантаженням, номінальна потужність - 30000 кВт.

3.4 Основні контрольно-вимірювальні прилади

Для ведення процесу плавки огарка на феронікель, для забезпечення безаварійної і безпечної роботи, для видержки необхідних параметрів,

РПЗ обладнана групою приладів.

Для контролю за електричними параметрами руднотермічеська пекти обладнана пультом управління, на якому встановлено:

- три амперметри (по числу фаз), включеного з високою сторони трансформатора;
- три амперметри з шкалою 0 – 100 ампер
- шість вольтметрів (по числу електроду на РПЗ);
- шість показчиків положення електроду;
- сигналізація роботи устаткування;
- лічильники обліку активної і реактивної електроенергії;
- прилади потужності з самописцями на кожен електрод і на піч;
- шафа з ланцюгом захисту і блокування;
- щит з автоматичним регулювальником потужності;
- щит перемикача мір напруги.

Для включення печі схема обладнана системою звукової сигналізації згідно правил.

На усіх робочих майданчиках є кнопки аварійного відключення печі і світлова сигналізація роботи печі.

Для контролю за газовим режимом, встановлені прилади газового аналізу по С, Н₂, О₂, витраті газу, розрідженню під зведенням, розрідженню по тракту газоочищення.

Теплові навантаження на футерування печі і зведення контролюються по термопарах, встановлених у футерування подины, бічних стінах і зведення печі. Показники температур виводяться на прилади, встановлені на пульті РПЗ.

4 Охорона праці та техногенна безпека

4.1. Основні шкідливості і небезпеці плавильного цеху

Шкідливими і небезпечними виробничими чинниками є:

1. теплове випромінювання;
2. підвищена запилена і загазованість повітря робочої зони;
3. шум і вібрація працюючого устаткування;
4. небезпечні зони, рухомі деталі і вузли механічного устаткування, що обертаються і рухливі;
5. небезпека поразки електричною енергією;
6. недостатнє освітлення робочої зони.

Згідно робота в електропечному цеху, по категорії, що виконується в ній роботи, відноситься до III категорії (важкі фізичні роботи).

Під виробничим мікрокліматом мається на увазі стан повітряного середовища приміщень - температура, вологість, теплове випромінювання [12,18].

Згідно робота в електропечному цеху, по категорії, що виконується в ній роботи, відноситься до III категорії (важкі фізичні роботи).

Таблиця 4.1 - Категорії робіт по енерговитратах організму

Робота	Категорія роботи	Енергозатрати організму, Дж/с (ккал/ч)	Характеристика роботи
Важка фізична	III	Більше 293	Пов'язана з систематичним фізичним напруженням, зокрема з постійними пересуваннями і перенесенням значних (понад 10 кг) вантажів

Нормативні значення мікроклімату, представлені в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Нормативні значення мікроклімату

Период года	Температура, °С			Відносна вологість, %		Швидкість руху, м/с	
	Оптимальна	Допустима	Фактична	Допустима	Фактична	Допустима (<i>max</i>)	Фактична
Холодний	16-18	13-19	12-20	40-60	≤ 75	0,5	≤ 0,5
Теплий	18-20	15-26	22-26	40-60	≤ 75	0,6	0,2-0,6

Аналіз таблиці 4.2. показав, що в тому, що розглядається цеху підвищена вологість (~ на 15%), інші показники в межах норми.

Теплові дії на організм можуть бути причиною швидкого стомлення, зниження працездатності, послаблення опірності організму до шкідливих дій, різних захворювань:- теплового виснаження;- теплового удару;- теплових судом;- катаракти очей [18].

Таблиця 4.3 – Інтенсивність теплового випромінювання електропічного цеху

Робоче місце	Енергія опромінення, ккал	ПДУ, ккал/м ²
Пульти управління	130 - 170	140
Робочі площадки	850	140

Аналіз теплового випромінювання свідчить про те, що інтенсивність випромінювання на робочих майданчиках перевищує дозволені норми, що може сприяти погіршенню працездатності, а випромінювання за пультами управління практично відповідає встановленим нормам [18].

Таблиця 4.4 - Основні джерела, фактичні небезпеки, шкідливі речовини

Найменування джерела виділення шкідливих речовин	Найменування шкідливої речовини	Фактична концентрація, мг/м ³	ПДК, мг/м ³	Клас небезпеки
РТП-48	Оксид заліза	0,04	6	4
	Оксид марганцю	0,01	0,3	2
	Двоокис азоту	0,085	5	2
	Окис вуглецю	5	20	4
	Пил неорганічна	0,3	0,5	3
	Двоокис сірки	0,09	0,5	3
Сушіння ковшів	Фенол	0,01	0,3	2

Аналіз таблиці показує, що концентрації усіх шкідливих речовин, що виділяються, не перевищують ГДК.

Джерелом шуму в електропічному цеху являється робота технологічного устаткування. В результаті того, що шум вільно поширюється з одного прольоту в інший, створюється крокова, обстановка змішаного, стабільного і частково пульсуючого шумового фону і імпульсивних шумів різної інтенсивності і спектрального складу.

Таблиця 4.5 – Рівні виробничого шуму електропічного цеху

№ п./п	Місце заміру	Рівень інтенсивності шуму, дБА	ПДУ, дБА
1	Пульт управління (оператор)	80	75
2	Робоча площадка РТП-48	98	80
3	Погрузчик	90,2	80
4	Електромостовий кран	104,1	80

Аналіз характеристики шуму свідчить про те, що загальний рівень інтенсивності шуму коливається в межах 78-107,6 дБА максимально перевищуючи гранично допустимий рівень для закритих пультів управління на 27,6 дБА і для постійних робочих місць поза кабінами на 18,2 дБА.

Вібрація характеризується частотою і амплітудою. Фактичний рівень вібрації 119 - 127 Гц.- 123 Гц. Тривала дія шуму, що перевищує допустимі норми, призводить до втрати слуху. Тривала дія вібрації призводить до болів в кінцівках, зниженню усіх видів шкірної чутливості. Увесь симптомокомплекс дістав назву - вібраційна хвороба [12,18].

До рухомих механізмів можна віднести: електрокари, мостовий кран, привід нахилу РТП.

По електричній небезпеці цех відноситься до категорії особливо небезпечних приміщень, оскільки в нім є струмопровідні підлоги (сталеві плити $R = 100 \text{ Ом}$); пил оксидів, висока температура повітря в теплий період року Причинами поразок електричним струмом на ділянці цеху є:

-соприкосновение з відкритими токоведущими частинами і дротами;

- прикосновение до токоведущим частин, ізоляція яких пошкоджена;
- касание токоведущих частин через предмети з низьким опором ізоляції;
- дія крокової напруги і інше.

Дія електричного струму на організм може викликати різні електричні травми (електричний опік, металізацію шкіри, електричний знак, електрофтальмію і електричний удар).

Робота по обслуговуванню печі по зоровій напруженості відноситься до IV розряду з нормованим по (6) рівнем освітленості 150 Лк. Фактична освітленість на ділянці печі РТП- 48 складає 120 - 130 Лк.

4.2 Охорона довкілля і ресурсозберігання×

Феросплавні електропечі - великі джерела пылегазовых виділень. Кількість і склад цих виділень залежать від технології виплавки феросплавів, їх складу і конструкції феросплавних печей.

Колошникові гази, що утворюються, містять 70 – 90 % оксиду вуглецю і велика кількість мелкодисперсной пилу. Хімічний склад пилу, що міститься в колошникових газах закритих рудовосстановительных печах, що виплавляють чорновий феронікель представлен в таблиці 4.6.

Таблица 4.6 - Хімічний склад пилу

Змістом елемента, %							
SiO ₂	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	MnO	SO ₂
38	3,7	7,5	1,6	36,2	0,25	—	0,3

Згідно робота в електропічному цеху, по категорії, що виконується в нім роботи, відноситься до III категорії (важкі фізичні роботи).

На Побужском феронікелевому комбінаті для очищення технологічних газів в плавильному цеху застосовуються мокра система газоочищення. Запилений газ відсисається з печі за допомогою відцентрової газодувки через водоохолоджуваний газозбірник в зведенні. Потім через зрошуваний похилий газохід він подається в шламоуловитель і трубо-розпилювач Вентури. Після каплеуловителя чистий газ поступає до споживача

Вживані системи мокрого газоочищення забезпечують кінцеву запилену газу 10 – 15 міліграм/м³ при витраті води 40 – 50 м³/ч. Перевага мокрого газоочищення полягає в тому, що колошниковий газ у контакті з водою відразу ж охолоджується. Проте надалі воду необхідно очищати від твердих часток і розчинених речовин, щоб забезпечити роботу газоочищення з оборотним водним циклом. Колошникові гази печей, що виплавляють феросиліцій, феромарганець, феронікель, силікомарганець, і в майбутньому передбачається очищати мокрим способом з щедрим охолодженням в початковій стадії. Гази, що виділяються з печей, що виплавляють феронікель, мають температуру 200–250⁰С, що дозволяє очищати їх сухим способом в тканинному фільтрі. [12]

4.3 Заходи щодо зменшення шкідливих і небезпечних чинників

На підставі аналізу шкідливих і небезпечних чинників, що мають місце в плавильному цеху, в проекті передбачені наступні організаційно - технічні заходи:

- 1) Встановити механічні пристосування для відкриття фрамуг в цеху, яке захищає від пилу і теплового випромінювання.

2) Виробити реконструкцію витяжної вентиляції для зниження фактичної концентрації шкідливих речовин.

3) Передбачити в системі штучного освітлення пристрою захисту від короткого замикання і встановити аварійний звуковий сигнал.

4) Для боротьби з діючим інфрачервоним опроміненням на робочих місцях обладнати повітряні душі (там де їх немає).

5) Для захисту органів слуху від шуму забезпечити робітників антифонами.

6) Необхідно виключити контакт тих, що працюють з робочими вузлами агрегату, а також забезпечити надійну міцність механізмів, допоміжних, вантажозахватних і балочних пристосувань.

7) Змонтувати і встановити штучне освітлення за нижче приведеним розрахунком

8) Виробити реконструкцію системи штучного освітлення.

Незадовільне освітлення утрудняє проведення робіт, веде до зниження продуктивності праці і працездатності очей і може стане причиною нещасних випадків, тому необхідно на ділянці встановити додаткове штучне освітлення. З цією метою виконаємо перевірочний розрахунок загального штучного освітлення виробничого приміщення.

Розрахунок загального штучного освітлення плавильного цеху вироблюваний за наступною методикою [12,18].

Початкові дані: а) габарити цеху :

- довжина прольоту $A = 1300$ м;

- ширина прольоту $B = 26$ м;

б) кратність кроку в прольоті колони - 6м;

в) висота приміщення до нижньої кромки будівельних ферм $h = 9$ м;

г) висота розрахункової (робочою) поверхні над рівнем підлоги $h = 0,9$ м

Визначити: тип ламп, необхідну кількість світильників і встановлену потужність освітлювальної установки системи загального штучного освітлення прольоту.

Послідовність розрахунку.

а) Вироблюваний вибір джерела світла (лампи).

Приміщення високе, не опалювальне, робота не вимагає високої якості перенесення кольорів, тому передбачаємо як джерело світла газорозрядні лампи високого тиску, зокрема, лампи ДРЛ.

б) Робимо вибір типу світильника.

Оцінюючи умови середовища експлуатації світильників як нормальне рекомендуємо використовувати світильники І конструктивно - светотехнической схеми, зокрема, з лампами ДРЛ.

Можливо, використовувати два типи світильників для ламп ДРЛ : СЗ і СД.

Вибираємо світильники з косинусною кривою светораспределителя (Д) типу СД, щоб забезпечити велику рівномірність розподілу світлового потоку по висоті виробничого приміщення.

в) Передбачаємо розташування світильників урівень з нижньою кромкою будівельних ферм покрівлі прольоту.

Розрахункова висота підвісу світильників h рівна:

$$h = h_{\text{п}} - h_{\text{р}} = 9 - 0,9 = 8,1 \text{ м} \quad (4.1)$$

Визначаємо, що рекомендоване значення $\lambda = L/h$ (тобто відношення відстані між світильниками до висоти їх підвісу) дорівнює 1,6. Тоді розрахункова рекомендована відстань між світильниками складає:

$$L = \lambda \times h = 1,6 \times 8,1 \approx 13 \text{ м} \quad (4.2)$$

г) Визначаємо кількість світильників:

- по довжині прольоту:

$$n_1 = A / L = 1300 / 13 = 100 \text{ шт.} \quad (4.3).$$

- по ширині прольоту:

$$n_2 = B / L = 26 / 13 = 2 \text{ шт.} \quad (4.4)$$

д) Визначаємо величину мінімальної нормованої освітленості E , виходячи з умов зорової роботи як роботу з матеріалами, що світяться, і виробами в гарячих цехах, що відповідає IV розряду зорової роботи з мінімальною величиною освітленості при загальному освітленні $E = 200 \text{ Лк}$.

[18]

е) Визначуваний коефіцієнт запасу при штучному освітленні. В даному випадку $K_3 = 2$

Приймаємо для цих умов коефіцієнти нерівномірності освітлення (для ламп ДРЛ) : $z = 1,15$.

ж) Розраховуємо індекс приміщення по формулі:

$$i = \frac{A * B}{h * (A + B)} = \frac{1300 * 26}{8,1 * (1300 + 26)} = 3,15 \quad (4.5)$$

Приймаємо коефіцієнти віддзеркалення поверхонь:

$$r_{\text{п}} = 0, \rho_{\text{с}} = 0, \rho_{\text{п}} = 0.$$

Для світильників типу СД2 і ДРУ визначуваний коефіцієнт використання світлового потоку $\eta = 58\%$ або в долях

одиниці $\eta = 0,58$.

На підставі отриманих даних розраховуємо потрібний світловий потік кожної лампи по формулі

$$\times \Phi_{\text{п}} = (E \times K_3 \times S \times Z) / (N \times \eta), \quad (4.6)$$

де E - задана мінімальна освітленість, Лк;

S - освітлювана площа, м²;

N - число світлових джерел, мм;

$$N = n_1 \times n_2 = 100 \times 2 = 200 \text{ шт.} \quad (4.7)$$

Z - відношення E_{cp}/E_{min} ;

η - коефіцієнт використання світлопотока в долях одиниці.

$$\Phi_{п} = \frac{200 * 2 * 1300 * 26 * 1,15}{166 * 0,58} = 134034 \text{ Лм,} \quad (4.8)$$

Цьому потрібному світловому потоку відповідають чотири стандартні, лампи ДРЛ - 650 потужністю 650 Вт зі світловими потоками 32500 Лм.

Відхилення світлового потоку лампи від потрібного складає:

$$\Delta\phi = \frac{\Phi_{п} - 2\Phi_{A}}{\Phi_{п}} \times 100\% = \frac{134034 - 130000}{134034} \times 100\% = 3,0\% \quad (4.9)$$

Встановлена потужність освітлювальної установки:

$$P = 2 \times 650 \times 200 = 260,0 \text{ кВт} \quad (4.10)$$

На підставі виробленого розрахунку ми рекомендуємо для досягнення нормативної величини освітленості цеху встановити газорозрядні лампи ДРЛ з типом світильника СД у кількості 200 штук відповідно до [8]

4.4 Засоби індивідуального захисту

Що працюють у відділенні забезпечені засобами індивідуального захисту на підставі "Типових галузевих норм безкоштовної видачі робітником спецодягу, спецвзутті і запобіжних пристосувань". Річна потреба приведена в таблиці 4.7

Таблиця 4.7 - Річна потреба в засобах індивідуального захисту

Професія	Кількість осіб	Засіб захисту індивідуальне	Срок носіння, міс.	Кількість
Плавун	10	Костюм суконний	12	40
		Напівчоботи	6	90
		Вачегі	1	530
		Каска	24	20
		Щиток	3	130
Робочий	34	Халат х / б	6	136
		Напівчоботи	6	306
		Руковиці	1	1802
		Каска	1	68

4.5 Побутові і допоміжні приміщення

Виробничий процес в електропічному цеху по санітарно-гігієнічних нормах згідно [12, 18] відноситься до групи 2б. Оскільки на цьому виробництві працюють тільки чоловіки, то розподілу побутових приміщень на чоловічих і жіночих немає.

Для групи 2б передбачений наступний склад побутових приміщень :

вбиральні, душові, пункт живлення, здоровпункт, санвузли.

Для заповнення втрат мінеральних солей в цеху розміщені питні фонтанчики і автомати підсоленої газованої води. Джерело питного водопостачання віддалене від робочих місць не далі 75 метрів з розрахунку одне джерело на 20 чоловік.

Убиральні у кількості двох віддалені від робочих місць не далі 75 метрів.

4.6 Пожежна безпека

Виробничий процес в цьому електросталеплавильному цеху по вибухонебезпечній і пожежній небезпеці, згідно СНиП 2.01.09-85 відноситься до категорії "Г".

Будівля цеху побудована з негорючих матеріалів (металоконструкції, цеглини, залізобетону, скла). Згідно СНиП 2.01.01.-85 має перший ступінь вогнестійкості.

Небезпека виникнення пожежі на ділянці плавильної печі зменшена в проєкті наступними розробленими заходами [18]:

1. Оснащенням систем управління електроустаткуванням автоматами максимального струмового захисту і плавкими запобіжниками;
2. Обмеженням кількості паливно-мастильних матеріалів добовою потребою.
3. Головні двигуни електроприводів оснащені системою замкнутої примусової вентиляції з очищенням повітря від щіткового пилу і охолодженням його;
4. Трансформаторні кіоски винесені за межі виробничого приміщення;

5. Маслоподвалы обладнані системою припливно-витяжної вентиляції, що видаляє пари масла і що зменшує їх концентрацію в повітрі;
6. Електроустаткування і освітлення маслоподвалов виконане в искро-, взриво-безопасном виконанні;
7. Промаслене дрантя після використання збирається в металеві ящики з герметичними кришками, а у кінці зміни вивозиться з цеху і спалюється в спеціально відведеному місці;
8. Статистичний заряд відводиться в землю по мережі заземлення.

Таблиця 4.8 - Кількість первинних засобів пожежогасінні для плавильної ділянки

Категорія приміщення	Клас пожежі	Пінні вогнегасники з-ки ОХП7; ОХП10		Вуглекислотні вогнегасники ОУ5 ОУ8		Ящик з піском і лопата (3м ³)	
		нор	факт	нор	факт	нор	факт
Г	(Е)	2	2	2	4	2	2

Евакуаційні шляхи і виходи при пожежі повинні міститися вільними, нічим не захащуватися і у разі виникнення пожежі повинні забезпечувати безпеку під час евакуації. У приміщенні, що має один евакуаційний вихід, дозволяється розміщувати одночасно не більше 50 чоловік. Двері на шляхах евакуації повинні відкриватися по напрямленню виходу з будівель.

Висновки

1. У аналітичній частині розглянуті питання фізико-хімічних властивостей нікелю, призначення і сфери застосування сплавів нікелю, приведені діаграми рівноважного стану системи Ni - Fe і Ni - O. Показано, що сплави системи утворюють безперервні тверді розчини на основі γ -структури, в рідкому стані обидва елементи мають необмежену розчинність.

2. Розглянуті основні напрями застосування нікелю і його сплавів. Із сплавів із спеціальними властивостями виділяють феромагнітні (40-85% Ni) і такі, що магнітострикційні містять, разом з нікелем і кобальт (4-18% Co). Приведений порівняльний аналіз сучасного стану виробництва феронікеля і його споживання у світі. Розглянуті технологічні схеми виробництва феронікеля і основні його виробники (США, Китай, Японія); характеристика печей і їх конструктивні особливості.

3. У технологічній частині роботи розглянуто фізико-хімічні процеси отримання феронікелю, виконано розрахунок матеріального балансу, обґрунтовано основні операції виплавки феросплавів.

4. В результаті розрахунку шихти встановлено, що для виплавки 1 т чорного феронікеля (Ni) буде треба: 7795 (42409) кг огарка; 45 (246) кг вуглецю. В результаті плавки, окрім металу, утворюється: 6106 (33219) кг шлаку і 750 (4079) кг CO. Витрати електроенергії на 1 т чорного феронікеля (Ni) складе 9190 (50000) кВт·ч/т.

5. Розглянуто основне та додаткове технологічне обладнання. Показано доцільність встановлення у північній ділянці двох руднотермічних печей типу РПЗ-40. Встановлено умови виплавки 134 т чорного феронікелю на добу.

6. Розглянуто питання забезпечення безпечної роботи на ділянках виплавки феросплавів. Представлені параметри шкідливостей та небезпек,

які виникають при роботі газових роторних та електроплавильних печей. Наведено заходи, спрямовані на усунення небезпек та зниження викидів шкідливих відходів.

Список літератури, що цитується

1. Гладких В.А., Гасик М.И., Овчарук А.Н., Пройдак Ю.С.
Проектирование и оборудование электросталеплавильных и ферросплавных цехов. Днепропетровск: Системные технологии, – 2004. – 736с.
2. Гасик М.И., Лякишев Н.П. Теория и технология электрометаллургии ферросплавов: Учебник.- СП «Интермет Инжиниринг», – 1999. – 764с.
3. Методы получения ферроникеля из окисленных никелевых руд. // Цветные металлы. – 1995. – №5. – 25 с.
4. Проблемы получения ферроникеля из окисленных никелевых руд. // Цветные металлы. – 1992. – №6. – 25с.
5. Новиков Н.В., Соколов К.Д., Капран И.И., Овчарук А.Н., Электрометаллургическая переработка окисленных никелевых руд в Украине: проблемы и перспективы //Металлург, и горноруд. пром-сть. – 2005. – №4. – С.20–24.
6. Соколов К.Д., Капран И.И., Лихачев В.Ф., Овчарук А.Н., Исследования работы футеровки рудотермических печей при выплавке ферроникеля // Metallurg. и горноруд. пром-сть. – 2002. – №6. – С.32–35.
7. Новиков Н.В., Капран И.И., Соколов К.Д., Овчарук А.Н., Гасик М.И., Петрографические исследования взаимодействия периклазохромитовой футеровки рудовосстановительной печи с расплавом ферроникеля и печного шлака //Металлург, и горноруд. пром-сть. – 2006. – №2. – С.27–30.
8. Королев Э. А., Никитина Л. С., Панарина Н. П. // Цветная металлургия. Бюл. ЦНИИЭИЦМ. – 1990. – № 1. – С. 70–72.
9. Методические указания по разработке экономической части дипломного проекта (для студентов технических специальностей) /

- Сост.: Р.В.Ильина, В.А.Емельянов. - Днепропетровск: ГМетАУ, – 1998. – 16 с.
10. Економіка підприємства: Підручник. В 2 т. / За ред. С.Ф. Покропивного. - К.: Вид-во «Хвиля-Прес», Донецьк, мале підприємство «Поиск». Т-во книголюбів, – 1995. – 280 с.
 11. Каракаш А.И., Щедрин Г.А., Ленский Ю.А. – К.: УМК ВО, 1992. 160 с.
 12. Методические указания по выполнению раздела «Охрана труда» в дипломных проектах. Нормативно-технические материалы / Сост: Л.В. Бабенко, С.Е. Сулименко – Днепропетровск : НМетАУ, – 2004 – 59 с.
 13. Майоров А.Д., Митрофанов С.И., Титова З.П. // Цветные металлы.– 1980.– N 3.– С. 110 – 112.
 14. Резник И.Д., Харлакова Т.А., Милованова Л.С. // Цветные металлы.– 1981.– N 9.– С. 24 – 25.
 15. Титова З.П., Ковтун В.А., Яковлева Р.А., Майоров А.Д. // Цветные металлы.– 1988.– N 4.– С. 33 – 37.
 16. Теория металлургических процессов. Борнадский И.И.– К.–Д.– Выща школа, 1978.– 288 с.
 17. Шеремет В.О. та ін. Охорона праці на гірничо-металургійному підприємстві: Навч. посібник. — Ч.І: Металургійний комплекс. — Дніпропетровськ: Січ, 2002. — 375 с.
 18. Санитарные нормы и правила при работе с машинами и оборудованием, создающими локальную вибрацию, передающуюся на место работающих. СН 3041-84. - 1985, 16 с.