

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)

**Кваліфікаційна робота / проєкт**

перший (бакалаврський) рівень  
(рівень вищої освіти)

на тему Огляд особливостей технології виплавки силікокальцію

Виконав: студент 4 курсу, групи б.1360-з

спеціальності 136 «Металургія»  
(код і назва спеціальності)

освітньої програми Металургія  
(код і назва освітньої програми)

спеціалізації \_\_\_\_\_  
(код і назва спеціалізації)

Є.П. Тарасов  
(ініціали та прізвище)

Керівник доцент кафедри металургійних технологій,  
екології та техногенної безпеки, доцент,  
к.т.н. Воденнікова О.С.

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

Рецензент доцент кафедри металургійних  
технологій, екології та техногенної безпеки, с.н.с.,  
к.т.н. Проценко В.М.

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

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

Кафедра метатургійних технологій, екології та техногенної безпеки

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський) рівень

(перший (бакалаврський) рівень, другий (магістерський) рівень)

Спеціальність 136 «Металургія»

(номер і назва)

Спеціалізація \_\_\_\_\_

(номер і назва)

Освітня програма Металургія

**ЗАТВЕРДЖУЮ**  
Завідувач кафедри МТЕТБ  
Юрій БЕЛОКОНЬ

« 29 » 01 2024 року

**З А В Д А Н Н Я**  
**НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ (ПРОЄКТ) СТУДЕНТОВІ (СТУДЕНТЦІ)**

Гарасюк Євгенію Павловичу  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи (проєкту) Огляд особливостей технології виплоєки сіткікокательної

керівник роботи канд. техн. наук, доцент Воденнікова Оксана Сергіївна

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

затверджені наказом ЗНУ від 26 грудня 2023 року №2212-с

2. Строк подання студентом роботи 20.05.2024 р.

3. Вихідні дані до роботи Напково-технічна література, статті в фахових виданнях, матеріал конференцій, патенти та ДСТУ.



4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Реферат. Вступ. Кальцій та його сполуки: характеристика, властивості, призначення. Конструкція руднотермічної печі. Огляд можливості виплоєки сіткікокательної на брикетах. Позапічна обробка сталі сіткікокательним марккі СК-40. Охорона праці та техногенна безпека. Загальні висновки. Перелік джерел посилання.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

Титльний ліст – 1. Мета роботи. Об'єкт дослідження. Предмет дослідження – 1. Хімічний склад сіткікокательної. Класи крипності сіткікокательної. 1. Структура кальціємісного феросплаву – 1. Витрати шихтових матеріалів та електроенергії при виплоєві різних марок сіткікокательної. 1. Схеми

вдвоєднованої типу РКЗ-16,3– 1. Варіанти плавок сідікокальційю в РКЗ-16,3 – 1. Вміст осно-...  
 компонентів у шихті для брикетів з додаванням куксового вапняку. Відношення між компонентами  
 шихти в 3-х паріях брикетів – 1. Схема брикет-пресу – 1. Результати лабораторних пробок  
сідікокальційю на брикетах з куксовим вапняком – 1. Загальні висновки –  
 1.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Кальцій та його сполуки: характеристика, властивості, призначення	доцент О.С. <u>Воденнікова</u>		
Конструкція руднотермічних печей	доцент О.С. <u>Воденнікова</u>		
Огляд можливості виплавки <u>сідікокальційю</u> на брикетах	доцент О.С. <u>Воденнікова</u>		
Позапільна обробка сталі <u>сідікокальційю</u> марки СК-40	доцент О.С. <u>Воденнікова</u>		
Охорона праці та техногенна безпека	доцент О.С. <u>Воденнікова</u>		

7. Дата видачі завдання 29.01.2024 р.

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів <u>кваліфікаційної</u> роботи бакалавра	Строк виконання етапів роботи	Прямий
1	Реферат. Вступ	12-18.02.2024	
2	Кальцій та його сполуки: характеристика, властивості, призначення	18-25.02.2024	
3	Конструкція руднотермічних печей	15-24.04.2024	
4	Огляд можливості виплавки <u>сідікокальційю</u> на брикетах	29-06.03.2024	
5	Позапільна обробка сталі <u>сідікокальційю</u> марки СК-40	06-12.03.2024	
6	Охорона праці та техногенна безпека	13-19.03.2024	
7	Загальні висновки. Перелік джерел посилання	20.03.2024	

Студент \_\_\_\_\_ Валерій ЗАХАРЧЕНКО  
 (ім'я) (прізвище та прізвище)

Керівник роботи (проєкт) \_\_\_\_\_ Оксана ВОДЕННИКОВА  
 (ім'я) (прізвище та прізвище)

**Нормоконтроль пройдено**

Нормоконтролер \_\_\_\_\_ Юрій БЕЛОКОНЬ  
 (ім'я) (прізвище та прізвище)

## РЕФЕРАТ

Розрахунково-пояснювальна записка: 64 с., 14 рис., 16 табл., 37 джерел посилання.

### СИЛІКОКАЛЬЦІЙ, КРЕМНЕЗЕМ, МОДИФІКАТОР, КОМПЛЕКСНИЙ РОЗКИСЛЮВАЧ, РУДОВІДНОВНІ ПЕЧІ

Тема кваліфікаційної роботи бакалавра: Огляд особливостей технології виплавки силікокальцію.

Мета роботи – визначення оптимальної технології виплавки силікокальцію.

У розділі 1 розглянуто можливості застосування кальцію у виробництві сталі, його використання як модифікатора чавуну та сталі; описано способи виробництва силікокальцію.

У розділі 2 описано конструкцію руднотермічних печей, приведено розрахунок її геометричних параметрів.

У розділі 3 приведено огляд можливості виплавки силікокальцію на брикетах.

У розділі 4 розглянуто позапічну обробку сталі силікокальцієм марки СК-40.

У розділі 5 розглянуто правила технічного обслуговування та ремонту руднотермічних печей, описано установку очищення газів, що відходять, руднотермічних печей.

Результати роботи можуть бути використані при викладанні спеціальних дисциплін для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за спеціальністю 136 «Металургія».

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1 КАЛЬЦІЙ ТА ЙОГО СПОЛУКИ: ХАРАКТЕРИСТИКА, ВЛАСТИВОСТІ, ПРИЗНАЧЕННЯ	7
1.1 Застосування кальцію у виробництві сталі.....	7
1.2 Силікокальцій: характеристика, марки, призначення.....	14
1.3 Позапічна обробка сталі кальцієм.....	17
1.4 Огляд способів виробництва силікокальцію.....	19
1.5 Модифікування чавуну та сталі кальцієвмісними матеріалами.....	23
2 КОНСТРУКЦІЯ РУДНОТЕРМІЧНИХ ПЕЧЕЙ.....	26
2.1 Опис конструкції руднотермічних печей.....	26
2.2 Розрахунок геометричних параметрів руднотермічних печей.....	36
3 ОГЛЯД МОЖЛИВОСТІ ВИПЛАВКИ СИЛІКОКАЛЬЦІЮ НА БРИКЕТАХ.....	42
3.1. Вибір типу печі, методики дослідження.....	42
3.2 Дослідження можливості одержання силікокальцію з вапнякової породи Василівського родовища на брикетах.....	44
4 ПОЗАПІЧНА ОБРОБКА СТАЛІ СИЛІКОКАЛЬЦІЄМ МАРКИ СК-40.....	49
5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА.....	53
5.1 Правила технічного обслуговування та ремонту руднотермічних печей.	53
5.2 Умови праці в феросплавній лабораторії.....	54
5.3 Установка очищення газів, що відходять, руднотермічних печей.....	56
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ .....	59
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ .....	60

## ВСТУП

Нині, як показує аналіз науково-технічної літератури, промислове виробництво силікокальцію на теренах України не отримало широкого розповсюдження, тому спостерігаються передумови для пошуку нових доступних мінеральних матеріалів, які містять кальцій та є придатними для виробництва силікокальцію. Так актуальним залишається залучення кальцієвмісної сировини для виробництва силікокальцію є використання вапнякової породи, що виходить на поверхню у районі смт. Василівка Запорізької області. Василівське родовище містить вапняки-черепашники, які відносять до прибережно-морських утворень хвилеприбійної зони.

Тому сьогодні силікокальцій переважно виплавляють на замовлення в умовах АТ «Запорізький завод феросплавів» або лабораторних умовах міні-заводів або науково-дослідних установ.

**Мета роботи** – визначення оптимальної технології виплавки силікокальцію.

Поставлена мета в роботі вирішується **наступними завданнями**:

- проаналізувати нормативну та патентну документацію щодо можливостей виробництва силікокальцію;
- проаналізувати конструкційні особливості руднотермічних печей;
- провести вибір типу печі, в якій доцільно виплавляти силікокальцій;
- виконати розрахунок геометричних параметрів руднотермічної печі.



# 1 КАЛЬЦІЙ ТА ЙОГО СПОЛУКИ: ХАРАКТЕРИСТИКА, ВЛАСТИВОСТІ, ПРИЗНАЧЕННЯ,

## 1.1 Застосування кальцію у виробництві сталі

Застосування кальцію у виробництві сталі – це сьогоденна практика, яка дозволяє підвищити чистоту металу за вмістом неметалевих включень (і також за вмістом кисню), що суттєво покращує корозійні властивості металу та підвищує вихід придатної безперервнолитої заготовки [1].

Безпосередньо металевий кальцій використовується у виробництві сталі, чавуну, для їх очищення від таких шкідливих елементів як кисню, сірки і фосфору, а також для отримання сплавів. Завдяки хімічній активності металевий кальцій застосовується у відновленні деяких тугоплавких металів (наприклад, титан, цирконій, тощо) з їх оксидів [2].

Застосування кальцію при виплавці сталі дозволяє:

### 1. Знизити вміст кисню в сталі.

Так після додавання кальцію в піч він реагує з оксидами в рідкій сталі з утворенням оксиду кальцію, тим самим зменшуючи вміст кисню в сталі, що може запобігти утворенню отворів оксидами в сталі, тим самим покращуючи щільність і якість сталі.

### 2. Знизити вміст сірки в сталі.

Так кальцій може реагувати з сульфідами в рідкій сталі з утворенням сульфїду кальцію, тим самим зменшуючи вміст сірки в сталі. Збільшуючи вміст кальцію, вміст сірки в сталі можна зменшити, тим самим покращуючи пластичність і міцність сталі.

### 3. Зменшити вміст азоту в сталі.

Вміст азоту в розплавленій сталі також впливає на фізико-механічні характеристики сталі. Кальцій має високе поглинання кисню і може адсорбувати азот у розплавленій сталі на поверхні, щоб зменшити вміст азоту в сталі. За рахунок зменшення вмісту азоту в сталі можна знизити собівартість

виробництва сталі [3].

Серед сплавів заліза, що містять кальцій, слід виділити: ферокремнієвий-кальцієвий порошковий дріт (рис. 1.1), кальцієво-кремнієвий порошковий дріт (рис. 1.2), кальцієво-алюмінієвий порошковий дріт та інші.

Ферокремнієвий-кальцієвий порошковий дріт (рис. 1.1) при використанні в сталеплавильному виробництві може очищати форму сталевих включень, покращувати фізико-механічні характеристики сталі, значно підвищувати вихід сплавів, зменшувати споживання сплавів та інше [4]. Його характеристика представлена в табл. 1.1.



Рисунок 1.1 – Ферокремнієвий-кальцієвий порошковий дріт (розмір 5000-5500 м) [4]



Таблиця 1.1 – Властивості ферокремнієвого-кальцієвого порошкового дроту

Calcium Silicon Cored Wire						
Brand	Ca	Si	C	Al	P	S
	≥	≤				
Ca31Si60	31	55-65	0.8	2.4	0.04	0.06
Ca28Si60	28	55-65	0.8	2.4	0.04	0.06
Ca24Si60	24	55-65	0.8	2.5	0.04	0.04
Silicon Barium Calcium Cored wire						
Brand	Re	Si	Ca	Ba	ti	Fe
ReSiBaCa	8-12	40-60	5-10	5-10	1.0	margin
Titanium Ferro Cored Wire						
Brand	Ti	Al	Si	P	S	C
	≥	≤				
FeTi30	25.0-35.0	8.5	5.0	0.06	0.04	0.15
FeTi40	35.0-45.0	9.5	4.0	0.04	0.04	0.15

Wire diameter	Thickness of the steel	Powder contain	Ratio powder/steel	Wire length	Coil weight	Coil width
13- 13.5mm	0.4 nun' 0.2mm.	225g/ml0g/m.	60/40	5000-5500m	1000- 1800kgs	600-800mm

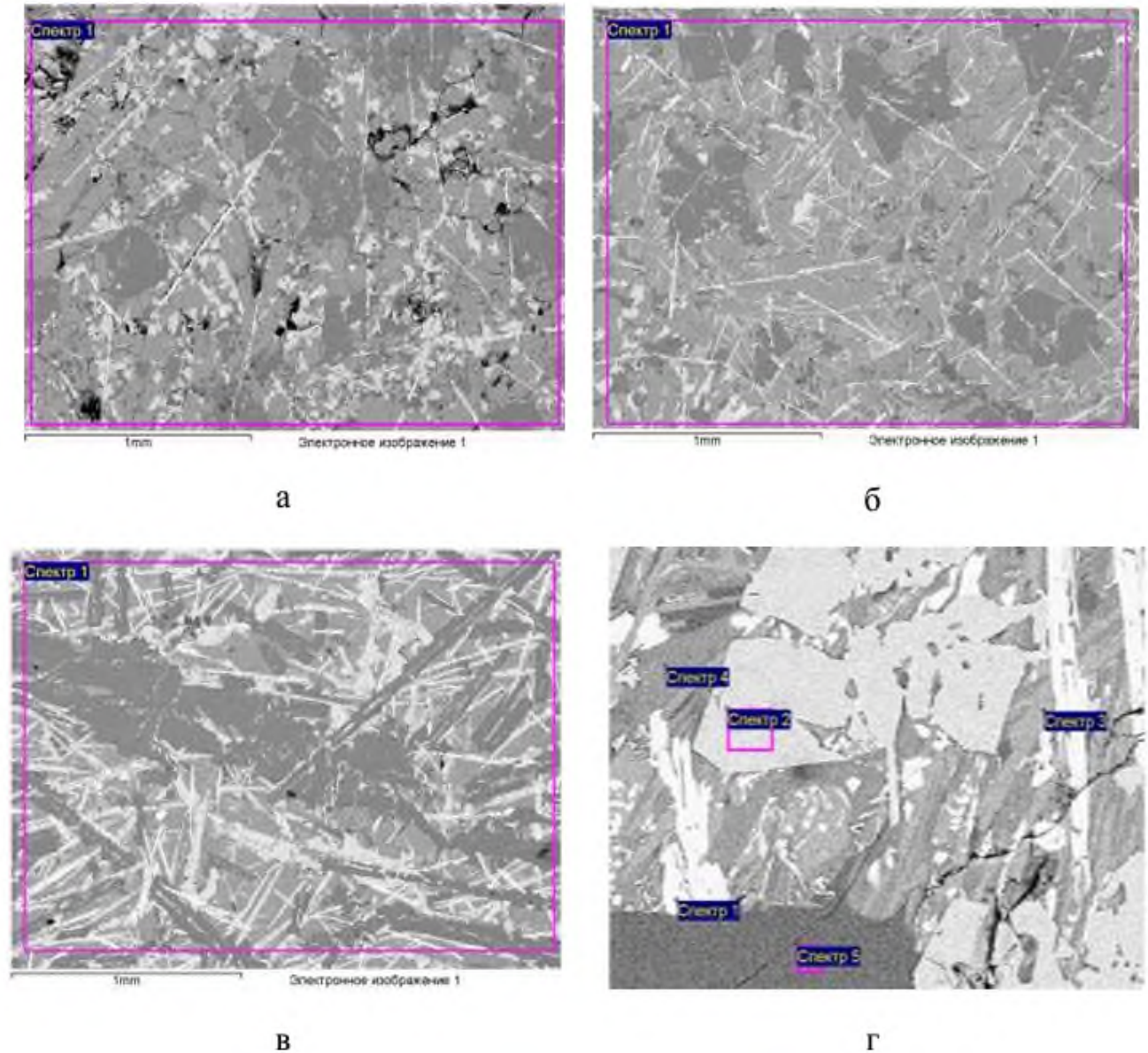
Alloy cored wires include: Calcium Silicon Cored Wire, Ferro Titanium Cored Wire, Boron Ferro Cored Wire, Silicon Manganese Calcium Cored Wire, Rare Earth Silicon Cored Wire, Rare Earth Silicon Magnesium Cored Wire, Rare Earth Silicon Barium Cored Wire, Calcium Silicon Barium Cored Wire, Calcium Silicon Barium Aluminum Cored Wire, Metal Magnesium Cored Wire, Iron Calcium Cored Wire, Calcium Iron Cored Wire, Aluminum Calcium Cored Wire, Rare Earth Magnesium Silicon Calcium Cored Wire. etc



Рисунок 1.2 – Кальцієво-кремнієво порошковий дріт

Відомо, що кальцієво-кремнієво порошок дріт корисний для регулювання та контролю вмісту легких кисневих, дозволяє очищати розплавлену сталь і частково змінювати властивості та форму неметалевих включень, покращувати якість рідкої сталі та покращувати стан лиття.

Структура кальційвмісного ферросплаву представлена на рис. 1.3.



а – г – при збільшенні 50, 100, 150 та 200

Рисунок 1.3 – Структура кальційвмісного ферросплаву

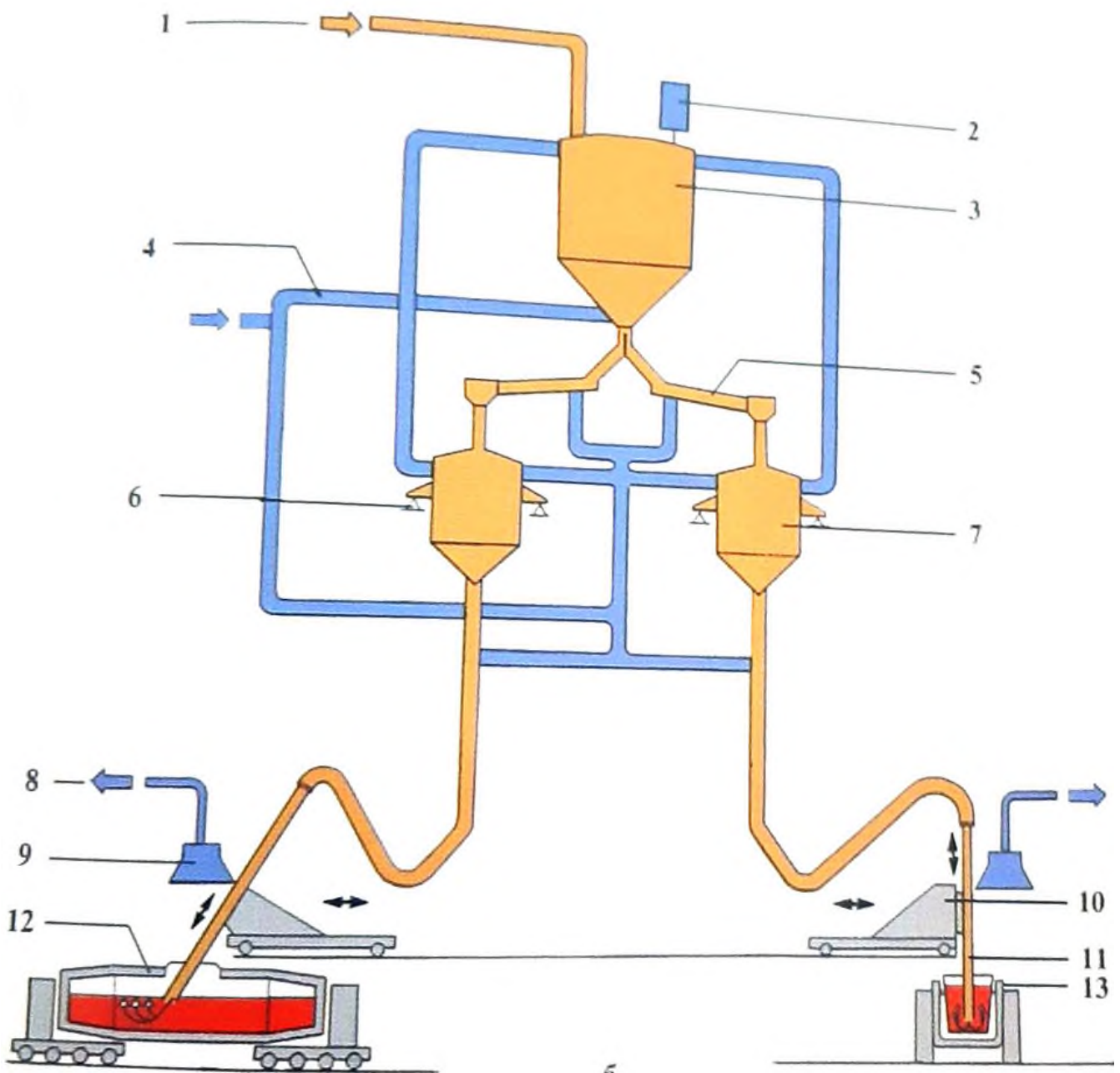
Загальновизнаним способом десульфурації та поліпшення розливки для сталей, розкислених алюмінієм, є обробка кальцієм. Крім того, в результаті обробки кальцієм, за умови достатнього вмісту його, у сталі досягається поліпшення пластичності, холодостійкості та ізотропності механічних властивостей готового металу. Незважаючи на поширення останнім часом технології введення сплавів кальцію порошковим дротом, класична технологія вдування їх в струмені інертного газу зберігає своє значення, особливо для глибокої десульфурації металу.

Для позадоменної десульфурації чавуну використовують суміш на основі  $\text{CaO}$ ,  $\text{CaC}_2$ ,  $\text{CaCO}_3$ , соду  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , карбід кальцію  $\text{CaC}_2$ . Їх вводять за допомогою установки для десульфурації чавуну з вдуванням різних реагент-десульфураторів (рис. 1.4). Кальцинована сода, формула якої  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , є порівняно дешевим реагент-десульфуратором. Безпосередньо після обробки чавуну содою шлаки мають малу в'язкість, в результаті чого втрати чавуну з ковшовим шлаком практично повністю відсутні. Так карбід кальцію, формула якого  $\text{CaC}_2$ , є ефективним десульфуратором чавуну, застосування якого дозволяє знижувати концентрацію сірки в металі до 0,005 % і менше [5].

Кальцій, виступаючи у ролі широко застосовуваного активного десульфуратора, позитивно впливає на [6]:

- розкислення сталі (вміст кисню в розкислених алюмінієм сталях знижується до 0,0001 % , при вмісті алюмінію менше 0,020 % – 0,015%),
- управління формою і складом сульфідних включень, пластичних при температурі прокатки, хімічний, структурний і фазовий склад неметалевих включень,
- десульфурацію сталі,
- на утворення рідинорухомих алюмінатів кальцію (легко спливаючих в шлак до 80 %),
- глобуляризацію залишкових неметалевих включень і їх дрібнодисперсний і рівномірний розподіл по об'єму металу,
- дегазацію,





- 1 – подання реагент-десульфураторів ( $\text{CaO}$ ,  $\text{CaC}_2$ ,  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{CaC}_2$ );  
 2 – пиловий фільтр; 3 – бункер; 4 – стисле повітря; 5 – транспортний жолоб;  
 6 – зважувач; 7 – розподільник пиловидних матеріалів;  
 8 – пилоуловлювання; 9 – витяжний зонтик; 10 – візок фурми; 11 – фурма, що занурюється; 12 – ківш сигароподібної форми; 13 – ківш

Рисунок 1.4 – Схема установки для десульфурзації чавуну з вдуванням кальцієвмісних реагент-десульфураторів ( $\text{CaO}$ ,  $\text{CaC}_2$ ,  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{CaC}_2$ )

– трансформацію кластерів глинозему в глобулярні алюмінати кальцію, що рідинорухомі при температурі розливу і деформуються при прокатці,

– розміри сульфідних включень (при малому співвідношенні  $Ca/S$  0,07 – 0,12 утворюються дрібні включення, дисперговані по всьому об'єму розплаву.

Розглянемо особливості позапічної обробки силікокальцієм на різних металургійних підприємствах. Так в умовах ВАТ «Маріупольський металургійний комбінат ім. Ілліча» (данні до 2022 р., Україна) на комплексі позапічної обробки при введенні порошкового дроту з силікокальцієм забезпечення стабільно високого вмісту кальцію в металі по введенню 0,0021–0,0047 % , при цьому відношення  $Ca / Al > 0,1$  спостерігається приблизно у 70–80 % плавок, що сприяє утворенню рідких алюмініатів кальцію, а відношення  $Ca / S > 2,5$  спостерігається приблизно у 60 – 70 % плавок, що дозволяє практично повністю модифікувати сірчані неметалеві включення.

А в умовах ВАТ «Нижньодніпровський трубний завод» (Україна) на установці позапічної обробки сталі при введенні порошкового дроту з силікокальцієм і алюмінієвої катанки досягнуто максимальне відношення  $Ca/Al_{заг}$ , що дорівнює 0,27, при цьому утворюються глобулярні алюмінати кальцію, рідкі при температурі розливання і які легко видаляються в шлак, а ті, що залишилися в металі кристалізуються у вигляді поодиноких глобулярних включень. При відношенні  $Ca/Al_{заг}$  до 0,10 стехіометрична формула оксидів наближається до відношення  $CaO \cdot 6Al_2O_3$ , при цьому практично повністю зникають глобулярні включення і збільшується частка скупчень глинозему і шпинелей, погіршується розливання сталі. Оптимальним є відношення  $Ca/Al_{заг}$ , що дорівнює 0,15, кількість глобулярних оксидів максимальна, а стрічкові шпінелі відсутні [7].

Таким чином, обробка сталі високоактивними елементами є ефективним способом модифікування і видалення неметалевих включень, підвищення її чистоти, а отже і якості.

## 1.2 Силікокальцій: характеристика, марки, призначення

Силікокальцій є активним комплексним розкислювачем, ефективним десульфатором, дегазатором чавуну і сталі. Нині силікокальцій (рис. 1.5) відповідно до ГОСТ 4762-71 випускають марок від СК10 до СК30 (табл. 1.1) трьох класів крупності (табл. 1.2). Вінкладається на 60-65% із кремнію, на 28-35% - із кальцію, також містить до 5% заліза та має форму грудочки або порошку.

Таблиця 1.1 – Хімічний склад силікокальцію відповідно до даних ГОСТ 4762-71

Марка силікокальцію	Масова частка, %				
	кальцій	кремній	алюміній	вуглець	фосфор
	не менше		не більше		
СК10	10	45	1,0	0,2	0,02
СК10Р	10	50	1,5	0,5	0,04
СК15	15	45	1,0	0,2	0,02
СК15Р	15	50	1,5	0,5	0,04
СК20	20	45	1,0	0,5	0,02
СК20Р	20	50	2,0	1,0	0,04
СК25(ч)	25	50	1,0	0,2	0,02
СК25	25	50	2,0	0,5	0,02
СК25Р	25	55	2,0	1,0	0,04
СК30(ч)	30	50	1,0	0,2	0,02
СК30	30	50	2,0	0,5	0,02
СК30Р	30	55	2,0	1,0	0,04

Таблиця 1.2 – Класи крупності силікокальцію відповідно до даних ГОСТ 4762-71

Клас крупності	Розмір шматків, мм	Масова частка продукту у партії, %, не більше	
		надрешітного	підрешітного
1	до 1	10	–
2	від 1 до 20	10	10
3	від 20 до 200	10	10

Примітка:  
 1. Розмір шматка виражається номінальними розмірами сторін квадратної ячейки у світлі.  
 2. Клас крупності вказують цифрою після позначення марки (СК10-1).  
 3. Силікокальцій 1-го і 2-го класів крупності з розмірами частинок до 2 мм використовується протягом 5 діб з моменту виготовлення.





а



б

Рисунок 1.5 – Зовнішній вигляд вапняку (а) та силікокальцію (б)

Кальцій і кремній мають здатність зв'язуватися з певним рецептором киснем) й утворювати з ним комплекс «речовина– рецептор» (іншими словами афінитет до кисню). Особливо металевий кальцій має сильний афінитет до сірки та азоту. Силікокальцій – комплексний розкислювач сталей та сплавів, активний дегазатор чавуну. Він збільшує якість сталі, її міцність та пластичність, але не змінює фізико-хімічних властивостей. Тому силікокальцій є ідеальним деоксидуючим та десульфуючим композитом. Силікокальцієві сплави мають сильну деоксидуючу здатність, що допомагає легко виплавляти і вивантажувати деоксидовані продукти, а також може покращувати пластичність, ударну в'язкість, плинність і пластичність сталі. В даний час Силікокальційний сплав може замінити алюміній для остаточної деоксидації.

Він використовується у виробництві сталей різних марок та спеціальних сплавів. Також його можна використовувати як інокулянт та добавку в ливарній промисловості чавуну як:

1. Комплексний деоксидатор та десульфуризатор.
2. Опалювальний агент, що використовується в конвертерній сталеплавильній майстерні.
3. Він може бути використаний як інокулянт для чавуну.
4. Як добавка для виробництва сталевих чавуну.

Успішно застосовується силікокальцій не тільки в пічній обробці, а й під час позапічної обробки сплавів, що особливо важливо в металургійній галузі, коли необхідно збільшити пластичність сталі, її міцність і якість, при цьому не змінюючи її фізико-хімічних властивостей.

Крім того при високому ступені розкислення сплавів з використанням силікокальцію виділяється мінімальна кількість неметалевих включень, а значить готовий продукт буде безпечним і міцним, адже як відомо, неметалеві включення можуть викликати руйнування сталі і сприяти розвитку на ній корозії.

Силікокальцій активно застосовується при виробництві різноманітних виливків, проковок і прокатів, так як здатний значно збільшити їх міцність.

Силікокальцій марок СК10 та СК15, які отримують силікотермічним способом виробництва, містить меншу кількість домішок, ніж сплави СК25 та СК30, має велику щільність і міцність, що викликає труднощі при дробленні. У роботі показано доцільність застосування низько відсоткового силікокальцію внаслідок збільшення ступеня засвоєння кальцію і глибини розкислення сталі в порівнянні з використанням високопроцентного сплаву. Однак в останні роки в нашій країні і за кордоном намітилася тенденція збільшення виробництва силікокальцію марок СК25 та СК30, що пов'язано з його застосуванням у вигляді порошку під час продування трубної сталі з метою її десульфурації. Це забезпечує отримання високоміцної трубної сталі, що містить не більше 0,006%

S і суттєве підвищення ударної в'язкості при низьких температурах. При обробці сталі в ковші переваги силікокальцію СК25 та СК30 очевидні.

Додавання від 0,005 % Са до 0,004 % Са в сталь для виробництва труб великого діаметру в поєднанні з нікелем в межах від 0,8 % до 2,0% зменшує схильність до утворення бейнітної фази під час низькотемпературної розжарювання, що дозволяє використовувати прокатані сталеві листи без термічної обробки.

За кордоном виробляють ряд сплавів з високим вмістом кальцію і алюмінію. Сплави системи Fe-Si-Ca-Al з співвідношенням по масі Ca:Al =1:1 (від 50 % Si до 53% Si, від 10 % Ca до 12% Ca, від 7 % Al до 9% Al, інше - Fe) випробувані в нашій країні при розкисленні сталей, для яких традиційно використовують феросиліцій і алюміній. Застосування цього сплаву забезпечує зниження вмісту кисню в сталі в межах від 30 % до 35%, зменшення кількості оксидних включень в 1,5 рази, підвищення ступеня десульфурації до 20%, а також підвищення механічних властивостей готового прокату.

Вельми перспективними слід вважати комплексні сплави на основі феросилікокальцію з добавками цирконію, титану, ванадію, марганцю.

Поряд з магнієм і рідкоземельними металами кальцій глобуляризує графіт в чавунних виливках, знижуючи вміст кисню і сірки, які перешкоджають утворенню кулястого графіту. Кальцій широко використовується і як модифікатор при виплавці сталей і сплавів. Обробка металевих розплавів чистим кальцієм або його сплавами покращує фізико-механічні властивості металу завдяки зміні форми і виду оксидних і сульфідних включень в готовому прокаті.

### **1.3 Позапічна обробка сталі кальцієм**

У сучасній технології позапічної обробки сталі кальцій займає визначальне значення у зв'язку з багатофакторністю його впливу на фізико-хімічний стан розплаву, макро- і мікроструктуру затвердіває безперервно-тої

заготівлі, якість і властивості металопродукції. В останні роки при виробництві високоякісного металу для магістральних газо- та нафтопроводів, суднобудування, будівельної індустрії, автомобілебудування тощо. внепеч-ная обробка сталі кальційсодержащими реагентами є невід'ємною частиною технології.

Нині у світовій металургійній практиці силікокальцій, зокрема марки СК-30 був широко використовуваним сплавом для введення кальцію в сталь. З одного боку, це обумовлено тим, що таке співвідношення компонентів у сплаві (30 % Ca і 60% Si) забезпечує оптимальне поєднання основних теплофізичних параметрів, що впливають на засвоєння кальцію - дуже важливий технологічний та економічний аспект застосування порошкового дроту. Температура плавлення такого сплаву відповідно до діаграми стану системи Ca- підвищується до 1100 °С, а пружність парів кальцію знижується до рівня, близького до тиску навколишнього середовища біля поверхні розплаву. Таким чином, розширюється область найефективнішої взаємодії рідкого матеріалу наповнювача з компонентами розплаву. При регламентованій швидкості введення порошкового дроту кальцій розчиняється у металі, не переходячи у газоподібний стан. При зниженні вмісту кальцію в наповнювачі (зокрема марок СК-15, СК-20) розглянуті теплофізичні параметри, судячи з фактичного співвідношення кальцію та кремнію у сплаві, змінюються незначно. Однак збільшуються вміст небажаних домішок у наповнювачі та вартість кальцію в дроті. Для введення заданої кількості кальцію в сталь метраж дроту з СК-15 в порівнянні з СК-30 повинен збільшитися майже вдвічі, відповідно збільшуються час обробки і втрати температури. Очевидно, що в цьому випадку суттєво підвищуються витрати на обробку сталі.

Також слід зазначити, що при виробництві силікокальцію із вмістом кальцію більше 30% різко зростають витрати, при цьому виникають труднощі з відокремленням феросплаву від шлаку, тому всі світові виробники, як правило, обмежуються виготовленням силікокальцію марки СК-30.

У той самий час останніми роками виникла тенденція використання за певних умов силікокальцію марки СК40. Є дані, що засвоєння кальцію при використанні дроту з наповненням СК-30 на 14 % нижче щодо дроту з наповненням СК-40, причому порівнювалися дроти одного постачальника, так як на комбінаті зазначено, що засвоєння кальцію при використанні кальційвмісного порошкового дроту від різних виробників відрізняється. При цьому в порошковому дроті використовується суміш порошоків силікокальцію та металевого кальцію і необхідний вміст кальцію у феросплаві досягається безпосередньо при обробці рідкого залізовуглецевого розплаву [7, 8].

#### 1.4 Огляд способів виробництва силікокальцію

Основним шихтовим матеріалом для виробництва силікокальцію є кварцит та вапно. Відповідно до ГОСТ 14-49-80 хімічний склад кварциту буває двох марок кварциту КФ та КШ (табл. 1.3).

Таблиця 1.3 – Хімічний склад кварциту відповідно до ГОСТ 14-49- 80

Масовий вміст, %	Марка кварциту	
	КФ	КШ
SiO <sub>2</sub>	97,0	96,0
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,1	1,8
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,02	0,03

Із збільшенням вмісту SiO<sub>2</sub> в кварці (кварциті) збільшується витягання кремнію і продуктивність печі і знижується питома витрата електроенергії.

В Україні добувають кварцити в трьох основних родовищах – Тарасівському, Овчурівському та Василівському (табл. 1.4).

Овчурські кварцити представлені в основному різновидом, що складається із зерен кварцу, розмір їх коливається від 0,09 мм до 0,55 мм з переважанням грубозернистого кварцу. Інших мінералів (рутилу, магнетиту, мусковита та інших) в кварциті небагато (від 1,5 % до 3 %). Тарасовські кварцити мають зерна розміром від 0,05 мм до 0,30 мм. З домішок в дуже невеликій кількості

зустрічаються гідроксиди заліза, слюда і тому подібне Цемент в кварцитах відсутній, тобто склад їх мономінеральний. У кварцитах Васильківського родовища відмічено два різновиди. Перша - дуже щільна повнокристалічна дрібнозерниста структура (розмір зерен від 0,09 мм до 0,20 мм). У породі зустрічаються жильний кварц, вуглецева речовина, гідроксиди заліза. Друга має шарувату текстуру і підвищений вміст гідроксидів заліза.

Таблиця 1.4 – Хімічний склад кварциту різних родовищ

Родовище	Масовий вміст, %						
	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
Тарасовське	96–98	0,4–0,9	0,2–1,0	0,7–0,3	0,1–0,3	–	–
Овручське	97–98	0,5–1,0	0,4–1,2	0,2–1,0	0,2–0,4	–	–
Васильківське	95–97	1,0–1,2	0,3–0,5	0,7	0,2–0,5	–	–

Значний вплив на швидкість відновлення кварцитів надає їх велику. Дроблення кварциту і кварцу здійснюється на щічних і конусних дробарках, грохочення - на вібраційних грохотах і в барабанах, що обертаються, в яких одночасно здійснюється і миття. Вміст основної фракції коливається в межах від 75 % до 95 %.

Для кварцитів Овчурівського та Тарасівського родовища константа швидкості, що здається, із збільшенням розміру шматків різко знижується, а для Василівського родовища практично не змінюється. Це визначається мікроструктурою і мінералогічним складом кварциту, що повинне враховуватися при визначенні оптимального розміру шматка кварциту, що дається в шихту.

Відповідно до ТУ 14-16-42-90 вапно буває трьох марок – ІФ-0, ІФ-1 та ІФ-2 (табл. 1.5). Воно повинне бути свіжообпаленим, фракцією від 40 мм до 80 мм; кількість фракції вапна нижче за нижню межу (нижче 5 мм) не повинно перевищувати 15%. Вапно отримують з використанням вапняків фракції в межах від 40 мм до 80 мм та від 80 мм до 130 мм (табл. 1.6) в шахтних печах, що обертаються.



Таблиця 1.5 – Хімічний склад вапна відповідно до ТУ 14-16-42-90

Марка	Сорт	СаО <sub>заг</sub> , %, не менше	Масовий вміст домішок, %, не більше			
			SiO <sub>2</sub>	S	P	н.п.п.
ІФ-0	1	95	1,8	0,03	0,02	3
ІФ-1	1	93	1,8	0,05	0,02	5
	2	90	2,0	0,05	0,02	7
ІФ-2	1	90	2,0	0,08	0,03	7
	2	85	2,5	0,08	0,03	11

На виробництві, а також в лабораторних умовах силікокальцій одержують способами, які різняться поміж собою за видом відновника, що використовують: вуглетермічний; силікотермічний; алюмотермічний.

Техніко-економічні показники виплавки різних марок силікокальцію приведені в табл. 1.9. 2. З техніко-економічної точки зору силікокальцій марок СК10 та СК15 більш доцільно виплавляти силікотермічним процесом, використовуючи у якості відновника ФС65, а силікокальцій марок СК25 та СК30 вуглетермічним процесом, використовуючи у якості відновника кварцит та кокс.

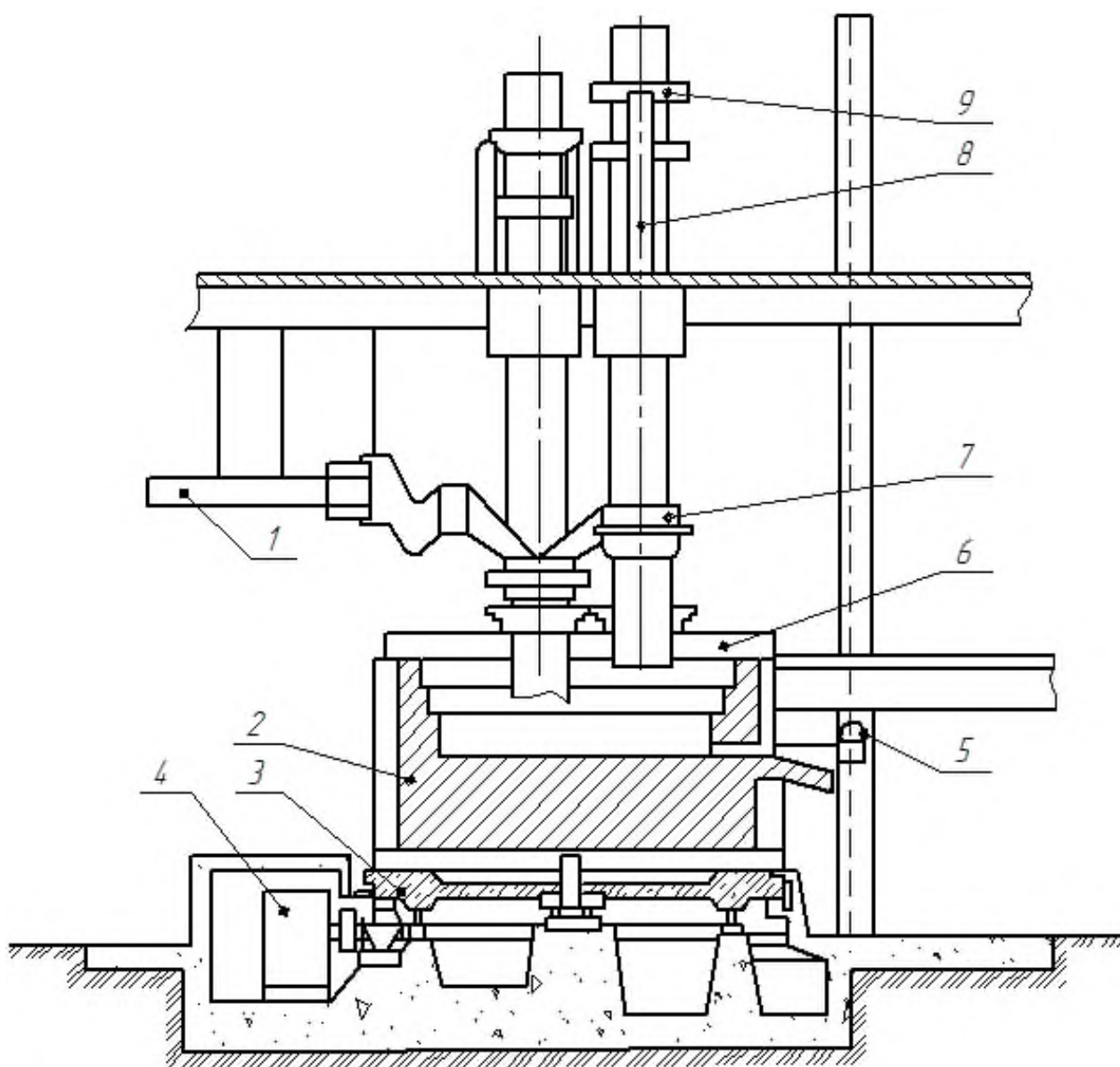
Таблиця 1.9 – Витрата шихтових матеріалів та електроенергії при виплавці різних марок силікокальцію

Технологічний показник	Вуглетермічний спосіб		Силікотермічний спосіб	
	Марка силікокальцію			
	СК15	СК30	СК15	СК10
1. Витрата матеріалів, кг/т:				
– кварцит	1436	1875	–	–
– вапно	456	748	960	940
– кам'яне вугілля	281	265	–	–
– дерев'яне вугілля	244	370	–	–
– кокс сухий	388	600	–	–
– феросиліцій ФС65	–	–	917	805
– стружка сталева	318	-	–	–
– маса електродна	107	134	–	–
– електроди	–	–	12,5	10,5
2. Витрата електроенергії, кВт·год./т	8893	11800	1670	1415

При виробництві силікокальцію із вмістом кальцію більше 30% різко

зростають витрати, при цьому виникають труднощі з відокремленням феросплаву від шлаку, тому всі світові виробники, як правило, обмежуються виготовленням силікокальцію марки СК-30. Виплавляють силікокальцій в рафінувальних печах типу РКО-2,5 , РКО-3,5 та відновлювальних печах типу РКО-16,5, РКЗ-16,5 (рис. 1.6).

Розливка силікокальцію зазвичай проводиться на стрічковій конвеєрній машині.



1 – коротка мережа; 2 – ванна печі; 3 – опорна плита; 4 – механізм обертання ванни; 5 – апарат для пропалення льотки; 6 – склепіння; 7 – струмопідвід;

8 – гідропідйомник; 9 – пристрій для перепускання електродів

Рисунок 1.6 – Схема рудновідновної печі типу РКЗ-16,5

Таблиця 1.10 – Електричні параметри рудотермічних печей

Технічна характеристика	РКО-2,5	РКЗ-16,5
Установки		
Діаметр електроду, м	0,35/0,5	1,2
Сила струму печі, кА	8,1	17
Робоча напруга, МВт		220
Трансформатору		
Типова потужність, МВА		10,5
Число ступенів напруги		8
Напруга за ступенями		
max, В	178	180
min, В	79	120
Сила струму за ступенями		
max, В		
min, В		48,5

### 1.5 Модифікування чавуну та сталі кальцієвмісними матеріалами

При застосуванні позапічної обробки рідкої сталі все більшого застосування знаходить технологія обробки лігатурами, що містять кальцій. При цьому вплив кальцію на структуру та фізико-механічні властивості сталі проявляється у послідовному перебігу багатостадійного процесу, зумовленого його високою хімічною активністю: рафінування рідкого металу (розкислення та десульфуратія); глобуляризація неметалевих включень; модифікування макро- та мікроструктури та інші.

У сталі, яку оброблюють кальцієм, на поверхні в'язкого внутрішнього зламу з'являються округлі неметалеві включення сульфідів і оксисульфідів, що містять кальцій, які в силу своєї морфології не надають охруйливого впливу порівняно з плоскими гострокутними протяжними виділеннями

Таблиця 1.11 – Параметри печей для виробництва силікокальцію

Сировинні матеріали	Тип печей	Спосіб завантаження	Спосіб вивантаження	Тип футеровки	Тип електродів	Місце виділення енергії
СаО або СаС <sub>3</sub> , кварцит, коксик, вугілля	Круглі трьохфазні відкриті ті, що обертаються потужність 10-15МВА	Безперервно	Випуск кожні 2 години	Вугільні блоки		Опір печі
СаО, феросиліцій	Закриті ті, що обертаються потужність 3,5МВА	Періодично через труботечки	Випуск шлаку та металу чотири рази за зміну	Вугільні блоки в зоні плавки, зовнішня магнезійна	Графітовані	Опір печі

карбонітридів і сульфідів на межах зерен. У цьому збільшується пластичність металу (ударний вигин – щонайменше удвічі, відносне звуження – на 15–30 %, відносне подовження – на 10–15%).

Порівняно малий вміст кальцію (в межах від 0,005 до 0,008%), який достатньо для глобулізації сульфідів, свідчить про перевагу застосування кальцію в порівнянні з іншими модифікаторами, наприклад, церієм (у кількості не менше 0,06%) для ліквідації міжкристалітного крихтіння.

Введення мікродобавок кальцію також дещо збільшує рівень властивостей міцності сталі. Очевидно, кальцій, витісняючи з меж зерен титан, азот і марганець, як утрудняє освіту охрупчиваючих виділень, але призводить до збільшення вмісту в твердому розчині всередині зерна зазначених елементів, що забезпечує зміцнення фериту і супроводжується збільшенням межі міцності.

Широко застосовуваний силікокальцій через обмежену розчинність кальцію в рідкій сталі – один з найменш ефективних сплавів, що містять кальцій. Розроблені сплави кальцію з барієм, алюмінієм, марганцем та з нижчим вмістом кремнію при різній композиції більш ефективні для десульфурації та модифікування.

Оптимальна температура модифікування чавуну силікокальцієм дорівнює 1400–1450 °С. У цьому кількість присадки становить 0,3–0,5% маси рідкого металу. Для поліпшення засвоєння силікокальцій доцільно вводити суміші з плавиковим шпатом у співвідношенні 1:1. Добавка плавикового шпату перешкоджає відшлякуванню модифікатора, підвищує активність взаємодії кальцію з киснем і сіркою і сприяє видаленню неметалевих включень з розплаву в шлак [9, 10].

## 2 КОНСТРУКЦІЯ РУДНОТЕРМІЧНИХ ПЕЧЕЙ

### 2.1 Опис конструкції руднотермічних печей

Руднотермічні печі (РТП) призначені для переробки рудних матеріалів. Основним напрямом у цих виробництвах є відновлення оксидів до елементів чи карбідів. Причому метали часто одержують у вигляді сплавів. Вихідною сировиною може бути і сірчисті руди, перероблені на сульфіди металів – штейни. Руднотермічні печі використовують для переплавки тугоплавких оксидів з метою отримання заданого зернового складу продукту.

Нині найбільш оптимальний тип печі – це 3-х фазні 3-х електродні з круглою ванною. Для існуючого різноманіття руднотермічних технологій у принципі може бути єдиного рішення оптимальної конструкції ванни печі. Найбільшого поширення у промисловості мають 3-х фазні печі (рис. 2.1) з трьома чи шістьма електродами. Форма ванни таких печей може бути не тільки круглою як у дугової сталеплавильної печі, а й прямокутною.

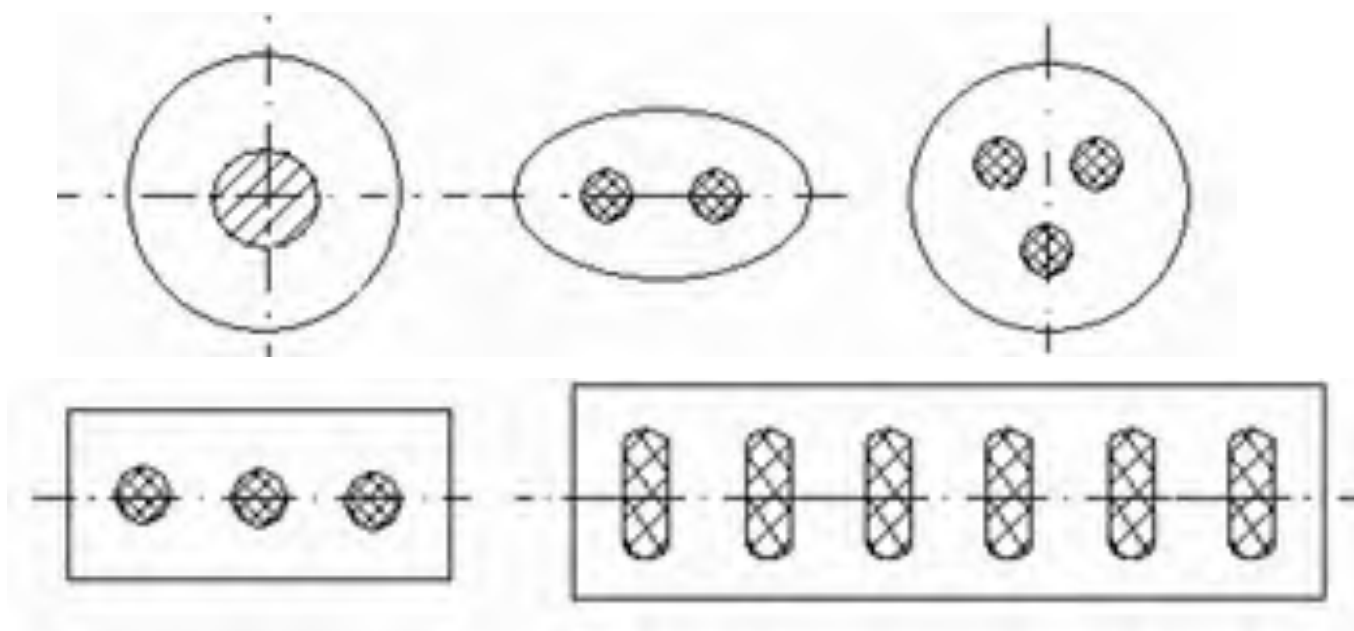


Рисунок 2.1 – Форми ванни руднотермічних печей та розташування електродів у них



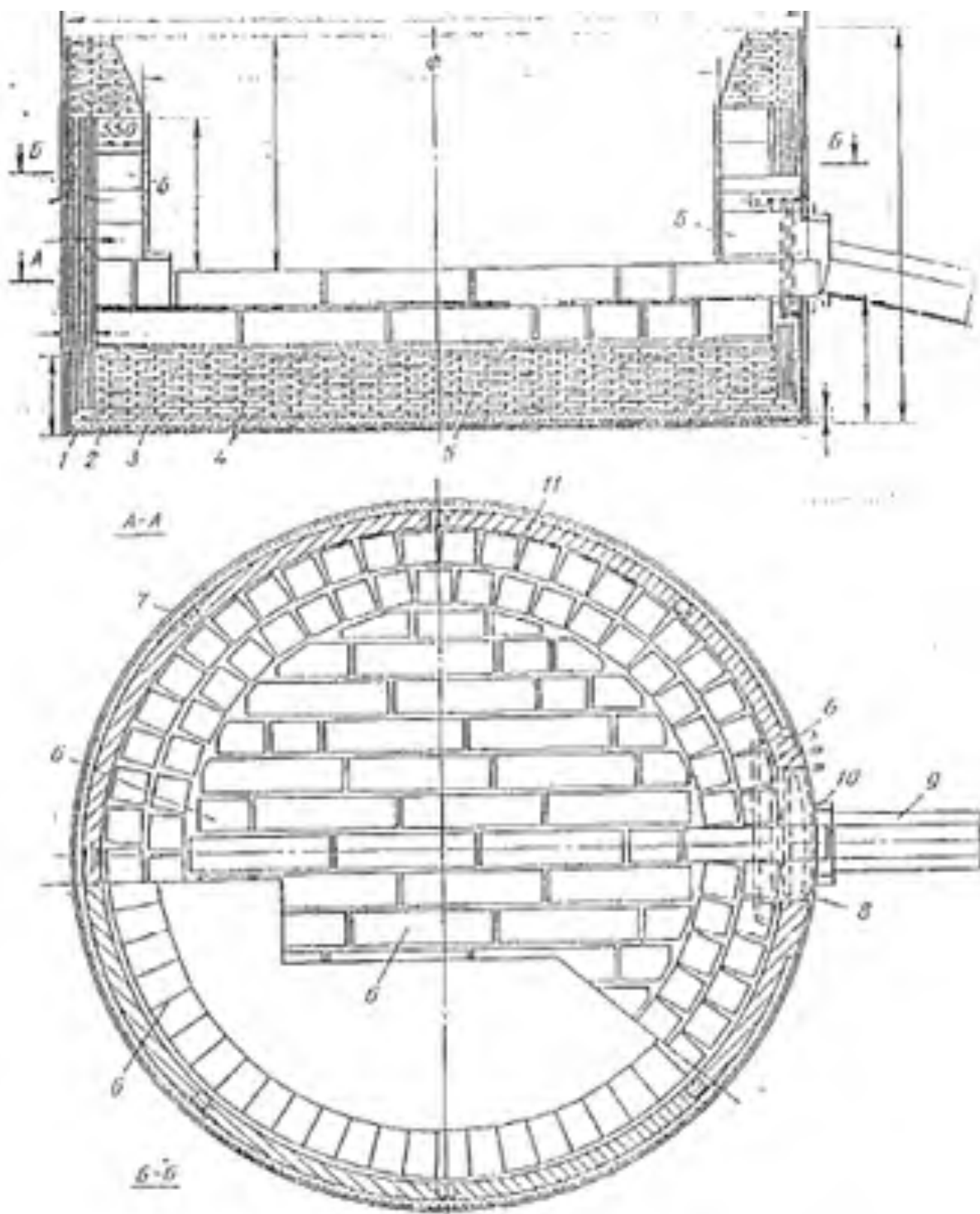
Для рівномірного проплавлення матеріалів, кращого розпушування шихти та ходу технологічного процесу сучасні круглі печі можуть мати механізм обертання ванни. В результаті цього збільшується продуктивність печі та знижується питома витрата електроенергії. Ванна обертається навколо вертикальної осі в межах певного кута з частотою обертання порядку одного оберту на кілька діб. При цьому електроди та система завантаження печі залишаються не рухливими.

Конструкція та матеріали футерування руднотермічних печей в основному визначаються хімічними властивостями розплаву. Процеси, що вимагають, щоб вуглець був відсутній у продукті або в шихті ведуть у печі з магнезійною кладкою. Процеси, де використовується велика кількість вуглецевого відновника, доцільно проводити в печах, футерованих вугільними блоками.

Умови роботи пода та стін печі різко відрізняються між собою, особливо у потужних печей. Футеровка стін, як правило, закрито деяким шаром не проплавленої шихти, а на поду знаходиться шар гарячого розплавленого металу, здатного розчиняти матеріал футерування. У зв'язку з цим зазвичай верхня частина кладки стін виконана з доменного цегли. Нижню частину футерування стін, що примикає до подини, яку омиває розплавлений метал, роблять з вугільних блоків або магнезитової цегли. Футеровка подини (рис. 2.2) має бути найбільш потужним. Влаштування герметизації печі На відміну від дугових сталеплавильних печей ряд руднотермічних установок працює з відкритою ванною. Це з тим, що з деяких руднотермічних процесів потрібно завантаження великої кількості шихтових матеріалів, що створює певні труднощі. В результаті вирішення проблем механізації завантаження таких печей відбивається на конструкції всієї установки – печі роблять відчиненими.

Незважаючи на кращі умови завантаження, відкриті печі мають низку істотних недоліків:

- висока температура колошника створює важкі умови праці для робітника;



- 1 – кожух ванни; 2 – листовий азбест; 3 - шамотний порошок;  
 4 – високоглиноземиста цегла; 5 – шамотна цегла; 6 – вугільні блоки;  
 7 – канал для виходу газів; 8 – мідна труба; 9 – льотка; 10 – льоточна плита;  
 11 – набивання

Рисунок 2.2 – Футерівка феросплавної печі

– окремі вузли установки, розташовані над піччю зазнають впливу високих температур (так середня робоча температура електродотримача печі при плавлі феросиліцію становить  $400\text{ }^{\circ}\text{C}$  з тимчасовим її підвищенням до  $750\text{--}950\text{ }^{\circ}\text{C}$ , середня температура на рівні рухомого та нерухомого черевиків і гнучких004 );

– випромінювання колошника нагріває деталі, що знаходяться на значній відстані від печі (так шинний пакет має температуру  $150\text{--}160\text{ }^{\circ}\text{C}$  з боку печі і лише  $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$  в трансформаторному приміщенні);

– висока температура колошника і вільний доступ кисню до нього призводять до згоряння до  $10\text{--}12\%$  кількості відновника, що завантажується;

– відхідні гази відносять до  $40\%$  всієї енергії, що вводиться в піч;

– з газами, що відходять, у вигляді пилу виноситься частина шихтового матеріалу;

– газ, що відходить із печі, може створювати небезпеку вибуху, він сильно запилений і потребує очищення.

Для збору газів, що відходять, над відкритими руднотермічними печами встановлюють парасольки. Більшість руднотермічних печей закриті склепінням. Наявність склепіння дозволяє усунути наведені вище недоліки відкритих печей і дає можливість зібрати гази, що містять  $\text{CO}$ , що є паливом і цінною хімічною сировиною для органічного синтезу. Зниження температури над піччю дозволяє використовувати в конструкції установки складніші та надійніші вузли, ніж у відкритих печей (наприклад, гідравлічні механізми переміщення електродів тощо). Однак застосування склепіння призводить до подовження вільного кінця електрода і, отже, збільшення його опору і електричних втрат. При плавлі сірчистих руд у виробництві штейнів виділяється велика кількість сірчистого газу. Печі для такого виробництва мають бути обов'язково закриті, щоб створити нормальні умови для роботи персоналу. Руднотермічні технології таких елементів, як фосфор, цинк, олово, магній та інші передбачає одержання цільового продукту в газоподібному вигляді. Безумовно, печі для цих процесів повинні бути герметичними для того,

щоб забезпечити повний збір продукту та виключити його окиснення киснем повітря.

Під час завантаження закритих печей необхідно забезпечити герметичність завантажувальної системи. Подача шихти в закриту піч вимагає повної механізації. При цьому у закритій печі виявляються обмежені можливості оперативної подачі та коригування складу шихти, оскільки необхідно деякий час поки нова порція відкоригованої шихти надійде в піч. Завантаження закритої печі пов'язане з можливими відхиленнями від нормального сходження шихти, що суттєво ускладнює експлуатацію печі. Важливо підтримувати заданий тиск газів під склепінням печі, запобігати їх надмірному вибиванню через завантажувальні воронки або труби і стежити за можливим забиванням пилом підсводового простору та газоходів.

Наявність або відсутність у руднотермічному процесі шлаку вносить суттєві корективи до вимог до шихтопідготовки, а також до способу та місця завантаження шихти в піч. Такі процеси як виробництво феросиліцію, карбїду кальцію та інші, що проходять без помітного утворення шлаку, мають різко виражену плавильну зону, зосереджену у вузькому кільці навколо кожного електрода, звану плавильним тиглем. Переважна частина шихти сходить у розплав через цей плавильний тигель, а решта лежить нерухомо, утворюючи гарнісаж. Ці процеси дуже вимогливі до сталості складу та гранулометрії шихти. В результаті потрібно організувати завантаження таким чином, щоб шихта подавалася в кільцеву зону навколо електрода. Для цього можуть бути використані завантажувальні лійки, що розташовуються на зводі печі у вигляді комірів навколо кожного електрода. Через завантажувальні вирви просочується і згоряє 5–8% пічних газів, також з-за вирв доводиться на 1,5–2 метри подовжувати електроди, що підвищує ймовірність їх поломки. Однак потреба завантаження шихти саме навколо електродів виправдовує застосування таких завантажувальних воронок. Ряд руднотермічних процесів супроводжуються великою кількістю шлаку, іноді в багато разів перевершує обсяг одержуваного продукту. При плавленні штейна над ним знаходиться шар розплавленого

шлаку заввишки до 700 мм. Наявність шлаку ускладнює роботу агрегату загалом, але значно полегшує завантаження печі. Справа в тому, що в цих процесах плавильна зона знаходиться під шаром шлаку і шихта сходить у розплав, поступово розчиняючись у ньому. Це відбувається практично по всій площі ванни печі та призводить до усереднення складу. Такий процес менш вимогливий до гранулометричного та хімічного складу шихти. У таких технологіях як виробництво фосфору шихта електропровідна через вміст великої кількості вуглецевого електропровідного матеріалу і виділення тепла відбувається за рахунок проходження струму по шихті. Для підтримки нормального електричного режиму роботи установок та рівномірного руху матеріалів по печі дуже важлива сталість складу та гранулометрії шихти. Для рівномірного надходження шихти на склепінні печі розташована система завантажувальних труботечок. У результаті слід цілком певний висновок у тому, що з закритих печей потрібно більш ретельна підготовка шихти і висока точність її дозування, ніж відкритих печей.

Більшість руднотермічних виробництв має напівбезперервний характер. При цьому завантаження печі здійснюється безперервно, а злив продукту та шлаку носить періодичний характер у міру їхнього накопичення. Так працюють, наприклад, печі з виробництва феросиліцію, в яких продукт зливають 4–7 разів за зміну через рівні проміжки часу.

Число льоток вибирають із технологічних міркувань. Зазвичай, якщо продукти досить текучі, для кожного з них у печі передбачена своя льотка. Іноді використовують одну спільну льотку. Наприклад, при виробництві високовуглецевого ферохрому, сплав і шлак випускають одночасно через одну льотку три-чотири рази на зміну.

У карбідних печей при температурі випуску (близько 1900 °С) карбід кальцію має досить високу в'язкість, тому для його випуску влаштовують три льотки проти електродів. Під час плавки льотки закриті. Для того щоб злити розплав льотку розкривають, пропалюючи її дугою за допомогою спеціальних апаратів або кисневими пальниками, прострілюючи зі спеціальної рушниці,

пробиваючи сталевим брухтом або бурою. Після закінчення випуску очко льотки закривають можливо глибше конічною пробкою із суміші електродної маси і піску або вогнетривкої глини вручну або гарматою.

У руднотермічних агрегатах використовують як графітовані та вугільні електроди, аналогічні електродам дугових сталеплавильних печей (ДСП), так і електроди, що самоспікаються.

Електрод, що самоспікається, являє собою сталевий кожух, зібраний зі зварених порожнистих секцій (рис. 2.3) всередину яких завантажують електродну масу. Діаметр електродів, що самоспікаються, доходить до 2000 мм, розробляються електроди діаметром 2400 мм. Перетин електродів, що самоспікаються, може бути не тільки круглим, а й прямокутним зі скругленими сторонами (піч на з електродами перетином 2600x650).

Електродна маса складається з термоантрациту, відходів електродів, коксу, смоли, пеку та ін. Температура електродної маси в районі контактних щік коливається від 60 до 100 °С. У міру опускання електрода відбувається нагрівання маси, її розплавлення і коксування сполучного.

При температурі 500 °С маса твердне. Подальше нагрівання супроводжується зміцненням електрода та підвищенням його електропровідності. З-під контактних щік електродотримача електрод повинен виходити з температурою близько 850 °С. В результаті виходить скоксований електрод за своїми властивостями близький до звичайних вугільних електродів, і навіть з більшою допустимою щільністю струму.

При температурі нижче 850 °С більша частина струму проходить металевим кожухом, а при температурі близько 1000 °С струм розподіляється між кожухом і тілом електрода приблизно порівну.

Застосування електродів, що само спікаються, у кілька разів дешевше, ніж використання готових вугільних та графітованих електродів, хоча й потребує допоміжних ділянок для виготовлення кожухів та підготовки електродної маси. Експлуатація печей з такими електродами вимагає ретельного дотримання технології приготування маси, високу якість

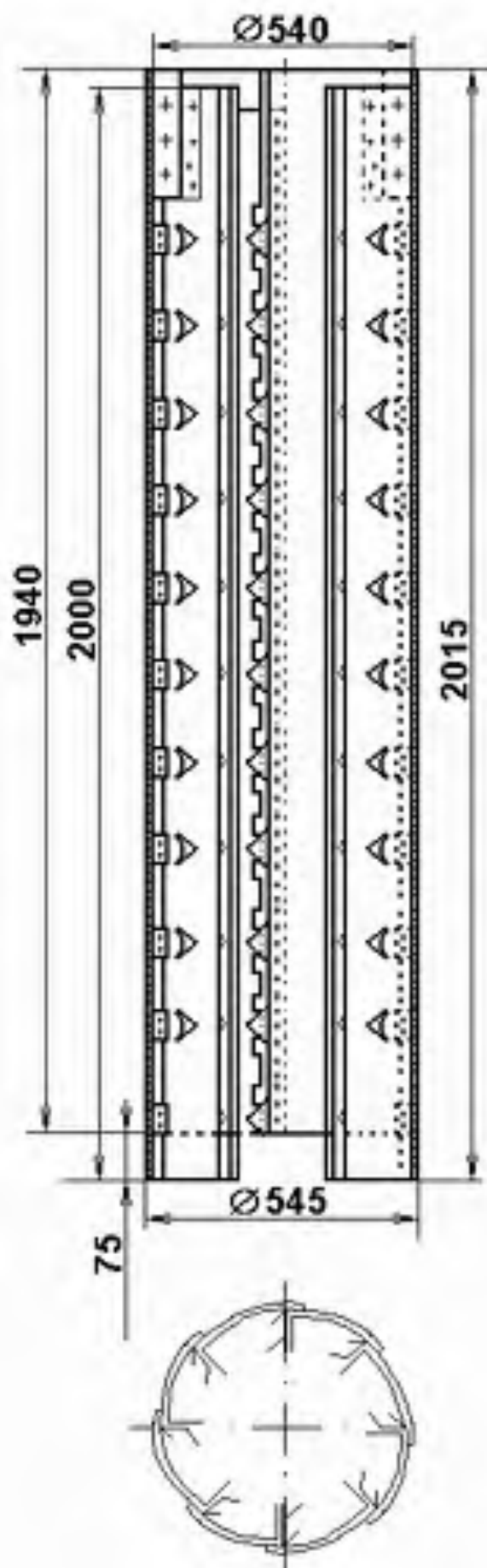


Рисунок 2.3 – Секція кожуха електроду, що само спікається

виготовлення кожуха, регулярний перепуск електрода, дотримання режиму коксування електрода та стабільний електричний та тепловий режими роботи печі, інакше, якщо електрод не набере достатньої міцності, може статися його обрив. Деякі підприємства працюють на покупній електродній масі.

Для оснащення руднотермічних установок застосовують те саме електрообладнання, що і для дугових сталеплавильних печей. Оскільки електричний режим роботи РТП досить спокійний, тому використовувати дросель у ланцюзі живлення немає необхідності. Незважаючи на це кількість експлуатаційних відключень печі може бути 2–3 на добу. Тому зазвичай використовують високовольтні вимикачі, розраховані на значну кількість спрацьовувань. У цілому нині схеми живлення руднотермічних печей мало, ніж від звичайних схем харчування потужних споживачів електроенергії. Трансформатори руднотермічних печей мають кілька, а потужні печі – кілька десятків ступенів напруги.

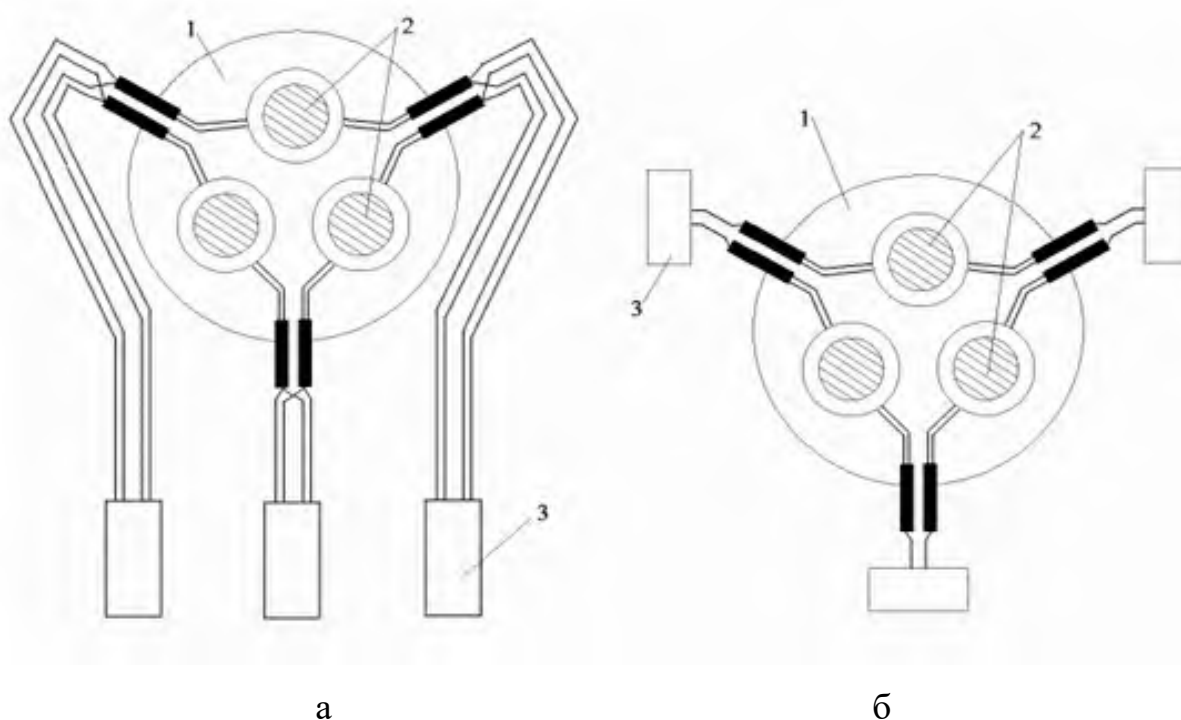
Як і у ДСП існують системи перемикання ступенів напруги при знятому навантаженні та під навантаженням. Число можливих схем короткої мережі, незважаючи на все різноманіття руднотермічних процесів і конструкцій установок, досить обмежене.

Найбільш проста схема живлення у однофазних печей. Для них використовують однофазний силовий трансформатор, а коротку мережу збирають із мінімально можливим активним та реактивним опором. Круглі триелектродні печі на початку свого розвитку оснащувалися короткими мережами зі схемою з'єднання «зірка на трансформаторі» з некомпенсованими та різко асиметричними шинними пакетами (рис. 2.4).

Все більше останнім часом набувають поширення печі аналогічні по конструкції дуговим сталеплавильним печам, що працюють на постійному струмі. Установки, що працюють на постійному струмі, застосовують для одержання металевого марганцю, безвуглецевого феромарганцю, ферохрому, феротитану та інших сплавів. У цих процесах переважає виділення енергії в дузі, і лише незначна частка електричної енергії перетворюється на джоулеве



тепло за рахунок проходження струму через розплавлений метал. Тому для перерахованих процесів застосування постійного струму дає ті ж переваги, що й при плавці сталі. Передбачається, що позитивний ефект від переходу на постійний струм буде і в тих процесах, де частина енергії виділяється в дузі, а частина за рахунок опору розплаву або шихти, і навіть на установках, що працюють суто за принципом опору. Економічно обґрунтоване застосування випрямлячів залежить від потужності установки. Так для крем'янистих сплавів перехід на постійний струм може бути вигідним при потужності печі вище 25–33 МВА. Очікується, що найближчими роками буде освоєно застосування руднотермічних печей, які працюють на постійному струмі, для вилучення різних металів із відвальних шлаків, наприклад алюмінію, нікелю, міді, кобальту, ванадії та інші. Створюють нові одноелектродні печі для виплавки кремнію підвищеної якості для сонячної енергетики [11–13].



1 – ванна печі; 2 – електроди; 3 – пічний трансформатор

а – схема «зірка на електродах»; б – схема «зірка на рухомих черевиках»

Рисунок 2.4 – Схема розташування однофазних пічних трансформаторів для круглих триелектродних печей

## 2.2 Розрахунок геометричних параметрів руднотермічних печей

Розрахунок руднотермічних печей має досить складний і однозначний характер. При роботі руднотермічних печей відбувається накладення безлічі факторів, що складно залежать один від одного, від електричних і теплових полів у ванні печі, від гравітаційного поля, полів швидкостей, тиску і фізико-хімічних процесів. Самі процеси та характер їхньої взаємодії суттєво відрізняються для різних руднотермічних технологій.

Розрахунок геометричних параметрів руднотермічних печей викорнується на прикладі параметрів печі типу РКЗ - 16,5 відповідно до методики [11].

Таблиця 2.1 – Основні параметри рудовідновлювальних печей типу РКЗ-16,5

Найменування параметра, одиниці виміру	РКЗ–16,5
Установлена потужність, МВ•А	16.5
Максимальний струм по фазі, А	60
Число фаз, шт.	3
Тип електрода	що самоспікається
Кількість електродів, шт	3
Розмір електродів у перетині, мм	1200
Діаметр розпаду електродів, мм	3000
Хід електрода, мм	1200
Число контактних щік на електроді, шт	8
Діаметр кожуха ванни, мм	8250
Розміни ванни печі, мм:	
– діаметр	6650
– глибина	2800
Робоча напруга, В	130-204
Число льоток	2

Вихідні дані для розрахунку наступні:

- тип феросплавної печі РКО-2.5.
- номінальна потужність трансформатора (S), кВ А – 2500.
- тип процесу – безшлаковий.
- сплав, що виплавляється, Si-Cf.

Приймаємо відповідно до табличних даних  $h_{c.lj} = 0,86$ .

Методологія розрахунку включає наступні етапи:

1. Визначення корисної потужності печі:

$$P_{кор} = \eta_{ел} \cos \phi \cdot S, \quad (2.1)$$

$$P_{кор} = 0,68 \cdot 16500 = 11220 \text{кВт}$$

2. Визначення робочої корисної фазової напруги печі:

$$U_{кор} = c \cdot P_{кор}^n, \quad (2.2)$$

$$U_{кор} = 6 \cdot 11220 = 67,320 \text{В}$$

Приймаємо для розрахунку:  $n=1/2=6$ .

Ліній напруга буде дорівнювати:

$$U_{лін} = \frac{U_{кор} \times \sqrt{3}}{h_{c.з.} \times \cos j}$$

$$U_{лін} = \frac{67,320 \cdot \sqrt{3}}{0,68} = 171,473 \text{В}$$

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

$$U_{\text{min}} = 0,8 \cdot U_{\text{лін}}, \quad (2.3)$$

$$U_{\text{max}} = 1,2 \cdot U_{\text{лін}}, \quad (2.4)$$

$$U_{\text{min}} = 0,8 * 171,473 = 137,178\text{В}$$

$$U_{\text{max}} = 1.2 * 171,473 = 205,767\text{В}$$

3. Визначення струму в електроді буде дорівнювати:

$$I_{\text{лін. max}} = \frac{P_{\text{кор}}}{3U_{\text{кор}} \cdot 0,85}, \quad (2.5)$$

$$I_{\text{min m}} = \frac{11220 \cdot 10^3}{3 \cdot 67,320 \cdot 0,85} = 65242\text{А}$$

4. Робочий струм в електроді буде дорівнювати:

$$I_{\text{лін. роб}} = \frac{P_{\text{кор}}}{3U_{\text{кор}}}, \quad (2.6)$$

$$I_{\text{л роб}} = \frac{11220 \cdot 10^3}{3 \cdot 67,320} = 55456\text{А}$$

5. Визначення активного опору ванни:

$$R_g = \frac{U_{кор}}{I_{лін.роб.}}, \quad (2.7)$$

$$R_{ван} = \frac{67,320}{55456} = 0,00121 = 1,21 \text{ мОм}$$

6. Визначення діаметру електрода:

$$d_{ел} = \frac{E\Pi_1}{R_g}, \quad (2.8)$$

$$d_{ел} = \frac{1,40}{0,00121} = 1157 \text{ мм}$$

Приближаймо до значення ГОСТ та приймаємо  $d_{ел}=1200 \text{ мм}$ .

7. Перевіряється величина щільності струму в електроді, що самоспекається, вона не повинна бути вище допустимих щільностей струму для даного процесу:

$$j = \frac{4I_{лін.макс}}{\rho d_{ел}^2} \leq j_{доп}, \quad (2.9)$$

$$j = \frac{4 * 65242}{3.14 * 120^2} = 8,657 \text{ А/см}^2 \leq 12,0 \text{ А/см}^2$$

Приймаємо  $j = 12 \text{ А/см}^2$

8. Перевірочний розрахунок має вигляд:

$$h_{el} = \frac{R_g}{R_g + r_{KC}}, \quad (2.10)$$

$$\eta_{el} = \frac{1,21}{1,21 + 0,2} = 0,858$$

$$\cos \varphi = \frac{1,41}{\sqrt{1,41^2 + 1^2}} = 0,816$$

Відповідно  $\eta_{el} * \cos \varphi = 0,70$ .

Значення відрізняється від прийнятого на 2,94% (допуск 5 %). Тобто електричний розрахунок закінчений.

Вибираємо круглу трьохелектродну піч та шлаковий режим плавки.

9. Визначення геометричних параметрів печі знаходять по відношенню параметра, що розраховують, та діаметра електрода:

$$B^1 = \frac{B}{d_{el}}, \quad (2.11)$$

10. Визначення діаметру ванни на рівні вугільних блоків:

$$D_B = 5,65 * 1200 = 6780 \text{ мм.}$$

11. Визначення діаметру ванни на рівні колошника (вище вугільних блоків):

$$d_B = 5,85 * 1200 = 7020 \text{ мм}$$

12. Визначення відстані між осями електродів:

$$K = 2,40 * 1200 = 2880 \text{ мм.}$$

13. Визначення висоти ванни:

$$H_B = 2.20 * 1200 = 2640\text{мм}$$

14. Визначення діаметру кожуха:

$$D_k = d_e + 2d_{\text{стін}}, \quad (2.12)$$

$$D = 7020 + 2 * 700 = 8420\text{мм.}$$

Або так як вісі електродів знаходяться на вершинах рівностороннього трикутника, то діаметр розпаду електродів знаходимо через діаметр кола, описаного навколо рівностороннього трикутника:

$$D_p = \frac{2 \cdot \sqrt{3}}{3} \cdot K_i \quad (2.13)$$

Відстань між електродами і футеровкою для без шлакових процесів:

$$a_{\text{стац}} = 0,8 \times d_{\text{ел}}$$

При шлаковому процесі:

$$a_{\text{шл}} = 0,95 * 1200 = 1140\text{мм.}$$



## 3 ОГЛЯД МОЖЛИВОСТІ ВИПЛАВКИ СИЛІКОКАЛЬЦІЮ НА БРИКЕТАХ

### 3.1. Вибір типу печі, методики дослідження

Виправку силікокальцію проводили в лабораторній рудновідновлювальній печі з потужністю трансформатора 16,5 кВА (рис. 1. 6) відповідно до трьох варіантів плавки:

– I-й варіант – плавка на звичайній шихті. У якості шихтових матеріалів використовували кремнезем, вапно, залізорудний концентрат та газове вугілля (у якості відновника);

– II-й варіант – плавка з використанням моношихтових брикетів. Використовували шихтові матеріали фракції від 1 мм до 2 мм: кремнезем, вапно, графіт (у якості відновника) та хімічно чисте залізо у співвідношенні 1: 0,3: 0,67: 0,2;

– III-й варіант – плавка з використанням брикетів з доданням кускового вапняку (табл. 3.1). Як шихта використовували ті ж самі матеріали, що і для I-го варіанту плавки (за винятком вапна) та кусковий вапняк фракції від 20 мм до 40 мм, попередньо подріблений на щоківій дробарці (рис. 3.1). Склад колоші наступний: 100 кг брикетів, 32,5 кг дробленого вапняку.

Таблиця 3.1 – Вміст основних компонентів у шихті для брикетів з доданням кускового вапняку

Варіант серії брикетів	Вміст хімічних елементів, %			
	C <sub>ТВ</sub>	SiO <sub>2</sub>	Fe	н.п.п.
1	25,133	47,712	3,876	22,854
2	26,511	44,045	3,300	24,525
3	29,011	41,767	3,200	26,700

Дослідження хімічного та гранулометричного складу шихтових матеріалів проводили за допомогою хімічного та ситового аналізу відповідно за стандартною методологією.



Рисунок 3.1 – Загальний вид шоквої дробарки типу СМД-109 [14]

В брикетах як матеріал, що пов'язує, використовували бітум. Виготовлення брикетів проводили методом гарячого пресування при температурі  $1200^{\circ}\text{C}$  на валковому пресі ПВР-2 (рис. 3.2, табл. 3.2). Брикети (рис. 3.3) перед дослідної кампанією піддавалися природній сушці на повітрі протягом тижня.

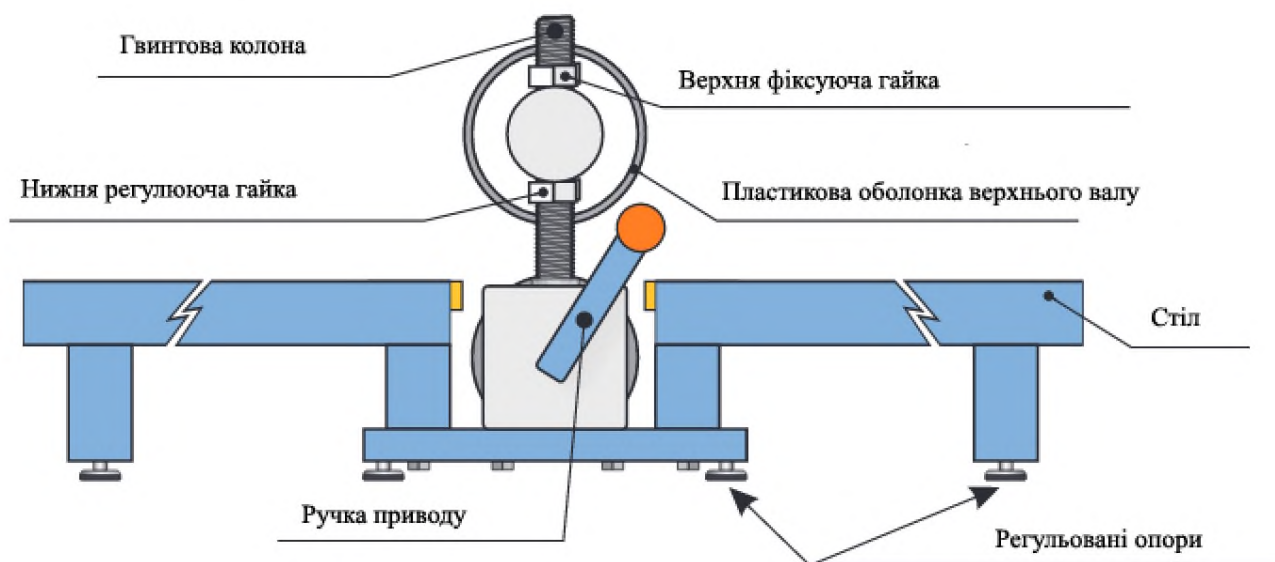


Рисунок 3.2 – Схема валкового пресу

Для вибору оптимального надлишку вуглецю в шихті, що складається з брикетів з доданням кускового вапняку, виготовляли три партії брикетів вагою по 800 кг (табл. . В вихідній шихті змінювалася тільки навіска газового вугілля, відносний вміст в брикеті кремнезему зменшувався, а відношення між ними залишалось приблизно однаковим.

Таблиці 3.2 – Технічна характеристика валкового пресу ПВР-2

Технічна характеристика	Значення, од. виміру
Габарити у збірці	1290 мм x 854 мм x 280 мм
Вага	85 кг
Діаметр верхнього валу	104 мм
Діаметр нижнього валу	104 мм
Відстань між валами	> 56 мм
Ширина робочої частини вальців	650 мм
Відстань між колонами	704 мм

Дослідні плавки силікокальцію з використанням брикетів проводили після попереднього розігріву рудновідновлювальної печі на виплавці карбїду кальцію та ФС45.



Рисунок 3.3 – Загальний вид брикетів з кальцієм

### **3.2 Дослідження можливості одержання силікокальцію з вапнякової породи Василівського родовища на брикетах**

В лабораторії ДП «УкрНДІспецсталь» було проведено дослідження можливості одержання силікокальцію з вапнякової породи Василівського

родовища. Маса шихтових матеріалів, що проплавляють за одну плавку, складала близько 10 кг. Витрати електроенергії визначали за показами відповідного приладу. Плавку виконували у графітових тиглях на блок (вуглетермічним процесом) та зі зливом продуктів плавки (силікотермічним способом).

Дослідним шляхом було запропоновано проаналізувати три серії плавок:

1. Перший дослід – похідну вапнякову породу обпалювали у муфелі до одержання вапна, яке сплавляли з феросиліцієм ФС65 (68 % кремнію) у заданому співвідношенні, тобто здійснювали силікотермічний процес виплавки силікокальцію з використанням теплоти електричних дуг;

2. Другий дослід – з похідної породи одержували вапно, що сплавляли з кварцитом, коксом та газовим вугіллям у заданому співвідношенні, тобто виконували вуглетермічний процес одержання силікокальцію;

3. Третій дослід – силікокальцій одержували вуглетермічним способом з використанням тих самих шихтових матеріалів, що і в другій серії плавок, тільки замість вапна задавали «сирий» вапняк Василевського родовища.

Перед кожною плавкою шихтові матеріали готували фракцією від 2 мм до 7 мм, дозували у заданому співвідношенні та ретельно перемішували. Залежно від застосованих компонентів шихти загальна маса матеріалів на одну плавку коливалася у межах від 9 кг до 10 кг. Графітовий тигель перед плавкою розігрівали електричною дугою. Відлік затрат електроенергії на плавку розпочинали одночасно з подаванням шихтових матеріалів до печі.

Хімічний склад металу, одержаного у різних серіях плавок, наведено у табл. 3.3.

Таблиця 3.3 – Хімічний склад силікокальцію за трьома серіями плавок, %

Серія плавки	Ca, %	Si, %	Fe, %	Al, %	P, %	C, %
1	16,3	59,5	19,0	0,7	0,0023	0,12
2	30,9	63,4	1,2	1,9	0,0027	0,37
3	25,1	62,2	7,0	1,8	0,0300	0,42

Під час виплавки силікокальцію силікотермічним способом (1 серія) хід технологічного процесу характеризувався стабільним та рівним електричним режимом. Температура розплаву перед випуском була досить високою, зафіксовано повний вихід розплаву з печі. У виливниці розділення шлаку та металу було добрим (шлак – зверху, метал – знизу), в шлаці не спостерігали корольки металу. Після остигання шлак розсипався у дрібний порошок. Одержаний метал за своїм хімічним складом (табл. 3.3) відповідав силікокальцію марки СК15.

Технологічний процес одержання вуглетермічного силікокальцію з використанням вапна (2 серія) також не спричинює особливих складнощів. Схід шихти у печі відбувався рівномірно без обвалів, виділення газів теж було рівномірним за всією поверхнею колошника, наявність свищів не спостерігали. Одержаний метал за своїм хімічним складом (табл. 3.3) відповідав силікокальцію марки СК30. За витратами електроенергії відмінності режимів майже не спостерігали.

Використання природного вапняку Василівського родовища (3 серія) для виробництва вуглетермічного силікокальцію дещо негативно впливає на технологічний процес плавки порівняно з використанням вапна (2 серія). Це виявлялося у напруженій роботі колошника печі: створенні свищів і зон спікання шихти. Окрім того, збільшилися витрати електроенергії на ~10 % порівняно з 2 серією плавки. Проте метал, що одержано у результаті плавки, за своїм хімічним складом (табл. 3.1) відповідав силікокальцію марки СК25.

Таким чином, вапнякові породи Василівського родовища являють собою різновид ракушняку, основною мінералогічною фазою яких є карбонат кальцію. Від звичайних природних вапняків, що використовують у металургії, такі породи відрізняються дещо підвищеним вмістом домішок ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ). За даними хімічного складу, як похідні породи (48,6 %  $\text{CaO}$ ), так і продукт її випалення (83,7 %  $\text{CaO}$ ) можуть бути використаними для одержання силікокальцію.

Випробування процесу виплавки силікокальцію у лабораторній

електродуговій печі показало, що використання випаленого вапняку Василівського родовища дозволяє без яких-небудь технологічних ускладнень одержати силікокальцій марки СК15 силікотермічним способом та силікокальцію марки СК30 вуглетермічним способом. Використання безпосередньо похідної породи без їх попереднього випалення для виробництва силікокальцію вуглетермічним процесом потребує виконання більш детальних досліджень та не може бути зовсім виключеним з поля зору, оскільки існує відомий досвід одержання силікокальцію з вапняку.

За попередніми результатами, які висвітлено у даній роботі, вапнякові породи Василівського родовища можна рекомендувати для виробництва силікокальцію різних марок як силікотермічним, так і вуглетермічним способами.

Результати лабораторних плавок силікокальцію з використанням трьох партій брикетів з кусковим вапняком приведено в табл. 3.4 [15–17].

Таблиця 3.4 – Результати лабораторних плавок силікокальцію на брикетах з кусковим вапняком

Технологічні показники виплавки силікокальцію на 3-х партіях брикетів з кусковим вапняком											
1-ша партія				2-га партія				3-тя партія			
Si, %	Ca, %	вага плав- ки, кг	питома витрата елек-гії, кВт·год./кг	Si, %	Ca, %	вага плавки, кг	питома витрата елек-гії, кВт·год./ кг	Si, %	Ca, %	вага плав- ки, кг	питома витрата елек-гії, кВт·год./ кг
52,1	5,4	2,9	49,7	46,8	12,1	1,7	58,2	38,4	1,4	1,8	77,2
50,4	5,1	2,7	50,1	44,2	13,8	1,9	59,7	44,2	17,0	1,6	64,8
47,2	5,0	3,4	47,0	48,2	15,8	2,4	56,1	41,6	2,7	2,9	52,0
48,0	5,7	3,5	51,0	47,4	16,6	2,9	58,4	43,4	7,8	2,1	54,8
49,7	6,5	3,4	49,5	47,8	16,8	3,4	54,2	39,1	21,0	1,8	78,4
49,2	5,9	3,8	49,4	48,7	16,4	3,7	28,6	41,3	2,9	2,1	60,1



#### 4 ПОЗАПІЧНА ОБРОБКА СТАЛІ СИЛІКОКАЛЬЦІЄМ МАРКИ СК-40

Силікокальцій марки СК-40 являв собою механічну суміш порошків силікокальцію СК-30 та металевого кальцію. Порошковий дріт з наповненням СК-40 присаджували в однакових умовах при обробці сталей поточного сортаменту - Ст5сп, А500С, 25Г2С, S235JRG2, Ст40, Ст45, СтЗсп. Витрати дроту з наповнювачем СК-40 визначали за нормативною документацією з поправним коефіцієнтом 0,74 (за масою) або 0,78 (за довжиною). Як порівняльні використовували плавки аналогічного сортаменту, оброблені безпосередньо перед дослідними плавками. Усього за вказаний період в ЕСПЦ-1 та ЕСПЦ-2 було використано 10 т порошкового дроту із СК40, оброблено понад 300 плавок. Технологічні показники дослідних та порівняльних плавок наведені у табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Технологічні показники дослідних та порівняльних плавок

Цех	Наповнювач дроту	Маса металу, т	Витрата кальцію, кг/т	Вміст кальцію на МБЛЗ, ppm	Засвоєння кальцію, %
ЕСПЦ-1	СК-40	111,5	0,061	10,07	16,52
	СК-30	109,2	0,062	8,41	13,56
ЕСПЦ-2	СК-40	108,5	0,0935	8,36	8,94
	СК-30	107,7	0,089	5,86	6,60

Данні таблиці 4.1 показують, що вміст залишкового кальцію на дослідних плавках перевищує аналогічний показник порівняльних плавок в ЕСПЦ-1 в середньому на 1,66 ppm або 20%, в ЕСПЦ-2 – в середньому на 2,50 ppm або 43%. Засвоєння кальцію на дослідних плавках також вище, ніж на порівняльних в ЕСПЦ-1 на 2,96 абс.% або 22 відн.%, ЕСПЦ-2 – на 2,34 абс.% або 35% відн.%. Еквівалентний коефіцієнт модифікування стали дротом з

наповнювачем СК-40 по відношенню до дроту з наповнювачем СК-30 в ЕСПЦ-1 становив 0,60, ЕСПЦ-2 – 0,55. Присадка в рідкий метал, дроти з наповнювачем СК-40 на розлив металу та показники якості не вплинула, на дослідних плавках відзначено деяке збільшення виходу придатного – 97,5 % проти 96,9%. З представлених у таблиці даних звертає на себе увагу різниця в засвоєнні кальцію в ЕСПЦ-1 та ЕСПЦ-2. З одного боку, це можна пояснити різним сортаментом оброблюваних сталей, різним станом і складом рідкого металу, що вимагає різних підходів до позапічної обробки стали кальцієм і витрат дроту. В ЕСПЦ-1 виплавляється і розливається на двох шестиручкових сортових машин безперервного лиття заготовок (МБЛЗ) метал з низьким вмістом алюмінію. В ЕСПЦ-2 виплавляється переважно сортамент сталей, розкислених алюмінієм, але іноді в ЕСПЦ-2 також виплавляють сортамент сталей з низьким вмістом алюмінію для розливання в ЕСПЦ-1. І тут цікавить розглянути питання засвоєння кальцію на однаковому сортаменті сталей, що обробляються порошковим дротом в ЕСПЦ-1 і ЕСПЦ-2 в різних умовах.

Для досягнення оптимальних і стабільних результатів обробки розплаву порошковими кальційвмісними дротами повинні витримуватися певні умови їх введення в розплав з урахуванням конкретної ситуації застосування технології. У всіх випадках введення відстань між кінцем прямої труби і розплавом у ковші має бути не більше 300–400 мм, дріт повинен вводитися в ківш у максимально вертикальному положенні. Швидкість введення порошкового дроту залежить від фізико-хімічних властивостей рідкої сталі, сталеві оболонки та наповнювача. Залежно від моменту розплавлення та температури рідкої сталі порошковий наповнювач може перейти в розплав у будь-якому місці ковша. Регулюючи швидкість введення дроту, домагаються того, щоб розплавлення дроту і вивільнення наповнювача в розплав відбувалося нижче граничної глибини випаровування кальцію. Найбільш оптимальною є швидкість введення дроту 2,8–3,5 м/с, що забезпечує проникнення в рідкий метал на глибину 3,0–3,5 м і реакцією взаємодії з рідким кальцієм буде охоплено весь обсяг металу. При недотриманні режиму швидкості введення

оболонка дроту може розплавитися або дуже рано, або дуже пізно, дріт змінить напрямок свого руху до днища ковша і почне рухатися вгору в міру розмотування. В обох випадках вивільнення наповнювача відбудеться у верхній частині ковша – в зоні випаровування кальцію і значна його частина не встигатиме прореагувати в рідкому металі, знижуючи ефективність використання кальцію і його засвоєння. В ЕСПЦ-1 рідкий метал оброблявся силіко-кальцієвим дротом на установці ковш-піч ПК-1 (двохручковий трайбапарат), де технологічний комплекс з введення дроту обладнаний телескопічними напрямними, що забезпечують при обробці відстань між нижнім зрізом напрямної труби 300–400 мм, в ЕСПЦ-2 - на установці ковш-піч ПК-2, де два одноруч'єві трайбап-парати обладнані стаціонарними напрямними проводками, і зазначена відстань при обробці іноді становить більше 1 м, що призводило до розплавлення дроту і вивільнення діння кальцію у верхніх шарах металу, знижуючи ефективність його використання.

У табл. 4.2. приведені показники використання силікокальцієвого дроту в ЕСПЦ-1 та ЕСПЦ-2 на аналогічному сортаменті (стали з низьким вмістом алюмінію – типу СтЗсп, Ст5сп). Стан та склад металу, параметри обробки були ідентичні, крім системи введення дроту.

Як видно з табл. 4.2, засвоєння кальцію в ЕСПЦ-1 при стабільному введенні дроту на необхідну глибину на аналогічному сортаменті вище на 62% при використанні СК-40 і на 88,6% - при використанні СК-30 порівняно з ЕСПЦ-2, де умови введення не завжди дозволяють доставляти дріт на необхідний рівень глибини розплаву. Необхідно відзначити, що відносно низький залишковий вміст кальцію іноді говорить про більш високу чистоту металу по неметалевим включенням. Наприклад, при однаковій витраті кальцію на обробку і однаковому його вмісті за введенням, у розливній пробі вміст кальцію і, отже, неметалевих включень може різнитися в 1,5–2,0 рази, що залежить від інтенсивності, тривалості та виду продування після введення, а також стан ванни перед обробкою [18].

Таблиця 4.2 – Технологічні показники використання силікокальцієвого дроту в ЕСПЦ-1 та ЕСПЦ-2 на аналогічному сортаменті сталі

Наповнювач дроту	Маса металу, т		Витрата кальцію, кг/т		Вміст кальцію на МБЛЗ, ppm		Засвоєння кальцію, %	
	ЕСПЦ-1	ЕСПЦ-2	ЕСПЦ-1	ЕСПЦ-2	ЕСПЦ-1	ЕСПЦ-2	ЕСПЦ-1	ЕСПЦ-2
СК-40	111,5	108,5	0,061	0,085	10,07	8,67	16,52	10,20
СК-30	109,2	107,5	0,062	0,062	8,41	4,46	13,56	7,19

## 5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

### 5.1 Правила технічного обслуговування та ремонту руднотермічних печей

Технічне обслуговування та ремонт руднотермічних печей виконують згідно з наступними нормативами:

1. Перелік робіт під час проходження зміни та технічні вимоги до них: Виконати перевірку температури та тиску охолодженої води. Не допускати щоб температура води на зливі була вищою за 50°C, а тиск води – нижче за 2,8 кПа·см<sup>2</sup>. при температурі води вище вказаної – збільшити витрати води або продути контролюючу ділянку системи стиснутим повітрям; при стабільному зниженню тиску води нижче вказаного – відімкнути піч.

2. Треба виконати очистку зовнішньої поверхні склепіння – шихту та металеві предмети, які опинилися біля склепіння негайно ліквідувати для недопускання міжфазного замикання та прогару секцій склепіння. Виконати очистку металоконструкцій печі від пилу стиснутим повітрям.

3. Необхідно перевірити стан гнучких рукавів та з'єднань – не можна допускати руху масла і води, порушення електроізоляції, тріщин та деформацій.

4. Слід контролювати температурний режим подини, стін та днища печі – контроль здійснювати по показникам термопар та пристрої, встановленому на пульті управління.

5. Необхідно перевірити стан електродів: правильність зварювання та встановлення секцій кожухів, роботу системи обдування, розпад електродів.

6. Не можна допускати при проведенні робіт замаслювання кожуху електрода, яке може призвести до проковзування електрода в механізмі перепуску. необхідності

7. Нагрів гірлянди струмопроводу повинен бути не більшим за 800 °C, при зниженні температури встановити теплоізоляційні екрани.

8. Треба перевірити тиск газів та температури під склепінням – тиск в

усіх точках повинен бути постійним, а температура під склепінням не повинна перевищувати 1500 °С.

9. Слід слідкувати за температурою кожуху електрода, яка повинна бути на рівні 500 мм вище контактних щік підтримувати в інтервалі від 50 до 600 °С для забезпечення нормального режиму коксування електрода.

10. Слід виконувати рівномірність охолодження кожуха – витрата води, яка підводиться до зрошуючих козирків кожуха через розподільні труби („гусачки”) повинна бути однакова, розмір цих труб також повинен бути однаковим.

11. При нормальній роботі вузлів та деталей, що водоохолоджуються, температура відхідної труби повинна бути 30–320 °С. З підвищенням температури в елементах, що водоохолоджуються, їх здійснюється відкладання солей, зменшення січення протоку, що призводить до погіршення охолодження. Температура охолодженої води на зливі повинна відрізнятися від температури води в напірній частині системи не більш ніж на 100 °С [19].

## **5.2 Умови праці в феросплавній лабораторії**

В умовах феросплавного виробництва, зокрема в феросплавній лабораторії, охороні праці та техногенна безпека повинні відповідати наступним нормативним документам:

- ДСТУ prEN 12937-2002. Безпечність машин. Технічні правила та вимоги до підйимально-транспортних засобів (prEN 12937:1997, IDT) [20];
- ДСТУ Б В.1.1-36:2016. Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою [21];
- НАПБ А.01.001-2014. Правила пожежної безпеки в Україні [22];
- ДБН В.1.1.7-2016. Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги [23];
- ДБН В.2.5-28:2018. Природне і штучне освітлення [24];
- ДСТУ 2867-94 Шум. Методи оцінювання виробничого шумового

навантаження. Загальні вимоги [25];

– ДСТУ Б EN 15242:2015. Вентиляція будівель. Розрахункові методи визначення витрат повітря на вентиляцію будівель з урахуванням інфільтрації (EN 15242:2007, IDT) [26];

– ДСТУ ISO 9978:2014. Радіаційна безпека. Закриті радіоактивні джерела. Методи випробовування на витік (ISO 9978:1992, IDT) [27];

– ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень ; прийнятий з 01.12.1999 р. №42. Київ, 12 с. [28];

– та інші.

Безпека життєдіяльності, охорона праці та техногенна безпека в цеху холодної прокатки повинні відповідати також даним [29–34].

Розглянемо детальніше причини виникнення пожежі в лабораторії:

– несправності електропроводки, розеток і вимикачів, які можуть призвести до короткого замикання або пробоя ізоляції;

– використання пошкоджених (несправних) електроприладів.

Для гасіння пожеж також застосовують хімічні пінні вогнегасники ВХП-10 і вуглекислотні вогнегасники ВВ-2, ВВ-5 і ВВ-8, а також пересувні ВВ-25 і ВВ-80.

Щоб забезпечити комфортні умови в лабораторії, встановлюють такий тип вентиляції, який спроможний не тільки забезпечити повітрообмін, але й усувати забруднене повітря на небезпечних ділянках, підвищуючи безпеку працівників лабораторії. Виходячи з умов приміщення, встановлюється витяжна споруда і прораховується приплив повітря в простір. Об'єм вентиляційного повітря визначається для кожного приміщення окремо з урахуванням кількості шкідливих домішок.

Спеціалізована вентиляція виробничих приміщень вирішує дві основні задачі – видалення відпрацьованого повітря, в якому можуть знаходитися шкідливі речовини, важкі метали, відпрацьовані гази, надлишки тепла та подача свіжого повітря в робочу ділянку. Тому дуже важливе значення має етап проектування конструкції. Адже обрана технологічна схема повинна

задовольняти базовим критеріям виробництва [35].

При надзвичайних ситуаціях в феросплавній лабораторії повинні бути правила поведінки при евакуації. Масштаби евакуації залежать від величини поширення ураження чи загрози надзвичайної ситуації. Успішність проведення евакуації залежить від підготовленості керівництва об'єктів, населених пунктів, адміністративних територій, керівників держави, населення, сил і засобів.

Практичні евакуаційні заходи здійснюються в разі: загальної аварії на атомній електростанції; всіх видів аварій зі СДЯР, наслідки яких загрожують життю і здоров'ю людей, що проживають у зоні можливого ураження; загрози катастрофічного затоплення місцевості; масових лісових і торфових пожеж, що загрожують населеним пунктам; катастрофічних землетрусів та інших геофізичних та гідро-метеоявищ з тяжкими наслідками; із районів бойових дій.

Проведенням евакуаційних заходів займаються органи управління цивільного захисту, керівники домоуправлінь і житлово-експлуатаційних органів, а також міські й районні евакуаційні комісії [36].

### **5.3 Установка очищення газів, що відходять, руднотермічних печей**

Охолодження газу здійснюють ступеню в газоходах: спочатку до температури нижче 1300 °С, на другій ступені до 700–800 °С і на третій - вище 200 °С за допомогою системи іспарильного охолодження. На першій ступені охолодження, що знаходяться гази одночасно очищають від примесей шляхом зжигання реакційних газів, а пил, отриманий після очищення на фільтрі, піддаються подальшій переробці. Пристрій містить печі зі сводом, на якому розміщені газохід, цикли і металоканові фільтри з пристроєм для регенерації фільтра сжатим повітрям. Газохід виконаний у вигляді ступеневої, перша - нижня ступінь виконана у вигляді усиченої піраміди, розміщена усією частиною на своді печі та обладнана установкою для дожига реакційного газу та установкою системи іспарильного охолодження, розташованої по периметру піраміди та її верхньому підставі. Дальніші ступені газоходу по всій довжині



забезпечені установкою системи іспарильного охолодження. Кожна ступінь газоходу з допомогою труби для підводу води і для відводу пара з'єднана з барабаном-сепаратором.

Металотканевий фільтр складається з корпусу з бункерами для пилу, карманних блоків, снабженої фільтрувальної тканинної сеткою з нержавіючої сталі, снаружи корпусу розміщені 4 пневмоімпульсних камери, патрубков для запиленого газу і патрубков для відводу очищеного газу. Кількість фільтрувальних карманів – 312.

Далі очищений газ за допомогою вентилятора ВВДН-17 через вертикальний газохід-трубу вибрасується в атмосферу. Уловлена пил накоплюється в бункерах і подається на стадію хлорування титанових шлаків або перевозиться в місце тимчасового зберігання. Хімічний і гранулометричний склад пилу прямо залежить від зміни в хімічному і фракційному складі титановмісних концентратів і відновника – вугілля.

Дана схема очищення дозволяє уловити 99,0–99,8% пилу і повністю знешкодити гази від шкідливого компонента – оксиду вуглецю і реакційних газів.

На рис. 5.1 представлені кесони системи іспарильного охолодження газу, встановлені на ступенях газоходу. Установка для очищення газу (рис. 5.1) виконана у вигляді печі, що складається з ванни 1, водоохолоджуваного зводу 2, електродів 3; газоходу, виконаного з 3 ступеней: нижньої ступені – шахти 4, у вигляді усиченої піраміди, середньої - вертикальної ступені 5 і верхньої - наклонної ступені 6; установки 7 для дожига відхідних газів, виконаної у вигляді горелки 8 для дожига природного газу, і фурми 9 для подачі повітря; установки для охолодження нижньої ступені - шахти газоходу і вертикального і наклонного газоходів, виконаної у вигляді кесона 9, на якому приварені півтруби 10, з'єднані з колекторами 11; барабана-сепаратора 12, з'єданого з кесонами з трубопроводом 13 для подачі води до кесонам і паропровода за допомогою паропровода 14 для підводу пароводяної суміші до барабану-сепаратора; питательних насосов 15; установки для очищення води 16;

циклонов 17 для очищення відхідних газів на першій стадії; фільтра тонкою очистки газу 18; установки для сушки сжатого повітря – 19 і пневмоімпульсної камери фільтра 20 [37].

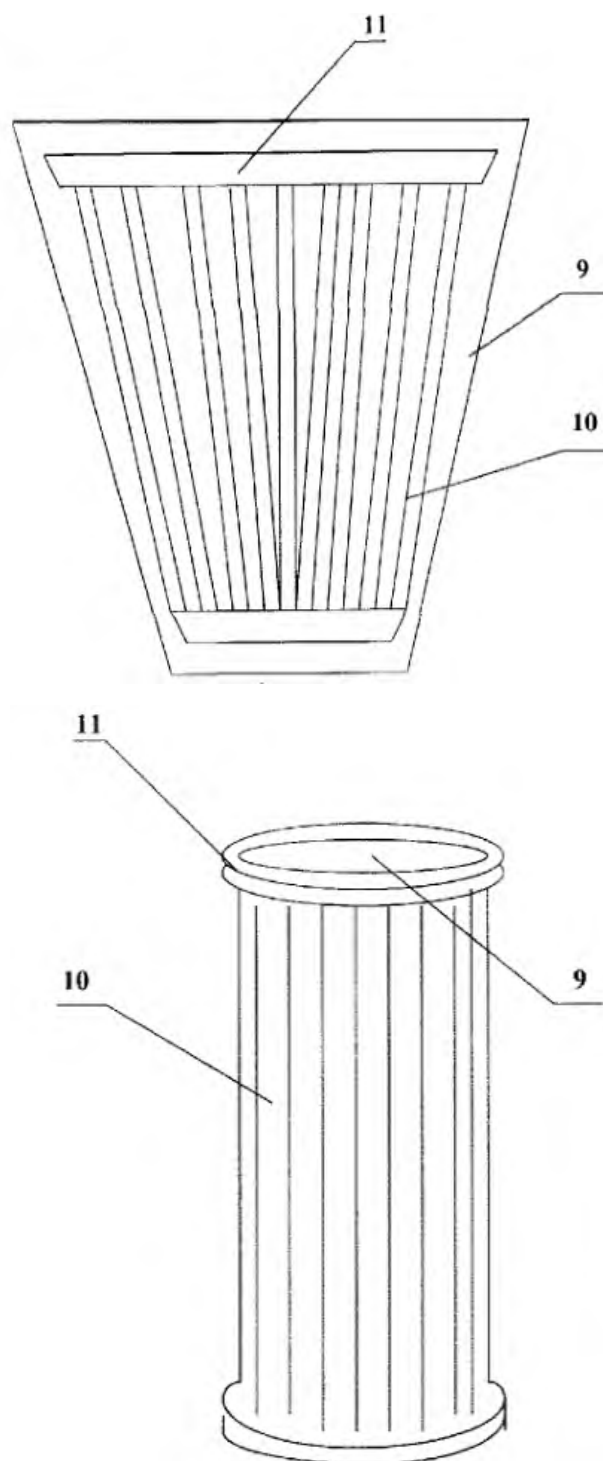


Рисунок 5.1 – Установка для очищення газів, що відходять, руднотермічних печей

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Силікокальцій, зокрема марок СК10-СК30, є активним комплексним розкислювачем, ефективним десульфатором, дегазатором чавуну і сталі. Силікокальцій широко використовують як модифікатор сірого чавуну та сталі.

Модифікування сталі кальцієм проводиться в сталерозливному ковші за двома технологічними варіантами:

– вдуванням за допомогою пневмокамерних живильників порошкоподібного SiCa;

– введенням SiCa в сталь за допомогою трайб-апаратів у дроті.

2. При обробці різних груп сталей кальцій-порошковим дротом покращуються фізико-хімічні властивості та структура сталі (зокрема можливе отримання в металі включень різних типів: недеформованих, підвищеної в'язкості; рідких, що не деформуються; пластичних деформованих; твердих деформованих).

3. З техніко-економічної точки зору силікокальцій марок СК10 та СК15 більш доцільно виплавляти силікотермічним процесом, використовуючи у якості відновника ФС65, а силікокальцій марок СК25 та СК30 вуглетермічним процесом, використовуючи у якості відновника кварцит та кокс.

4. При виробництві силікокальцію із вмістом кальцію більше 30% різко зростають витрати, при цьому виникають труднощі з відокремленням феросплаву від шлаку, тому всі світові виробники, як правило, обмежуються виготовленням силікокальцію марки СК-30. Виплавляють силікокальцій в рафінувальних печах типу РКО-2,5, РКО-3,5 та відновлювальних печах типу РКО-16,5, РКЗ-16,5.

5. Показано доцільність в лабораторних умовах в печі типу РКЗ-16,5 виплавку силікокальцію вуглетермічним способом з використанням у шихті брикетів з доданням кускового вапняку. Виплавку силікокальцію ведуть безперервним процесом. Розливка силікокальцію зазвичай проводиться на стрічковій конвеєрній машині.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Застосування порошку кальцію в металургійній промисловості. URL: <http://m.ua.ffcoredwire.com/info/application-of-silicon-calcium-powder-in-metal-54973439.html> (дата звернення: 03.04.2024)
2. Використання та біологічна роль магнію, лужноземельних металів та їх сполук. URL: <https://www.miyklas.com.ua/p/himija/11-klas/neorganichni-rechovini-ta-yikhni-vlastivosti-359810/magnii-ta-luzhnozemelni-metali-kaltcii-kaltcii-gidroksid-360928/re-5bcd83c5-1dee-40c3-952d-4da74f634e50> (дата звернення: 03.04.2024)
3. Роль додавання кальцію у виробництві сталі. URL: <https://ua.aonalloy.com/info/the-role-of-adding-calcium-in-steelmaking-96550052.html> (дата звернення: 03.04.2024)
4. Ферокремнієвий-кальцієвий порошковий дріт. URL: <https://ua.aonalloy.com/cored-wires-6/ferro-silicon-calcium-cored-wire.html> (дата звернення: 03.04.2024)
5. Воденнікова О. С., Воденнікова Л. В. Десульфурація сталі : сучасні технології, тенденції та перспективи. *Метал та лиття України*. 2022. № 1(328). С. 42–53.
6. Сігарьов Є. М. Конспект лекцій з навчальної дисципліни «Позаагрегатна обробка розплавів» освітньо-професійної програми підготовки магістрів за напрямом 136 Металургія. Кам'янське : ДДТУ. 2016. 42 с.
7. Богушевський В. С., Василенко Б. В. Сучасний рівень позапічної обробки сталі. *Спеціальна металургія : вчора, сьогодні, завтра* : матеріали XIV Всеукраїнської науково-практичної конференції (Київ, 19 квітня 2016 р.). Київ : НТУУ «КПІ», 2016. С. 99–106.
8. Богушевський В. С., Єгоров К. В., Макану А. В. Позапічна обробка сталі. URL: [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://www.fhotm.kpi.ua/sworks/05/bogushevskiy\\_article\\_2010.pdf](chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://www.fhotm.kpi.ua/sworks/05/bogushevskiy_article_2010.pdf) (дата звернення: 04.04.2024).

9. Украинская ассоциация сталеплавильщиков. Информационный портал о чёрной и цветной металлургии. Модифицирование стали. URL: <https://www.uas.su/books/2011/kslitok/71/razdel71.php> (дата звернення: 04.04.2022).

10. Модифікування сірого чавуну. URL: <https://iua.waykun.com/articles/modifikuvannja-sirogo-chavunu-metalotorgovogo.php> (дата звернення: 04.04.2022).

11. Воденніков С. А., Тарасов В. К., Воденнікова О. С. Конструкція агрегатів чорної металургії : навч.-метод. посібн. для студентів ЗДІА спеціальностей 7.05040101, 8.05040101 «Металургія чорних металів». Запоріжжя : ЗДІА, 2011. 192 с.

12. Ресурсні елементні кошторисні норми на монтажні роботи. Збірник 9 «Електричні печі». URL: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://e-construction.gov.ua/files/upload/2022-12-02/9e62436b-b13d-4557-9a58-ba914605d0eb.pdf> (дата звернення: 04.04.2022).

13. Промислові способи випалу і плавки. URL: <http://um.co.ua/11/11-6/11-66613.html> (дата звернення: 04.04.2022).

14. Дробарка щокова СМД-109. URL: <https://zavodgooprogress.com.ua/ua/p114363496-drobilka-schekovaya-smd.html> (дата звернення: 04.04.2022).

15. Горуненко І. С. Аналіз особливостей технології виплавки феросилікокальцію вуглетермічним процесом : кваліфікаційна робота магістра спеціальності 136 «Металургія» / наук. керівник О. С. Воденнікова. Запоріжжя : ЗНУ, 2020. 83 с.

16. Горуненко І. С., Воденнікова О. С., Воденнікова Л. В. Дослідження технології виплавки силікокальцію вуглетермічним процесом. Матеріали XXIV науково-технічної кон-ференції студентів, магістрантів, аспірантів, молодих вчених та викладачів. Т 1. Металургія як основа сучасної промисловості (Запоріжжя, 26–29 листопада 2019 р.). Запоріжжя : ІІ ЗНУ,

2019. С. 37–38.

17. Горуненко І. С., Воденнікова О. С., Воденнікова Л. В. Дослідження технологічних особливостей виплавки силікокальцію на брикетах. Збірник наукових праць магістрантів факультету металургії. Запоріжжя : П ЗНУ. 2019. № 1(15). С. 61–66.

18. Matochkin V. A., Terietski S. V., Glenchenko A. V., Djudkin D. A., Kisilenko V. V. OUT-OF-FURNACE PROCESSING OF STEEL WITH CALCIUM-SILICON CK-40 IN CONDITIONS OF RUP «BELORUSSIAN METALLURGICAL WORKS». *Litiyo i Metallurgiya (FOUNDRY PRODUCTION AND METALLURGY)*. 2006. No. 1. pp. 84–87.

19. . Козлов Г.О. Руднотермічні печі : навч. посіб. для самостійної роботи студентів спеціальності 5.090409.01 «Електрометалургія сталі і феросплавів» з дисципліни «Конструкція електрометалургійних агрегатів». Нікополь : НТ НМетАУ, 2005. 23 с.

20. ДСТУ prEN 12937-2002. Безпечність машин. Технічні правила та вимоги до підйимально-транспортних засобів ; прийнятий з 12.06.2002 р. ; чинний від 01.07.2003. № 357.

21. ДСТУ Б В.1.1-36:2016. Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою ; прийнятий з 15.06.2016 р. ; чинний від 01.01.2017. № 158.

22. НАПБ А.01.001-2014. Правила пожежної безпеки в Україні ; прийнятий з 30.12.2014 р. ; чинний від 07.04.2023. № 1417.

23. ДБН В.1.1.7-2016. Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги ; затверджено та наказом Мінрегіоном України від 31.10.2016 р №237 та введений в дію з 01.06.2017 р. Київ : Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2017. 35с.

24. ДБН В.2.5-28:2018. Природне і штучне освітлення ; прийнятий з 03.10.2018 р. ; чинний від 01.05.2019. № 264.

25. ДСТУ 2867-94 Шум. Методи оцінювання виробничого шумового навантаження. Загальні вимоги ; прийнятий з 08.12.1994 р. ; чинний від

01.01.1996. № 310.

26. ДСТУ Б EN 15242:2015. Вентиляція будівель. Розрахункові методи визначення витрат повітря на вентиляцію будівель з урахуванням інфільтрації (EN 15242:2007, IDT) ; прийнятий з 30.12.2015 р. ; чинний від 01.10.2016. № 358.

27. ДСТУ ISO 9978:2014. Радіаційна безпека. Закриті радіоактивні джерела. Методи випробовування на витік (ISO 9978:1992, IDT) ; прийнятий з 20.05.2014 р. ; чинний від 01.10.2014. № 573.

28. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень ; прийнятий з 01.12.1999 р. №42. Київ, 12 с.

29. Наказ № 569 від 19.03.2021 Про затвердження Мінімальних вимог щодо безпеки та здоров'я на роботі в металургійній промисловості. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0606-21#Text> (дата звернення: 01.03.2024)

30. Забезпечення техногенної безпеки на підприємстві. URL: <https://pro-op.com.ua/article/933-pravila-tehnogenno-bezpeki> (дата звернення: 01.12.2023).

31. Грибан В. Г., Казначеев Д. Г., Бойко О. І. Безпека життєдіяльності та охорона праці у схемах : навч. посіб. Дніпро : ДДУВС, 2019. 228 с.

32. Ізгородін В. А. Охорона праці на підприємстві : практич. посіб. з розробки та ведення документації. Київ : Видавництво «ФОРТ», 2019. 440 с.

33. Грибан В. Г., Казначеев Д. Г., Бойко О. І. Безпека життєдіяльності та охорона праці у схемах : навч. посіб. Дніпро : ДДУВС, 2019. 228 с.

34. Пістун І. П., Катренко Л. А., Кіт Ю. В. Охорона праці : навч. посіб. з практикумом. Київ : Університетська книга, 2020. 540 с.

35. Промислова витяжка, аспірацій на система та вентиляція виробничих приміщень. URL: <https://www.vent.te.ua/promvent> (дата звернення: 03.04.2024)

36. Організація проведення евакуаційних заходів. Види евакуації, утворення регіональних, місцевих та об'єктових органів з евакуації, планування евакуації. URL: <chrome->

extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://nuczu.edu.ua/images/topmenu/osvitnya\_diyalnosti/slugbova\_pidgotovka/navchalno\_metoduchne\_zabezpechennya/profilna\_pidgotovka/14.pdf (дата звернення: 03.04.2024)

37. Спосіб очищення газів, що відходять, руднотермічних печей та пристрій для його здійснення. URL: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://patentimages.storage.googleapis.com/68/a0/ce/ae24046a386c0d/RU2190171C1.pdf (дата звернення: 03.04.2024)