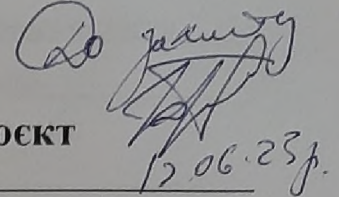


МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ІМ. Ю.М. ПОТЕБНИ

Кафедра металургійних технологій, екології та техногенної безпеки  
(повна назва кафедри)

  
12.06.23р.

**Кваліфікаційна робота / проєкт**

перший (бакалаврський) рівень  
(рівень вищої освіти)

на тему Огляд особливостей технології виплавки висококремністого феросиліцію

Виконав: студент 4 курсу, групи 6.1369  
спеціальності 136 «Металургія»  
(код і назва спеціальності)

освітньої програми

Металургія

(код і назва освітньої програми)

спеціалізації

(код і назва спеціалізації)

А.В. Халаїмов

(ініціали та прізвище)

Керівник доц. каф. металургійних технологій,  
екології та техногенної безпеки,  
канд. техн. наук О.С.Воденнікова

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Рецензент доц. каф. металургійних технологій,  
екології та техногенної безпеки,

канд. техн. наук Т.М. Нестеренко

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Запоріжжя  
2023

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

Кафедра металургійних технологій, екології та техногенної безпеки  
Рівень вищої освіти перший (бакалаврський) рівень  
(перший (бакалаврський) рівень, другий (магістерський) рівень)  
Спеціальність 136 «Металургія»  
(шифр і назва)  
Спеціалізація \_\_\_\_\_  
(шифр і назва)  
Освітня програма Металургія  
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри металургійних технологій, екології та техногенної безпеки

Ю.О. Белоков

« 29 » 12 2022 року

ЗАВДАННЯ  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ (ПРОЄКТ) СТУДЕНТОВІ (СТУДЕНТЦІ)

Халаїмову Андрію Вікторовичу  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи (проєкту) Огляд особливостей технології виплавки висококремністого феросиліцію

керівник роботи канд. техн. наук, доцент Воденнікова Оксана Сергіївна  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ЗНУ від « 29 » грудня 2022 року № 1893-с

2. Строк подання студентом роботи 16.06.2023 р.

3. Вихідні дані до роботи Науково-технічна література, статті у фахових виданнях, матеріали конференцій, патенти та ДСТУ.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)  
Вступ. Загальна частина. Технологічна частина. Конструкційна частина. Охорона праці та техногенна безпека. Загальні висновки. Перелік джерел посилання.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)  
Титульний лист – 1. Мета роботи. Завдання роботи – 1. Феросиліцій марки ФС90 – 1. Матеріальний баланс виплавки ФС90 – 1. Тепловий баланс виплавки ФС90 – 1. Технічна характеристика феросплавної печі типу РКЗ-16.5 – 1. Рудовідновлювальна відкрита обертова піч типу РКО-16.5 для виплавки феросиліцію – 1. Розливна машина для розливки ФС90 – 1. Техніко-економічні показники виплавки феросиліцію марки ФС90 – 1. Загальні висновки – 1.



## 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Загальна частина	доцент О.С. Воденнікова	29.12.2022р. <i>О.Вед</i>	29.12.2022р. <i>Халаїмов</i>
Технологічна частина	доцент О.С. Воденнікова	29.12.2022р. <i>О.Вед</i>	29.12.2022р. <i>Халаїмов</i>
Конструкційна частина	доцент О.С. Воденнікова	29.12.2022р. <i>О.Вед</i>	29.12.2022р. <i>Халаїмов</i>
Охорона праці та техногенна безпека	доцент О.С. Воденнікова	29.12.2022р. <i>О.Вед</i>	29.12.2022р. <i>Халаїмов</i>

7. Дата видачі завдання 29.12.2022 р.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи магістра	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ	12.06-18.06.2023	
2	Реферат	12.06-18.06.2023	
3	Загальна частина	15.05-21.05.2023	
3	Технологічна частина	22.05-28.05.2023	
4	Конструкційна частина	29.05-04.05.2023	
5	Охорона праці та техногенна безпека	05.06-11.06.2023	
6	Загальні висновки. Перелік джерел посилання	12.06-18.06.2023	

Студент *Халаїмов* А.В. Халаїмов  
(підпис) (ініціали та прізвище)Керівник роботи (проекту) *О.Вед* О.С. Воденнікова  
(підпис) (ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер *Ю.О. Белоконь* Ю.О. Белоконь  
(підпис) (ініціали та прізвище)

## РЕФЕРАТ

Розрахунково-пояснювальна записка: 61 с., 11 рис., 13 табл.,  
13 джерел посилання.

### ВИСОКОКРЕМНІСТИЙ ФЕРОСИЛІЦІЙ, ТЕХНОЛОГІЯ ВИРОБНИЦТВА, ФЕРОСПЛАВНА ПІЧ, РОЗЛИВНА МАШИНА

Тема кваліфікаційної роботи бакалавра: Огляд особливостей технології  
виплавки висококремністого феросиліцію.

Мета роботи – проаналізувати технологічні аспекти технології виплавки  
висококремністого феросиліцію марки ФС90.

У розділі 1 розглянуто призначення та хімічний склад феросиліцію  
марки ФС90, галузь його використання, основні вимоги до якості;  
проаналізовано вплив кремнію як легуючого елемента на якість та властивості  
сталі; розглянуті відомі способи виплавки ФС90.

У розділі 2 приведено розрахунок шихти для виплавки феросиліцію  
марки ФС90.

У розділі 3 надана характеристика феросплавних печей, що  
застосовуються для виплавки феросиліцію.

У розділі 4 розглянуто основні аспекти питання охорони праці в  
феросплавному цеху та надано характеристику виробничого травматизму на  
підприємстві.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА.....	7
1.1 Призначення та хімічний склад феросиліцію марки ФС90, галузь його використання, основні вимоги до якості.....	7
1.2 Вплив кремнію як легуючого елемента на якість та властивості сталі.....	9
1.3 Класифікація та оптимізація сплавів феросиліцію.....	11
1.4 Огляд дослідно-промислової технології виплавки висококремністого феросиліцію.....	16
2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА.....	23
2.1 Розрахунок шихти для виплавки феросиліцію марки ФС90.....	23
2.2 Техніко-економічні показники виплавки феросиліцію марки ФС90...	30
2.3 Раціональне використання відходів .....	31
3 КОНСТРУКЦІЙНА ЧАСТИНА.....	33
3.1 Розрахунок геометричних параметрів феросплавної печі.....	33
3.2 Конструкція феросплавної печі типу РКО-16,5.....	40
3.3 Конструкція розливної машини.....	46
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА.....	50
4.1 Виробничий травматизм на підприємстві.....	50
4.2 Основні аспекти питання охорони праці в феросплавному цеху.....	57
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	59
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	60

## ВСТУП

В феросплавній галузі за об'ємом виробництва перше місце займає феросиліцій. В Україні феросиліцій виробляють електротермічним способом у дугових печах змінного струму, в основному, на ПуАТ «Стахановський завод феросплавів» (Україна) [1–3], а також методом електрошлакового переплаву (ЕШП) у печах постійного струму на Стахановській виробничій дільниці товариства із обмеженою відповідальністю фірма «Екологічна ініціатива» (СВД ТОВ фірма «ЕКІНА», м. Алмазна, Луганська область) [4].

У районі розташування феросплавних підприємств особливо гостро стоїть питання забруднення атмосферного повітря. Значні обсяги забруднюючих речовин (ЗР) у газових викидах зумовлюють підвищену екологічну небезпеку в районі об'єктів, де вони утворюються.

Саме тому у роботі актуальним питанням постає аналіз сьогоденних технологічних аспектів технології виплавки феросиліцію, зокрема марки ФС90.

**Мета роботи** – проаналізувати технологічні аспекти технології виплавки висококремністого феросиліцію марки ФС90.

Для досягнення поставленої мети в роботі необхідно вирішити наступні **теоретичні та прикладні завдання:**

- показати призначення та хімічний склад феросиліцію марки ФС90, галузь його використання, вимоги до якості;
- проаналізувати вплив кремнію як легуючого елемента на якість та властивості сталі;
- проаналізувати відомі способи виплавки ФС90;
- привести розрахунок шихти на виплавку ФС90;
- привести конструкцію феросплавної печі типу РК0-16,5;
- проаналізувати умови виробничого травматизму на підприємстві.

## 1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

### 1.1 Призначення та хімічний склад феросиліцію марки ФС90, галузь його використання, основні вимоги до якості

Феросиліцій марки ФС90 згідно з ДСТУ 4127-2002 містить 87-95% Si; 0,2% C; 0,02% S; 0,04% P; 3,5% Al; 0,5% Mn; 0,2% Cr (рис. 1.1). Феросиліцій використовують як розкислюючі і легуючі добавки для виплавки електротехнічних, ресорно-пружинних, корозійно-і жаростійких сталей, а також конструкційних і інструментальних сталей, легування і модифікування чавуну. Поверхня чушок і шматків феросиліцію не повинна мати різко виражених включень шлаку та інших чужорідних матеріалів. Допускаються окремі включення приварившогося піску, сліди інших протипригарних матеріалів і графіту. Феросиліцій постачають в шматках масою не більше 25 кг або в чушках масою не більше 45 кг. Феросиліцій марки ФС90 транспортують в шматках масою до 25 кг, в чушках і 1–4 класів крупності транспортують в спеціалізованих контейнерах або навалом.



Рисунок 1.1 – Феросиліцій марки ФС90

Якість характеризується вмістом і межами зміни основних елементів, концентрацією регламентованих домішок (C, S, P, кольорових металів, H та ін.), гранулометричним складом, щільністю, станом поверхні деталі, температурою плавлення, вмістом неметалевих включення, кисню і водню.

Основним показником якості феросплавів є їх хімічний склад, зокрема вміст електропровідних елементів (електропровідні елементи є основними компонентами феросплавів).

Відповідно до вимог виробників сталі, інтерес їх у низький масі легуючих добавок, феросплавна промисловість виробляє сплави з високою концентрацією струмопровідних елементів; важливо, щоб вміст легуючих елементів у феросплавах з окремих плавки, об'єднаний в одну партію, був постійним.

Однорідність хімічного складу феросплавів характеризується максимально допустимим відхиленням від середнього вмісту струмопровідних елементів у партії. Для остаточних феросплавів це відхилення встановлено на рівні 2%, що забезпечує виробництво сталі.

Присадка феросплавів в сталеву ванну здійснюється, як правило, в заключний період плавки, коли можливості рафінування металу від домішок, внесених феросплавами, обмежені. У зв'язку з цим стандарти на феросплави нормують вміст домішок. У першу чергу це відноситься до фосфору, сірки та вуглецю. На сьогодні стандарти на феросплави введені норми вмісту таких залишкових елементів, як титан, алюміній, ванадій, вольфрам, молібден і інші, контроль яких раніше не передбачався.

Особливо шкідливими в феросплавах є домішки кольорових металів (Cu, Pb, Zn, Sn, Sb, As, Bi, Cd), які практично не видаляються з металу в процесі плавки. У зв'язку з цим вміст кольорових металів в металевій шихті і феросплавах обмежують.

Важливою характеристикою якості феросплавів є його гранулометричний склад, оскільки при правильному його виборі прискорюється процес розплавлення, забезпечується високе засвоєння легуючого елемента і зменшуються втрати феросплавів при транспортуванні. Допустимий розмір шматків в стандартах характеризується габаритними розмірами < 300 мм або максимальною масою шматка 5–45 кг. Для зниження втрат сплаву спеціально обмовляється допустима кількість дріб'язку певного класу крупності (3–10%



фракції < 20 мм).

Високоякісні феросплави не повинні мати окисленої поверхні, приварок шлаку і обмазки виливниць, що представляють додаткове джерело газів і включень в сталі. При оцінці якості феросплавів також необхідно враховувати їх фізичні властивості (температуру плавлення, густину та ін), які в значній мірі визначають ефективність процесу легування сталевих ванни. Неприпустима велика різниця щільностей феросплавів і легуючого металу. Важливе значення мають також механічні властивості легуючих добавок, оскільки на їх основі проводиться вибір дробильних пристроїв, для отримання заданого гранулометричного складу сплавів.

У тих випадках, коли бажано мати мінімальну забрудненість золи коксу  $Al_2O_3$ ,  $CaO$ ,  $MgO$  та інші. При виплавці ФС90 доцільне застосування вуглекварцитового коксу, що володіє високим електричним опором, високою реакційною здатністю і достатньою міцністю.

Найбільш ефективно вуглекварцитовий кокс був використаний на ЧЕМК (Челябінський електromеталургійний комбінат) при виплавці ФС90, що дозволило значно зменшити витрати електроенергії і собівартість сплаву [2].

## **1.2 Вплив кремнію як легуючого елементу на якість та властивості сталі**

Виробництво феросиліцію більш енергоємне, ніж виробництво феромарганцю, але цілком якісна сировина для виплавки феросиліцію - кварцити - є практично у всіх куточках Землі, а родовищ багатих марганцевих руд небагато.

Якість кремнію як розкислювача полягає в його високій хімічній спорідненості до кисню, що дозволяє отримувати спокійну сталь при залишковому вмісті його в металі 0,15–0,3%, а також у здатності утворювати нітриди ( $Si_3N_4$ ) і запобігати старінню сталі, тобто знижувати негативний вплив

азоту на властивості сталі.

Кремній розкислює сталь, тому його кількість зростає від киплячої до спокійної сталі. Він дещо погіршує зварюваність, стійкість проти корозії і сильно знижує ударну в'язкість сталі. Шкідливий вплив кремнію може компенсуватися підвищеним вмістом марганцю.

Кремній у кількості понад 1% надає особливий вплив на властивості сталі: вміст 1-1,5% Si збільшує міцність, причому в'язкість зберігається. При більшому вмісті кремнію збільшуються електроопір і магнітопроникність, поліпшуються опір корозії і стійкість проти окислення при високих температурах. Кремній збільшує також пружність, окалійність, твердість.

Кремній збільшує межу плинності і тимчасовий опір, але знижує зварюваність і ударну в'язкість сталі при вмісті до 0,3%, із збільшенням кількості кремнію до 0,6% підвищуються пружні властивості сталі.

Легування сталі кремнієм супроводжується підвищенням показників міцності при одночасному незначному зниженні відносного стиску і збереженні відносного подовження приблизно на одному і тому ж рівні. Ударна в'язкість при вмісті в сталі кремнію 1,5% і більше різко знижується.

Кремній, як елемент, не утворюючий карбідів, головним чином впливає на феритну основу сорбіту поліпшеної сталі, і так само сильно уповільнює процес збільшення карбідів при відпустці і тому збільшує стійкість сталі проти відпустки. Сукупність дії кремнію в зазначених напрямках призводить до того, що у відпущеної при однаковій температурі нагріву сталі з підвищенням вмісту кремнію зростає міцність, але знижується в'язкість.

Отже, вплив кремнію на ударну в'язкість і температурний запас в'язкості не є однозначним; при середньому вмісті цього елемента (приблизно 1,5%) його дія може оцінюватися скоріше як позитивне; при високому вмісті (3,0%) - як явно негативне [2].

### 1.3 Класифікація та оптимізація сплавів феросиліцію

Діаграма стану Fe-Si відноситься до евтектичної системи з проміжними хімічними сполуками стехіометричного складу:  $\text{Fe}_3\text{Si} \rightarrow \text{Fe}_2\text{Si} \rightarrow \text{Fe}_3\text{Si}_2$  ( $\text{Fe}_5\text{Si}_3$ )  $\rightarrow \text{FeSi} \rightarrow \text{FeSi}_2$ . Однак умови утворення інтерметалідів – температури, область гомогенності та термічна стабільність невідомі. Не встановлено стехіометричний склад проміжних фаз  $\text{Fe}_3\text{Si}_2$  або  $\text{Fe}_5\text{Si}_3$ ,  $\text{FeSi}_{2,33-2,44}$  – «лебоїт», інтерметалід  $\text{FeSi}_2$  називають «уявною» фазою, наведені чотири евтектичні фази, склад яких знаходиться у широкому інтервалі концентрації (20,0–58,0) % кремнію, а плавляться у вузькому інтервалі температур 1195–1240 °C (рис. 1).

У зв'язку з цим стає актуальним завданням побудова нової діаграми Fe-Si за допомогою розробленого авторами графоаналітичного методу (ПДС-метод), що дозволяє виконати аналіз структурно-хімічного стану (СХС-аналіз) вихідних компонентів та проміжних фаз у всьому інтервалі концентрацій та температур до точки їх кипіння. СХС-аналіз силіцидів заліза включає визначення хімічного та фазового складу, температури утворення та плавлення, області гомогенності твердих та рідких розчинів, що дозволяє виконати оптимізацію марочного складу феросиліцію.

Полігональна діаграма станів (ПДС) системи Fe-Si показана на рис. 1, являє собою тетраполігон в координатах складу - температура, наординатах якого позначені фігуративні точки заліза та кремнію, що відповідають їх мезо-ізоморфним перетворень під впливом температури ( $t$ , °C) – термічні критичні точки або під впливом вихідних та проміжних фаз – хімічні критичні точки. Для заліза – це термічні критичні точки у твердому стані:  $\Phi_0(200) \rightarrow \Phi_1(550) \rightarrow \Phi_2(900) \rightarrow \Phi_3(1400) \rightarrow \Phi_4(1535)$  та  $\Phi_5(1640) \rightarrow \Phi_6(1800) \rightarrow \Phi_7(2770)$  – для рідкого заліза. Топологічний температурний ряд експериментально встановлено для твердого та рідкого заліза.

Для кремнію послідовний ряд критичних точок включає:



$K_0(350) \rightarrow K_1(550) \rightarrow K_2(700) \rightarrow K_3(900) \rightarrow K_4(1200) \rightarrow K_5(1420) \rightarrow K_6(1500) \rightarrow K_7(1600) \rightarrow K(2477)$ , де  $K_0, K_2, K_4$  – термічні та  $K_1, K_3$  – хімічні крапки для твердого кремнію;  $K_6, K_7$  – Термічні точки для рідкого кремнію;  $K_5, K_8$  – Точки плавлення та кипіння. Критичні точки  $K_0, K_2, K_4$  відповідають структурним перетворенням кремнію: Si (ГЦК)  $\rightarrow$  Si (ромб.), Si (ромб.)  $\rightarrow$  Si (ОЦК), Si (ОЦК)  $\rightarrow$  Si (ГПУ).

На коноді Ф1К1 (550 °С) у вузловій точці перетину ліній граничної взаємної розчинності вихідних компонентів Ф02Ф та К02Ф (лінії сольвусу) утворюється первинна проміжна фаза стехіометричного складу  $Fe_2Si$ , позначена на лінії абсцисцифрами 2.1 та на концентраційному полі діаграми –2Ф. Первинна проміжна фаза умовно поділяє систему Fe-Si на дві підсистеми: Fe- $Fe_2Si$  та  $Fe_2Si$ -Si, у яких послідовно утворюються вторинні проміжні фази.

Послідовний ряд проміжних фаз у підсистемі Fe- $Fe_2Si$  включає:  $Fe_2Si$  (2.1–2Ф)  $\rightarrow$   $Fe_3Si$  (3.1–3Ф)  $Fe_4Si$  (4.1–4Ф)  $Fe_6Si$  (6.1–6Ф), з яких сингулярними фазами, що мають конгруентну точку плавлення, є силіциди  $Fe_2Si$  та  $Fe_3Si$ . Інші ( $Fe_4Si, Fe_6Si$ ) плавляться інконгруентно – при нагріванні розпадаються і переходять у рідину в сингулярних точках 3Ф0 та Ф4 лінії ліквідусу.

Послідовний ряд проміжних фаз у підсистемі  $Fe_2Si$ -Si включає:  $FeSi_{24}$  (1.24–24К)  $\rightarrow$   $FeSi_4$  (1.4–4К)  $FeSi_2$  (1.2–E2)  $FeSi$  (1.1–ФС)  $Fe_3Si_2$  (3.2–E1), які плавляться інконгруентно, крім еквіатомного силіциду, та евтектичних фаз.

Прямі лінії – сольвус поділяють концентраційне поле діаграми на триангуляційні фази, відповідні галузі гомогенності твердих розчинів на базі заліза, кремнію та проміжних фаз. На базі заліза утворюються безперервні тверді розчини  $\Phi\alpha$  (область  $\Phi_0\Phi_{12}\Phi$ )  $\rightarrow$   $\Phi\beta$  ( $\Phi_1\Phi_{23}\Phi$ )  $\Phi\gamma$  ( $\Phi_2\Phi_{34}\Phi$ )  $\Phi\delta$  ( $\Phi_3\Phi_{46}\Phi$ ) з максимальною розчинністю кремнію в залозі, що відповідає складу проміжних фазу точках 2Ф3Ф4Ф6Ф відповідно. На основі кремнію утворюються безперервні тверді розчини  $K\alpha$  ( $K_0K_{12}K$ )  $K\beta$  ( $K_1K_2K$ ) До  $\gamma$  ( $K_2K_{34}K$ ) До  $\delta$  ( $K_3K_{44}K$ ) змаксимальною розчинністю заліза в кремнії, що дорівнює його вмісту в хімічному складі проміжних фаз у точках 2ФФС4К24К, відповідно.

На основі проміжних фаз утворюються як тверді, так і рідкі розчини,



область гомогенності яких на діаграмі обмежені прямими лініями сольвусу (суцільні) – граничні розчинності твердих фаз, лінії ліквусу (штрихові) – граничні розчинності рідких фаз, відповідно. Тверді розчини в галузі гомогенності проміжних фаз розрізняються на моноструктурні (М-стани) та диструктурні (Д-стану). М-стани реалізуються при нагріванні до температур, що перевищують точки утворення проміжних фаз і представляють собою одноструктурні однофазні безперервні розчини в інтервалі їх гомогенності до концентрацій прикордонних фаз, тоді як Д стану реалізуються при охолодженні від температур нижче точки утворення проміжних фаз в результаті їх диспропорціонування (розпаду) на вихідні компоненти, складові парні, що періодично повторюються структурні елементи однофазного твердого розчину типу перліту для залізовуглецевих сплавів структурних елементів фериту та цементиту .

Сингулярні фази, які утворюються у твердому стані та плавляться конгруентно в сингулярних точках лінії ліквідусу, знаходяться в однофазних модифікаціях двох типів:  $\alpha$ -низькотемпературна та  $\beta$ -високотемпературна. Високотемпературна  $\beta$ -модифікація переходить у рідину без розкладання та існує в галузі гомогенності, обмеженої лініями граничних рідких розчинів – штрихові. лінії (ліквус). Такими фазами на діаграмі є: моносиліцид заліза ( $\text{FeSi}$ ) у галузі гомогенності  $\text{FCSE1E2FC0}$  де  $\alpha$ -модифікація ( $\text{FCSE1E2}$ ) та  $\beta$ модифікація ( $\text{FC0E1E2}$ ), рідка  $\beta$ -фаза ( $\text{LFC}$ ) – $\text{FC6FC0K7}$ ), дисіліцид заліза ( $\text{Fe}_2\text{Si}$ ) у галузі гомогенності ( $\text{2FC3FC2FC0E1}$ ), де  $\alpha$ -  $\text{Fe}_2\text{Si}$  ( $\text{2FC3FE1}$ ) та  $\beta\text{Fe}_2\text{Si}$  ( $\text{2FC03FE1}$ ), рідка  $\beta$ -фаза ( $\text{L2FC}$ ) – $\text{3FC02FC0FC0}$ ; трисиліцид заліза ( $\text{Fe}_3\text{Si}$ ) у галузі гомогенності( $\text{3FC4FC3FC02FC0}$ ) де  $\alpha$ - $\text{Fe}_3\text{Si}$ ( $\text{3FC4FC2FC0}$ ) та  $\beta$ - $\text{Fe}_3\text{Si}$ ( $\text{3FC04FC2FC0}$ ), рідка  $\beta$ -фаза ( $\text{L3FC}$ )- $\text{FC53FC0FC0}$ .

Сингулярні фази існують в області гомогенності рідких однофазних розчинів при плавленні над лінією ліквідуса та при кристалізації утворюють однофазний твердий розчин з періодичними парними структурними елементами вихідних компонентів. До таких фаз на діаграмі відносяться евтектики (E1 та E2) та силіцид заліза  $\text{FeSi}$ . Евтектична фаза E1, що відповідає

стехіометричному складу хімічної сполуки  $\text{Fe}_3\text{Si}_2$  при евтектичній температурі  $1200\text{ }^\circ\text{C}$ , в рідкому стані існує в області гомогенності жЕ1 ( $2\text{Ф}0\text{E}1\text{ФC}0$ ), у твердому стані – т Е1 ( $2\text{ФE}1\text{ФC}$ ). Евтектична фаза Е2 відповідає стехіометричному складу хімічної сполуки  $\text{FeSi}_2$  існуючої в рідкому в області гомогенності жЕ2 ( $\text{ФC}0\text{E}23\text{K}$ ) та твердому стані Т Е2 ( $\text{ФCE}24\text{K}$ ), інтерметалід  $\text{FeSi}_4$  плавиться інконгруентно при температурах  $1250$  і  $1420\text{ }^\circ\text{C}$ .

Ліквідус (жирна лінія), проведений через сингулярні точки  $\text{Ф}4 \rightarrow 3\text{Ф}0 \rightarrow 2\text{Ф}0 \rightarrow \text{E}1 \rightarrow \text{ФC}0 \rightarrow \rightarrow \text{E}2 \rightarrow \text{K}4$  обмежує області гомогенності рідких розчинів на базі сингулярних фаз:  $\text{L}3\text{Ф} \rightarrow \rightarrow \text{L}2\text{Ф} \rightarrow \text{ж E}1 \rightarrow \text{LФC} \rightarrow \text{ж E}2$ , що існують в околицях точок плавлення вище лінії ліквідусу.

Існуючий ГОСТ 1415-93 включає концентрації сплавів в інтервалі  $19,0$ - $92,0\%$  Si, що відповідають марочному складу промислових феросплавів  $\text{ФC}20 \rightarrow \text{ФC}25 \rightarrow \text{ФC}45 \rightarrow \text{ФC}65 \rightarrow \rightarrow \text{ФC}75 \rightarrow \text{ФC}90$ . На ПДС Fe-Si ці сплави базуються на інтерметаліду  $\text{Fe}_2\text{Si} \rightarrow \text{Fe}_3\text{Si}_2 \rightarrow \text{FeSi}_2 \rightarrow \rightarrow \text{FeSi}_4 \rightarrow \text{FeSi}_{24}$ , відповідно. Технологічна ефективність феросплавів залежить від умов їх утворення та характеру плавлення. Сингулярні фази з конгруентною точкою плавлення, що утворюються в твердому стані, що не розкладаються при тривалому зберіганні та зберігаються в рідкому стані. Такими металами з урахуванням силіцидів заліза є

Отже, до оптимальних складів феросиліція відносяться сплави на базі сингулярних фаз, що утворюються в твердому стані, які є стабільними фазами у галузі гомогенності твердих та рідких розчинів.

Крім того, оптимізація складу сплавів залежить від їх технологічного призначення: більш щільні сплави використовуються для розкислення металевого розплаву, легкі – для шлаку. До перших відносяться  $\text{Ф C}5 \rightarrow \text{Ф C}10 \rightarrow \text{ФC}15 \rightarrow \text{ФC}20 \rightarrow \text{ФC}25 \rightarrow \rightarrow \text{ФC}30 \rightarrow \text{ФC}50 \rightarrow \text{ФC}60$ , щільність яких дорівнює  $4,56$ - $7,47\text{ г/см}^3$ ; інші сплави:  $\text{ФC}65 \rightarrow \rightarrow \text{ФC}75 \rightarrow \text{ФC}90$  мають густину  $2,80$ - $4,20\text{ г/см}^3$ . З вище наведеного ГОСТу до оптимальних сплавів феросиліція відносяться  $\text{ФC}20$  і  $\text{ФC}65$ , що утворюються на базі сингулярних силіцидів заліза, тоді як відповідність з ПДС Fe-Si цей ряд доповнюється сплавами  $\text{ФC}15$

та ФС30.

Таким чином, побудована ПДС – методом полігональна діаграма станів залізо-кремній добре узгоджується з відомими експериментальними.

#### **1.4 Огляд дослідно-промислові технології виплавки висококремністого феросиліцію**

Дослідно-промислові технології виплавки висококремністого феросиліцію наступні:

1. Виплавка з використанням коксу з різною кількістю газових і довгополуменевого вугілля в шихті для спікання.

Дослідно-промислова партія газового коксу була отримана з шихти для коксування, що складається з збагачених газового вугілля.

При виплавці 75% -вого феросиліцію на газовому коксі питома витрата електроенергії знизився на 1,8%, кварциту на 1,9% і коксу, що задається в піч, на 6,4% при цьому продуктивність печі зросла на 1,9%.

2. Виплавка 75%-го феросиліцію з використанням коксу з підвищеним вмістом газового вугілля.

При застосуванні досвідченого коксика продуктивність печі підвищилася на 10%, ступінь вилучення кремнію – на 4,5%, питома витрата електроенергії знизився на 4,4%, питома витрата шихтових матеріалів також знизився (кварциту на 4,8%, коксика на 6,6 %, залізної стружки на 6,2%).

3. Виплавка 75% -го феросиліцію з використанням коксу.

Питома витрата електроенергії знизився на 2,7%, кварциту на 0,9%, коксу на 3,0% і залізної стружки на 1,4%, продуктивність печі зросла на 6,2%.

4. Виплавка 75%-го феросиліцію з використанням в шихті худого Краснобродський вугілля.

Незважаючи на дещо підвищений питома витрата електроенергії з використанням худого Краснобродський вугілля, отриманий 75%-й FeSi містив меншу кількість алюмінію, що дозволяло атестувати його як марку ФС74ч без

додаткового рафінування сидеритом, яке супроводжується втратою частини сплаву і додатковими матеріальними витратами.

#### 5. Виплавка 75% -го феросиліцію з використанням зволоженого коксу.

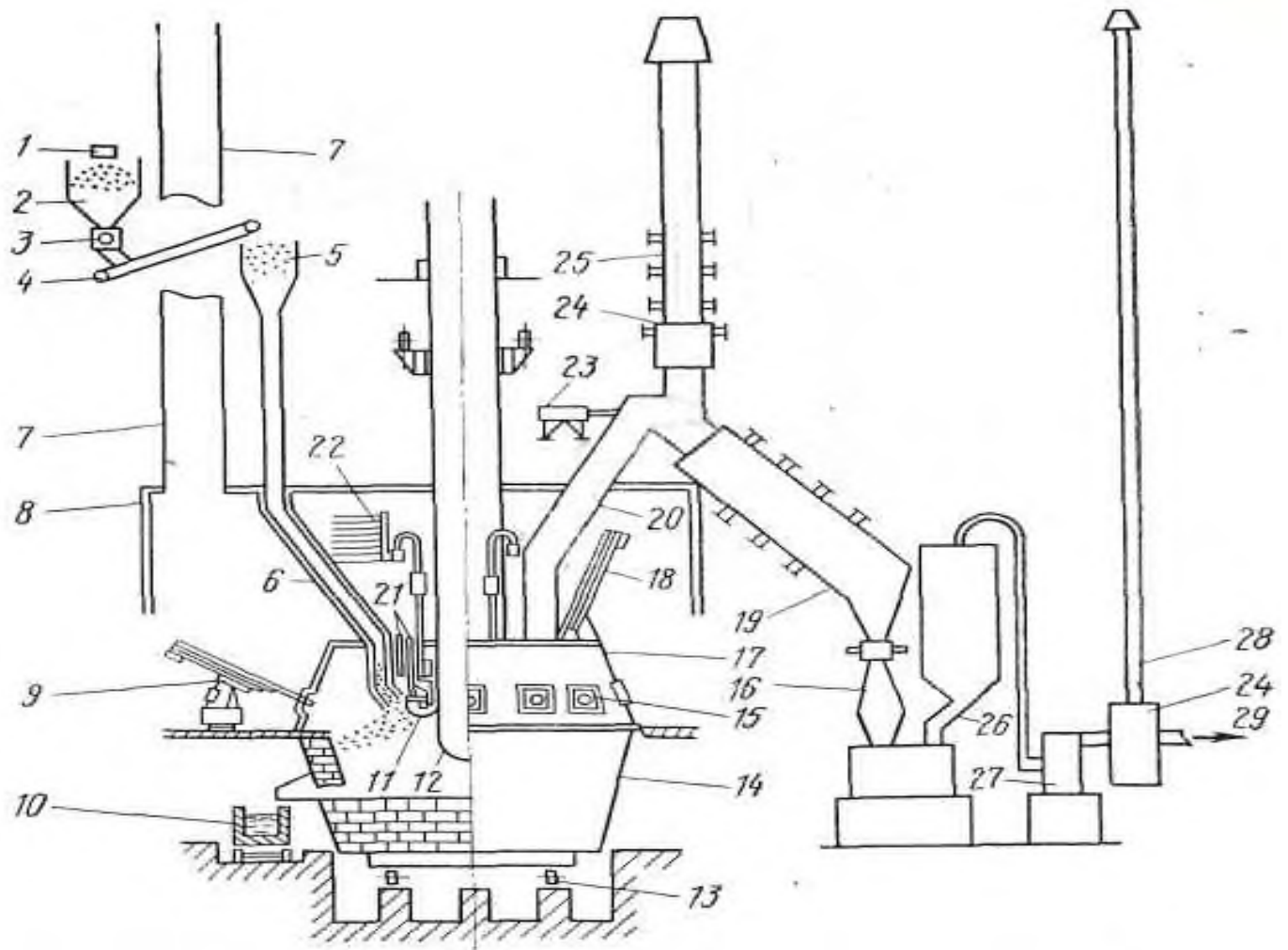
Зволоження коксового горішка сухого гасіння при виплавці 75%-го FeSi, показало, що продуктивність печі зросла на 4,6%, витрати електроенергії знизився на 5,1%, витрата сировини – на 5,2–7,1%, а також знизилася газопилові викиди в 1,6 рази.

#### 6. Виплавка 75%-го феросиліцію в герметизованій печі.

Виплавка 75%-го феросиліцію також успішно здійснена в герметизовано печі потужністю 15 МВА (рис. 4.1). Піч має такі основні параметри: діаметр електродів 1050 мм, діаметр кожуха 8100 мм, діаметр ванни 6460 мм, висота склепіння 4100 мм, число газовідводів 4, сила струму 59,9 кА і діапазон вторинного напруги 80–170 В. Вісімнадцять дверей, розташованих по колу ванни, виконують функції запобіжних клапанів проти вибухів. Труботечки і газовідводи розташовані навколо електродів, що сприяє рівномірному завантаженні сировини і запобігає накопиченню пилу під кришкою і в газовідводом.

Для поліпшення сходу шихти, зменшення коливань тиску газу і полегшення роботи з обслуговування електродів печі обладнані механізмами для розбивання кірки навколо електродів. З метою збільшення тривалості кампанії печі застосовується обертається ванна.

Шихта складається з кварцу, коксу, деревного вугілля, окалини і деревних відходів. Їх суміш безперервно надходить в піч по завантажувальним трубах у ванну печі. Основні завдання персоналу при веденні процесу полягають у запобіганні зависання шихти навколо електродів, обвалів шихти, свищів і скупчення пилу під склепінням. Температура під склепінням підтримується в межах 400–500 °С.



1,4 – транспортер; 2 – бункер; 3 – дозатор; 5 – пічної бункер; 6 – труботечка;  
 7 – відвідна труба брудного газу при відключеною газоочистке; 8 – парасольку;  
 9 – рухливе прошивають пристрій; 10 – ківш; 11 – електродний затискач;  
 12 – електрод; 13 - механізм обертання ванни; 14 – кожух ванни; 15 – оглядові  
 вікна та аварійні клапани; 16 – труба Вентурі; 17 – звід печі; 18 - стаціонарне  
 прошивають пристрій; 19 – зрошувану газохід; 20 – газовідвід; 21 – захисний  
 циліндр; 22 – коротка мережу; 23 – пристрій для видалення пилу; 24 – водяний  
 затвор; 25 – свічки брудного газу з його дожиганием; 26 – каплеот-дільник;  
 21 – ексгаустер; 28 – димова труба з дожиганием газу; 29 – газопровод

Рисунок 1.3 – Розріз герметизовано печі потужністю 15 МВА

Плавка ФС90 здійснюється у відкритій печі 16,5 МВА звичайним способом (рис. 1.4). Для отримання феросиліцію застосовують шихту, що складається з кварциту, коксику і сталеві стружки.





a







б

Рисунок 1.4 – Процес виплавки (а) та розливки (б) ФС90

На 1 т сплаву виділяється 1600–1900 м<sup>3</sup> газу наступного складу: 80,7% CO; 14,5% H<sub>2</sub>; 1,9% CO<sub>2</sub>; 2,3% (O<sub>2</sub> + N<sub>2</sub>). Теплота згоряння газу становить ~

5600 кДж/м<sup>3</sup>. При завантаженні свіжої шихти вміст водню підвищується до 20%, а потім поступово знижується до 10%. Пил має наступний склад, %: SiO<sub>2</sub> 84,36; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 2,74; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0,91; CaO 0,3; MgO 1,21; C 9,90. Експлуатаційні витрати на герметизовано печі значно нижче, ніж на відкритій печі. Є дані про успішну роботу печі потужністю 60 МВА.

Процес отримання феросиліцію протікає при температурах, які значно перевищують температуру плавлення сплаву, що призводить до значного перегріву його; сплав в такому со – стоянні вельми рідкоподвижний, і якщо не вжити спеціальних заходів при виготовленні футерування, то він легко може піти з печі. Тому подину і стіни печі викладають вугільними блоками з таким розрахунком, щоб шов між ними становив 25–30 мм. Шви між блоками щільно утрамбовують спеціальної електродною масою (подової) з підвищеною температурою размягчення.

Особливу увагу при виготовленні футерування слід приділяти місцям сполучення підстави льотки з кладкою печі. Це з'єднання повинно бути виконано вельми ретельно, тому що в іншому випадку при випуску не виключена можливість прориву металу.

Для запобігання - вугільних блоків від окислення в період сушіння і розігріву печі подину обмазують глиною і засипають невеликим шаром коксика, а стіни захищають шаром шамотної цегли. Нову футеровку сушать спочатку дровами (36–48 годин.) І потім коксом на невеликої потужності.

Найбільш серйозний недолік форсованої сушки та розігріву печі полягає в тому, що при цьому на подині печі накопичується шар розплавленого кварцу і карборунду, що не встигнувши прореагувати внаслідок низької температури. Утворення такого шару погіршує показники роботи печі на протязі всій її кампанії, так як видалити його без повного проплавлення і очищення печі в холодному стані не вдається.

Прогрів печі контролюють шляхом спостереження за температурою подини. Після того як температура подини печі буде постійною, розігрів печі можна вважати повністю закінченим.

Повний прогрів потужної електричної печі триває близько 20 діб. Після встановлення стаціонарного теплового режиму піч можна переводити на виплавку 75% - або 90% -го феросиліцію.

Футеровка печі, виплавляє феросиліцій, зазвичай служить 4–5 років.

Феросиліцій випускають у ківш, футерований шамотною цеглою або графітової плиткою, і потім розливають в злитки в чавунні виливниці або в чушки на розливальній машині конвеєрного типу [3–5].

## 2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

### 2.1 Розрахунок шихти для виплавки феросиліцію марки ФС90

Розрахунок ведеться на 100 кг кварциту [6]. Склад вихідних матеріалів для виплавки феросиліцію марки ФС90 приведено в таблиці 2.1. Розподіл окислів та елементів в процесі відновлення представлено в таблицях 2.2 та 2.3.

#### 1. Шихтові матеріали.

*Кремнийвмісні матеріали.* В феросплавному виробництві використовують дешеві, але багаті по кремнезему матеріали – кварцит и кварц.

Кварцит повинен відповідати вимогам:

1. Вміст  $\text{SiO}_2$  не менше 96,0% (96– 99%).
2. Вміст  $\text{P}_2\text{O}_5$  – не більше 0,02%.
- 3) Кількість шкідливих шлакоутворюючих домішок –  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$  и  $\text{CaO}$  – мінімальне.
4. Волагопоглотимість кварциту не більше 5%;
5. Кварцит повинен мати механічну міцність; кварцит, що містить вуглець, не годиться до плавки, бо при нагріванні розтріскується і погіршує газопроникність шихти.

*Відновник.* В якості відновника при виробництві сплавів кремнію використовують металургійний кам'яновугільний кокс, нафтовий і пековий кокс, деревне вугілля. Відновлювач повинен мати такі властивості: високу реакційну здатність; низький вміст золи, летючих і вологи; достатню механічну міцність; високе електроопір; рівний і постійний розмір шматків; невисоку вартість.

Основним відновником є коксик, одержуваний як відсів при виробництві металургійного коксу. Вміст фосфору в коксика не повинно перевищувати 0,06%. У коксика міститься шлакоформуючі частина – зола, її вміст становить 8–15%.





Таблиця 2.2 – Розподіл окислів між тими, що відновлюються, та тими, що переходять у шлак

Окисли	SiO <sub>2</sub> *	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	MgO	SO <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>
Відновлюється, %	98,00	99,0	80,0	40,0	100,0	0,0	100,0	0
Переходить в шлак, %	2,0	1,0	20,0	60,0	0,0	100,0	0,0	100

Таблиця 2.3 – Розподіл елементів між тими, що переходять у метал, та тими, що переходять у відліт

Елемент	Si	Fe	Al	Ca	P	S	SiO
Переходить в метал, %	100,0	95,0	90,0	85,0	50,0	0,0	0,0
У відліт %	0,0	5,0	10,0	15,0	50,0	100,0	100,0

*Залізовмісні добавки.* При виплавці феросиліцію залізо вводять у вигляді сталеві стружки. Стружка повинна бути дрібною, не містити іржі і домішок стружки кольорових металів.

## 2. Розрахунок відновника.

З наявних у 100кг коксу 85кг вуглецю буде витрачено:

- на відновлення окислів золи 3,065 кг;
- на відновлення окислів кварциту 81,94 кг.

Кількість коксу, необхідний на відновлення 100кг кварциту визначаємо за формулою:

$$C_{\text{на кварцит}} \cdot 100 / C_{\text{на відн.окислів кварцита}},$$

тоді кількість коксика необхідне на відновлення 100 кг кварциту 45,913 кг.

За умови, що коксика згоряє на колошнике і витрачається на науглецювання сплаву 8 %. Кількість коксика необхідне на відновлення 100 кг кварциту 49,906 кг.

Вуглець електродів бере участь у реакціях відновлення. Витрата електродної маси на 1т кварциту (при плавці 90%-ного феросиліцію) дорівнює 4 кг. Електродна маса містить золу, окисли якої також частково відновлюються.

Для зв'язування кисню в окис вуглецю необхідно 0,123 кг вуглецю. Електродна маса вносить 3,4 кг вуглецю. Приблизно половина цього вуглецю витрачається на відновлення окислів, що зменшує потребу в коксі на, кг: 2,000, тоді загальна потреба коксу дорівнюватиме різниці розрахованої кількості коксу та електродної маси. Потреба в коксі на калошу, що містить 100кг кварциту, 47,906 кг.

Загальну вагу сплаву розраховуємо за кількістю кремнію, що перейшов у сплав:

- загальна вага сплаву, що містить Si,% 92 дорівнює 46,867 кг.
- кожухи електродів, що само спікаються, на 100 кг кварциту, вносять 0,1 кг заліза.
- прутки для проколювання на 100 кг кварциту, вносять 0,5 кг заліза.
- необхідно додати заліза 1,608 кг або стружки 1,78722 кг.

### 3. Розрахунок складу і кількості шлаку

Кратність шлаку розраховуємо як відношення кількості сплаву до кількості шлаку: 0,061 (таблиця 2.4).

### 4. Кількість газів.

Кількість вуглецю коксу та електродів сжигаемое на колошнике визначаємо як різниця внесеного і витраченого на відновлення вуглецю:

згорає вуглецю коксу і електродів на колошнику, 4,910 кг;

Для спалювання цієї кількості вуглецю потрібно кисню, 6,546 кг. В повітрі міститься 77% азоту, то цю кількість кисню супроводжує азот, 21,915 кг.

Підсумовуючи кількість азоту і кисню визначаємо кількість повітря:

Всього буде витрачено повітря, 28,461кг;

При окисненні вуглецю киснем повітря утворюється CO, 11,456 кг;

При окисненні вуглецю оксидами кварциту утворюється CO, 87,778 кг;

При окисленні вуглецю оксидами золи коксика утворюється CO, 3,426 кг;  
 При окисленні вуглецю оксидами золи ел. маси утворюється CO, 0,286 кг;  
 Летючі і волога кварциту, коксика, ел. маси і стружки складуть, 3,756 кг;  
 Всього утворюється 128,616 кг газів.

Таблиця 2.4 – Склад та кількість шлаку

Окисел	На утворення шлаку, кг				
	з кварциту	з золи коксу	з золи електродної маси	всього	
				кг	%
SiO <sub>2</sub>	1,980	0,047	0,004	2,031	70,480
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,110	0,230	0,024	0,364	12,632
FeO	0,001	0,009	0,0004	0,010	0,352
CaO	0,090	0,144	0,017	0,251	8,695
MgO	0,100	0,048	0,008	0,156	5,411
TiO <sub>2</sub>	0,070	0,000	0,000	0,070	2,430
Всього				2,881	100,000

Матеріальний баланс (таблиця 2.5) та тепловий баланс (таблиця 2.6) процесу виробництва феросиліцію марки ФС90 виглядає наступним чином.

Розглянемо тепловий баланс.

Теплота окислення вуглецю до CO за реакцією:



складає 2222 ккал/кг вуглецю.

При окисленні вуглецю коксика і електродів виділяється 98034 ккал тепла.

При утворенні силіциду заліза на 1кг заліза виділяється тепла 341,071 ккал.

Таблиця 2.5 – Матеріальній баланс процесу виробництва феросиліцію марки ФС90

Прихід			Витрати		
Матеріали	кг	%	Продукти	кг	%
Кварцит	100,000	54,718	Сплав	46,885	25,515
Кокс	47,906	26,213	Шлак	2,881	1,568
Залізна стружка	1,787	0,978	Гази	128,616	69,994
Повітря	28,461	15,573	Відліт	5,370	2,922
Залізо кожуха і прутів	0,600	0,328	Нев'язка	-0,999	-0,544
Ел. маса	4,000	2,189	Всього	183,753	100,000
Всього	182,754	100,000			

Теплота утворення силіциду заліза складає 1006,566 ккал.

При утворенні силікату  $Al_2O_3$  на 1кг  $Al_2O_3$  виділяється тепла 450,49 ккал.

Теплота утворення силікату  $Al_2O_3$  складає 163,9544 ккал.

При утворенні силікату  $CaO$  на 1кг  $CaO$  виділяється тепла 388,393 ккал.

Теплота утворення силікату  $CaO$  складає 97,29888 ккал.

Всього в результаті екзотермічних реакцій виділяється тепла буде 1267,8188 ккал.

Тепло, внесене шихтовими матеріалами:

- тепло, внесене кварцитом при 25°C становить 420 ккал.;
- тепло, внесене коксиком при 25°C становить 239,5277 ккал.;
- тепло, внесене залізною стружкою при 25°C становить 4,915 ккал.;

Витрата тепла на ендотермічні реакції:

1. Дисоційованого кремнезему становить 99,502 кг.

При дисоціації кремнезему на 1кг кремнезему виділяється тепла становить 3433,33 ккал;

Для дисоціації кремнезему знадобилося тепла становить 341624,7 ккал;

2. Дисоційованого глинозему становить 1,456 кг;

При дисоціації глинозему на 1кг глинозему виділяється тепла становить 3855,88 ккал;

Для дисоціації глинозему знадобилося тепла становить 5613,34 ккал;

3. Дисоційованого окису Са становить 0,167 кг;

При дисоціації окису кальцію на 1кг окису Са виділяється тепла становить 2708,93 ккал;

Для дисоціації окису Са знадобилося тепла становить 452,4 ккал;

4. Дисоційованого окису Fe становить 1,117 кг;

При дисоціації окису заліза на 1кг окису Fe виділяється тепла становить 1220 ккал;

Для дисоціації окису Fe знадобилося тепла становить 1362,5 ккал;

5. Дисоційованої п'ятиокиси Р становить 0,0144 кг;

При дисоціації п'ятиокиси Р на 1кг п'ятиокиси Р виділяється тепла становить 2535,21 ккал;

Для дисоціації п'ятиокиси Р знадобилося тепла становить 36,44 ккал;

Сумарна кількість тепла на дисоціацію оксидів становить 349089 ккал;

Тепломісткість феросиліцію при 1800°C:

Тепломісткість Si при 1800°C становить 542,1 ккал/кг.

Тепломісткість Fe при 1800°C становить 371,82 ккал/кг.

Тепломісткість FeSi при 1800°C становить 522,0 ккал/кг.

Тепломісткість FeSi при 1800°C становить 24474,3 ккал/кг.

Тепломісткість шлаку при 1800°C становить 514,8 ккал/кг.

Тепломісткість шлаку при 1800°C становить 1483,2 ккал/кг.

Припустимо, що гази залишають піч при середній температурі 600°C. Для спрощення розрахунку приймаємо теплоємності всіх газів газоподібних продуктів рівними теплоємності окису вуглецю – основною складовою газоподібної фази:

Тепломісткість 1м<sup>3</sup> CO при 600°C становить 194,5 ккал.

Тепломісткість газоподібних продуктів становить 20012,7 ккал.

*Втрати тепла кладкою печі*

Загальна поверхня печі 100 м<sup>2</sup>.

Питомий тепловий потік 1600 ккал.ч/м<sup>2</sup>.

Піч втрачає тепла в годину 160000.

Продуктивність печі 0,8 т/год

У перерахунку на кварцит 1706,3 кг.

Теплові втрати 9377,1 ккал.

Теплові втрати колошника 10 %.

Таблиця 2.6 – Тепловий баланс плавки

Прихід			Витрати		
Стаття	ккал	%	Стаття	ккал	%
Електроенергія	401618,24	80,07	Диссоціація	349089,43	69,60
Окислення С до СО	98034,01	19,54	Тепло Ме	24474,31	4,88
Утворення силіцидів заліза і силікатів	1267,8	0,25	Тепло шлака	1483,23	0,30
Внесено шихтовими матеріалами	664,44	0,13	Тепло газів	20012,68	3,99
Всього	501584,51	100,00	Втрати тепла кладкою	9377,06	1,87
			Втрати тепла через колошник	44937,41	8,96
			Ел. втрати і невязка	52210,37	10,41
			Всього	501584,51	100,00

## 2.2 Техніко-економічні показники виплавки феросиліцію марки ФС90

Витрата матеріалів на виплавку ФС90:

– питома витрата сировини на 1 базову тонну сплаву, кг:

2600 кварциту, 20 залізної стружки, 1200 коксика, 48 електродної маси;

– питома витрата електроенергії на 1 базову тонну сплаву: 47160 МДж/т (13100 кВт·год/т);

– втрати відновленого кремнію в ульот: 15–20%;



– розподіл провідного елементу: 100% Si переходить в метал; 95% Fe – в метал і 5% – в ульот.

Техніко-економічні показники виробництва феросиліцію можуть бути однозначно покращені при збільшенні одиничної потужності трьохелектродних печей до 75 МВА. При роботі печей на постійному струмі покращується Використання потужності трансформатора, спрощується струмопідвід. Встановлено, що при роботі на постійному струмі спостерігається більш рівномірній хід печі, підвищується витягання кремнію, зменшується вміст домішок в сплаві завдяки використанню направлено електродолізу и зніжується витрати електроенергії.

Зменшення витрати електричної енергії та поліпшенню інших техніко-економічних показників сприяють наступні заходи:

1. збільшення потужності печей;
2. удосконалення конструкції струмопідвода, що дозволяє поліпшити коефіцієнт потужності и коефіцієнт корисної дії печі;
3. поліпшення якості шихтових матеріалів, зокрема зменшення вмісту шлакоутворюючих речовин ( $\text{CaO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) у кварциті та відновнику, а також вживання шихтові матеріалів оптимального гранулометричного складу (кварцит 20–80 мм, кокс 5–25 мм);
4. вживання відновника зниженої електропровідності (напівкокс, вуглекварцитовій кокс);
5. вживання в шихту частково відновлених матеріалів (відходи виробництва карборунду або відходи графітування електродів) [10].

### **2.3 Рациональне використання відходів**

Виробництво феросиліцію відноситься до безшлакових процесів, але проте одержання сплаву завжди супроводжується отриманням деякої кількості шлаку. Причиною шлакоутворення є домішки шихтових матеріалів, які за фізико-хімічними умовами процесу не можуть бути повністю відновлені

(глинозем, оксиди кальцію, барію, магнію тощо) і які ошлаковуються кремнеземом. При нестачі відновника шлак збагачується кремнеземом, а також карбідом кремнію внаслідок руйнування гарнісажу. Помітної відмінності у складі шлаку при виплавці ФС20, ФС25, ФС45, ФС75 і ФС90 не спостерігається. Хімічний його склад наступний, %:  $\text{SiO}_2$  27-62;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  1-8;  $\text{CaO}$  0,8-3,0;  $\text{MgO}$  1-4;  $\text{SiC}$  15-40;  $\text{C}_T$  1-3;  $\text{Si}_e$  3-20;  $\text{Fe}$  1-5. Шлаки мають високу температуру плавлення (1500-1700 °С), характеризуються значною в'язкістю, що складає 1-5 Пас навіть при 1700 °С, причому в'язкість їх підвищується при підвищенні вмісту кремнезему і карбіду кремнію.

Оскільки в шлаку міститься 40-70% сплаву у вигляді корольків, то його слід утилізувати. Корольки утилізують розплавленням відвальних шлаків від виробництва ФС45, ФС75, ФС90 і ФС20, які мають майже вдвічі більшу щільність. При цьому зменшуються втрати сплаву і збільшується продуктивність розливних машин при розливанні ФС25. Цей шлак доцільно використовувати в сталеплавильному і доменному процесах для розкислення сталі і виплавки чавуну.

Пил феросиліцію, уловлений в системі газоочистки, може бути використаний у вигляді брикетів або окатків для виплавки сплавів кремнію, а також в інших галузях техніки. Встановлена також доцільність його застосування в шихті для виготовлення шлакоблоків силікатної цегли і штукатурних розчинів. Введення його в кількості 10% від маси шихти підвищує міцність шлакоблоків і знижує витрату цементу. Транспортування пилу полегшується після попереднього його озернення без застосування зв'язуючих з отриманням окатків діаметром 3-5 мм. При цьому використовується гранулятор діаметром 1м. Щільність пилу збільшується до 0,6-0,7 г/см<sup>3</sup> і такі окатки можуть бути у вигляді складової шихти використані при виплавці сплавів кремнію [2].

## 3 КОНСТРУКЦІЙНА ЧАСТИНА

### 3.1 Розрахунок геометричних параметрів феросплавної печі

Початкові дані:

- тип феросплавної печі – РКО 24,0;
- номінальна потужність трансформатора(S) – 24000 кв•А;
- сплав, що виплавляється ФС90.

Розрахунок рудовідновлюваної печі проводимо наступним чином:

1. Потужність трансформатора пічної установки визначається за формулою:

$$S = \frac{G \cdot W_{\text{пит}}}{24 \cdot \cos j},$$

де  $S$  – номінальна потужність трансформатора, кВтА;

$G$  – добова продуктивність, т / добу;

$W_{\text{пит}}$  – питома витрата електроенергії, кВт•год. /т;

24 – кількість годин на добу;

2. Визначаємо з значення добутку електричного коефіцієнта корисної дії (ККД) на коефіцієнт потужності в залежності від типу сплаву, що виплавляється, та потужності –  $h_{\text{ел}} \cdot \cos j$ . Приймаємо  $h_{\text{ел}} \cdot \cos j = 0,72$

3. Корисна потужність печі:

$$P_{\text{кор}} = h_{\text{ел}} \cdot \cos j \cdot S,$$

$$P_{\text{кор}} = 0,72 \cdot 24000 = 17280 \text{ кВт}.$$

4. Робоча корисна фазова напруга печі:

$$U_{\text{кор}} = c \times P_{\text{кор}}^n,$$

$$U_{\text{кор}} = 3,4 \times 17280^{1/3} = 87,901 \text{ В.}$$

де  $c$ ,  $n$  – коефіцієнти;

$c$  – величина, яка визначає зв'язок між корисною напругою та корисною потужністю для даного процесу. Приймаємо для розрахунку  $n = 1/3$ ,  $c = 3/4$ .

5. Лінійна напруга на виводах низької напруг пічного трансформатора розраховується за формулою:

$$U_{\text{лін}} = \frac{U_{\text{кор}} \times \sqrt{3}}{h_{\text{ел}} \times \cos j},$$

$$U_{\text{лін}} = \frac{87,901 \times \sqrt{3}}{0,72} = 211,457 \text{ В.}$$

Значення коефіцієнта  $c$  при різних коефіцієнтах  $n$  приведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Значення коефіцієнта  $c$  при різних коефіцієнтах  $n$

Сплав	$W_{\text{пит}} < 13500 \text{ кВт}$		$W_{\text{пит}} > 13500 \text{ кВт}$	
	$n = 1/2,$ $c^*$	$n = 1/2,$ $c^{**}$	$n = 1/3,$ $c^*$	$n = 1/3,$ $c^{**}$
ФС90	-	3,4	-	3,4

Примітка: \* - коефіцієнт для шлакового процесу;

\*\* - коефіцієнт для шлакового процесу.

Для вибору ступенів напруги пічного трансформатора слід взяти інтервал вторинних напруг при постійній потужності від 0,8 до 1,2  $U_{\text{лін}}$  з перепадом напруги від ступені до ступені 4–6 В.

$$U_{\text{min}} = 0,8 > U_{\text{лін}},$$

$$U_{\text{min}} = 0,8 > 183,251 = 146,601\text{В},$$

$$U_{\text{max}} = 1,2 > U_{\text{лін}},$$

$$U_{\text{min}} = 1,2 > 183,251 = 219,901\text{В}.$$

Інтервал корисних напруг пічного трансформатора буде дорівнювати 145–217В.

6. Струм в електроді:

$$I_{\text{лін.мах}} = \frac{P_{\text{кор}}}{3U_{\text{кор}} \times 0,85}, (4.105)$$

$$I_{\text{лін.мах}} = \frac{17280 \times 10^3}{3 \times 87,901 \times 0,85} = 77092 \text{ А}.$$

7. Робочий струм в електроді:

$$I_{\text{лін.роб}} = \frac{P_{\text{кор}}}{3U_{\text{кор}}},$$

$$I_{\text{лін.роб}} = \frac{17280 \times 10^3}{3 \times 87,901} = 65528 \text{ А}.$$

8. Активний опір ванни:

$$R_B = \frac{U_{\text{кор}}}{I_{\text{лін.роб}}},$$

$$R_B = \frac{87,901}{65528} = 0,00134 \text{ Ом} = 1,34 \text{ мОм}.$$

9. Діаметр електрода:

$$d_{\text{ел}} = \frac{EP_1}{R_B},$$

$$d_{\text{ел}} = \frac{1,8}{0,00134} = 1343 \text{ мм},$$

де  $EP_1$  – коефіцієнт, який визначається з таблиці 2.2. Приймаємо для розрахунку  $EP_1 = 1,8$ .

Приймаємо найближче до ГОСТ  $d_{\text{ел}} = 1400 \text{ мм}$ .

Таблиця 2.2 – Значення коефіцієнта  $EP_1$  для феросплавних електропечей

Сплав, що виплавляється	$EP_1$
Феросиліцій 75%-вий	1,60 – 2,03

Примітка: \* – менше значення  $EP_1$  відповідає печам меншої потужності

10. Перевіряємо величину щільності струму в електроді, що самоспікається, вона не повинна бути вище допустимих щільностей струму для даного процесу (таблиця 2.3):

$$j = \frac{4I_{\text{лін.мах}}}{\rho d_{\text{ел}}^2},$$

$$j = \frac{4 \cdot 77092}{3,14 \cdot 140^2} = 5,011 \text{ Ас} / \text{м}^2 \approx 7,0 \text{ А} / \text{см}^2,$$

де згідно таблиці 2.3 приймаємо  $j_{\text{доп}} = 7,0 \text{ А} / \text{см}^2$ .

Таблиця 2.3 – Допустимі значення щільності в електроді, що самоспікається

Продукт, що виробляється	$j_{\text{доп}}, \text{ А} / \text{см}^2$ (не більше)
Феросиліцій 75% - вий	7,0

11. Проводимо перевірочний розрахунок:

$$h_{\text{ел}} = \frac{R_B}{R_B + r_{\text{кС}}},$$

$$h_{\text{ел}} = \frac{1,34}{1,34 + 0,2} = 0,870,$$

$$\cos j = \frac{r_{\text{кС}} + R_B}{\sqrt{(r_{\text{кС}} + R_B)^2 + x_{\text{кС}}^2}},$$

$$\cos j = \frac{0,2 + 1,34}{\sqrt{(0,2 + 1,34)^2 + 1^2}} = 0,839$$

Таблиця 2.4 – Електричні параметри вторинного струмопідводу феросплавних електропечей

Потужність печі, кВА	$x_{\text{кС}}, \text{ МОм}$	$r_{\text{кС}}, \text{ МОм}$
24000	0,90...0,94	0,17

Згідно таблиці 2.4 приймаємо  $x_{\text{кС}} = 1,0 \text{ МОм}$ ,  $r_{\text{кС}} = 0,2 \text{ МОм}$ .



Відповідно  $h_{\text{ел}} \times \cos_j = 0,870 \times 0,839 = 0,73$ . Значення  $h_{\text{ел}} \times \cos_j$  відрізняється від прийнятого на 3,56% (допустима межа до 5%), тобто електричний розрахунок закінчений.

Розмірний ряд рафінувальних та відновлюваних електропечей для виробництва феросплавів представлено в таблиці 2.5. Розрахункове значення добутку для рудовідновлюваних електропечей безперервної дії представлено в таблиці 2.6. Основні параметри феросплавних електропечей наведено в таблиці 2.7.

Таблиця 2.5 – Розмірний ряд рафінувальних та відновлюваних електропечей для виробництва феросплавів

Піч	Номінальна потужність, мВА	Ванна	Механізм нахилу	Механізм обертання	Сплав
РКЗ-24	24,0	Закр.	-	+	Fe-Si, Fe-Mn, Fe-Cr

Примітка: Перша літера (Р) означає принцип нагрівання – руднотермічних (дугового, змішаний); друга літера-форма ванни: К – кругла, П – прямокутна, а третя літера: О – відкрита, З- закрита. Цифра після позначення печі відповідає, потужності

Таблиця 2.6 – Розрахункове значення добутку  $h_{\text{ел}} \times \cos_j$  для рудовідновлюваних електропечей безперервної дії

Сплав, що виплавляється	Значення $h_{\text{ел}} \times \cos_j$ при потужності печі, кВА
	24000
ФС90	0,72

Таблиця 2.7 – Основні параметри феросплавних електропечей

Тип печі	Технологічні дані печі										
	Потужність, кВА	Вторинна напруга, В	Максимальна сила струму в електродах, кА	Діаметр електрода мм	Максимальний хід електрода, мм	Діаметр ванни, мм	Глибина ванни, мм	Діаметр кожуха, мм	Швидкість обертання ванни, об/хв..	Кут нахилу ванни в бік зливу, град	Діаметр розпаду електродів, мм
РКЗ-24	24000	245..155	71,0	1200	1500	7200	2600	8900	1/48:1/194	Не має	3400

Примітка: \* - в чисельнику дану значення для безшлакового процесу, а в знаменнику для шлакового.

### 3.2 Конструкція феросплавної печі типу РКО-16,5

Плавильний корпус феросплавного цеху призначений для розміщення й обслуговування електропечей, а також для прийому й розливки готового сплаву й видалення шлаків. Сучасний плавильний корпус феросплавного цеху з потужними рудовідновлювальними печами має звичайно два прольоти: пічний і розливочний. До будинку корпусу з боку пічного прольоту примикає трансформаторна естакада.

Пічний проліт в цеху служить для розміщення й обслуговування плавильних електропечей. Печі розташовуються звичайно уздовж цехи в лінію. Залежно від типу й потужності встановлених печей ширина пічного прольоту приймається рівної 15, 18, 24 і 30 м. Він завжди виконується багатоповерховим.

На нульовій відмітці прольоту розташовані фундаменти плавильних печей (для обертових печей вони заглиблені), механізми викочування металовозних і шлаковозних візків, устаткування й механізми газоочисток, підсобні приміщення.

Для обслуговування льотки встановлюється суцільне перекриття або місцева горнова площадка. Тут розташовані пристрої для відкривання й закривання льотки, вузли для готування льотної маси, системи шламозбірників, побутові приміщення для відпочинку плавильної бригади. Залежно від потужності печі площадка розташовується на висоті 2,5–6,6 м.

Робоча площадка, призначена для обслуговування печі, спостереження за технологічним і електричним режимами, являє собою у всіх цехах суцільне перекриття й розташовується на рівні 4,5–12 м. На ній установлені пульти управління печами (звичайно одне приміщення на дві печі), похилі газоходи для відводу газу з-під склепіння, парасоль для видалення газів, що вибиваються з печі, завантажувальні трубозбіги з приймальними ліями, приміщення для інженерно-технічного й чергового персоналу, тельфери для проведення ремонтних робіт.

Для обслуговування механізмів переміщення й перепуску електродів слугує електродна площадка, що представляє собою суцільн еперекриття, розташоване на висоті 8,5–22,2 м. У нових цехах з печами, обладнаними гідравлічною системою переміщення й перепуску електродів, встановлюються місцеві площадки.

Перекриття на відмітці 19,8–30 м слугує для кріплення пічних кишень, розміщення системи конвеєрів подачі шихти в них, монтажу вентиляційних установок, нарощування електродних кожухів і завантаження електродної маси за допомогою мостового крана.

Всі перекриття мають наскрізні прорізи по торцях цеху для забезпечення печей електродною масою. Над кожною піччю розташовані також прорізи для виконання різних транспортних операцій при ремонтах.

Розливочний проліт феросплавних цехів призначений для прийому із пічного прольоту металу й шлаків, її первинної обробки, розливання сплаву й передачі його на склад готової продукції, підготовки й подачі до печей розливочною посуду, поточного ремонту посуду, прийому необхідних матеріалів і змінного обладнання для нормальної експлуатації устаткування плавильного корпусу.

Ширина розливних прольотів сучасних феросплавних цехів приймається рівної 24; 27; 30 і 36 м. Ширина прольоту залежить від насиченості обладнанням, числа технологічних операцій зі сплавом і шлаками, кількості й обсягу розливочної посуду.

По призначенню феросплавні печі підрозділяються на рудовідновлювальні й рафінувальні.

Рудовідновлювальні печі, як правило, працюють безперервним процесом. Вони оснащені потужними трансформаторами (17–60 МВ•А); відновлювачем слугує вуглець. Самоспільні електроди в цих печах занурені в тверду шихту, яка безперервно підвантажується.

Одержувані феросплави й шлаки в розплавленому стані випускають періодично. Безперервний режим роботи характерний для процесів виплавки

феросиліцію, вуглецевих ферохрому й феромарганцю, силікокальцію, силікохрому й силікомарганцю.

У рафінувальних печах процес ведуть із повним проплавлення шихти.

Печі обладнанні механізмом нахилу. При нахилі печі для випуску сплаву електродипіднімаються. У конструкціях цих печей склепіння не передбачене. Застосовуються як вугільнісамоспівіелектроди, так і графітізовані.

Рафінувальні печі працюють зазвичай в періодичному режимі. На початку плавки електродизанурені в шихту, а потім у міру розплавлення шихти вони піднімаються над розплавом, і дуги горять відкрито. Сплав і шлаки випускають із печі по закінченні плавки. У якості відновлювача використовують сплави, що містять кремній і алюміній. Реакції відновлення з їхньою участю протікають із виділенням тепла, тому потужність трансформаторів рафінувальних печей невелика (до 3–6 МВА). У таких печах виплавляють без вуглецеві ферохром, феромарганець, феровольфрам, ферованадій і інші сплави. За конструкцією рафінувальні печі мало відрізняються від звичайних дугових електропечей.

Рудовідновлювальні печі є печами безперервної дії, у них дуги увесь час закриті шаром твердої шихти. У печах із закритою дугою необхідний метал відновлюється з руди й сплавляється із залізом. Потужність рудовідновлювальних печей для виробництв аферосплавів у цей час перевищує 63 МВ•А.

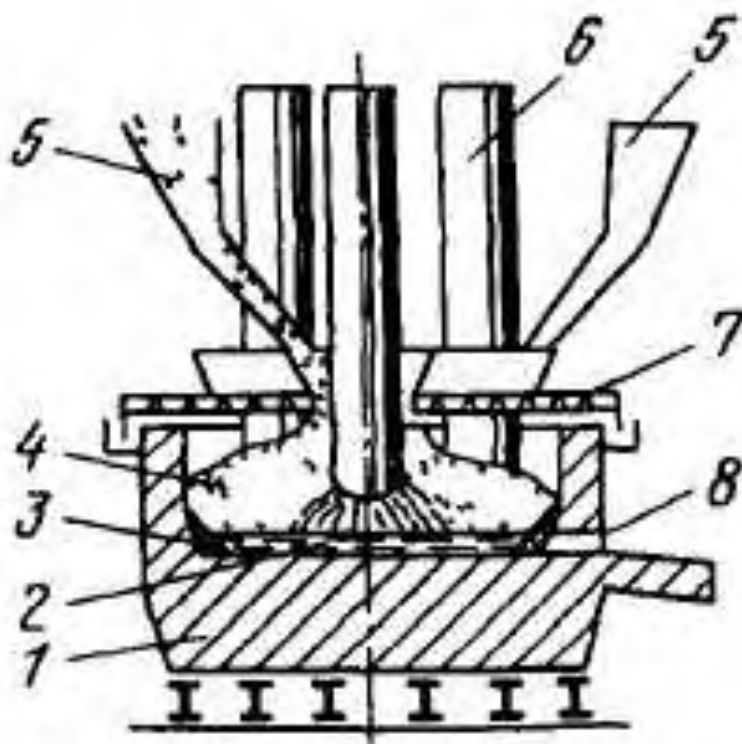
У трифазних печах електроди розташовують в одну лінію (у прямокутних печах) або по вершинах рівностороннього трикутника (у круглих печах).

Печі (рис. 3.1) працюють без нахилу ванни. Рудовідновлювальні печі по конструкції діляться на відкриті, закриті – завантаження шихти через лійки, розташовані навколо електродів, герметичні, зі стаціонарною або бертовою ванною.

Піч зі зливним жолобом 2 розташована на фундаменті 3. Електричний струм від трансформатора 5 подається по шинах короткої мережі 9 до струмоведучих щік 4, а від них до електродів. Завантаження печі провадиться машинами кидкового типу. Для переміщення й перепуску

нарощуванихсамопідклевихелектродівзастосовуютьгідралічніпристрої 7 і 8, з'єднані з несучими циліндрами 6. Під робочою площадкою знаходиться апарат 1. Тяжкі умови праці при виплавці феросиліцію у відкритих електропечах, незадовільна робота завалочних машин, експлуатованих у зоні інтенсивних теплових випромінювань, зробили не обхідним пошук нових конструкцій відкритих печей. Були створені напівзакриті печі.

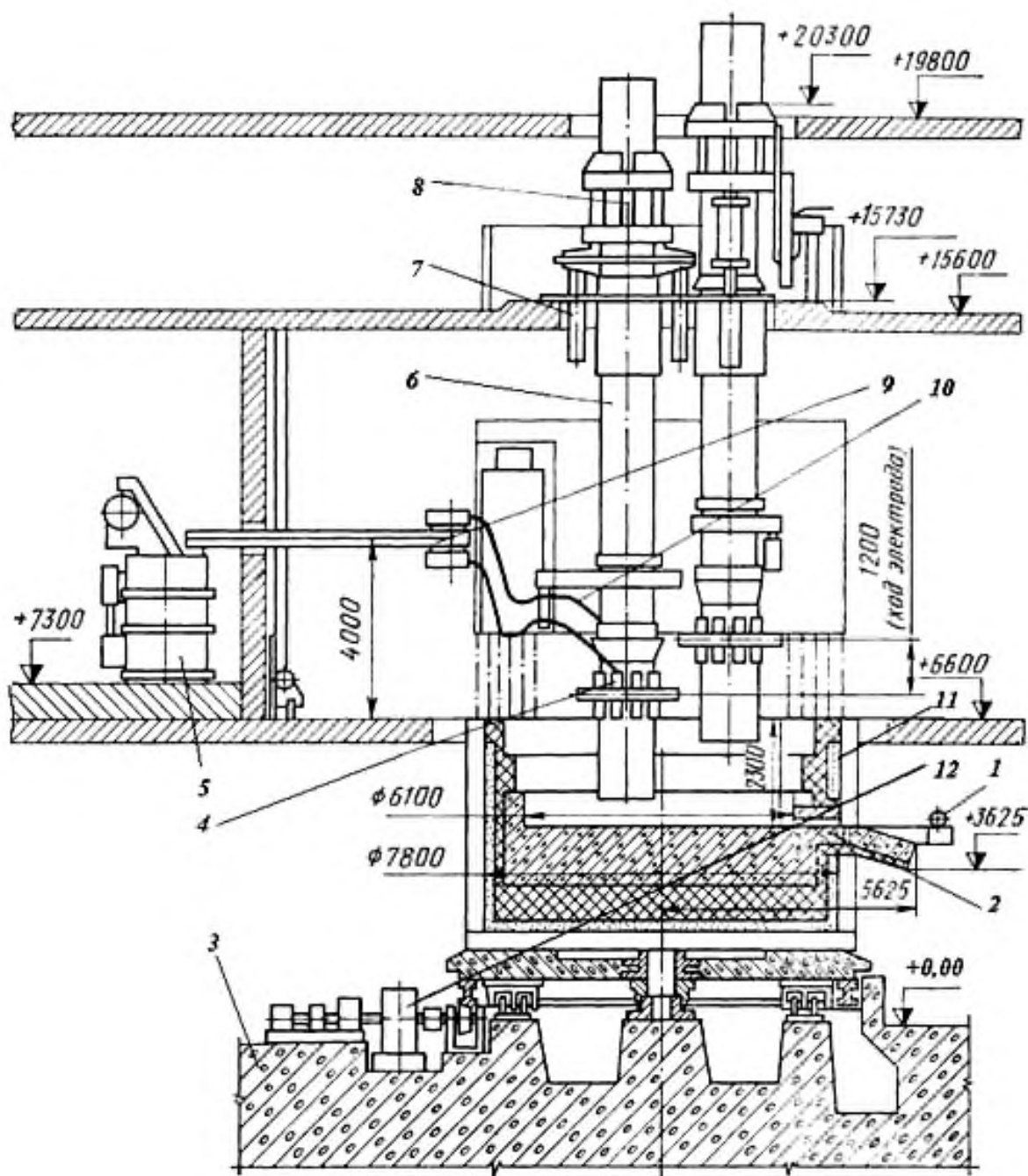
Головна принципова відмінність реконструйованих відкритих електропечей від працюючих до цього – збільшення потужності печі до 27 МВ•А, завантаження шихти рубозбігами, що дозволило виключити використання завантажувальних машин, які не забезпечували рівномірне завантаження колошника електропечі. Навколо кожного електроду передбачено по п'ятьтрубозбігів. Рудовідновлювальна відкрита обертова піч типу РКО-16,5 для виплавки феросиліцію представлена на рис. 3.2.



1 – футеровка, 2 – рідкий сплав, 3 – гарнісаж, 4 – шихта 5 – за ірузкові (пічний) бункер, 6 – електрод, 7 – склепіння, 8 – льотка

Рисунок 3.1 – Схема влаштування та роботи феросплавної печі





- 1 – пристрій для пропалювання льотки; 2 – зливальний жолоб;  
 3 – фундамент; 4 – електродний затискач із щоками;  
 5 – трансформатор; 6 – несучий циліндр; 7 – гідропідйомник;  
 8 – пристрій для перепуску електродів; 9 – коротка мережа;  
 10 – струмопідвід; 11 – кожух печі; 12 – привід механізму обертання  
 ванни

Рисунок 3.2 – Рудовідновлювальна відкрита обертова піч типу РКО-16,5 для виплавки феросиліцію

З метою підвищення стійкості трубокзбігів нижні кінці їх виконані водоохолоджуємими. Кінці трубокзбігів розташовані на відстані близько 500 мм вище рівня ванни.

На печі встановлене (на висоті 2500 – 3000 мм від верхнього рівня ванни) металеве склепіння-парасоль, що водоохолоджується, охороняє від теплового випромінювання всі елементи печі, розташовані вище контактних щік.

У виробництві феросплавів з метою зниження собівартості продукції й підвищення продуктивності праці широко застосовуються феросплавні печі з обертовими ваннами.

Ідею обертання ванни вперше висунула ТоннесЕллефсен (фірма «Elkem»), що підкреслює, що метою винаходу є розширення активної зони колошника, запобігання звуження реакційних тиглів у процесі експлуатації рудовідновлювальної печі, рівномірний розподіл по поверхні колошника шихти, що завантажує за допомогою щодо невеликого числа завалочних труб.

Маса ванни досягає 3100 т, діаметр набивних самоспівкливих електродів - 2000 мм. Швидкість обертання ванни круглої рудовідновлювальної печі невелика й установлюється залежно від виплавлюваного сплаву, гранулометричного складу шихти, діаметра й типу електродів (набивного або пресовані) і ряду інших факторів.

Щоб забезпечити потрібний технологічний процес при виплавці в одній і тій же печі по черзі декількох сплавів, необхідно мати механізми обертання із широким діапазоном зміни швидкостей.

Обертання ванни повинне бути реверсивним у межах сектора 60–120° , тому що кругове обертання при виплавці наприклад кременистих сплавів ускладнює збирання від печі готової продукції й шлаків, погіршує роботу електродів. Прийняту з розрахунку швидкість обертання ванни в процесі експлуатації доводиться коректувати, вибираючи оптимальний режим досвідченим шляхом, тому механізми обертання повинні виконуватися із пристроями, що дозволяють у досить широких межах змінювати швидкості обертання.

На сучасних електропечах установлюється швидкість до  $1,5 \cdot 10^{-3}$  об/с. Однак оскільки з'являється необхідність підбирати швидкість обертання ванни досвідченим шляхом, іноді застосовуються тришвидкосні двигуни постійного струму разом з коробками швидкостей, що дає можливість міняти швидкість обертання ванн у потрібних межах [7–10].

### 3.3 Конструкція розливної машини

На сьогодні у практиці феросплавного виробництва знайшли найбільше застосування такі способи розливання: на розливальних машинах різного типу; у стаціонарні піддони та виливниці; пошарово в підлогові виливниці або в канаву методом плавка на плавку.

Найбільш перспективним вважається розливання феросплавів на стрічкових конвеєрних машинах. Вони застосовуються для розливання феросиліцію, силікомарганцю, вуглецевого феромарганцю та іноді вуглецевого ферохрому. При цьому значно підвищується механізація та продуктивність праці, покращуються його умови у розливному прольоті, оскільки сплави розливають не за допомогою крана, а на спеціальних гідравлічних кантувачах, які поміщені у герметизовані камери. Істотним недоліком машини конвеєрного типу є змінна висота падіння сплаву при розливанні, що спричиняє сильне його розбризкування. Втрати металу при розливанні досягають 3%, до того ж товарний вид одержуваних злитків значно погіршується через обприскування вапняним молоком мульд. На Аксуському заводі феросплавів розливні машини застосовуються у феросплавних цехах № 4 (довжина стрічки – 40 м) для розливання феросиліцію та феросилікохрому, цеху № 1 при розливанні феросилікомарганцю (довжина стрічки – 70 м), цеху № 6 . -70 м).

У плавильному цеху № 2 високовуглецевий ферохром розливають на розливні піддони каскадним методом. Цей спосіб утруднений, через відсутність механізації способу розливки. Більше застосовується ручна праця і йде більша завантаженість розливного прольоту.

Для розливки висококремнистих сплавів, модифікаторів і лігатур, а також сплавів, що містять елементи, що легко окислюються, застосовують карусельні машини конвеєрно-візкового типу. У порівнянні з конвеєрною ця машина забезпечує зменшення втрат металу при розливанні, покращення якості та товарного вигляду злитків. Машина є замкнутим ланцюгом візків, розміщених на рейковому шляху. На візках знаходяться піддони-виливниці, які забезпечують отримання тонких злитків. Для вилучення злитків виливниці або перевертаються, або зливки виштовхуються спеціальним штовхачем у короб, встановлений під виливницею.

Розливка в стаціонарні піддони і чавунні виливниці є застарілим і малопродуктивним способом розливання феросплавів, що залишився в основному в цехах з рафінувальними печами і металотермічних цехах. Цей спосіб пов'язаний з підвищеною завантаженістю розливних кранів, високою теплонапруженістю в цеху і необхідністю збільшення його площі для розміщення стаціонарних виливниць. Однак, сплави схильні до сегрегації (феросиліцій з вмістом  $>75\%$  Si), доцільно розливати масивні піддони товщиною зливка до 80 мм або кристалізатори.

В останні роки все більш широке поширення набуває пошарове розливання методом «плавка на плавку» (рисунок 7.2). За кордоном цей спосіб застосовується при розливанні марганцевих сплавів. Сплав розливають з ковша пошарово в широкі канави, розташовані поза цехом вздовж стіни розливу. Пошарове розливання дозволяє різко знизити завантаженість кранів проливного прольоту, тепловиділення в цеху, зменшити розміри будівлі цеху. У цьому випадку розливний проліт використовують тільки для транспортування сплаву та шлаку з цеху. Враховуючи, що потужність феросплавних печей постійно зростає, видається раціональним винести розлив сплаву з плавильного корпусу.

При розливці феросплавів важливе значення має спосіб відокремлення металу від шлаку. За кордоном є печі з роздільним випуском сплаву та шлаку через дві льотки. У разі печей з однією льоткою продукти плавки випускають із

печі в ківш з переливом шлаку через верх ковша або через шлакоотделительное пристрій (скіммер).

При випуску в ківш з переливом легше регулювати параметри струменя рідкого металу, метал виходить чистішим і щільнішим. Однак у цьому випадку необхідні достатня площа для розливної ділянки, мостові крани великої вантажопідйомності, ковшові візки, що пов'язано із значними капіталовкладеннями

При використанні скімера, який може бути стаціонарним або пересувним, відпадає необхідність у кранах великої вантажопідйомності, додаткові площі потрібні тільки для розміщення скімера та досить довгих жолобів; метал за скіммером може бути направлений безпосередньо у виливниці розливальної машини. Однак при цьому можливе забруднення шлаком та освіта у випускних жолобах надмірної кількості скрапу, що йде у відвал. Слід зазначити, що у разі розливання сплаву по жолобах із печі через скіммер у розливний проліт спрощується компонування рішення цеху, з'являється можливість скоротити ширину будівлі.

Конструкція розливної машина для розливки ФС90 (рис. 3.3) може бути одно- або двострічковою залежно від необхідної продуктивності. Процес розливки феросплавів здійснюється за допомогою гідравлічного кантувача. Відсутня потреба у спорудженні будівельної частини для кантувальної лебідки. Для розливки феросплавів у виливниці двострічкової машини служить жолоб з розгалуженнями на два носки. Основні елементи ланцюга конвеєра, що піддаються тертю під час роботи, виконуються із зносостійкої сталі. Машина має дві зони водяного охолодження. До складу машини входить вузол підготовки та нанесення антипригарного покриття. Зміна швидкості руху конвеєра здійснюється частотним регулюванням. Забезпечується однакова інтенсивність зливу металу за різних кутів нахилу ковша.

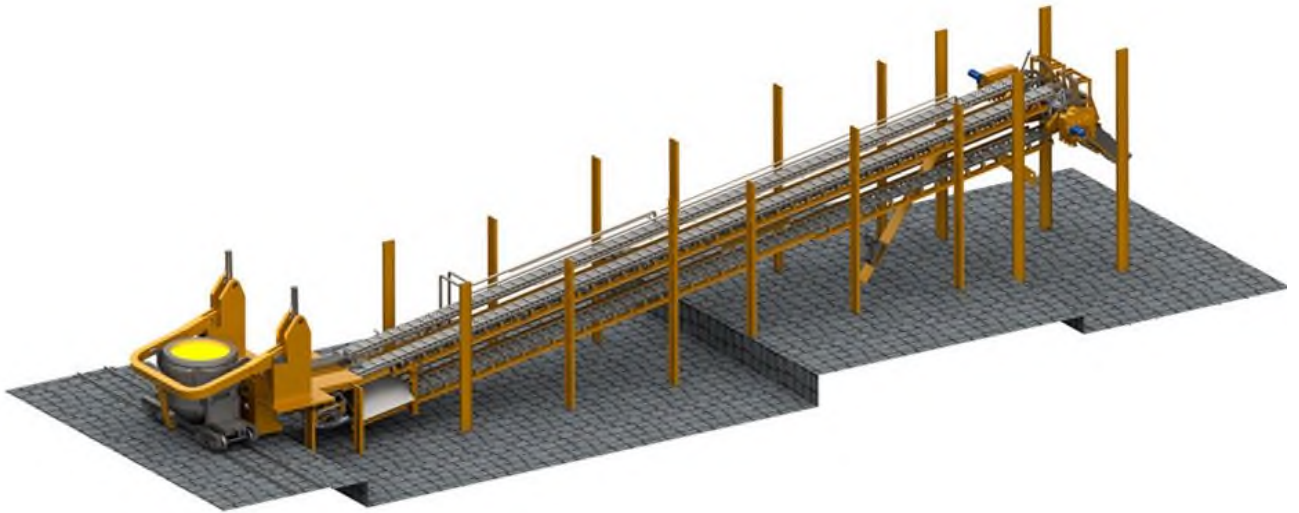


Рисунок 3.3 – Розливна машина для розливки ФС90

## 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

### 4.1 Виробничий травматизм на підприємстві

Відомо, що виробнича травма – це наслідок дії на організм різних зовнішніх, небезпечних виробничих факторів. Найчастіше виробнича травма – це результат механічного впливу при наїздах або контакті з механічним обладнанням.

Так травмування можливо внаслідок наступних дій:

- хімічних чинників (наприклад, отрутохімікатів, у вигляді отруєнь або опіків);
- електричного струму (опіки, електричні удари та інші);
- високої або низької температури (опіки або обмороження);
- поєднання різних факторів.

Розрізняють декілька причин виробничого травматизму:

1. Технічні, що виникають внаслідок конструкторських недоліків, несправностей машин, механізмів, недосконалість технологічного процесу, недостатньої механізації та автоматизації важких і шкідливих робіт.

2. Санітарно-гігієнічні, пов'язані з порушенням вимог санітарних норм (наприклад, по вологості, температурі), відсутністю санітарнопобутових приміщень і пристроїв, недоліками в організації робочого місця та інші.

3. Організаційні, пов'язані з порушенням правил експлуатації транспорту і обладнання, поганою організацією вантажно-розвантажувальних робіт, через порушення режиму праці та відпочинку, порушенням правил техніки безпеки, несвоєчасним інструктажем, відсутністю попереджувальних написів.

4. Психофізіологічні, пов'язані з порушенням працівниками трудової дисципліни, сп'янінням на робочому місці, перевтомою, поганим здоров'ям та інші.

Щоб уникнути виробничу травматизму на підприємстві, встановлюють відповідні плакати (рис. 4.1–4.3).



Рисунок 4.1 – Плакат “Перша медична допомога”





Рисунок 4.2 – Плакат “Перша реанімаційна та медична допомога”





# КУТОЧОК ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ

**Заповіти, захистити, врятувати!**

### СИГНАЛИ ОПОВІЩЕННЯ

Почути звук сирени, **НЕОБХІДНО:**

- Негайно увімкнути телевизор, радіоприймач.
- Уважно прослухати негачі повідомлення про стан, що склався, і порядок дій.
- Тримати всі ці засоби постійно увімкненими на весь час евакуації аварії, катастрофи, стихійного лиха, тощо.

### Засоби індивідуального захисту

ПРОТИЛ: 1. Громи 2. Опіки 3. Різання 4. Зламні предмети 5. Зламні предмети 6. Опіки 7. Засоби захисту органів дихання 8. РЕСПИРАТОР

МЕДИЧНІ ЗАСОБИ ІНДИВІДУАЛЬНОГО ЗАХИСТУ: 1. Аптечка 2. Аптечка першої допомоги

### СТИХІЙНІ ЛИХА

Повінь – це **тривале затоплення значної частини суші** при достатній висоті дощової грози.

Забезпечити надійну безпеку: 1. Не виходити до прибережних місць. 2. Не виходити до прибережних місць. 3. Не виходити до прибережних місць.

### ПОЖЕЖІ

Ця стихійна лиха, вогонь, що виникає під впливом людини. Вони мають величезну силу, нагромаджують величезну енергію, яка може бути використана для зрушення гірських порід, опускання вантажів і навіть зрушення будівель.

**Якщо є можливість, то спробуй:**

- Негайно дивитися пожежу, щоб вжити заходів зупинити її.
- Якщо пожежа розповсюдилася, необхідно викликати пожежників.
- Якщо є можливість, то спробуй зупинити пожежу.
- Якщо є можливість, то спробуй зупинити пожежу.

### АВАРІЇ

Найбільшою небезпечкою для населення всіх регіонів України вважається аварія з вибухом (випадковий вибух) у суб'єкті господарської діяльності. Аварії (катастрофи) можуть супроводжуватися людськими жертвами, значними матеріальними збитками та екологічними наслідками.

**Якщо є можливість, то спробуй:**

- Негайно дивитися аварію, щоб вжити заходів зупинити її.
- Якщо аварія розповсюдилася, необхідно викликати аварійну службу.
- Якщо є можливість, то спробуй зупинити аварію.
- Якщо є можливість, то спробуй зупинити аварію.

### ПЕРША МЕДИЧНА ДОПОМОГА

Кваліфікація надавачів медичної допомоги, які надають її людям, що діляться аваріями або катастрофами, на митні години та на час їх транспортування до медичного закладу.

1. Надавати першу медичну допомогу потерпілим. 2. Надавати першу медичну допомогу потерпілим. 3. Надавати першу медичну допомогу потерпілим.

### 103 ШВИДКА МЕДИЧНА ДОПОМОГА

### 101 ПОЖЕЖНА СЛУЖБА

### 104 СЛУЖБА ГАЗУ


Рисунок 4.3 – Плакат “Цивільний захист”

Список професійних захворювань наступний (рис. 4.4):

1. Захворювання, що зумовлені гострим впливом хімічних факторів (хронічні отруєння та їх наслідки, самостійні чи в поєднанні з іншими ураженнями: анемією, нефропатією, гепатитом, ураженням очей, кісток, нервової системи, органів дихання токсичного характеру.

# ТУБЕРКУЛЬОЗ


**ТУБЕРКУЛЬОЗ** - це важке інфекційне захворювання, яке викликають мікробактерії, відомі під назвою паличка Коха. Вона передається повітряно-крапельним шляхом, коли уражена людина кашляє чи чхас. Зазвичай, туберкульоз вражає легені, рідше - нирки або спинний мозок. Заразною є лише легенева, відкрита форма туберкульозу.




**Туберкульоз може мати небезпечні наслідки для вас та оточуючих!**

**Зараження може відбутися при:**

- ▶ спілкуванні з хворим на відкриту форму туберкульозу
- ▶ потрапленні мікробактерій туберкульозу в організм з пилом, через предмети вжитку, посуд, постіль, папери, недопалки від хворого на туберкульоз
- ▶ при вживанні продуктів від хворої на туберкульоз худоби, риби, птиці




**Незвичайно високий ризик захворіти мають діти, які спілкуються з хворим на відкриту форму туберкульозу при неповноцінному щепленні!**



**Туберкульоз розвивається тоді, коли у людини знижений імунітет внаслідок:**

- тривалого стресу, депресії
- захворювань (ВІЛ-інфекція, анемія, цукровий діабет та інші)
- недостатнього харчування
- поганих житлових умов
- виснажливої праці
- форм поведінки (зловживання алкоголем, тютюнопаління, вживання наркотиків)...




**Найпоширеніші симптоми туберкульозу**

- кашель, що триває понад 2 - 3 тижні
- слабкість
- рясне потовиділення, особливо вночі
- температура вище 37°C без видимої причини, що триває понад тиждень
- безпричинна втрата ваги
- біль у грудях
- утруднене дихання
- кровохаркання (наявність крові у мокротинні, що виділяється при кашлі)

**Якщо ви помітили схожі симптоми у себе чи своїх близьких - якомога швидше зверніться до лікаря! Чим раніше буде розпочато лікування, тим більше шансів на його успіх!**

**Для запобігання захворювання потрібно:**

- ▶ зробити повноцінне щеплення дитині;
- ▶ уникати прямих контактів з хворими на туберкульоз людьми і тваринами, бездомними тваринами;
- ▶ користуватися особистими предметами гігієни;
- ▶ вести здоровий спосіб життя: регулярно відпочивати, виконувати фізичні вправи, не палити, не вживати алкоголь, наркотиків;
- ▶ намагатися вживати поживну їжу, багату на вітаміни, білки, жири і вуглеводи, мінеральні речовини для підвищення імунітету;
- ▶ не купувати продукти на стихійних ринках, бо вони можуть бути заражені мікробактеріями туберкульозу;
- ▶ регулярно провітрювати житло, не допускати накопичення пилу в приміщенні;



**В здоровому організмі імунна система знищує бактерії - хвороба не розвивається.**

**Шляхи раннього виявлення захворювання:**

- туберкулінова діагностика (у дітей до 15 років)
- флюорографічне обстеження легенів 1 раз у 2 роки (у дорослих)
- щорічне флюорографічне обстеження та аналіз мокроти на вміст палички Коха (у групах ризику)

## Туберкульоз виліковний!

**ПАМ'ЯТАЙТЕ!**  
Туберкульозу значно легше запобігти, ніж лікувати!  
Вчасне виявлення захворювання та кваліфіковане лікування забезпечить подолання хвороби!






Рисунок 4.4 – Плакат “Туберкульоз”



2. Захворювання, що виникли через вплив промислових аерозолів. Це різні пневмоконіози, професійні бронхіти, бісиноз, емфізема легенів, дистрофічні зміни верхніх дихальних шляхів

3. Хвороби, що виникли в результаті впливу фізичних факторів. Очолює цей список променева хвороба і променеві ураження в гострих і хронічних стадіях, розлади вегетосудинної системи, ангіоневроз.

4. Захворювання, що виникли в результаті фізичних перевантажень та окремих перенапружень систем і органів тіла (координаторні неврози, полі- і мононевропатії, радикулопатії шийно-плечової та попереково-крижової частин, хронічні міофібрози плеча та передпліччя, тендовагініти, периартроз, варикозне розширення вен, неврози і багато інших хвороб, у тому числі деякі розлади статевої сфери).

5. Хвороби, зумовлені впливом біологічних факторів (інфекційні та паразитарні хвороби, набуті в процесі професійної діяльності в результаті контакту з хворими, дисбактеріози і кандидози, обумовлені контактом із зараженими речовинами, мікози відкритих ділянок шкіри.

6. Новоутворення злоякісного характеру (рак).

7. Нещасний випадок – це випадок, який стався з людиною із-за непередбачених обставин та умов, внаслідок чого була завдана шкода здоров'ю людини або наступила смерть потерпілого.

Серед причин нещасних випадків переважають організаційні – 78,4%. Через технічні причини сталося 14,2% ( нещасних випадків, психофізіологічних – 7,3% нещасних випадків. Серед організаційних причин домінує невиконання вимог інструкцій з охорони праці – 43,6% від загальної чисельності травмованих в Україні (1230 осіб). Організаційні причинами є:

- невиконання вимог інструкцій з охорони праці – порушення технологічного регламенту;
- використання машин, механізмів і інструменту не за призначенням;
- недоліки при навчанні робітників безпечним методам праці;
- недостатній технічний нагляд за небезпечними роботами;

- відсутність або незадовільне огороження робочої зони;
- відсутність або невикористання ЗІЗ тощо.

Технічні причини належать від рівня організації праці на виробництві До технічних причин відносяться:

- недосконалий технологічний процес;
- відсутність спеціальних захисних засобів;
- недостатня механізація важких робіт;
- недосконале огороження небезпечних зон;
- недостатня міцність та надійність машин;
- конструктивні недоліки машин та обладнання;
- шкідливі властивості оброблюваного матеріалу тощо [11].

#### **4.2 Основні аспекти питання охорони праці в феросплавному цеху**

В феросплавному цеху на майданчику для нарощування електродів і на робочій площадці є небезпека ураження струмом людей при торканні кожухів і повітряних сорочок електродів і шин короткої мережі, біля горна печі при торканні шин, що йдуть до механізму для пропалювання льотки. Майданчик для нарощування електродів вистилають ізолюючими матеріалами (цеглиною, бетоном), між електродами на шарнірах встановлюють азбоцементні або прогумовані ширми.

Майданчик не огорожують, щоб людина при нарощуванні або перепуску електродів перебував у полі зору інших людей (наприклад, Дозувальник).

Плавильник, працюючий сталевим інструментом на колошником, повинен заземлювати його на сталевий кожух ванни. На сталеву заземлену поперечину слід спирати сталевий прут і при шурування випускного отвору.

Включення струму для пропалювання льотки повинно супроводжуватися автоматичним включенням червоної сигнальної лампи. Горновий при проживанні льотки повинен працювати, стоячи на ізолюючій майданчику (дерев'яної, цегляної).

Шкідливо діє на працюючих підвищена температура, джерелом якої є піч і випущений з печі рідкий сплав. Для захисту від випромінювання колошника застосовують екрануючі пристрої: набір вільно висячих металевих ланцюжків або двосторонні щити з теплоізоляційним прошарком. Такі щити можуть бути відсувається або повертаються на шарнірах.

Незважаючи на те, що потужні потоки повітря безперервно спрямовуються під витяжний парасоль печі, їх температура при русі через цех підвищується настільки, що на робочій площадці біля печі потрібні спеціальні джерела кондиціонування повітря.

Потрібний приплив повітря створюється спеціальними вентиляторами, повітря пропускається через зволожувальні камери і гострими струменями, але зі швидкістю не більше 3 м/сек, виходить з повертаються патрубків. Крім того, в місцях застою повітря встановлюють аератори з пристосуванням для розбризкування. При цьому на колошниковій майданчику температура повітря становить 43–45°C при зовнішній температурі повітря 16–20°C.

Для відпочинку робітників в жарку пору року в електроплавильних цехах обладнані спеціальні кімнати, в яких підтримується постійно температура близько п'ятнадцяти градусів. Робочі феросплавних цехів забезпечуються остуженої, прокип'яченої і підсоленою газованою водою.

Систематично слід перевіряти запиленість повітря поблизу робочих місць, особливо в зимовий час, коли страх «протягів» спонукає закривати всі шляхи притоку повітря ззовні. Існуючі норми допускають вміст в 1 л повітря не більше 0,02 мг сірчистого газу, не більше 0,02 мг окису вуглецю і не більше 0,002 мг пилу. Плавильник феросплавів видається суконна спецодяг, валянки, крисаня, захисні (темні) окуляри, рукавиці. Такий одяг відмінно оберігає від випадкових опіків [12, 13].

## ВИСНОВКИ

1. Розглянуто призначення та хімічний склад феросиліцію марки ФС90, галузь його використання, вимоги до якості; проаналізовано вплив легуючого елементу кремнію на якість та властивості сталі.

2. Встановлено, що головна особливість феросиліцію марки ФС90 в тому, що він містить мінімальну кількість фосфору, сірки та інших шкідливих домішок в порівнянні з іншими марками феросиліцію, а також надає сталі твердість, електроопір, магнітопроникність, підвищує опір корозії, пружність та зберігає пластичність.

3. Показано, що феросиліцію марки ФС90 виплавляють найбільш оптимальним вуглетермічним способом. Для проведення плавки застосовують відкриті рудовідновні феросплавні трьохфазні печі круглої форми потужністю 16,5 МВА. Для покращення техніко-економічних показників раціонально використовувати печі з ванною, що обертається. Завдяки цьому покращується газопроникність шихти та газодинаміка печі.

4. Розрахунок шихти для виплавки феросиліцію марки ФС90 дозволив встановити головні техніко-економічні показники процесу: питома витрата сировини на 1 базову тону сплаву складає 2600 кг/т кварциту, 1200 кг/т коксиду, 48 кг/т електродної маси та 20 кг/т залізної стружки; питома витрата електроенергії на 1 базову тону сплаву дорівнює 12500 кВт·год./тону.

5. Розглянуто основні аспекти питання охорони праці в феросплавному цеху та надано характеристику виробничого травматизму на підприємстві.



## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Верховлюк А. М., Нарівський А. В., Могиталенко В. Г. Технології одержання металів та сплавів для ливарного виробництва : навч. посіб.; за ред. акад. НАН України В. Л. Найдека. Київ : Видавничий дім «Вініченко», 2016. 224 с.
2. Кириченко О. Г., Лічконенко Н. В., Панова В. О. Фізико-хімічні процеси виробництва чорних металів в: навч.-метод. посіб. для здобувача ступеня вищої освіти магістра спеціальності 136 «Металургія» освітньо-професійної програми «Металургія чорних металів». Запоріжжя: ЗНУ, 2019. 238 с.
3. Основи металургійного виробництва металів і сплавів: підручник / Д. Ф. Чернега та ін.; за ред. Д. Ф. Чернеги, Ю. Я. Готвянського. Київ : Вища школа, 2006. 503 с.
4. Спосіб виробництва феросиліцію з шихти, що містить відходи виробництва феросплавів : пат. №66958 України, МПК С22С33/04, С22С38/02 / С. Л. Борисенко, О. С. Борисенко, П. П. Говорунов, С. Ю. Коростильов, Б. І. Шукстувський. № 2004020952 ; заявл. 10.02.2004; опубл. 15.06.2004, Бюл. № 6.
5. Колесник М. Ф. Металургія чорних металів (ведення до спеціальності): навч. посіб. для студ. спец. 6.090401 «Металургія чорних металів». Запоріжжя : ЗДІА, 2008. 124 с.
6. Казачков О. І., Мосейко Ю. В., Позднякова О. А. Теорія і технологія феросплавного виробництва : навч.-метод. посіб. для студентів спеціальності 6.050401 «Металургія чорних металів». Запоріжжя : ЗДІА, 2012. 153 с.
7. Гладких В. А., Гасик М. И., Овчарук А. Н., Пройдак Ю. С. Ферросплавные электропечи: учебн. Днепропетровск: Системные технологии, 2007. 259 с.
8. Воденнікова О. С. Металургія чорних металів: конспект лекцій для

здобувачів ступеня вищої освіти бакалавра спеціальності «Металургія» освітньо-професійної програми «Металургія». Запоріжжя: ЗНУ, 2021. 144 с.

9. Воденнікова О. С. Сучасні проблеми металургії: конспект лекцій для здобувачів ступеня вищої освіти магістра спеціальності «Металургія» освітньо-професійних програм «Металургія чорних металів», «Металургія кольорових металів» та «Обробка металів тиском». Запоріжжя: ЗНУ, 2021. 76 с

10. Воденніков С. А., Тарасов В. К., Воденнікова О. С. Конструкції агрегатів чорної металургії : навч. посіб. Запоріжжя : ЗДІА, 2012. 192 с.

11. Травматизм і захворювання на виробництві. URL: <https://ppt-online.org/442422> (дата звернення: 15.04.2023).

12. Вахонєва Т. М. Основи охорони праці в Україні : навч. посіб. Київ : ВД «Дакор», 2019. 508 с.

13. Бердій Я. І. Основи охорони праці : навч. посіб. для студентів вищих навчальних закладів. Вид. 4-те перероб. і доп. Тернопіль : Навчальна книга- Богдан, 2014. 240 с.