МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ІМ. Ю.М.ПОТЕБНІ

Металургійних технологій, екології та техногенної безпеки
(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота / проєкт

другий (магістерський)
(рівень вищої освіти)

на тему_ **Особливості технології виробництва магнезіальних вогнетривів**

Виконав: студент _II курсу, групи_8.1363-мчм
спеціальності 136 Металургія
(код і назва спеціальності)
освітньої програми Металургія чорних металів_
(код і назва освітньої програми)
спеціалізації _____
(код і назва спеціалізації)
В.М.Боровик
(ініціали та прізвище)

Керівник __доц., к.т.н., доц. Воляр Р.М.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)
Рецензент_ доц., к.т.н., доц. Кириченко О.Г.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Запоріжжя
2024

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра Металургійних технологій, екології та техногенної безпеки
Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Спеціальність 136 Металургія
(код та назва)
Освітня програма Металургія чорних металів
(код та назва)
Спеціалізація _____
(код та назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри_____
«_____»_____20____року

З А В Д А Н Н Я

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ/ПРОЄКТ СТУДЕНТОВІ (СТУДЕНТЦІ)
Боровику Володимиру Миколайовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи (проєкту) Особливості технології виробництва магнезіальних вогнетривів _____
_____
керівник роботи Воляр Роман Миколайович, к.т.н., доц.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом ЗНУ від «28» лютого 2024 року №359-с

2 Строк подання студентом роботи 10.12.2024

3 Вихідні дані до роботи Дослідити технологічні особливості виробництва магнезіальних вогнетривів
_____

4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)
Реферат; вступ; Технологічні основи виробництва магнезіальних вогнетривів; Матеріали та методи дослідження; Фізико-хімічні і технологічні властивості компонентів шихти та їх вплив на стійкість периклазовуглецевих вогнетривів; Охорона праці та техногенна безпека; Висновки; Перелік джерел посилання; Додаток А

5 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) 19 креслень
_____

6 Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Загальна частина. Технологічні основи виробництва магнезіальних вогнетривів	Воляр Р.М., доцент		
Матеріали та методи дослідження	Воляр Р.М., доцент		
Фізико-хімічні і технологічні властивості компонентів шихти та їх вплив на стійкість периклазовуглецевих вогнетривів	Воляр Р.М., доцент		
Охорона праці та техногенна безпека	Воляр Р.М., доцент		

7 Дата видачі завдання_____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ, реферат	21.11-25.11.2024	
2	Технологічні основи виробництва магнезіальних вогнетривів	26.11-30.11.2024	
3	Матеріали та методи дослідження	01.12-04.12.2024	
4	Фізико-хімічні і технологічні властивості компонентів шихти та їх вплив на стійкість периклазовуглецевих вогнетривів	05.12-08.12.2024	
5	Охорона праці та техногенна безпека	09.12-10.12.2024	
6	Висновки, перелік джерел посилання	10.12.2024	

Студент _____ _____В.М.Боровик_____
(підпис) (ініціали та прізвище)

Керівник роботи (проекту) _____ ____Р.М.Воляр_____
(підпис) (ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер _____ _____О.Г.Кириченко___
(підпис) (ініціали та прізвище)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 120 с., 38 табл., 31 рис., 1 дод., 26 джерел

МАГНЕЗІАЛЬНІ ВОГНЕТРИВИ, ФОРМУВАННЯ, ПРЕСУВАННЯ, МОДИФІКАЦІЯ, АРМУВАННЯ, ТЕРМОСТІЙКІСТЬ, ФУТЕРОВКА, ВУГЛЕЦЕВІ ВОЛОКНА

Об'єкт дослідження – композиційний периклазовуглецевий матеріал з підвищеною зносостійкістю, застосовуваний для виготовлення формованих виробів для футеровки сталерозливних ковшів.

Предмет дослідження – склад шихти, спосіб виготовлення периклазовуглецевих матеріалів і вплив їх на фізико-хімічні та експлуатаційні властивості вогнетривких виробів.

Мета роботи – розробка композиційного магнезіального периклазовуглецевого формованого виробу з високими експлуатаційними властивостями для футерування металургійних агрегатів.

Методи дослідження – фізико-хімічні положення структуроутворення вогнетривких матеріалів з урахуванням сучасних тенденцій підвищення їх експлуатаційних властивостей. У роботі використовували сучасні методи дослідження зернового, хімічного і мінерального складу, форми, стану і структури поверхні дисперсних матеріалів і визначення керамічних і експлуатаційних властивостей вогнетривких матеріалів і виробів на їх основі.

Наукова новизна:

1. Встановлено фізико-хімічні та технологічні закономірності модифікування периклазовуглецевих вогнетривів при введенні в їх склад вуглецевих волокон і карбідокремнієвого антиоксиданту.

2. Розроблено якісні критерії для оцінки основних компонентів шихти (периклазу, графіту, сполучного), що застосовуються у виробництві периклазовуглецевих вогнетривів для футеровки сталерозливних ковшів. Запропоновано обробка вуглецевих волокон ПАВом для рівномірного розподілу в шихті периклазовуглецевих вогнетривів. Встановлено, що вуглецеві волокна формують армовану структуру ма-

триці вогнетриву і запобігають високотемпературній усадці виробів. При цьому підвищуються термостійкість, межі міцності на стиснення, вигин і розтягнення (відповідно на 13, 20 і 13%), зменшується швидкість зносу футеровки сталерозливного ковша на 0,2 мм за плавку.

3. Визначено, що введення карбіду кремнію як антиоксиданту формує щільну і монолітну структуру шва і периклазовуглецевих виробів з підвищеними міцністю та експлуатаційними властивостями, збільшуючи їх стійкість в сталерозливних ковшах киснево-конверторного цеху на 11%.

Практичне значення:

1. Розроблено склад і технологію виготовлення периклазовуглецевих формованих вогнетривів, армованих вуглецевими волокнами.

2. Виготовлені і випробувані дослідні партії виробів для футеровок сталерозливних ковшів. Показано, що розроблені периклазовуглецеві вогнетриви володіють підвищеними експлуатаційними характеристиками в порівнянні з серійними виробами.

Розроблені й оптимізовані параметри дискретних вуглецевих волокон, складені з урахуванням результатів виконаних досліджень.

У вступі обґрунтований обраний напрям досліджень, визначені мета та шляхи його досягнення.

У розділі 1 наведено технологічні основи виробництва магнезіальних вогнетривів; загальні положення технології вогнетривів; техніко-економічні показники виробництва цеху магнезіальних вогнетривів ПАТ «Запоріжвогнетрив»; фізико-хімічні та технологічні передумови розробки технології модифікованих магнезіальних вогнетривів

У розділі 2 наведено матеріали та методи дослідження, які використовувалися в роботі.

У розділі 3 досліджені фізико-хімічні і технологічні властивості компонентів шихти та їх вплив на стійкість периклазовуглецевих вогнетривів.

У розділі 4 «Охорона праці та техногенна безпека» розглянуто основні шкідливі та небезпечні фактори в роботі вогнетривного цеха.

Розроблена технологія рекомендується для дослідно-промислових випробувань в вогнетривних цехах України.

ЗМІСТ

Вступ 9
1 Технологічні основи виробництва магнезіальних вогнетривів 11
1.1 Класифікація магнезіальних вогнетривів 11
1.2 Загальні положення технології вогнетривів 15
1.2.1 Підготовка вихідних матеріалів 17
1.2.2 Речовинний склад вогнетривів 18
1.2.3 Технологічні схеми виробництва 21
1.2.4 Змішування компонентів 22
1.2.5 Загальні методи формування виробів 22
1.2.6 Пресування і кування магнезіальних виробів 25
1.2.7 Сушка виробів і їх транспортування 29
1.2.8 Випал виробів і їх транспортування 29
1.3 Техніко-економічні показники виробництва цеху магнезіальних вогнетривів ПАТ «Запоріжвогнетрив» 30
1.3.1 Загальна характеристика підприємства ПАТ «Запоріжвогнетрив» 30
1.3.2 Аналіз управління використання сировини на ПАТ «Запоріжвогнетрив» 31
1.3.3 Характеристика основних заходів зниження норм витрат сировини на виробництво продукції 43
1.4 Фізико-хімічні та технологічні передумови розробки технології модифікованих магнезіальних вогнетривів 45
1.4.1 Фізико-хімічні передумови розробки MgO-C вогнетривів з зносостійкого структурою 47
1.4.2 Термодинамічний аналіз процесів взаємодії в системі MgO-C 48
1.4.3 Новітні досягнення в області армування магнезіальних оксидновуглецевих вогнетривів 49
1.4.4 Аналіз ефективності застосування різних антиоксидантів при модифікуванні структури і властивостей вогнетривів 55
2 Матеріали та методи дослідження 58
2.1 Технологія виготовлення лабораторних зразків 61

2.2 Виготовлення периклазовуглецевих вогнетривів 63
3 Фізико-хімічні і технологічні властивості компонентів шихти та їх вплив на стійкість периклазовуглецевих вогнетривів 67
3.1 Вибір виду периклазу і його вплив на властивості виробів 67
3.2 Дослідження окисленості вуглецьвмісних зразків 74
3.3 Вплив дискретних вуглецевих волокон на властивості лабораторних зразків 76
3.3.1 Характеристики армуючих матеріалів 77
3.3.2 Дослідження структури волокон 79
3.3.3 Вплив волокон на фізико-керамічні властивості периклазовуглецевих зразків 81
3.4 Дослідне виготовлення і промислові випробування магнезіальної футеровки сталерозливних ковшів, армованих вуглецевим волокном 85
3.4.1 Вихідні матеріали для футеровки сталерозливних ковшів ККЦ 85
3.4.2 Промислові випробування виробів, армованих вуглецевими волокнами 86
3.4.3 Розробка технології зносостійких магнезіальних периклазовуглецевих виробів з введенням карбідкремнієвих антиоксидантів 88
3.4.3.1 Вплив фракційного складу карбіду кремнію на властивості лабораторних зразків 89
3.4.3.2 Оптимізація кількості карбідкремнієвого антиоксиданту в шихті периклазовуглецевих вогнетривів 90
3.4.3.3 Промислові випробування робочої футеровки сталерозливних ковшів ККЦ 92
3.4.3.4 Дослідження шовних поверхонь ковшових виробів після експлуатації 94
4 Охорона праці та техногенна безпека 100
4.1 Техніка безпеки у вогнетривному цеху 100
4.1.1 Основні шкідливі та небезпечні фактори виробництва 100
4.1.2 Заходи щодо усунення шкідливих та небезпечних факторів 101
4.1.3 Електроустаткування 103
4.1.4 Природне та штучне освітлення 104

4.1.5 Вентиляція 105
4.1.6 Побутові та допоміжні приміщення 106
4.1.7 Індивідуальні засоби захисту 107
4.2 Протипожежна безпека 108
4.2.1 Характеристика виробництва з вибухопожежної небезпеки 108
4.2.2 Засоби гасіння пожеж 110
Висновки 111
Перелік джерел посилання 113
Додаток А Публікації за темою кваліфікаційної роботи 115

ВСТУП

Інтенсивний розвиток науки і техніки, впровадження нових виробничих процесів в металургії вимагають створення високоякісних вогнетривких матеріалів, до яких пред'являються підвищені вимоги. Для забезпечення працездатності футерування сталерозливних ковшів недостатньо добитися не лише підвищення механічної міцності магнезіальних вогнетривів. Необхідно, щоб магнезіальний композиційний матеріал також був схильний протистояти агресивному хімічному впливу середовища, мав високі теплофізичні властивості, ерозійну стійкість, відповідав ряду інших вимог, що визначають критерії працездатності в процесі тривалої експлуатації, а, отже, впливають на техніко-економічні показники високотемпературних процесів.

Початком виникнення питання формування зносостійкого структури і регулювання властивостей оксидновуглецевих вогнетривів є «світовий» перехід з мартенівського способу виробництва сталі на електродуговий і конвертерний. Основними матеріалами футеровок стали оксидновуглецеві вогнетриви (периклазографітові, периклазокорундографітові, корундографітові і т.п.).

Для всіх вуглецевмісних вогнетривів (магнезіальнографітових, корундографітових) існує проблема збереження вуглецю за рахунок застосування природного якісного графіту з високим вмістом вуглецю і введення антиокислювальних добавок.

У виробництві сталі периклазовуглецеві вироби є одними з найбільш високовогнетривких і хімічно стійких матеріалів, що володіють високими характеристиками міцності і корозійностійкими властивостями. Однак термостійкість периклазовуглецевих виробів не відповідає вимогам виробництва. Це пояснюється значним температурним коефіцієнтом лінійного розширення (ТКЛР) і, як наслідок, високими температурними деформаціями, що викликають напругу в матеріалі при нагріванні і охолодженні футерування.

Одним з відомих способів підвищення термостійкості є метод армування вогнетривких виробів волокнистими матеріалами.

В процесі служби вогнетривів спостерігається випереджаючий знос формова-

них виробів з шовними поверхнями, так званий «знос бруківкою». Формуванням монолітного шару робочої частини футеровки сталерозливного ковша на протязі останніх десятиліть вивчали багато провідних вчених - вогнетривники Японії, Німеччини, Росії, України і т.д.

Тому основним завданням роботи було розробка та дослідження сучасного способу виробництва магнезіальних вогнетривів.

1 ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ВИРОБНИЦТВА МАГНЕЗІАЛЬНИХ ВОГНЕТРИВІВ

1.1 Класифікація магнезіальних вогнетривів

В основу сучасної концепції по класифікації магнезіальних вогнетривів покладено такі принципи [1]:

- десяткове кодування магнезіальних вогнетривів для їх моделювання і використання в різних комп'ютерних розрахунках;
- розташування оксидів (елементів) магнезіальних вогнетривів в Періодичній системі елементів Д. І. Менделєєва для їх системного фізико-хімічного дослідження;
- застосування багатокомпонентних діаграм стану (по А. С. Бережному) для встановлення масових часток основних оксидів і їх взаємодії;
- використання закономірностей дисперсних систем для їх структурно-механічного та термомеханічного дослідження.

Для десяткового кодування магнезіальних вогнетривів прийнята наступна схема класифікації:

— клас - вогнетриви (номер - перші дві цифри);

— підклас - магнезіальні вогнетриви (номер - третя цифра);

— група (номер - четверта цифра);

— підгрупи (номер - п'ята цифра);

— види (номер - шоста цифра);

— склади (номер - сьома - десята цифра).

До групи магнезіальних вогнетривів входять десять підгруп, в кожну підгрупу - по 10 видів, в кожен вид - 1000 складів і так далі. Така класифікація магнезіальних вогнетривів дає можливість їх кодувати із загальним обсягом кодування не менше 105 складів.

За ступенем термічної обробки вихідних сировинних матеріалів, отримані при цьому продукти - порошкові вогнетриви поділяються на такі види:

1. каустичні - при 500-1000 ° С;

2. низькоспечені - при 1000-1500 ° С;

3. спечені - при 1500-1800 ° С;

4. високоспечені - при 1800-2000 ° С;

5. плавлені - при 2000-3000 ° С.

Основним завданням технології вогнетривів є переведення дисперсних порошкових систем в монолітні системи. Це переведення здійснюється за двома головними технологіями, відповідно до яких всі вогнетриви поділяються на групи:

1. Виготовлення по бетонній технології - використання низьких температур; в основі формування лежать процеси твердіння і знеміцнення; за цією технологією все вогнетриви поділяються на групи: бетонні (невипалені, термооброблені) і небетонні (обпалені).

2. Виготовлення за класичною технологією - використання високих температур; в основі формування лежать процеси спікання і лиття; за цією технологією все вогнетриви поділяються на групи: невипалені (бетонні), обпалені і литі (небетонні).

Тому між бетонними і невипаленими вогнетривами немає принципової відмінності, а їх назва визначається тільки тим, з позиції якої технології вони розглядаються.

У меншій мірі переведення дисперсних системи в монолітні проводиться шляхом їх термообробки, лиття і газоосадження.

У зв'язку з цим за основним процесом формування магнезіальні вогнетриви поділяються на п'ять груп продукції, що випускається вогнетривними заводами або окремими цехами:

1 порошкові вогнетриви: металургійні заправні порошки, наповнювачі, суміші, мертелі, цементи, маси та ін. (процес адгезійного зчеплення частинок);

2 бетонні (невипалені) вироби: ковані, пресовані, трамбовані, вібровані, литі вироби і блоки (процес затвердіння до температури 300 °С);

3 термооброблені вироби (процес зміцнення - знеміцнення при 300-1000 °С);

4 обпалені вироби (процес спікання при 1000-1900 °С);

5 литі вироби (процес формування з розплавів).

Ці товари мають не тільки самостійне значення, але і можуть бути пов'язані

між собою технологічними параметрами з переходом однієї групи в іншу: порошкові вогнетриви → бетонні (невипалені) вироби → термооброблені → обпалені → литі.

В результаті за структурою виробництва все магнезіальні вогнетриви поділяються на три групи:

I Порошкові вогнетриви.

II Невипалені вироби.

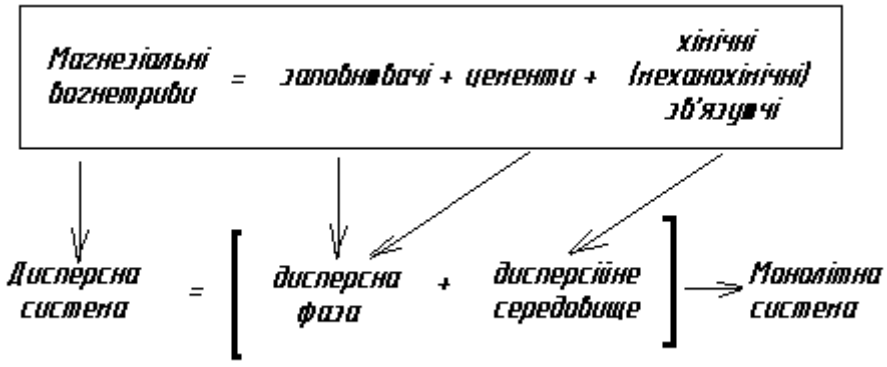
III Обпалені вироби.

За хіміко-мінералогічним складом магнезіальні вогнетриви класифікуються на наступні основні підгрупи: магнезіальновуглецеві (MgO-C), магнезіальношпінельні ($MgO-A1_2O_3$), магнезіальносилікатні ($MgO-SiO_2$), магнезіальновапнякові (MgO-CaO), магнезіальношпінелідні ($MgO-Cr_2O_3$) і магнезіальноцирконієві ($MgO-ZrO_2$).

Така класифікація визначає область магнезіальних вогнетривів і впорядковує їх номенклатуру (табл. 1.1).

З огляду на те, що до вогнетривів нового покоління відносяться тільки екологічно чисті вогнетриви, в даній роботі докладно не розглянуті хромвмісні (магнезіальношпінелідні) вогнетриви, що відносяться до 1-го класу небезпеки через наявність в них канцерогенного шестивалентного хрому.

Магнезіальні вогнетриви є дисперсні системи, що містять в якості дисперсної фази наповнювачі і цементи, а в якості дисперсійного середовища - зв'язуючі. З підвищенням тиску і температури вони переходять в монолітні системи:



За кількістю введеного цементу магнезіальні вогнетриви підрозділяють на наступні види: звичайні - 15-35% цементу, низькоцементні - 5-15%, ультранизькоцементні - менше 5% і безцементні вогнетриви.

Таблиця 1.1 – Класифікація магнезіальних вогнетривів по хіміко-мінеральному складу

№ типу	Тип (номер елемента в Періодичній системі Д. І. Менделєєва)	№ Група (номер груп-елемента в періодичній системи Д. І. Менделєєва)	№ під-групи	підгрупа	Вміст, мас. %
4	магнезіальні: MgO (12) 4.1. - C (6) 4.2. - Al_2O_3 (13) 4.3. - SiO_2 (14) 4 4. - CaO (20) 4.5. – Cr_2O_3 (24) 4.6. - ZrO_2 (40)	4.1 Магнезіально-вуглецеві MgO (12) - C (6)	4.1.1	Периклазовуглецеві	MgO 65-80, C 5-20
			4.1.2	Периклазошпінельновуглецеві	MgO > 40; $A1_2O_3$ 50-40; C 5-20
			4.1.3	Шпінельнопериклазовуглецеві	MgO 20-40; $A1_2O_3$ 40-60; C 5-20
			4.1.4	Шпінельнокорундовуглецеві	MgO 5-20; $A1_2O_3$ 60-75; C 5-20
			4.1.5	Периклазофорстерітовуглецеві	MgO 65-8; SiO_2 > 5; C 5-15
			4.1.6	Форстерітовуглецеві	MgO 50-65; SiO_2 15-30; C 5-15
			4.1.7	Форстерітоцирконовуглецеві	MgO 40-55; SiO_2 15-30; ZrO_2 5-15; C 5-15
			4.1.8	Переклазовапняковувуглецеві	MgO 45-70; CaO 3-35; C 5-20
			4.1.9	Вапняковоперикласовуглецеві	MgO 15-45; CaO 35-45; C 5-20
			4.1.10	Вапняковувуглецеві	CaO > 65; C 5-20
		4.2 Магнезіально-шпінельні MgO (12) - $A1_2O_3$ (13)	4.2.1	Периклазошпінельні	MgO > 40; $A1_2O_3$ 5-55
			4.2.2	шпінельні	MgO 20-40; $A1_2O_3$ 55-75
			4.2.3	Шпінельнокорундові	MgO 5-20; $A1_2O_3$ 75-95
		4.3 Магнезіально-силікатні, MgO (12) - SiO_2 (14)	4.3.1	Периклазофорстеритові	MgO 65-85; SiO_2 > 7
			4.3.2	форстеритові	MgO 50-65; SiO_2 20-45
			4.3.3	Форстеритоцирконові	MgO 45-60; SiO_2 15-30; ZrO_2 5-15
			4.3.4	Форстеритохромітові	MgO > 46; SiO_2 16-30; Cr_2O_3 8-12
			4.3.5	Хромітофорстеритові	MgO < 46; SiO_2 10-20; Cr_2O_3 <12
		4.4 магнезіальних вапняні MgO (12) - CaO (20)	4.4.1	Периклазові	MgO > 85; CaO < 6
			4.4.2	Периклазовапнякові	MgO 55-85; CaO 6-45
			4.4.3	Вапняковоперикласові	MgO 15-55; CaO 45-85
			4.4.4	вапняні	CaO > 85
			4.4.5	Периклазоалітовані	CaO < 50; SiO_2 < 10; MgO > 50
			4.4.6	Алітоперикласові	CaO> 50; SiO_2 < 20; MgO > 10
		4.5 Магнезіально-шпинелідні MgO (12) - Cr_2O_3 (24)	4.5.1	Периклазохромітові	MgO > 60; Cr_2O_3 5-20
			4.5.2	Хромітперикласові	MgO 40-60; Cr_2O_3 20-40
			4.5.3	Хромітові	MgO < 40; Cr_2O_3 > 30
		4.6 Магнезіально-цирконієві MgO (12) - ZrO_2 (40)	4.6.1	Периклазоцирконієві	MgO > 60; ZrO_2 5-20
			4.6.2	Цирконійперикласові	MgO 40-60; ZrO_2 20-55
			4.6.3	Периклазоцирконові	MgO > 60; ZrO_2 5-20; SiO_2 5-20
			4.6.4	Цирконоперикласові	MgO 40-60; ZrO_2 < 30; SiO_2 <30

Залежно від способу формування магнезіальні вогнетриви підрозділяються на ковані, пресовані, трамбовані, вібровані, литі і нанесені. За величиною пористості магнезіальні вогнетриви поділяються на групи:

Пористість ($П_{відкр}$), %

особощільні..... <3

високощільні..... 3-10

повишенощільні 10-15

ущільнені..... 15-20

середньощільні 20-30

низькощильні..... 30-45

високопористі 45-75

ультрапористі ..... > 75

Вогнетриви з пористістю > 30% називаються теплоізоляційними або скорочено - теплоупорами.

1.2 Загальні положення технології вогнетривів

Створення магнезіальних вогнетривів нового покоління засновано на комп'ютерній технології їх виробництва.

Сутність комп'ютерної технології магнезіальних вогнетривів нового покоління полягає в створенні технологічної моделі їх виробництва на основі системного підходу, визначення контрольних точок аналізу технологічних параметрів, встановлення датчиків контролю, розробки комп'ютерної програми і перенесення її в комп'ютер. Будь-яке відхилення від технологічних параметрів фіксується контрольним сигналом [2].

Отже, управління і контроль технологією виробництва вогнетривів здійснюють сучасним комп'ютером на основі моделювання технології.

В основі моделювання технології виробництва лежить певна структура, що характеризується одержуваною інформацією.

Структура виробництва магнезіальних вогнетривів повинна відповідати основній вимозі - їх необхідно виготовляти тільки по оптимальній технології, яка забезпечить отримання вогнетривів з заданими властивостями при найменших енергетичних матеріальних і трудових витратах.

Екологічність, комплексність, уніфікованість і безвідходність - це чотири основних складових техніко-економічної ефективності оптимальної технології виробництва магнезіальних вогнетривів [3].

Екологічні аспекти збереження природи при організації виробництва вогнетривів набувають першорядного значення. Використання різних хімічних і механічних зв'язуючих, вуглецевих компонентів, прискорювачів твердіння та пластифікаторів обумовлює необхідність проектування і будівництва повністю замкнутого безвідходного виробництва магнезіальних вогнетривів.

Комплексність включає в себе перш за все максимальне використання всієї

магнезіальної сировини. Розширення обсягів критого і бункерного складування різних видів магнезіальної сировини, усереднення кожного виду сировини є першочерговим завданням комплексної технології виробництва магнезіальних вогнетривів. Ця технологія включає в себе ряд заходів, починаючи від видобутку та посилення переробки сировинних компонентів до відвантаження споживачам уніфікованих вогнетривів різного виду: порошкоподібних (в контейнерах), у вигляді пресованих виробів (в пакетах) і блоків, покритих водостійкими плівками (в залізничних вагонах). При цьому передбачається повне використання пилу для виробництва цементів, стічних вод - для виробництва зв'язок і повне очищення газів, що відходять.

В основі уніфікації магнезіальних вогнетривів лежить: виготовлення уніфікованих сухих бетонних сумішей, використовуваних у споживача для виготовлення монолітних футеровок теплових агрегатів, а у виробника - для кованих, пресованих, трамбованих, віброваних і литих бетонних і обпалених виробів і блоків; випуск магнезіальних виробів і секцій уніфікованих розмірів, розрахованих на комп'ютерах, по комплексній безвідходній технології; вибір раціональних областей застосування магнезіальних вогнетривів.

Безвідходна технологія передбачає використання брухту відпрацьованих магнезіальних футеровок теплових агрегатів.

Безперервність процесів виробництва магнезіальних вогнетривів на основі максимальної механізації та автоматизації з використанням комп'ютерів і перфокарт, а в подальшому і роботизації - головне достоїнство застосування технології цих вогнетривів.

Оцінку ефективності виробництва магнезіальних вогнетривів визначають по їх максимальному коефіцієнту оптимальності футеровок, який зворотній величині сумарних питомих приведених витрат на їх виробництво і застосування.

Комплексна безвідходна технологія виробництва вогнетривів є цикл, що складається з окремих взаємозалежних операцій: підготовки вихідних матеріалів → речовий склад вогнетривів → технологічна схема виробництва → змішування компонентів → формування виробів → сушка → випал → контроль за кожною операцією → визначення властивостей → відвантаження споживачам. Технологічні параметри операцій закладаються в комп'ютери і кожен цикл оптимізується на моделях виробництва вогнетривів в ЕКМ-системі.

1.2.1 Підготовка вихідних матеріалів

Підготовка макрозаповнювачів полягає в дробленні вихідних матеріалів. Спочатку їх дроблять на щоковій дробарці до фракції 15-0 мм, потім розсіюють на похилому ситі або віброгрохоті на ситах № 15, 5, 3, 1 і повертають фракцію > 15 мм на повторне дроблення. Подальше дроблення наповнювачів до фракції, наприклад, 3-1 і 1-0 мм (отримання макрозаповнювачів) виробляють на конусних і двовалкової дробарках, досягаючи високого ступеня їх усереднення по зерновому і хімічному складі. Іноді наповнювачі дроблять до фракції 10-0 мм з розсіванням на дві фракції 10-3 і 3-0 мм або до 5-0 мм з розсіванням на фракції 5-1 і 1-0 мм. Для безцементних бетонів магнезіальні наповнювачі для активації поверхні зерен доцільно піддавати різним обробкам: хімічної (травлення поверхонь зерен), термічної (різким загартуванням).

Звичайні магнезіальні цементи отримують розмелом вихідних вогнетривких матеріалів в кульових, трубчастих або вібромлині до фракції <0,1 мм (<100 мкм) так, щоб фракції < 0,06 мм містилося не менш 95%. Для розмелу використовують і звичайні цементи, і суміш декількох матеріалів, і суміш цих матеріалів з сухими солями, різними добавками - механохімічні цементи, при цьому досягається високий ступінь механохімічної активації цементів. Дисперсні (<1 мкм) і ультрадисперсні (<0,01 мкм) цементи отримують в циклонах і електрофільтрах від випалювання або помелу магнезіальних матеріалів, після соосадження і випарювання розчинів або в хімічній промисловості, наприклад, отримуючи магнезію, білу і вуглецеву сажу, низькотермооброблені шпінелі і ін. Для таких цементів доцільно використовувати різні продукти газоочистки.

Хімічні зв'язуючі отримують зазвичай розчиненням солей в холодній воді (для запобігання гідролізу солей) в пропелерних змішувачах.

Механохімічні зв'язуючі виготовляють спільним розмелом вогнетривких матеріалів з хімічними зв'язуючими і з добавками порошків-металів при використанні екзотермічних зв'язуючих. Ці зв'язуючі повинні володіти найбільшою стабільністю таких властивостей, як щільність, в'язкість і pH.

В цілому необхідно посилювати переробку і підготовку вихідних матеріалів.

1.2.2 Речовинний склад вогнетривів

Вибір складу вогнетривів визначають конкретними умовами їх служби з використанням приватних моделей в ЕКМ-системі з метою забезпечення формування в вогнетривах найбільш зносостійкої структури - спочатку коагуляційної, а потім конденсаційно-кристалізаційної.

У звичайних магнезіальних вогнетривах міститься 65-75% наповнювачів, 15-35% вогнетривких цементів і 3-18% (понад 100%) хімічних, механохімічних або екзотермічних зв'язуючих. Їх кількість залежить від способу формування вогнетривів: 3-5% (понад 100%) зв'язок при виготовленні вогнетривів методом кування і пресування; 4-6% - методом трамбування; 7-12% - методом вібрації і 12-18% методом лиття. При цьому додають хімічні зв'язуючі оптимальної щільності: розчин поліфосфату натрію щільністю 1,40-1,50 г/см^3, розчин рідкого скла щільністю 1,30-1,35 г/см^3, розчин сірчанокислого магнію щільністю 1,20-1,22 г/см^3 і розчин лігносульфонату щільністю 1,20-1,22 г/см^3. Використання розчину поліфосфату натрію забезпечує отримання найбільш якісних безвипалювальних (бетонних) виробів [1].

У низькоцементні вогнетриви вводять 5-15% цементів, в ультранизькоцементні - менше 5%, а безцементні вогнетриви виготовляють взагалі без цементу. Чим тонше помел цементу, тим в меншій кількості його вводять в вогнетриви. У безцементних ж вогнетривах процеси твердіння відбуваються внаслідок взаємодії активованих поверхонь зерен заповнювачів з хімічними зв'язуючими.

Зерновий склад шихт вогнетривів практично не залежить від виду наповнювачів і цементів. При використанні фракції 15-0 мм зерновий склад шихт виробів наступний (± 5%): а) наповнювачі: фракції 15- 5 мм - 25%; 5-1 мм - 30%; 1-0 мм - 15%; б) цементи: фракції менше 0,06 мм - 30%.

При використанні фракції 10-0 мм (± 5%): 10-3 мм - 45%; 3 0 мм - 25%; менше 0,06 мм - 30%.

При фракції 5-0 мм (± 5%): 5-1 мм - 55%; 1-0 мм - 20%; менше 0,06 мм - 25%.

Найбільш раціональний зерновий склад звичайних магнезіальних шихт для кування і пресування виробів (± 5%) наступний:

—фракції 3-1 мм - 45%;

—фракції 1-0 мм - 25%;

—фракції менше 0,06 мм - 30%.

Такий зерновий склад шихт забезпечує найбільш щільне укладання зерен. При цьому вміст у шихті фракції менше 0,06 мм в кількості більше 35% не допускається з огляду на утворення перепресовок в сирці.

Хімічний і фазовий склад в'яжучих для магнезіальних вогнетривів змінюється в дуже широких межах - від високоглиноземистого і алітоперіклазового цементу з водою до периклазового цементу з розчинами поліфосфатних солей.

Основна властивість вогнетривких цементів - терміни їх схоплювання, які істотно залежать від виду додаваних до них хімічних зв'язуючих (табл. 1.2).

Таблиця 1.2 - Терміни схоплювання вогнетривких цементів на різних хімічних зв'язуючих

Хімічні зв'язуючі	Терміни схоплювання, год. / хв.	
	початок	закінчення
Периклазовий цемент		
вода	4-20	22-40
поліфосфат натрію	25-00	46-30
сірчанокислий магній	2-05	4-05
Рідке скло	0-15	0-30
форстеритовий цемент		
вода	22-20	27-20
поліфосфат натрію	26-00	35-00
сірчанокислий магній	10-30	24-00
Рідке скло	2-35	8-00
високоглиноземний цемент		
вода	2-30	6-40
поліфосфат натрію	2-00	6-05
сірчанокислий магній	7-30	22-30
Рідке скло	1-56	3-35

Найбільший вплив на терміни схоплювання периклазового, форстерітового і високоглиноземистого цементів, незалежно від виду зв'язок, надає оксид кальцію у вільному вигляді (вапно) і у вигляді кальційвмісних матеріалів (периклазовапняковий порошок, ферохромовий шлак, портландцемент і ін.). Оптимальна добавка для цих цементів - 3% ферохромового шлаку, який різко скорочує терміни схоплювання цементів. Так, терміни схоплювання цементів на розчині поліфосфату натрію з до-

бавкою 3% ферохромового шлаку становлять (год./хв.):

Периклазового .....початок 2-30; закінчення 5-30

форстеритові .....початок 0-40; закінчення 5-00

Введення у цементи 6-7% ферохромового шлаку з використанням розчину поліфосфату натрію зменшує термін початку схоплювання цементів до 10-20 хв., а закінчення схоплювання - до 20-30 хв.

Крім того, в магнезіальні вогнетриви додають (понад 100%) до 3-15% домішок.

Противоусадочні добавки до магнезіальних вогнетривів: корунд, кварцит і ін. Добавка 10-15% корунду в тонкомолотому вигляді (фракції не менше 0,1 мм) забезпечує повну постійність обсягу магнезіальних вогнетривів. Збільшення кількості корунду призводить до формування зростаючих магнезіальних вогнетривів внаслідок утворення шпінелі $MgAl_2O_4$, що супроводжується збільшенням обсягу на 8%. Добавка кварциту внаслідок зростання самого кварциту і утворення форстериту зменшує усадку вогнетривів. Іншим шляхом зменшення усадки вогнетривів є підвищення максимального розміру зерен заповнювачів [4].

Особливе значення для постійності обсягу магнезіальних вогнетривів має введення в їх склад волокнистих матеріалів. Додавання сталевих волокон до цих виробів істотно підвищує їх опір до розтріскування і сколювання, збільшує високотемпературну міцність виробів. Для уповільнення утворення тріщин вводять 0,3-3,0% сталевого дроту діаметром 0,1-0,6 мм і довжиною 10-50 мм. Іноді в магнезіальних виробах з максимальним розміром заповнювача 15 мм використовують гнуту або скручену металеву арматуру, також підвищує стійкість до сколювання. У магнезіальноволокнисті вироби додають 1-15% органічних волокон: солому, нитки, деревна тирса або неорганічних волокон: азбесту, скловолокна, керамічних волокон, голчастих оксидів та ін.

Добавки, що пластифікують, зменшують коефіцієнт внутрішнього тертя в масах, що дозволяє зменшити їх вологість, скоротити витрату хімічних зв'язок і підвищити щільність виробів, наприклад, при використанні розчину поліфосфату натрію. Застосування ж твердофазних пластифікуючих добавок дозволяє іноді відмовитися від рідких зв'язуючих, наприклад, при використанні порошку СФП при сухому пресуванні виробів.

Інші добавки - пороутворюючі, екзотермічні, антиоксиданти, евтектичні (утворюють легкоплавкі евтектики, що переходять з підвищенням температури в високоз'єднання і ін.) - використовують для формування спеціальних структур магнезіальних вогнетривів.

1.2.3 Технологічні схеми виробництва

За першою звичайною технологією наповнювачі та вогнетривкі цементи змішують у змішувачах (сухе змішання) і отримують сухі суміші, які використовують для двох цілей: відвантажують споживачам в сухому вигляді або додають до сумішей хімічні зв'язки, потім суміші перемішують і використовують для приготування готових мас. Маси відвантажують споживачам для виготовлення або відновлення монолітних футеровок теплових агрегатів різними методами: трамбування, вібрації, лиття і торкретування. Маси використовують також для виготовлення бетонних блоків, панелей і окремих секцій футеровок методами: кування, пресування, трамбування, вібрації і лиття. Бетонні вироби, блоки і панелі зазвичай сушать при температурі 120-170 ° С протягом 8-24 год., а випалу піддають при температурі 1550-1650 °С, 5 год.

За другою механохімічною технологією виробляють спільний помел вихідних матеріалів для цементу, сухих солей і різних добавок, отримуючи механохімічні цементи. Ці цементи завантажують спільно з наповнювачами в змішувач, перемішують і відвантажують споживачам у вигляді сухих бетонних сумішей. До цих сумішей у споживачів необхідно додавати тільки воду для отримання бетонних мас. При додаванні води у виробників також отримують бетонні маси, які відвантажують споживачам або використовують для виготовлення бетонних виробів, блоків і панелей і окремих секцій футеровок різними методами. Сушка їх звичайна: температура 120-170 °С протягом 8-24 год. або обпалюють при температурі 1550-1650 °С, 5 год.

Друга механохімічна технологія простіше, ніж перша: по механохімічній технології не потрібно створювати ділянку по розчиненню сухих солей і приготування зв'язуючих як у виробника, так і у споживача. Властивості магнезіальних виробів,

отриманих за першою і другою технології, практично однакові.

Хімічні зв'язуючі надзвичайно чутливі до будь-яких змін технологічних параметрів виготовлення магнезіальних вогнетривів. Найбільшою чутливістю володіють органічні зв'язуючі, найменшою - гідратні зв'язуючі, інші зв'язуючі займають проміжне положення. За показником чутливості зв'язуючі можна розташувати в наступний ряд: органічні→ фосфатні→ силікатні→ сульфатно-хлоридні→ гідратні.

Тому при виготовленні магнезіальних вогнетривів на органічних зв'язуючих, особливо магнезіальносвуглецевих, необхідно найбільш суворо дотримуватися сталості технологічних параметрів.

1.2.4 Змішування компонентів

Віддозовані ваговими дозаторами компоненти змішують у змішувачах (бетонних, відцентрових, розчинозмішувачах, бігунах, шнекових і ін.) за двома технологіями в залежності від необхідності формування образу коагуляційних структур виробів:

1. Технологія послідовного змішування компонентів - в змішувач засипають крупнозернистий заповнювач, заливають зв'язуючі, перемішують протягом 4-10 хв., засипають цемент і різні добавки, перемішують протягом 5-10 хв. і масу подають на формування.
2. Технологія паралельного змішування компонентів - в змішувач одночасно засипають заповнювач, зв'язуючи, цемент, добавки, перемішують протягом 10-15 хв. і масу подають на формування.

Для кожного складу магнезіальних виробів існує своя технологія змішування компонентів, що зумовлює найбільше підвищення їх якості.

Особливо ефективним є застосування технології паралельного змішування компонентів при використанні твердих пластифікаторів, механо-хімічних і екзотермічних цементів.

1.2.5 Загальні методи формування виробів

Методи формування виробів - кування, пресування, трамбування, вібрація і

лиття - визначаються конкретними умовами виробництва і служби футеровок теплових агрегатів.

Метод пресування дозволяє отримати якісні штучні вироби (склепінні, стінові, ковшові, насадок та ін.) і бетонні блоки. Структура одержуваних виробів характеризується високою щільністю, міцністю і термостійкістю. Метод пресування виробів легко застосовний в виробництві, але цим методом можна виготовити великогабаритні бетонні блоки висотою не більше 400 м. Обмеженість габаритних розмірів блоків, необхідність будівництва металомістких пресів для виготовлення цих блоків роблять метод пресування дорогим.

Останнім часом методом пресування стали виготовляти модельні різнощільні вироби, в яких полікомпонентні речовини розташовуються по температурному градієнту [5].

Так, склад модельних виробів змінюється від гарячої частини футеровок (1700 °С) до холодної (400 °С) в послідовності: периклаз - шпінель обпалений шамот - глина. Це дозволяє економити дефіцитні матеріали, різко скоротити товщину футеровок і витрата палива.

Дедалі більшого поширення набуває технологія виробництва пресованих бетонних виробів за схемою: прес-пакет. Підвищення тиску пресування з одночасним застосуванням твердих пластифікаторів, які обумовлюють зменшення коефіцієнтів внутрішнього тертя мас, дозволяє істотно підвищити міцність сирцю після пресування і відразу ж у пресу укладати вироби в пакети.

Технологічна схема прес-пакет дозволяє в ряді випадків виключити переділ сушки виробів або сушити вироби в пакетах, що визначається правильністю підібраного їх складу і зносостійкість в службі.

Використовуючи метод трамбування можна отримувати бетонні блоки будь-яких розмірів, панелі і навіть цілі секції вогнетривких футеровок. При цьому найбільш доцільно не пневмотрамбовка, а електротрамбовка, що дозволяє істотно підвищити продуктивність виготовлення блоків і панелей. Недоліком методу є неоднорідність структури блоків - розшарування за площею трамбування.

Методом вібрації на віброплощадках і за допомогою глибинних вібраторів можна отримувати фасонні вироби, бетонні блоки і панелі різного розміру; проте

структура таких блоків не щільна, пористість - переважно закрита, міцність - менше, ніж у пресованих виробів. Цей метод дозволяє повністю механізувати виробництво бетонних виробів.

Раціональним режимом вібраційного ущільнення є низькочастотний (близько 10 Гц) ударно-вібраційний режим. При цьому найбільш ефективна горизонтальна вібрація - в 1,5-2 рази вище в порівнянні з вертикальною вібрацією в резонансних касетних установках [6].

Особливо ефективним є процес віброударного формування. Він полягає в повному руйнуванні при перемішуванні нестійкої структури і в створенні більш щільної і стійкої структури. Під впливом вібрації бетонні маси наводяться в напружено-деформований стан. При цьому наповнювачі не деформуються, а основні ефекти пов'язані зі взаємними зрушеннями твердих частинок, внаслідок чого в'яжучі піддаються здвиговій деформації.

Метод лиття - найпростіший, швидкий і економічний метод виготовлення бетонних блоків, панелей, секцій та монолітних футеровок. При цьому не потрібно якихось додаткових коштів ущільнення (пресовок, трамбовок, вібраторів). Бетонні маси з змішувачів виливають на лоток або через кюбеля в форми, вирівнюють поверхню блоків і витримують в формах. При цьому особливо ефективно використання термоактивних опалубок [7].

Монолітні футерування, виготовлені за цим методом, мають багато переваг у порівнянні з іншими футеровками. Вони відрізняються простотою технології виготовлення футеровок: приготування в бетонозмішувачі литої бетонної маси і заливання її по лотку або кюбелю між футеровкою і опалубкою; після витримки і сушки футеровки готові до експлуатації; можливістю періодично підливати футерування литої бетонної маси до початкових розмірів; високим ступенем механізації виготовлення і ремонту футеровок, швидким виготовленням футеровок; підвищеною стійкістю футеровок теплових агрегатів при їх періодичному підливання бетоном.

Отже, лиття монолітних футеровок теплових агрегатів є одним з найбільш перспективних методів їх виготовлення.

Метод торкретування (холодного, факельного, плазмового) дозволяє відновлювати зношені футерування і скорочувати тим самим простої агрегатів на ремон-

тах. Інші методи формування (вібропресування, вібролиття, гідростатичне пресування, електропресування, вибухове формування) для магнезіальних виробів не набули широкого поширення.

Найбільш якісні магнезіальні вироби виготовляють методами пресування і кування, які доцільно розглянути більш докладно.

1.2.6 Пресування і кування магнезіальних виробів

Основним недоліком процесів пресування корозійно-стійких магнезіальних вогнетривів є запресовка в них повітря. Коефіцієнт запресовування повітря в вогнетриви досягає 0,7 - це відношення повітря в сирці до обсягу повітря в засипаній масі. Тиск повітря в порах досягає 10 МПа (10 ат) [8]. При цьому повітря, виходячи з часом, утворює відкриту пористість і перепресовочні тріщини, що різко знижує корозійну стійкість вогнетривів. Тому видалення повітря при пресуванні корозійностійких вогнетривів має першорядне значення.

Таблиця 1.3 - Кількість запресованого повітря в вогнетривах і їх відносна щільність

№ пп.	вогнетриви	ρ, г/см^3	$P_{удавана}$, г/см^3	$V_{Пов.}$, %	$\rho_{відн}$, %
1	Периклазові	3,58	2,85	19,4	79,6
2	вапняні	3,36	2,65	20,0	78,8
3	корундові	3,99	2,92	25,5	73,2
4	цирконієві	6,10	5,13	15,1	84,1
5	карбідкремнієві	3,21	2,60	18,0	81,0

Кількість запресованого повітря в цих вогнетривах в середньому становить близько 20%, а відносна щільність - близько 80%, що вказує на відповідне зниження їх корозійної стійкості при інших рівних умовах.

Запресованих повітря знижує міцність сирцю після пресування. Низька міцність сирцю після пресування обумовлена наявністю повітряних оболонок навколо кожного зерна, які з великими труднощами видаляються при пресуванні. При початковому низькому тиску пресування повітряні оболонки полегшують ковзання зерен і є пластифікаторами, а при подальших, більш високому тиску пресування, повітряні

оболонки перешкоджають як контактуванню зерен, так і зміцненню їх контактів.

Отже, запресоване повітря не тільки зумовлює утворення відкритої пористості, а й істотно знижує міцність сирцю після пресування.

Тому завдання пресування наступні:

- перше завдання пресування - максимально видалити повітря;
- друге завдання пресування - максимально зміцнити сирець і готові невипалені (бетонні) вироби незважаючи на те, що вони потім додатково зміцнюються в процесі сушіння або випалу.

Заходи щодо зниження кількості запресованого повітря в магнезіальних вогнетривах і підвищенню міцності сирцю наступні [9]:

1.Найкращий спосіб - вакуумне пресування, але це вимагає капітальних витрат і для серійного виробництва вогнетривів в наших умовах нереально.

2.Використання раціонального зернового складу пресованих мас, що означає найбільш щільне вільне укладання зерен і тим самим зменшує кількість повітря в прес-формах.

3. Пресування тільки тиксотропних мас з ультрадисперсної (<1 мкм) складової, що також істотно зменшує коефіцієнт внутрішнього тертя мас, так як вона є гідродинамічним мастилом.

4. Застосування найбільш активованої тонкомолотої складової, виготовленої по механохімічній технології (спільний помел з добавкою солей - коррodієнтів частинок).

5. Застосування низькоміцних тонкомолотих зерен, які при високому тиску пресування є пластифікаторами (баропластифікаторами).

6. Обов'язкове введення в пресовані маси 0,5-3,5% суперпластифікаторів, які різко зменшують коефіцієнт внутрішнього тертя мас, прискорюють видалення повітря і істотно збільшують щільність виробів.

7. При однаковому тиску пресування - чим менше коефіцієнт внутрішнього тертя мас, тим більше щільність і краща корозієстійких структури виробів.

8. Застосування раціональних хімічних зв'язуючих з оптимальною щільністю.

9. Режим змішування компонентів визначає якість пресованих мас: послідовність введення компонентів в змішувач, тривалість перемішування кожного

компонента і загальну тривалість змішування мас.

Мета змішання - не тільки гомогенізація пресованих мас, а й формування їх найбільш раціональної структури коагуляції. Тому тривалість змішування пресованих мас повинна бути істотно збільшена в кожному конкретному випадку.

Після виконання зазначених заходів переходять від існуючих повітрязапрессовочних на повітрявидаляючі режими пресування.

На гідравлічних пресах зазвичай існують 2-3 - ступінчасті режими пресування: підвищують тиск, роблять витримку, знову підвищують тиск, роблять витримку і т.д. На фрикційних і дугостаторних пресах ковку вогнетривів зазвичай відразу ж виробляють ударами при найбільшому зусиллі. Такі режими є повітрязапресовачними, так як вони лише частково видаляють повітря, а запресоване повітря після пресування виходить з пор, утворюючи відкриту пористість (зазвичай близько 20 +5%).

Мета кування - формування в магнезіальних вогнетривах найбільш зносостійкої структури шляхом заміни частини теплової енергії на механічну, використовувану по повітрявидаляючому режиму пресування.

Для кування вогнетривів - це порошкові багатофазні системи з різною механічною міцністю - від тендітних до пластичних. За зерновим складом - грубозерниста фракція 3-0,5 мм ударами поступово вдавлюється в матрицю - дрібнозернисту частину шихти, особливо у фракцію менше 1 мкм, яка в даному випадку є гідродинамічним мастилом зернистої частини. Це істотно полегшує ковку вогнетривів. Отже, кування тиксотропних мас по повітрявидаляючому режиму набуває першочергового значення.

Повітрявидаляючий режим кування магнезіальних вогнетривів на фракційних і дугостаторних пресах складається з трьох стадій:

I стадія - найменш слабкі удари з питомим зусиллям не більше 1-2 МПа. Потім удари (до 10) поступово підсилюють до 10 МПа;

II стадія - поступово збільшують кількість ударів до максимального зусилля;

III стадія - збільшують кількість ударів при максимальному зусиллі.

Такий режим кування магнезіальних вогнетривів дозволяє майже повністю видалити повітря і отримати вогнетриви з найбільшою щільністю, міцністю і дуже низькою відкритою пористістю. Але головною особливістю повітрявидаляючого

режиму кування є формування найбільш зносостійкої структури вогнетривів.

Процеси, що відбуваються при куванні магнезіальних вогнетривів, незворотні. Тому з точки зору термодинаміки незворотних процесів при збільшенні тиску пресування і витримки ентальпія процесів формування вогнетривів (ΔН) зростає. Це повинно позитивно впливати на їх зносостійкість в службі внаслідок поліпшення формування структури вогнетривів і посилення зв'язку окремих зерен.

Кування магнезіальних вогнетривів забезпечує краще видалення повітря, ніж їх гідравлічне пресування.

Вогнетриви відносяться до крихких тіл і при пресуванні роблять великий опір руйнуванню, а також витримують значні деформації. Спочатку переважають пластичні деформації, потім збільшується основний вид деформації - крихкий і тільки при високому тиску наступають пружні деформації.

З підвищенням тиску пресування - ударів збільшується крихке руйнування зерен, що також збільшує щільність сирцю за умови повного видалення повітря. При цьому зростає контактна поверхня між частками, істотно збільшуються напруги між ними і в результаті - посилюються зв'язки між частинками [10].

Кування магнезіальних вогнетривів може бути використане для вирішення ряду технологічних завдань:

1.Для механохімічного синтезу нових сполук необхідно, по-перше, максимальний питомий тиск без прошарків повітря між частками і, по-друге, найбільша активність самих частинок. Тому в тонкомолоту частину шихти необхідно обов'язково вводити високоактивні ультрадисперсні частинки розміром <1 мкм. Цим методом можливо отримувати кована шпінель, кований форстерит і ін.

2.Для зниження температури випалу вогнетривів також необхідно підвищення питомого тиску по повітрявидаляючому режиму з використанням активної тонкомолотої складової.

3.Для отримання нових вогнетривів шляхом заковка в пресовані маси різних вогнетривких деталей, волокон, пластин, великих зерен, металевих деталей з високою температурою плавлення, що вигоряють або розплавляється деталей і ін.

4. Для формування зносостійкої структури нових магнезіальних вогнетривів: кованих периклазовуглецевих ковшових і конвертерних виробів, вкладишів,

склепінних виробів і ін.

5. Для отримання високоплотних, прямозв’язанних, безвипалювальних і обпалених вогнетривів.

6. Для формування вогнетривів в нагрітому стані.

Наведені дані вказують на необхідність об'єднання і комплексного дослідження трьох взаємопов'язаних оптимізованих процесів: дозування компонентів, їх змішування і кування. Тому в подальшому доцільно переходити до єдиної комп'ютерної моделі «ДЗК» - дозування - змішування - кування магнезіальних вогнетривів.

1.2.7 Сушка виробів і їх транспортування

Вироби і футерування зазвичай сушать при температурі 120-170 °С протягом 8-24 год., залежно від їх розміру і виду магнезіального вогнетриву. Початкова вологість пресованих виробів повинна бути 2-3%, кінцева - не більше 1%. Початкова вологість литих блоків і монолітних футеровок 7-16%, кінцева - також не більше 1%.

Пресовані та ковані магнезіальні вироби іноді сушать в пакетах, а блоки - в один ряд на піддонах вагонеток в тунельних печах. Після сушіння блоки і пакети, перев'язані металевими стрічками для утворення водостійкою плівки, занурюють в підігрітий теплоносієм бак з розплавленим (при температурі не більше 80 °С) церезином. Водостійкі плівки дозволяють транспортувати вироби і блоки на відкритих залізничних платформах, а також зберігати їх у відкритих складах.

Порошок і сухі магнезіальні суміші транспортують в саморозвантажних контейнерах; пресовані вироби і блоки - на відкритих залізничних платформах і автомашинах.

1.2.8 Випал виробів і їх транспортування

Магнезіальні вироби обпалюють в тунельних печах при температурі 1500-1650 °С в залежності від їх складу. Іноді для спеціальних виробів максимальна температура випалу досягає 1900-2000 °С.

Після випалу вироби пакетують і в пакетах відвантажують споживачам.

1.3 Техніко-економічні показники виробництва цеху магнезіальних вогнетривів ПАТ «Запоріжвогнетрив»

1.3.1 Загальна характеристика підприємства ПАТ «Запоріжвогнетрив»

Приватне акціонерне товариство «Запоріжвогнетрив» - підприємство унікальне. Насамперед – завдяки своїй продукції. Адже без вогнетривких виробів цього підприємства робота всієї металургійної галузі країни була б просто неможливою. До того ж це один з найбільших заводів відповідного профілю у світі.

Спорудження Запорізького вогнетривного заводу, як він тоді називався, розпочалося у серпні 1929 року. Новостворене виробництво мало забезпечити вогнетривами чорну і кольорову металургію, хімічну та машинобудівну промисловість Запоріжжя і всього Придністров'я. Вже через чотири роки споживачі отримали його першу продукцію. Шлях до становлення заводу не був встелений квітами. На перших порах катастрофічно бракувало техніки , робітники працювали вручну. Пережило підприємство важку воєнну розруху, але зуміло у рекордно короткі строки відновити свою потужність [11].

У 1995 році Запорізький вогнетривний завод було реорганізовано у відкрите акціонерне товариство «Запоріжвогнетрив».

У наш час ПАТ «Запоріжвогнетрив» постійно проводить роботи, що направлені на вчасне оновлення і удосконалення техніко-економічної бази підприємства з ціллю підвищення якості продукції, забезпечення її конкурентоздатності на ринку вогнетривів. Технічне переобладнання й реконструкція виробництва, виготовлення нових видів продукції, поліпшення якості вогнетривів – це головні напрямки розвитку ПАТ «Запоріжвогнетрив».

Підтвердженням високої репутації підприємства свідчать міжнародні та національні нагороди за конкурентну та якісну продукцію.

За асортиментом і видами вогнетривних виробів ПАТ «Запоріжвогнетрив» немає рівних. Адже тут виготовляють шамотні, високоглиноземні, магнезитові, хромітові, магнезитохромітові й інші вогнетриви. Підприємство може виготовляти -

ковшові, сталерозливні, конверторні, мартенівські, електросталеплавильні вогнетриви тощо. Над розширенням асортименту та вирішенням складних технічних завдань працює понад сто фахівців заводу.

1.3.2 Аналіз управління використання сировини на ПАТ «Запоріжвогнетрив»

Динаміка використання сировини

Діяльність будь-якого підприємства залежить від наявності сировини, адже сировина – головний матеріальний ресурс, тому ефективне використання сировини дозволяє знизити витрати підприємства, пов'язані з її надлишком чи недостачею.

Недостача сировини на вході веде до збою чи простою виробництва, на виході – до втрат підприємства від реалізованої продукції, а зайві запаси сировини призводять до омертвіння оборотних коштів.

Розглянемо динаміку використання сировини у цеху магнезіальних виробів (ЦМВ) за період з 2018 року по 2020 рік.

Таблиця 1.4 – Динаміка використання сировини у ЦМВ (2018-2020 рр.)

Найменування сировини	2018 рік			2019 рік			2020 рік		
	Надходження, т	Витрати, т	Перевитрати (-), економія(+)	Надходження, т	Витрати, т	Перевитрати (-), економія(+)	Надходження, т	Витрати, т	Перевитрати (-), економія(+)
1. Магнезит	56772,95	56323,00	449,946	55297,69	54302,14	995,549	49135,41	47,998,11	1137,29
2.Хромова руда	28784,00	30608,25	-1823,24	28061,29	29084,52	-1023,23	27845,09	27220,66	624,42
3. Лом	39887,63	41033,32	-1145,69	39269,11	41034,27	-1765,16	36515,23	37806,92	-1291,69
Разом	125444,59	127963,59	-2518,99	122628,09	124420,94	-1792,84	113495,73	113025,70	470,02
Кількість виготовлених магнезіальних виробів, т	101597			102725			104327		

З таблиці 1.4 ми бачимо, що динаміка використання сировини починаючи з 2018 року зменшується. У 2019 році зменшились також і перевитрати сировини по відношенню до 2018 року, а у 2020 році відбулась навіть економія. Перевитрати сировини проходять за двома видами: хромова руда та лом. Але вже у 2020 році перевитрати були лише за одним видом сировини (лом) бо за хромовою рудою відбу-

лась економія. На протязі цих років також мала зріст і кількість виготовлених магнезіальних виробів і вже у 2020 році становила 104327 тон.

Економія сировини – важливий чинник підвищення ефективності підприємства, збільшення масштабів виробництва при даних фінансових витратах на одиницю матеріальних ресурсів.

Основні напрямки економії сировини на підприємстві:

- зменшення виробничих відходів і витрат;
- правильний (технологічний) вибір і підготовка сировини до виробничого споживання;
- впровадження нової техніки і передових прогресивних технологічних процесів;
- підвищення культури виробництва і ліквідація браку;
- поліпшення організації виробництва і розвиток спеціалізації
- комплексне використання сировини і утилізація відходів;
- забезпечення відповідних умов зберігання і транспортування сировини;
- зниження наднормативних запасів сировини.

Значним резервом економії є також зниження матеріаломісткості продукції, а також якість сировини.

Аналіз грошових витрат на сировину

Раціональне використання матеріальних ресурсів один з найважливіших факторів зросту виробництва та зниження собівартості продукції, а значить зростання прибутку та рівня рентабельності.

Для прикладу розглянемо грошові витрати на такий вид сировини як хромова руда (на далі хромова руда), котра є складовою частиною для виробництва вогнетривів. Аналіз представлений у таблиці 1.5.

Дані таблиці свідчать, що витрати на сировину зростають щороку; ріст мають як ціна за 1 тону сировини так і витрати на транспортування сировини за обома видами.

Також можемо спостерігати, що сировина хромова руда ПАР (Південноафриканська Республіка) значно дешевша ніж хромова руда Туреччина, але витрати на транспортування першого виду сировини більш ніж вдвічі перевищують витрати на транспортування хромової руди Туреччина.

Таблиця 1.5 – Грошові витрати на сировину (2018-2020 рр.)

Назва сировини	2018 рік		2019 рік		2020 рік	
	Ціна за 1 т. сировини, грн.	Витрати на транспортування сировини, грн.	Ціна за 1 т. сировини, грн.	Витрати на транспортування сировини, грн.	Ціна за 1 т. сировини, грн.	Витрати на транспортування сировини, грн.
1. Хромова руда ПАР	11540	124785,6	13110	139759,9	15340	163519,1
2. Хромова руда Туреччина	16360	61937	18590	69370,3	22390	81163,2

Зробивши аналіз звичайно виникає наступне запитання: Чому ПАТ «Запоріжвогнетрив» використовує у виробництві хромову руду Туреччина? Варіантів відповідей на це запитання може бути декілька: по-перше, хромова руда Туреччина може мати більш високу якість і підприємство використовує її для виробництва певних видів виробів (за замовленням споживача); по-друге, постачальник з Південноафриканської Республіки не встигає вчасно постачати сировину (адже ПАР знаходиться значно далі ніж Туреччина), в цьому випадку хромову руду Туреччина використовують як замінник.

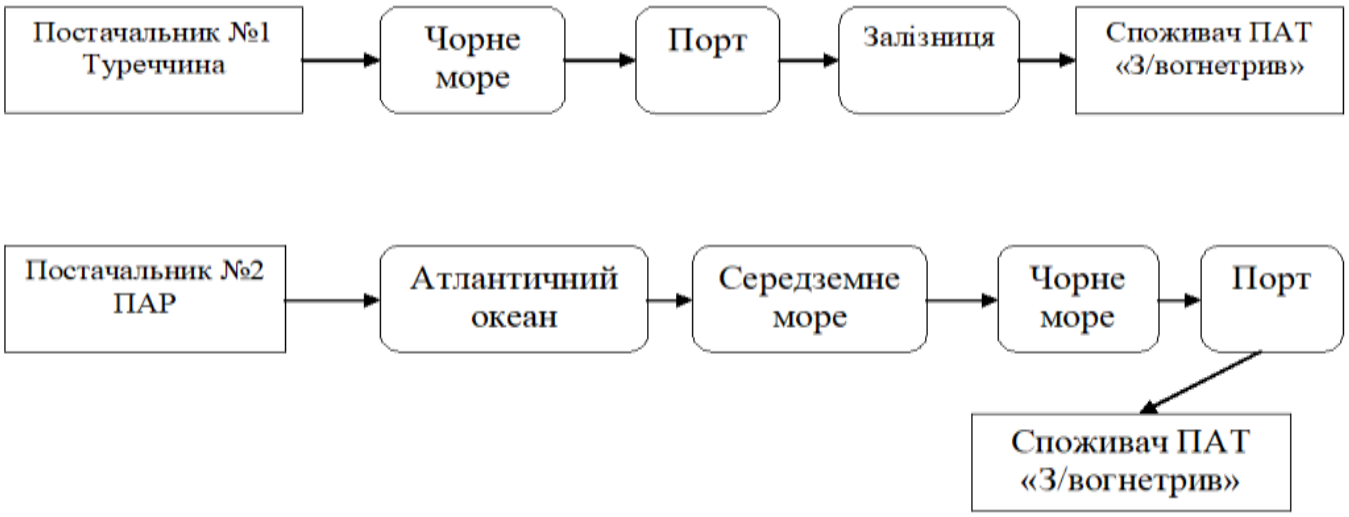


Рисунок 1.1 – Схема постачання хромової руди на ПАТ «Запоріжвогнетрив»

Резервами зниження витрат на сировину є:

- економія в наслідок заміни одних видів сировини іншими більш дешевшими;
- удосконалення зв'язків з постачальниками сировини;
- зниження транспортних витрат;
- зниження втрат від браку та отримання більшої кількості придатних виробів.

Аналіз структури управління використання сировини

Раціональна організація матеріально-технічного постачання значною мірою визначає па підприємстві рівень використання засобів виробництва, ріст продуктивності праці, зниження собівартості продукції, збільшення прибутку й рентабельності. Цим визначається роль і значення матеріально-технічного постачання й збуту в системі виробничого менеджменту.

Постачання виробництва необхідними матеріальними ресурсами є початковою ланкою виробничого процесу.

Сировина – основний вид матеріальних ресурсів, використовувана в процесі виробництва готової продукції

Управління використання сировини – це певний вид виробничої діяльності, об'єктом якого є створення й зберігання запасів сировини. Рисунок 1.2 представляє структуру управління використанням сировини.

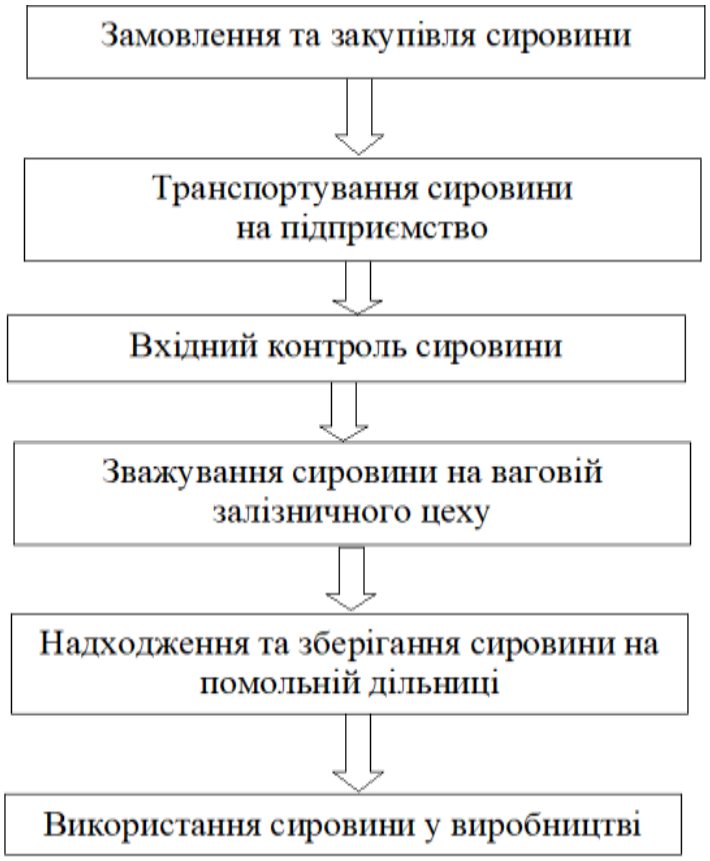


Рисунок 1.2 – Структура управління використанням сировини

Перший крок – замовлення та закупівля сировини. Відповідальний за цю процедуру – заступник начальника управління з сировини, технологічних й допоміж-

них матеріалів.

Сировина може бути замовлена й отримана тільки у постачальників, які класифіковані як «прийнятий» або «тимчасово прийнятий» і які мають найвищий рейтинг, обумовлений для конкретної поставки.

На підставі місячної потреби постійно використовуваної сировини відділи, що відповідають за закупівлі, підготовляють місячні плани закупівель. Плани закупівель у процесі виконання можуть коректуватися відповідно до виробничих планів підприємства.

Документи на закупівлю сировини повинні ясно й у повному обсязі характеризувати замовлену продукцію й повинні містити наступні дані:

- тип, ґатунок, клас;
- найменування підприємств постачальників;
- точний опис хімічного складу й фізичних властивостей і вказівки по проведенню їхнього аналізу;
- вимоги до пакування, маркування, транспортування й строкам поставки.

Наступний крок – транспортування сировини на підприємство. На цьому етапі відбувається перевірка закупівлі сировини. У загальному випадку застосовуються наступні методи перевірки й приймання закупівель і їхнє сполучення:

- експертиза документів постачальника про відповідність продукції (протокол випробувань, паспорт, сертифікат);
- експертиза документів постачальника про систему якості (сертифікат системи якості, посібник з якості, документи з перевірки системи якості представниками ПАТ «Запоріжвогнетрив»);
- перевірка збереження (відсутність ушкоджень під час транспортування, збереження пакування);
- перевірка кількості (перерахування кількості місць, комплектність поставки).

Відповідальна особа – начальник відділу матеріально-технічного забезпечення.

Далі відбувається вхідний контроль сировини. Відповідальним є відділ технічного контролю, який й проводить цю процедуру.

Вхідний контроль здійснюється відповідно до вимог Держстандарту, технічних умов, умов договорів (контрактів). Вхідний контроль сировини є вибірковим

(тобто проби відбираються залежно від кількості партій прибулої сировини). Після відбору проб персонал відділу технічного контролю (ВТК) сектора приймання сировини виписує супровідний аркуш на сировину на проведення випробувань, у якому вказує:

- дату;
- зміну;
- номер проби;
- номер вагону;
- вид сировини;
- вид випробування;
- підпис особи, відповідальної за відбір проби і направляє в сектор лабораторного контролю ВТК для проведення аналізів.

Визначення зернових складів, фізико-хімічних показників сировини провадиться за діючими державними стандартами та технічними умовами. При одержанні позитивних результатів вхідного контролю персонал сектора приймання сировини ВТК повідомляє інформацію про результати вхідного контролю в підрозділи, відповідальні за закупівлю сировини й дає вказівки щодо використання сировини для виробництва.

Після вхідного контролю, вагони з сировиною, що пройшли візуальний огляд зважуються на ваговій залізничного цеху (відповідальний – черговий станції), а потім відбувається вивантаження сировини на складі помольної дільниці ЦМВ (всю відповідальність бере на себе начальник помольної дільниці).

Наступний крок – безпосереднє використання сировини у виробництві (рисунок 1.3). З цього моменту вся відповідальність лягає на технолога цеху.

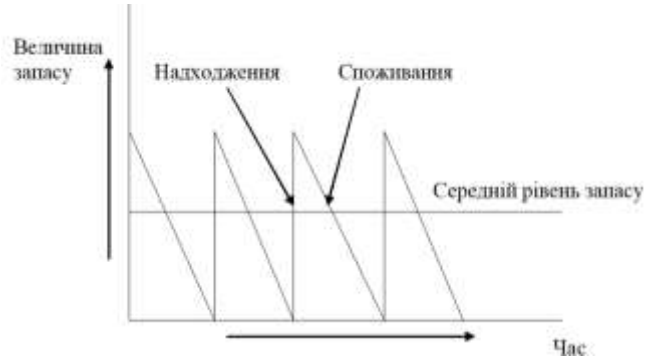


Рисунок 1.3 – Використання сировини

Для одержання придатного виробу із сировиною необхідно провести ряд операцій (рисунок 1.4).

Перша – здрібнювання. Сировина для виробництва вогнетривів надходить у вигляді шматків різної форми й розмірів. Здрібнювання великих і середніх шматків називають дробленням, а дрібних – мливом. Дроблення й мливо провадять шляхом роздавлювання, удару, вигину, розколювання, розрізування або ж сполучення цих способів.

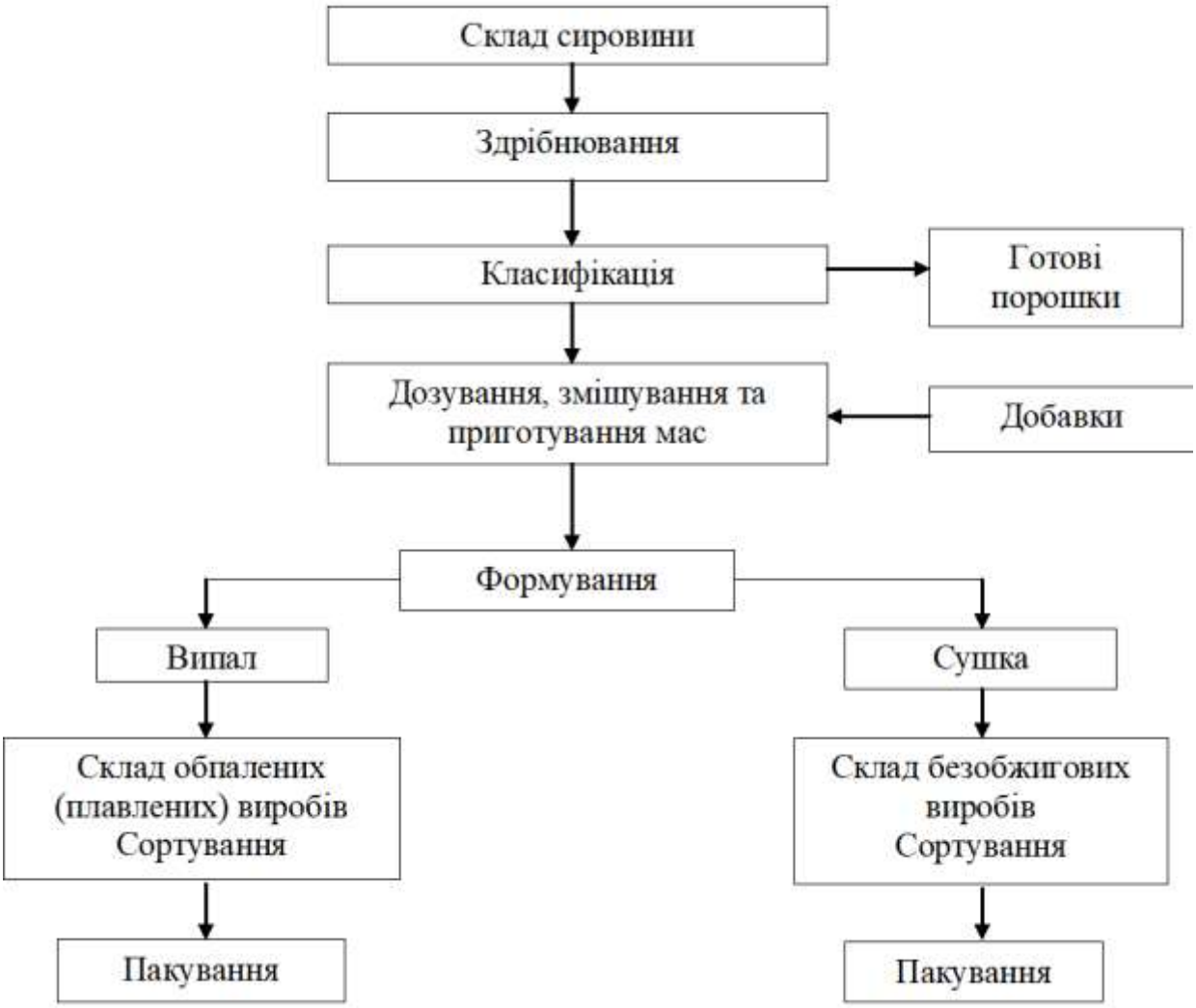


Рисунок 1.4 – Технологічна схема виробництва магнезіальних виробів

Далі відбувається дозування й змішування сировини. Завдання цього процесу – рівномірний розподіл у заданому співвідношенні компонентів суміші й надання суміші деякої стабільності, щоб під час подальшого транспортування шихт або мас не порушувалася досягнута рівномірність.

Наступна операція – пресування й формування. Метою цих процесів є надан-

ня вогнетривкій масі заданих форм і розмірів. У результаті пресування й формування одержують напівпродукт – сирець.

Завершальною стадією виробництва вогнетривких виробів є випал. При випалі відбуваються глибокі фізико-хімічні перетворення у вогнетривкому матеріалі. Після випалу придатні вироби надходять на склад готової продукції, де сортуються, укладаються в пакети й проходять контроль. Прийняті вироби відвантажуються зі складу безпосереднім споживачам.

Аналіз нормування витрат сировини на виробництво магнезіальних виробів

Під час виготовлення продукції (виконання робіт, надання послуг) на підприємстві відбувається споживання різноманітних видів ресурсів (матеріальних, трудових, інформаційних тощо). Більша частка витрат на виробничих підприємствах припадає на матеріальні ресурси.

Матеріальні ресурси являють собою запаси предметів праці, які включають сировину, основні матеріали, комплектуючі вироби та інші матеріали, що призначені для виробництва продукції, виконання робіт, надання послуг, обслуговування виробництва та адміністративних потреб, і наявність яких є необхідною умовою ритмічної роботи підприємства.

Визначення потреби підприємства у матеріальних ресурсах (сировині, матеріалах, паливі тощо) здійснюється за допомогою нормування їх витрат.

Нормування витрат матеріальних ресурсів – це встановлення гранично допустимої величини їх витрат, необхідної для виготовлення продукції (виконання робіт, надання послуг) в умовах конкретного виробництва з урахуванням застосування прогресивних технологій та вдосконалення виробничого процесу. Нормування витрат матеріальних ресурсів спрямоване на виявлення та мобілізацію внутрішніх резервів для їх раціонального використання. Скорочення питомих матеріальних витрат, що припадають на одиницю продукції, тобто зниження її матеріаломісткості, дає змогу підприємству підвищити ефективність використання матеріальних ресурсів.

Гранично допустима величина витрат матеріальних ресурсів, необхідна для виготовлення продукції, виконання робіт, надання послуг, називається нормою витрат матеріальних ресурсів.

Норма витрат має власну структуру, що характеризується співвідношенням

окремих елементів, які у сукупності становлять загальну величину витрат певного виду матеріальних ресурсів, необхідну для виготовлення одиниці виробу.

Для обліку витрат сировини при виробництві вогнетривів на ПАТ «Запоріжвогнетрив» норми витрат основних матеріалів розробляються технічним відділом і затверджуються директором з технічних питань і охорони праці.

На величину норми витрат сировини впливають два фактори:

- склад шихти для кожного асортименту;
- витратний коефіцієнт матеріалу, використовуваного в складі шихти.

Різноманітність норм витрат матеріалів складається за рахунок:

- різноманітності асортименту у ЦМВ: для кожного виду виробів розроблені певні склади шихт із метою забезпечення необхідних фізико-хімічних показників готових виробів відповідно до вимог нормативної документації (Держстандарт, Технічні умови), або за узгодженням зі споживачем, додатково розробляються норми за дослідницькими програмами центру науково-технічного розвитку підприємства (ЦНТРП);
- різноманітності основних матеріалів, що надходять відповідно до контрактів та договорів.

Основні цілі при складанні норм витрат сировини:

- забезпечення фізико-хімічних показників виробів;
- використання матеріалів у повному обсязі;
- для забезпечення конкурентоспроможності зниження собівартості виробництва.

Керуючись «Інструкцією з нормування витрат сировини й основних матеріалів у виробництві вогнетривів» для визначення норм витрат прийнятий розрахунковий метод.

Для кожного виду матеріалу відбувається розрахунок витратного коефіцієнту. На величину витратного коефіцієнта впливають механічні втрати (а1 - а5), які прийняті мінімальними в порівнянні із тими, що рекомендуються.

На ПАТ «Запоріжвогнетрив» прийняті механічні втрати:

а1 – розвантаження сировини;

а2 – розсів;

а3 – мливо;

а4 – транспортування;

а5 – дозування.

Таблиця 1.6 – Значення механічних втрат для основних матеріалів

Найменування	Інструкція (рекомендовані)		ПАТ «Запоріжвогнетрив»
	Магнезит	Хроміт	
Розвантаження сировини	0,5	1,0	0,5 а1
Розбирання й сортування	-	1,0	-
Дроблення й розсів	0,5	0,5	0,2 а2
Мливо	0,5	0,5	0,2/0,4 а3
Вилежування	0,2	-	-
Транспортування в процесі переробки	0,2	0,2	0,1 а4
Змішування й формування	1,0	1,0	0,2 а5
Випал виробів, сортування, відвантаження	2,0	2,0	-

До механічних втрат не включаються зворотні технологічні втрати. Розрахунок витратного коефіцієнту матеріалу визначається за формулою:

$$К = \frac{1}{\left(1-\frac{W}{100}\right)\cdot\left(1-\frac{в.п.п.}{100}\right)\cdot\left(1-\frac{а1}{100}\right)\cdot\left(1-\frac{а2}{100}\right)\cdot\left(1-\frac{а3}{100}\right)\cdot\left(1-\frac{а4}{100}\right)\cdot\left(1-\frac{а5}{100}\right)} \quad (1.1)$$

де w – вологість.

Приклад розрахунку витратних коефіцієнтів основних матеріалів для розрахунку норм витрат сировини наведений у таблиці 1.7.

Таблиця 1.7 – Витратні коефіцієнти на 2020 рік

Найменування сировини	w	в.п.п	Мливо	Розсів	Дозування	Транспортування	Розвантаження	Витратний коефіцієнт
			а3	а2	а5	а4	а1	
Магнезит Китай	1,8	1,51	0,2	0,2	0,2	0,1	0,5	1,046
Магнезит Словаччина	2,2	0,3	0,2	0,2	0,2	0,1	0,5	1,038
Хромова руда ПАР	2,8	0,5	0,2	0,2	0,2	0,1	0,5	1,046
Хромова руда Туреччина	4,1	2,6	0,2	0,2	0,2	0,1	0,5	1,084
Лом	2,3	1,3	0,2	0,2	0,2	0,1	0,5	1,050
Зворотні відходи	1,8	2,13	0,2	0,2	0,2	0,1	0,5	1,053

Для кожного асортименту продукції розроблені певні склади шихт, з обліком зернових і хімічних складів вихідних матеріалів, що забезпечують необхідні фізико-хімічні показники, регламентовані в нормативній документації для готової продукції.

Залежно від кількості матеріалу (z%), що вводять до складу шихти (100%) норма витрат матеріалу на 1 тонну продукції складе:

$$Н = \frac{Z\%}{100\%} \cdot К, т/т \qquad (1.2)$$

де К – витратний коефіцієнт матеріалу.

Щомісяця ВТК надає в технічний відділ дані щодо середніх фактичних складових шихт за асортиментом для перерахування фактичної норми витрат сировини.

Наведемо приклад розрахунку норми витрати сировини на виробництво хромітоперіклазових виробів.

Основні компоненти шихти для хромітоперіклазових виробів: лом, хромова руда, магнезит.

Z% для всіх компонентів надає ВТК (для хром.руди – 42%, магнезиту - 12,5%, лому - 45,5%).

$Н_{хром.р,\ Туреччина} = 42/100 \cdot 1{,}084 = 0{,}455.$

Таблиця 1.8 – Норми витрат сировини ЦМВ на 2020 рік для виробництва хромітоперіклазових виробів

Найменування сировини	Норма витрат	
Хром. руда Туреччина	0,455	
Хром. руда ПАР		0,439
Магнезит Словаччина	0,130	
Магнезит Китай		0,131
Лом	0,478	0,478
Разом	1,063	1,048

При зміні витратного коефіцієнту матеріалу як слідство змінюється норма витрат сировини.

Аналіз можливості технологічних процесів по зниженню витрат сировини у ЦМВ

Виробництво вогнетривів складний матеріаломісткий процес, котрий потребує значних грошових вкладень. Як і будь-яке інше виробництво, виробництво вогнетривів має свої достоїнства та недоліки.

Достоїнством, окрім прибутку підприємства, є признання ПАТ «Запоріжвогнетрив» одним із найбільших підприємств галузі в Україні, яке не має собі рівних серед аналогічних підприємств країни. Одним з недоліків є технологічне оснащення підприємства. Підприємство розпочало свою роботу у далекому 1929 році. І окрім виробничої інфраструктури, наукових праць і досліджень ВАТ «Запоріжвогнетрив» отримало у спадок від радянських часів і все технологічне устаткування, котре звичайно залишає бажати кращого.

На будь-якому виробництві, будь то металургійний гігант чи пекарня, мають місце виробничі відходи (рисунок 1.5). Виробництво вогнетривів не є виключенням.

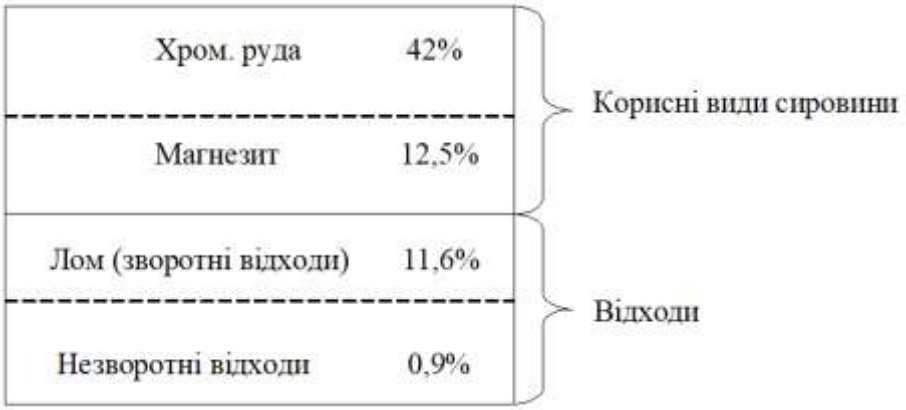


Рисунок 1.5 – Відсоткове відношення видів сировини

Розрізняють два види відходів: зворотні та незворотні.

До зворотних належать:

- браковані маси;
- брак сирцю;
- просип сировини під час технологічних процесів (при дозуванні, змішувані, транспортуванні на пресову дільницю);
- брак власного виробництва (після випалу);
- лом після ремонту печних вагонів.

До незворотних належать:

- втрати під час транспортування сировини;
- втрати під час дроблення та млива (значна частина сировини потрапляє у повітря);
- втрати при змішуванні сировини вищого ґатунку з сировиною вищого ґатунку

Звичайно існує допустимий відсоток незворотних відходів, котрий становить - 0,4. На сьогодні цей показник при виробництві магнезіальних виробів становить 0,9, що призводить як до втрат сировини під час виробничого процесу так і до грошових втрат. Щоб уникнути цих втрат, необхідно провести ряд заходів щодо модернізації та переоснащення виробництва, котрі допоможуть здобути певний запас міцності і запобігти проблемам, які можуть виникнути завтра.

1.3.3 Характеристика основних заходів зниження норм витрат сировини на виробництво продукції

При існуючій методиці найбільший вплив роблять втрати при проколюванні (в.п.п.) і втрати при сушінні (вологість w), які є неминучими й залежними від технологічних і природних властивостей вихідних матеріалів.

Сировина прибуває відповідно до договорів і контрактів, у яких обговорені вимоги до матеріалів, обсяги й строки поставок.

Працівниками ВТК у процесі лабораторних випробувань, відповідно до встановлених методик і Держстандарту, визначаються значення в.п.п. і вологості на сировину, що прибуває на ПАТ «Запоріжвогнетрив» і на сировину в процесі виробництва виробів у ЦМВ.

Підставою перегляду витратних коефіцієнтів матеріалів є аналіз значень в.п.п. і вологості матеріалів, що надається працівниками ВТК до технічного відділу щомісяця.

При аналізі середніх значень в.п.п. і вологості беруться в облік обсяги поставок сировини, умови зберігання сировини (закриті склади, відкриті склади).

У таблиці 1.9 наведені середні значення вологості й в.п.п матеріалів за 2020р. при прибутті матеріалів і в процесі виробництва, а так само прийняті до розрахунку видаткових коефіцієнтів.

Таблиця 1.9 – Середні значення вологості й в.п.п. матеріалів за 2020 рік

Найменування	Прибуття		Виробництво		До витратного коефіцієнту		Разом 2020 р. + економія -перевитрати, т	Видаток на виробництво, т
	w	в.п.п.	w	в.п.п.	w	в.п.п.		
Магнезит Китай	0,9	0,4	3,6	2,6	1,3	1,51	927,560	21981
Магнезит Словаччина	1,6	0,3	3,6	0,5	1,0	0,3	209,732	26017
Хромова руда ПАР	2,6	0,5	4,5	0,5	2,8	0,5	317,420	15278
Хромова руда Туреччина	4,9	2,8	6,7	2,8	2,8	2,6	307,009	11942
Лом	2,4	1,4	2,4	1,4	1,77	1,77	-1291,699	37807
Разом							470,022	113025

Як свідчать дані таблиці 1.9 економія сировини за підсумками 2020 року проходить по чотирьох видах: магнезит Китай, магнезит Словаччина, хромова руда ПАР та хромова руда Туреччина, при цьому встановлені у витратних коефіцієнтах значення вологості й в.п.п. нижче, ніж значення сировини, що прибуває на підприємство. Інші види сировини мають завищені значення вологості й в.п.п., при цьому маємо перевитрати. За підсумками 2020 року загальна економія сировини склала 470,022т, при видатку 113025т.

Для того щоб досягти більш високої економії сировини, необхідно проводити коректування витратних коефіцієнтів матеріалів частіше, наприклад три рази на рік. При цьому необхідно враховувати всі фактори, що впливають:

- пора року (від цього фактору залежить вологість сировини);
- різний зерновий склад сировини;
- нестабільні поставки.

В таблиці 1.10 представлена динаміка витратних коефіцієнтів матеріалів для виробництва магнезіальних виробів на 2021 рік.

Такий захід дозволить підприємству бачити заощаджену сировину поступово. Не менш значимим показником будуть і заощаджені гроші, адже чим менший витратний коефіцієнт, тим менша норма видатку сировини і як слідство менша загальна потреба сировини. Спостерігаючи підсумки таблиці 1.10, основні заощадження як сировини, так і матеріальних витрат відбувається за період травень – серпень 2021 року, адже витратні коефіцієнти за всіма видами сировини значно менші ніж у попередньому періоді.

Таблиця 1.10 – Динаміка витратних коефіцієнтів на 2021 рік

Найменування	Січень – Квітень 2021 рік			Травень – Серпень 2021 рік			Вересень – Грудень 2021 рік		
	w	в.п.п.	Витр. коеф.	w	в.п.п.	Витр. коеф.	w	в.п.п.	Витр. коеф.
Магнезит Китай	1,8	1,51	1,046	1,3	1,51	1,041	1,5	1,51	1,043
Магнезит Словаччина	2,2	0,3	1,038	1,0	0,3	1,025	1,02	0,5	1,030
Хром. руда ПАР	2,8	0,5	1,046	2,4	0,5	1,042	2,8	0,5	1,046
Хром. руда Туреччина	4,1	2,6	1,084	2,8	2,6	1,069	3,0	2,6	1,071
Лом	2,3	1,77	1,056	2,0	1,6	1,050	2,3	1,3	1,050

Ще одним заходом щодо зниження норм витрат сировини є розподіл такого виду сировини як лом на його підвиди, залежно від джерела утворення:

- лом магнезіальний привезений;
- лом БВВ – брак власного виробництва;
- лом РПВ – після ремонту пічних вагонів та пічних агрегатів.

Використання зворотних відходів, котрими є брак власного виробництва та лом після ремонту пічних вагонів, у виробничому процесі надасть можливість підприємству зекономити як сировину (а саме лом магнезіальний привезений), так і грошові витрати на даний вид сировини.

1.4 Фізико-хімічні та технологічні передумови розробки технології модифікованих магнезіальних вогнетривів

Сучасна технологія виробництва сталі включає виплавку в конвертерах або в електропечах, позапічної обробку в установках піч-ківш, вакуумування і розливання на машинах безперервного лиття заготовок. Футеровки сталерозливних ковшів піддаються агресивному фізико-хімічному впливу шлаку і металу, внаслідок проведення процесів вакуумно-кисневого рафінування (VOR), азотно-кисневого зневуглецювання (AOD), вакуумного дугового переплаву (VAR), циркуляційного вакуумування (RH), електродугового, індукційного перемішування сталей. В даний час зросла роль вогнетривких матеріалів з комплексом цінних властивостей, таких як термостійкість, висока корозійна стійкість, механічна міцність.

Вуглецьвмісні (периклазовуглецеві) вогнетриви за останні 15 років широко проникали в сталеплавильне виробництво, що дозволило в кілька разів підвищити стійкість основних теплових агрегатів чорної металургії [12]. Це обумовлюється комплексом унікальних властивостей вуглецю - високою вогнетривкістю, теплопровідністю, електропровідністю, хімічною стійкістю по відношенню до розплавів на основі більшості металів, як в окисленій, так і у відновленій формі, низькому коефіцієнту термічного розширення і ін. При цьому вуглець, в формі кристалічного графіту і / або технічного вуглецю, а так само коксовий залишок органічних сполучних, входить до складу матриці вогнетривкого матеріалу. Він забезпечує мале змочування при взаємодії зі шлаками і металами, високу стійкість до корозії.

Корозійна стійкість оксидновуглецевих вогнетривів визначається наявністю вуглецю в системі, тобто його стійкістю до окислення - на першому етапі служби, а також чистотою і здатністю до спікання мінеральної частини вогнетриву (периклазу, шпінелі, корунду і т.п.) - після вигоряння вуглецю. Подальше підвищення стійкості вуглецю в складі шихти і його вплив на фізико-хімічні властивості після коксування буде визначатися коксової матрицею. Найбільш раціональним, на наш погляд, є підвищення вмісту вуглецю в графіті і введення вуглецевих волокон для армування матриці.

Основною причиною виведення сталерозливних ковшів з експлуатації в ККЦ є випереджаючий знос шовних поверхонь виробів шлакової і стінової зони (так званий «знос бруківкою») (рисунок 1.6).



Рисунок 1.6 - Типовий знос робочої футеровки сталерозливного ковша

Причиною такого руйнування є виникаючі напруги як всередині виробів, так і між формованими вогнетривами викликані високим термічним розширенням виробів. Згадані напруги не компенсуються структурою вогнетриву при високій температурі, і в футеровці з'являються руйнування, а по швах виробів виникає «знос бруківкою».

При безмертельній кладці алюмінієвий антиоксидант (АПВ-П) в кутах і ребрах периклазовуглецевих виробів окислюється найбільшою мірою, що і викликає підвищені напруги в цих місцях футерування. Для вирішення даної проблеми потрібні дослідження і зміна складу вогнетриву, здатного створити монолітну структуру, що забезпечує рівномірний знос всієї поверхні вогнетриву.

1.4.1 Фізико-хімічні передумови розробки MgO-C вогнетривів з зносостійкого структурою

Технологія периклазовуглецевих вогнетривів, розроблена в 80-і роки минулого століття в Японії, забезпечила високий рівень розвитку металургії [10]. Було знайдено унікальне поєднання властивостей: висока стійкість периклазу по відношенню до залізосилікатних шлаків, не менше висока стійкість графіту ($T_{пл}$ = 3800 °С) в певних умовах до цих же шлаків, сполучний матеріал - спеціальні вуглецеві зв'язуючі на основі фенолформальдегідних і фуранових смол, лігносульфонатів, пеку і т.д. Периклаз і вуглець не утворює евтектичних сумішей, що дозволяє припускати високу вогнетривкість [2]. Вуглець має підвищену теплопровідність при низькому термічному розширенні, що забезпечує високу термостійкість вогнетривів, мале змочування вуглецю металом і шлаком і здатність відновлювати оксиди заліза.

Однак периклаз і вуглець при високій температурі є термодинамічно несумісними [4]. В результаті взаємодії відбувається окислення вуглецю і розпушення структури матеріалу. Вуглець у складі вогнетривів взаємодіє також з киснем шлаків, металу та інших оксидів. Розпушення структури вогнетривів призводить до різкого зменшення їх зносостійкості [11]. Інтенсивність окислення вуглецю в складі вогнетриву - один з основних показників, що визначають їх якість.

Важливим напрямком підвищення експлуатаційних властивостей даних мате-

ріалів є стабілізація вуглецю, тобто запобігання виходу окисленого вуглецю з вогнетривів в процесі їх служби [11, 12]. Процеси навуглецювання і стабілізації вуглецю вогнетривів визначаються в першу чергу технологічними параметрами та умовами служби вогнетривів. В якості антиоксидантів застосовують матеріали, що мають більш високу спорідненість до кисню в умовах служби, ніж вуглець. У роботах [2, 13] відзначено, що роль даних добавок зводиться не тільки до участі в процесах, що знижують парціальний тиск кисню, але також до участі в фазоутворенні на поверхні, що забезпечує умови формування нових структур з підвищеними характеристиками міцності і корозійними характеристиками. До таких добавок відносяться в першу чергу легкоокисні метали (алюміній, магній і т.д.) і дво-, трикомпонентні сплави або їх безкисневі з'єднання (карбіди, бориди і т.д.) [14]. В [15] відзначено, що такий метод ефективний для поверхні виробів, що контактують з металом і/або шлаком. При більш низьких температурах для неробочої поверхні виробів метод неефективний.

В останні роки різкого поліпшення властивостей матеріалів досягають на шляху впровадження методів нанотехнології. Вуглецеві нановолокна відрізняються високим ступенем графітизації і великою питомою поверхнею. Ставки робляться на вуглецеві нановолокна (CNF - Carbon Nano Fiber), вуглецеві нанотрубки (CNT - Carbon Nano Tubes) та інші наноматеріали. Відомі спроби застосування цих матеріалів і в галузі вогнетривів [4].

1.4.2 Термодинамічний аналіз процесів взаємодії в системі MgO-C

Взаємодія оксиду магнію з вуглецем виражається рівняннями:

$$MgO_T + C_т \rightarrow Mg_г + CO_г, \quad (1.3)$$

$$MgO_T + CO_г \rightarrow Mg_г + CO_{2г}. \quad (1.4)$$

Термодинамічна температура початку реакцій (1.3) і (1.4) складає 1297 і 1886 °С відповідно. Таким чином, з точки зору термодинаміки найбільш небезпечним відновником може вважатися вуглець. Однак на шляху реалізації реакції (1.3) виникають великі кінетичні утруднення.

Відомі експериментальні дані по взаємодії оксиду магнію з вуглецем предста-

влені в роботах [16] і деяких інших. За даними різних авторів, кінетична температура початку реакції MgO з вуглецем становить 1380-1800 °С. Розкид значень пояснюється різним вихідним станом, відмінністю в змісті домішок, величиною поверхні взаємодії, а також складом і тиском газової фази.

Отже, на початкових стадіях процесу взаємодії оксиду магнію з вуглецем дифузія іонів кисню в MgO буде, мабуть, визначати можливість взаємодії реагентів.

Слід зазначити, що температура 1380-1400 °С є характеристикою реакційної здатності оксиду магнію в початкових стадіях процесу, але це ще не означає, що при цій температурі безпосередню взаємодію MgO з твердим вуглецем отримає значний розвиток [1].

1.4.3 Новітні досягнення в області армування магнезіальних оксидновуглецевих вогнетривів

Периклазовуглецеві вироби є одним з найбільш високовогнетривких і хімічно стійких матеріалів, що володіють високими характеристиками міцності і корозійностійкими властивостями. Однак термостійкість периклазовуглецевих виробів невисока. Це пояснюється значним ТКЛР і, як наслідок, високими температурними деформаціями, що викликають напругу в матеріалі при його нагріванні і охолодженні. В останні десятиліття багато уваги приділяється створенню композиційних матеріалів, що володіють властивостями, які неможливо отримати на традиційних матеріалах. Застосування композиційних матеріалів дозволяє різко підвищити термостійкість, міцність, жорсткість, опір ударним навантаженням, дає можливість регулювати в широких межах тепло- і електропровідність, магнітні, ядерні та інші властивості матеріалів.

В якості основи конструкційних матеріалів з великою питомою поверхнею можна використовувати кристали і волокна деяких оксидів, карбідів, боридів, нітридів та інших матеріалів, що володіють високою міцністю і жорсткістю, малою щільністю і підвищеною тугоплавкістю. Ці матеріали створюються з розрахунком отримання оптимального поєднання структурних і термічних характеристик, високої міцності при малій щільності або створення матеріалів, стійких до підвищених

температур, теплового удару і окисленню [17].

Одним з відомих способів підвищення термостійкості виробів є метод армування вогнетривких виробів волокнистими матеріалами. Такі включення, з одного боку, є «корисними» дефектами, які загальмовують і навіть зупиняють поширення тріщин (затуплення їх вершини), а з іншого боку, вони мають підвищену міцність в порівнянні з матричним матеріалом, зберігають міцність композиційного матеріалу, запобігаючи катастрофічне руйнування вироби [4].

Вуглецеві волокна різного типу знайшли широке застосування в авіакосмічній галузі, будівництві, судно-і автомобілебудуванні, при виготовленні різних конструкційних елементів, термостійких матеріалів, в тому числі в атомній енергетиці, продуктах медичного призначення [18]. З використанням вуглецевих волокон отримують як вогнетривкі вироби, так і неформовані маси; останні застосовують для торкретування різних теплових агрегатів (ковші МБЛЗ, нагрівальні печі) [19]. Бетонні вироби, армовані вуглецевим волокном, дозволяють створити необхідний запас міцності і термостійкості, підвищуючи тріщиностійкість і стійкість матеріалу проти сколювання, при цьому збільшуючи межа експлуатації таких композиційних вогнетривів до температур термообробки 1600 °С. При розгляді властивостей вогнетривів, армованих вуглецевими волокнами, бачимо, що основне значення має окислювальна стійкість складових компонентів вогнетривів в умовах експлуатації. Як правило, це умови навколишнього середовища при високих температурах. Помітне окислення вуглецевих волокон на повітрі спостерігається вище 400 °С, а також в присутності окислювачів, що супроводжується значним погіршенням властивостей волокон. Таким чином, саме окислення обмежує можливості застосування вуглецевих волокон і матеріалів на їх основі, що супроводжується значним погіршенням властивостей волокон.

Ефективність введення вуглецевих волокон в шихту вогнетривких бетонів підтверджена роботою групи литовських, латвійських та білоруських вчених, які вивчали властивості середньоцементних бетонів. Так добавка 0,02% вуглецевого волокна дозволила збільшити межу міцності при стисненні після термообробки 1200 °С бетонних виробів на 20% і термічну стійкість на 20-30%.

У роботах [14-15] відзначається, що навіть при відносно низькому об'ємному

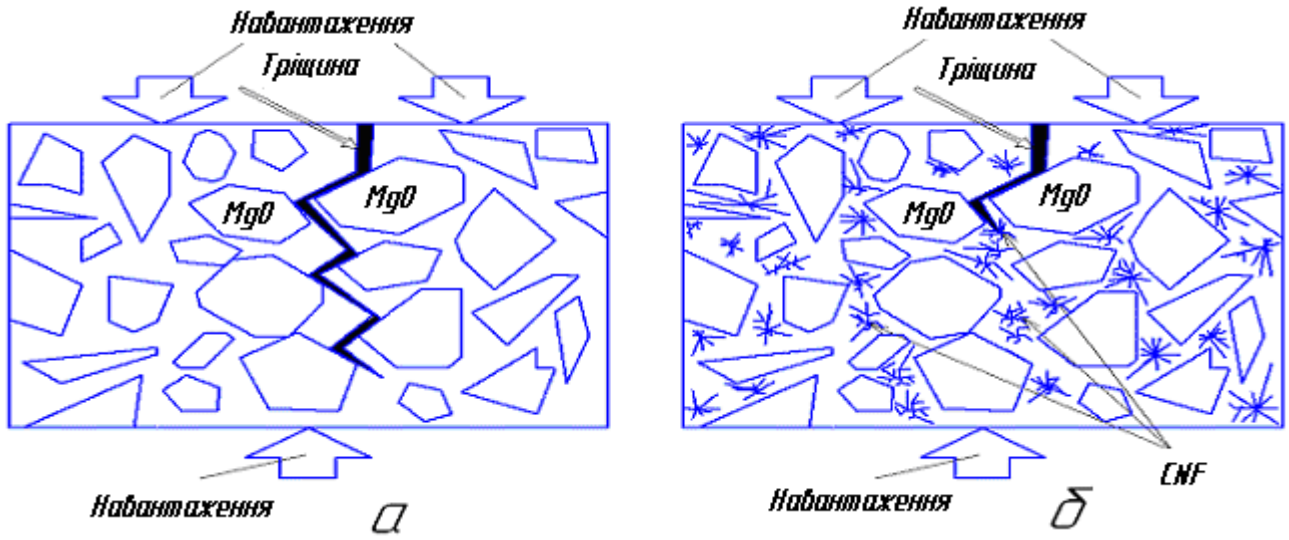
вмісті вуглецевих волокон в бетоні можуть бути істотно поліпшені такі його механічні показники, як ударна в'язкість і опір поширенню тріщин. На підставі теоретичних і експериментальних досліджень було встановлено, що при рівномірному розподілі армуючого матеріалу в матриці вогнетривких виробів ефективність роботи композиції обернено пропорційна кореню квадратному з середньої відстані між геометричними центрами волокон [25]. Ця умова характеризує рівень напружень, які зумовлюють можливість поширення тріщин в вогнетривів за межі зони, обмеженої сусідніми волокнами. Очевидно, що найбільший інтерес при цьому представляють волокна з великим відношенням площі їх поверхні до об'єму. Необхідно щоб композиція поводилася як структурно-одиничний матеріал [26].Для цього слід забезпечити при її виготовленні суцільне і однаково міцне зчеплення на кордоні розділу між волокнами і матрицею. Однак при виборі геометрії волокна необхідно мати на увазі, що відношення довжини волокна до його діаметра має становити не менше 20:1, оскільки саме така величина, як встановлено [27] є оптимальною при армуванні виробів. Також відзначено, що довжина волокон помітно впливає і на ступінь їх агломерування: чим вони коротші, тим менше ступінь агломерації і тим рівномірніше розподілені волокна в системі.

Додавання вуглецевих нановолокон в вогнетрив і рівномірний розподіл в ньому в порівнянні з іншими видами сировини буде складно через малу насипної щільності і тенденції до сплутування волокон і цю проблему завжди доводилося вирішувати вогнетривникам. Для поліпшення здатності нановолокон до диспергування в вогнетривах японські вчені Yoshinori Matsuo, Masato Tanaka, Jyouki Yoshitomi і інші, з лабораторії технічних досліджень компанії «Krosaki Harima Co., Ltd» виготовили композицію CNF-MgO, в якій вуглецеві волокна знаходяться на поверхні частинок периклазу, виступаючого каталізатором.

Вивчення зображень під растровим електронним мікроскопом поверхні руйнування на ділянці матриці в зразках з добавкою 6,0% CNF-MgO (в перерахунку частка волокон становить близько 0,4%) показало, що композиційний матеріал CNF-MgO розсіяний в матриці вогнетриву, а вуглецеві нановолокна, присутні на поверхні носія MgO утворюють сітчасту структуру, зчеплену з компонентами вогнетриву. Якщо до введення волокна CNF мали діаметр 10-20 нм, то в матеріалі після випалу

діаметр волокон збільшувався до 100-200 нм. Це пояснюється тим, що під час випалу на нановолокнах утворилося покриття з вуглецю, що входить до складу смоли в околицях волокон. Можна припустити, що порожнини між нановолокнами, що виникли на стадії приготування композиції CNF–MgO, виявилися заповнені під час утворення на волокнах вуглецевого покриття, що призвело до підвищення уявної щільності і зниженню відкритої пористості матеріалу в стані після випалу.

Встановлено також, що введення в MgO-C виріб композиції CNF–MgO сприяє підвищенню міцності. Була розглянута модель механізму зміцнення, яка діє поблизу вершини тріщини в вогнетривів. При додатку зовнішнього навантаженні до MgO-C виробу без добавки CNP-MgO, коли від поверхні всередину вироби поширюється тріщина, вона, досягаючи частки MgO, відхиляється, і процес поширення представляється як багаторазова взаємодія з частками: зіткнення, відхилення, і просування вздовж поверхонь частинок, як показано на рисунку 1.7 (а).



а - неармованого; б - армованого волокнами

Рисунок 1.7 - Механізм поширення тріщини в структурі периклазовуглецевого вогнетриву

У виробах з добавкою CNF–MgO поширення тріщини імовірно гальмується вуглецевими нановолокнами, присутніми в матриці вогнетриву в проміжках між частинками MgO і утворюють сітчасту структуру. Схематично механізм гальмування тріщини при взаємодії її вершини з сітчастою структурою волокон CNF показаний на рисунку 1.7 (б).

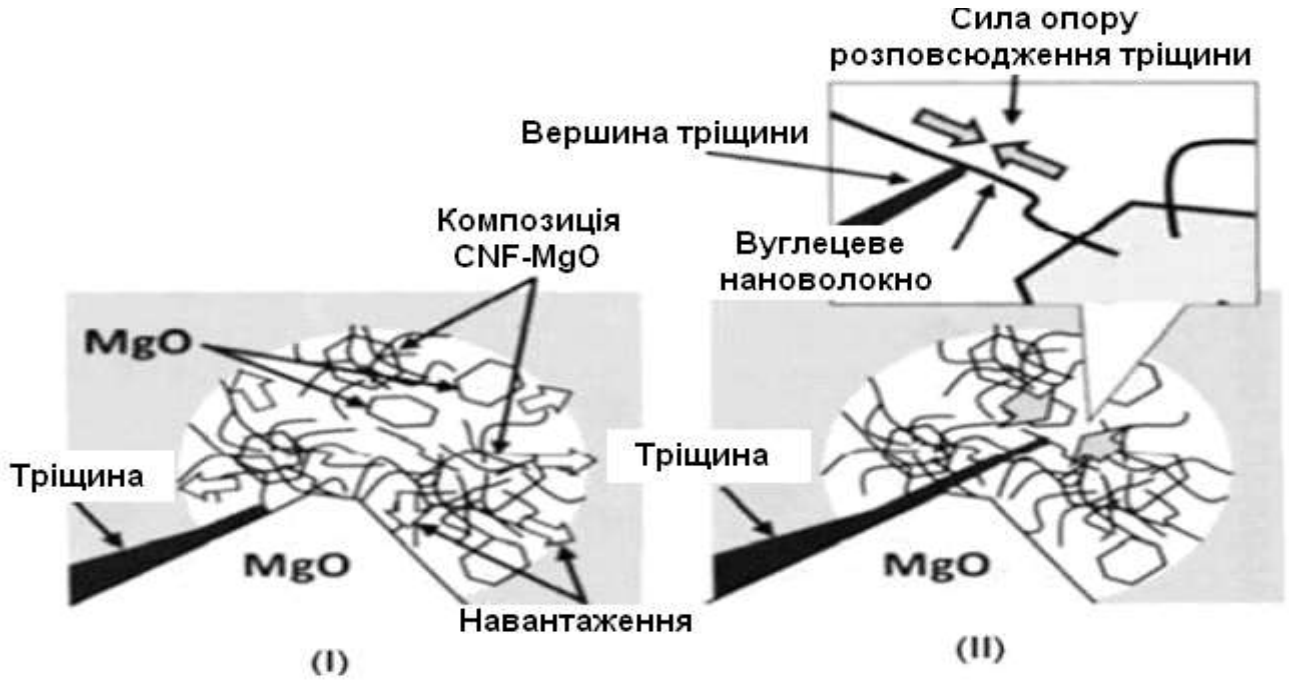


Рисунок 1.8 - Механізм поширення тріщини в CNF-MgO вогнетривів

Припускають, що волокна послаблюють концентрацію напружень біля вершини тріщини, створюють ефект релаксації і тим самим уповільнюють поширення тріщини (рисунок 1.8). Вважають також, що в цьому випадку високі властивості міцності вуглецевих нановолокон сприяють суттєвому підвищенню міцності вироби [5].

Китайські вчені з Державної головної лабораторії вогнетривів і металургії Уханьского університету науки і технології вивчили властивості виробів, армованих вуглецевими нанотрубками (далі - CNT (Carbon Nano Tubes)). Результати випробувань свідчать, що зразки, що містять волокна CNT після коксування при 1400 °C, мають високі показники відносної залишкової міцності (47,2%) після п'яти теплозмін при випробуванні на термостійкість, що близько до показника термостійкості звичайного MgO-C вогнетриву з 10% лускатого графіту.

Волокна CNT застосовують також при отриманні низьковуглецевих Al_2O_3-C вогнетривів з високими міцністю, в'язкістю і термостійкістю. Робота Мін Ло і ін. [6] показала, що додавання 0,05 мас. % волокон багатостінних вуглецевих нанотрубок (MWCNT) в якості джерела вуглецю в Al_2O_3-C вогнетривах (зразок № 1) замість частини лускатого графіту дозволяє підвищити показники механічної міцності, такі як межа міцності при вигині при кімнатній температурі і модуль пружності після випалу при 800, 1000 і 1200 °C у порівнянні із зразками з 10 мас. % лускатого графіту (зразок № 2) (таблиця 1.11).

Таблиця 1.11 - Вплив температури випалу, добавки вуглецевих нанотрубок і графіту на властивості вогнетривів

температура, °С	параметр	номер зразка	
		1	2
800	Межа міцності при вигині, МПа	6	4
	Модуль пружності, МПа	1200	1000
1000	Межа міцності при вигині, МПа	12	9
	Модуль пружності, МПа	2388	1703
1200	Межа міцності при вигині, МПа	24	14
	Модуль пружності, МПа	3733	2 541

При високих температурах волокна MWCNT легко піддаються окисленню або перетворенню в інші фази. Мін Ло і ін. [6] вказували на те, що структура волокон MWCNT може бути пошкоджена при температурах від 1200 до 1400 °С. Для вирішення цієї проблеми успішно застосували поверхневу обробку, яка широко використовується у виробництві кераміки, армованої CNT волокнами; ця обробка перешкоджає структурному перетворенню волокон MWCNT в AI_2O_3-C вогнетривах. Розробили новий простий процес отримання покриття SiC_xO_y на поверхні волокон MWCNT з використанням полікарбоксілана (PCS) в якості прекурсора. Дослідники Мін Ло і ін. прекурсор PCS і волокна MWCNT змішували безпосередньо з тонкодисперсним оксидом алюмінію в рідкому середовищі і потім вводили в Al_2O_3-C вогнетриви.

Результати досліджень мікроструктури і механічних властивостей Al_2O_3-C вогнетривів після випалу при температурах в діапазоні 800-1200 °С показали, що на відміну від зразків без PCS (зразок №3) в матеріалі зразків з PCS (зразок №4) волокна MWCNT рівномірно диспергувані завдяки адсорбції полікарбоксілана на поверхні волокон MWCNT в процесі змішування. Механічні властивості, такі як міцність при вигині, модуль пружності при вигині AI_2O_3-C вогнетривів з PCS, були значно вище, ніж без PCS (таблиця 1.12), що пояснюють більш рівномірним розподілом волокон MWCNT.

За такими показниками, як міцність на розтягнення і зріз, ударна і втомна міцність, тріщиностійкість, в'язкість руйнування, морозостійкість, водонепроникність і ряду інших, армовані матеріали в кілька разів перевершують традиційні, що забезпечує їх високу ефективність при застосуванні в якості, як конструкційних матеріалів, так і функціональних.

Таблиця 1.12 - Вплив температури випалу, добавки вуглецевих нанотрубок з обробкою і без на властивості вогнетривів

температура, °С	параметр	номер зразка	
		3	4
800	Межа міцності при вигині, МПа	6	10
	Модуль пружності, МПа	2000	3000
1000	Межа міцності при вигині, МПа	10	15
	Модуль пружності, МПа	2000	2000
1200	Межа міцності при вигині, МПа	14	20
	Модуль пружності, МПа	2000	3000

Армування матриці дозволяє в значній мірі впливати на основні недоліки неметалічних матеріалів - низьку міцність при розтягуванні і вигині, крихкість, а також поліпшити здатність сприймати знакозмінні (інерційні) впливи. Армування з застосуванням різних волокон змінює поведінку безпосередньо цементного або керамічного каменю як складової структури, що дозволяє створити необхідний запас міцності, зберігаючи цілісність конструкції навіть після появи волосяних тріщин. Тим часом експериментально доведено, що введення армуючого волокна може поліпшити фізико-хімічні властивості і підвищити стійкість вогнетривких виробів, зокрема вуглецьвмісних.

1.4.4 Аналіз ефективності застосування різних антиоксидантів при модифікуванні структури і властивостей вогнетривів

Важливим напрямком підвищення експлуатаційних властивостей оксиднувуглецевих вогнетривів є стабілізація вуглецю, тобто запобігання виходу окисленого вуглецю з вогнетривів в процесі їх служби [11,12]. Процеси навуглецювання і стабілізації вуглецю вогнетривів визначаються в першу чергу технологічними параметрами, потім умовами служби вогнетривів.

Згідно [11], запобігання окислення вуглецевмісних вогнетривів досягається наступними методами: фізичним, термічним, атмосферним, структурним і хімічним. При використанні фізичного методу на вогнетриви наносять захисні антиоксидантні покриття: обмазки, легкоплавкі глазурі, маси, і т.д. При термічному методі передбачається максимально швидке нагрівання вогнетривів до високих температур служби, при якому кисень не встигає повністю окислити вуглецеві сполуки. На по-

верхні вогнетривів утворюється тонка окислена плівка, що перешкоджає проникненню кисню всередину вироби. Атмосферний метод реалізується випалюванням вуглецьвмісних вогнетривів в відновному, азотовмісному середовищі або в середовищі нейтральних газів, тобто в середовищі, що не містить кисень. Структурний метод полягає у формуванні щільної структури вуглецьвмісних вогнетривів, що перешкоджають проникненню кисню. Хімічний метод, заснований на застосуванні вуглецевих сполук, що пригнічують хімічних зв'язок, комплексних антиоксидантів, які завдяки хімічним реакціям на поверхні і всередині вогнетриву створюють зносостійку структуру, що перешкоджає окисленню і руйнуванню вогнетриву.

Ефективність антиоксидантів в шихті оксидновуглецевих вогнетривів в лабораторних умовах, як правило, оцінюють по поліпшенню властивостей: зменшення окислюваності, збільшення термостійкості, шлакостійкості, фізичних показників після термообробки при 230 °С і після коксування. В даний час тестованих методик визначення окислюваності, термостійкості і шлакостійкості формуваннях периклазовуглецевих виробів не розроблено.

Відомий спосіб перевірки окислюваності виміром товщини зневуглецьованого шару.

Шлакостійкость вогнетривів може визначатися статичним або динамічним методом. При статичному методі виготовляється тигель з досліджуваного вогнетриву і заповнюється шлаком відомого складу. Заповнений тигель поміщають в піч і витримують при температурі 1500-1600 °С протягом 1-4 годин. Після охолодження проводять розпилювання зразків по осі. Оцінюють шлакороз’їдання і шлакопропітку зразка шляхом вимірювання зони руйнування і зони просочення. При динамічному методі випробування зразок поміщають в розплавлений шлак, в якому він обертається заданий час, тим самим відтворюється промислові умови взаємодії вогнетривкої футеровки зі шлаковим розплавом. Величину шлакороз’їдання оцінюють ваговим або об'ємним способом вимірювання.

Термостійкість периклазовуглецевих виробів визначають за кількістю циклів нагріву та охолодження. Розрізняють водяні і повітряні теплозміни. При водяних теплозмінах зразок нагрівають до 1300 °С, витримують його протягом 10 хвилин при цій температурі, а потім охолоджують в проточній воді (5-25 °С) протягом 5 хвилин. Теплозміну продовжують до тих пір, поки зразок не втратить 20% початко-

вої маси. При повітряних теплозмінах зразок нагрівають до 800 °С і охолоджують в потоці компресорного повітря з повторенням теплозміни до втрати 20% початкового ваги. Показники пористості, межі міцності при стисненні і на вигин після коксівного випалу визначають по ДСТУ 30771-2006.

Найбільш поширеними антиоксидантами є металеві алюміній і магній, або їх сплави і склади на їх основі. Про їх використанні в якості компонентів вогнетривких виробів і вивченні впливу на окислювальну здатність, міцність і корозійні характеристики повідомляється в роботах [10-15]. Але в процесі коксівного випалу відбувається взаємодія металевих антиоксидантів з вуглецевої складової шихти з утворенням карбідів, що розкладаються при охолодженні, що ускладнює застосування лабораторних результатів. Останнім часом вивчається вплив виробничих умов (градієнта температур, впливу шлаків) на стійкість вуглецьвмісних вогнетривів до окислення.

висновки

Аналіз літературних даних по периклазовуглецевим вогнетривким матеріалами дозволяє зробити наступні висновки:

- основними факторами, що обмежують ресурс периклазоввуглецевого футерування, є недостатня термостійкість, тріщиностійкість, корозійна стійкість;
- для збільшення ресурсу вогнетриву потрібно ефективний спосіб захисту вуглецю від окислення;
- введення армуючих волокон зупиняє поширення тріщин і підвищує міцність композиційного матеріалу;
- введення вуглецевих волокон дозволяє сформувати армовану структуру матриці периклазовуглецевого вогнетриву;
- істотний вплив на формування структури і властивостей периклазовуглецевого вогнетриву надають антиоксиданти;
- карбід кремнію як антиоксидант захищає матеріал від вигорання вуглецю, підвищує міцність і шлакостійкість вогнетриву.

2 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

В роботі використані сучасні методи аналізу і прилади для визначення різних властивостей матеріалів.

Визначення параметрів шихтових матеріалів

Масову частку оксиду магнію визначали по ГОСТ 2642.0, ГОСТ 2642.8, оксиду алюмінію - ГОСТ 2642.4, оксиду кальцію - ГОСТ 2642.7, діоксиду кремнію - ГОСТ 2642.3, оксиду заліза - ГОСТ 2642.5, вуглецю - ГОСТ 2642.15. Гранулометричний склад вихідних порошків визначали ситовим методом по ГОСТ 27707. Вміст вологи в вогнетривких порошках - ГОСТ 28584. Відкриту пористість - ГОСТ 2409, що здається щільність - ГОСТ 18847.

Гранулометричний склад, зольність, кількість летючих речовин, вологи в графіті визначали по ГОСТ 17818.

Визначення фізико-хімічних властивостей MgO-C виробів

Масову частку MgO, $A1_2O_3$ визначали по ГОСТ 2642. Відкриту пористість, удавану щільність, межу міцності при стисненні визначали на стандартних зразках - циліндрах заввишки 40 мм, діаметром 50 мм, або випиляних з виробів кубів, зі стороною 100 мм. Відкриту пористість і уявну щільність перевіряли по ГОСТ 2409 (з величиною похибки по пористості 0,5-0,7%, уявної щільності 0,02-0,04 г/см^3), межу міцності при стисненні - ГОСТ 4071.1, межу міцності на вигин - ГОСТ 8462 (з точністю округлення до 0,1 МПа). Межу міцності при вигині визначали на гідравлічному пресі марки ИПБ 6012-1000-1 з використанням випиляних зразків у формі паралелепіпедів розміром 40х40х100 мм. Відстань між опорами встановлювали 80 мм.

Петрографічний аналіз

Петрографічний аналіз проводили за допомогою мікроскопа «Vertival» для дослідження звичайних шліфів, пухких зернистих препаратів і поверхневих структур. Він оснащений планахроматичними мікроскопічними об'єктивами і окулярами. Їм можуть бути здійснені коефіцієнти збільшення від * 25 до * 2000. За допомогою мікроскопа «Vertival» застосовані наступні методи мікроскопії: вимірювання і підрахунок деталей, візуальне спостереження в бінокулярний тубус, мікрофотографію в малому або головному форматі з використанням експозиційного автомата або без

такого, комбіноване освітлення відбитим або прохідним світлом.

Рентгенофазовий аналіз

Фазовий склад і параметри структури шихтових матеріалів визначали рентгенофазним методом на дифрактометрі з обертовим анодом Miniflex 600 (CuKα- випромінювання, λ=1.541862 Å, інтервал зйомки – 3,00-90,00 °, крок сканування – 0,02 °) з програмами управління і збору даних MiniFlexguidance і пакетом обробки даних PDXL Basic. Ідентифікацію дифракційних максимумів проводили з використанням банку даних JSPDS. Визначення середнього розміру областей когерентного розсіювання (ОКР) L проводили рентгенографічним методом, заснованому на гармонійному аналізі профілю дифракційних максимумів. Середній розмір ОКР оцінювали за формулою Селякова-Шерера:

$$L = \frac{\lambda}{\beta \cdot \cos\Theta}, \tag{2.1}$$

де λ – довжина хвилі рентгенівського випромінювання (нм);

β - фізичне розширення FWHM (рад).

Хімічний аналіз поверхні

Рентгенівська фотоелектронна спектроскопія - метод поверхневого аналізу, що використовується для визначення хімічного складу твердих поверхонь. Аналіз заснований на визначенні енергії електронів, що випускаються твердим тілом в результаті піддає його монохроматичному рентгенівського випромінювання. Типова енергетична роздільна здатність піків спектрів рентгенівської фотоелектронної спектроскопії становить ~ 0,5 еВ. Оскільки різні типи хімічного зв'язку часто обумовлюють зрушення енергії зв'язку на великі величини, то ці зрушення можна детектувати в цілях ідентифікації характеру зв'язку.

Розмір кристалів (лусочок) графіту, наявність і розподіл домішок аналізували методом растрової електронної мікроскопії на установці JEOL JSM 6390LA (Jeol; Японія). Умови зйомки 20 КУ, SEI, BES, робочий стан 10 мм.

Визначення морфологічних характеристик

Розміри і форму частинок графіту визначали з використанням скануючого електронного мікроскопа JSM-740 фірми «Jeol» (Японія), забезпеченого рентгенівським мікроаналізатором фірми «LINK» і дозволяє отримати об'ємне зображення зі

збільшенням до 40 000 разів, що дає можливість розрізнити фрагменти розміром 10 нм. Непровідні зразки перед зйомкою покривали тонким шаром срібла (100-200 Å) для усунення зарядки поверхні. Після напилення срібла на зразки, вони містилися в фокус електронної гармати мікроскопа, потім проводилася їх зйомка при наступних режимах: прискорюча напруга електронного пучка 10-15 кВ, робоча відстань зйомки 20-40 мм і збільшення до 15 000 разів. Зображення зразків реєструвалося на комп'ютері і оброблялося за допомогою пакета SIAMS Photolab по 20 кадрів.

Вимірювання проводилося по 20 випадковим полях (кадрам) для кожного зразка зі статистичною обробкою результатів вимірювань.

Визначення окислюваності і частки зневуглецьованого шару

Інтенсивність видалення вуглецю з поверхні стандартних лабораторних зразків - циліндрів діаметром 50 мм і висотою 40 мм оцінювали вимірюванням втрат ваги зразків після окисного випалу при температурі 1200 °С з витримкою протягом 5 годин.

Для визначення величини зневуглецьованого шару зразки обпалювали при температурі 1450 °С витримкою протягом 2 годин. Зразки розпилювали по осі циліндра. За допомогою штангенциркуля заміряли площу розпилу (S_1) і площу навуглецьованої зони (S_2). Частку зневуглецьованого шару обчислювали за формулою:

$$Д_0 = (S_1 - S_2)/ S_1, \qquad (2.2)$$

де $Д_0$ - частка зневуглецьованого шару, %;

S_1 – площа розпилу, мм^2;

S_2 - площа навуглецьованої зони, мм^2.

Визначення параметрів зразків до і після коксівного випалу

Зміна маси периклазовуглецевих зразків, визначення відкритої пористості і уявної щільності, меж міцності при стисненні до і після коксівного випалу проводили на стандартних зразках - циліндрах заввишки 40 мм, діаметром 50 мм по ГОСТ 30771-2001.

Визначення термостійкості

Для визначення термостійкості зразки обпалювали при температурі 1300 °С з витримкою протягом 10 хвилин, потім охолоджували на повітрі протягом 10 хви-

лин. Зразки зважували після кожного циклу. Випробування повторювали до 20% втрати маси зразка від початкової ваги.

Визначення ТКЛР

Температурний коефіцієнт лінійного розширення (ТКЛР) визначали на дилатометрі марки DIL 402 фірми Netzsch на зразках розміром 5х5х45 мм. Нагрівання проводили зі швидкістю 5 °С/хв. до температури 1400 °С в середовищі азоту.

2.1 Технологія виготовлення лабораторних зразків

Для виготовлення вогнетривких периклазовуглецевих зразків приготування формувальної маси виробляли в лабораторному змішувачі інтенсивного дії «EIRICH» (рис. 2.1) із застосуванням базових складів зон шлакового пояса і стін стальковша (таблиця 2.1).

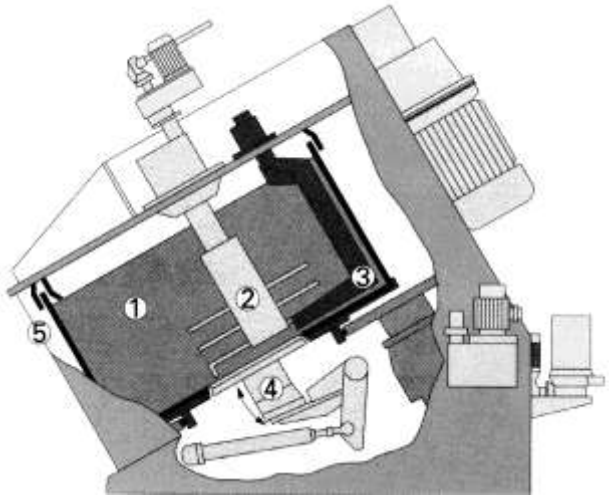


Рисунок 2.1 - Лабораторний змішувач інтенсивного дії «EIRICH»

Таблиця 2.1 - Базові склади шихт стінових і шлакових виробів стальковша

найменування показника	стінові вироби	шлакові вироби
	Масова частка, %	
антиоксидант	-	2,3
Периклаз плавлений, мм 3-1 1-0 <0,063	 55,0 19,2 13,5	 55,0 17,9 10,5
СФП Р 050	3,0	3,0
етиленгліколь	1,3	1,3
графіт	8,0	10,0

Пресували циліндри діаметром 50 мм висотою 40 мм на гідравлічному лабо-

раторному пресі ІП-1000 (рис. 2.2) с питомою посиленням пресування 150 МПа; зразки при термообробці при температурі 220 °С з витримкою на максимальній температурі 2 години, з підйомом до 220 °С протягом 1 години.



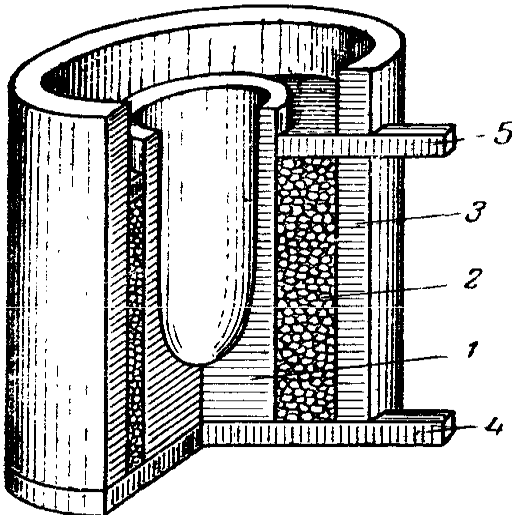
Рисунок 2.2 – Гідравлічний лабораторний прес ІП-1000

Перевірку окисленості і визначення частки зневуглецьованого шару виробляли в лабораторному муфелі високотемпературної печі (рис. 2.3) з витримкою при 1200 °С протягом 5 годин і при температурі 1450 °С протягом 2 годин відповідно.



Рисунок 2.3 – Лабораторна муфельна високотемпературна піч

Коксівний випал проводили в лабораторній високотемпературній кріптоловій печі (рис. 2.4) при 1000 °С у вугільній засипці з витримкою протягом 3 годин.



1 – тигель; 2 – кільцевий простір з криптоловою набивкою; 3 – кожух; 4 - графітове днище; 5 – графітове кільце

Рисунок 2.4 – Криптолова піч

2.2 Виготовлення периклазовуглецевих вогнетривів

Технологічний процес виробництва оксидновуглецевих виробів включає наступні технологічні операції:

- приймання, складування і зберігання вихідної сировини;
- підготовку вихідних матеріалів;
- приготування формувальної маси;
- пресування сирцю;
- термообробку виробів;
- сортування, упаковку, зберігання і відвантаження продукції.

Приймання, складування і зберігання вихідних сировинних матеріалів для виробництва периклазовуглецевих виробів здійснюють в критому складі, забезпечуючи відсутність попадання атмосферних опадів. Напрямок матеріалів в роботу здійснюється після вхідного контролю.

Периклаз фракції 0-3 мм подається для тимчасового зберігання в силос, далі порошок розсіюється на фракції 0-1 мм і 1-3 мм і подається в бункера перед змішувачами. Технологічна схема виробництва периклазовуглецевих виробів приведена на рисунку 2.5.

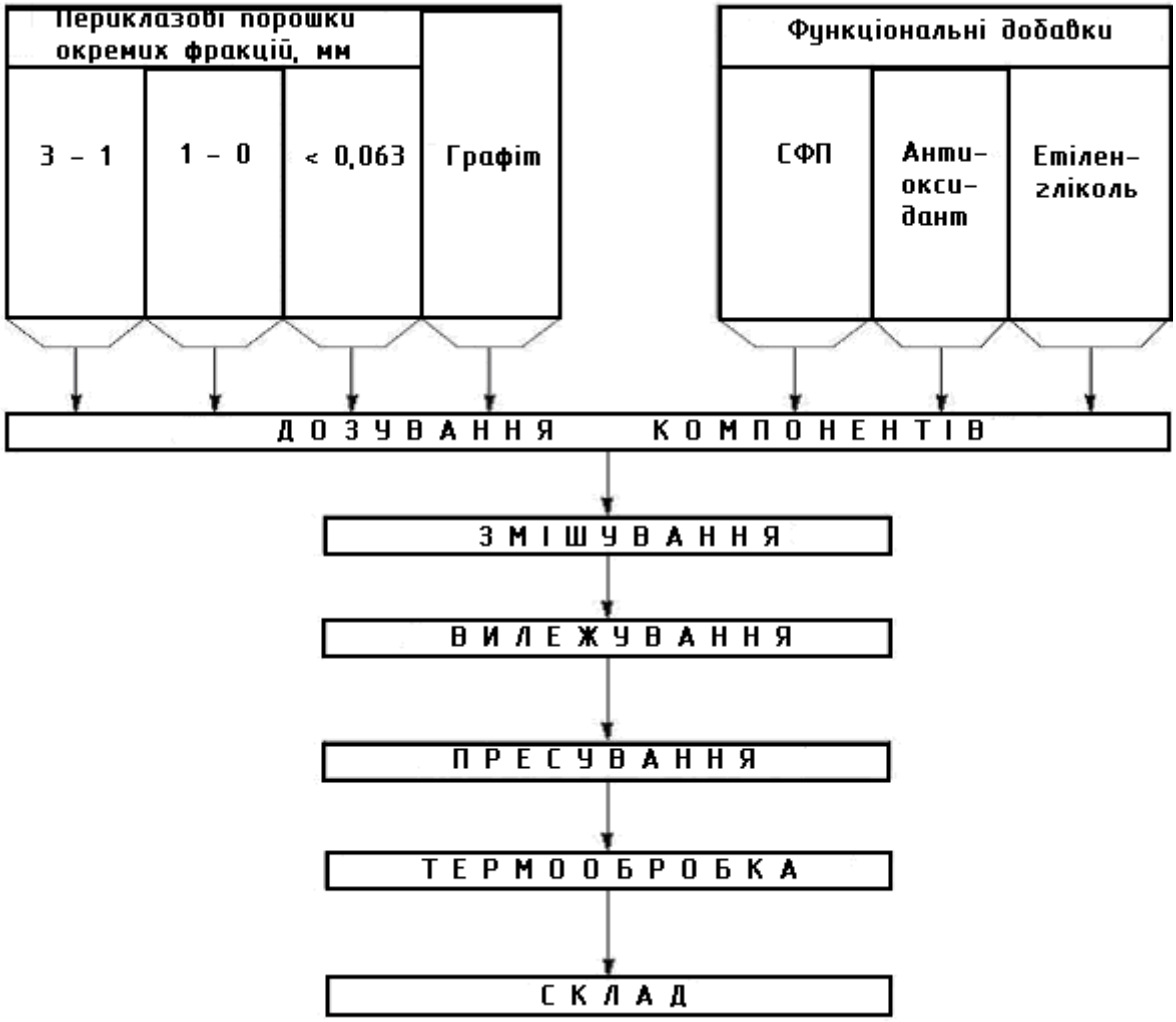


Рисунок 2.5 - Технологічна схема виробництва периклазовуглецевих вогнетривів

Компонування обладнання реалізовано по так званій вертикальній схемі і складається з двох технологічних ліній підготовки маси, кожна з яких обладнана сім'ю бункерами, трьома ваговими дозаторами і змішувачем інтенсивного перемішування фірми «Айріх» марки R19.

Дозування матеріалів з бункерів і зважування відбувається на сучасному вагодозуючому комплексі з точністю дозування 0,3% від заданої рецептури. Приготування тонкомолотої фракції здійснюється з фракції периклазу (0-1 мм або 1-3 мм) на трубному млині моделі МІ 2-10,5. Місця пересипання мас герметично ущільнені або забезпечені системами аспірації.

Приготування формувальної маси здійснюється відповідно до циклограми приготування формувальної маси (таблиця 2.2).

Таблиця 2.2 - Циклограма приготування формувальної маси

Операційна послідовність	Найменування матеріалу, що вивантажується	Наявність і тривалість і операцій по групах призначення виробів			
		стіни, дно	прискорений стіни, дно	шлак	прискорений шлак
включення змішувача	-	да	да	да	да
Вивантаження з ваг	периклаз	да	да	да	да
Тривалість змішування, сек	-	10	10	10	10
Вивантаження з ваг	етиленгліколь	да	да	да	да
Тривалість змішування, сек	-	180	150	180	150
Вивантаження з ваг	Тонкомолоті фракція периклазу, графіт	да	да	да	да
Тривалість змішування, сек	-	180	150	60	50
Вивантаження з ваг	антиоксидант	немає	немає	да	да
Тривалість змішування, сек	-	-	-	120	100
Вивантаження з ваг	СФП	да	да	да	да
Тривалість змішування, сек	-	600	540	600	540
змішувач відкрити	-	да	да	да	да
Тривалість змішування, сек	-	30	30	30	30
змішувач закрити	-	да	да	да	да
Разом цикл змішування, сек	-	1000	880	1000	880

Тривале перемішування у виробництві графітвмісних мас є обов'язковим для кращого розподілу добавок, що вводяться і графіту. Прискорений цикл перемішування використовується при ремонтах, ревізіях одного з змішувачів. Готова формувальна масу вилежується протягом 2-6 годин для розчинення фенольно-формальдегідного сполучного в етиленгліколь, що помітно покращує пресуємість маси і сприяє підвищенню міцності сформованого виробу.

Пресування виробів здійснюється на гідравлічних пресах «Лайс» IPE-1600 і НРБ 2500 з робочими зусиллями пресування 16 і 25 МН. Ці преса мають великі технічні можливості щодо вибору оптимального режиму пресування різних мас, можливості регулювання пресового зусилля, швидкостей пресування на різних етапах.

Унікальність виробів полягає в особливому форматі. На відміну від уніфікованих форматів «міні-кей», де вироби в сталерозливних ковші укладаються «на

плашку» спосіб укладання виробів у сталерозливних ковші здійснюється на ребро. Такий спосіб установки вогнетриву дозволяє зменшити кількість горизонтальних швів в 1,5 рази. Крім того, автоматизована система пресування фірми «Лайс» гарантує величину граничних відхилень від розмірів виробів по товщині ± 1 мм, по ширині і довжині ± 0,5 мм. Отже, при установці «на плашку» розмір горизонтальних швів може досягати 2 мм, в той час як при установці «на ребро» гарантовано не більше 1 мм.

Термообробка периклазовуглецевих виробів проводиться в окислювальному середовищі в 4 тунельних сушилах місткістю 40 металевих вагонеток кожен, з поступовим нагріванням і витримкою при 220 °С протягом 6 годин з подальшим плавним охолодженням. Висота садки становить 800 мм, що виключає перепад температур між верхом і низом садки. Даний режим термообробки обумовлений видом застосування сполучного і отриманням виробів з необхідними характеристиками міцності, без окислення графіту і антиоксидантів.

Термооброблені вироби оглядаються за зовнішнім виглядом і розмірами на відповідність вимогам нормативної документації. Придатні вогнетриви укладаються на дерев'яний піддон, упаковуються, маркуються і зберігаються на критому складі.

3 ФІЗИКО-ХІМІЧНІ І ТЕХНОЛОГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ КОМПОНЕНТІВ ШИХТИ ТА ЇХ ВПЛИВ НА СТІЙКІСТЬ ПЕРИКЛАЗОВУГЛЕЦЕВИХ ВОГНЕТРИВІВ

Практикою виробництва периклазовуглецевих вогнетривів сформульовані основні вимоги до компонентів шихти. Так, периклазові порошки повинні містити, мас. %: MgO від 96 до 99; SiO_2 менше 0,7; полуторних оксидів менше 0,8; мати співвідношення CaO/SiO_2 не менше 2; при цьому щільність периклазового порошку повинна бути більш 3,4 г/см^3. Розмір кристалів периклазу впливає на ступінь зносу периклазовуглецевих виробів, оскільки, чим більше розмір кристалів, тим менше ймовірність контакту зерен з шлаком і тим вище стійкість виробів. Зі збільшенням розміру кристалів MgO з 50 до 200 мкм знос периклазовуглецевих виробів зменшується на 30-40%.

У виробництві вуглецьвмісних вогнетривів застосовуються термореактивні зв'язуючі, в більшості фенолформальдегідні, двох типів новолачні і резольні. Вони мають високу ступінь полімеризації, утворюють тривимірну структуру вуглецевого каркаса, забезпечуючи тим самим високу термостійкість і великий вихід коксового залишку.

Серед вуглецьвмісних матеріалів основна роль в сучасній чорній металургії належить графіту, що входить до складу багатьох вогнетривів. Основна вимога до вуглецевої добавки футерування є стійкість до окислення. Реакційна здатність графіту залежить від: макро- і мікроструктури матеріалу і наявності домішок.

3.1 Вибір виду периклазу і його вплив на властивості виробів

У шихті периклазовуглецевих вогнетривів основним компонентом шихти (до 90%) є фракціонований плавлений периклаз. Тому вибір плавленого периклазу значно впливає на формування корозієстійкої структури MgO-C вогнетривів. Вибір критеріїв до плавленого периклазу пропонується проводити поетапно. На першому етапі рекомендується визначити хімічний склад, удавану щільність і провести петрографічні дослідження. Потім провести технологічні визначення властивостей периклазовуглецевих виробів шляхом виготовлення лабораторних зразків з наступ-

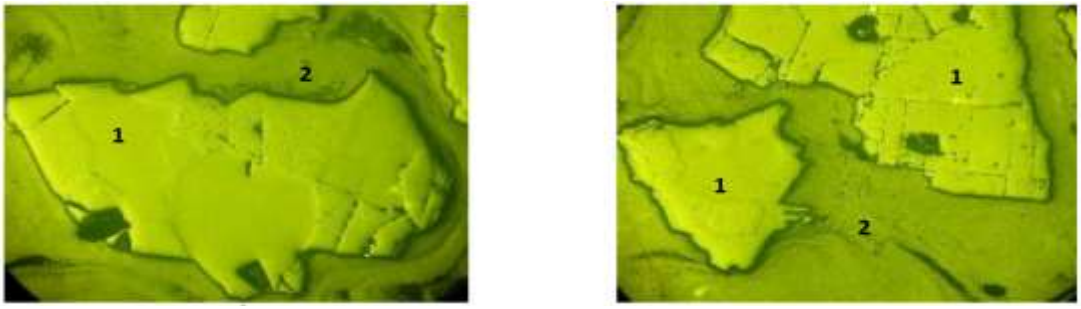
ною термообробкою і коксуванням. Дослідно виготовлення партій вогнетривів і випробування виробів в сталерозливних ковші, дозволить остаточно встановити вимоги до периклазового порошку.

Для виявлення критеріїв оцінки периклазу проведені дослідження плавленого периклазу п'яти постачальників: КНР (1, 3, 4), Росії (5), і периклаз, отриманий з Волгоградського бішофіту (2). Хімічний склад і щільність випробуваних периклазових порошків приведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 - Властивості периклазових порошків

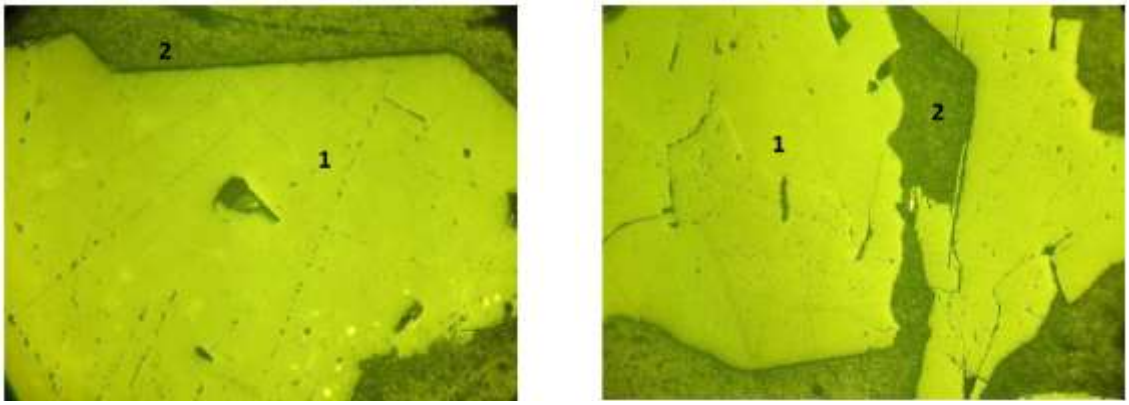
найменування показника	Вміст в плавленому периклазі постачальника №, мас. %				
	1	2	3	4	5
- MgO	97,4	98,9	97,3	97,2	97,4
- CaO	1,41	1,00	1,34	1,44	1,29
- SiO_2	0,70	0,02	0,66	0,64	0,58
- AI_2O_3	0,20	0,06	0,16	0,15	0,14
- Fe_2O_3	0,60	0,01	0,54	0,61	0,63
- $\Delta m_{прк}$	0,30	0,10	0,22	0,08	0,1
Удавана щільність, г/см^3	3,45	3,42	3,47	3,52	3,45

Відповідно до проведених петрографічних досліджень мікростуктура всіх плавлених периклазових порошків аналогічна. Порошок неоднорідні по макроструктурі (рисунки 3.1-3.5). Силікати в основному представлені мервінітом і монтічеллітом. Однак, при порівняно однаковому середньому розмірі кристала плавленого периклаза, в зразках №№ 2, 3 і 4 присутні зерна з максимальним розміром кристала до 2900, 1750 і 2000 мкм відповідно проти 1300 мкм для № 1, що може справити позитивний вплив на службові властивості вогнетривів .



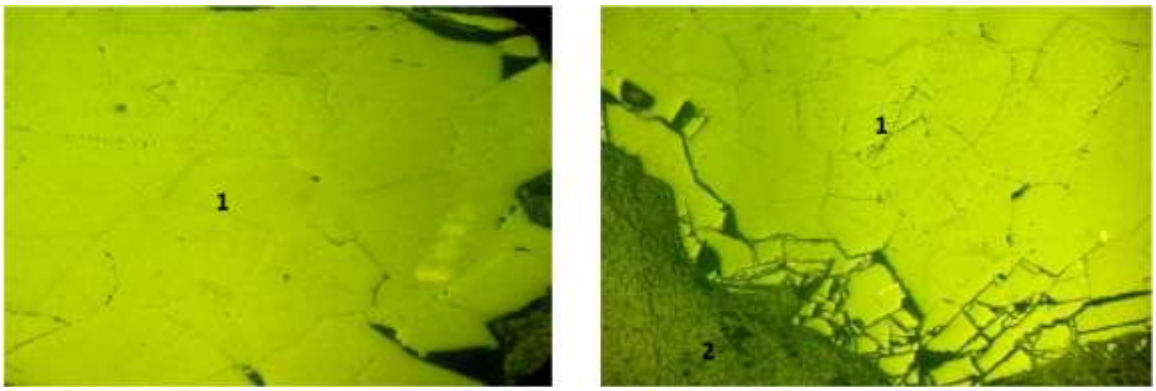
а) б)

Рисунок 3.1 - Мікроструктура периклазового плавленого порошку проби № 1: а) зразок № 1; б) зразок № 2 (х 60, світло відбите); 1 - кристал периклазу; 2 - епоксидна смола



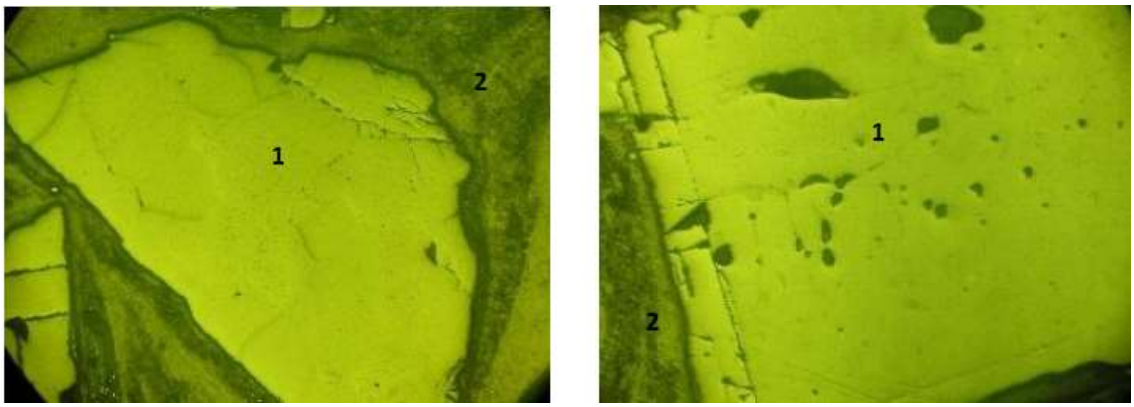
а) б)

Рисунок 3.2 - Мікроструктура синтетичного плавленого периклазового порошку проби № 2: а) зразок № 1; б) зразок № 2 (× 60, світло відбите); 1 - кристал периклазу; 2 - епоксидна смола



а) б)

Рисунок 3.3 – Мікроструктура плавленого периклазового порошку проби № 3: а) зразок № 1; б) зразок № 2 (× 60, світло відбите); 1 - кристал периклазу, 2 - епоксидна смола



а) б)

Рисунок 3.4 - Мікроструктура плавленого периклазового порошку проби № 4: а) зразок № 1; б) зразок № 2 (× 60, світло відбитий); 1 - кристал периклазу, 2 - епоксидна смола

Слід зазначити, що за результатами петрографічних досліджень проба № 2 - синтетичного периклазу досить неоднорідна за структурою кристалів. Розмір їх варіюється від 50 до 2900 мкм. Крім того, в зернах є тріщини і пори, співмірні з розміром кристалів. Зерна складаються ізометричними, призматичними кристалами і кристалами неправильної форми. На поверхні всіх зерен відзначений білий наліт і наявність в порах оксиду кальцію, що може свідчити про присутність вільного незв'язаного оксиду кальцію, наявність якого може призвести до розпушення структури цегли внаслідок гідратації. Додаткові випробування щодо визначення зміни маси при прожарюванні меленого порошку після зберігання на відкритому повітрі протягом 14 днів показали збільшення втрати маси при прожарюванні.

З метою уточнення можливості застосування синтетичного периклазу в технології виробництва периклазовуглецевих вогнетривів з використанням дослідного порошку були виготовлені лабораторні зразки, речовинний склад яких відповідав складу шихти стінових виробів. Для порівняння виготовлені контрольні зразки на основі серійних плавлених порошків проби № 3. У таблиці 3.2 представлені властивості лабораторних зразків.

Таблиця 3.2 - Властивості лабораторних зразків з використанням плавленого периклазу

№ проби	окислюваність при 1200 °С,%	Частка зневуглецьованого шару при 1450 °С, %	до коксування			після коксування		
			$П_{відкр}$, %	$ρ_{уяв}$, г/см^3	$σ_{сж}$, МПа	$П_{відкр}$, %	$ρ_{уяв}$, г/см^3	$σ_{сж}$, МПа
2	9,0	61,7	6,1	2,95	46,4	14,2	2,88	20,5
3	8,4	48,8	3,9	2,97	49,0	13,5	2,88	22,8

Як випливає з таблиці 3.2 фізико-хімічні властивості зразків проби № 2 як після термообробки, так і після коксівного випалу помітно гірше, ніж зразків проби № 3. Збільшення відкритої пористості ($П_{відкр}$) з 3,9 до 13,5% обумовлено неоднорідністю структури синтетичного периклазу і присутністю в зернах великих пір і тріщин. Зниження межі міцності при стисненні ($σ_{сж}$) з 49 до 22,8 МПа і уявної щільності ($ρ_{уяв}$) зразків з 2,97 до 2,88 г/см^3, а також збільшена частка зневуглецьованого шару пов'язані з більш низькою щільністю синтетичного периклазу.

На підставі результатів проведених лабораторних досліджень з метою отримання більш об'єктивної оцінки якісних показників периклазових порошків були

проведені:

- дослідно-промислові випробування плавлених периклазових порошків № 1, 3, 4, 5 по 120 тонн кожного виду периклазу;

- дослідно-промислове випробування дослідної партії синтетичного плавленого периклазу в обсязі 10 т після доопрацювання основних технологічних параметрів плавки.

Із застосуванням дослідних периклазових порошків, а також з використанням кристалічного природного графіту Киштимського родовища, марки ГЕ-1, сполучного фенольного порошкоподібного СФПР-050 і етиленгліколю, були виготовлені дослідно-промислові партії периклазовуглецевих виробів для футеровки сталерозливних ковшів.

Властивості дослідних виробів відповідали вимогам чинного ТУ «Вироби оксидовуглецеві для робочої футеровки сталерозливних ковшів ККЦ і ЕСПЦ (таблиця 3.3).

Таблиця 3.3 - Властивості дослідних ковшових виробів

Марка ПУ виробів	Постачальник периклазу	пористість відкрита, %	Межа міцності при стисненні, МПа	Масова частка, %	
				MgO	C
Для футеровки стін	Норма по ТУ	Не більше 5	Не менш 40	Не менш 95	8-13
	Проба № 1	3,2	47,7	96,4	10,4
	Проба № 3	3,6	56,5	95,4	10,2
	Проба № 4	3,3	55,4	96,3	9,8
	Проба № 5	3,0	46,0	96,4	10,3
Для футерування шлакового пояса	Норма по ТУ	Не більше 6	Не менш 35	Не менш 90	9,5-14
	Проба № 1	3,2	44,8	90,1	11,8
	Проба № 2	3,5	47,5	92,7	12,4
	Проба № 3	3,1	48,6	90,9	12,5
	Проба № 4	3,3	52,2	91,9	10,4
	Проба № 5	3,8	44,6	90,2	12,3
Для футеровки днища	Норма по ТУ	Не більше 6	Не менш 40	Не менш 95	5-9
	Проба № 1	4,5	50,1	96,4	8,8
	Проба № 3	4,4	58,2	6,3	8,6
	Проба № 4	4,1	58,3	96,1	7,0
	Проба № 5	3,8	56,6	96,4	8,4

Футеровка сталерозливних ковшів була виконана відповідно до чинної технологічної інструкції. При візуальному огляді футеровок після служби виробів на основі плавленого периклазу постачальників № 1, 2, 3, 4, 5 спостерігається рівномірне спрацьовування виробів. Зовнішній вигляд футеровок сталерозливних ковшів різних постачальників периклазових порошків після закінчення кампанії представлений на рисунках 3.5-3.9.



Рисунок 3.5 - Дослідне футерування на основі плавленого периклазу проби № 1



Рисунок 3.6 - Дослідну футерування на основі плавленого периклазу проби № 2



Рисунок 3.7 - Дослідне футерування на основі плавленого периклазу проби № 3



Рисунок 3.8 - Дослідне футерування на основі плавленого периклазу проби № 4



Рисунок 3.9 - Дослідне футерування на основі плавленого периклазу проби № 5

Після експлуатації ковшових виробів були виконані топографія зносу по всій висоті кладки. Результати визначень наведені в таблиці 3.4. Швидкість зносу футеровки (V) визначали за формулою:

$$V = (S_1-S_2) / N, \quad (3.1)$$

де S_1 - первісна товщина футерування, мм; S_2 - залишкова товщина футерування, мм; N - кількість плавок.

Таблиця 3.4 - Топографія зносу футеровки дослідних ковшів в цехах

Марка ПУ виробів	Постачальник периклазу	Киснево-конверторному			електросталеплавильному		
		стійкість, пл	залишкова товщина футерування, мм	швидкість зносу, мм / пл	стійкість, пл	залишкова товщина футерування, мм	швидкість зносу, мм / пл
Для футеровки стін	проба №1	82,5	70-80	1,6-1,4	-	-	-
	проба №3	82,5	70-80	1,6-1,5	-	-	-
	проба №4	82,5	70-80	1,6-1,5	-	-	-
	проба №5	81,0	70-80	1,6-1,4	-	-	-
Для футерування шлакового пояса	проба №1	43,5	80-90	3,3-3,0	27,5	80-90	4,4-4,0
	проба №2	-	-	-	28	80-90	4,3-3,9
	проба №3	44,2	80-90	3,3-3,0	27,5	80-90	4,2-4,0
	проба №4	43	70-80	3,2-3,0	-	-	-
	проба №5	42,8	80-90	3,2-3,0	27,5	80-90	4,2-3,9
Для футеровки днища	проба №1	43,5	90-110	5,3-4,8	-	-	-
	проба №3	44,2	90-110	5,4-4,9	-	-	-
	проба №4	43	90-110	5,5-5,3	-	-	-
	проба №5	42,8	90-110	5,2-4,9	-	-	-

З таблиці 3.4 випливає, що мінімальна стійкість футеровок, виконаних з виробів на основі плавлених порошків, становить: стіни - 81 плавку; шлаковий пояс, дно - 42,8 плавки в ККЦ і 27,5 плавки в ЕСПЦ.

Проведені дослідження показують достатню стійкість периклазовуглецевих виробів робочого шару сталерозливних ковшів і можуть служити основою для створення зносостійкого периклазовуглецевого футерування. Таким чином, на підставі дослідно-промислової партії периклазовуглецевих виробів плавлені порошки повинні відповідати таким вимогам (таблиця 3.5).

Таблиця 3.5 - Вимоги до плавлених порошків периклазу

найменування показника	показник
Масова частка, % MgO SiO_2 CaO Fe_2O_3	 Проте 97 не більше 0,7 не більше 1,6 не більше 0,6
Співвідношення CaO / SiO_2	не менше 2
Втрати маси при прожарюванні, %	не більше 0,3
Вологість, %	не більше 0,3
Удавана щільність, г/см^3	Проте 3,45

3.2 Дослідження окисленості вуглецьвмісних зразків

Одним з показників експлуатаційної стійкості вуглецьвмісних вогнетривів в металургійному агрегаті є стійкість до окислення (втрата маси в окислювальній атмосфері), що характеризує стійкість до зневуглецювання вогнетриву. Хімічна стійкість вуглецьвмісних вогнетривів також забезпечується вуглецем, який вигорає або розчиняється в металі / шлаку, тим самим корозійна стійкість вогнетриву різко знижується. Стійкість зневуглецьованого шару можна збільшити підвищенням чистоти вихідних матеріалів, а так само за рахунок підвищеної спікливості мінеральної фази і процесів контрольованого самоущільнення в процесі спікання. Однак, основним фактором, що впливає на корозійну стійкість вуглецьвмісних вогнетривів, залишається стійкість до згневуглецювання. Виготовлення лабораторних виробів та склади шихт відповідали технології, описаній в розділі 2.1. Результати визначення фізико-хімічних властивостей вуглецьвмісних зразків представлені в таблицях 3.6 і 3.7. Зразки після визначення окислюваності представлені на рисунках 3.10-3.11, а результати втрат маси периклазовуглецевих зразків від температури випалу - на рисунку 3.12.

Таблиця 3.6 - Фізико-хімічні властивості периклазовуглецевих зразків

Склад, марка графіту	Насипна щільність шихти, г/см3	властивості							
		після термообробки				після коксування			
		$Р_{уяв}$, г/см^3	$П_{відк}$, %	W, %	$\sigma_{сж}$, МПа	$Р_{уяв}$, г/см^3	$П_{відк}$, %	W, %	$\sigma_{сж}$, МПа
ПУ-1 (ГЕ-1)	1,02	3,02	13,0	3,6	48	2,97	15,0	4,3	30
ПУ-2 (Falke 94100)	1,13	3,03	12,0	3,3	51	2,98	15,0	4,2	30
ПУ-3 (КНР «+592»)	1,10	2,99	14,0	3,8	46	2,92	18,0	4,9	26
ПУ-4 (М «+595»)	1,16	3,01	12,0	3,9	58	2,95	15,0	4,2	33
ПУ-5 (FLS 897)	1,16	3,00	12,0	3,4	51	2,96	15,0	4,2	34

Таблиця 3.7 - Фізико-хімічні властивості корундовуглецевих зразків

Склад, марка графіту	Насипна щільність шихти, г/см3	властивості							
		після термообробки				після коксування			
		$Р_{уяв}$, г/см^3	$П_{відк}$, %	W, %	$\sigma_{сж}$, МПа	$Р_{уяв}$, г/см^3	$П_{відк}$, %	W, %	$\sigma_{сж}$, МПа
КУ-1 (ГЕ-1)	0,86	3,09	18,0	4,0	30	2,79	20,0	6,1	16
КУ-2 (Falke 94100)	1,29	3,13	17,0	4,5	42	2,86	20,0	5,8	22
КУ-3 (КНР «+592»)	0,92	3,04	20,0	5,3	30	2,75	23,0	6,9	17
КУ-4 (М «+595»)	1,24	3,10	18,0	4,7	41	2,80	21,0	6,2	21
КУ-5 (FLS 897)	1,29	3,11	17,0	4,7	43	2,81	21,0	6,2	20

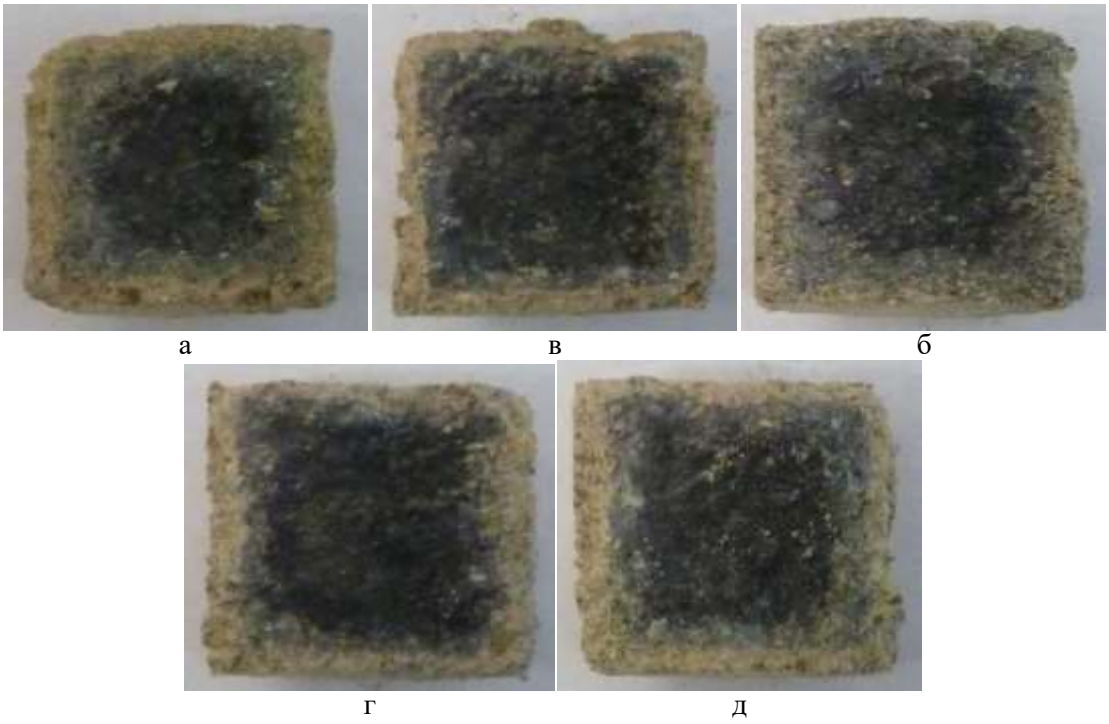
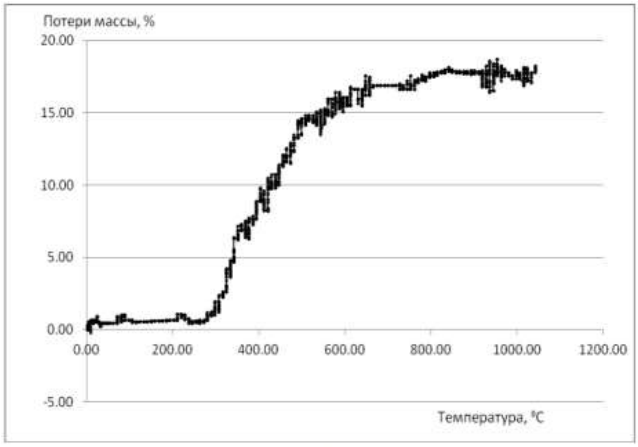


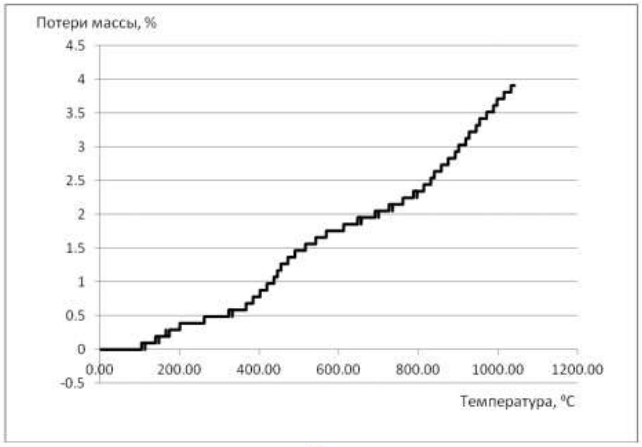
Рисунок 3.10 - Периклазовуглецеві зразки після випробувань на окислюваність: а - ПУ-1 (графіт ГЕ-1); б - ПУ-2 (графіт Falke 94100); в - ПУ-3 (графіт КНР «+592»); г - ПУ-4 (графіт Мадагаскар «+595»); д - ПУ-5 (графіт FLS 897)



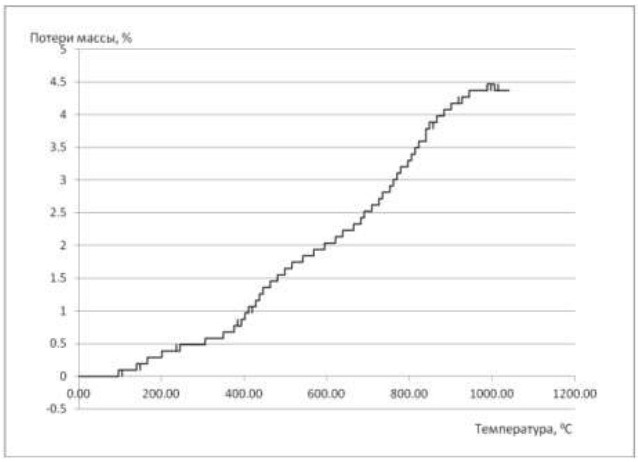
Рисунок 3.11 - Корундовуглецеві зразки після випробувань на окислюваність: а - КУ-1 (графіт ГЕ-1); б - КУ-2 (графіт Falke 94100); в - КУ-3 (графіт КНР «+592»); г - КУ-4 (графіт Мадагаскар «+595»); д - КУ-5 (графіт FLS 897)



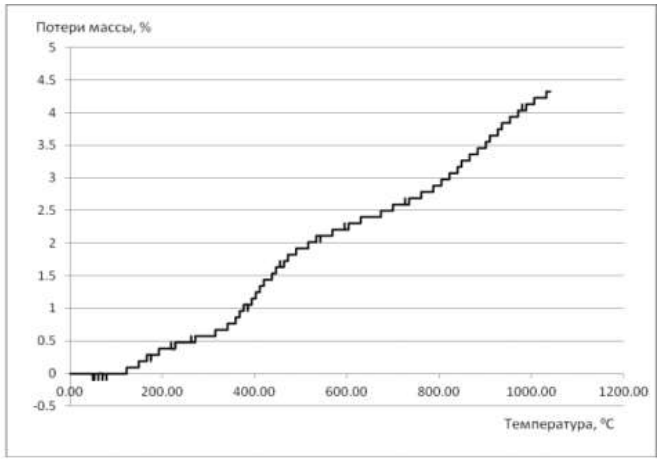
а



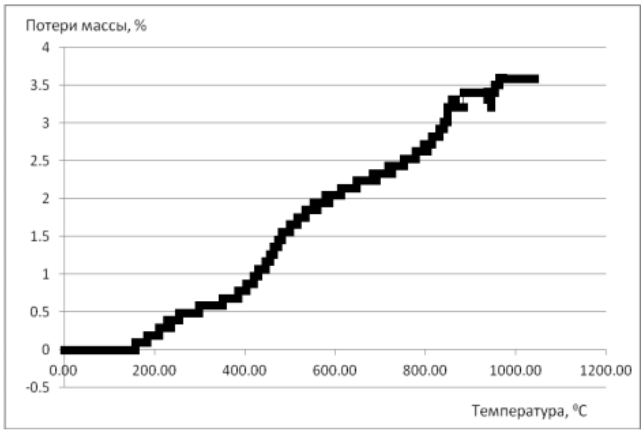
б



в



г



д

Рисунок 3.12 - Залежність втрат маси периклазовуглецевих зразків від температури випалу зразків: а - ПУ-1 (графіт ГЕ-1); б - ПУ-2 (графіт Falke 94100); в - ПУ-3 (графіт КНР «+592»); г - ПУ-4 (графіт Мадагаскар «+595»); д - ПУ-5 (графіт FLS 897)

3.3 Вплив дискретних вуглецевих волокон на властивості лабораторних зразків

Мікроармування волокнами матриці виробів і матеріалів розглядається як спосіб створення конструкцій, здатних сприймати тривалі вигинаючі і розтягуючі

напруги і динамічні навантаження, ефективно чинити опір утворенню тріщин, як при механічних навантаженнях, так і при термічних. Світовий досвід підтверджує, що перспективним напрямком в індустрії конструкційних і функціональних матеріалів є застосування мікроармування волокном виробів різного призначення.

Крім того, в результаті поєднання мікроармуючого волокна і матриці штучного каменю утворюється додатковий комплекс властивостей композиту, якими ізольовані компоненти не володіють. Зокрема, наявність кордонів розділу між армуючими елементами і матрицею істотно підвищує тріщиностійкість матеріалу. Таким чином, в композитах збільшення статичної міцності призводить не до зниження, а до підвищення характеристик в'язкості руйнування і усадочною деформацією. Об'ємне мікроармування матеріалів дозволяє також значно зменшити загальну масу виробів за рахунок зменшення перетину при незмінних міцнісних показниках, що сприяє економії сировинних, енергетичних і трудових ресурсів. У рідкій мінеральній зв'язці на основі неметалічних матеріалів присутність волокнистого армуючого наповнювача зменшує пластичну усадку, покращує водоутримуючі здатності за рахунок створення тривимірної сітки всередині суміші. В'язкість мікроармованого матеріалу змінює механізм руйнування, яке не відбувається раптово, як в звичайному випадку.

3.3.1 Характеристики армуючих матеріалів

В технології вогнетривких матеріалів є два напрямки використання волокон: армування поліпропіленовими і / або металевими волокнами (фіброю) вогнетривких нізкоцементних бетонів і виробів з них і волокнистими армирующими матеріалами (ековата, базальтова вата, коалінове волокно) торкрет-бетонів для робочого шару проміжного ковша. Тим часом експериментально доведено, що введення армуючого волокна може поліпшити фізико-хімічні властивості і підвищити стійкість вогнетривких виробів, зокрема вуглецю. Це обумовлено комплексом унікальних властивостей вуглецьвмісних вогнетривів - поєднанням високих показників вогнетривкості і температури початку деформації, механічної міцності та хімічної стійкості. Але в даний час спостерігається стабілізація зростання властивостей вуглецьвмісних во-

гнетривів, обумовлена як технічними, так і економічними причинами (якість вихідної сировини, сполучних композицій, проектування структури виробів, використовуване обладнання). Одним з провідних чинників руйнування вуглецьвмісних вогнетривів останнім часом все частіше стає недостатня термостійкість або тріщиностійкість виробів, яка не відповідає підвищеній інтенсивності металургійних процесів. Одним з традиційних способів збільшення тріщино- і термостійкості вогнетривких виробів є метод армування волокнами. У структурі вогнетриву волокна, з одного боку, є корисними дефектами, які зупиняють поширення тріщин, а з іншого боку - підвищують міцність композиційного матеріалу, запобігаючи катастрофічному руйнування футеровки). Одним з провідних чинників руйнування вуглецьвмісних вогнетривів останнім часом все частіше стає недостатня термостійкість або тріщиностійкість виробів, яка не відповідає підвищеної інтенсивності металургійних процесів. Одним з традиційних способів збільшення тріщин - і термостійкості вогнетривких виробів є метод армування волокнами. У структурі вогнетриву волокна, з одного боку, є корисними дефектами, які зупиняють поширення тріщин, а з іншого боку - підвищують міцність композиційного матеріалу, запобігаючи катастрофічне руйнування футеровки.

Для армування використовують найрізноманітніші види волокон, основні властивості яких наведені в таблиці 3.8.

Таблиця 3.8 - Властивості різних видів волокон для виготовлення фібри

волокно	Щільність, г/см^3	Міцність на розтяг, МПа	модуль пружності, МПа	Подовження при розриві, %
поліпропіленове	0,90	400-700	3500-8000	10-25
поліетиленове	0,95	600-720	1400-4200	10-12
нейлонове	1,10	770-840	4200-4500	16-20
акрилове	1,10	210-420	2100-2150	25-45
поліефірне	1,40	730-780	8400-8600	11-13
бавовняна	1,50	420-700	4900-5100	3-10
азбестове	2,60	910-3100	68 000-70 000	0,6-0,7
скляне	2,60	1800-3850	7000-8000	1,5-3,5
сталеве	7,80	600-3150	190 000-210 000	3-4
вуглецеве	2,00	2000-3500	200 000-250 000	1,0-1,6
карбонове	1,63	1200-4000	280 000-380 000	2,0-2,2
поліамідне	0,90	720-750	1900-2000	24-25
віскозне надміцне	1,20	660-700	5600-5800	14-16
базальтове	2,60-2,70	1600-3200	7000-11 000	1,4-3,6

З усього зазначеного різноманіття найбільш перспективним армуючим матеріалом для периклазовуглецевих та інших вуглецевих вогнетривів є вуглецеві волокна (CNF) з огляду на їх високих механічних властивостей і повну сумісність з матеріалами вогнетриву.

3.3.2 Дослідження структури волокон

В даний час вуглецеві волокна інтенсивно розробляються і широко використовуються в конструкційних матеріалах як армуючі наповнювачів. Композити з полімерними матрицями за технічними характеристиками (міцності, модуля пружності, термостійкості) випереджають інші вуглецеві композити. Введення волокон в вогнетривку шихту забезпечує тривимірне об'ємне зміцнення і підвищення довговічності матеріалу, зниження усадки в процесі термообробки, в результаті чого значно зростають тріщиностійкість і ударна в'язкість і, як наслідок, збільшується стійкість вогнетривів.

Вуглецеве волокно - неорганічне волокно, що складається в основному з атомів вуглецю. Форма вуглецю у вигляді волокна виникає в ході термічної обробки (при ретельно контрольованих умовах) органічних полімерів. При температурі обробки близько 900 °C вміст графіту в волокні становить 85-90%, при 900-1500 °C зростає до 95-99%, а при температурах 1500-3000 °C збільшується до 99% і більше.

Вуглецеві волокна зазвичай випускаються у вигляді безперервних ниток і для використання в якості армуючих компонентів різних композитів не можуть бути введені в вогнетривку масу без попереднього різання, подрібнення або помелу, при цьому вони «успадковують» більшість цінних властивостей вихідних нескінченних ниток. Такі волокна можна умовно віднести до одного класу - «дискретних вуглецевих волокон». Були розроблені й оптимізовані параметри вуглецевих волокон [44], основні типи яких представлені на рисунку 3.13.

Рубані або різані волокна виготовляють відповідно на верстатах рубки (СРВ) і різання волокна (СКР). Безперервні вуглецеві волокна пропускають через верстати, видаючи на виході відрізки волокна переважно одного заданого розміру. На верстаті СРВ заданий різ забезпечується кроком розстановки лез ріжучого барабана і може змінюватися від 1,5 до 50 мм і більше. При цьому крок установки лез ріжучого

барабана відбивається в назві рубленого волокна (РУВ-2, РУВ-4 і т.д.).

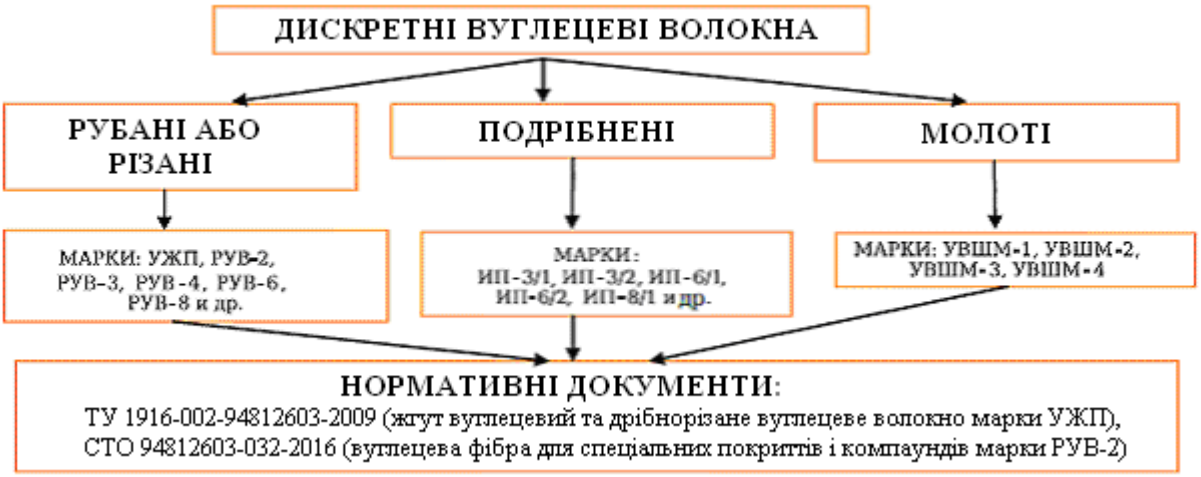


Рисунок 3.13 - Основні марки вуглецевих волокон

Подрібнені вуглецеві волокна отримують на здрібнювачі ІПС, що представляє собою дробарку, забезпечену на виході перфорованими гратами. При досягненні необхідного ступеня подрібнення волокно має можливість проходити через осередки решітки і надходити в накопичувач продукції. Отримане таким способом подрібнене вуглецеве волокно відрізняється широким фракційним складом, включаючи пилоподібні фракції. Розмір осередку перфорованої решітки і кількість пропусків продукту через подрібнювач відбивається в назві. Наприклад, позначення «подрібнене вуглецеве волокно марки ІП 6/1» означає, що продукт був отриманий шляхом одноразового пропуску вуглецевого волокна через подрібнювач ІПС з осередками решітки, діаметром 6 мм. Повторний пропуск продукту через подрібнювач дозволяє скорегувати фракційний склад.

Мелені вуглецеві волокна (УВШМ) отримують в кульовому млині сухого помелу з попередньо подрібнених вуглецевих волокон. Розмір одержуваних мелених волокон не перевищує 350 мкм. Ступінь помелу вуглецевого волокна залежить від тривалості проведення процесу. Тривалість помелу вуглецевого волокна відбивається в назві. Позначення «мелене вуглецеве волокно марки УВШМ-4» слід розуміти, як вуглецеве волокно, піддане помолу в кульовому млині протягом 4 годин.

Вуглецеві волокна (CNF) застосовуються в вуглецевих вогнетривах в якості ефективної армуючої добавки, з огляду на їх високі механічні властивості (таблиця 3.9) і повну сумісність з матеріалами вогнетриву.

Таблиця 3.9 - Нормативні показники вуглецевих волокон

найменування показника	Нормативний показник
Тип волокна	вуглецеве
Діаметр волокна, мкм, в межах	6-9
Міцність при розтягуванні одиночного волокна, МПа, не менше	2500
Модуль пружності при розтягуванні одиночного волокна, ГПа, не менше	180
Щільність волокна, г/см^3, в межах	1,68-1,8
Подовження при розриві одиночного волокна, %, не менше	0,8
Вологість,%, не більше	1

Дискретні вуглецеві волокна являють собою короткі довжиною до 4 мм волокна, хаотично розподілені в обсязі (рисунок 3.14). Гранична температура експлуатації незахищених дискретних волокон в повітряному середовищі складає 400-500 ° С, в інертному - 2500 ° С.

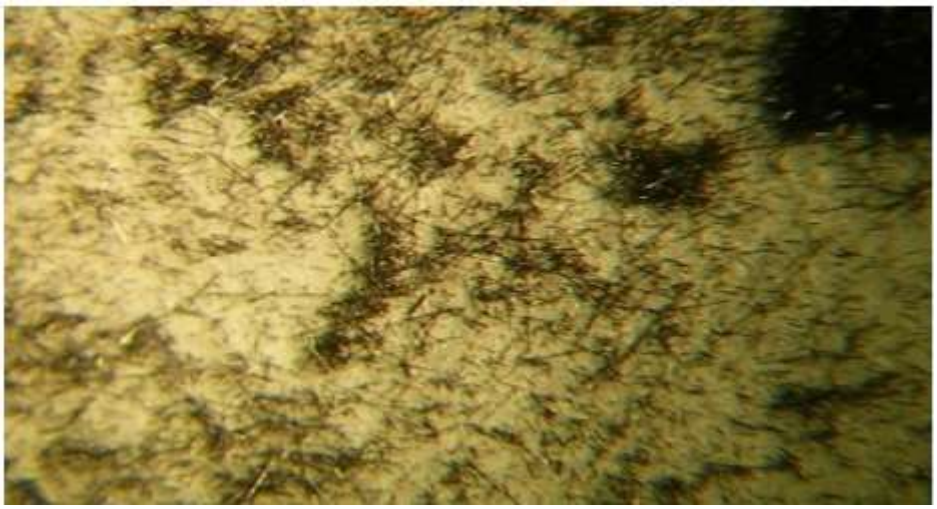


Рисунок 3.14 - Вуглецеві волокна. Світло косе, відбите, * 20

3.3.3 Вплив волокон на фізико-керамічні властивості периклазовуглецевих зразків

Для проведення лабораторних досліджень використовували: плавлений периклаз, що містить не менше 97 мас. % MgO; вуглецеві волокна РУВ-4 по ТУ 94812603-032-2016; графіт ГЕ-1 ГОСТ 17022; етиленгліколь ГОСТ 19710; СФП марки Р-050 по ТУ 6-05751768-35-94. Вміст компонентів шихти змінювали відповідно до таблиці 3.30. Довжина вуглецевих волокон перебувала в межах від 0,9 до 4 мм з переважним розміром - 0,92 мм.

Для досліджень були виготовлені зразки діаметром 50 мм і висотою 40 мм. Волокна вводили в шихту в кількості 0,05% і 0,2% двома способами:

- шляхом попереднього перемішування в етиленгліколі з подальшим введенням в периклазографітову шихту (склади 1-8);
- введенням в сухому вигляді в периклаз, зволожених етиленгліколем (склади 9, 10).

Зміст графіту в шихті змінювали від 4,0 до 7,0 мас. %.

Підготовку формувальної маси виробляли на лабораторному планетарному змішувачі «Айріх» моделі R02. Загальний час підготовки формувальної маси становив не менше 15 хвилин. Масу витримували протягом двох годин і пресували зразки на гідравлічному пресі при питомому тиску 150 МПа. Спресовані зразки піддавалися термообробці в повітряному середовищі при температурі 220 °С з витримкою при максимальній температурі протягом 120 хвилин. Для оцінки експлуатаційних властивостей зразки піддавали відновного випалу (коксівне випал) при температурі 1000 ° С і окислювальному випалу при температурі 1200 °С протягом 5 годин і 1450 °С протягом 2 годин.

Склади шихти і якісні показники лабораторних зразків представлені в таблиці 3.10, і на рисунку 3.15.

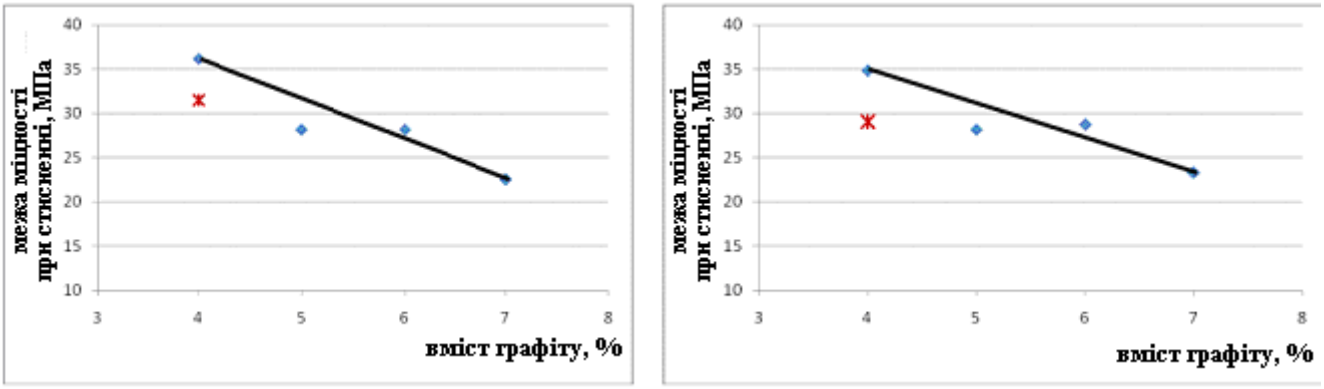
Аналіз отриманих даних показує, що при введенні вуглецевих волокон підвищується межа міцності при стисненні периклазовуглецевих зразків після формування з 57,5 до 80,0 МПа, при цьому вміст графіту в шихті може бути зменшено з 7,0 до 4,0 мас. % - відповідно (склади 1 і 8). Збільшення кількості волокна в шихті з 0,05 до 0,2 мас. % не викликає пропорційного поліпшення показників зразків до і після коксування.

Після коксівного випалу збільшується пористість зразків до 14,6%, тобто майже в 3 рази, межа міцності при стисненні так само знижується з 57,5 до 25,9 МПа (склад 1). Загальна тенденція зниження міцності спостерігається у всіх інших складах шихт в такому ж співвідношенні, але при зменшенні концентрації графіту межа міцності при стисненні зростає з 25,9 до 34,8 МПа, причому вміст вуглецевих волокон (0,05 або 0,2 мас.%) практично не відбивається на величині межі міцності зразків (рисунок 3.15).

Таблиця 3.10 - Властивості зразків з використанням вуглецевих волокон

№ складу	Масова частка компонентів у складі шихти, %		термостійкість, т/зм	Окисленість, %	частка зневуглецьованого шару, %	властивості виробів					
						до коксування			після коксування		
	волокно	графіт				$П_{відкр}$, %	$ρ_{уяв}$, г/см^3	$σ_{сж}$, МПа	$П_{відкр}$, %	$ρ_{уяв}$, г/см^3	$σ_{сж}$, МПа
11-К	0,0	7,0	9	7,4	68,4	5,5	2,97	57,5	13,8	2,89	25,9
1	0,05	7,0		8,6	70,1	5,3	2,90	57,5	14,1	2,90	23,3
2	0,20	7,0		9,0	70,8	5,5	2,97	58,3	14,6	2,88	22,5
3	0,05	6,0		7,0	68,5	4,6	3,02	67,4	13,1	2,94	28,7
4	0,20	6,0		7,6	68,5	5,5	2,99	63,7	13,8	2,91	28,2
5	0,05	5,0		7,0	69,7	4,8	3,00	76,0	13,4	2,93	28,2
6	0,20	5,0	12	7,3	68,7	5,2	3,01	73,5	13,9	2,93	28,2
7	0,05	4,0		5,8	70,5	5,3	3,03	80,0	13,1	2,97	34,8
8	0,20	4,0	13	6,2	68,3	5,0	3,03	78,7	13,7	2,95	36,2
9 *	0,05	4,0		6,1	74,2	5,6	3,03	82,6	13,3	2,97	28,9
10 *	0,20	4,0	12	6,4	72,5	5,4	3,03	76,5	13,7	2,95	31,1

* добавка волокон в сухому вигляді



* добавка волокон в сухому вигляді

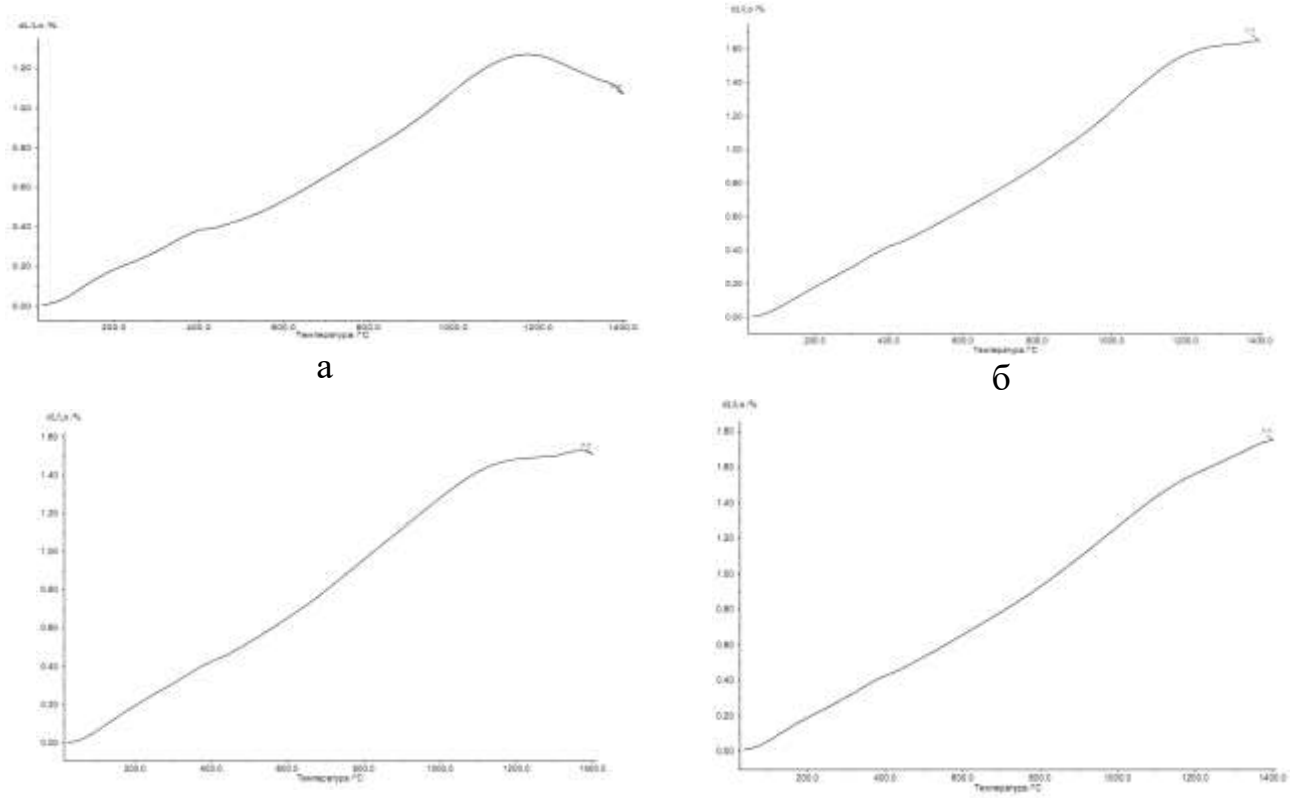
а б

Рисунок 3.15 - Зміна межі міцності при стисканні периклазовуглецевих зразків після коксування при введенні волокон, мас. %: А - 0,2; б - 0,05

При сухому способі введення волокон (склади 9 і 10) підвищення межі міцності при стисненні зразків після коксівного випалу в порівнянні з попередніми дослідами ніхто не почув, не дивлячись на збільшення міцності в порівнянні зі складом 11-К (контрольним). Термічна стійкість зразків з введенням вуглецевого волокна підвищується з 9 (склад 1) до 13 теплозмін (склад 8) при концентрації волокон 0,2 мас. %.

Дослідження термічного розширення периклазовуглецевих зразків складів 1, 4, 8 і 9 (рисунок 3.16) показує, що введення вуглецевих волокон помітно позначається на високотемпературній усадці. Так при нагріванні зразка 11-К відбувається його розширення до температури 1200 °С, при цьому максимальне розширення ста-

новить 1,3%, а потім спостерігається усадка до 1,1% при температурі 1400 °С. Введення волокон, як по сухому способу (склад 9, Рисунок 3.16, г), так і просочених етиленгліколем (склади 4 і 8, Рисунок 3.16, б і в) відповідно в кількості 0,05 і 0,2 мас. % запобігає високотемпературній усадці периклазовуглецевих вогнетривів. Величина розширення при температурі 1400 °С складає, %: 1.1; 1.7; 1.5 і 1.8, відповідно для зразків складу 1, 4, 8 і 9, при цьому усадка зразків відсутня (рисунок 3.16).



а б в г

а - 11-К; б - 4; в - 8; г - 9

Рисунок 3.16 - Теплове розширення зразків складів (таблиця 3.10)

Визначення межі міцності на вигин (по ГОСТ 23775-79) і на розрив проведено з периклазовуглецевих шихт, що містять вуглецеві волокна на зразках розміром 115х40х40 мм і 115х25х25 мм відповідно. В якості контрольного зразка використовували зразок аналогічного периклазовуглецевого складу, що не містить волокна (таблиця 3.11, зразок № 2).

Таблиця 3.11 - Міцність зразків: з добавкою CNF (1) і без (2)

Найменування визначення	зразок №1	зразок №2
Межа міцності на вигин, МПа	16,8 -17,6	13,9 -14,6
	17,1	14,2
Межа міцності на розтягнення, МПа	31,2 - 39,6	27,6 - 33,7
	34,3	30,1

З таблиці 3.11 випливає, що застосування вуглецевих волокон підвищує межу міцності зразків на вигин на 20% і на розтягнення на 13%. Таким чином, вуглецеві волокна, введені до складу периклазовуглецевої шихти, запобігають усадці вогнетриву при нагріванні вище 1200 °С, підвищують термостійкість з 9 до 13 теплозмін, межу міцності при стисненні після коксівного випалу з 25,9 до 36,2 МПа, межу міцності на вигин з 14,2 до 17,1 МПа і на розтягнення з 30,1 до 34,3 МПа.

3.4 Дослідне виготовлення і промислові випробування магнезіальної футеровки сталерозливних ковшів, армованих вуглецевим волокном

3.4.1 Вихідні матеріали для футеровки сталерозливних ковшів ККЦ

В якості сировинних матеріалів для виробництва дослідних виробів використовували периклазовий плавлений порошок Бі-97, графіт природний крупнолускатий ГЕ-1 по ГОСТ 7478, сполучне фенольне порошкоподібне (СФПР-050 по ТУ 2257-241-00203447), етиленгліколь (вищого сорту згідно з ГОСТ 19710), антиоксидант алюмінієвий (АПВ-П по ТУ 1790466520423), дискретне вуглецеве волокно марки РУВ-4 з технічними характеристиками, згідно з таблицею 3.11.

Таблиця 3.11 - Технічні характеристики волокна марки РУВ-4

Технічні характеристики	показники
Густина вихідного джгута, г/см^3	1,78
Масова частка золи, % не більше	0,3
Міцність елементарного волокна вихідного джгута, ГПа	2,5
Подовження при розриві,%, не менше	0,1
Лінійна щільність вихідного джгута, текс	400

Для виробництва дослідних виробів використовували шихту згідно з таблицею 3.12.

Таблиця 3.12 - Склади експериментальних вогнетривів

найменування матеріалу	Зона застосування вогнетривів, мас. %	
	зона сталі	шлакова зона
Периклазовий порошок фракції 3-1 мм	55	55
Периклазовий порошок фракції 1-0 мм	19,2	17.9
Периклазовий порошок фракції менше 0,063мм	13,3	10.3
графіт	8	10
СФП	3	3
етиленгліколь	1,5	1,5
Антиоксидант АПВ-П	-	2,3
Дискретне волокно (понад 100%)	0,05	0,05

3.4.2 Промислові випробування виробів, армованих вуглецевими волокнами

Підготовку вихідних матеріалів для випуску дослідної партії виробляли за існуючою технологією (згідно з розділом 2.2). Добавку CNF перед введенням в шихту попередньо обробляли етиленгліколем для гомогенного розподілу волокон в шихті і кращого армування матриці вогнетриву. Приготування формувальної маси здійснювали в змішувачі інтенсивного перемішування фірми «Айріх», згідно циклограмі змішання (таблиця 2.2). Підготовлені волокна подавали в змішувач одночасно з дозуванням фракціонованого периклазу, для кращого розподілу в формувальній масі. Завдяки змочуванню етиленгліколем, знімається статичний заряд, і волокна не сплутуються, рівномірно, без грудок, розподіляючись в формувальній масі. Виготовлення дослідних виробів виробляли на пресах «Лайс» ІРБ 1600 і 2500. Термообробку - в тунельних сушилах з витримкою при максимальній температурі 220 °С протягом 6 годин. Характеристики дослідних периклазовуглецевих виробів представлені в таблиці 3.13.

Таблиця 3.13 - Показники серійних і дослідних виробів

найменування показника	дослідні вироби	серійні вироби
Межа міцності при стисненні, МПа	57,5 - 63,7	49,2 - 57,4
	59,4	52,4
Відкрита пористість,%	3,8 - 4,3	4,1 - 4,4
	4,0	4,2
Вміст MgO,%	96,0	95,9
Вміст С, %	9,33	10,0

Дослідні вироби відрізнялися від серійних підвищеними середніми показниками межі міцності при стисненні 59,4 МПа проти 52,4 МПа відповідно, завдяки високому показнику межі міцності на розрив у волокон (2,5 ГПа). Адгезія вуглецевих волокон в структурі матриці периклазовуглецевого виробу забезпечувалася змочуванням етиленгліколем. Основним механізмом гальмування тріщини і збільшення межі міцності при стисненні стало дисипація енергії, сконцентрованої в гирлі тріщини по здвиговому механізму, а також на поверхні ослабленого зчеплення матриці з армуючими волокнами.

Дослідними виробами була виконана футеровка частини стін і шлакового пояса сталерозливного ковша № 33 ККЦ, причому ліва сторона від зливної - дослідні

вироби, права сторона - серійні. Порівняльні показники серійних і дослідних виробів в таблиці 3.13.

При гарячому ремонті на 42-ий плавці візуально права сторона ковша не відрізнялася від лівої, розпал був відсутній. Ківш виведений з експлуатації на стійкості робочої футеровки зони стали 82 плавки через утворення вертикальних тріщин і випереджаючого зносу по ним в зоні, футерованій серійними виробами. Фотографія ковша після експлуатації представлена на рисунку 3.17.



Рисунок 3.17 - Експериментальний ківш після служби

При демонтажі футеровки по центральній частині ковша (серійні вироби) відзначено 5 розпалів, найбільший глибиною 35 мм, шириною 20 мм і довжиною 2000 мм. У зоні дослідних виробів відзначений один невеликий розпал. Для оцінки зносу дослідного футерування були виконані виміри її залишкових товщин по всій висоті кладки. Залишкова товщина футерування і знос різних зон наведені в таблиці 3.14.

Таблиця 3.14 - Залишкова товщина футерування і знос експериментального ковша

зона футерування	вид виробів	Ківш № 33	
		залишкові, мм	знос, мм / за плавку
стіни	дослідні	100-110	1,2-1,1
	серійні	80-90	1,5-1,3
шлаковий	дослідні	80-90	2,9-2,6
	серійні	80-90	2,9-2,6

Таким чином, розроблена технологія виготовлення армованих вуглецевими

волокнами ковшових периклазовуглецевих виробів дозволяє підвищити їх фізико-механічні властивості, знизити знос на 0,2 мм за одну плавку і підвищити стійкість футеровки на 5-7 плавок.

3.4.3 Розробка технології зносостійких магнезіальних периклазовуглецевих виробів з введенням карбідкремнієвих антиоксидантів

Встановлено, що чим якісніше вихідна сировина для виробництва периклазовуглецевих виробів, тим більшу роль виконують антиоксиданти при експлуатації футерування. Домішки в сировині (периклазі, графіті) додатково утворюють рідку фазу з компонентами антиоксиданту і формують на поверхні футеровки (ковша, конвертора) розплав, який сприяє спіканню зневуглецьованого шару, і, одночасно, в ході експлуатації менш інтенсивно видаляється.

У периклазовуглецевих виробах з вмістом MgO 97 мас. % і вище, рідка фаза формується в менших кількостях, при більш високих температурах і вона володіє більшою в'язкістю. Контрольоване формування розплаву на робочій поверхні периклазовуглецевого футерування шляхом вибору виду і кількості антиоксиданту є актуальним завданням і дозволяє додатково підвищити експлуатаційну стійкість виробів в службі.

У практиці виробництва периклазовуглецевих виробів набули поширення в основному два антиоксиданти: металевий алюміній і карбід кремнію. Перший (металевий алюміній марки АПВ-П) з оксидом магнію при експлуатації утворює шпінель, карбід кремнію (SiC) - форстерит і кліноенстатіт. У присутності SiO_2 (в периклазовому порошку) шпінель утворює легкоплавкі розплави з низькою в'язкістю, які легко видаляються в процесі служби, в той час як з форстеритом і кліноенстатітом легкоплавких евтектики не утворюється, а розплав з підвищеним вмістом SiO_2 має високу в'язкість.

Вплив антиоксидантів на стійкість периклазовуглецевих виробів, до складу шихти яких введені вуглецеві волокна, ще більш значущі, так як останні є аморфними і мають високу питому поверхню в порівнянні з лусочками графіту, що змінює умови змочування мінеральної частини розплавом і спікання зневуглецьованого шару.

Таким чином, для подальшого підвищення стійкості периклазовуглецевих во-

гнетривів в якості антиоксиданту прийнято введення карбіду кремнію. Так як твердофазні процеси (в нашому випадку окислення SiC і утворення нових сполук) багато в чому залежить від дисперсності реагуючих речовин, потрібно оптимізація dмісту SiC і його дисперсності в шихті периклазовуглецевих виробів.

3.4.3.1 Вплив фракційного складу карбіду кремнію на властивості лабораторних зразків

Дослідження впливу фракційного складу SiC на властивості периклазовуглецевих виробів проведені з використанням плавленого периклазу Бі-97, графіту марки ГЕ-1, СФПР 050 і БІС, властивості якого наведені в таблицях 3.15-3.16. Лабораторні зразки виготовляли згідно з розділом 2.1. Фактичний зерновий склад відповідає даним таблиці 3.16.

Таблиця 3.15 - Якісні показники SiC (з сертифіката)

Найменування матеріалу	Хімічний склад, мас.%			
	SiC	Fe	C	магнітної фракції
Карбід кремнію	97,8	0,42	0,2	0,08

Таблиця 3.16 - Зерновий склад антиоксидантів

Найменування проб антиоксиданту	Прохід через сито №, %				
	05	0315	02	01	0063
БІС (проба 1)	99,9	99,8	99,7	57,4	15,5
БІС (проба 2)	100	99,9	99,8	41,8	10,6
БІС (проба 3)	99,7	99,6	99,4	73,3	25,8
БІС (проба 4)	99,9	81,5	41,3	10,5	3,3
БІС (проба 5)	99,9	93,9	86,1	82,7	61,4
АПВ-П (проба 6к)	99,7	99,1	96,1	66,3	20,1

Зразки термообробляли в повітряному середовищі при температурі 220 °С з витримкою при цій температурі протягом 2 годин і в коксовій засипці при 1000 ° С з витримкою 2 години. Властивості лабораторних зразків представлені в таблиці 3.17.

Таблиця 3.17 - Властивості периклазовуглецевих зразків з додаванням антиоксидантів АПВ-П і SiC

номер проби	Вміст, мас. %		Окісленість при 1200 °С, %	Частка зневуглецьованого шару при 1450 °С, %	властивості					
					до коксування			після коксування		
	SIC	АПВ-П			$П_{відкр}$, %	$ρ_{уяв}$, г/см^3	$σ_{сж}$, МПа	$П_{відкр}$, %	$ρ_{уяв}$, г/см^3	$σ_{сж}$, МПа
1	2,3	-	7,7	36,7	4,8	2,95	42,8	12,3	2,91	20,7
2	2,3	-	7,5	32,1	5,0	2,97	35,4	12,8	2,89	19,0
3	2,3	-	7,8	42,0	4,2	2,97	42,8	12,4	2,90	20,7
4	2,3	-	8,0	32,7	4,5	2,96	35,4	12,4	2,91	18,8
5	2,3	-	7,5	30,4	4,9	2,98	32,7	12,4	2,90	22,7
6к	-	2,3	7,9	33,4	6,0	2,94	36,7	11,8	2,90	19,5

Лабораторні зразки з SiC по окисляємості, величині зневуглецьованого шару і фізичними показниками до і після коксування показують властивості, аналогічні зразкам з додаванням алюмінієвого антиоксиданту. Чим вище дисперсність карбідкремнієвого антиоксиданту, тим менше частка зневуглецьованого шару. Так, периклазовуглецеві зразки проби № 5 містять карбідкремнієвий антиоксидант з проходом через сито № 0,5 - 61,49%, мали товщину зневуглецьованого шару 30,4%, межа міцності при стисненні після коксівного випалу при 1000 °С - 22,7 МПа. Причому зміна межі міцності при стисненні до і після коксування у зразків з SiC (проба 5) становить 30%, відповідно 32,7 і 22,7 МПа, а у зразків з АПВ-П (проба 6к) - 47% відповідно 36,7 і 19,5 МПа.

Таким чином, введення SiC в шихту периклазовуглецевих вогнетривів покращує корозійну стійкість зразків в порівнянні з антиоксидантом АПВ-П. Кращі властивості показали зразки з додаванням фракції карбіду кремнію 0-1 мм, в тому числі прохід через сито № 0,063 - 61,4% (проба 5), який рекомендований для подальших випробувань.

3.4.3.2 Оптимізація кількості карбідкремнієвого антиоксиданту в шихті периклазовуглецевих вогнетривів

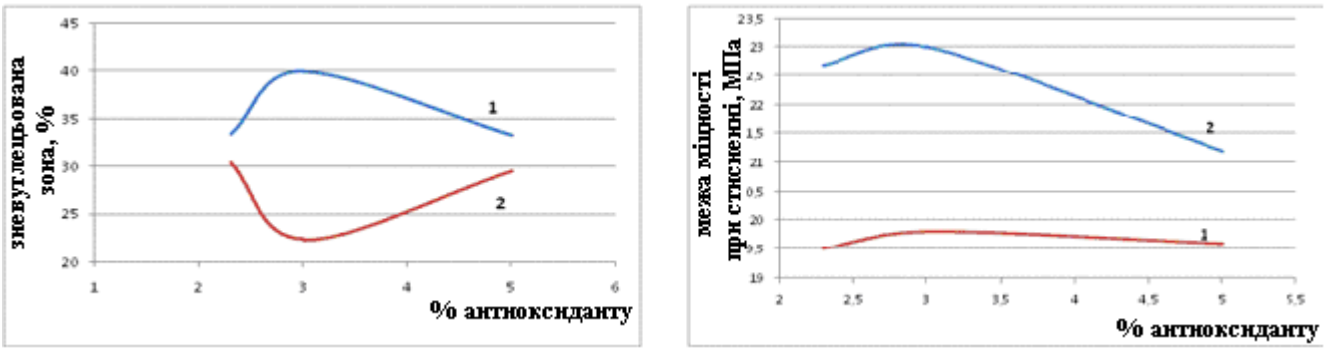
Згідно [130], оптимальна кількість карбідкремнієвого антиоксиданту в шихті периклазовуглецевих вогнетривів становить до 5 мас. %. У лабораторних умовах виготовлені зразки виробів, зміст в яких SiC приведено в таблиці 3.18. Встановлено,

що з двох антиоксидантів (АПВ-П і SiC), введених в шихту периклазовуглецевих виробів в рівних кількостях, найбільш ефективним є SiC.

Таблиця 3.18 - Властивості лабораторних зразків з різною кількістю антиоксидантів

номер проби	Вміст, мас. %		Окісляємість при 1200 °С, %	Частка зневуглецьованого шару при 1450 °С, %	властивості					
					до коксування			до коксування		
	SIC	АПВ-П			$П_{відкр}$, %	$ρ_{уяв}$, г/см^3	$σ_{сж}$, МПа	$П_{відкр}$, %	$ρ_{уяв}$, г/см^3	$σ_{сж}$, МПа
1 к	-	2,3	7,9	33,4	6,0	2,94	36,7	11,8	2,90	19,5
2к	-	3,0	7.5	40,0	7,0	2,88	35,4	12,7	2,84	19,8
3к	-	5,0	7.3	33,2	7,0	2,88	38,5	13,5	2,83	19,6
4	2,3	-	7.8	30,4	4,9	2,98	32,7	12,4	2,90	22,7
5	3,0	-	6.5	22,3	5,0	2,97	39,6	13,1	2,88	23,0
6	5,0	-	6.6	29,5	5,2	2,93	34,3	13,3	2,84	21,2

Введення SiC у вигляді дисперсного порошку (фр. <0,063 мм 61,49%, табл. 4.8) сприяє зниженню величини зневуглецьованого шару (рисунок 3.18, а) і підвищення межі міцності зразків після коксівного випалу (рисунок 3.18, б), в порівнянні з зразками, що містять АПВ-П.



а б

а - величина зневуглецьованого шару; б - межа міцності після коксуючого випалу для; 1 - АПВ-П; 2 - SiC

Рисунок 3.18 - Вплив вмісту антиоксидантів на властивості периклазовуглецевих зразків

Особливе значення для експлуатації має окислюваність, яка в порівнянних умовах вище у зразків, що містять АПВ-П. Велика величина зневуглецьованого шару зумовлює підвищений знос в службі, так як зв'язкою в периклазовуглецевих вогнетривах служить коксовий залишок, що утворюється в процесі розігрівання ковша. Видалення коксової зв'язки викликає руйнування поверхневого шару периклазовуглецевих виробів, сприяючи швидкому зносу виробів.

Таким чином, з урахуванням отриманих результатів, для виготовлення периклазовуглецевих виробів футерування сталерозливних ковшів і випробувань їх в умовах киснево-конверторного цеху рекомендований склад 5 (таблиця 4.8), що містить 3 мас. % SiC в якості антиоксиданту.

3.4.3.3 Промислові випробування робочої футеровки сталерозливних ковшів ККЦ

Як сировинні матеріалів для промислового випробування периклазовуглецевих виробів використовували периклазовий плавлений порошок марки Бі-97, графіт елементний (ГЕ-1, по ГОСТ 17022), сполучне фенольне порошкоподібне (СФПР-050, по ТУ 2257-241-00203447), етиленгліколь (вищого сорту згідно з ГОСТ 19710), карбід кремнієвий антиоксидант SiC-97 по ТУ 3989-040-00220931).

Для виробництва дослідних виробів використовували склад, який наведено в таблиці 3.19. Приготування формувальної маси здійснювали в змішувачі інтенсивного перемішування фірми «Айріх», згідно циклограмі змішання (таблиця 2.2). Виготовляли дослідні вироби на пресах «Лайс» НРБ 1600 і 2500. Термообробку проводили в тунельних сушилах, з витримкою при максимальній температурі 220 ° С протягом 6 годин. Властивості дослідних периклазовуглецевих виробів наведені в таблиці 3.20.

Таблиця 3.19 - Склади експериментальних вогнетривів

найменування матеріалу	Вміст компонентів, мас. %, по зонам	
	стіна	шлакова
Периклаз. порошок фр. 3-1 мм	55	55
Периклаз. порошок фр. 1-0 мм	19,2	17,9
Периклаз. порошок фр. менше 0,063 мм	10,5	9,8
графіт	8	10
СФП	3	3
етиленгліколь	1,3	1,3
антиоксидант SiC	3	3

Таблиця 3.20 - Властивості дослідних вогнетривів

Найменування виробів	Найменування показників				
	$П_{відкр}$, %	$ρ_{уяв}$, г/см^3	$σ_{сж}$, МПа	Вміст, %	
				MgO	C
Периклазовуглецеві вироби марки ПУПК-ШК для футерування шлаковой зони	4.9	2,99	57	89,6	11,7
Периклазовуглецеві вироби марки ПУПК-СК для футерування зони стін	3,8	3,00	60	89,7	12,5

Дослідними виробами футеровалі шлаковий пояс і стіни сталерозливного ковша. Умови експлуатації футерування дослідного сталерозливного ковша були аналогічні ковшам з серійними виробами (з використанням антиоксидантів у вигляді алюмінієвого порошку). Частка ковшів, оброблених на установці ваккуумуання сталі склала 24%, на установці піч-ківш - 88,1%. Експериментальний ківш був виведений з експлуатації після розливання на стійкості 81 плавка з проміжним ремонтом і заміною шлакового пояса і дна на 41 плавці. При огляді сталерозливного ковша після служби був зафіксований менший, у порівнянні з серійними, знос «бруківкою», і встановлено спікання штучних периклазовуглецевих виробів з утворенням монолітної футеровки. Після закінчення кампанії стальковша, під час руйнування футеровки, були виконані виміри залишкових товщин по всій висоті кладки сталерозливного ковша (таблиця 3.21), для порівняння наведені середні виміри залишкових величин серійних виробів в період роботи експериментального стальковша.

Таблиця 3.21 - Швидкість зносу різних футеровок ковшів

Марка виробів	зона футерування	Стійкість, плавок	Залишкові товщини, мм	Швидкість зносу, мм/за плавку
ПУПК-Ш (серійні)	шлаковий пояс	41,8	60-70	3,5-3,3
ПУПК-ШК (дослідні)		40,5	90-100	2,7-2,4
ПУПК-С (серійні)	зона сталі	80	60-70	1,8-1,6
ПУПК-СК (дослідні)		81	90-100	1,4-1,2

Зовнішній вигляд футерування дослідного ковша наведено на рисунку 3.19. Як випливає з даних таблиці 3.21, знос експериментальних вогнетривів був менше. Так, в шлаковому поясі він склав 2,7-2,4 мм / за плавку, в той час як серійні - 3,5-3,3 мм / за плавку. Знос в стінах склав 1,4-1,2 і 1,8-1,6 мм / за плавку відповідно дослідних і серійних виробів, причому знос в стінах периклазовуглецевих вогнетривів був приблизно в 2 рази менше, ніж в шлаковому поясі, що характерно для периклазовуглецевих вогнетривів. Слід зазначити значення залишкової товщини дослідних виробів після експлуатації, що свідчить про значні резерви стійкості футеровки.



Рисунок 3.19 - Фотографія 38 стальковша з експериментальним складом

На підставі результатів промислових випробувань дослідних партій виробів шлакового пояса і стін сталерозливних ковшів, відзначено, що швидкість зносу дослідних виробів ПУПК-ШК в зоні шлакового пояса на 15-20% нижче, ніж у серійних, знос виробів марки ПУПК-СК в зоні металу стальковшей ККЦ на 15-20% нижче швидкості зносу серійних виробів.

3.4.3.4 Дослідження шовних поверхонь ковшових виробів після експлуатації

Ковшові вироби шлакової зони після експлуатації були відібрані для аналізу мінерального складу (таблиця 3.22) і внутрішньої структури (рисунок 3.20).

Таблиця 3.22 - Мінеральний склад виробів після експлуатації

Найменування	**кількість**
Периклаз, %	82-85
Графіт, %	10-11
Кремній кристалічний, %	0,5-1
Карбід кремнію, %	1
Залізо металеве, %	<0,1
Силікати, %	1,0-1,5
Органіка, %	3-4
Шпінель, %	0,1-0,5
Розмір кристала периклазу, мкм	1000-2000

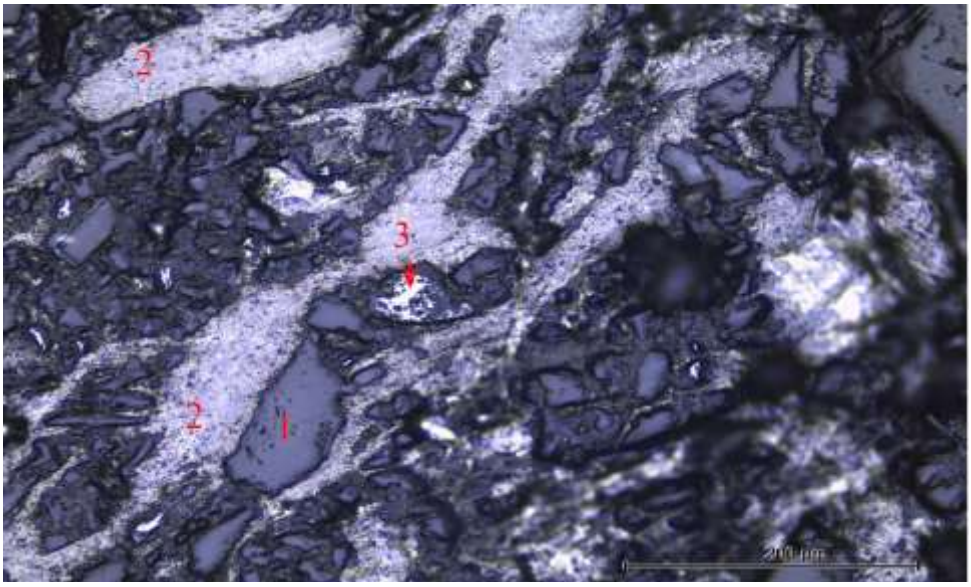


Рисунок 3.20 - Мікроструктура виробів після експлуатації: 1 - плавлений периклаз; 2 - графіт; 3 - кремній окислений

Аналіз структури проводили на зразках - шліфах. В основному периклаз крупнокристалічний з вмістом MgO - 98%. Наявність силікатів в основному обумовлено присутністю в зразках (не більше 10%) периклазу з розміром кристала 200-300 мкм з вмістом MgO 96%. Графіт крупнолускатий з розміром лусочок в середньому від 120 до 500 мкм. Остаточний кремній має розмір часток 10-20 мкм. Карбід кремнію практично не зустрічається, майже весь окислився з утворенням на місці карбіду кремнію кремнеземвмісного матеріалу.

Для проведення аналізу взаємодії виробів зі шлакометалевим розплавом з добавкою АПВ-П (зразок №1) і SiC (зразок №2) були підготовлені шліфи таким чином, щоб в зону вивчення потрапили шовні поверхні виробів і проник в шовну частина шлак (рисунок 3.21).

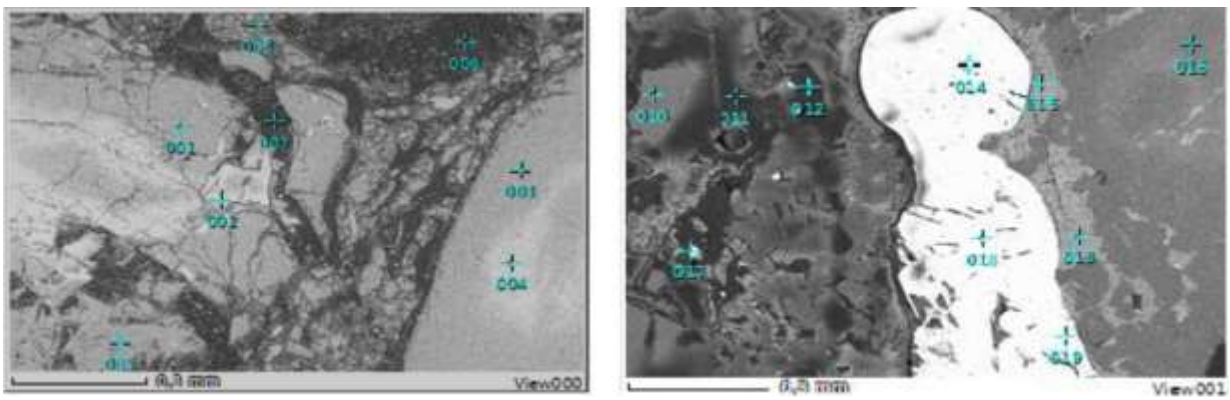


Рисунок 3.21 - Шовна частина зразків виробів і точки аналізу хімічного складу: а - зразок №1 (з АПВ-П), б - зразок №2 (з SiC).

Результати хімічного аналізу шовних поверхонь представлені в таблиці 3.23.

Таблиця 3.23 - Хімічний склад шовних поверхонь виробів

елемент	Вміст, мас. %, в точці №, для зразка								
	Мал. 5.4, а				Мал. 5.4, б				
	003	005	007	008	012	014	015	016	019
C	13.86	8.25	19.8	25.39	90.91	4.43	4.11	20.5	3.37
O	31.54	27.5	23.56	0.35	6.44	21.58	0.77	25.35	13.15
Mg	52.63	64.25	1.2	68.09	2.65	0.7	6.29	54.15	-
Al	1.98	-	18.4	-	-	19.31	20.92	-	-
Si	-	-	8.36	-	-	10.55	12.02	-	-
S	-	-	-	-	-	2.26		-	-
Ca	-	-	25.11	-	-	41.18	29.99	-	-
Fe	-	-	-	-	-	-	-	-	90.15
P	-	-	-	-	-	-	-	-	1.29
K	-	-	-	-	-	-	-	-	17.71
Mn	-	-	3.58	-	-	-	-	-	5.23
V	-	-	-	-	-	-	-	-	1.26

Знос вогнетриву на кордоні зі шлаком у виробів, що містять різні антиоксиданти, відбувається по-різному. Знос виробів з алюмінієвим антиоксидантом характеризується проникненням шлакометалевого розплаву (точка 007) всередину вогнетриву по кордону з вуглецевою складовою (точка 008) з відшаруванням зерен периклазу (точка 005) і подальшим їх розчиненням в шлаку. Тому у виробів з алюмінієвим антиоксидантом яскраво виражений випереджаючий знос шовних поверхонь. Вироби з карбідокремнієвим антиоксидантом мають чітку межу розділу шлак - вогнетрив (точки 012 і 014 відповідно) з невеликою зоною шлакопропітки (точка 015).

Для аналізу розподілу елементів і визначення точного хімічного складу були зняті зображення в рентгенівському випромінюванні при скануванні по поверхні зразка. Колірна шкала відповідає вмісту елемента в даній точці поверхні в атомних % (рисунок 3.22).

Елементний аналіз поверхні шва і виробів, що містять SiC як антиоксидант, показує утворення оксидної плівки кремнію на кордоні вогнетрив-шлак, чим пояснюється низький, рівномірний знос вогнетриву і шовної поверхні.

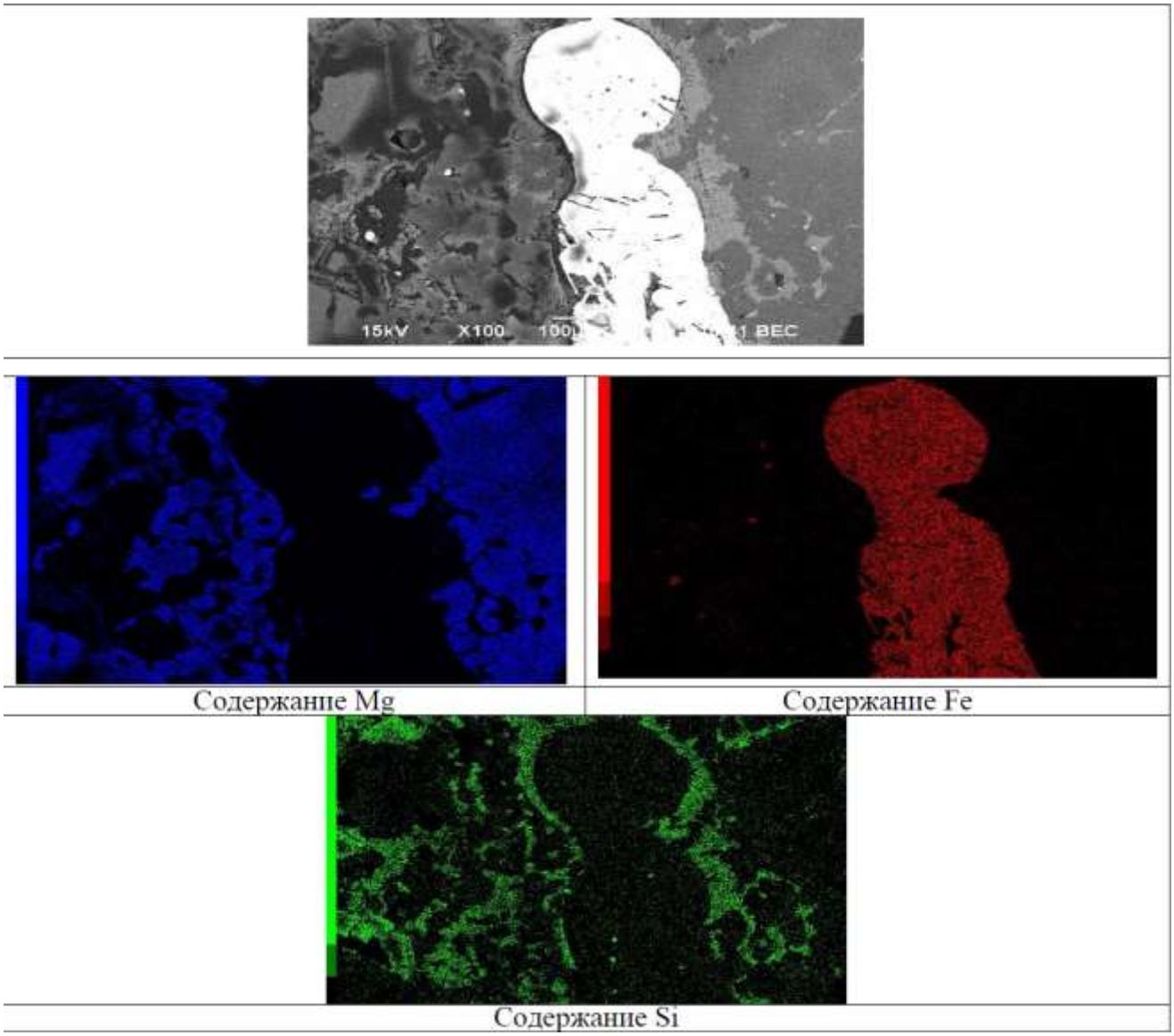


Рисунок 3.22 - Розподіл елементів (К-лінії) за зразком

висновки

1. Проведено оцінку властивостей плавленого периклазу ряду постачальників на основі ключових показників: макро- і мікроструктури плавлених порошків; хімічного і мінерального складу кристалів, що складають зерна; структурою зв'язку і домішковими фазами між ними; фізичними властивостями і ін.

встановлено:

- хімічний склад периклазових порошків не є однозначним показником якості, так як при цьому істотну роль на термін експлуатації надають: щільність, розмір кристалів і тип зв'язку між ними. Тому порошок № 2, з вмістом 98,9 мас. % MgO, мав низьку щільність 3,42 г/см^3, при цьому кристали мали закриту пористість.

- стійкість футеровки сталерозливного ковша в різних місцях кладки (шлако-

вого поясу, стін, дна) з дослідних виробів різна. Найбільша швидкість зносу периклазовуглецевих виробів відбувається в футеровці дна ковша (від 4,8 до 5,5 мм/за плавку), в той час як в футеровці стін - від 1,3 до 1,6 мм/за плавку. Швидкість зносу мало залежить від типу порошку.

- оптимальна стійкість, що забезпечує мінімальні витрати на експлуатацію робочої футеровки сталерозливних ковшів виконаних з електроплавленних порошків склала: стін - 81 плавка, шлаковий пояс / дно - 42,8 (в киснево - конверторному цеху) і 27,5 плавки (в електросталеплавильному цеху).

2. Проведено дослідження трьох марок фенольних сполучних для виготовлення периклазовуглецевих вогнетривів і визначені мінімальні параметри застосовуваної зв'язки для забезпечення оптимальної якості вогнетривів.

Встановлено, що коксування збільшує пористість зразків з 5-7% до 13-15% і зменшує міцність приблизно в 2 рази. Швидкість зносу дослідних виробів всіх зон футерування стальковшів залишалася приблизно однаковою для всіх зв'язок.

3. Вивчено вуглецеві матеріали, що застосовуються при виробництві периклазовуглецевих вогнетривів: графіту марок ГЕ-1 (Киштимського родовища), Falke 94100 (Бразилії), «+592» (КНР), «+595» (Мадагаскар), FLS 897 (Норвегія). За дисперсним складом досліджені графіти можна умовно розділити на дві групи: дрібнодисперсні з переважним розміром <0,15 мм і крупнодисперсні з розміром частинок > 0,15 мм, властивості яких різняться.

4. Встановлено, що армування матриці периклазовуглецевих вогнетривів вуглецевими волокнами підвищує міцність на вигин на 20% і на розтягнення на 13%, запобігає їх усадці при нагріванні вище 1200 °С, підвищує термостійкість з 9 до 13 теплозмін і міцність на стиск після коксівного випалу з 25,9 до 36,2 МПа.Недостатня термостійкість і тріщиностійкість периклазовуглецевих виробів в футеровці сталерозливних ковшів призводить до появи вертикальних тріщин з наступним глибоким випереджаючим зносом і передчасного виведення з експлуатації сталерозливних ковшів.

5. Мікроармування матриці вогнетриву вуглецевими волокнами, оброблених поверхнево-активною речовиною, підвищує межу міцності при стисненні виробів на 13% (середнє значення 59,4 МПа у дослідних виробів, проти 52,4 МПа у серій-

них).

6. Створення армованої структури виробів, модифікованих вуглецевими волокнами, зменшує знос вогнетриву на 15% (з 1,3 мм/за плавку, до 1,1 мм/за плавку), що дозволяє прогнозувати збільшення ресурсу експлуатації стальковша на 5-7 плавок.

7. В процесі служби в сталерозливних ковшах периклазовуглецеві вироби зношуються нерівномірно. Найбільш зношуються ділянкою є шлакова зона ковша, в меншій мірі - зона металу. Найбільшою мірою руйнування футеровки відбувається по швах з характерним зносом «бруківкою».

8. Розроблено склад виготовлення периклазовуглецевих вогнетривів з введенням в якості антиоксиданту SiC в кількості 3%. На дослідних зразках виробів зазначається менша втрата межі міцності при стисненні після коксування - 30%, проти 47% у зразків серійного складу.

9. Дослідні вироби випробувані в футеровці стальковша ККЦ. Знос футерування склав 1,6-1,2 мм / за плавку (зона металу) і 2,6-2,4 мм / за плавку (шлаковий пояс), що на 15-20% нижче, ніж у серійних вогнетривів. Руйнування футерування відбувається рівномірно, без утворення характерної поверхні «кругляк».

10. Дослідження шовного поверхні виробів після експлуатації наочно ілюструє формування захисної плівки окисленого кремнію на контактує зі шлаком поверхні і чітку межу поділу шлак - вогнетрив.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

4.1 Техніка безпеки у вогнетривному цеху

4.1.1 Основні шкідливі та небезпечні фактори виробництва

Пил є найпоширенішою виробничою небезпекою. Більшість виробничих процесів (перевантаження компонентів шихти, транспортування матеріалів) пов'язані з викидами пилу, що насамперед впливає на органи дихання [28].

Крім того, пил погіршує виробничу обстановку (огляд, орієнтацію) в робочій зоні, а разом з тим призводить до швидкого руйнування деталей машини, що труться. Пил може вибухнути та стати джерелом статичної електрики.

Робота у запилених приміщеннях може призвести до розвитку професійних захворювань, пов'язаних із роботою легень людини.

Використання газового палива у виробництві призводить до утворення великої кількості газу, частина якого надходить у робочий простір цеху.

При попаданні компонентів газу та домішок у ньому в організм людини вони мають задушливу та отруйну дію. Задуха виникає через нестачу кисню повітря. Задишка та прискорене серцебиття починаються при зниженні вмісту кисню в повітрі до 16%, до 12% (дуже важко дихати), до 8% - до непритомності.

Найбільшу частку газів у металургійному виробництві становить окис вуглецю - безбарвний газ зі слабким запахом. Він має дуже сильну токсичну дію і його вплив на фізіологічні процеси залежить від його концентрації в повітрі та тривалості вдихання.

Розсіювання тепла. Температури, відмінні від комфортних, несприятливі для людського організму [29].

Мікроклімат у приміщенні металургійного цеху сильно залежить від погодних умов та температури навколишніх поверхонь.

Види передачі тепла від нагрітої поверхні до людини: теплопровідність, конвекція та теплове випромінювання. Залежно від основного виду теплообміну, мікроклімат усередині робочого приміщення може бути конвективним, променистим

або змішаним. У високотемпературних металургійних цехах клімат переважно радіаційний (60%).

Організм людини конвективний (15-20%), лучистий (70%), теплопровідний (2-4%), потовиділений (5% - близько 1 л на годину). Останній є найменш сприятливим методом терморегуляції. Тканини виснажуються водою та солями, кров згущується, ускладнюється серцево-судинна та нервова діяльність.

Шум - це сукупність випадкових коливань частинок речовини або предметів, що передаються в твердому, рідкому або газоподібному середовищі і сприймаються органом слуху людини.

Джерелами шуму на вогнетривних заводах є редуктори, вентилятори, компресори та насоси, ручні ударні інструменти, транспортні системи, а також виток газу або рідини з трубопроводів.

З фізіологічної точки зору шум є шкідливим подразником, що впливає на слухову систему людини та весь організм в цілому, заважаючи виконанню робочих функцій та нормальному сприйняттю корисних звукових сигналів та мовлення. Шум як фізичне явище є рядом звуків, що розрізняються за частотою (висота) і інтенсивністю (гучністю).

Вібрація – це вібрація частин приладів, машин та комунікацій, викликана динамічними неврівноваженостями деталей при обертанні, транспортуванні тощо.

Тривалий вплив шуму та вібрації тіла може призвести до втрати зору та слуху, підвищення тиску, неврологічним, серцево-судинним та скелетно-м'язовим розладам.

4.1.2 Заходи щодо усунення шкідливих та небезпечних факторів

До основних заходів щодо забезпечення належного стану повітря у робочих зонах промислових об'єктів відносяться:

- удосконалення технічних процесів, їх дистанційне керування, автоматизація та механізація;

- будова вентиляції та опалення у виробничих приміщеннях та використання працівниками засобів індивідуального захисту та техніки безпеки [30].

Автоматизація та механізація процесів при викидах шкідливих речовин не лише підвищують продуктивність, а й покращують умови праці. При цьому на даний момент найпопулярнішим методом боротьби із загазованістю, запиленістю та надмірним тепловиділенням на металургійних підприємствах є вентиляція.

Основним методом видалення пилу є місцева витяжна вентиляція (відсмоктування), при якій у місці утворення пилу встановлюється відсмоктуєче укриття. Загальнообмінна вентиляція забезпечує необхідний приплив свіжого повітря до робочого приміщення та відводить надлишкове тепло та вологу, а також запилене повітря.

Для видалення пилу з повітря, що всмоктується, слід застосовувати мокрі пиловловлювачі (циклони, скрубери) і пиловловлювачі з зрошувальними решітками або зрошувальними трубами, рукавні фільтри з термостійкою тканиною, електрофільтри. Останній використовується для очищення повітря, що всмоктується, від пилу, створюваного нагрітим матеріалом.

Чадний газ, сірководень і оксиди азоту токсичні, а азот, водень, гелій і метан не мають істотного шкідливого впливу на організм при достатній кількості кисню в повітрі, але мають критичне значення для безпеки персоналу. У цих місцях слід використовувати витяжну парасольку.

Природна вентиляція (аерація) використовується у виробничих приміщеннях із явним перегрівом. Вентильовані ліхтарі та шахти розміщені безпосередньо над основним джерелом тепла на одній осі. При неефективній аерації встановлюється механічна загальнообмінна вентиляція.

Для одиночних джерел тепла обладнання обладнується місцевою витяжною вентиляцією у вигляді витяжних вентиляторів, витяжних парасольок і т.п. Шляхом регулювання температури та обсягу подачі повітря.

За наявності джерел теплового випромінювання реалізується комплекс заходів щодо ізоляції обладнання та поверхонь, що обігріваються, з використанням засобів теплозахисту (екранів).

Заходи та методи захисту від шуму та вібрації на робочому місці поділяються на заходи колективного захисту та заходи індивідуального захисту.

Значного зниження шуму можна досягти за рахунок якісного монтажу окре-

мих вузлів машини, їх динамічного балансування та своєчасного проведення планових та профілактичних ремонтів. Порушення правил технічної експлуатації призводить до того, що малошумне обладнання стає джерелом інтенсивного шуму.

Шум можна зменшити, встановивши на шляху звукоізолюючі перешкоди, такі як стіни, перегородки, стелі, звукоізолюючі кожухи та екрани. Коли звукова хвиля стикається з перешкодою, вона частково відбивається, заломлюється, поглинається матеріалом та частково долає перешкоду.

Найбільш ефективним захистом від вібрації є ізоляція персоналу чи чутливих об'єктів від джерела вібрації.

Ефективні амортизатори із сталевих пружин, гуми та інших еластичних матеріалів. Застосовуються гумо-метало-пружинно-пластикові амортизатори, опорні ізолятори з гідравлічними сполуками, а також пневматичні гумо-амортизатори, що використовують стиснене повітря та пружні властивості самої гуми.

Якщо фундамент (або стеля), на яку монтується амортизатор, досить великий, антивібраційний ефект буде високим.

Рівень вібрації знижується з допомогою віброгасіння, тобто, введення в систему додаткових реактивних опор, установки агрегату у фундаменті, що віброгасить. При цьому маса фундаменту підбирається так, щоб амплітуда коливань підошви фундаменту не перевищувала 0,1-0,2 мм.

Віброгасіння призначене для зниження вібрації корпусів та перегородок, а вібрація проводиться у резонансному режимі з основним обладнанням. Це досягається нанесенням на поверхню, що вібрує, матеріалу з високим внутрішнім тертям (гума, пластмаса, вібробритвена мастика) [31].

Засоби індивідуального захисту (ЗІЗ) застосовуються на робочих місцях, де шум і вібрація не можуть бути знижені до допустимих меж технічними засобами або де це недоцільно з технічних та економічних причин.

4.1.3 Електроустаткування

Внутрішні електричні мережі складаються із ізольованих проводів або кабелів із захисними оболонками, що відповідають умовам експлуатації щодо механічної

міцності та стійкості до впливів навколишнього середовища.

Освітлювальні мережі загального освітлення допускають напругу до 250 В. У приміщеннях з підвищеною небезпекою, особливо небезпечних для місцевого та ремонтного освітлювального обладнання та ручного інструменту, напруга не повинна перевищувати 36 В.

Нормуються вертикальні та горизонтальні відстані від проводів до землі, транспортних шляхів, будівель та інших об'єктів. Також мінімально допустима площа перерізу проводів нормується за вимогами механічної міцності та запобігання обривам.

Недоступні місця струмопровідних частин виконуються (заховані у висоті, під підлогою чи стінах) для захисту від дотику. Мінімальна висота підвішування оголених проводів становить 3,5 м (якщо не потрібна велика висота, оскільки вони можуть зачепитися за наземні об'єкти або транспортні засоби, що проїжджають). Мінімально допустима відстань до оператора становить 0,7 м для напруги 15 кВ та 3 м для напруги 220 кВ.

Оголені струмопровідні частини, до яких може торкатися людина, надійно захищені у всіх випадках від напруги вище 65 В у приміщеннях непідвищеної небезпеки та вище 36 В у приміщеннях підвищеної небезпеки. При напрузі вище 250 В захищає не лише оголені, а й ізольовані струмопровідні частини. Електричні компоненти забарвлені у вказаний колір. Він не тільки пізнаваний і має естетичну цінність. Завдяки своїм ізолюючим властивостям забарвлення відіграє специфічну захисну роль у разі аварії, оскільки усуває або знижує ризик утворення електричних кіл через тіло оператора при контакті з обладнанням.

Як захисну ізоляцію можуть використовувати лаки, електроізоляційні плівки, емалі та фарби на олійній основі.

4.1.4 Природне та штучне освітлення

Природне світло сильно вагається. Протягом кількох хвилин освітлення може змінюватись кілька разів [28].

Зовнішнє освітлення, яке створюється розсіяним сонячним світлом на відкри-

тих просторах, сильно варіюється від району до району. Природного освітлення всередині будівель зазвичай набагато менше, ніж зовнішнього освітлення.

При проектуванні та розрахунку природного освітлення як джерело світла приймається розсіяний світловий люк (пряме сонячне світло не враховується).

Для штучного освітлення застосовують ближні (ліхтарі) та дальні (прожектори) освітлювальні прилади (поєднання ламп та світильників).

На промислових підприємствах використовуються дві системи штучного освітлення: загальна та комбінована.

Загальне освітлення для створення необхідного рівня освітленості по всьому приміщенню здійснюється рівномірним або локальним розміщенням світильників (місцеве розміщення світильників викликає певне збільшення освітленості в конкретному місці, що досягається).

Композитне освітлення складається із загального освітлення та місцевого освітлення. Локальне освітлення дозволяє створити необхідний рівень освітлення безпосередньо на робочому місці. Використання місцевого освітлення не допускається.

Місцеве освітлення може бути як стаціонарним, так і переносним. Освітлення буває робочим (для виконання робіт у нормальних умовах) та аварійним (для тимчасового продовження роботи або евакуації працівників при раптовому відключенні робочого освітлення, норматив 10% і більше).

При проектуванні освітлення враховується резервний коефіцієнт зниження освітлення в процесі експлуатації. Допустимий коефіцієнт запасу від 1,3 до 1,7 для ламп розжарювання та від 1,5 до 2,0 для люмінесцентних ламп залежно від викидів пилу, диму та кіптяви.

4.1.5 Вентиляція

Вентиляція досягається за рахунок переміщення забрудненого повітря з приміщення та надходження свіжого повітря до приміщення.

Залежно від способу руху повітря, що використовується, вентиляція може бути природною або механічною. Поєднання природної та механічної вентиляції на-

зивається змішаною вентиляцією.

Природна вентиляція виникає за рахунок різниці температур повітря всередині та зовні (тепловий тиск) та впливу вітру (вітровий тиск). Механічна вентиляція створює повітрообмін за допомогою спеціальних механізмів та пристроїв (вентиляторів та ежекторів).

За призначенням вентиляція буває припливною, витяжною, припливно-витяжною та, залежно від місця дії, загальною та місцевою.

Загальна або загальнообмінна вентиляція призначена для повітрообміну у всьому приміщенні. Місцева вентиляція створюється для безпосереднього видалення шкідливих речовин з місця утворення або подачі свіжого повітря на певну обмежену площу приміщення.

Для вентиляції потрібно подавати чисте повітря. Якщо у припливному повітрі є домішки, можна очистити. Неорганізований приплив зовнішнього повітря для поповнення витяжки в холодну погоду допускається з об'ємом не більше одного повітрообміну за годину.

Природна вентиляція здійснюється за допомогою аерації – організованого та регульованого природного повітрообміну, що підтримує задані параметри повітряного середовища приміщень.

Аерація дозволяє здійснювати вентиляцію великих приміщень з інтенсивним повітрообміном, для створення якого при механічній вентиляції знадобилися б великі витрати на спорудження та експлуатацію.

Для вентиляції у поздовжніх стінах будівлі зазвичай влаштовують три ряди отворів. Перший ряд - на висоті не більше 1,2 м від підлоги, другий - на висоті не менше ніж 4 м від підлоги, третій - на висоті підкранової балки.

4.1.6 Побутові та допоміжні приміщення

До побутових зручностей належать приміщення задоволення санітарних і побутових потреб працівників під час виконання службових обов'язків. Приміщення для прийому їжі, туалети, душові, вбиральні, умивальні, курильні, пральні, кімнати особистої гігієни жінок, опалення робітників та питна вода.

Підлоги туалету, умивальної та душової гідроізольовані, передбачені ухили до стоків. Стіни висотою понад 1,5 м покриті вологозахисним матеріалом, тому можливе вологе прибирання.

Санітарно-побутові корпуси будуються не вище трьох поверхів. Вони повинні бути безпосередньо примикаючими до виробничого корпусу фабрики (не порушуючи можливості спорудження стінових установок для припливу свіжого повітря до гарячих приміщень) або у закритих коридорах фабрики.

Допоміжні відділення цеху, що розташовані на відстані від головної будівлі, повинні мати свої побутові приміщення, що складаються з роздягальні, душової кімнати для прийому їжі та теплої вбиральні.

Побутові приміщення розміщують з навітряного боку цеху. Планування побутових приміщень має виключати зустрічні потоки працюючих.

Правила техніки безпеки для пірометалургійних цехів вимагають забезпечення зон відпочинку на робочих місцях.

Зони відпочинку влаштовують у вигляді альтанок або кабін для відпочинку, обладнаних лавками зі спинками. Крім того, ці будиночки (альтанки) забезпечуються охолодженим або кондиціонованим повітрям, а також питною та газованою водою.

Для роздачі питної води встановлюються фонтанчики, закриті ємності з наливами і т.п. Температура води на момент роздачі становить від 8 до 20°С. Питна вода може бути свіжою або охолодженою та кип'яченою, якщо її безпечно вживати.

4.1.7 Індивідуальні засоби захисту

Засоби індивідуального захисту у вигляді спецодягу, спеціального взуття та ЗІЗ для захисту голови, очей, обличчя та рук за неможливості забезпечення допустимих рівнів небезпеки та шкідливості на виробництві технічними засобами (ЗІЗ).

Залежно від призначення надаються такі ЗІЗ:

- постійна робота в гарячих цехах - спецодяг (повстяні костюми чоловічі), а при ремонті гарячих печей та агрегатів - автономні індивідуальні системи охолодження у комплексах із фраками;

- при аварійних роботах – комплект тепловідбивача з металізованої тканини;

- для захисту ніг від теплового випромінювання, іскор, бризок розплавленого металу та контакту з гарячими поверхнями - спеціальне шкіряне взуття для робітників на спекотних робочих місцях;

- для захисту рук від опіків - Поєднання тканин, брезентових рукавичок та шкіряного верху;

- для захисту голови від теплового випромінювання, іскор та металевих бризок;

- повстяні ковпаки, захисні каски з шоломами, текстильні або полікарбонатні каски;

- для захисту очей та обличчя – теплозахисний екран сталевара, окуляри з прикріпленим до нього світлофільтром, захисна маска з прозорим екраном, захисні окуляри, козирок зі світлофільтром.

Спецодяг повинен мати захисні властивості. Сюди відноситься можливість нагрівання внутрішньої поверхні будь-якої площі до температури 313 К (400 ° С) за спеціальними ГОСТами (ГОСТ 12.4.176-89, ГОСТ 12.4.016-87).

4.2 Протипожежна безпека

4.2.1 Характеристика виробництва з вибухопожежної небезпеки

Пожежна небезпека легкозаймистих та горючих рідин характеризується концентраційними межами вибуху сумішей, їх пари з повітрям, температурами спалаху та самозаймання, швидкістю поширення горіння.

Пожежонебезпечність газоповітряних сумішей характеризується межами концентрації вибухових речовин, температурами самозаймання та швидкостями горіння.

Пожежна небезпека технологічних процесів, пов'язаних з отриманням або застосуванням горючих газів, визначається можливістю утворення вибухонебезпечних газо-повітряних сумішей у виробничих агрегатах та приміщеннях внаслідок витоку горючих газів через нещільності у виробничих агрегатах або через затвори, пі-

дсмоктування повітря в агрегати, що знаходяться під розрідженням, через охолодження газу або конденсації водяної пари, заповнення газових магістралей та апаратури горючими газами без попереднього продування водяними парами або інертним газом.

При використанні горючих газів під тиском небезпеку становить аварійний витік газу. Адіабатичний видих газу під високим тиском підвищує температуру газу, що виходить, і збільшує небезпеку.

Пожежонебезпечність газів та легкозаймистих рідин зростає з підвищенням температури навколишнього середовища. Цю зміну необхідно враховувати стосовно теплового режиму технічних процесів, що здійснюються. Будь-яка технічна операція, пов'язана з нагріванням легкозаймистої рідини вище її спалаху, є вибухонебезпечною. Причиною займання може бути виділення тепла хімічної реакції, що протікає (або випадкової), що також слід враховувати при аналізі пожежонебезпечності виробництва.

Щодо пожежної небезпеки всі виробництва поділяються на 5 класів, де важливе значення має врахування кількості та температурного режиму обробки рідин та газів.

Правильне визначення категорій виробництва є важливим для правильного вирішення питань пожежної безпеки та економіки виробництва.

Виробництво вогнетривів за класифікацією пожежної небезпеки можна віднести до класу «Г». Сюди відносяться виробництва, пов'язані з переробкою гарячих, тліючих або розплавлених тугоплавких речовин та матеріалів із радіацією. Систематичне виділення тепла, іскор та полум'я та виробництво, пов'язане зі спалюванням твердого, рідкого та газоподібного палива.

Для зниження пожежної небезпеки на виробництві необхідно:

- обмеження на кількість горючих матеріалів, що переміщуються та зберігаються в процесі;
- створення перешкод для поширення вогню;
- запобігання можливому руйнуванню виробничого обладнання;
- своєчасне виявлення та гасіння пожеж, що виникли;
- забезпечення умов евакуації людей та техніки під час пожежі.

4.2.2 Засоби гасіння пожеж

Різні тверді, рідкі та газоподібні речовини, що використовуються для пожежогасіння, повинні мати високу вогнегасну ефективність. Вони повинні швидко переставати горіти при порівняно невеликій витраті, бути нешкідливим для організму при використанні та зберіганні, не шкідливо впливати на предмети та матеріали при гасінні, бути недорогими.

Для охолодження вогнища горіння застосовують вогнегасні речовини, що мають велику теплоємність, велику питому теплоту пароутворення або плавлення, здатні швидко розтікатися по поверхні палаючої речовини, вбиратися і глибоко проникати.

Як засоби пожежогасіння застосовують воду, інертні гази, хімічну та пневмомеханічну піну, тверду вуглекислоту, пісок, спеціальні флюси, пил.

Протипожежний водопровід – комплекс пристроїв для подачі води до місця пожежі. Вода для пожежогасіння зазвичай поєднується з господарсько-побутовою та технічною водою. Водопроводи протипожежні розраховані на подачу кількості води, необхідної для гасіння пожежі (за нормативами) за відповідного натиску протягом не менше 3 годин.

Для водопостачання у водопровідну мережу встановлюють гідрант і приєднують гнучкий шланг з пожежним краном для прийому досить сильного струменя води з водопровідної мережі.

Усередині будівель, внутрішніх водопровідних мережах у під'їздах, на сходових майданчиках, коридорах тощо. Пожежний кран встановлюється та розміщується в скрині, де також знаходиться рукав із пожежним стволом.

Вогнегасник – це пристрій для гасіння пожеж, що виникли, з використанням різних вогнегасних речовин, які завжди готові до дії. Зазвичай це міцні металеві ємності у формі циліндрів. Вогнегасники поділяються на рідинні (водні розчини солей), пінні (потік піни зверху), газові (вуглекислий газ) та сухі (суміш неорганічних солей).

ВИСНОВКИ

1. Розроблено технологію периклазовуглецевих вогнетривів для робочої футеровки сталерозливних ковшів з використанням периклазу (82,7-84,7 %), графіту (8-10%), комплексного сполучного (СФП і етиленгліколь (4,3%)) антиоксиданту (3%) і вуглецевих волокон (0,05%), що відрізняється підвищеними експлуатаційними характеристиками.

2. Досліджено вплив структури і властивостей вихідних компонентів шихти і оптимізовані фізико-хімічні параметри. Вивчені п'ять різних видів плавлених периклазових порошків, шляхом випуску дослідно-промислових партій периклазовуглецевих виробів і випробувані в службі. На підставі проведених фізико-хімічних досліджень периклазових порошків і випробувань дослідно-промислових партій сформульовані вимоги до периклазового порошку: вміст MgO не менше 97%; SiO_2 не більше 0,7%; CaO не більше 1,6%; Fe_2O_3 не більше 0,6%; співвідношення CaO/SiO_2 не менше 2; щільність не менше 3,45 г/см^3;

3. Розроблено технологічні параметри виготовлення периклазовуглецевих вогнетривів з використанням волокон вуглецевого типу, шляхом введення за двома варіантами в кількості 0,05%:

- попередніми перемішуванням волокон в етиленгліколь і подальшим змішуванням з периклазовуглецевою шихтою;
- введенням в сухому вигляді в периклазовуглецеву шихту.

4. Встановлено, що введення волокон до складу шихти запобігає високотемпературній усадці виробів. Так, величина термічного розширення периклазовуглецевих виробів при 1400 ° С дорівнює 1,1%. На контрольних зразках, без добавки волокон, виявляється усадка при нагріванні понад 1200 ° С. Армування матриці периклазовуглецевих вогнетривів вуглецевими волокнами підвищує міцність на вигин на 20%, на розтяг - 13%, термостійкість з 9 до 13 теплозмін і межа міцності на стиск після коксівного випалу з 25,9 до 36,2 МПа.

5. Розроблені периклазовуглецеві вироби з добавкою вуглецевих волокон мали такі склад і властивості: вміст MgO - 96%; С - 12,6%, вуглецевих волокон - 0,05%; пористість - 4,0%, межа міцності при стисненні - 59,4 МПа, термостійкість 12 циклів.

Швидкість зносу дослідних виробів на 15% нижче серійних (1,1 мм / за плавку дослідні, 1,3 мм / за плавку серійні), що дозволило збільшити стійкість футеровки на 10 наливів.

6. Виготовлені периклазовуглецеві вироби з введенням в якості антиоксиданту SiC в кількості 3%. Дослідні вироби випробувані в футеровці сталерозливного ковша. Встановлено, що знос футеровки склав 1,6-1,2 мм / за плавку (стіни) і 2,6-2,4 мм / за плавку (шлаковий пояс), що на 15-20% менше, ніж у серійних вогнетривів, при цьому знос відбувається рівномірно, без освіти характерною поверхні бруківкою і появи тріщин. Розроблені склади шихт з добавкою SiC мають кращі експлуатаційними характеристиками, в порівнянні з антиоксидантом АПВ-П.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Основи металургійного виробництва металів і сплавів : підручник для металург. спец. вищ. навч. закл. / Д. Ф. Чернега, В. С. Богушевський, Ю. Я. Готвянський [та ін.] ; за ред. Д. Ф. Чернеги, Ю. Я. Готвянського. Київ : Вища школа, 2006. 503 с.
2. Дурягіна З. А., Лизун О. Я., Пілюшенко В. Л. Сплави з особливими властивостями : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закладів. Львів : Львівська політехніка, 2007. 236 с.
3. Теорія будови рідкого, аморфного і кристалічного стану (об’єм поверхні та поверхня в об’ємі) : монографія / М.М. Бережний та ін. Кривий Ріг : «Мінерал», 2007. 291 с.
4. Смірнов О. М., Макуров С. Л., Сафонов В. М. Виробництво зливків сталі та промислових сплавів : навч. посіб. Донецьк : Ноулідж, 2013. 405 с.
5. Попович В. В., Попович В. В. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство. Львів : Світ, 2006. 624 с.
6. Атаманюк В. В. Технологія конструкційних матеріалів. Київ : Кондор, 2006. 528 с.
7. Технології одержання металів та сплавів для ливарного виробництва : навч. посіб. / А. М. Верховлюк, А. В. Нарівський, В. Г. Могилатенко. За ред. академіка НАН України В. Л. Найдека. Київ : Видавничий дім “Вініченко”, 2016. 224 с.
8. Збожна О. М. Основи технологій : навч. посіб. Тернопіль : Картбланш, 2002. С. 30–58.
9. Смирнов В. О., Білецький В. С. Фізичні та хімічні основи виробництва. Київ : Наука, 2005. С. 45−48.
10. Афтанділянц Є. Г., Зазимко О. В., Лопатько К. Г., Поліщук А. В. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство. Конспект лекцій в 2-х книгах. Київ: НУБіП України, 2016. 125 с.
11. Сологуб М. А., Рожнецький І. О., Некоз О. І. Технологія конструкційних матеріалів та матеріалознавство. Київ : Техніка, 2002. С. 374.
12. Попович В. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство. Книга І. Львів. 2000. С. 264.

13. Попович В., Голубець В. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство. Книга ІІ. Суми : Університетська книга, 2002. С.259.

14. Сталеплавильне виробництво: навч. посіб. / В.І. Баптизманський та ін.]. Київ : ФЗМН, 1996. 400 с.

15. Сборник технологических инструкций по выплавке стали в открытой дуговой печи. Запорожье : ОАО «Днепроспецсталь», 2004. 245 с.

16. Державні санітарні правила "Підприємства чорної металургії" ДСП 3.3.1.038-99.

17. Наказ МОЗ від 14.07.2020 № 1596 «Про затвердження гігієнічних регламентів допустимого вмісту хімічних і біологічних речовин у повітрі робочої зони».

18. Наказ МОЗ України «Про затвердження гігієнічних регламентів допустимого вмісту хімічних і біологічних речовин у повітрі робочої зони» 14.07.2020 № 1596.

19. ДСТУ 2867-94 Шум. Методи оцінювання виробничого шумового навантаження. Загальні вимоги.

20. ГОСТ 12.1.012-90. ССБТ. Вібраційна безпека. Загальні вимоги.

21. ДСТУ 3038-95 Гігієна. Терміни та визначення основних понять.

22. ДСТУ ГОСТ 12.4.221:2004 Система стандартов безопасности труда. Одежда специальная для защиты от повышенных температур теплового излучения, конвективной теплоты. Общие технические требования (ГОСТ 12.4.221-2002, IDT).

23. НПАОП 40.1-1.01-97 Правила безопасной эксплуатации электроустановок (ДНАОП 1.1.10-1.01-97).

24. СНиП 2.01.02-85*. Протипожежні норми (Діє ДБН В 1.1-7-2002) (2.01.02-85*) (СНиП 2.01.02-85*. Противопожарные нормы (Действует ДБН В 1.1-7-2002)).

25. ДБН В.2.5-28:2018. Природне і штучне освітлення.

26. ДБН В.2.5-67:2013 Опалення, вентиляція та кондиціонування.

ДОДАТОК А

ПУБЛІКАЦІЇ ЗА ТЕМОЮ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Міністерство освіти і науки України
Запорізький національний університет
Інженерний навчально-науковий
інститут ім. Ю. М. Потебні

ІНЖЕНЕРНІ ІННОВАЦІЇ ТА РОЗБУДОВА НАЦІОНАЛЬНОЇ ЕКОНОМІКИ

Матеріали
І Міжнародної науково-практичної конференції
Інженерного навчально-наукового інституту
ім. Ю. М. Потебні

09–10 травня 2024 року

Видавничий дім
«Гельветика»
2024

УДК 001.895:62+330.341.1(477)(062.552)
І-62

Редакційна колегія:

В. В. Храпкіна, доктор економічних наук, професор, професор кафедри маркетингу та управління бізнесом, Національний університет «Києво-Могилянська академія» (м. Київ);

О. Г. Вагонова, доктор економічних наук, професор, завідувач кафедри прикладної економіки, підприємництва та публічного управління, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка» (м. Дніпро)

Рекомендовано до друку
Рішенням Вченої ради Запорізького національного університету
(протокол № 14 від 27 червня 2024 року)

І-62 **Інженерні інновації та розбудова національної економіки** : матеріали І Міжнародної науково-практичної конференції Інженерного навчально-наукового інституту ім. Ю. М. Потебні (09–10 травня 2024 року, м. Запоріжжя) / наук. ред. Н. Г. Метеленко ; Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю. М. Потебні Запорізького національного університету. – Одеса : Видавничий дім «Гельветика», 2024. – 1020 с.

ISBN 978-617-554-288-0

У виданні представлені тези доповідей учасників І Міжнародної науково-практичної конференції «Інженерні інновації та розбудова національної економіки» (09–10 травня 2024 року), підготовлені за такими базовими тематичними напрямами, як: Цифрова трансформація економіки України: Industry 4.0, інноваційне підприємництво, національна безпека; Європейські інтеграційні процеси розбудови національної економіки: фінанси, оподаткування, страхування; Фізична електроніка та біоінженерія: тренди розвитку; Інженерна екологія. Сучасні технології кольорової та чорної металургії; Інновації в інженерії програмного забезпечення; Електрична інженерія: відновлювані джерела енергії, «зелена» воднева енергетика, інтеграція в енергетичну інфраструктуру Європи; Архітектура та будівництво: фундатор сучасних будівельних технологій; Механічна інженерія: сучасне обладнання та новітні технології в промисловості; Філософія управління та адміністрування: ризик-менеджмент і цифровізація на макро- і мікрорівнях; Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка: сучасні виклики.

УДК 001.895:62+330.341.1(477)(062.552)

© Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю. М. Потебні
Запорізького національного університету, 2024
© Автори статей, 2024

ISBN 978-617-554-288-0

УДК 666.762.3

Боровик Володимир Миколайович
магістрант, 1 курс, кафедра металургійних технологій, екології та техногенної безпеки, Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю. М. Потебні Запорізького національного університету

Воляр Роман Миколайович
к. т. н., доцент, доцент кафедри металургійних технологій, екології та техногенної безпеки, Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю. М. Потебні Запорізького національного університету

Кириченко Олексій Геннадійович
к. т. н., доцент, доцент кафедри металургійних технологій, екології та техногенної безпеки, Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю. М. Потебні Запорізького національного університету

ОСОБЛИВОСТІ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА МАГНЕЗІАЛЬНИХ ВОГНЕТРИВІВ

Актуальність. У виробництві сталі периклазовуглецеві вироби є одними з найбільш високовогнетривких і хімічно стійких матеріалів, що володіють високими характеристиками міцності і корозійностійкими властивостями. Однак термостійкість периклазовуглецевих виробів не відповідає вимогам виробництва. Це пояснюється значним температурним коефіцієнтом лінійного розширення (ТКЛР) і, як наслідок, високими температурними деформаціями, що викликають напругу в матеріалі при нагріванні і охолодженні футерування.

Одним з відомих способів підвищення термостійкості є метод армування вогнетривких виробів волокнистими матеріалами.

В процесі служби вогнетривів спостерігається випереджаючий знос формованих виробів з шовними поверхнями, так званий «знос бруківкою». Формуванням монолітного шару робочої частини футеровки сталерозливного ковша на протязі останніх десятиліть вивчали багато провідних вчених – вогнетривники Японії, Німеччини, Росії, України і т. д.

Тому основним завданням роботи було розробка та дослідження сучасного способу виробництва магнезіальних вогнетривів.

Аналіз останніх досліджень. Найбільш повно інформація щодо цього питання представлена у роботах [1; 2].

Мета. Розробка композиційного магнезіального периклазовуглецевого формованого виробу з високими експлуатаційними властивостями для футерування металургійних агрегатів.

Основний текст. Сучасна технологія виробництва сталі включає виплавку в конвертерах або в електропечах, позапічної обробку в установках піч-ківш, вакуумування і розливання на машинах безперервного лиття заготовок. Футеровки сталерозливних ковшів піддаються агресивному фізико-хімічному впливу шлаку і металу, внаслідок проведення процесів вакуумно-кисневого рафінування (VOR), азотно-кисневого зневуглецювання (AOD), вакуумного дугового переплаву (VAR), циркуляційного вакуумування (RH), електродугового, індукційного перемішування сталей. В даний час зросла роль вогнетривких матеріалів з комплексом цінних властивостей, таких як термостійкість, висока корозійна стійкість, механічна міцність.

Вуглецьвмісні (периклазовуглецеві) вогнетриви за останні 15 років широко проникали в сталеплавильне виробництво, що дозволило в кілька разів підвищити стійкість основних теплових агрегатів чорної металургії. Це обумовлюється комплексом унікальних властивостей вуглецю – високою вогнетривкістю, теплопровідністю, електропровідністю, хімічною стійкістю по відношенню до розплавів на основі більшості металів, як в окисленій, так і у відновленій формі, низькому коефіцієнту термічного розширення і ін. При цьому вуглець, в формі кристалічного графіту і / або технічного вуглецю, а так само коксовий залишок органічних сполучних, входить до складу матриці вогнетривкого матеріалу. Він забезпечує мале змочування при взаємодії зі шлаками і металами, високу стійкість до корозії.

Корозійна стійкість оксидновуглецевих вогнетривів визначається наявністю вуглецю в системі, тобто його стійкістю до окислення – на першому етапі служби, а також чистотою і здатністю до спікання мінеральної частини вогнетриву (периклазу, шпінелі, корунду і т. п.) – після вигоряння вуглецю. Подальше підвищення стійкості вуглецю в складі шихти і його вплив на фізико-хімічні властивості після коксування буде визначатися коксової матрицею. Найбільш раціональним, на наш погляд, є підвищення вмісту вуглецю в графіті і введення вуглецевих волокон для армування матриці.

Основною причиною виведення сталерозливних ковшів з експлуатації в ККЦ є випереджаючий знос шовних поверхонь виробів шлакової і стінової зони (так званий «знос бруківкою») (рисунок 1).

Причиною такого руйнування є виникаючі напруги як всередині виробів, так і між формованими вогнетривами викликані високим термічним розширенням виробів. Згадані напруги не компенсуються структурою вогнетриву при високій температурі, і в футеровці з'являються руйнування, а по швах виробів виникає «знос бруківкою».



Рис. 1. Типовий знос робочої футеровки сталерозливного ковша

При безмертельній кладці алюмінієвий антиоксидант (АПВ-П) в кутах і ребрах периклазовуглецевих виробів окислюється найбільшою мірою, що і викликає підвищені напруги в цих місцях футерування. Для вирішення даної проблеми потрібні дослідження і зміна складу вогнетриву, здатного створити монолітну структуру, що забезпечує рівномірний знос всієї поверхні вогнетриву.

Висновки. Розроблено технологічні параметри виготовлення периклазовуглецевих вогнетривів з використанням волокон вуглецевого типу.

Список використаних джерел

1. Клінкерні керамічні матеріали на Основі природної і техногенної сировини України : монографія / О. Ю. Федоренко та ін. Харків : ХПІ, 2018. 185 с.
2. Семченко Г. Д. Вогнетривкі вироби для футерування теплових технологічних агрегатів : навч. посіб. Харків : НТУ «ХШ», 2009. 176 с.