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_ **Удосконалення застосовування периклазових вогнетривів __ в металургійних агрегатах**_____

_____.

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)
_____О.В.Новосельський _____
(ініціали та прізвище)
Керівник __доц., PhD Єфанов В.С._____
(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)
Новосельському Олександру Валентиновичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи (проєкту) Удосконалення застосовування периклазових вогнетривів в металургійних агрегатах

керівник роботи Єфанов Володимир Сергійович, к.т.н., PhD.
(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 Дослідження процесів використання периклазових вогнетривів в металургійних агрегатах. Визначення закономірностей зношення вогнетривів та методів підвищення їх стійкості. Науково-технічна література, авторські свідоцтва, ДСТУ, ТУ

4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)
Реферат; вступ; Умови експлуатації периклазової футеровки металургійних агрегатів; Методи дослідження вогнетривких матеріалів, що характеризують їх роботу при високих температурах; Дослідження механізму зносу футеровки агрегатів і розробка технології збільшення стійкості; Охорона праці та техногенна безпека; Висновки; Перелік джерел посилання; Додаток А

5 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) 17 креслень

6 Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Умови експлуатації периклазової футеровки металургійних агрегатів	Єфанов В.С., доцент		
Методи дослідження вогнетривких матеріалів, що характеризують їх роботу при високих температурах	Єфанов В.С., доцент		
Дослідження механізму зносу футеровки агрегатів і розробка технології збільшення стійкості	Єфанов В.С., доцент		
Охорона праці та техногенна безпека	Єфанов В.С., 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	Умови експлуатації периклазової футеровки металургійних агрегатів	26.11-30.11.2024	
3	Методи дослідження вогнетривких матеріалів, що характеризують їх роботу при високих температурах	01.12-04.12.2024	
4	Дослідження механізму зносу футеровки агрегатів і розробка технології збільшення стійкості	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 _____ _____О.В.Новосельський_____
(підпис) (ініціали та прізвище)

Керівник роботи (проєкту) _____ _____В.С.Єфанов_____
(підпис) (ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

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

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 118 с., 16 табл., 43 рис., 1 дод., 28 джерел

ПЕРИКЛАЗОВІ ВОГНЕТРИВИ, КОНВЕРТЕР, УСТАНОВКА ПІЧ-КІВШ, СТАЛЬ, ВАКУУМАТОР, ВОГНЕТРИВКІСТЬ, ШЛАКОСТІЙКІСТЬ, ФУТЕРОВКА

Об'єкт дослідження – технологія футерування металургійних агрегатів периклазовими вогнетривами.

Предмет дослідження – закономірності і механізми фізико-хімічних процесів технології футерування металургійних агрегатів периклазовими вогнетривами та її вплив на якість кінцевого продукту.

Мета роботи – аналіз умови експлуатації периклазової футеровки металургійних агрегатів, дослідження механізму зносу футеровки агрегатів і розробка технології збільшення її стійкості. За допомогою виконаних досліджень довести технічні показники і необхідність зміни технології футерування, що гарантує стабільність якості сталі.

Методи дослідження – топографічні дослідження, фізичне моделювання, хімічний та мікроскопічний аналізи.

Наукова новизна:

1. Встановлено, що в периклазовуглецевих вогнетривах вуглець утворює захисну плівку на поверхні зерен мінеральних складових, а при високій температурі вступає з ним у взаємодію з утворенням карбідів і оксікарбідів металів, що підвищує термічну і корозійну стійкість вогнетриву. Крім того, при окисленні вуглецю утворюється газоподібний оксид, що перешкоджає проникненню шлаку і металу в глиб вогнетриву.

2. Визначено, що гарнісажне покриття, що формується на робочому шарі футеровки стальковша вирішує як мінімум три завдання: частково блокує доступ кисню повітря до вогнетривів - уповільнює процес окислення вуглецю в період переміщення ковша по цеху без металу і під час його перебування на стенді розігріву між плавками, уповільнює процес охолодження футеровки і приймає на себе скачок температури в момент заповнення ковша металом

3. Встановлено, що найбільша стійкість досягнута на виробах, в яких використовується плавлений периклазохроміт з великим розміром кристалів,

рівномірним розподілом хромшпінелиду і додатково зміцненими добавкою тонкої фракції плавленого периклазохроміту.

Практичне значення:

1. Використання для кладки робочого шару футеровки кисневих конвертерів периклазовуглецевих, вапняковопериклазовуглецевих вогнетривів, застосування одноокатної схеми футерування робочого шару, використання клейових композицій при набору футерування, оптимізація температурного і шлакового режимів плавки, догляд за футеровкою в процесі її експлуатації дозволяє різко, до 3000-4000 плавок, підвищити кампанію кисневих конвертерів по футеровці.

2. Топографування поверхні футеровки конвертера з використанням сканера дозволяє виявити розташування зон підвищеного зносу вогнетривкої кладки і отримати достовірні дані про поточний профілі робочого простору в різні періоди кампанії агрегату.

3. В результаті проведених лабораторних і дослідно-промислових досліджень створено продукт - магнезійний брикетований флюс-модифікатор. Магнезійний брикетований флюс, в залежності від хіміко-гранулометричного складу, дозволяє змінювати властивості кінцевих шлаків, для забезпечення формування стійкого шлакового гарнісажу на поверхні вогнетривкої футеровки агрегатів.

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

У розділі 1 наведено технологічні принципи виготовлення елементів конструкції плавильних печей, машин безперервного лиття заготовок, сталерозливних ковшів, ковшів установки «піч-ківш», вакууматорів.

У розділі 2 розроблено методи дослідження вогнетривких матеріалів: визначення вогнетривкості, деформація вогнетривів під навантаженням при високій температурі, визначення шлакостійкості.

У розділі 3 досліджений механізм зносу футеровки агрегатів і розроблена технологія збільшення стійкості, також розглянута стійкість периклазових вогнетривів в кисневому конвертері та циркуляційному вакууматорі, приведено топографування поверхні футеровки конвертера, досліджений вплив складу шлаку на ефективність технології нанесення гарнісажу в конвертері.

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 Умови експлуатації периклазової футеровки металургійних агрегатів 11
1.1 Технологічні принципи виготовлення елементів конструкції плавильних печей 11
1.2 Футерування сталеплавильних конвертерів 12
1.3 Особливості футеровки електросталеплавильних печей 18
1.4 Вогнетриви для машин безперервного лиття заготовок (МБЛЗ) 22
1.5 Футерувальні матеріали для сталерозливних ковшів 24
1.6 Особливості футерування ковшів установки «піч-ківш» 38
1.7 Типи вогнетривких виробів, умови їх експлуатації на вакууматорі і способи підвищення стійкості футеровки вакуум-камери 44
2 Методи дослідження вогнетривких матеріалів, що характеризують їх роботу при високих температурах 49
2.1 Методика визначення вогнетривкості 49
2.2 Деформація вогнетривів під навантаженням при високій температурі 53
2.3 Методика визначення шлакостійкості 54
2.3.1 Загальні закономірності 55
2.3.2 Методи визначення шлакостійкості 56
3 Технологічна частина. Дослідження механізму зносу футеровки агрегатів і розробка технології збільшення стійкості 58
3.1 Механізм зносу футеровки сталеплавильних агрегатів з основною футеровкою 58
3.2 Стійкість периклазових вогнетривів в кисневому конвертері 60
3.3 Топографування поверхні футеровки конвертера 65
3.4 Дослідження впливу складу шлаку на ефективність технології нанесення гарнісажу в конвертері і глазурі в сталерозливних ковшах 76
3.5 Дослідження структури периклазохромітових виробів, що застосовуються в футеровці циркуляційних вакууматорів 87
4 Охорона праці та техногенна безпека 97
4.1 Техніка безпеки у вогнетривному цеху 97

4.1.1 Основні шкідливі та небезпечні фактори виробництва 97
4.1.2 Заходи щодо усунення шкідливих та небезпечних факторів 98
4.1.3 Електроустаткування 100
4.1.4 Природне та штучне освітлення 101
4.1.5 Вентиляція 102
4.1.6 Побутові та допоміжні приміщення 103
4.1.7 Індивідуальні засоби захисту 104
4.2 Протипожежна безпека 105
4.2.1 Характеристика виробництва з вибухопожежної небезпеки 105
4.2.2 Засоби гасіння пожеж 107
Висновки 108
Перелік джерел посилання 110
Додаток А Публікації за темою кваліфікаційної роботи 112

ВСТУП

Вогнетривами називають матеріали, виготовлені на основі мінеральної сировини і відрізняються здатністю зберігати без істотних порушень свої функціональні властивості в різноманітних умовах служби при високих температурах.

Інтенсифікація всіх процесів, що протікають при високих температурах, вимагає підвищення робочих властивостей вогнетривких виробів. Металургійне виробництво споживає основну кількість вогнетривів (60-70%). Вогнетривкі матеріали широко використовують також в скляній і цементної промисловості, в областях нової техніки - атомної і ракетобудуванні. Розвиток нових способів отримання електричної енергії в магнітних гідродинамічних генераторах в значній мірі також визначається властивостями використовуваних вогнетривів. Таким чином, наявність розвиненої вогнетривкої промисловості в країні характеризує ступінь її індустріалізації.

Якість застосовуваних у промисловості вогнетривів впливає на продуктивність агрегатів, на якість готової продукції і на вартість одиниці продукції. У виробництві при застосуванні вогнетривів головним завданням є відповідність їх властивостей умовам служби при обов'язковому вимозі, щоб їх вартість була економічно прийнятною.

З розвитком енергетики країни зростає температурний потенціал процесів. Застосування природного газу і збагачення дуття киснем забезпечують отримання температур понад 2000 °С, в дугових печах температура досягає 3000 °С. Тому паралельно з розвитком енергетики йде і розвиток технології виробництва вогнетривких матеріалів.

В даний час частка витрат на вогнетриви для агрегатів ковшової обробки сталі може досягати 1,5% собівартості металу навіть без урахування витрат на ремонти і втрати при простоях виведених на ремонт агрегатів. Тому підвищення стійкості футеровки, що визначає міжремонтний ресурс агрегатів - одна з найважливіших науково-технічних завдань.

Зниження питомих витрат за рахунок зменшення вартості вогнетривких виробів визнано недоцільним, оскільки зумовлює споживання вогнетривів зниженого якості і зниження надійності роботи агрегатів. Практика показала необхідність

більш складного, комплексного підходу до проблеми стійкості вогнетривів - оптимізації умов їх експлуатації і раціональних конструктивних рішень. У той же час, деякі шляхи вирішення даної проблеми зустрічають певні труднощі. Використання диференційованого футерування на агрегатах ускладнює завдання оптимізації технологічного режиму, оскільки ковшовий шлак взаємодіє з різними типами вогнетривів по ходу обробки і розливання сталі.

Шлак діє як негативний вплив на футеровку, так і позитивний - через можливість утворення, при певних умовах, захисного гарнісажу. Завдання ускладнюється ще більше з урахуванням основної технологічної функції шлаку - рафінування металу і відповідним вимогами до його складу і властивостей.

З іншого боку, ефективність заходів щодо поліпшення умов експлуатації вогнетривів на практиці обмежена суто технічними факторами. Найчастіше, в футеровці є зони підвищеного зносу, інтенсифікованого, наприклад, перепадами температур або особливо високими швидкостями руху розплавів, причому, саме ці зони визначають стійкість всієї конструкції в цілому.

Без застосування конструктивних рішень, що вирівнюють знос вогнетривів по всій футерівці агрегату, коригування шлакового режиму буде малоефективною, оскільки вона в меншій мірі торкнеться зони інтенсивного зносу.

Тому основним завданням роботи було встановлення механізму руйнування периклазової футеровки та розробка заходів щодо удосконалення ефективності її використання.

1 УМОВИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ПЕРИКЛАЗОВОЇ ФУТЕРОВКИ МЕТАЛУРГІЙНИХ АГРЕГАТІВ

1.1 Технологічні принципи виготовлення елементів конструкції плавильних печей

Робочий простір сталеплавильного агрегату утворюється або виконується з вогнетривких матеріалів. Хімічний склад їх різний. Тип того чи іншого вогнетриву визначається цілою низкою чинників:

- хімічним складом сталі, що виплавляється і сплаву;
- вимогами до якості сталі;
- вмістом шкідливих домішок (S, P), неметалевих включень, газів;
- складом шихти, хімічним складом шлаків;
- температурним режимом плавки.

Знаючи специфіку того чи іншого пристрою, підбирають агрегат, в якому доцільніше буде плавити. Якщо необхідно виплавити сталь, леговану Al, V, Ti - можна використовувати конвертер; якщо ж атмосфера в печі окислювальна - електропіч.

Ще одне важливе питання: яку футеровку використовувати: кислу, нейтральну або основну? Якщо необхідно отримати сталь з пониженим вмістом сірки використовують основну футеровку, якщо в шихті сірки менше 0,01% - можна застосовувати кислу.

Переважна кількість плавильних агрегатів мають основну футеровку. Стійкість основний футеровки коливається в широких межах:

- індукційні печі - 20-50 плавок;
- дугові печі - 50-300 плавок;
- мартенівські печі - 300-500 плавок;
- конвертерні печі - 300-500 (до 1000) плавок.

Магнезіальні вогнетриви мають широку сферу застосування в конвертерах, електросталеплавильних печах, сталерозливному комплексі, нагрівальних печах і колодязях, печах і ливарних формах кольорової металургії, тунельних печах вогнетривкої промисловості, обертальних печах цементної промисловості, печах хімічної

промисловості та ін.

Нижче описаний механізм зносу периклазових вогнетривів в різних футеровках теплових агрегатів та надано рекомендації щодо подальшого підвищення їх зносостійкості.

1.2 Футерування сталеплавильних конвертерів

У футеровці конвертерів застосовуються вогнетриви системи MgO-CaO, MgO - CaO - C, класифікація яких наведена в табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Класифікація вогнетривів системи MgO-CaO і MgO-CaO-C

№ пп.	Існуюча назва	Маркування	Вміст, мас. %		Стара назва
			CaO	C	
I. Система MgO - CaO					
1	Периклазові	П	<6	-	Магнезитові
2	Периклазовапнякові	ПИ	6-45	-	Магнезитодоломітові
3	Вапняковоперикласові	ИП	45-85	-	Доломітові
4	Вапнякові	И	> 85	-	Вапняні
II. Система MgO - CaO - C					
5	Периклазовуглецеві	ПУ	<6	5-40	Смоломагнезитові
6	Периклазовапняково-вуглецеві	ПИУ	6-45	5-40	Смоломагнезитодоломітові
7	Вапняковоперикласовуглецеві	ВПУ	45-85	5-40	Смолодоломітові
8	Вапняковувуглецеві	ИУ	> 85	5-40	Смоловапнякові

Нижче наведені дані щодо застосування вогнетривів зазначених систем в конвертерах відповідно до їх існуючої класифікації.

На даний період для футерування днища, циліндричної частини і горловини конвертерів застосовують периклазові (смоломагнезитові) і периклазовапнякові (смолодоломітомагнезитові) на смоляний зв'язці, вапняковоперикласові, смолодоломітові (на пековій зв'язці і обпалені периклазохромітові вироби) [1] (табл. 1.2).

Зі зменшенням вмісту оксиду кальцію в вогнетривах для конвертерів підвищується температура їх деформації під навантаженням і термостійкість, швидкість повзучості знижується.

Таблиця 1.2 – Властивості магнезіальновапнякових виробів для конвертерів

вид виробів	Хімічний склад, травні. %			Вміст смоли або пеку, мас. %	$\sigma_{сж}$, МПа	Швидкість повзучості при 1400 °С під навантаженням 0,2 МПа	Температура деформації під навантаженням 0,2 МПа, °С		термостійкість (1300 С, повітря), теплозмін
	MgO	CaO	SiO_2 (макс.)				початок руйнування	4%	
Периклазові на смоляній зв'язці	88,5	6,3	2,1	6,4	67,6	0,009	1550-1760	1800	20
Периклазовапнякові на смоляниій зв'язці	61,0	32,4	2,3	5,4	32,3	0,02	1450-1690	1640-1800	-
Вапняноперикласові на пековій зв'язці	37,3	55,3	2,8	5,3	74,8	0,27	1410-1450	1460-1480	-

[1]Удавана щільність виробів 2,94 г/см^3; відкрита пористість периклазовапнякових виробів на смоляний зв'язці 14,9%.

Кількість вуглецю (коксового залишку) становить в існуючих вогнетривах для конвертерів 2,0-4,3%. При цьому вуглець міститься тільки в порах <4 мкм, в більших порах вуглецю після коксівного випалу немає [2]. У високостійких вогнетривах близько половини всіх пір повинні бути розміром менше 4 мкм.

З кам'яновугільної смоли при температурі до 200 °С виділяються пари води і бензольні вуглеводні; при 200-250 °С - нафталін, похідні нафталіну, феноли, похідні бензолу, сірчисті з'єднання; при 250-300 °С - аценафтен, дифеніл, парафін, флуорен; при 300-350 °С - антрацен, фенантрен, хрізен. Виділення канцерогену бензапирена незначне і відбувається при 350 °С. Повне виділення летючих з смоли закінчується при температурі 350 °С після витримки протягом 19 год.

У смолозв’язаних периклазовапнякових вогнетривів для футеровки конвертерів два основних недоліки - низька міцність при 200-300 °С (що викликає сповзання футерування при розігріві) і невеликий термін зберігання - 5-7 діб через гідратації оксиду кальцію, що робить їх нетранспортабельними [1]. Слід зазначити, що міцність периклазових виробів на смоляний зв'язці при зберіганні збільшується.

Високотемпературна міцність периклазових виробів на смоляний зв'язці вище, ніж у звичайних обпалених периклазових виробів. Якщо при 1400 °С у звичайних виробів вона становить 8,7 МПа, то у виробів на смоляний зв'язці 13,2 МПа; при 1600 °С вона відповідно 1,2 і 3,9 МПа.

Теплопровідність вогнетривів для конвертерів завдяки присутності вуглецю в зв'язці також вище, ніж у обпалених виробів.

Шлакостійкість цих вогнетривів визначається вмістом в них оксиду магнію і вуглецю. Оксид магнію розчиняється в конвертерних шлаках в 3 рази гірше, ніж оксид кальцію. При цьому глибина просочення у смолозв'язаних вогнетривів для конвертерів через наявність вуглецю в 3 рази менше, ніж у обпалених виробів того ж складу.

Вуглець створює відновну середу, яка погіршує умови утворення рідкої фази, знижує змочування вогнетривів шлаком, перешкоджає капілярному проникненню шлаку в вогнетриви, відновлює оксиди важких металів при високій основності шлаків і перешкоджає тим самим взаємодії їх з оксидом магнію. Кислі шлаки не змочують вуглець.

Однак при високих температурах оксиди заліза окислюють вуглець, утворюючи зневуглецьований контактний шар, в який проникає шлак. Виділена при цьому газова фаза перешкоджає проникненню шлаку в вогнетриви.

Умови служби та стійкість магнезіальних футеровок вітчизняних конвертерів залежать від їх ємності [3] (табл. 1.3).

Таблиця 1.3 – Умови служби та стійкість магнезіальних футеровок в залежності від ємності конвертерів

показник	Периклазовапняна на смоляній зв'язці 130 т	Вапняноперикла-зова на пековій зв'язці 160 т	Периклазова на смоляній зв'язці 300-400 т
Тривалість плавки, хв.	48,6	43,1	43,5
Тривалість продувки, хв.	20,5	19,9	17,4
Питома витрата кисню, $м^3/т$	66,0	65,0	54,1
Вміст кремнію в чавуні, %	0,91	0,71	0,71
Основність кінцевого шлаку, CaO/SiO_2	2,81	3,16	3,45
Стійкість футеровок, плавки	453	1071	624 *

При температурі служби 1590-1630 °С, тривалості плавок 40-50 хв. і питомій витраті кисню 54-66 $м^3/т$ стійкість існуючих магнезіальних футеровок є недостатньою. Крім того, інтенсифікація процесу сталеваріння в конвертерах зменшує стійкість їх футеровок і обумовлює нерівномірний знос футеровок по висоті [4,5].

За кордоном конвертерний спосіб виробництва сталі є домінуючим (в США, Японії, Німеччини та Франції). Питома витрата вогнетривів для футеровки цих агрегатів залежить від схеми кладки, сортаменту виплавлюваних сталей, типу конвертерного процесу. У Німеччині цей показник коливається від 1,5 до 8,0, в середньому

складаючи 3,6 кг/т сталі. Так, при використанні в футеровці в основному вапняково-периклазових вогнетривів на пековій зв'язці стійкість футеровки становить 300-500 плавок при витраті вогнетривів 5,0-8,0 кг/т сталі, периклазовапнякових на пековій зв'язці 400-700 плавок при витраті 2,5-6,0 кг/т сталі, периклазовапнякових на зв'язці з пеку або синтетичної смоли 600-1400 плавок при витраті 1,5-3,0 кг/т сталі [6].

Аналізуючи ці показники, слід мати на увазі, що на відміну від японської практики в країнах Західної Європи позадоменна обробка чавуну в жолобах доменних печей і в ковшах, як правило, полягає тільки в десульфурації. Знекремнювання і дефосфорацію здійснюють на останніх стадіях процесу виробництва сталі, що призводить до утворення великої кількості агресивного шлаку, під впливом якого сильно зношується вогнетривка кладка.

Вогнетриви в конвертерах піддаються впливу основних шлаків, змінної газового середовища, металу при температурі 1700 °С і інтенсивному механічному впливу розплавлених металу та шлаку.

У зв'язку з широким впровадженням останнім часом позапічної обробки і безперервного розливання сталі підвищується температура випуску сталі з конвертера, що також ускладнює умови служби вогнетривів.

Для футерування кисневих конвертерів в країнах Західної Європи використовують вогнетривкі вироби наступних видів: пекозв’язані вапняковоперикласові; пекозв’язані вапняковоперикласовуглецеві; пекозв’язані і просочені пеком периклазові; периклазові обпалені і просочені пеком; периклазовуглецеві на зв'язці з пеку або з синтетичної смоли.

Футеровка конвертера зношується нерівномірно, в зв'язку з чим з метою забезпечення рівномірності кладки виконують, як правило, зонний футеровку з вогнетривких виробів декількох видів.

Всі конвертерні вогнетриви містять вуглець, який вводиться з пеком синтетичною смолою, сажею або графітом. Вуглець підвищує стійкість вогнетривів до корозії шлаком, що пов'язано з низьким змочуванням розплавленим шлаком.

Вибір типу футеровки визначається в основному двома чинниками: витратами на вогнетриви в розрахунку на 1 т сталі і інтенсивністю використання кисневих конвертерів. Розрізняють два основні варіанти вибору схеми футерування.

У першому варіанті розглядають схеми кладки при відносно невеликій інтенсивності використання конвертерів (два з трьох або один з двох). У цих умовах простоювання на перефутеровку або ремонт конвертера має незначний вплив на випуск продукції. Основна мета полягає у виборі вогнетривів, витрати на які в розрахунку на 1 т сталі будуть мінімальними. Футеровку викладають переважно вапняковопериклазовими вогнетривами різних типів, оскільки таке футерування економічніше в порівнянні з периклазовим або периклазовуглецевим.

При інтенсивному використанні конвертерів в умовах значної потреби в рідкому металі і можливості тривалої одночасної експлуатації всіх наявних конвертерів простої необхідно звести до мінімуму. В цьому випадку з метою досягнення стійкості футерування викладають такими високоякісними вогнетривами, як периклазові і периклазовуглецеві.

Механізм зносу вапняковопериклазових виробів на смоло (пеко) вих зв'язках в сталеплавильних конвертерах має циклічний характер. Кожен цикл триває від декількох плавок до декількох десятків плавок в залежності від умов служби виробів.

Кожен цикл включає в себе ряд послідовних стадій руйнування:

1) окислення (вигоряння) залишкового вуглецю (продукту коксування смоли або пеку) в сполучній частини вапняковопериклазових виробів з утворенням високопористої, розпушеної, зневуглецьованої, робочої зони товщиною 1-6 мм;

2) ерозія (змивання) зневуглецьованої зони шлакометалевим розплавом, оголення свіжої поверхні і подальше більш глибинне окислення вуглецю;

3) інфільтрація рідких реагентів плавки в зневуглецьовані, пористі шари вогнетриву за рахунок феростатичного тиску і капілярних сил;

4) окислення металу в порах, що супроводжується збільшенням обсягу і структурним розтріскуванням утворених зон;

5) сколювання тонкими шарами («лущення») просочених металом шарів внаслідок різкої відмінності термомеханічних властивостей просочених і непросочених шарів вогнетриву по їх кордону.

Шлакостійкість вапняковопериклазових виробів не тільки визначається їх фазово-структурними характеристиками, але і залежить від окислювально-відновного потенціалу газового середовища.

У окислювальному середовищі спостерігається максимальна взаємодія вогнетривів з вапняно-фосфатно-силікатно-залізистим розплавом. При цьому зі збільшенням вмісту вуглецю і антиоксидантів шлакостійкість вапняковопериклазових виробів підвищується. В результаті знос виробів лімітується швидкістю і глибиною зневуглецювання вогнетриву.

У відновному середовищі відбувається переважно сублімація периклазу за рахунок газотранспортних окисно-відновних реакцій. При цьому корозія шлаком не є визначальним фактором і залежить від газопроникності і питомої поверхні канальних пір вогнетриву. Крім того, в відновному середовищі спостерігається карбідізація заліза з утворенням Fe_3C. В результаті знос виробів лімітується швидкістю сублімації (сублімації) периклазу.

Таким чином, в окислювальному середовищі знос вапняковопериклазових виробів визначається швидкістю зневуглецювання, а в відновлювальному - швидкістю сублімації периклазу.

В результаті для підвищення зносостійкості вапняковопериклазових виробів необхідно збільшити вміст вуглецю (графіту) і антиоксидантів.

Тому для конвертерів доцільно застосовувати периклазовуглецеві вироби з суміші плавленого периклазу і спечених периклазових порошків з підвищеним вмістом CaO і добавкою металевих антиоксидантів.

В футеровці 400-т конвертерів випробувані периклазовуглецеві вогнетриви різних фірм і досягнута висока стійкість: 3053 плавки при використанні вогнетривів фірми «Narco» (США) (рис. 1.1).

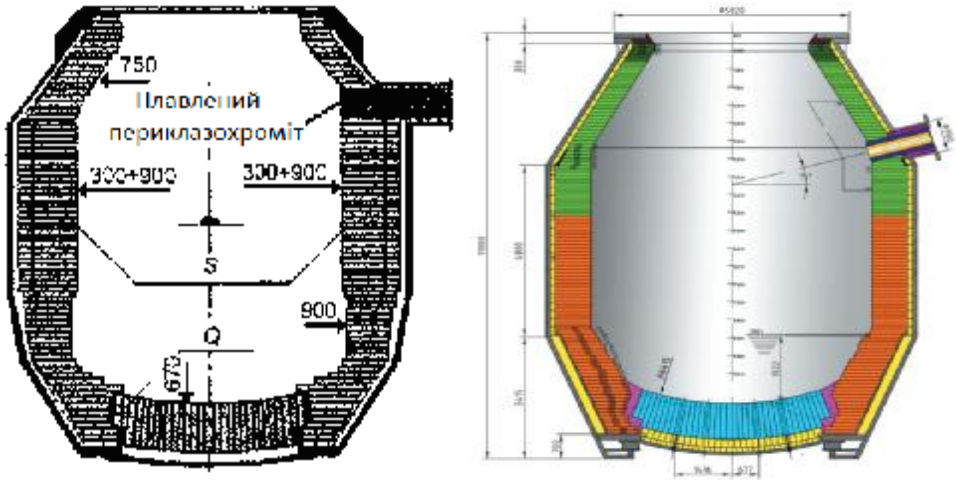


Рисунок 1.1 – Схема кладки 400-т конвертера

Служба периклазовуглецевих футеровок 400-т конвертерів характеризується ретельним доглядом за футеровкою і її якісним торкретуванням (табл. 1.4).

Таблиця 1.4 – Умови служби різних периклазовуглецевих вогнетривів і їх зносостійкість в футеровці 400-т конвертерів [7]

показник	«Mayerton» (Китай)	«Narco» (США)	«Veitscher» (Австрія)	«Магнезит» (марка «ПУПК-8») (Росія)
Маса робочої футеровки, т	773	568	630	730
Максимальна стійкість, плавки	1568	3053	2943	1675
Товщина робочого шару, мм:				
завантаження	1200	762	800	900
цапфи і слив	1200	762	900	900
Середній вміст MgO в шлаку, %	3,4	11-14	10-11	10-11
Число операцій ремонту:				
розбризкування шлаку	немає	2079	1835	118
напівсухе торкретування	76	677	305	немає
смолоскипне торкретування	41	121	693	683
підварювання	86	95	82	73
підварювання загущеним шлаком	немає	701	-	немає
Загальний час догляду за футеровкою, % (від кампанії)	10	19	17	14
Сканування футерування	Так	немає	Так	Так
Кількість ремонтних матеріалів на кампанію, т:				
торкрет-маси	104	450	Немає св.	Немає св.
доломіту	немає	32685	25215	14350
бою	985	1109	980	760
факельної суміші	4100	1200	6900	6930
Середня частота ремонтів, плавки	0,36	1,2	0,99	0,52

Таким чином, основні напрями підвищення стійкості футеровок конвертерів полягають у використанні периклазовуглецевих, периклазовапнякових і вапняково-периклазових вогнетривів системи MgO-CaO-C з добавками антиоксидантів, застосуванні факельного торкретування і вапняквмісних торкрет-мас, підвищенні вмісту оксидів кальцію і магнію в шлаках, зменшенні тривалості контакту активного шлаку з футеровкою конвертера і формуванні гарнісажу шляхом роздування шлаку азотом.

1.3 Особливості футеровки електросталеплавильних печей

Для кладки склепінь і стін електросталеплавильних печей застосовують обпалені периклазохромітові і хромітопериклазові вироби. Укоси і подини електропе-

чей викладають з обпалених периклазових виробів.

Ці вироби мають досить високі термомеханічні властивості: низьку пористість, велику міцність і термостійкість. При цьому чіткої залежності між стійкістю футеровок електросталеплавильних печей і їх тоннажем не існує, що обумовлено різними умовами служби вогнетривких виробів (табл. 1.5) [1].

Таблиця 1.5 – Умови служби та стійкість вітчизняних футеровок електросталеплавильних печей

Вид обпалених вогнетривких виробів	Тоннаж печей, т	Тривалість плавки, г-хв	Річне виробництво сталі на піч, тис. т	питома витрата кисню, $м^3/т$	Товщина елемента кладки, мм	стійкість, плавки
Периклазохромітові	30	5-23	56,2	27,8	Склепіння 300	84
					Стіни 380-верх	286
Хромітопериклазові					530-низ	
Периклазохромітові	40	5-08	70,5	27,8	Стіни 380-верх	1187
Хромітоперіклазові					760-низ	
Периклазохромітові	60	5-38	84,6	13,8	Склепіння 300	65
					Стіни 380-верх	118
Хромітоперіклазові					530-низ	
Периклазохромітові	100	4-21	181,4	21,0	Склепіння 300	60
					Стіни 460-верх	146
					460-низ	
Периклазохромітові	> 100	5-39	258,3	31,3	Склепіння 460	77
					Стіни 575-верх	147
					723-низ	

Схема кладки футеровок електросталеплавильних печей з ексцентричним (еркерним) донним випуском сталі наведена на рис. 1.2, 1.3.

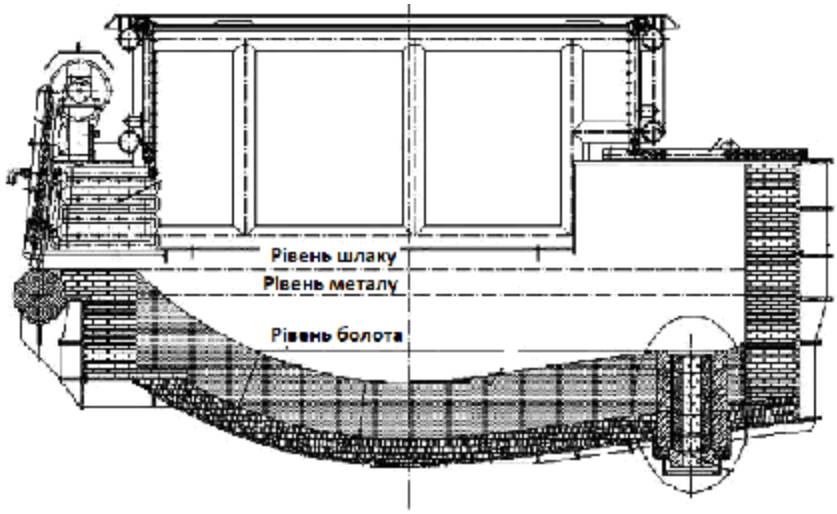
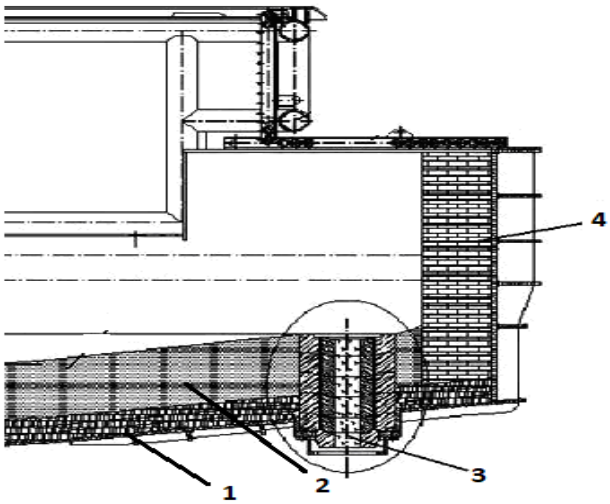


Рисунок 1.2 – Схема кладки електросталеплавильних печей

Основним напрямком підвищення стійкості футеровок стін і склепіння електросталеплавильних печей є їх водяне охолодження, застосування периклазовуглецевих виробів і торкретування.

Застосування водоохолоджуваних панелей дозволило на 75% скоротити витрату вогнетривів в стінах електропечей і на 85% - в їх склепіннях [8].

Великий інтерес представляють периклазовуглецеві вироби, стійкість яких в 1,5-3 рази вище стійкості зазвичай застосованих вогнетривів. Вироби мають низьку пористість. Властивості периклазовуглецевих виробів, що застосовуються в стінах електропечей, такі [9]: 63-93% MgO; 6-32% С; $\sigma_{сж}$ = 20-80 МПа; $П_{отк}$ = 3-5%; $\rho_{уяв}$ = 2,70-3,00 г/см^3; модуль пружності при 1400 °С = 3-5 МПа.



1- периклазові вироби марки ПУ (ПО) - 91 або 89; 2 - периклазовий порошок марок ППЕ-88, ППЕК-87; 3 – гніздові блоки марки ПГРБС; 4 - периклазовуглецеві вироби ПУПЕ, ПУЕ-116 і вироби з плавленого периклазу ППЛУ-93

Рисунок 1.3 – Донний випуск сталі з печі

Важливою властивістю периклазовуглецевих виробів є їх теплопровідність, яка у них в 3-4 рази вище, ніж у обпалених магнезіальних вогнетривів. Так, звичайні обпалені магнезіальні вогнетриви мають при 1000-1200 °С коефіцієнт теплопровідності 2,5-3,5 Вт/(м•К), а периклазовуглецеві - 10-11 Вт/(м•К).

Підвищення теплопровідності периклазовуглецевих виробів пов'язано з введенням в їх склад вуглецю. Тому в період служби в футеровці стін електросталеплавильних печей з водяним охолодженням на поверхні периклазовуглецевих виробів утворюється тонка шлакова зона, а глибинних змін не відбувається [10]. Добавка

плавленого периклазу в периклазовуглецеві вироби зменшує глибину проникнення шлаку і товщину зневуглецьованого шару [11].

У стінах 100-т електросталеплавильних печей з водоохолоджуваними панелями периклазовуглецеві вироби марки ПУЕП-116, якими викладали стіни від рівня металу до панелей, мали стійкість вище в 2 2,5 рази в порівнянні з ПХС-виробами. Клеєні блоки з периклазовуглецевих виробів мали таку ж стійкість, як і штучні вироби цього виду.

У склепіннях 100-т електросталеплавильних печей периклазовуглецеві вироби марки ПУЕП-116 мали стійкість на 25-50% вище, ніж ПХС- вироби.

Механізм зносу в стінах периклазовуглецевих виробів полягає в їх шлакороз'єданні під впливом електросталеплавильних шлаків і в зниженні їх магнітної сприйнятливості. Знос периклазовуглецевих виробів включає три стадії: 1) формування зневуглецьованої зони внаслідок окислення графіту та інших вуглецевмісних речовин; 2) капілярне просочення зневуглецьованої зони розплавленими реагентами плавки; 3) хімічну взаємодію реагентів плавки з периклазом з утворенням легкоплавких з'єднань і поверхневе оплавлення робочих зон.

Подальше підвищення зносостійкості периклазовуглецевих виробів доцільно здійснювати шляхом пасивації графіту, що виключає його запилювання і різко зменшує ступінь вигоряння вуглецю.

Для скорочення витрат вогнетривів периклазовуглецеві вироби після служби в склепіннях і стінах електросталеплавильних печей повністю використовують повторно: частина виробів - для кладки стін, а уламки виробів - для подварки стін в суміші з заправним периклазовим порошком з добавкою рідкого скла. Безвідходна технологія застосування периклазовуглецевих виробів дозволяє повністю використовувати вогнетриви, підвищити стійкість стін і в підсумку зменшити їх простої на ремонтах.

Поряд з широким застосуванням периклазовуглецевих виробів в електросталеплавильних печах починають використовувати периклазовапнякові вироби. Так, застосування периклазовапнякових виробів протягом двох років в електросталеплавильних печах, що виплавляють нержавіючу сталь, дозволило підвищити їх стійкість в 1,4 рази в порівнянні з периклазохромітовими виробами [12].

1.4 Вогнетриви для машин безперервного лиття заготовок (МБЛЗ)

Техніко-економічні переваги безперервного розливання сталі настільки очевидні, що її обсяг в більшості країн склав більше 95% від загального розливання сталі.

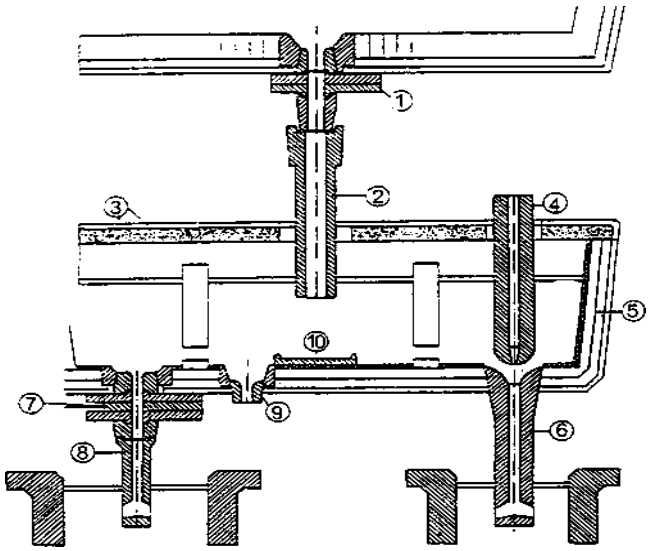
Вогнетриви для МБЛЗ поділяють:

1) для футерування ковшів;

2) вогнетривкі вироби для регулювання розливання сталі: шибери, стопори і стакани;

3) вогнетривкі вироби для запобігання окислення сталі: захисні труби, занурені стакани;

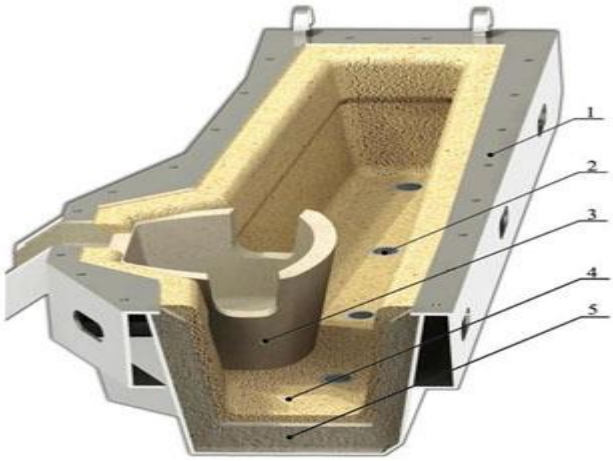
4) вогнетривкі елементи для видалення включень: промивальний пристрій для промковша, пороги, затвори, фурми, плити (рис. 1.4-1.6).



1 - шибер ковша; 2 - захисна труба; 3 – кришка промковша; 4 - моноблочний стопор; 5 - футеровка промковша; 6 - занурюваний зливний носок; 7- шибер промковша; 8 - погружний стакан; 9 - блок-стакан вільного потоку; 10 - запобіжна плита

Рисунок 1.4 – Вогнетривкі елементи для футерування промковша

Проміжні ковші МБЛЗ служать для передачі сталі з сталерозливних ковшів в кристалізатор, підтримки великого резерву сталі при зміні сталерозливних ковшів, для збереження постійної швидкості лиття, збереження постійної температури сталі при тривалому розливанні, видалення неметалічних включень і запобігання поглинання сталлю кисню та азоту з повітря.



1 - кожух промковша; 2 - стакан-дозатор; 3 - металоприймач;
4 - торкрет-шар; 5 - робочий шар

Рисунок 1.5 – Загальний вигляд 6-ти струмкового проміжного ковша МБЛЗ

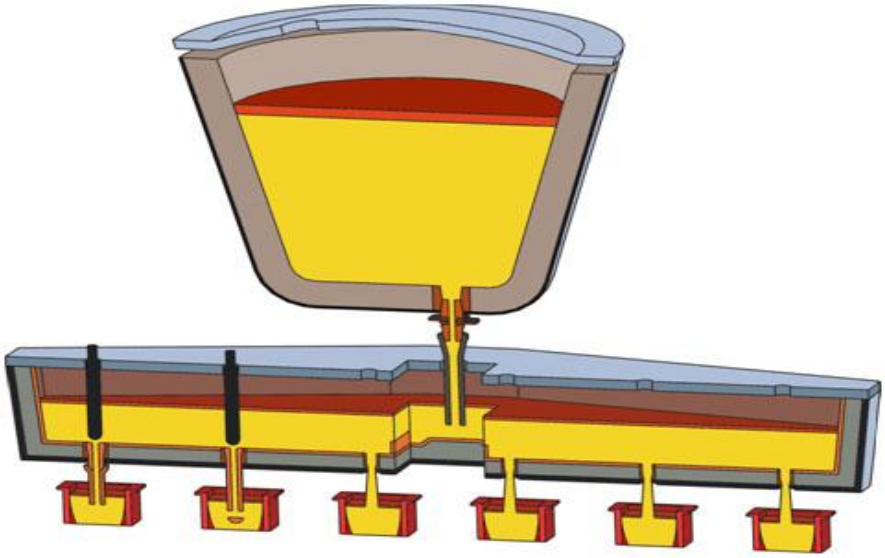


Рисунок 1.6 – Схема переливу металу з сталерозливного ковша
в промківш і кристалізатори МБЛЗ

Для футеровок ковшів необхідно використовувати тільки термодинамічно стабільні оксиди MgO, CaO, ZrO_2, $A1_2O_3$ або їх сполуки.

Футеровка ковшів складається з 3 шарів: 1) теплоізоляційний шар з волокнистих плит, матів або теплоізоляційних виробів товщиною 20- 50 мм; 2) високостійкий шар футеровки з виробів або вібролиття тиксотропного бетону з вологістю 5-6% і товщиною 150-250 мм; 3) низькостійкій шар футеровки з периклазових плит або торкрет-мас.

За температурою попереднього нагрівання ковшів їх підрозділяють на наступні види: «холодні» ковші футерують магнезіальними ізоляційними плитами і не

підігрівають перед розливанням; «теплі» ковші футерують магнезіальними масами і підігрівають перед розливанням сталі до 1100 °С; «гарячі» ковші футерують магнезіальними виробами і нагрівають перед розливанням до температури понад 1500 °С.

Ізоляційні плити складаються з 70-85% MgO з добавками керамічних волокон і сполучної, заливають у форми, зневоднюють і сушать при 200 °С. Перевагою «холодних» ковшів є легке видалення охолодженого з металу і шлаку, а також підвищена зносостійкість футеровок.

«Холодні» проміжні ковші мають зносостійкість футеровок до 3 тис. т сталі при тривалості розливання до 9 год. [13].

«Теплі» ковші з нанесеними робочим шаром більш економічні у порівнянні з «холодними» ковшами: відсутнє попереднє виготовлення ізоляційних плит, спрощується їх виготовлення, особливо при місцевих прогарах футерування, і прискорюється час обороту ковшів.

«Гарячі» ковші з футеровкою з магнезіальних виробів використовують тільки для спеціальних марок сталі.

Робочу поверхню футеровок покривають периклазовими масами, які полегшують видалення настилів. Покриття наносять на нову поверхню робочої футеровки проміжного ковша перед початком експлуатації і в процесі експлуатації перед кожною серією розливок «плавка на плавку». Застосування захисних покриттів дозволило підвищити стійкість футеровок від 30 до 150 плавок (в залежності від виду сталі, що розливається).

У зоні падіння струменя металу в промківш використовують також збірні плити периклазового або високоглиноземистого складу.

Ефективне застосування вапняковопериклазових вогнетривів в футеровці проміжних ковшів [13].

1.5 Футерувальні матеріали для сталерозливних ковшів

Існують три способи розливання сталі: розливання зверху безпосередньо з ковша в кожну виливницю, розливання знизу сифонним способом відразу в групу виливниць і безперервне лиття на МБЛЗ.

Сталь з плавильного агрегату, наприклад конвертера, надходить в ківш при 1550-1650 °С, тому всі вогнетриви в ковші (футеровка, стопорні трубки, пробки, стакани) в момент заливки піддаються різкому термічному удару. Розлив металу з ковша триває від 20 хв. до 2 год. Футеровка дна і нижньої третини стін ковша найбільш тривалий час знаходиться в контакті з рідким металом і працюють в найважчих умовах.

В контакті з вогнетривами розплавлені метали поводяться як відновники. Якщо при цьому утворюються оксиди металів, які при температурі процесу представляють собою тверду речовину, то стійкість вогнетривів може збільшуватися, так як утворюється захисний шар. Якщо ж метал утворює легкоплавкий оксид, який безперервно змивається, стійкість вогнетривких матеріалів зменшується.

Крім того, напрямок переважного масопереносу на кордоні вогнетрив-шлак визначається основністю шлаку: при низькій основності шлаків - $CaO/SiO_2 < 3$ - масоперенос спрямований в бік шлаків, футерування розчиняється, а при більш високій основності - $CaO/SiO_2 > 3$ - масоперенос спрямований в сторону футеровок - вони заростають.

Істотний вплив роблять процеси формування гарнісажу на футеровку ковшів як за рахунок утворення в гарнісажі нових з'єднань, так і внаслідок підвищення в'язкості самого гарнісажу. Так, введення в футеровку CaO збільшує в'язкість утвореного гарнісажу - гарнісаж краще тримається на футеровці і тим самим зносостійкість футеровок ковшів зростає.

Властивості вогнетривів, які знаходяться в безпосередньому контакті з розплавленим металом після випуску, впливають на якість продукції, що випускається сталі. Так, неметалеві включення, що утворилися з ковшових вогнетривів, складають більше 50% від загальної кількості неметалевих включень.

Запропоновано методологію вибору вогнетривких матеріалів для футеровки сталерозливних ковшів. В основу методології покладено аналіз діаграм стану оксидів - основних компонентів вогнетривів і шлаків з позицій впливу на вогнетривкі матеріали основних чинників руйнування: 1) температури, складу шлаку, тривалості впливу; 2) термоударів, ерозії; 3) відновлення вогнетривких матеріалів. При температурах до 1600 °С однаково придатні вапняковоперіклазова, періклазова й ви-

сокоглиноземиста футеровки. При більш високих температурах остання не працездатна. При температурі > 1600 °С співвідношення CaO/SiO_2 > 2, але при малому вмісті оксиду заліза в шлаку високою стійкістю володіють вапняковопериклазові вогнетриви. При поєднанні всіх несприятливих факторів тільки магнезіальні вогнетриви дають позитивні результати [14].

Різні умови в області шлакового пояса, стін і дна ковша вимагають застосування різних вогнетривів, які повинні бути сумісні з відповідним шлаком для забезпечення оптимальної тривалості служби [15].

Для вогнетривів шлакового пояса найважливішою властивістю є сумісність з технологічним шлаком, що означає утворення в результаті взаємодії між вогнетривами і шлаками продуктів з дуже високою температурою плавлення. З низькоосновним шлаком (CaO/SiO_2<2) сумісні такі вогнетриви (в порядку зростання шлакостійкості): кремнеземисті, шамотні, цирконові, високоглиноземисті, периклазовуглецеві. У міру зростання стійкості до дії високоосновного шлаку (CaO/SiO_2>2) вогнетриви можна розташувати в наступному порядку: вапняковопериклазові на вуглецевій зв'язці, вапняковопериклазові на керамічній зв'язці, периклазовапнякові, периклазовуглецеві [16].

Футеровки звичайних сталерозливних ковшів виготовляють з штучних алюмосилікатних виробів. Крім того, застосовують і монолітні футерування ковшів з литих і набивних кремнеземистих мас. При цьому з підвищенням ємності ковшів знижується питома витрата вогнетривів на 1 т сталі, стійкість футеровок змінюється [1] (табл. 1.6).

Таблиця 1.6 – Стійкість футеровок сталерозливних ковшів і питома витрата вогнетривів залежно від їх ємності

Ємність ковшів, т	Стійкість футеровок ковшів, плавки			Питома витрата вогнетривів, кг/т сталі		
	конвертерних	електросталеплавильних	мартенівських	конвертерних	електросталеплавильних	мартенівських
100	-	16,2	14,9	-	9,3	7,1
130	-	25,6	9,2	-	7,6	8,1
150	22,0	-	12,6	6,2	-	6,9
200	14,3	-	14,8	5,1	-	5,4
250	10,0	16,8	9,3	10,7	8,6	8,6
> 300	21,3	-	20,2	4,4	-	5,1

У нашій країні і за кордоном все більшого поширення набуває магнезіальне футерування сталерозливних ковшів [17].

Застосовують два види магнезіальних футеровок: монолітні і з виробів. У порівнянні з футеровкою з виробів, монолітні футерування більш перспективні. Однак для застосування їх необхідна організація виробництва сухих бетонних сумішей і будівництво спеціальних установок для їх виготовлення.

Для виготовлення магнезіальних футеровок з виробів на вогнетривких заводах необхідні лише незначні капітальні витрати. Існує 39 типорозмірів ковшових виробів. Тому доцільно викладати магнезіальні футерування з виробів уніфікованих типорозмірів.

Уніфікована форма ковшових виробів є найкращою [18,19], так як вони мають шарнірне зчленування і це дозволяє викладати робочий шар футеровок сталерозливних ковшів будь-якої ємності з виробів одного-двох типорозмірів.

При цьому найбільш раціональна область застосування магнезіальних ковшових виробів - для футеровок високотемпературних ковшів, через які розливають високолеговані сталі з температурою плавлення не менше 1620 °С (найбільш агресивні сталі), а також для ковшів, використовуваних при позапічній обробці сталі, тобто для ковшової металургії. Підвищені вимоги до ковшових вогнетривів пред'являють при рафінуванні, вакуумування сталі в ковші і безперервного розливання металу.

Монолітне футерування сталерозливних ковшів. Для монолітних футеровок ковшів застосовують магнезіальновапнякові бетони наступного складу: 65-85% периклазового, доломітового клінкера; до 7% мінерального волокна (шлакова вата, каолінове волокно, скловолокно), до 5% органічного волокна (папір, бавовняне або синтетичне волокно, шерсть) і 10-30% гідравлічних в'яжучих (вапно, цемент, прожарені гіпс, доломіт, магнезит, гідрохлориди барію, алюмінію) [20].

Футеровки сталерозливних ковшів з магнезіальних виробів. За кордоном стійкість футеровок сталерозливних ковшів складає 100-200 плавок при питомій витраті вогнетривів 1,5-2,2 кг/сталі [21]. Це досягається диференційованої кладкою ковшів: дно - високоглиноземними, стіни викладають периклазовуглецевими, периклазовапняковоуглецевими, вапгняковопериклазовуглецевими і вапняковоуглецевими виробами з вмістом 5-10% С.

Торкретування ковшів в гарячому стані магнезіальновулецевими масами підвищує їх стійкість в 2 і більше разів.

Обов'язковим є застосування теплоізоляційних кришок, що дозволяє істотно підвищити стійкість футеровок ковшів через збереження в них температури не нижче 700 °С.

Перед прийманням сталі проводять додатковий підігрів ковшів. Після 3-4 плавок кількість тепла, акумульованого футеровкою ковшів, стає майже постійною. Температура всередині футеровок в період початку розливання мінімальна, а в кінці досягає максимуму.

Однак на магнезіальні футерування в процесі служби налипає шлак. Теплоізоляція істотно зменшує налипання металу і шлаку. За рахунок теплоізоляції футерування від сталевого кожуха, попереднього підігріву до приймання сталі і закривання ковша кришкою можна запобігти налипанню металу і шлаку на магнезіальні вогнетриви. При цьому температура при випуску може бути знижена приблизно на 40 % в порівнянні з температурою розплаву, який заливається в непідігрітий ківш з шамотної футеровкою.

Необхідно відзначити, що в даний час близько 90% вогнетривів в робочому шарі футеровки ковшів складають вапняковопериклазові [22].

На деяких європейських заводах застосування вапняковопериклазових вогнетривів з прямим зв'язком призвело до подвоєння стійкості футеровки сталерозливних ковшів [23].

У країнах СНД вапняковопериклазові вироби тільки починають застосовуватися в кладці сталеплавильних ковшів, при цьому стійкість футеровки невисока. У 1990 р вапняковопериклазові вироби були використані в футеровці ковшів на комбінатах «Азовсталь», Дніпровському і Череповецькому із середніми показниками стійкості 32,8; 24,6 і 20,7 плавки відповідно. Максимальна стійкість футеровки ковшів на Карагандинському металургійному комбінаті склала 45 плавок.

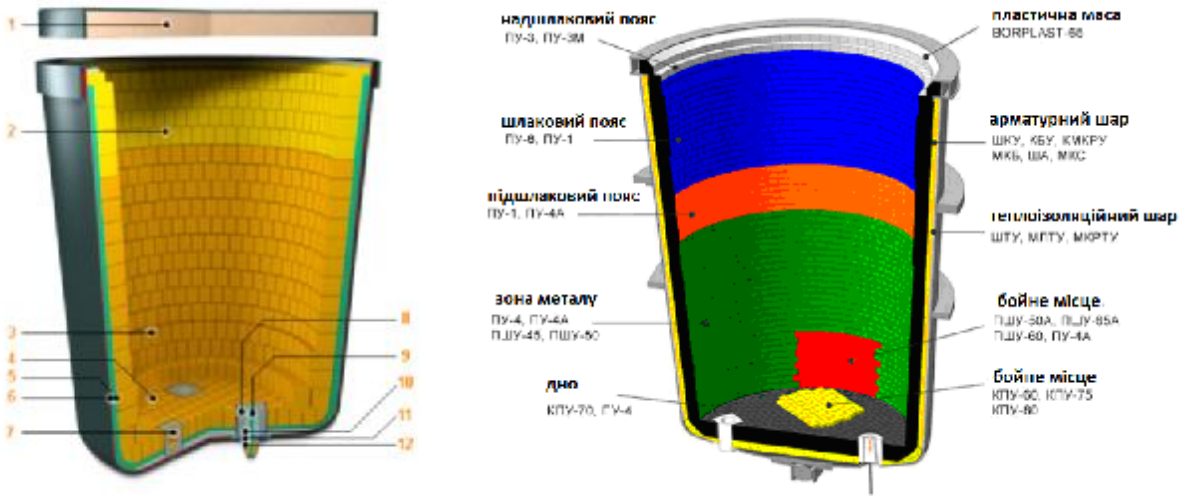
Введення вуглецю до складу виробів системи MgO - CaO у вигляді зв'язки або добавки робить їх більш термостійкими, шлакостійкими і більш стійкими до усадки в процесі служби.

Тому найбільшу стійкість в футеровці сталерозливних ковшів мають вогнет-

риви системи MgO-CaO-C: вапняковоперіклазовуглецеві, паеріклазовапняковоуглецеві і періклазовуглецеві вироби.

Обов'язковою умовою підвищення стійкості періклазовапнякових і вапняковоперіклазових вогнетривів з добавкою графіту в футеровці ковшів є застосування теплоізоляційних кришок, що перешкоджають охолодженню футеровок в процесі розливання сталі і між плавками.

В футеровці 385-т сталерозливних ковшів «Северсталь» вогнетриви фірми «Mayerton Refractories» показали стійкість 122 плавки. Схема кладки цих ковшів в 2 варіантах приведена на рис. 1.7 [24].



1 - Захисна кришка; 2 - шлаковий пояс; 3 – стіни; 4 – днище; 5 - арматурний шар; 6 - теплоізоляційний шар; 7 - продувальна фурма; 8 – гніздовий блок; 9 - стартова суміш; 10 - сталерозливних стакан; 11 - шиберна плита; 12 – стакан-колектор

Рисунок 1.7 – Структурні елементи та схема кладки сталерозливних ковшів

Отже, для підвищення зносостійкості футеровок сталерозливних ковшів доцільно застосовувати магнезіальновуглецеві, магнезіальношпінельні, магнезіальносилікатні і магнезіальноцирконієві вогнетриви строго диференційовано для шлакового пояса, стін і дна ковшів.

Для шлакового пояса необхідно використовувати періклазовуглецеві вироби з суміші 50% плавленого періклазу + 50% спеченого періклазу з найбільш високим вмістом MgO.

Крім того, для підвищення зносостійкості футеровок ковшів доцільно:

— використовувати додаткову теплоізоляцію футерування ковшів;

— для ковшів - застосовувати вироби уніфікованої форми;

— склад виробів - визначати тільки умовами служби і сортаментом сталі, що розливається;

— для кладки виробів - використовувати високоглиноземний мертель з вмістом Al_2O_3> 70% з обов'язковою обмазкою футеровок;

— розігрів ковшів - виробляти по режиму коксування конвертерів;

— в процесі експлуатації ковшів - застосовувати теплоізольовані кришки.

Використання теплоізоляції і попереднього підігріву ковшів зумовлює зменшення заростання магнезіальних футеровок ковшів шлаком і металом. Можливе зменшення нагрівання сталі в печах внаслідок високої акумулюючої здатності магнезіальних футеровок сталерозливних ковшів.

Умови експлуатації футерування сталерозливних ковшів визначаються технологією виробництва сталі, сортаментом металу, що виплавляється і коефіцієнтом використання основного металургійного обладнання [25].

Перенесення операцій розкислення, десульфурації, легування, регулювання форми і видалення неметалевих включень з сталеплавильного агрегату в сталерозливних ківш дозволяє зберегти продуктивність сталеплавильних агрегатів, за умови збільшення тривалості обробки рідкого металу, але ускладнює умови служби футеровки сталерозливних ковшів і висуває додаткові вимоги до матеріалу вогнетривкої футеровки - відсутність взаємодії з вводяться в розплавлений метал реагентами [25].

Інтенсивність впливу всіх руйнуючих факторів і, перш за все, хімічної взаємодії, визначається температурою металу, що зливається в сталерозливний ківш. Залежно від технологічних факторів, температура зливаємого в сталерозливний ківш металу може складати 1530 ... 1700 °С, а в деяких випадках і вище [25, 26, 27].

Час впливу розглянутих вище факторів визначається, в основному, тривалістю перебування металу в ковші, яке становить 150.300 хв. [25-27].

Умови експлуатації ковша обумовлюють різкий нагрів і охолодження вогнетривкої футеровки. Різниця температур металу і підігрітого до 800 °С футерування сталерозливного ковша може становити 700…900 °С [25].

З описаних вище умов експлуатації ковшів випливає комплекс вимог до робо-

чих властивостей вогнетривів, що включають хорошу стійкість до корозійного і ерозійного руйнування розплавленим металом і шлаком, достатню термостійкість, відсутність хімічної взаємодії з реагентами, що вводяться в метал в процесі ковшової обробки, відсутність значної усадки при різних температурах експлуатації [25].

Знос вогнетривких виробів в сталерозливних ковші нерівномірний. Найбільший знос відзначається в стінових виробах над продувними пробками, в шлаковому поясі і в зоні ударної дії струменя металу при його зливі з конвертера. Знос стінових вогнетривких виробів, які перебувають в зоні металу і на периферійних ділянках днища, незначний [26].

Виходячи з умов експлуатації сталерозливних ковшів, на більшості металургійних заводів прийнята наступна схема футерування [28]. Шлаковий пояс виконується висотою 1,0...1,5 м з периклазовуглецевих виробів, що дозволяє агресивному шлаку взаємодіяти тільки з вогнетривкими виробами, що володіють підвищеним опором до корозійного зносу, незважаючи на мінливий рівень наливу металу від плавки до плавки [28]. У зоні шлакового пояса необхідно застосовувати вогнетриви основного складу на основі плавленого або спеченого периклазу. Для зниження змочування вогнетриву шлаком в його склад вводять графіт високої чистоти. Вміст домішок (SiO_2, Fe_2O_3, CaO) у вогнетривких виробах шлакового пояса повинен бути мінімальним.

Стійкість шлакового пояса за різними джерелами складає 52 плавки.

Об'єктом обговорення служать периклазовуглецеві вироби, виготовлені з використанням нанотехнологій, в яких низький вміст вуглецю досягнуто в результаті використання графіту з частинками нанорозміру [26]. В Японії представлені вогнетривкі вироби з вмістом вуглецю до 3% [29]. Даний тип виробів, з низьким вмістом вуглецю, застосовується для виплавки ультранизьковуглецевих сталей.

В [30] показано, що в зоні контакту футерування з шлаковим поясом (рис. 1.1, ряди 26…41) можна використовувати різні типи корундових бетонів. На виробничих випробуваннях стійкість дослідного футерування сталерозливного ковша складає 1500 плавок при серійної стійкості 400 плавок. Висока стійкість пов'язана з використанням в складі бетону шпінелі $MgO \cdot A1_2O_3$. При контакті зерна шпінелі з розплавленим шлаком, який містить іони Mg^{2+} або Fe^{3+}, може відбуватися впрова-

дження цих іонів в кристалічну решітку.

В результаті в'язкість шлаку навколо зерна шпінелі підвищується, а проникнення шлаку сповільнюється. Таким чином, корозійні реакції затримуються або усуваються внутрикристалітним впровадженням іонів.

В основному футеровку днища сталерозливного ковша виконують з неформованих вогнетривів на основі корундових. Однак, в роботі [26] показана ефективність спільного застосування формованих алюмоперіклазовуглецевих виробів і наливних мас в днище сталерозливного ковша. Алюмоперіклазовуглецеві вироби встановлюються в зону падіння струменя металу, інший простір робочої футеровки днища сталерозливного ковша заповнюється наливними бетонами.

Футеровку стін в зоні розплавленого металу за даними [27-28] виконують з неформованих вогнетривів на основі корундових бетонів.

Широке застосування неформованих вогнетривів в футеровці сталерозливного ковша обумовлено наступними причинами [29]:

- Швидкість і простота виготовлення;
- Відсутність швів;
- Технологічна гнучкість;
- Можливість відмовитися від гніздових блоків;
- Можливість локального ремонту нижньої частини стін, посиленої зони, шлакового пояса;
- Менша витрата вогнетривів;
- Менші витрати на переробку відходів.

За даними джерел [30-32] метод виконання наливних футеровок з використанням високоглиноземистих мас набув поширення в Західній Європі і Японії в останні два десятиліття.

Основною перевагою наливних футеровок прийнято вважати високу ступінь автоматизації процесу їх виготовлення з подальшою підготовкою ковшів до експлуатації, а також можливість періодичного ремонту футерування шляхом її підливи після кожних 40...70 плавок. Однак як показує практика, використання ковшів з наливними футеровки вимагає оснащення ділянки підготовки ковшів спеціальним обладнанням: змішувачами для підготовки неформованих вогнетривів з точним дозу-

ванням води; шаблоном для формування внутрішньої поверхні футеровки; віброустановкою для ущільнення бетону; сушильними агрегатами для тривалої (протягом декількох діб) термообробки футерування за заданим режимом. Крім того, на ділянці повинна підтримуватися плюсова температура в зимовий час.

Стійкість монолітної футеровки за різними джерелами [20, 23, 26] становить 550…760 плавок.

На деяких металургійних підприємствах робоче футерування сталерозливних ковшів виконують з формованих алюмоперіклазовуглецевих виробів [13 ... 19, 22].

В роботі [19] показано, що алюмоперіклазова шпінель зміцнює структуру вогнетривів і має високу стійкість до розплавів металу і шлаку, має більш низький коефіцієнт лінійного розширення в порівнянні з периклазом. Це надає виробам підвищену стійкість до термічних напруг, що виникають під час приймання металу, після охолодження футеровки сталерозливних ковшів для проведення ремонтних робіт і міжплавочних простоїв, знижує ймовірність зародження і поширення тріщин, а також сколювання фрагментів футерування.

Шпінель $MgO \cdot Al_2O_3$ є стійким вогнетривом. В суміші чистого оксиду магнію і оксиду алюмінію нижче 1900 °С не утворюється рідкої фази [15].

Недоліком футерування, виконаної з формованих виробів, є присутність швів в кладці. Споживачі формованих вогнетривів висувають жорсткі вимоги до точності виготовлення виробів (по товщині виробу ± 0,5 мм), обумовлені розміром шва, що залежить від відхилень по товщині вироблених виробів [31].

За даними джерел [16, 26] реакція між еквімолярними кількостями MgO і Al_2O_3 викликає значне розширення вогнетривких виробів. На практиці підбирається такий хімічний склад вогнетривких виробів, при якому розширення компенсується ущільненням швів в кладці, що запобігає проникненню рідкого металу.

У Китаї більшість сталерозливних ковшів футерують шпінельними алюмоперіклазовуглецевими виробами, а в шлаковому поясі - периклазовуглецевими виробами. При такій схемі футерування досягається стійкість 120…300 плавок [12, 22, 25].

Залежно від технологічних можливостей металургійних заводів в сталерозливних ковшах застосовують різні типи вогнетривких виробів, які представлені в табл. 1.7 [23].

Таблиця 1.7 - Якісні показники вогнетривких виробів сталерозливного ковша

показники	матеріал				
	MgO - C вироби	Al_2O_3 - MgO - C вироби	Al_2O_3 - MgO бетон	Al_2O_3 - MgO - C вироби	Al_2O_3 - MgO бетон
зона футерування	Шлаковий пояс	стіни	стіни	днище	днище
Масова частка, % Al_2O_3		72,8	92,0	70,1	92,0
MgO	78,0	14,6	6,0	9,4	5,0
SiC	-	1,8	-	6,0	-
C	16,5	4,8	-	8,0	-
Відкрита пористість, %	3,0	4,6	19,8	7,0	21,6
Удавана щільність, г/см^3	3,02	3,18	3,00	3,10	3,05
Міцність при стисканні при 20 °С, МПа	51,8	68,5	72,1	64,2	97,4
Постійна лінійна зміна, %	+0,3	+1,2	+1,21	+1,0	0,94

Форма і розміри вогнетривких виробів мають важливе значення для стійкості футеровки сталерозливного ковша. Вироби великої товщини складні у виготовленні і мають різнощільність по висоті. Їх центральна частина має меншу щільність, ніж периферійна, що негативно впливає на загальну стійкість футеровки [31].

Вироби формату mini-key мають однакову щільність по всьому перетину, тому їх знос відбувається рівномірно, що дозволяє збільшити стійкість футеровки сталерозливного ковша на 15…20% [14, 16, 31, 32].

Одним з важливих елементів, що забезпечують надійну експлуатацію сталерозливних ковшів, є система фіксації футерування в корпусі сталерозливного ковша. На більшості металургійних підприємств для фіксації футерування в ковшах зі зворотньою конусністю застосовується сталевий обмежувальний пояс на торці корпусу ковша [33].

В процесі експлуатації сталерозливних ковшів, обмежувальний пояс на АКП піддається термічній обробці з боку електричної дуги, впливу шлаку при видаленні його з ковша після розливання і механічного впливу з боку футерування, що призводить до деформації обмежувального пояса [33].

Для надійного кріплення футеровки в сталерозливному ковші, за даними [34], можна використовувати в останньому ряду футерування вогнетривкий виріб клинової форми, який надійно фіксує футеровку.

В процесі служби металевий кожух сталерозливного ковша деформується,

зменшується радіус ковша між цапфами і збільшується в поперечному напрямку, різниця діаметрів може досягати до 200 мм і більше. Завдання щодо зменшення деформації металевого кожуха в роботі [35] пропонують вирішити за допомогою наварки ребер жорсткості.

Основним напрямком підвищення експлуатаційних властивостей вогнетривких матеріалів, використовуваних в робочій зоні футерування сталерозливного ковша, є застосування виробів на основі магнезіальноглиноземистої шпінелі.

За даними робіт [35,36] спостерігається тенденція використання шпінелі $MgO \cdot Al_2O_3$ в високоглиноземистих бетонах.

Присутність шпінелі підвищує стійкість до корозійного впливу шлаку і опору розтріскування високоглиноземистого бетону. Підвищення стійкості до роз'їдання шлаком пов'язано з тим, що шпінель в складі високоглиноземистого бетону абсорбує небажані іони Mn^+, Fe^+ та інші іони з шлаку в вакансії решітки, також шпінель з більш високим вмістом $A1_2O_3$ більш ефективно абсорбує CaO з шлаку з утворенням високовогнетривного гібоніту ($CaO \cdot 6A1_2O_3$). В результаті, шлак у міжфазної поверхні збагачується діоксидом кремнію, стає більш в'язким, втрачає проникаючу здатність, що сприяє значному зростанню шлакостійкісті високоглиноземистого бетону на шпінельній основі [27]. В результаті застосування шпінельномагнезіальних бетонів стійкість футеровки підвищилася в 4 .. .5 разів у порівнянні зі звичайними корундовими бетонами [36].

В роботі [37] показано, що корозійна стійкість корундових бетонів підвищується з ростом вмісту оксиду магнію, незалежно від фазової форми $A1_2O_3$.

Авторами [38] були проведені дослідження по застосуванню в шлаковому поясі сталерозливного ковша периклазовуглецевих виробів з низьким вмістом вуглецю, які показали, що введення в структуру матриці периклазовуглецевих вогнетривів газової сажі і гібридно-графітованої сажі з наночастинками дозволив значно підвищити термостійкість. Дія гібридно-графітованої сажі проявилося також у підвищенні стійкості до окислення в високотемпературному діапазоні [39].

Знос формованих вогнетривких виробів сталерозливного ковша залежить від матеріального і зернового складу [40…42], які обумовлюють швидкість його просочення шлаком і металом. Коли швидкість розчинення вогнетриву шлаком мала,

шлак по порах проникає в вогнетрив і реагує з ним. Результатом взаємодії може бути збільшення вмісту рідкої фази в об'ємі вогнетриву і утворення нових фаз: твердих розчинів або хімічних сполук. Просочення вогнетривів зовнішніми розплавами корродієнтів сприяє утворенню зон зі специфічною структурою і властивостями. На межах зон можуть виникати напруги, що призводять до сколювання зон. При цьому руйнування вогнетриву шляхом сколювання відбувається при температурах значно нижчих, ніж вогнетривкість виробу [42].

Речовий і зерновий склад, способи підготовки мас і технологія виробництва вогнетривких виробів формують мікроструктуру виробів, однією з характеристик якої є розміри пір і їх розподіл за розмірами. У роботах [41,42] було показано, що хороші показники експлуатаційних властивостей вогнетривкої вироби досягаються при рівномірному розподілі пір розміром не більше 45 мкм.

На стійкість футеровки великий вплив мають якісні показники вогнетривких виробів, які залежать від технології їх виготовлення, в т. ч. вмісту і якості вуглецю; якості периклазу, включаючи розмір кристалів; вмісту оксиду магнію та інших фаз; якості сполучного; а також фізико-хімічних властивостей вогнетривких виробів [43,44].

Типовий склад досліджуваних формованих вогнетривких виробів представлений в табл. 1.8 [45,46].

Речовий склад мінеральної частини вогнетривких виробів визначали за допомогою рентгенівської спектроскопії.

Таблиця 1.8 - Якісні показники вогнетривких виробів сталерозливного ковша

зона застосування матеріалу	межа міцності при стисканні, МПа		Густина, г/см^3	удавана пористість, %	MgO, %		Al_2O_3, %		C, %		CaO, %	SiO_2, %
Шлаковий пояс	ОСП		> 2,5	<4,0	70.	80	-		10.	15	-	-
Стіна, днище	35.	50	> 3,0	<10	20.	30	50.	.60	5.	10	-	-
бойове посилення	40.	55	> 3,0	<10	8.	.15	70.	80	5.	10	<1,5	<1,5

Фазовий склад представлений корундом (α-Al_2O_3), які мають ромбоедричні грати; периклазом (MgO) і алюмосиликатами різного складу, що наближаються до мулліту ($2SiO_2$-$3Al_2O_3$). Невисокий вміст периклазу (до 15 мас.%), компенсується

його високою якістю. Використовується чистий периклаз. Використовуваний α-$A1_2O_3$ має менший розмір кристалів або високу кількість домішок. Швидше за все, при виготовленні вогнетривких виробів використаний спечений боксит або суміш бокситу і корунду [44,45].

Зерновий склад виробів наступний [58, 59]: понад 3 мм (10 .. .15%); більше 2 мм відсутні; більше 1 мм (35…40%); менше 1 мм (45…55%).

Петрографічні дослідження вогнетривких виробів показали, що мінеральна частина зразка складається з плавленого нормального корунду з вмістом $A1_2O_3$ не менше 95 мас. % і високоякісного спеченого периклазу з розмірами кристала 250 ... 500 мкм з вмістом MgO не менше 97%.

В якості різних домішок в складі вогнетривких виробів присутні монтичеліт та двухкальцієвий силікат, загальною кількістю не більше 2%.

Використовуваний вуглець представлений природним лускатим дисперсним (40. 120 мкм) вуглецем в кількості 7…9 мас. %.

Вогнетривкі вироби виготовлені на синтетичному рідкому органічному сполучному (3…4 мас.%) з високим коксовим залишком.

Як антиоксидант у виробах використана суміш металевих порошків алюмінію (2…3% розміром 10…50 мкм) і кремнію (1…2% розміром менше 30 мкм).

Вироби мають структуру, характерну при виготовленні на гідравлічному пресі при високому тиску пресування на рідкому сполучному, або з попереднім підігрівом всіх вихідних компонентів, т. як зв'язка щільно оточує зерна периклазу, в деяких випадках, заповнюючи пори в окремих зернах.

Підсумкові результати досліджень представлені в табл. 1.9.

Таблиця 1.9 - Речовий склад стінових вогнетривких виробів

Назва	Формула	Наявність в зразку, мас. %
периклаз	MgO	20,0…24,0
Монтичеліт	$CaO{\cdot}MgO{\cdot}SiO_2$	0,5
Двухкальцієвий силікат	$2CaO{\cdot}SiO_2$	0,2
Корунд	Al_2O_3	51,0…57,0
Тіаліт	TiO_2	2,0
вуглець	C	8,0
алюміній	Al	3,0 (10…50 мкм)
Кремній або силумін	Si	1,0…2,0
органічна речовина	C_mH_n і ін.	3,5…4,5

Таким чином, визначені фізико-хімічні властивості виробів, фазовий речовинний і зерновий склади, мікроструктура і пориста структура виробів, а також оцінена стійкість виробів сталерозливних ковшів в умовах служби кисневоконвертерного цеху.

Основний знос вогнетривких виробів (близько 2/3) здійснюється хімічним шляхом - шляхом розчинення шлаком [44].

Для підвищення стійкості футеровки використовують різні магнійвмісні шлакоутворюючі добавки [47].

Шлаки для зменшення хімічного впливу на футеровку повинні знаходитися в області насичення MgO [48]. Це підтверджується практичними розрахунками і теоретичною передумовою відомого положення хімічної термодинаміки про відсутність взаємодії на поверхні розділу двох фаз в разі рівності концентрацій диффундуючого компонента і концентрації насичення.

В процесі зливу металу шлак утворює на поверхні робочого шару футеровки стійке гарнісажне покриття.

Гарнісажне покриття, що формується на робочому шарі футеровки, вирішує кілька завдань: частково блокує доступ кисню повітря до вогнетривів, сповільнюючи процес окислення вуглецю в період переміщення ковша без металу і під час його перебування на стенді розігріву між плавками; уповільнює процес охолодження футеровки і приймає вплив підвищення температури в момент заповнення ковша металом.

Оптимальний вміст MgO в шлаку, отримане під час промислових випробувань, відповідає значенням 8…10%.

Однак для зменшення хімічного впливу на футеровку шлак повинен знаходитися в області насичення MgO. Насичення залежить від вмісту основних компонентів шлаку CaO, SiO_2, Al_2O_3. Тому отримані значення насичення MgO в шлаку при його вмісті 8…10% не є надійними.

1.6 Особливості футерування ковшів установки «піч-ківш»

Ковшову металургію - поєднання розливання сталі з її обробкою в ковші - посилено розвивають основні металургійні фірми США («National Steel Corporation»,

«Inlana Steel Corporation»), Німеччини («Klockner Stahl GmbH», «Krupp Industrietechnik GmbH»), Франції («Usinor»,«Sollac»), Японії («Nippon Steel KK»,« Kurosaki ») та ін. [473].

Способи ковшової металургії включають в себе продування газами і вакуумування для ефективного проходження процесів десульфурації, зневуглецювання, дефосфорації і розкислення сталі.

Процеси ковшової металургії умовно поділяють на чотири групи, в залежності від яких вибирають тип агрегату і види вогнетривів:

· TN-процес: вдування газів і порошків для десульфурації, легування і інших способів доведення низьколегованих сталей;

· VAD-процес: вакуумна дегазація з продувкою аргоном конструкційних і інструментальних марок сталі;

· VOD-процес: вакуумно-кисневе зневуглецювання високолегованих, нержавіючих і жароміцних марок сталі;

· АКОС-процес: вакуумна дегазація, зневуглецювання і легування низьковуглецевих марок сталі при їх електродуговому і індукційному перемішуванні в установках «піч-ківш».

Необхідно відзначити, що питома витрата вогнетривів для ковшів позапічної обробки сталі (ковші з додатковим нагріванням - ACEA, VAD, VOD і ін.) більш ніж в 2 рази перевищує витрату вогнетривів для розливних ковшів (яка становить близько 3,2 кг/т сталі), що пов'язано з дуже жорсткими умовами служби такого футерування (висока температура, тривале перебування металу в ковші, вакуум, синтетичні основні шлаки, висока швидкість руху потоків сталі і т.д.) [49].

Тому для кожної групи процесів використовують свої ковшеві вогнетриви:

1) TN-процес. Ковші набивають вапняковопереклазовими масами, які сприяють десульфурації металу: залишкова концентрація сірки після десульфурації в 2 рази нижче, ніж на шамотної кладці.

2) VAД-процес. Шлаковий пояс ковшів футерують периклазовуглецевими виробами (70-90% MgO і 10-30% С) або безопаленими високоглиноземними виробами на фосфатній зв'язці, а стіни і дно - корундографітовими або вапняковопереклазовими виробами. Стійкість футеровок таких ковшів склала 40-82 плавки;

3) VOД-процес. Застосовують периклазовуглецеві (10% С) і периклазовапняковувуглецеві вироби, що дозволило підвищити стійкість футеровок ковшів в 2-3 рази в порівнянні з периклазохромітовими виробами. Стійкість цих виробів в 100- і 220-т ковшах склала 40-70 плавок при питомій витраті 2,5-4 кг/т сталі;

4) АКОС-процес (ASEA-SKF, Finkl, LF, Stein Heyrtey). В установках «піч-ківш» застосовують високоглиноземисті вогнетриви, їх стійкість зазвичай становить 10-15 циклів обробки сталі. Раніше в шлаковому поясі вакуумних ковшів використовували обпалені периклазохромітові вироби з прямим зв'язком, які в процесі експлуатації сколювалися і мали низьку стійкість.

Для установок «піч-ківш» найбільш широко застосовують вогнетриви системи MgO-CaO-C.

При цьому введення графіту в вапняковопериклазові і периклазовапнякові вироби істотно підвищує їх зносостійкість в порівнянні з цими ж виробами без графіту.

Таким чином, в установках «піч-ківш» найбільш високу стійкість мають периклазовуглецеві, периклазовапняковувуглецеві, вапняковопериклазовуглецеві і периклазошпінельні вироби.

Для подальшого підвищення зносостійкості футеровок ковшів з периклазовуглецевих, периклазовапняковувуглецевих і вапняковопе- риклазовуглецевих і периклазошпінельних виробів здійснюють наступні заходи:

— виконують спіральну кладку з уніфікованих виробів, що дозволяє скоротити їх витрата на 14%;

— виконують кладку ковшів на високоглиноземистих мертелях (не менше 72% Al_2O_3);

— розігрівають футерування до 1000-1200 °С за 8-16 год.;

— обов'язково застосовують теплоізольовані кришки;

— застосовують двошарові футерування з засипанням або набиванням проміжного шару між робочим і арматурним шарами порошком або масами;

— використовують смолоскипне торкретування ковшів в процесі служби.

В результаті застосування зазначених заходів стійкість футеровок підвищується не менше ніж в 2 рази.

Сучасна технологія виплавки сталі є двухстадійною, що проводиться в двох робочих обсягах: основне рафінування в сталеплавильному агрегаті і додаткове в сталерозливному ковші [50, 51].

До додаткового рафінування прийнято відносити зневуглецювання, дегазацію, десульфурацію і видалення неметалевих включень (НВ) [50].

Зневуглецювання металу в ковші досягається за рахунок його обробки вакуумом і нейтральним газом. Дегазація металу в ковші - це, в основному, видалення водню і азоту. Для підвищення ефективності протікання фізико-хімічних процесів, необхідно активне перемішування взаємодіючих фаз, яке досягається за рахунок продувки металу нейтральним газом [50…53].

Спроби застосування електромагнітного перемішування металу в сталерозливних ковшах не мали успіху через необхідність використання дорогого і складного устаткування. До того ж, електромагнітне перемішування менш ефективно в порівнянні з продувкою нейтральним газом [49].

Для вирішення поставлених завдань перед ковшовою обробкою металу застосовуються такі агрегати: сталерозливні ковші, АКП і циркуляційні вакууматори.

Сталерозливний ківш відноситься до основного встаткування металургійного і застосовується для прийому, транспортування, обробки сталі в ковші і розливання розплавленого металу [54].

Існують кілька типів вакуумної обробки: порційне вакуумування, циркуляційний вакуумування, вакуумування в струмені металу і вакуумування в ковші.

Виходячи з поставлених завдань і умов роботи агрегатів, застосовують будь-який з перерахованих вище способів вакуумування металу.

Надійність експлуатації металургійних агрегатів - неодмінна умова нормальної роботи сталеплавильних цехів - в більшій мірі залежить від стійкості вогнетривкої футеровки.

У роботах [55-57] показано, що стійкість футеровки конвертерів може досягати 30 тис. плавок. Такі високі стійкості забезпечуються високою якістю застосовуваних вогнетривких матеріалів, стабільністю технологічного процесу і, як наслідок, незначним перепадом температури експлуатації (200…300 °С), комплексним доглядом за футеровкою і створенням надійного шлакового гарнісажу, який забезпечує

захист вогнетривких виробів [59].

На відміну від конвертерів, футеровка сталерозливних ковшів і циркуляційних вакууматорів знаходиться в більш жорстких умовах експлуатації.

У конвертерному цеху прийнята наступна схема футерування сталерозливного ковша (рис. 1.8) ємністю 160 т.

Футеровка виконана за наступною схемою:

· шлаковий пояс (периклазовуглецеві вироби з додаванням антиокислювача);

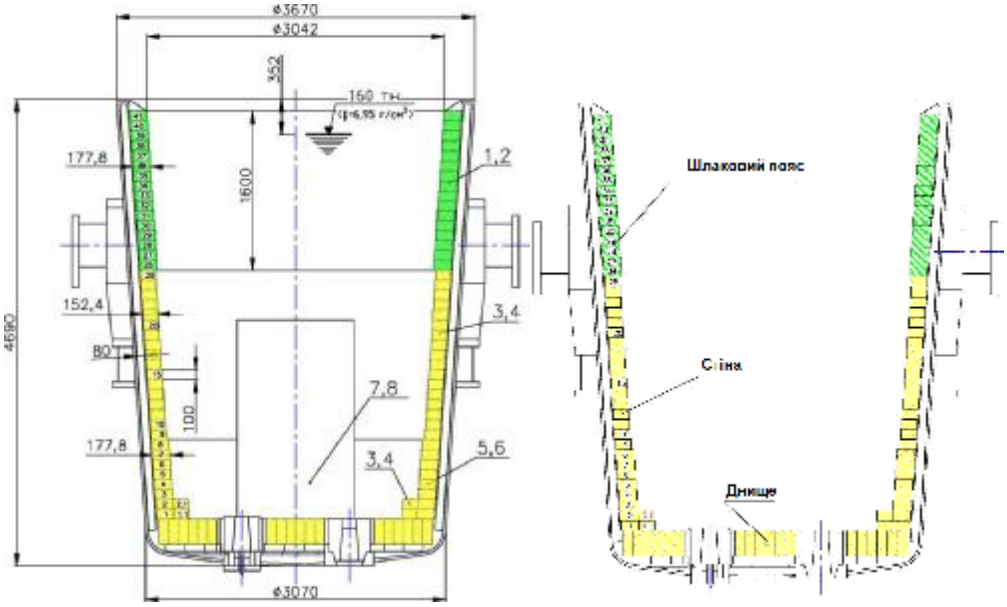
· стіни (шпінельновуглецеві вироби, виготовлені з якісного периклазу і алюмовмісної сировини із застосуванням спікливих добавок і лускатого графіту);

· посилення стін (бойна зона - шпінельновуглецеві вироби, виготовлені з якісного периклазу і алюмовмісної сировини, із застосуванням спікливих добавок і лускатого графіту);

· днище (шпінельновуглецеві вироби, виготовлені з якісного периклазу і алюмовмісної сировини, із застосуванням спікливих добавок і лускатого графіту);

· посилення днища (бойні зони - шпінельновуглецеві вироби, виготовлені з якісного периклазу і алюмовмісної сировини, із застосуванням спікливих добавок і лускатого графіту);

· захисне кільце (шпінельновуглецеві вироби, виготовлені з якісного периклазу і алюмовмісних сировини, із застосуванням спікливих добавок і лускатого графіту.



1, 2 - периклазовуглецеві вироби; 3 ... 8 - алюмоперикласовуглецеві вироби

Рисунок 1.8 – Типова схема футерування сталерозливного ковша

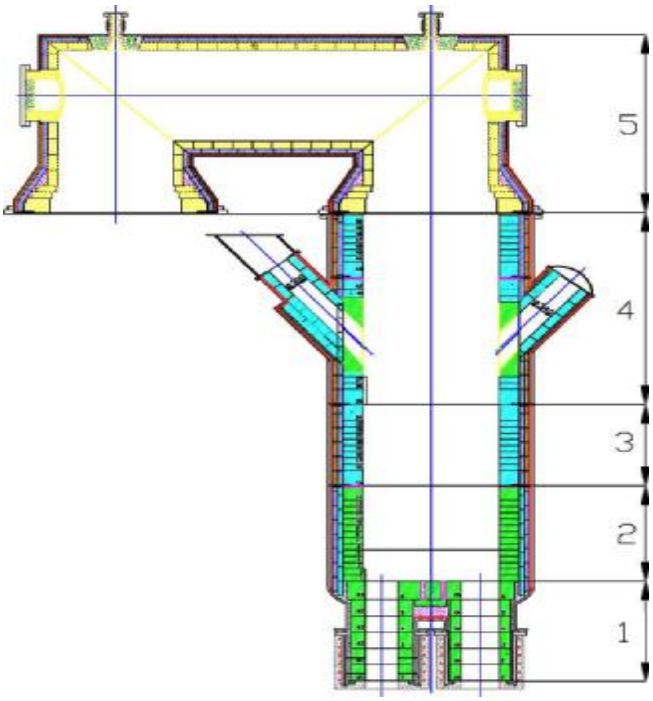
Середня стійкість футеровки сталерозливних ковшів складає 50 ... 80 плавок в залежності від постачальника вогнетривких виробів [59].

У конвертерному цеху прийнята наступна схема футерування циркуляційного вакууматора (рис. 1.9).

Стійкість прийнятої схеми становить 100...120 плавок по патрубкам (зона 1), 200...240 плавок по нижній частині (зона 2), 800...1000 плавок по середній частині (зона 3) 2500...3000 плавок по верхній частині (зона 4) і більше 3000 плавок по газоходу (зона 5).

Вогнетривка кладка вакууматора складається з трьох шарів: перший - теплоізоляційний; другий - арматурний або контрольний; третій - робоча футерівка. Патрубки мають внутрішню і зовнішню футеровку.

При кладці теплоізоляційного шару використовуються силікаткальцієві плити з низькою теплопровідністю. Арматурна футерівка нижньою частини вакуум-камери складається з двох шарів. Перший (зовнішній) виконується з шамотних виробів, другий (внутрішній) - з периклазохромітових вогнетривів. Арматурне футерування середнього, верхнього та району введення пальника також складається з двох шарів і виконується шамотними виробами як імпортного, так і вітчизняного виробництва.



1 - зона патрубків; 2 - зона нижньої частини стін; 3 - середня частина вакуум-камери; 4 - верхня частина вакуум-камери; 5 - газоохолоджувач

Рисунок 1.9 – Схема футерування вакуум-камери в конвертерному цеху

Робоче футерування стін виконується з імпортних периклазохромітових вогнетривів, в якості основного компонента в яких, використовуються плавлені вогнетривкі матеріали або спечені при температурах близько 1800 °С.

Зовнішню футеровку знімних патрубків виконують з корундового або корундопериклазошпінелідного наливного бетону. Внутрішню футеровку виконують з вогнетривких кілець, склеєних з периклазохромітовими виробами. У внутрішній футеровці впускного патрубка є 12 отворів для введення трубок подачі аргону, які розподілені в двох кільцях по шість отворів в кожному кільці. Зазор між внутрішньою футеровкою і металоконструкцією заповнюється вогнетривкими масами корундового складу.

В даний час стоїть завдання підвищення стійкості вогнетривких виробів на агрегатах ковшової обробки - вакууматора і сталерозливних ковшів.

1.7 Типи вогнетривких виробів, умови їх експлуатації на вакууматорі і способи підвищення стійкості футеровки вакуум-камери

Одним із способів вакуумної обробки є циркуляційний вакуумування. Даний спосіб був заснований фірмою «Івгавш» (Ханау, ФРН). Принцип був реалізований на заводі фірми «RuhrStahl AG» і отримав назву як процес RH, або процес циркуляційного вакуумування [60].

У вакуумній камері установки RH є дві футеровані вогнетривкими матеріалами труби (патрубки), по одній з яких метал затікає в вакуумну камеру, а за іншою випливає. Коли з вакуум-камери починають викачувати газ, під дією атмосферного тиску розплавлена сталь піднімається в вакуумну камеру на барометричну висоту 1,48 м, одночасно в один з патрубків (впускний) подається газ, бульбашки якого, розпушуючи метал, знижують його щільність в патрубку, викликаючи тим самим всмоктування додаткової кількості металу, підвищуючи його рівень в вакуум-камері. Після досягнення певного рівня, метал витікає через другий, зливний патрубок. Схема роботи вакуум-камери представлена на рис. 1.10.

Футеровка вакуум-камери зношується нерівномірно. Стійкість футеровки газоходу складає більше 3000 плавок, верхній частині вакуум-камери понад 1500 плавок, середньої частини 800…1500 плавок, нижньої частини 50…300 плавок [61].

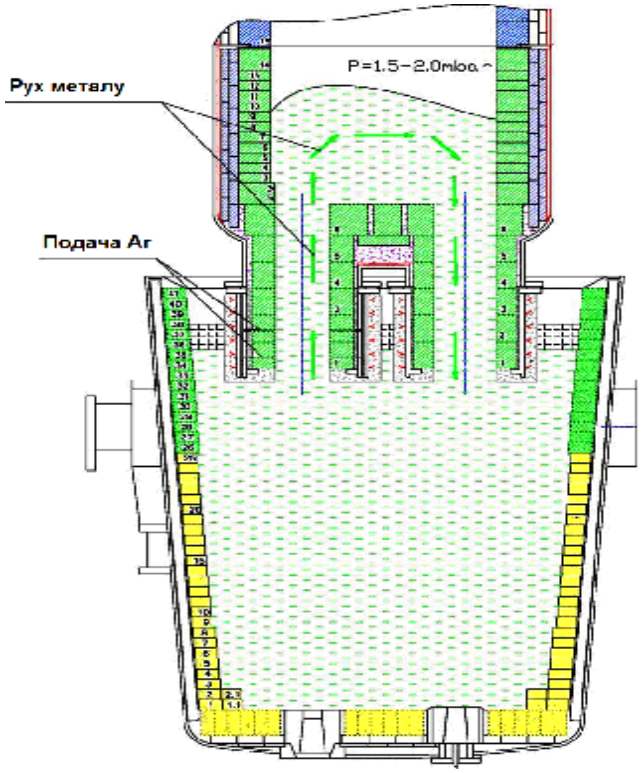


Рисунок 1.10 – Схема роботи вакуум-камери циркуляційного вакууматора

У найбільш жорстких умовах роботи знаходяться заглибні патрубки вакуум-камери, які піддаються корозійного і ерозійного впливу розплаву шлаку і металу.

При виборі вогнетривів для циркуляційних вакууматорів, необхідно враховувати не тільки структуру вогнетривів і їх взаємодія з коррodієнтами як у випадку з футеровкою сталерозливного ковша, а й стійкість до впливу низьких парціальних тисків, які виникають в процесі обробки металу вакуумом.

Виходячи з умов експлуатації в футеровці вакуум-камери використовують такі вогнетриви: внутрішня футеровка патрубків і вакуум камери виконана з периклазохромітових вогнетривів. Зовнішне футерування патрубків виконується з корундових бетонів.

У більшості випадків в вакуум-камері, також як і в сталерозливних ковшах, використовують диференційовану футеровку. Наприклад, за даними [60,61] у внутрішній, робочій футеровці патрубків, де присутні найбільш жорсткі умови експлуатації, доцільно використовувати вогнетриви високої якості з прямим зв'язком між периклазом і хромітом. У нижній частині стін можна використовувати менш якісний обпалений периклазохромітовий вогнетрив.

Найбільш дорогі вогнетривкі вироби використовуються в нижній частині вакуум-камери, тому доцільно підвищувати стійкість футеровки в даній зоні.

В даному напрямку проводиться багато досліджень, спрямованих на вивчення і підбір раціонального складу вогнетривів і вдосконалення конструкції футеровки.

Незважаючи на те, що традиційними вогнетривами для робочої футеровки вакуум-камери вважаються периклазохромітові вироби, постійно ведуться пошуки альтернативних вогнетривів. Наприклад, застосування в робочій зоні футерування периклазовуглецевих і периклазоітрієвих виробів [62].

Однак периклазовуглецеві вироби не можуть конкурувати з периклазохромітовими виробами з прямим зв'язком, тому що безпосереднє вигоряння вуглецю під час попереднього нагрівання веде до зростання зневуглецьованого шару, який легко просочується шлаком при контакті з ним. Також підвищеному зносу сприяє видалення вуглецевої зв'язки. Оскільки захисний шар на межі периклазових зерен відсутня, шлак вільно просочується в зневуглецьовану зону через пори або уздовж внутризеренних включень і руйнує кристали периклазу. Інтенсивне перемішування металу в вакуум-камері посилює ефект вимивання, який прискорює гарячу ерозію.

За даними робіт [62,63] підвищений знос периклазовуглецевих виробів в футеровці вакуум-камери також пов'язаний з окисленням вуглецю і відшаруванням зневуглецьованого шару.

В Японії проводилися випробування вогнетривких виробів на основі оксиду магнію і оксиду ітрію ($MgO - Y_2O_3$). Стійкість $MgO - Y_2O_3$ виробів відповідала стійкості $MgO-Cr_2O_3$. Дослідження мінерального і петрографічного складу вогнетриву показали, що глибина просочення виробе шлаком незначна і становить 50 мм. Однак, недоліком $MgO - Y_2O_3$ виробів було те, що в вогнетривах після служби були виявлені тріщини, утворення яких пов'язують з термічним розтріскуванням.

Периклазохромітові вироби умовно можна розділити на дві групи, відповідно до глибини реакції між периклазом і хромовою рудою:

- З прямим зв'язком між периклазом і хромітом;
- На основі попередньої хімічної взаємодії сировини з плавлених зерен.

В роботі [63] зіставлялася структура периклазохромітових виробів з їх питомим зносом. Показано, що максимальна стійкість відзначається у виробів, в яких присутній високий вміст хромшпінеліду. Мінімальна стійкість відзначається у виробів, в структурі яких присутні силікатні плівки навколо кристалів периклазу.

Авторами [64] проведено порівняльне дослідження пористої структури вогнетривів і їх питомої просочення шлаком. Зіставлення структури всіх досліджених матеріалів виявляє тенденцію до зменшення глибини просочення з ростом сумарного обсягу тонких пір. Однак, істотно не саме збільшення обсягу тонких пір, а то, що воно відбувається одночасно зі збільшенням вмісту пір дуже дрібних розмірів, радіусом менше 1 мкм. У порах меншого радіуса в'язкість інфільтрату швидше досягає величини, при якій його рух припиняється. Наведені результати порометричного аналізу не дають кількісного уявлення про ступінь зміни перетину пір і їх дроблення на більш дрібні пори. У дослідженні показано загальна тенденція, що перевага виробів по стійкості досягається за рахунок збільшення кількості пір менше 1 мкм.

В роботі [65] показано, що механізм зносу периклазохромітових вогнетривів в патрубку вакууматора виглядає наступним чином.

В результаті взаємодії компонентів вогнетриву з найбільш активними залізистими складовими шлаку, розкислення шлаку і зниження його основності на робочій поверхні футеровки утворюється силікатний розплав монтічелітно-мервінітового складу, здатний проникати вглиб виробів (чому сприяє вакуум), який розчиняє дрібні зерна периклазу, хромшпинеліду, що призводить до сколювання вогнетриву.

Аналіз даних, проведений в роботі [65], показує, що введення в шихту титанвмісної добавки знижує відкриту пористість спеченого хромконцентрату і підвищує механічну міцність зразків. У роботі дані рекомендації по введенню титанвмісної добавки при виробництві периклазошпінелідних виробів для гарантованого спікання хромконцентрату з низькою пористістю.

У працях [64] говориться про те, що вироби з прямим зв'язком між периклазом і хромітом мають велику стійкість, ніж вироби, в яких застосовується плавлений або обпалений при високій температурі периклаз, а в роботі [63] показано, що заміна плавленого периклазохроміту на спечений, в шихті магнезіальношпінелідних виробів не позначається на рівні їх технічних властивостей.

З представлених літературних даних видно, що проведені дослідження периклазохромітових вогнетривів не містять детального вивчення впливу структури вогнетривких виробів на тривалість їх експлуатації. Тому доцільно провести петрографічне дослідження периклазохромітових виробів, зіставляючи структуру вогне-

тривких виробів з питомою зносом, з підбором оптимального складу вогнетривів, що застосовуються в вакуум-камері.

За даними [62] 2/3 усієї кількості вогнетривів руйнується хімічним шляхом - корозією при їх взаємодії зі шлаками, розплавами металів, пилом, газами та іншими корродієнтами.

Вивчення впливу шлаку на стійкість периклазохромітових вогнетривів проводилися в лабораторних умовах з використанням промислових і синтетичних шлаків, периклазохромітових виробів різних постачальників.

Статистична обробка результатів лабораторних плавок показала, що вплив хімічного складу шлаку на стійкість вогнетривів неоднозначна. Для зменшення розтріскування вогнетривів необхідно вводити в шлак стабілізатори, якими можуть бути оксиди заліза, бору і алюмінію. Відзначено доцільність підвищення вмісту Al_2O_3 в шлаку [61], але не визначені кількісні значення. Також не виявлено конкретного впливу зносу футеровки при різних вмістах і співвідношеннях інших провідних оксидів. Отримані відомості мають загальний характер, і використовувати їх для практичних цілей не представляється можливим.

Таким чином, очевидно, що в сучасній літературі недостатньо розглянуті питання щодо умов експлуатації вогнетривких матеріалів.

В даній роботі представлений комплекс заходів, спрямований на підвищення ресурсу футерування сталеплавильних агрегатів, на основі поліпшення дизайну футерування, підбору раціональних структур і властивостей вогнетривких виробів, підбору раціонального складу рафінувальних шлаків.

Основними завданнями досліджень були:

- Визначення основних факторів, що впливають на знос футеровки;
- Уточнення фактичних температурних умов експлуатації вогнетривів;
- Розробка дизайну футерування, спрямованого на підвищення стійкості та надійності роботи агрегатів;
- Петрографічні дослідження периклазових виробів, оцінка впливу структури вогнетривів на їх питомий знос, підбір раціональних параметрів вогнетривких виробів;
- Дослідження впливу складу шлаку на знос футеровки;
- Розробка пропозицій щодо складу та промислові випробування нових шлакоутворюючих матеріалів.

2 МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ВОГНЕТРИВКИХ МАТЕРІАЛІВ, ЩО ХАРАКТЕРИЗУЮТЬ ЇХ РОБОТУ ПРИ ВИСОКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

Умови роботи вогнетривів в різних теплових агрегатах надзвичайно складні. Як відомо, всі фізико-хімічні процеси з підвищенням температури різко прискорюються. Це викликає цілий ряд змін і в середині вогнетривкого матеріалу, так і в результаті взаємодії його з атмосферою печі.

Все це говорить про те, що робочі властивості вогнетривкого матеріалу слід оцінювати всебічно, з огляду на різні фізичні показники, а вибір вогнетриву пов'язувати з умовами роботи теплового агрегату.

Всі властивості вогнетривких матеріалів, що впливають на їх стійкість в умовах високих температур теплових агрегатів, можна розбити на кілька груп.

Пірокластичні властивості - це показники вогнетривкості, тобто температури повного розм'якшення вогнетриву; деформація вогнетривів під навантаженням при високих температурах при стисненні, крученні та інших видах навантаження.

Термічні властивості обумовлюють опір вогнетриву розтріскуванню при температурних напруженнях. Термічна стійкість є показником, що залежать від структури і теплофізичних властивостей вогнетриву (теплопровідності, температуропровідності, коефіцієнта теплового розширення та інші).

Сталість обсягу це відсутність мимовільних, без застосування зовнішньої сили, змін обсягу і лінійних розмірів при високих температурах - усадки і розширення.

Шлакостійкість - опір руйнуванню від впливу на вогнетрив пічної атмосфери, що включає частки золи, металу та інших реагентів.

Механічна міцність вогнетриву - показник, що характеризує стійкість проти ряду механічних впливів (удару шматків шихти, стирання зваженими в газовому потоці частинками золи або шлаків і т.д.).

2.1 Методика визначення вогнетривкості

Якщо вогнетривкий матеріал знаходиться в ідеальних умовах, тобто, крім температури, не відчуває впливу механічного навантаження, шлаків, газового середовища та інші, то межею роботи вогнетриву буде температура плавлення.

Однак поняття певної температури плавлення може бути застосовано тільки до хімічно чистих однокомпонентних систем. Вогнетриви ж в більшості випадків є гетерогенними системами за своїм основним складом або через присутність домішок. Тому для вогнетривких матеріалів поняття «температура плавлення» до певної міри замінюється показником «вогнетривкість».

Під вогнетривкістю матеріалу мають умовну температуру, при якій зразок стандартних розмірів, деформуючись, торкається верхівкою підставки. Згідно ГОСТ 4069-48 зразок має форму усіченої тригранної піраміди, розміри якої представлені на рисунку 2.1. Зразок нагрівають в електричній криптоловій печі - дуже поширеним налаштуванням в лабораторіях вогнетривких матеріалів [66]. Нагрівальним елементом в криптолових печах служить електродна крихта - криптол, засипана між двома концентричними циліндрами з вогнетривкої (корундової або магнезитової) маси (рисунок 2.2).

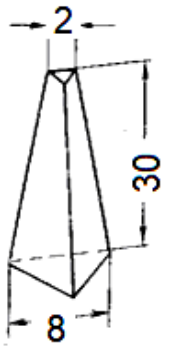
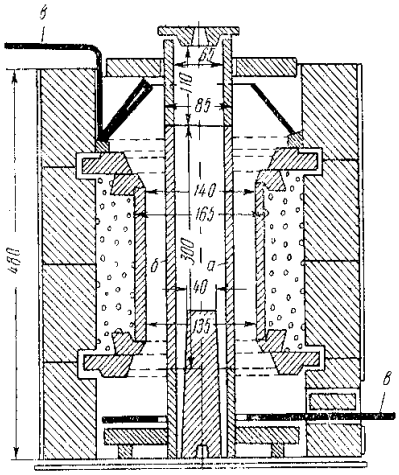


Рисунок 2.1 - Зразок для визначення вогнетривкості

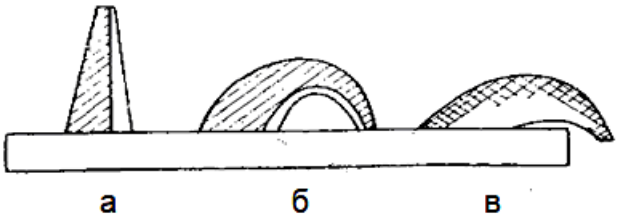


а - внутрішня жарова труба; б - криптолоємність; в - сталеві електроди

Рисунок 2.2 - Криптолова електрична піч для високих температур

Температуру вогнетривкості фіксують, коли вершина конуса, згинаючись, то-

ркнеться підставки (рисунок 2.3, б).

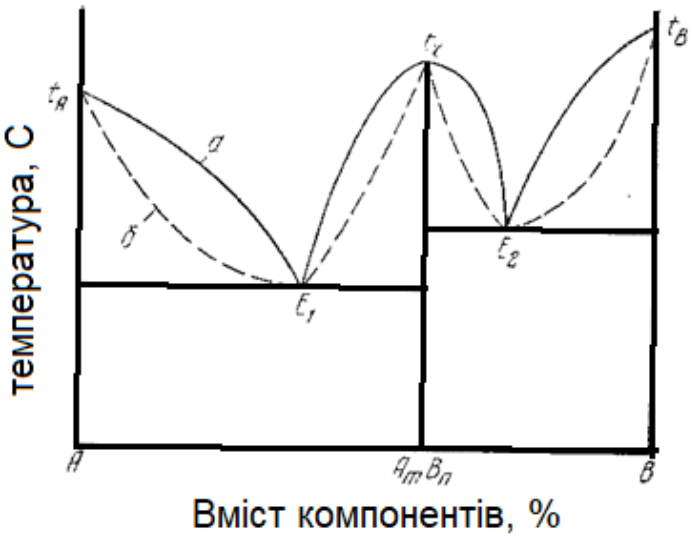


а - нижче температури вогнетривкості; б - температура вогнетривкості;
в - вище температури вогнетривкості

Рисунок 2.3 - Різні стадії деформації конусів при визначенні вогнетривкості

Як вже було сказано, стадія розм'якшення, що фіксується як вогнетривкість, відповідає піропластичному стану матеріалу. Ця точка характеризується температурою нижче кривої ліквідусу, яка визначається по діаграмах рівноваги, і збігається з нею тільки для складів, відповідних чистим хімічних сполук або евтектиці, тобто там, де відбувається безпосередній перехід матеріалу з твердого в рідкий стан (рис. 2.4).

Розміри зразка і режим підвищення температури умовні. Їх приймають з міркувань зручності проведення випробувань. Однак відхилення від умов стандарту призводить до спотворення результатів і розбіжності між паралельними випробуваннями.



а - лінія ліквідусу; б - лінія вогнетривкості

Рисунок 2.4 – Зв'язок між діаграмою рівноваги і діаграмою вогнетривкості
в двохкомпонентній системі

При температурі вогнетривкості в матеріалі спостерігається певне співвідно-

шення між твердою і рідкою фазами, яке відповідає такій величині в'язкості в пластичному стані, при якій вага конуса викликає мимовільну деформацію зразка. Сама величина в'язкості в залежності від структури і властивостей рідкої та кристалічної фаз коливається в межах $2 \cdot 10^2$ - $1 \cdot 10^8$ Н·сек/м^2.

Цілком природно, що при безперервному підвищенні температури з кінцевою швидкістю в масі зразка не настає рівноваги. Ступінь відхилення від рівноважного стану при даній температурі залежить від швидкості підйому температури.

Деформація зразка також протікає в часі і кінцева її стадія може настати при відносно нижчій або більш високій температурі в залежності від швидкості підвищення температури. Тому найточніші вимірювання температури в момент деформації не дадуть правильних результатів, якщо порушений режим.

Для зменшення помилки, що виникає при відступі від режиму, застосовують так звані піроскопа або конуси Зегера, які представляють собою зразки тієї ж форми і розмірів, передбачені ДСТУ, виготовлені зі стандартної маси, вогнетривкість якої визначена заздалегідь в умовах високої точності.

Піроскопи, які відповідають різним температурам вогнетривкості встановлюють в печі поруч з випробуваним конусом на вогнетривкій підставці. При таких випробуваннях будь-який відступ від режиму може бути вловлено за розбіжностями між температурою і падінням піроскопа певних номерів.

Для отримання точних результатів випробування повторюють кілька разів, підбираючи піроскопи так, щоб один з них впав при температурі нижче, а інший вище, ніж випробуваний.

Вогнетривкість показує ту граничну температуру, при якій теоретично вогнетрив може працювати в ідеальних умовах при відсутності впливу механічного навантаження, середовища та інших факторів, що викликають додаткові руйнування. Практично при температурі вогнетривкості матеріал не може працювати навіть в лабораторних умовах. У виробничих агрегатах вогнетриви зазвичай застосовують при температурі на 100-600 °С нижче за показник їх вогнетривкості, в залежності від експлуатаційних умов і властивостей.

Однак вогнетривкість є важливою характеристикою матеріалів, особливо сировини, що вказує на граничну температуру, до якої можуть наближатися інші ро-

бочі властивості вогнетриву.

2.2 Деформація вогнетривів під навантаженням при високій температурі

При визначенні вогнетривкості стандартний зразок деформується під дією дуже низького навантаження, що дорівнює лише вазі конуса (0,2 Н/см^2). Фактичне навантаження від власної ваги кладки в теплових агрегатах коливається від 1 до 20 Н/см^2.

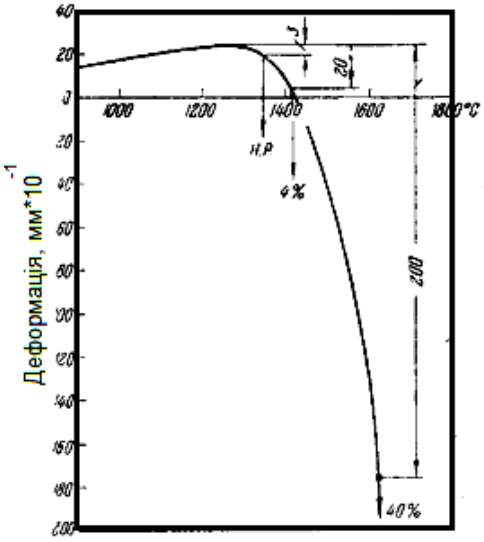
Температура роботи вогнетривких матеріалів зазвичай така, що вони знаходяться в пластичному стані, відповідному порівняно високому показнику величини θ, тобто максимального напруження зсуву, що виникає при деформації.

Тому руйнування вогнетривких футеровок при дії статичного навантаження майже ніколи не буває тендітним і на відміну від звичайних будівельних матеріалів основною характеристикою міцності вогнетривкого матеріалу є опір пластичної деформації при високих температурах.

Прийнятий стандартний метод випробування згідно ГОСТ 4070 полягає в наступному. Зразок, виточений з випробуваного вироби і має форму циліндра висотою 50 мм і діаметром 35 мм, встановлюють в криптоловій електричній печі між двома стрижнями-штампами з електродного вугілля або графіту при навантаженні 20 Н/см^2. Ці штампи практично не деформуються при високих температурах.

При випробуваннях крива деформації (рисунок 2.5) спочатку показує розширення, що є результатом теплового розширення випробуваного зразка і передавальних вугільних штампів. При подальшому підвищенні температури деформація зразка від тиску перевищує теплове розширення і крива починає перегинатися, вказуючи на деформацію, що зменшує висоту зразка. Надалі крива різко згинається вниз (рисунок 2.5). При випробуваннях фіксують три точки: початок деформації (п.р.), яким вважається точка переходу від розширення зразка до стиснення, 4% стиснення і 40% стиснення.

Опір деформації стиснення може бути охарактеризоване складною кривою уявній в'язкості. Н.В. Соломін дає наступну формулу визначення удаваної в'язкості в піропластичному стані



1350 °С – початок розм’якшення (п.р.); 1420 °С – 4% деформації;
1640 °С – 40% деформації; 290 °С – інтервал розм’якшення

Рисунок 2.5 - Залежність деформації вогнетриву під навантаженням від температури і її характерні точки

$$h = \frac{F_h (h - \Delta h)}{30 \Delta h \times S} \text{ Н} \cdot \text{сек/м}^2, \qquad (2.1)$$

де F - сила, Н; h - висота зразка до досліду, см; S - площа поперечного перерізу зразка, см^2; Δh - зменшення висоти зразка за час τ, см; τ - час, сек.

Більш точні результати по визначенню в'язкості в пластичному стані можна отримати при вимірюванні деформації кручення. При таких випробуваннях деформація кручення і лінійні зміни - відбуваються в різних площинах і практично не впливають один на одного.

2.3 Методика визначення шлакостійкості

Крім механічного навантаження в виробничих умовах на вогнетрив діють при високих температурах різні реагенти, що знаходяться в пічному просторі - шлак, зола, паливо, шихта і продукти технологічного процесу.

Взаємодія цих матеріалів з вогнетривом при високих температурах викликає його руйнування внаслідок утворення легкоплавких з'єднань і розчинення частини

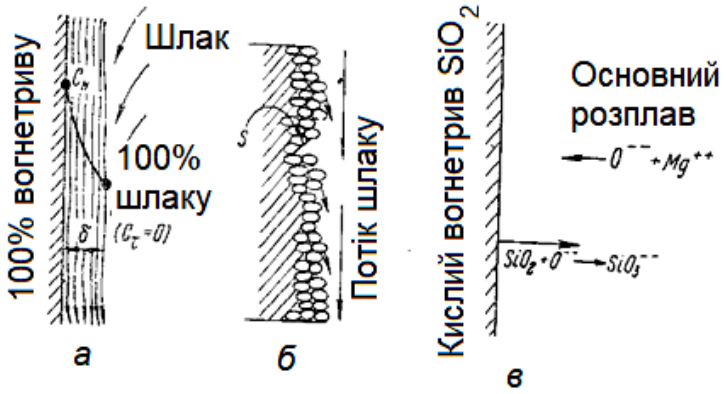
вогнетриву. Таке руйнування, що є результатом цілого ряду складних фізико-хімічних процесів, називається шлакороз'їданням і відповідно стійкість вогнетриву проти шлакороз'їдання називають шлакостійкістю.

Шлакороз'їдання - руйнування найбільш поширеного виду. За статистикою всіх випадків руйнування футеровок відноситься до шлакороз'їдання.

2.3.1 Загальні закономірності

Складність процесу шлакороз'їдання полягає у впливі цілого ряду умов взаємодії та фізико-хімічних властивостей вогнетриву і шлаку.

Найбільш часто шлакороз'їдання футерування теплових агрегатів є результатом впливу двох процесів - корозії, тобто чисто хімічної взаємодії вогнетриву, і ерозії, тобто процесу механічного стирання футерування поточним шлаком або твердими частинками, що знаходяться в пічному просторі.



а - зміна концентрації вогнетриву в плівці поточного шлаку; б - відрив окремих зерен вогнетриву; в - схема розчинення кислого вогнетриву в основному шлаку

Рисунок 2.6 – Схеми зносу вогнетриву шлаком

Обидва ці процесу інтенсифікують один інший. Ерозія збільшує поверхню взаємодії вогнетриву і шлаку. Але найголовніше полягає в тому, що ерозія сприяє змиванню з поверхні вогнетриву верхньої плівки шлаку. Ця плівка, будучи насичена вогнетривом, відносно слабко реагує з ним і грає роль захисного шару. Тому якби не було ерозії, то процес шлакороз'їдання зупинився б порівняно швидко.

З іншого боку, наявність корозії сильно розпушує вогнетрив, внаслідок чого прискорюється ерозія.

Шлакороз’їдання залежить від ряду факторів, до яких відносяться: хімікомінералогічні склади вогнетриву і шлаку, структура вогнетриву, в'язкість шлаку і умови впливу шлаку на вогнетрив. Під останньою розуміють наявність руху шлаку по поверхні вогнетриву або статичний його стан.

2.3.2 Методи визначення шлакостійкості

Складність процесу шлакороз’їдання і вплив на нього всієї сукупності виробничих умов створюють ряд труднощів для лабораторних визначень цього показника.

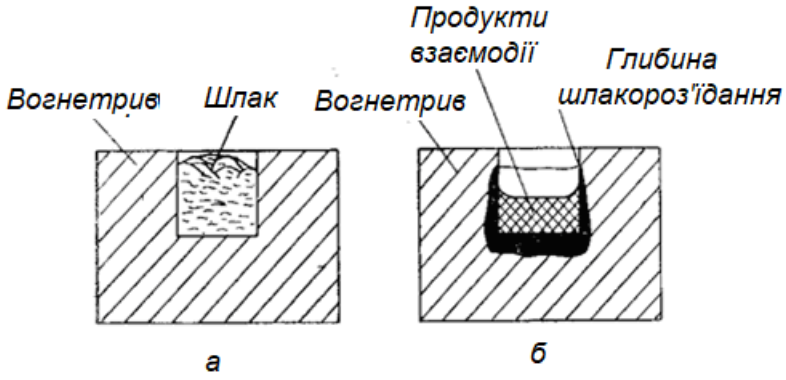
Прямим методом визначення активності взаємодії вогнетриву і шлаків є також безпосереднє визначення кількості вогнетриву, розчиненого в шлаку. Вплив структури в даному випадку також виключається тим, що зразки беруться абсолютно щільні - з нульовою пористістю.

Друга група методів відрізняється тим, що в досліджуваних зразках зберігається структура, тобто зразки цілком випилюють або виточують з виробу. Рух шлаку при випробуваннях практично відсутній, за винятком невеликих конвективних потоків розплавленої маси. Як зразки найчастіше застосовують тиглі з випробуваного вогнетриву. При випробуванні виробів у вигляді цегли в останньому висвердлюють циліндричне заглиблення, в яке засипають шлак. Глибина проникнення шлаку або обсяг розчиненого вогнетриву визначається обміром меж руйнування в розрізу зразку (рисунок 2.7). Ці методи називаються статичними.

До третьої групи відносяться динамічні методи. В цьому випадку при випробуванні відбувається рух шлаку уздовж зразка, здійснюване як стікання шлаку за зразками достатньої висоти, так і обертанням зразка в розплавленому шлаку. До цієї групи належить стандартний метод.

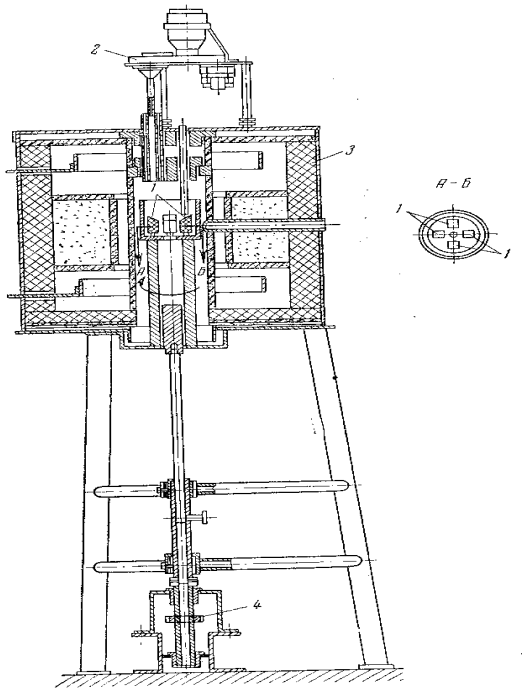
Розроблена установка для визначення шлакостійкості. Малий розмір випробовуваних зразків в даному випадку дозволяє випилювати їх з будь-якого фасонного виробу. Кілька зразків поміщають в криптолову піч на обертову підставку. Зверху з механічного живильника на них сиплеться шлак (рисунок 2.8).

Завдяки обертанню зразків створюються умови однаковості температур і впливу шлаку, що є дуже великою при такого роду випробуваннях, оскільки температура найбільш різко впливає на процес шлакороз’їдання.



а) до випробування; б) після випробування

Рисунок 2.7 - Зразок при тигельному методі визначення шлакостійкості



1 - зразки; 2 - живильник; 3 - криптолова піч; 4 - редуктор

Рисунок 2.8 - Установка для визначення шлакостійкості вогнетривів з обертовим подом

При визначенні шлакостійкості перерахованими вище статичними і динамічними методами, основними експериментальними труднощами, крім виміру температури, є визначення кількості розчиненого в шлаку вогнетриву. Для оцінки останнього визначають різницю в об'ємі зразка до випробування і після нього методом гідростатичного зважування або виміру витісненої води.

Розрахунок можна виконати також за зміни будь-яких лінійних розмірів зразка, наприклад діаметра циліндричного зразка або середньої глибини роз'їдання тигля до і після обробки його шлаком.

3 ДОСЛІДЖЕННЯ МЕХАНІЗМУ ЗНОСУ ФУТЕРОВКИ АГРЕГАТІВ І РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ЗБІЛЬШЕННЯ СТІЙКОСТІ

3.1 Механізм зносу футеровки сталеплавильних агрегатів з основною футеровкою

Підвищення стійкості футеровки має важливе значення:

- забезпечення стійкості роботи цеху;
- скорочення витрат важкої фізичної праці при перефутеровці;
- зниження витрати вогнетривів;
- зниження собівартості готової продукції.

Шляхи підвищення стійкості футеровки:

1) поліпшення якості вогнетривів;

а) для периклазових вогнетривів - зменшення вмісту CaO як домішки. Сполука $CaO \cdot FeO$ з 10% FeO плавиться при температурі 1130 ^{0}C і переходить в шлак.

б) для доломітових вогнетривів - оптимальне співвідношення CaO і MgO.

в) забезпечення найбільш щільної упаковки зерен: фракція 5 мм ≤ 10%; 5-1 мм - 35-45%; <1 мм - 50%.

г) оптимальна кількість смоли - 3-7% понад 100%. При утриманні смоли 7% і більше маса погано пресується, і частинки налипають на прес-форму. Також перспективним варіантом є заміна смоли піском.

2) підбір сортаменту виплавлюваних сталей;

3) вдосконалення технології плавки;

4) догляд за футеровкою в процесі плавки і ін.

Фактори впливу на вогнетрив:

- газова фаза. На магнезитові вогнетриви на керамічній зв'язці газова фаза має слабку вплив. На вогнетриви на вуглецевій зв'язці - сильне: скелетна складова вигорає, послаблюючи зв'язок між зернами. Також впливають і зважені частинки (оксиди заліза та інших елементів);
- рідка шлакова фаза;
- рідкий метал.

Найбільший вплив надає взаємодія футерування зі шлаком. Взаємодія вогнетриву зі шлаком починається з просочення поверхневого шару вогнетриву. Чим вище перегрів шлаку і пористість вогнетриву, тим швидше йде цей процес. Підвищення вмісту SiO_2 в шлаку сприяє зниженню температури плавлення і переходу робочого шару в шлак, в якому присутні і шматочки основної маси - периклаз і хроміт. Цей процес прискорюють:

- зростання температури процесу;
- пористість вихідного вогнетриву;
- високий вміст SiO_2 в шлаку;
- високий вміст оксидів заліза.

Рідкий метал взаємодіє з футеровкою, проникаючи вглиб вогнетриву, що призводить до руйнування його суцільності і роз'єднання зерен периклазу. Однак, швидкість розчинення вогнетривів в низьковуглецевій сталі на 3 порядки нижче, ніж в шлаку.

Зносу футеровки сприяють механічні пошкодження при завалці металобрухту (в електропечах - 100%, в конвертерах - 20-30%).

Термічний вплив також впливає на знос футеровки. Чим вище коливання температури, тим вище величина термічних напруг і тим сильніше знос вогнетриву. Якщо величина напруг більше межі міцності, то можливе виникнення тріщин, сколів і руйнування вогнетриву.

Фактори вдосконалення технології плавки:

- скорочення часу плавки (справедливо для всіх типів печей);
- скорочення міжплавочних інтервалів;
- дотримання температурного режиму;
- не переокислення шлаку;
- роль MgO в шлаку.

Догляд за футеровкою:

1) якісна заправка після кожної плавки;
2) проміжні ремонти після кожної плавки - торкретування;

3) забезпечення рівномірності зносу футеровки по висоті і перетину робочого простору плавильного агрегату (підвищений знос футеровки відбувається в зоні цапф в конвертері і нижньої частини електропечі - район шлакового пояса).

Показник рівномірності зносу - ступінь використання кладки:

$$K = \frac{P_{фут} - P_{ост}}{P_{фут}} * 100\%$$

де $P_{фут}$ - маса робочого шару, т;

$P_{ост}$ - маса футерування, що вибито після зупинки печі на ремонт, т.

Коефіцієнт К коливається в межах 30-70% (для конвертерних печей). Необхідно прагнути, щоб К становив хоча б 70%. Для цього слід застосовувати різні вогнетриви і товщину робочого шару.

Значення коливається від 35 до 80% залежно від складу футерування і її конструкції.

3.2 Стійкість периклазових вогнетривів в кисневому конвертері

Якби футеровку робочого шару виконували з вогнетривів одного типу і однієї товщини по висоті робочого простору, її знос був би нерівномірний, і ефективність її використання була б мінімальною. Тому використовують вогнетриви різних типів і варіюють товщину футерування. Таке футерування називається зонно диференційованою. Вона дозволяє підвищити компанію конвертера по футеровці на 50-100 плавок.

Істотний прогрес в цьому напрямку досягнуто при використанні вогнетривів нового типу - периклазовуглецевих.

Справа в тому, що наявність вуглецю в формі графіту обмежує глибину просочення вогнетриву металом і шлаком, що знижує швидкість зносу робочого шару до 0,5-0,6 мм/плавку. Для порівняння наведені дослідні дані по іншим типам вогнетривів в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 - Швидкість зносу конвертерного футерування

Процес	Вогнетриви	Середня швидкість зношення, мм за одну плавку
бесемерівські	динасові	0,7
Малий бесемерівський	динасові	8,5
томасівський	Вапнякові (доломітові)	2,2
З верхньою кисневою продувкою через фурму:		
одноканальну	Вапнякові	3,2
	переклазові	2,9
	смоловапнякові	2,4
	Смолопереклазові	3,6
	смоловапняковопериклазові	1,8
	периклазошпенелідні	2,4
багатоканальну	Вапнякові	2,5
	переклазові	1,4
	смоловапнякові	2,2
	смоловапняковопериклазові	1,5
	периклазошпенелідні	2,7
З верхньою кисневою продувкою	Вапнякові	3,3
	переклазові	3,0
	смоловапнякові	3,8
	смоловапняковопериклазові	2,6
З донною кисневою продувкою	Різні	1,5
Аргонно-кисневе рафінування	Різні	8,3

Як видно з таблиці, найменшу швидкість зносу показує кисле динасове футерування бесемерівського конвертера. Але при збільшенні тривалості плавки в малому бесемерівському конвертері вона зростає в 12 разів. Основне футерування при донній продувці повітрям зношується в 3 рази швидше кислого. Найкращі результати показують смоловапняковопериклазові, смоловапнякові і периклазошпінелідні вогнетриви. При переході на верхнє багатосоплове продування швидкість зносу всіх типів футеровок знижується.

Висока швидкість зносу вогнетривів при аргонокисневому рафінуванні пояснюється високою температурою і великою тривалістю процесу.

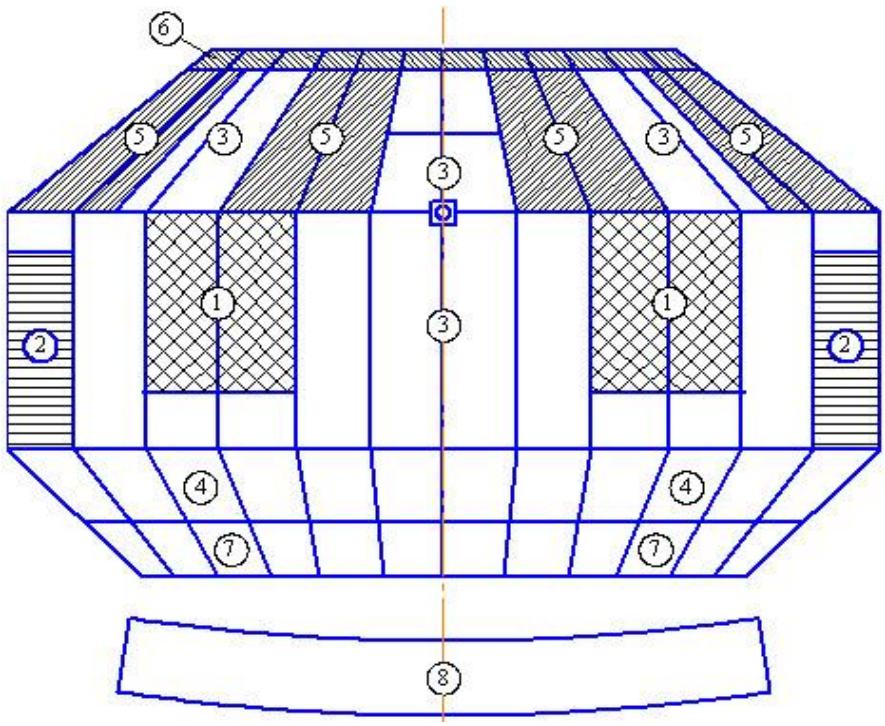
Вміст вуглецю в смолозв’язаних вогнетривах після коксівного випалу становить 2-5%. У периклазовуглецевих його вміст може досягати 25…30% і, що особливо важливо, він знаходиться у вигляді графіту.

Вуглець утворює захисну плівку на поверхні зерен мінеральних складових, а при високій температурі вступає з ним у взаємодію з утворенням карбідів і оксікарбідів металів, що підвищує термічну і корозійну стійкість вогнетриву. Крім того,

при окисленні вуглецю утворюється газоподібний оксид перешкоджає проникненню шлаку і металу в глиб вогнетриву.

Застосування периклазографітових вогнетривів не вирішило саме по собі проблему рівностійких різних елементів робочого простору. Найбільш зношуються ділянки, що лімітують експлуатацію конвертера, є зони зливу в районі циліндричної частини і верхнього конуса, повалочні кишені між цапфами і завантаженням і район горловини. Виявлено також інтенсивний знос нижньої частини футеровки конвертера. Такий аналіз дозволив скоректувати схему застосування вогнетривів і довести стійкість футеровки до 4230 плавок.

На комбінаті «Азовсталь» з метою підвищення ефективності використання футерування застосовують зонну кладку згідно з доданою схемою (рис. 3.1). Це периклазовуглецеві вогнетриви на пековій зв'язці. Крім того, використовують і периклазографітові вогнетриви.



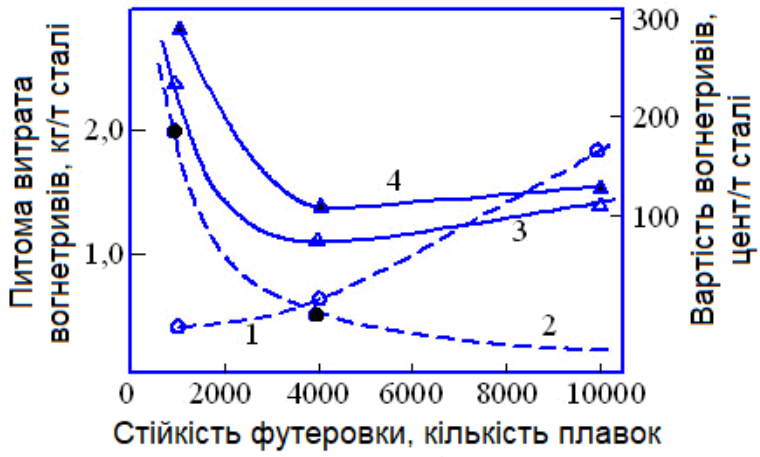
1 - цапфова зона (ANCARBON CX93X, ANCARBON CX73X); 2 - ударна зона скрапу (ANKER CX90X, ANKER CX70X, ANKER CX30X); 3 - шлакова зона (ANCARBON CX92, ANCARBON CX72, ANCARBON SX32); 4 - нижній конус (ANCARBON SX32, ANKER SX30, ANKER TT1); 5 - верхній конус (ANKER SX30, ANKER TT1); 6 - горловина (ANCARBON BX13, ANCARBON PB13, ANKER T25); 7 - нижній конус в зоні днища (ANKER TT1, ANKER TT8); 8 - днище (ANKER CX90, ANKER CX70, ANKER SX30, ANCARBON SX32)

Рисунок 3.1 - Схема футерування конвертера з використанням периклазовуглецевих вогнетривів різних типів виробництва фірми «Фематек» (ФРН)

На футеровку 350 т конвертера йде 600 т цегли вартістю 900 $/т. При витраті 1 кг/т кампанія футерування складе 1700 плавок. Це вогнетриви виробництва фірми «Фематек» (ФРН).

Найбільша стійкість досягнута при використанні вогнетривів США і Австрії. Але треба зазначити, що, незважаючи на детальну інформацію, наведених даних недостатньо, щоб зробити висновок про переваги того чи іншого типу виробів. Для цього необхідно знати питому витрату і ціну матеріалів, використовуваних при догляді за футеровкою.

Відповідні відомості без прив'язки до умов постачання та споживання наведені на рис. 3.2, звідки випливає, що існує оптимальне співвідношення між витратою вогнетривів, торкрет-мас і питомими витратами на 1 т сталі.



1 - витрата торкрет-мас; 2 - витрата цегли;
3 - загальна витрата вогнетривів; 4 - вартість вогнетривів

Рисунок 3.2 - Залежність витрати і вартості вогнетривів від стійкості футеровки конвертера

Все це, однак, не применшує ролі технологічних факторів в питанні підвищення стійкості вогнетривкої футеровки.

Проведені на ВАТ «Дніпропетровський металургійний завод» дослідження показали, що стійкість периклазовуглецевого футерування знижується зі збільшенням вмісту кремнію в чавуні і зі збільшенням кількості плавок з додувками. Існує оптимальна основність шлаку (3,1-3,2), оптимальна інтенсивність роботи конвертера (23-26 плавок на добу), оптимальний вміст MgO в шлаку (7-8%).

До несприятливих факторів слід віднести підвищений вміст FeO в шлаку, підвищення температури продувки і її тривалості, а також кількість завантажених флюсуючих добавок.

Але, з іншого боку, при підвищенні основності шлаку до певної межі і кількості оксиду магнію термін служби футеровки конвертера збільшується. Таким чином, регулюючи склад шлаку, можна підвищити стійкість футеровки.

Швидкість розчинення вогнетриву в шлаку визначається дифузією компонентів вогнетриву в шлаку.

Збільшення MgO в кінцевих шлаках досягається введенням матеріалів з високим вмістом MgO і швидким розчиненням цих матеріалів. На комбінаті ММК використовують саморуйнуючі магнезіальні гранули виробництва комбінату «Магнезит». Їх склад в залежності від марки такий:

MgO	SiO_2	Fe_2O_3	Al_2O_3	C	ппп
45-70	0,7-3,0	1-2	0,2-0,6	14-16	20-55

Великі втрати при прожарюванні викликають швидке руйнування гранул і розчинення їх в шлаку.

Присадку гранул на конвертерний шлак виробляють після випуску плавки. Потім шлак роздмухують азотом, що і дозволило досягти високу стійкість футеровки.

За рахунок застосування технології роздування шлаку та інших заходів фірма LTV (США) досягла рекордної стійкості 15658 плавок.

З інших способів підвищення стійкості футеровки слід зазначити підварки і смолоскипне торкретування.

Як уже зазначалося, робочу футеровку конвертера виконують в два оката. В останні роки стали виконувати в один окат. Справа в тому, що при двухокатній футеровці, навіть в разі її виконання в перев'язку, перший (зовнішній) шар при залишковій товщині приблизно 100 мм обвалюються, а це призводило до заміни і другого оката.

Перехід на одноокатну схему дозволяє використовувати всю товщину кладки, скоротити її знос до 0,3 мм на плавку і збільшити тривалість кампанії приблизно на 300 плавок і знизити витрату вогнетривів до 1,5-1,7 кг/т сталі.

Найбільш слабким місцем в футеровці будь-якого агрегату є шви кладки, по яких відбувається проникнення металу і шлаку. Застосування різного роду мертелів не забезпечує рівностійкості вогнетриву і шва.

Вуглецьвмісні вогнетриви укладають без мертелів. Це висуває підвищені вимоги до точності розмірів цегли. Відсутність спікання вуглецьвмісної цегли і блоків у місцях контакту викликає випадання виробів з кладки при нахилі конвертера. Для підвищення жорсткості кладки і герметизації швів використовують спеціальні клейові композиції. Їх використання перетворює футеровку в єдину монолітну структуру, що істотно знижує швидкість окислення і корозію вуглецьвмісних виробів і усуває одну з причин інтенсивного зносу футеровки.

Таки чином, використання для кладки робочого шару футеровки кисневих конвертерів периклазовуглецевих, вапняковоперикласовуглецевих вогнетривів, застосування одноокатної схеми футерування робочого шару, використання клейових композицій при набору футерування, оптимізація температурного і шлакового режимів плавки, догляд за футеровкою в процесі її експлуатації (підварки, смолоскипне торкретування, роздування шлаку попередньої плавки) дозволяє різко, до 3000-4000 плавок, підвищити кампанію кисневих конвертерів по футеровці.

Необхідно відзначити, що є повідомлення про підвищення стійкості футеровки до 10000 плавок за кампанію. Ці повідомлення носять, ймовірно, рекламний характер і мають на меті показати можливість різних прийомів догляду за футеровкою, зокрема факельного торкретування.

3.3 Топографування поверхні футеровки конвертера

На підставі промислового досвіду прийнято виділяти такі характерні режими експлуатації кисневого конвертера, футерованого периклазовуглецевими вогнетривами:

- без проведення поточних ремонтів;
- періодичне нанесення кінцевого конвертерного шлаку на футерування роздуванням газовими струменями після випуску сталі в сталерозливний ківш;

- торкретування і підварювання магнезіальновмісними матеріалами найбільш зношених місць.

При цьому найбільш витратною статтею на підтримку футерування в робочому стані залишаються гарячі ремонти методом підварки, частка яких становить 34…38% від загальних витрат на вогнетриви та вогнетривкі матеріали (83-87% витрат на гарячий ремонт футеровки).

Тривалий час робочий шар футеровки кисневих конвертерів виконувався з периклазовуглецевих вогнетривів за двошаровою схемою кладки загальною товщиною 1000-1050 мм в різних комбінаціях (500 + 500, 525 + 525 і т.п.). Однак, як встановлено за результатами промислової експлуатації, при невеликій залишковій товщині першого робочого шару (50-100 мм з боку робочого простору конвертера) відбувається випадання залишків зношених вогнетривких виробів з відповідним збільшенням витрат і скороченням тривалості кампанії агрегату.

Останні роки характеризуються прагненням до перманентного підвищення стійкості футеровки конвертерів, в тому числі за рахунок застосування збалансованої зональної схеми кладки вогнетривких виробів з урахуванням особливостей і факторів зносу окремих зон. В такому випадку в різних зонах футерування конвертера використовуються різні за якістю та складом вироби (т.зв. диференційована кладка), що, в кінцевому рахунку, призводить до відносно рівномірному зносу футеровки.

На початковому етапі при розробці та впровадженні диференційованої кладки і догляді за нею протягом кампанії на більшій частині підприємств використовували візуальний контроль зносу вогнетривкого шару, що характеризується невисокою точністю і суб'єктивністю оцінки. Маса і товщина намороженого роздувкою шлакової ванни на футеровку шлакового гарнісажу, в подальшому частково переходить в шлак, при візуальному огляді не піддається кількісній оцінці, що ускладнює розрахунок матеріального балансу конвертерної плавки. В окремих випадках візуальна оцінка стану робочого простору доповнювалася термографічним контролем для визначення температури зовнішньої поверхні кожуха конвертера і прийняття рішень про необхідність гарячого ремонту.

Необхідно особливо відзначити, що з переходом від схем футерування конве-

ртера в два оката до більш прогресивної одношарової футеровки рівень суб'єктивності візуальних методів оцінки в зв'язку з відсутністю кордону між робочим і арматурним шаром збільшився, що підвищило актуальність застосування високоточних засобів топографування поверхні.

До сучасних засобів для топографічних досліджень поточного профілю робочого простору і визначення залишкової товщини футеровки конвертера відносять лазерні системи вимірювання (наприклад, Delta RL 2000 (Фінляндія), LaCam-M (фірма Ferrotron Technologies GmbH, Німеччина), CONSCANX2 (фірма RHI, Австрія) і ін.) [67-69].

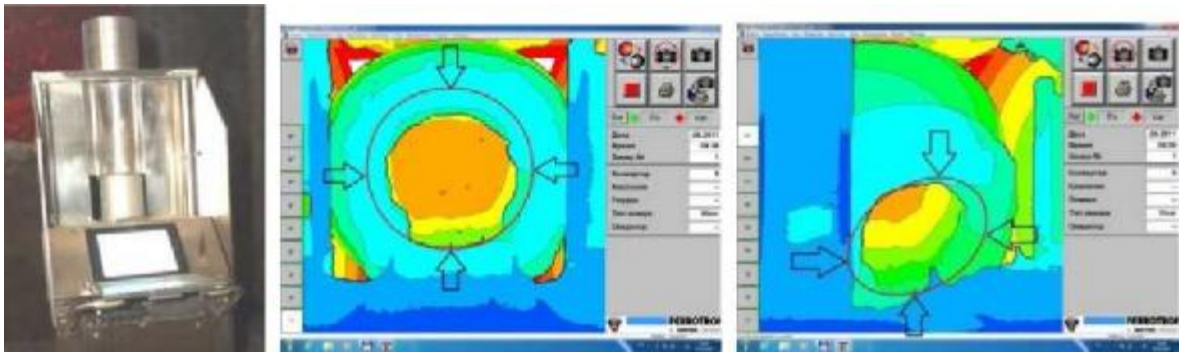


Рисунок 3.3 - Загальний вид сканера (а) і відображення (б) на екрані монітора контрольованих зон робочого простору конвертера

З метою контролю залишкової товщини футеровки по ходу кампанії, встановлення зон локального зносу і їх ліквідації, вибору виду і коригування кількості гарячих ремонтів, прогнозування можливого терміну кампанії конвертера на ряді металургійних підприємств України застосовують сканер LaCam M007 (фірми Ferrotron Technologies GmbH, Німеччина) (рис. 3.3, а).

В цілому, лазерна система вимірювання призначена для топографування поверхні футеровки конвертера з точністю вимірювання її товщини ± 5 мм. Залишкова товщина футерування визначається порівнянням попередніх і поточних результатів вимірів внутрішнього простору агрегату. Результати вимірювання відображаються на екрані монітора і зберігаються в базі даних для оперативного і подальшого детального аналізу. Тривалість одного сканування футерування конвертера становить 20-25 хвилин.

Лазерне вимірювання засноване на визначенні часу поширення одиничного світлового імпульсу. При цьому світлодіод на базі напівпровідникового лазера гене-

рує випромінювання з дуже малою довжиною хвилі, а оптичний імпульс відбивається від поверхні об'єкта вимірювання і потрапляє в світлоприймач. По ходу сканування одночасно відбувається сканування поверхні футеровки і автопозиціонування системи, засноване на визначенні базисних точок, встановлених близько агрегату.

У рекомендованому виробником обладнання варіанті вимір внутрішнього простору агрегату виконують за наведеною в табл. 3.2 схемою.

Таблиця 3.2 - Схема топографування робочого простору конвертера

Стійкість футеровки, плавки	Періодичність сканування
20 - 50	перше сканування обов'язково
до 1000	через кожні 500 плавок
1000 - 2000	через кожні 250 плавок
2000 - 3000	через кожні 200 плавок
більше 3000	через кожні 150 плавок

Повна інформація про стан футеровки конвертера виходить після проведення ряду вимірів і обробки отриманих даних:

- розгортка конвертера (визначення зон, що підлягають невідкладному ремонту);
- вертикальні розрізи в області цапф (приводний і неприводний);
- вертикальні розрізи в площині скслепіння - ванна;
- горизонтальні перетини і днище конвертера.

В даній роботі наведені результати топографування поверхні периклазовуглецевого футерування 160-т і 250-т кисневих конвертерів верхнього дуття з використанням лазерної системи вимірювань LaCam M007 по ходу кампанії.

Як на 160-т, так і на 250-т конвертерах застосовувалася одношарова схема кладки, при цьому в циліндричній частини 160-т агрегату вогнетриви укладали в один окат товщиною 900 мм, у верхній конічній частини - 650 мм, в 250-т - в один окат товщиною 800 мм і 650 мм у верхній конічної частини відповідно.

Застосовувані для кладки футеровки 160-т і 250-т конвертерів вогнетривкі вироби мали відмінності за складом:

- в зоні металу (нижньої сферичної частини) використовували вироби з вмістом MgO>84,0%, вуглецю не менше 6,0% (160-т конвертер) і MgO>71,0% і вуглецю

понад 13,0% - в 250 т конвертері відповідно;

· в завантажувальній і зливний зонах (ванна і склепіння) - з вмістом MgO не менше 78% і вмістом вуглецю > 12,0% для 160-т і не менше 68% і вуглецю > 15,0% для 250-т відповідно;

· в цапфовій зоні футерування робочого шару було посилене за рахунок використання виробів з підвищеним вмістом вуглецю > 14,0%, при вмісті MgO > 76,0% в 160-т і вуглецю > 16,0%, при вмісті MgO > 71,0% - в 250-т конвертері;

· у верхній конічній частині 160-т агрегату використовували вогнетриви з вмістом MgO > 80,0% і вуглецю не менше 10,0%, а в 250-тонному – MgO > 61,0% і вуглецю не менше 14,0%.

Відмінності в хімічному складі вогнетривів кладки 160-т і 250-т конвертерів, умов експлуатації та обслуговування футерування, дуттєвого і шлакового режимів привели до закономірних розбіжностей профілів зносу футеровки агрегатів по ходу кампанії.

З метою визначення найбільш значущих чинників зносу вогнетривів на 160-т конвертерах були проведені кілька дослідних кампаній, відмінності яких від порівняльних полягали в наступному. В ході порівняльної кампанії плавок на конвертері «А» проводили повне поточне обслуговування футерування з дотриманням вимог технологічної інструкції: з нанесенням шлакового гарнісажу, періодичною підваркою, локальним торкретуванням найбільш зношених місць. При цьому присадку спеціальних магнезіальних шлакоутворюючих флюсів по ходу плавки не здійснюють.

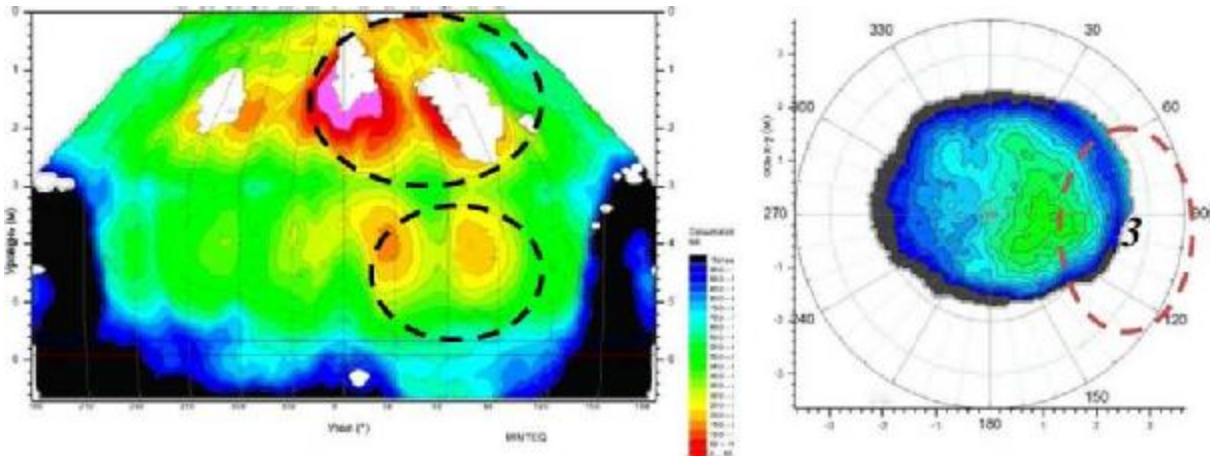


Рисунок 3.4 - Топограма футерування з виділенням зон підвищеного зносу стін (а) і днища (б) конвертера «Б» (залишкова товщина вогнетривів) після 1400 плавок

В ході дослідних кампаній на конвертерах «Б» і «В» була вивчена можливість використання в існуючих сировинних умовах «європейської» схеми експлуатації агрегату з мінімізацією або повною відсутністю догляду за футеровкою. У такому варіанті нанесення шлакового гарнісажу на футеровку в першій період кампанії не проводили. У той же час, з метою зниження інтенсивності зносу футеровки, по ходу конвертерної плавки присаджують спеціальні магнезіальні шлакоутворюючі флюси з питомою витратою 0,3 кг/т сталі.

Необхідно відзначити, що в зв'язку зі встановленою топографуванням по ходу кампанії підвищеною в порівнянні з конвертером «А» інтенсивністю зносу шару вогнетривів на конвертері «Б» було прийнято рішення про необхідність відновлення операцій по догляду за футеровкою для запобігання передчасного виведення агрегату з експлуатації. При цьому ошлакування футерування конвертера «А» за допомогою роздувки шлаку почали проводити після 150 плавки, на конвертері «Б» - тільки після 830-ї плавки.

Число операцій ошлакування, проведених за технологією коригування вмісту (MgO) шляхом безпосереднього вдування доломіту в шлакову ванну через спеціальну газопорошкову гарнісажну фурму [70], склало 590 на конвертері «А» і 280 операцій на конвертері «Б». На рис. 3.4 наведені результати сканування футерування конвертера «Б» після 1400-й плавки.

Місця інтенсивного зносу футеровки розташовані на склепінній 1 (на стороні випуску сталі) і цапфовій 2 (неприводний) зонах (рис. 3.4, а). В значній мірі це обумовлено зміщенням реакційних підфурменних зон в сторону неприводної цапфи 3 (сегмент 60° -120°), що підтверджується результатами сканування днища конвертера (рис.3.4, б).

Відповідно до результатів сканування (в період з 30 по 1600 плавку) середня інтенсивність зносу вогнетривкої кладки конвертера «Б» склала 0,428 мм/плавку, а конвертера «А», при аналогічній стійкості (1600 плавок) - 0,267 мм/плавку, тобто менше на 0,161 мм/плавку. Динаміка інтенсивності зносу футеровки конвертерів «А» і «Б» приведена на рис.3.5.

Істотна нерівномірність зносу при виключенні операцій ошлакування підтверджується і динамікою зносу вогнетривкої кладки в двох найбільш схильних до

зносу діаметрально протилежних зонах шлакового поясу конвертера (зона приводної і неприводної цапф).

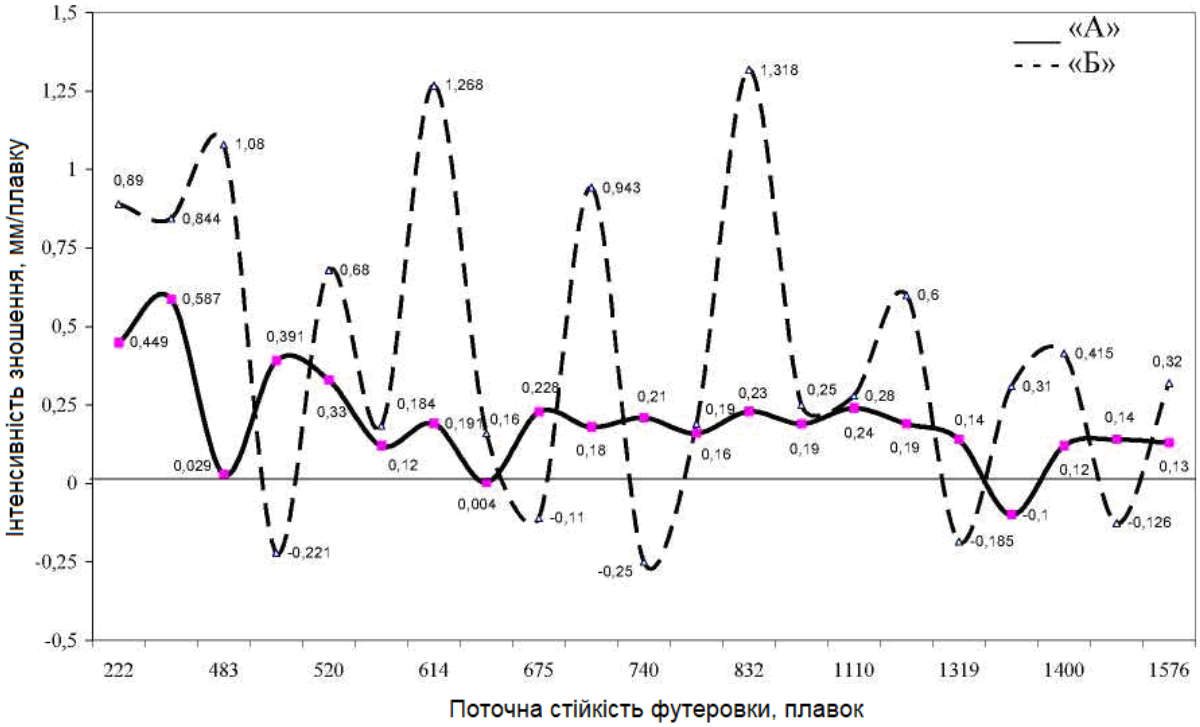


Рисунок 3.5 - Інтенсивність зносу футеровки конвертерів в перший період порівняльної (конвертер «А») і дослідної (конвертер «Б») кампаній

З представлених даних (рис.3.5) видно, що знос футеровки конвертера «Б» на відміну від конвертера «А» характеризується значним діапазоном коливань (від 1,318 до - 0,25 мм/плавку). Амплітуда зносу вогнетривкої кладки на конвертері «А», особливо після обов'язкового проведення операцій нанесення шлакового гарнісажа на футеровку після кожної плавки (після 460-ї плавки), істотно менше.

Більш широкий діапазон коливань і істотна нерівномірність зносу футеровки конвертера «Б» пояснюється також раннім початком (вже після 490 плавки) і збільшенням числа подварок і локального торкретування, що призвело до відхилення профілю агрегату від необхідного.

Прогнозоване в разі збереження такої динаміки зносу зниження стійкості футеровки конвертера «Б» в порівнянні з конвертером «А» повинне було скласти близько 200-250 плавок. Цей прогноз виправдався, різниця в стійкості футеровки за підсумками кампанії склала 196 плавок з відповідним скороченням обсягу виплавленої сталі. В цілому, за результатами завершених кампаній середня інтенсивність

зносу футеровки конвертера «А» склала 0,280 мм/плавку в порівнянні з 0,373 мм/плавку на конвертері «Б».

Через несправність обладнання для роздувки кінцевого шлаку на футерування шлаковий гарнісажу на стіни конвертера «В» почали наносити на 760 плавок пізніше, ніж на конвертері «А» (тільки з 912-ї плавки), що призвело до прискореного зносу футеровки (табл. 3.3).

Таблиця 3.3 - Показники гарячих ремонтів футерування конвертерів

Найменування показників	Од. вим.	конвертер «А»	конвертер «В»
Період роботи конвертера		лютий-травень	березень-травень
Початкова товщина футерування	мм	900	900
Стійкість футеровки, поточна	пл.	1 626	1084
- торкретування + роздувка шлаку на футерування	поч.пл.	610	1229
	$n_{операцій}$	630	0
- роздувка кінцевого шлаку на футеровку	початок	152	912
	$n_{операцій}$	1034	118
	% від загального числа плавок	63,7	10,9
- локальне торкретування і підварки	$n_{операцій}$	38	25
	% від загального числа плавок	2,3	2,3

В результаті на конвертері «А» після 1626 плавок мінімальна залишкова товщина вогнетривів в циліндричної частини склала 359 мм (рис.3.6, а; зони 1, 2). З огляду на те, що початкова товщина робочого шару футеровки 900 мм, середня інтенсивність її зносу з початку кампанії на момент виміру - 0,333 мм/плавку, а прогнозована стійкість робочого шару за умови проведення гарячих ремонтів складе більше 3200 плавок.

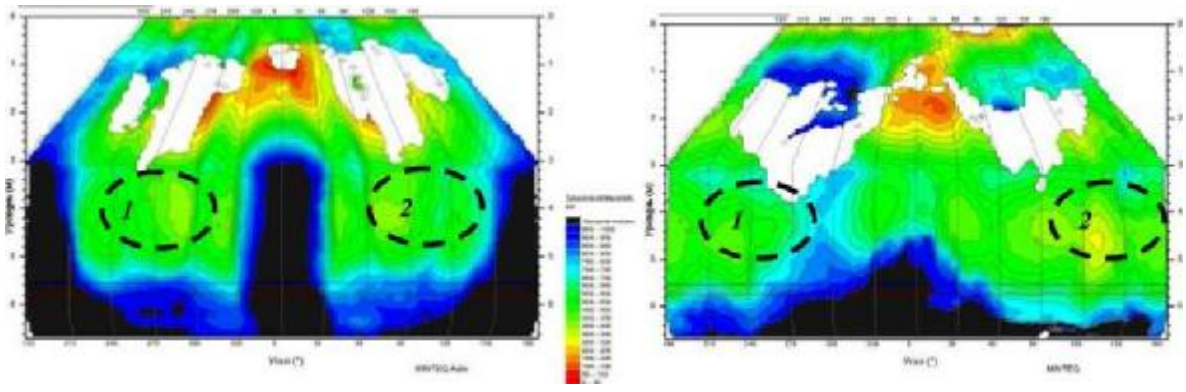


Рисунок 3.6 - Топограма футерування конвертера «А» на 1626 плавці (а) і конвертера «В» після 1084 плавки (б)

У той же час, на конвертері «В» після 1048 плавок мінімальна залишкова товщина вогнетривів в циліндричної частини склала лише 280 мм (рис. 3.6, б). Середня інтенсивність її зносу з початку кампанії на момент сканування склала 0,572 мм/плавку, а прогнозована стійкість робочого шару за умови експлуатації без проведення операцій ошлакування футерування не перевищить 1573 плавок.

Таким чином, застосування «європейської» схеми експлуатації футерування (без періодичного нанесення захисного гарнісажного шару шляхом роздувки модифікованого кінцевого шлаку) недоцільно.

Використання сканування для оперативного контролю поточного профілю футерування дозволяє також попередити виникнення аварійних ситуацій, пов'язаних з прогаром броні агрегату внаслідок зменшення вогнетривкого шару менш допустимих меж.

З метою вибору на підставі результатів сканування необхідного способу гарячого ремонту був розроблений комплекс показників, що характеризують відхилення профілю футерування конвертера по ходу кампанії від оптимального [71].

Аналіз запропонованої методики показав, що найбільш інформативним для управління топографією поверхні футеровки конвертера служить $Q_B(i)$ - інтегральний показник динаміки відхилення внутрішньої топографії футерування конвертера від необхідної.

Методика забезпечення необхідної топографії футерування конвертера полягає у виконанні операцій гарячого ремонту (коригування профілю) з використанням результатів сканування:

1) якщо $Q_B<150$ мм, то проводиться роздувкою кінцевого шлаку з добавками розрахункової кількості магнієвмісних матеріалів з подальшим поворотом конвертера на 90 градусів у бік зливу і завантаження;

2) якщо 150 мм$<Q_B<200$ мм, то проводиться напівсухе торкретування місць інтенсивного зносу;

3) якщо 200 мм$<Q_B<300$ мм, то проводиться торкретування з нанесенням великих обсягів вогнетривких мас на площу до 50% поверхні футеровки товщиною до 100-150 мм;

4) якщо $Q_B>300$ мм, то здійснюється підварювання магнієвмісними матеріалами.

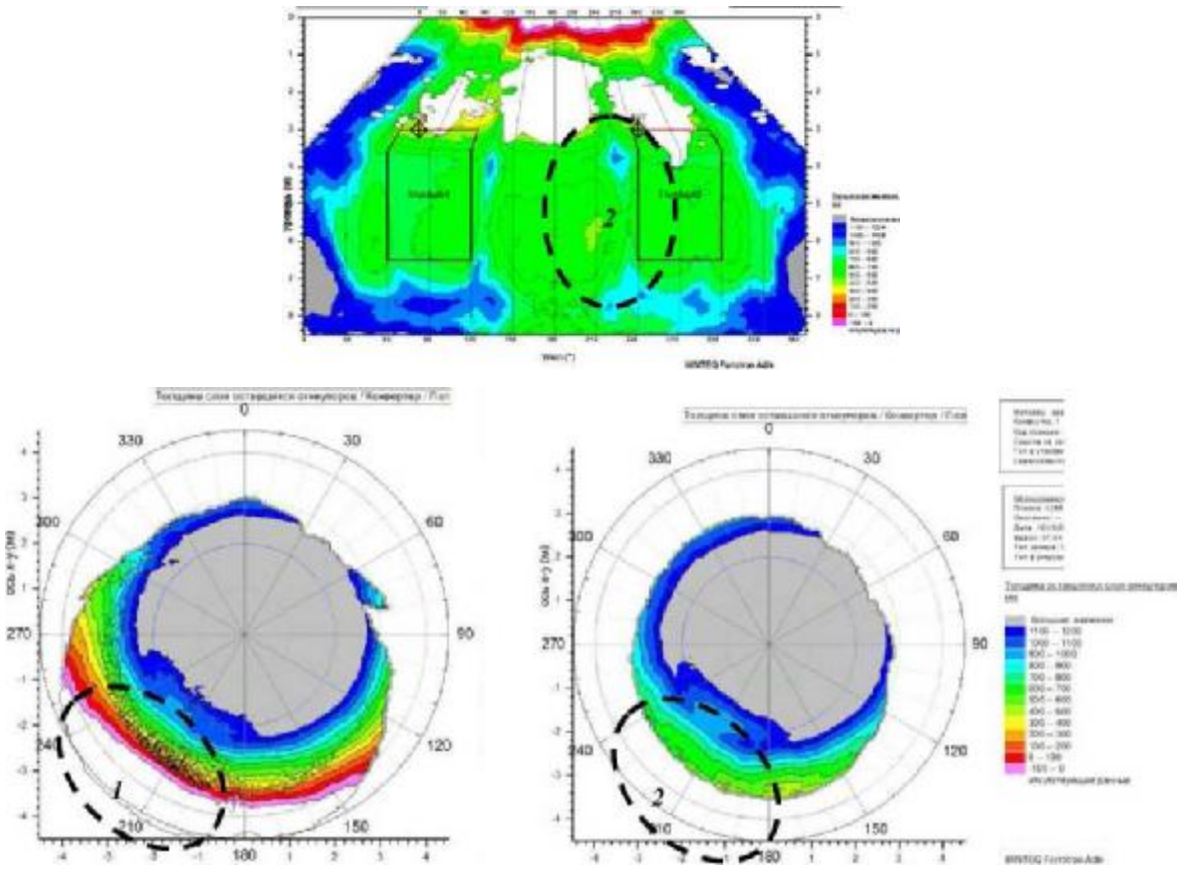
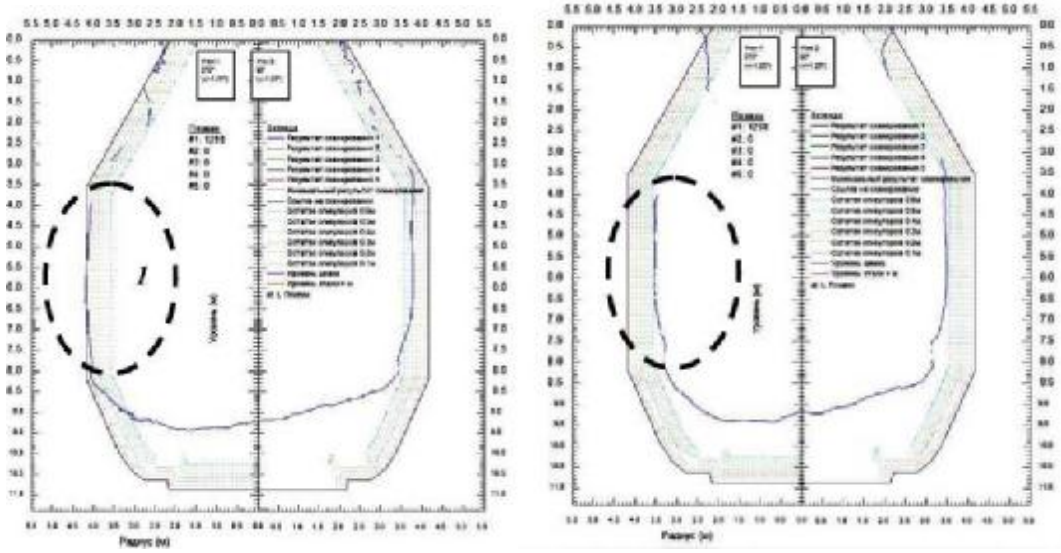


Рисунок 3.7 - Топограма стін (а), днища (б) 250-т конвертера на 1298 плавці (вертикальний розріз в площині цапфових зон) до (1) і після (2) проведення гарячого ремонту футеровки

Відпрацювання запропонованої комплексної методики проводили на 250-т конвертері. Встановлено зони зносу футеровки до аварійно небезпечних значень (рис. 3.7). Використання результатів сканування футерування і розрахунків забезпечило підвищення ефективності (скорочення тривалості операцій і питомої витрати ремонтних мас) виконання гарячих ремонтів як шляхом підварки і локального торкретування встановлених зон інтенсивного зносу (рис.3.7, 3.8), так і наступних операцій торкретування і нанесення модифікованого шлаку на футерування. Необхідна для проведення ошлакування маса магнезіальновмісного матеріалу, що присаджують в шлакову ванну, визначалася з урахуванням характеристик кінцевого шлаку, положення гарнісажної фурми по ходу роздувкою шлаку - з урахуванням виявлених відхилень профілю від необхідного.

З урахуванням теоретичного обґрунтування [72] і аналізу результатів ошлакування раціональним є підтримання поточної товщини футеровки конвертера по ходу кампанії на рівні 350-400 мм (для 160-т) і 300-350 мм (для 250-т агрегату).



1 - зона аварійного зменшення товщини робочого шару;

2 - відновлений шар футеровки

Рисунок 3.8 - Профіль футерування 250-т конвертера на 1298 плавці (вертикальний розріз в площині цапфових зон) до (1) і після (2) проведення гарячого ремонту

Виявлено ряд факторів, що роблять істотний вплив на інтенсивність зносу футеровки і практично не залежать від садки конвертера:

— Вміст $Fe_{заг}$ в кінцевому конвертерному шлаку (коефіцієнти кореляції ($К_к$ = 0,47 і 0,65 для 160-т і 250-т конвертера відповідно);

— кількість плавок з початковим вмістом сірки в чавуні більше 0,040% ($К_к$ = 0,31 і 0,38 відповідно);

— кількість плавок з температурою чавуну менше 1320 °С ($К_к$ = 0,33 і 0,47 відповідно);

— кількість плавок з температурою сталі на випуск більш 1610 °С ($К_к$ = 0,33 і 0,29 відповідно);

— кількість плавок з вмістом вуглецю в сталі на випуску з конвертера менш 0,04% ($К_к$ = 0,36 і 0,61 відповідно).

З метою подальшого зниження питомих витрат на вогнетриви та зменшення амплітуди коливань інтенсивності зносу футеровки, що призводять до зміни профілю робочого простору агрегату, необхідно подальше вдосконалення і відпрацювання раціонального шлакового режиму і схеми введення в шлакову ванну магнезіальних добавок. До основних елементів такої схеми можна віднести:

— введення строго визначеної, в залежності від хімічного складу чавуну, частини магнезіальних добавок в завалку або в перший період продувки з метою насичення первинного шлаку оксидами магнію і попередження хімічного зносу;

— введення певної частини магнезіальних матеріалів в період 80-100% часу продувки для підвищення ступеня їх засвоєння, насичення шлаку MgO і компенсації підвищення розчинення вогнетривкого шару в окисленому конвертерному шлаку в завершальний період продувки;

— в залежності від стану шлакової ванни введення швидкорозчинних магнезіальних флюсів або вдування [71] порошкоподібних магнезіальних матеріалів в шлакову ванну безпосередньо по ходу роздувки останньої на стіни конвертера.

Топографування поверхні футеровки конвертера з використанням сканера дозволяє виявити розташування зон підвищеного зносу вогнетривкої кладки і отримати достовірні дані про поточний профілі робочого простору в різні періоди кампанії агрегату.

Комплексний аналіз зі спільним використанням інтегрального показника динаміки відхилення внутрішньої топографії футерування конвертера від необхідної і результатів сканування робочого простору дозволить:

1) запобігти виникненню аварійних ситуацій при експлуатації агрегату;

2) підтримувати необхідні параметри топографії внутрішньої поверхні футеровки по ходу кампанії з обґрунтуванням раціональних способів ремонту.

3) скоротити простої агрегату і питому витрата дорогих магнезіальних матеріалів і флюсів.

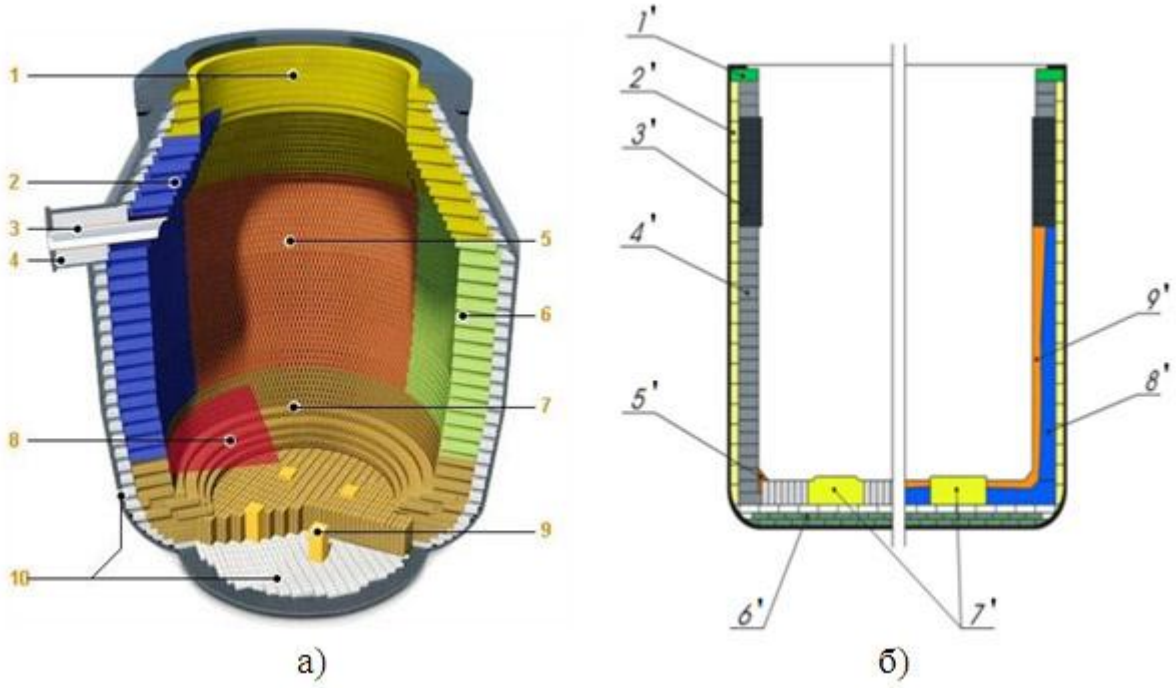
3.4 Дослідження впливу складу шлаку на ефективність технології нанесення гарнісажу в конвертері і глазурі в сталерозливних ковшах

Однією з найбільш ефективних і «маловитратних» технологій по зниженню швидкості зносу периклазовуглецевих вогнетривів конвертерів і стальковшів, є нанесення захисного, шлакового гарнісажного покриття на їх поверхню. Для оцінки ефективності магнезіальних модифікаторів конвертерного і ковшового шлаків розроблена оригінальна, лабораторна методика і апаратна база. В результаті проведених лабораторних і дослідно-промислових досліджень створено продукт - магне-

зійний брикетований флюс-модифікатор. Магнезійний брикетований флюс, в залежності від хіміко-гранулометричного складу, дозволяє змінювати властивості кінцевих шлаків, для забезпечення формування стійкого шлакового гарнісажу на поверхні вогнетривкої футеровки агрегатів.

В даний час в умовах розвитку світової економічної кризи, однією з найбільш важливих стратегій розвитку технології конвертерного виробництва сталі є досягнення високої стійкості робочої футеровки агрегатів, що відповідає мінімізації питомих витрат на вогнетриви і виключає простої, пов'язані з ремонтами [73].

Впродовж останнього десятиріччя характеризується значним підвищенням стійкості вогнетривкої футеровки конвертерів і стальковшів за рахунок застосування комбінованої гармонізованої схеми (рис.3.9), в якій враховуються особливості зносу окремих зон, в тому числі схильних до підвищеної ерозії.



1 - горловина; 2 - зливна зона; 3 - льоточний блок; 4 - гніздовий блок; 5 - цапфова зона; 6 - завантажувальна зона; 7 - днище і ванна; 8 - шар металу; 9 - продувний вузол; 10 - арматурний шар; 1 - фіксуючий футеровку вогнетрив; 2 - арматурний шар; 3 - шлаковий пояс; 4 - робоча футерівка стін (цегла); 5 - набивна маса; 6 - вирівнююча кладка; 7 - бойні блоки; 8 - наливний шар стін і днища; 9 - наливний бетон для ремонту футеровки

Рисунок 3.9 - Конструкція зональної кладки конвертера а) і стальковша б)

При цьому вибір оптимальної системи догляду за футеровкою протягом кампанії формується з міркувань зниження питомих витрат (на 1 т сталі) і технологічних вимог [74].

Хімічному, ерозійному впливу шлаку піддається практично вся внутрішня поверхня вогнетривкої кладки конвертера в період інтенсивного зневуглецювання і формування газо-шлако-металевої емульсії [75-77].

Однією з найбільш ефективних і маловитратних технологій по зниженню швидкості зносу вогнетривкої кладки є роздувка підготовленого кінцевого шлаку азотом (рис. 3.10).

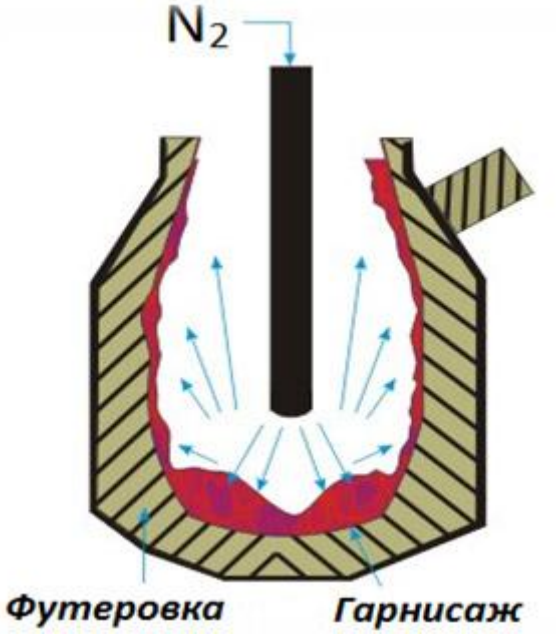


Рисунок 3.10 - Схема роздувки шлаку

Для ефективної технології роздувки шлак необхідно модифікувати спеціальними магнезіальними матеріалами, що підвищують його в'язкість і додають необхідні фізичні властивості. Введення флюсу здійснюється, як правило, до подачі азоту і / або на перших секундах роздувки, одноразово або порційно.

Вся операція роздування шлаку азотом займає не більше 3-4 хв.

Утворення гарнісажного шару на поверхні вогнетривкої футеровки конвертера відбувається за рахунок затвердіння шлакової суспензії, що утворюється при модифікації магнезіальних матеріалами кінцевого конвертерного шлаку, залишеного після випуску плавки, під час його роздування струменями азоту високого тиску.

Гарнісажне покриття, як правило «ущільнюється» від циліндричної частини до нижнього конусу, тобто найбільш зношуються зони кладки - «злив», «завалка», «цапфи». Така динаміка наочно продемонстрована за допомогою фізичного моделювання на моделі конвертера (рис. 3.11).

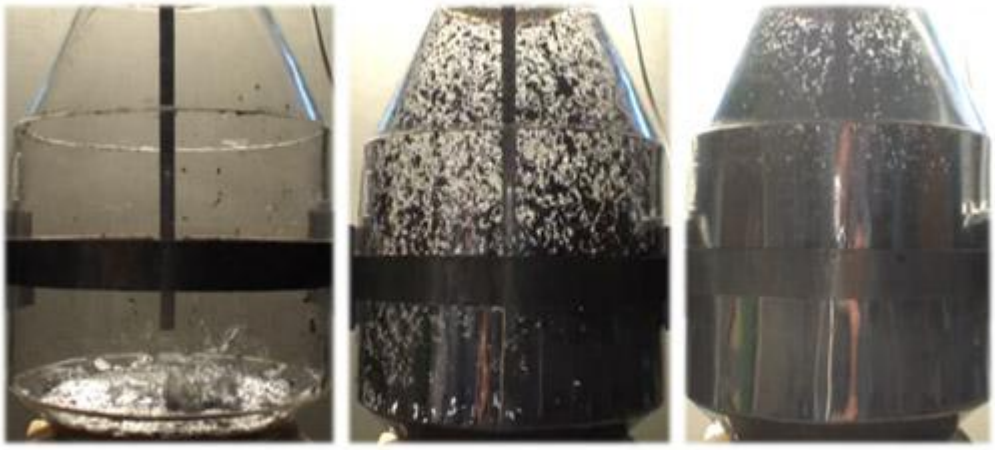


Рисунок 3.11 - Кінограма динаміки наприскування гарнісажного покриття (фізичне моделювання - сплав Вуда)

В якості шлаку повітрям високого тиску роздувався сплав Вуда.

У реальних же умовах затвердіння (втрата рухливості) шлаку і утворення гарнісажу відбувається, коли об'ємна частка кристалізованих в ньому твердих фаз переходить через кордон, необхідний для їх перколяції, утворюючи твердий каркас в обсязі шлакового розплаву [78-79].

Для закріплення утвореного гарнісажного шару обов'язкова адгезія шлакової суспензії до поверхні вогнетриву, ця адгезія визначається високотемпературним кутом змочування шлаковим розплавом робочої поверхні вогнетривкої футеровки, і залежить від хімічного складу і температури шлакового розплаву, складу і стану поверхні вогнетриву. Адгезія шлаку посилюється процесом фільтрації на кордоні шлакового розплаву і вогнетриву, який визначається змочуванням шлаковим розплавом вогнетриву, пористістю і розміром пор в поверхневому шарі вогнетриву.

На рисунку 3.12 представлений зразок вогнетривкої цегли, виконаний у формі куточка з просоченою шлаком поверхнею (імітація другої стадії зносу - інфільтрація).

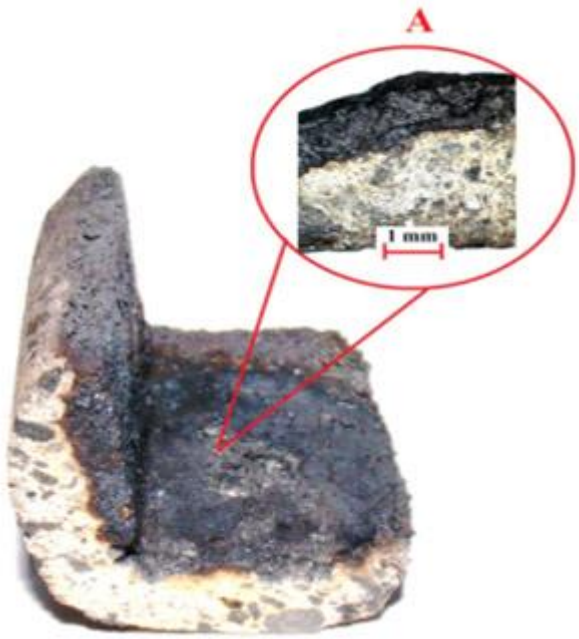


Рисунок 3.12 - Проникнення шлаку в вогнетрив - «інфільтрація»

Для розробки спеціальних магнезіальних модифікуючих матеріалів і визначення фізичних властивостей готового гарнісажного покриття використовувалася оригінальна методика (рис. 3.13).

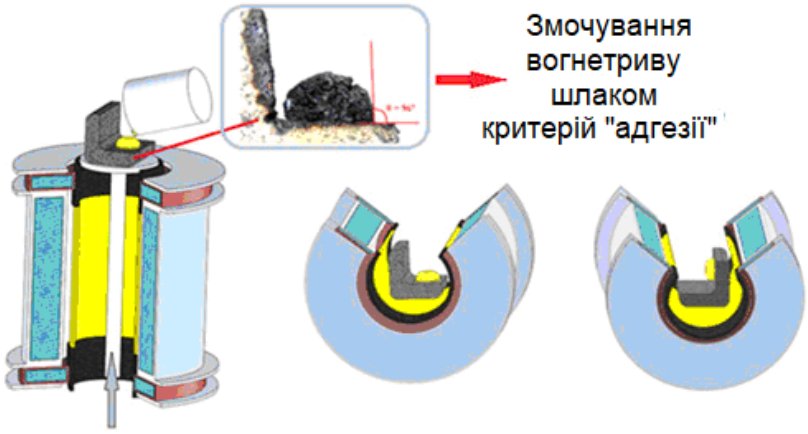


Рисунок 3.13 - Методика визначення крайового кута змочування і ступеня адгезії шлаку до вогнетривкого матеріалу

Присадка модифікуючих добавок здійснювалася на рідкий конвертерний шлак розігрітий до 1600 °С з подальшою оцінкою часу і характеру розчинення з попередніми і подальшим виміром в'язкості розплаву. Потім, на заздалегідь підготовлений (випал, шлакове просочення) зразок (куточок) нагрітий до температури футе-

ровки агрегату (1400°) розміщалася крапля рідкого модифікованого шлаку. Після чого проводилось вимірювання крайового кута змочування, як критерію адгезії.

Куточок з «лежачею» краплею містився в горизонтальну піч, де оцінювався температурний інтервал плавлення гарнісажного покриття. Для цього зразок з краплею в положенні «підкладка» нагрівався до «температури плавки», а потім перевертався на 90° в положення - «стінка» і візуально оцінювалася поведінка гарнісажу з паралельним підвищенням температури.

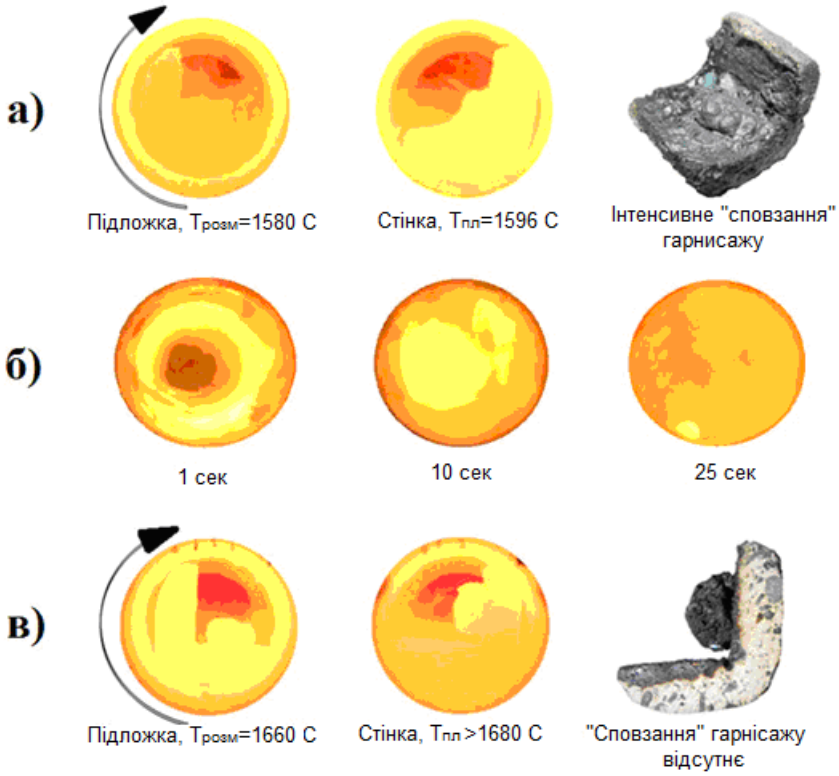


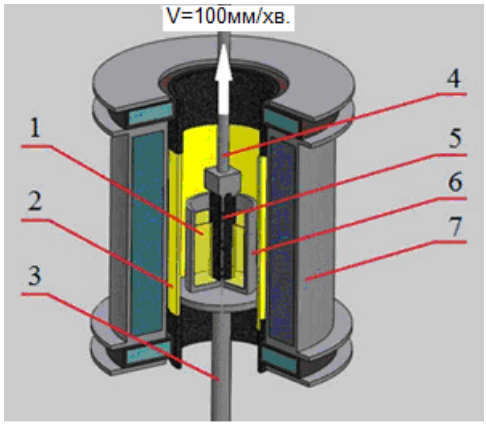
Рисунок 3.14 - Високотемпературне моделювання підготовки гарнісажного покриття

На рисунку 3.14 а), як приклад, показана низька адгезія і незадовільна термостійкість гарнісажу з немодифікованого шлаку. На рисунку 3.14 б), в) представлений характер взаємодії навішування розробленого магнезіального модифікатора марки БК-8 і висока адгезійна здатність і термостійкість гарнісажу, відповідно. Так, час розчинення флюсу становить 31 сек., з інтенсивним зпінюванням (збільшенням обсягу) шлаку, а тугоплавкість «краплі» - більш 1680 °С.

Вогнетривка футеровка стальковша схильна до цілої низки «руйнуючих» факторів, більшість з яких за своєю природою аналогічні конвертерним. Одним з ме-

тодів захисту футеровки в даному випадку є нанесення т.зв. глазурі, з підготовленого за допомогою спеціальних магнезіальних добавок, на поверхню вогнетривів в ході розливання сталі на МБЛЗ за рахунок постійного зниження рівня меніска металу і шлаку.

Гарнісажне покриття, що формується на робочому шарі футеровки стальковша вирішує як мінімум три завдання: частково блокує доступ кисню повітря до вогнетривів - уповільнює процес окислення вуглецю в період переміщення ковша по цеху без металу і під час його перебування на стенді розігріву між плавками, уповільнює процес охолодження футеровки і приймає на себе скачок температури в момент заповнення ковша металом [80]. Для оцінки ефективності магнезіальних добавок для ковшового шлаку з метою нанесення захисної глазурі на поверхню робочої футеровки ковша розроблена оригінальна методика, представлена на рисунку 3.15.



1 - шлак; 2 - нагрівач; 3 - підставка; 4 - шток;
5 - вогнетривкий зразок; 6 - тигель; 7 – піч

Рисунок 3.15 - Схематичне уявлення установки і методики
для моделювання нанесення гарнісажу на ковшові вогнетриви

Попередньо підготовлений зразок вогнетриву (100х10х10 мм) занурювався в модифікований шлак (10 хв., до рівномірного прогріву), а потім витягувався з рівномірною швидкістю = 100 мм/хв. (середня швидкість спорожнення ковша на розливання).

Якісна (візуальна) оцінка товщини і рівномірності нанесеною глазурі служила критерієм ефективності того чи іншого модифікатора. За даною методикою в лабо-

раторних умовах перевірено 3 марки модифікаторів на 7 марках вогнетривів від різних фірм виробників.

Результати лабораторних досліджень представлені на рисунок 3.16.

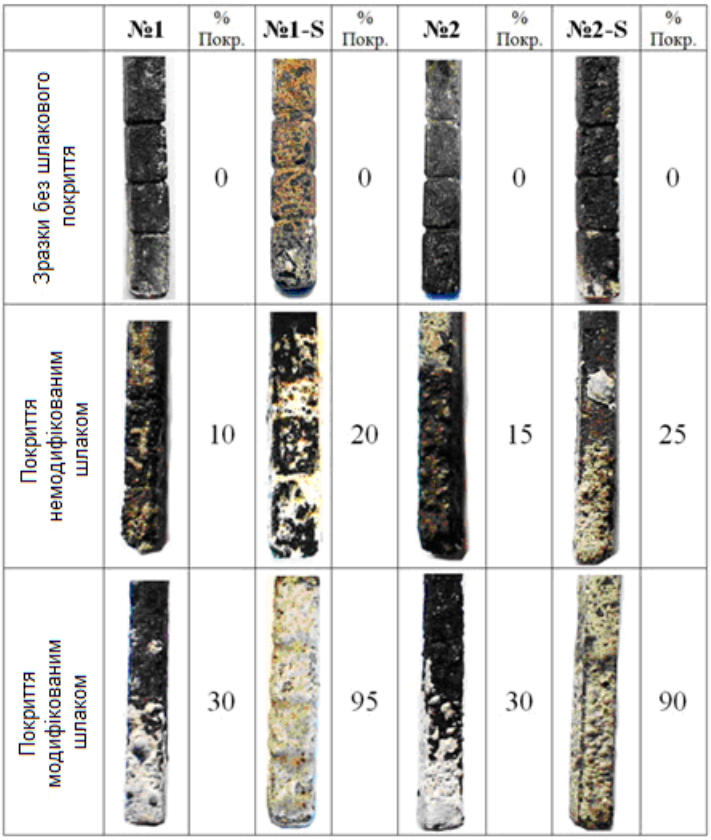


Рисунок 3.16 - Формування «глазурі» на різних вогнетривах стальковшів в залежності від фізико-хімічних властивостей шлаку

Обпалені зразки №1, №2, №1-S, №2-S спочатку піддавалися нанесенню чистого шлаку.

Той же самий шлак модифікували розробленими магнезіальних флюсами і наносили на обпалені зразки. З представлених на рисунку даних видно, що попередньо модифікований шлак забезпечує формування значно щільнішої і рівномірної глазурі на поверхні вогнетриву. Примітно, що адгезія глазурі модифікованого шлаку до периклазоалюмовуглецевого вогнетриву вище, ніж до периклазовуглецевого. Основна концепція розробленого магнезіального модифікатора «БК-4» - строго регламентований гранулометричний склад шихтових компонентів поряд з хімічним складом за основними компонентами (рис. 3.17 а).

Регламентоване співвідношення важкорозчинних і легкорозчинних компонентів, призводить до утворення значної кількості тугоплавких феритних фаз і форму-

вання міцного «скелета» в охолодженому гарнісажному покритті за рахунок «нерозчинених» фракцій - «зерен» (рис. 3.17 б).



а) б)

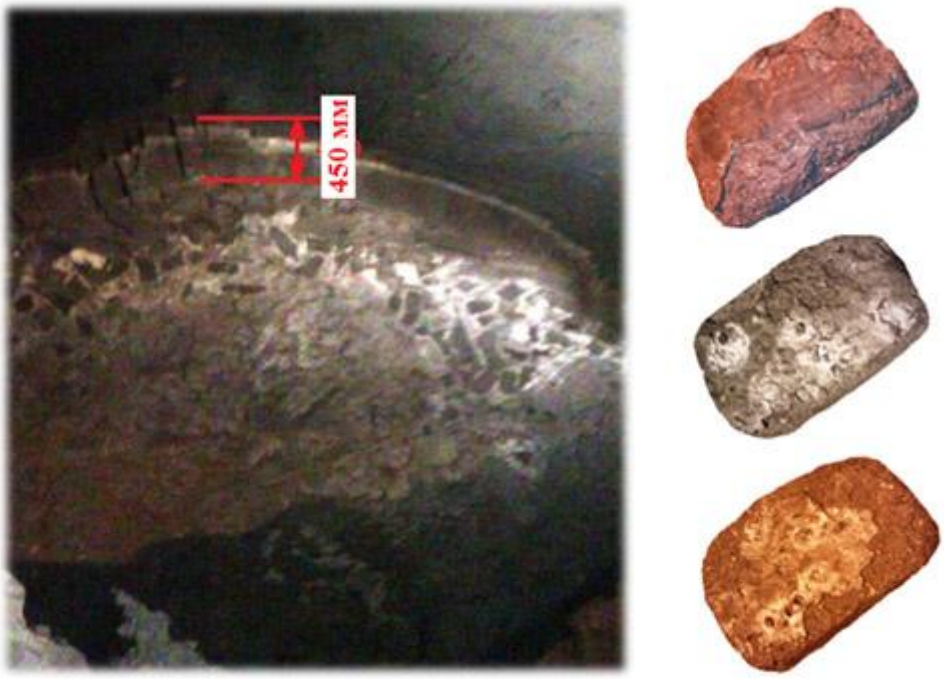
Рисунок 3.17 - Важкорозчинні фракції (2-6 мм) в брикетованому модифікаторі а) і нерозчинені відповідні «зерна» в охолодженому шлаку (гарнісажу) б)

При цьому, витрата модифікатора, необхідного для даного ефекту, коливається в межах 0,4-1,2 т/плавку в залежності від виробничих умов. Це відповідає 1,2 - 5 кг/т сталі або 0,3 - 1,2 $/т сталі.

В конвертерному цеху ПАТ «МК» Азовсталь» при експлуатації кампанії конвертера зафутерованного вогнетривами фірми Пуянг, успішно відпрацьована технологія модифікування шлаку під роздувкою і оптимізований режим і витрата присадки магнезиального модифікатора.

Так на рисунку 3.18 а) показані досить великі залишкові товщини вогнетривкої футеровки конвертера після виведення його з експлуатації і залишковий шар гарнісажу (до 10 мм) на демонтованих цеглинах (рис. 3.18 б), незважаючи на операцію «розмиття» конвертера перед зупинкою.

В умовах ПАТ «АМК» випробувана дослідно-промислова партія магнезіального модифікатора марки БК-4 українського виробництва поставки компанії «Пуянг-Україна». Флюс виготовлений на базі вітчизняної сировини регіону і в основному з вторинних матеріалів.



а) б)

Рисунок 3.18 - Залишкові товщини вогнетривкої футеровки конвертера а) і залишковий шар гарнісажу на демонтованих цеглинах б)

В умовах ККЦ ПАТ «АМК» випробування проводилися в умовах стабільної технології виплавки сталі за чинною нормативно-технічною документацією Алчевського металургійного комбінату на конвертері №1 ємністю 300 тонн.

У цей період проводилося відпрацювання технології, режиму та обсягу присадок даного модифікатора.

Якісна і кількісна оцінка гарнісажеутворення проводилася на підставі показників лазерного сканера і візуально [81].

На рисунку 3.19 представлена графічна сканограмма стану футеровки конвертера після використання дослідної партії магнезіального флюсу марки БК 4 в порівнянні з попередньою кампанією №7 по тій же стійкості.

Встановлено, що при модифікації шлаку під роздувкою азотом флюсом марки БК 4 на поверхні футеровки формувався рівномірний зносостійкий захисний шлаковий гарнісажу з «позитивною динамікою його наростання». На особливу увагу заслуговує той факт, що в разі проведення вимушених операцій додувки плавок гарнісажу не «змивався», тобто вогнетривка кладка не оголювалася. Це вказує на досить високу термо-ерозійну і корозійну стійкість гарнісажного шару.

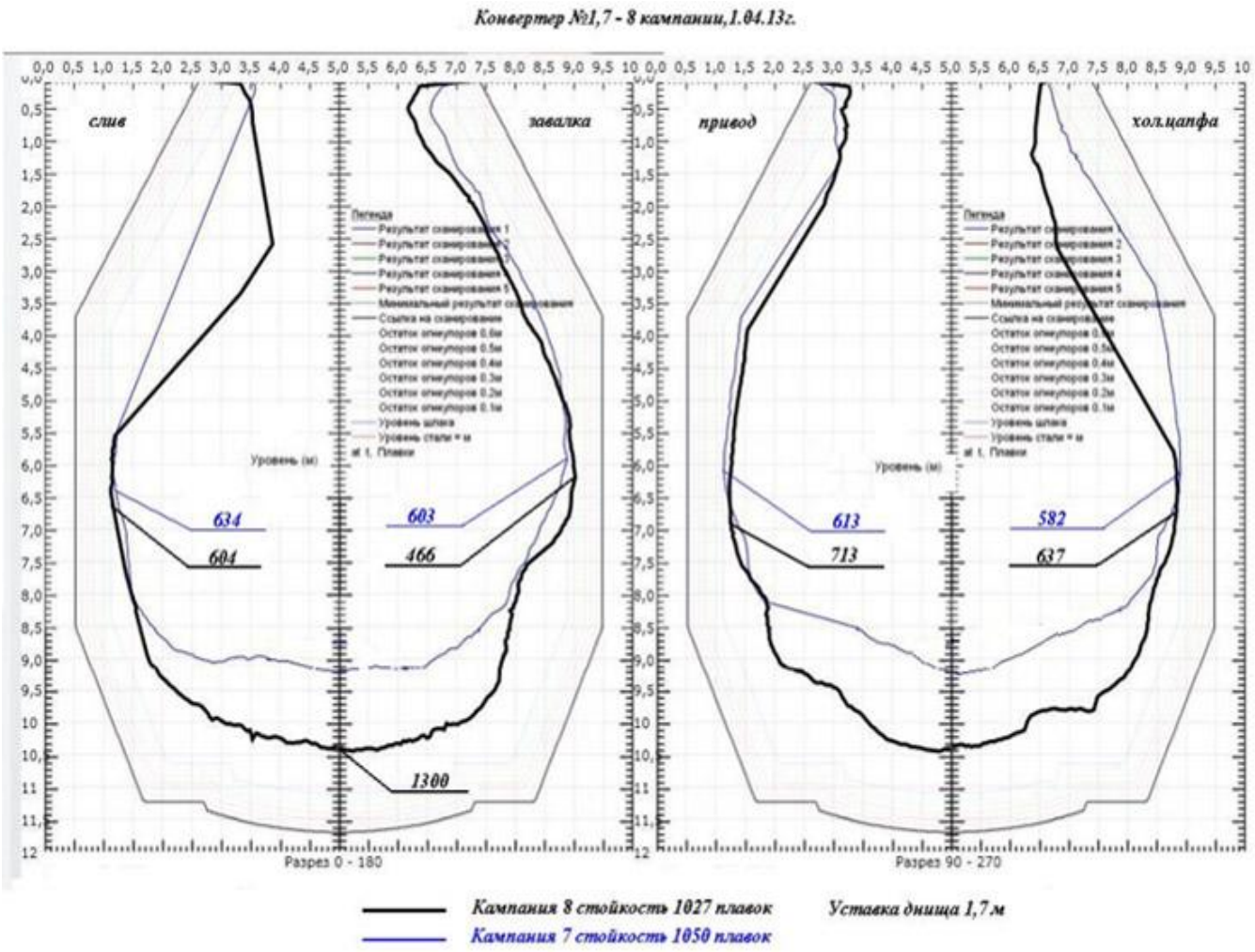


Рисунок 3.19 - Сканограмми залишкових товщин вогнетривкої футеровки конвертера (актуальна і порівняльна кампанії)

Загальна фактична витрата магнезіальних брикетів марки БК 4 за всю кампанію їх випробування склала 2,3 кг/т сталі.

В результаті проведених лабораторних і промислових досліджень створено продукт, що дозволяє ефективно захищати футерування конвертерів, на базі вторинної сировини, вироблений в безпосередній близькості від металургійних комбінатів.

Магнезійний брикетований флюс дозволяє змінювати властивості конвертерного шлаку для формування стійкого гарнісажу на футеровці конвертера. Гарнісаж створює на поверхні периклазовуглецевої цегли "вторинну футеровку".

Магнезійний брикетований флюс проводиться на базі вітчизняних підприємств з зручними схемами логістики і оперативним плануванням поставок. Так само флюс, дозволяє використовувати 100% вогнетривкого брухту відпрацьованої фу-

теровки плавильних і розливних агрегатів, що утворюється на металургійних комбінатах.

3.5 Дослідження структури периклазохромітових виробів, що застосовуються в футеровці циркуляційних вакууматорів

Вивчено залежність питомого зносу периклазохромітових виробів в залежності від їх структури. Були відібрані три види дослідних зразків вогнетривів (1...3), які відрізнялися за якісними показниками. Результати представлені в табл. 3.4 і 3.5.

Таблиця 3.4 – Якісні показники зразків

номер зразка	Масова частка, %							уявна щільність, г/см^3	Відкрита пористость, %	Межа міцності при стисканні, Н/мм^2
	MeO	Cr_2O_3	Fe_2O_3	Al_2O_3	CaO	SiO_2	домішки			
1	66,19	21,53	6,74	2,98	0,81	0,88	0,87	3,34	11,4	108,8
2	57,77	20,85	13,03	7,40	0,57	0,38	0,00	3,23	16,2	45,2
3	73,10	14,20	немає даних	немає даних	0,67	1,05	10,98	-	14,0	44,4

Таблиця 3.5 – Стійкість і питомий знос вогнетривів, з яких були відібрані зразки

номер зразка	Середня стійкість, пл.	Впускний патрубок, мм / пл.	Зливний патрубок, мм / пл.
1	102,3	1,08	0,70
2	84,6	1,79	0,75
3	54,0	3,12	0,75

З даних, представлених в табл. 3.4 і 3.5 видно, що вогнетривкі вироби, що мають міцність при стисненні не менше 70 Н/мм^2, уявна пористість не більше 13% і мінімальний вміст оксиду кремнію не більше 0,9% в умовах експлуатації циркуляційного вакууматора показують максимальну стійкість.

Також дані цих таблиць показують, що питомий знос футеровки патрубка не залежить від якісних показників вогнетривких виробів. Якісні показники вогнетривких виробів впливають на знос футеровки тільки впускного патрубка. Саме тут вогнетриви піддаються найбільш жорстким умовам служби:

- додатковому охолодженню поверхні виробів нейтральним газом в між-

плавочний період;

- значній турбулентності металу, яка викликає додаткову ерозію цегли.

Ці причини, в першу чергу, обумовлюють підвищений знос вогнетривів впускного патрубка, і саме тут важливу роль відіграє якість вогнетривких виробів.

Детальне вивчення периклазохромітових виробів було проведено. Проводилось комплексне дослідження речового складу і мікроструктури зразків магнезіальношпінелідних виробів на електронному мікроскопі Philips XL-30.

У зразку вогнетриву № 1 мікроструктура найменш зміненої зони складена зернами плавленого периклазохроміту розміром 300 ... 2400 мкм з переважанням монокристалічної будови. У міжкристалітному просторі силікати представлені монтічеллітом і мервінітом, і присутні у вигляді округлих включень в основному розміром 20…80 мкм. Периклазохроміт рівномірно насичений великими включеннями вторинного хромшпинеліду розмірами 10…30 мкм.

Тонкомолота складова складається з частинок плавленого періклазохроміту розміром 30...150 мкм. Зерна хроміту добре контактують з іншими частинками, утворюючи загальний, добре спечений каркас. Між частинками присутні силікатні (монтічелітні) плівки шириною до 10 мкм.

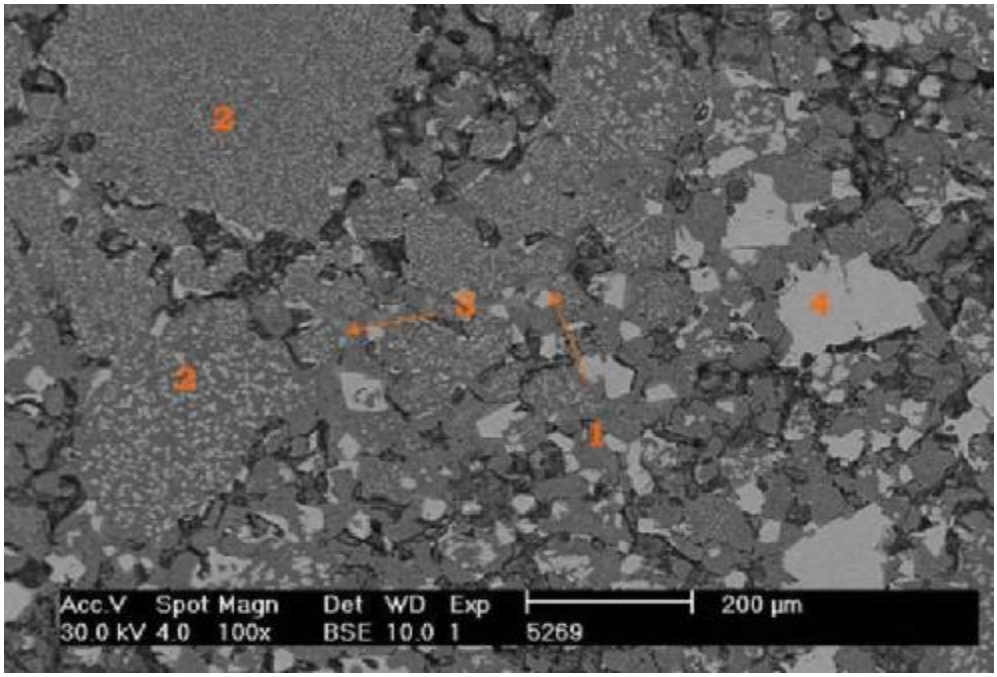
Зв'язок зерен периклазохроміту і хроміту з тонкомолотою складовою хороший, прямий.

Пори в тонкомолотої складової зразка дрібні, ізольовані або сполучені, неправильної ізометричний форми, розмірами 40…80 мкм.

В цілому зразок має дрібнопористу структуру з великою кількістю дрібних пір (рис. 3.20).

Між малозмінною і робочої зонами є зона з трохи підвищеною пористістю і практично зі структурою, характерною для малозмінної зони. Пори в цій зоні трьох видів з переважанням першого і другого виду:

- Дрібні, ізольовані, неправильної ізометричної форми, розміром до 50 мкм;
- Групові, канальні, шириною до 300 мкм (переважають до 200 мкм);
- Великі, неправильної форми, з відгалуженнями, розміром до 500 мкм.

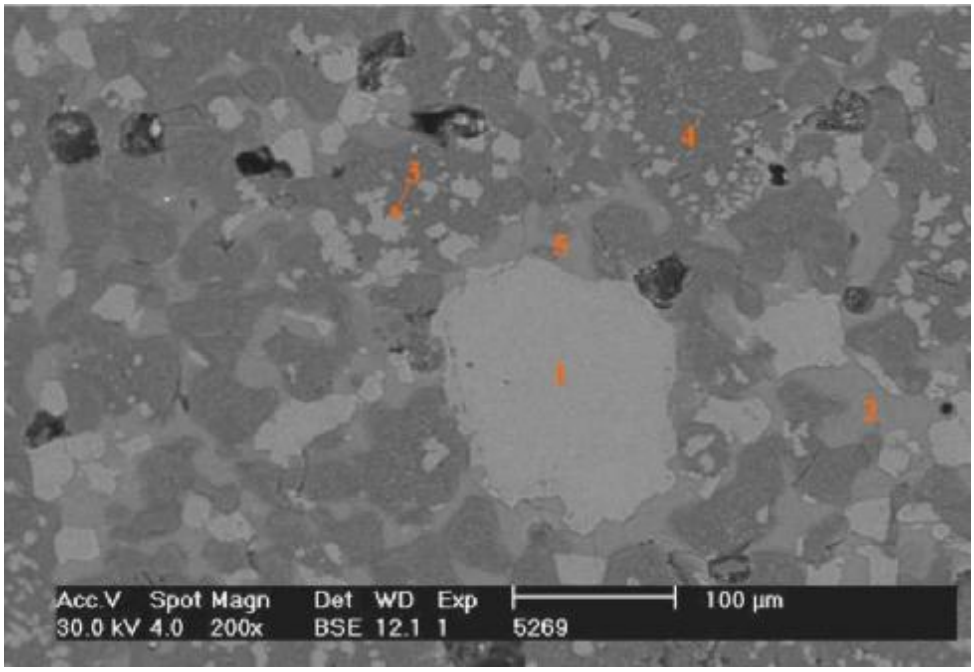


1 - хромшпінелід; 2 - периклазохроміт; 3 - монтичеліт;

4 - хроміт; темні ділянки - пори

Рисунок 3.20 – Мікроструктура найменш зміненої зони зразка № 1

Робоча зона цього зразка характеризується більш щільною мікроструктурою за рахунок заповнення пір силікатами (рис. 3.21). Пропитка по поровому простору становить 20 ... 25 мм.



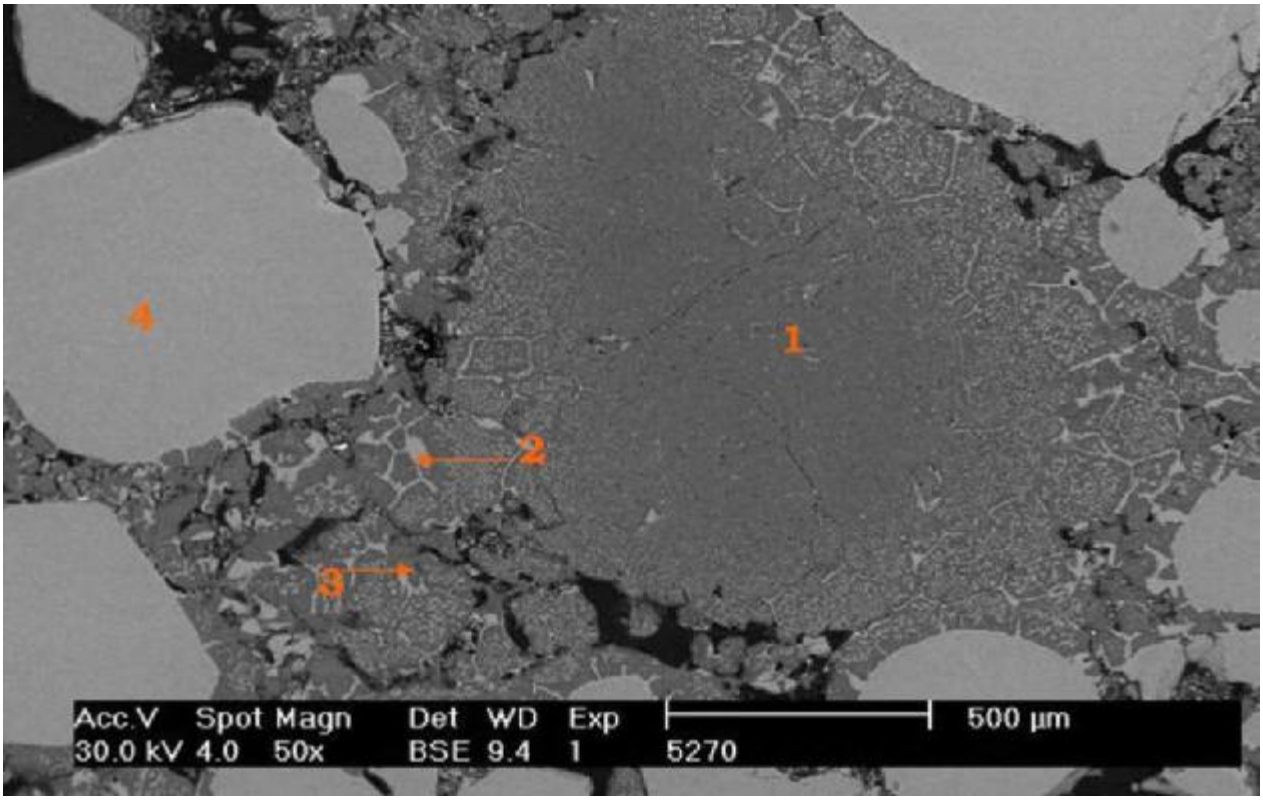
1 - хроміт; 2 - мервініт; 3 - хромшпінелід;

4 – периклазохроміт; 5 - монтичеліт; темні ділянки - пори

Рисунок 3.21 – Мікроструктура робочої зони зразка № 1

Шлакова скоринка становить 6…12 мм, в якій на відстані 1,0…2,5 мм спостерігалися дві тріщини шириною 100…400 мкм паралельні робочій поверхні. Мінеральний склад представлений в основному магнезіоферрітом з включеннями мервініту, рідше - монтічеліту.

Мікроструктура найменш зміненої зони зразка № 2 представлена зернами спеченого периклазохроміту в основному полікристалічної будови, з переважаючим розміром 400…1600 мкм. Це є основною відмінністю від мікроструктури зразка № 1. Мікроструктура тонкомолотої складової і характер її зв'язку з зернами периклазохроміту і хроміту аналогічна микроструктурі зразка № 1 (рис. 3.22).



1 - периклазохроміт; 2 - хромшпінелід;

3 - монтичеліт; 4 - хроміт; темні ділянки - пори

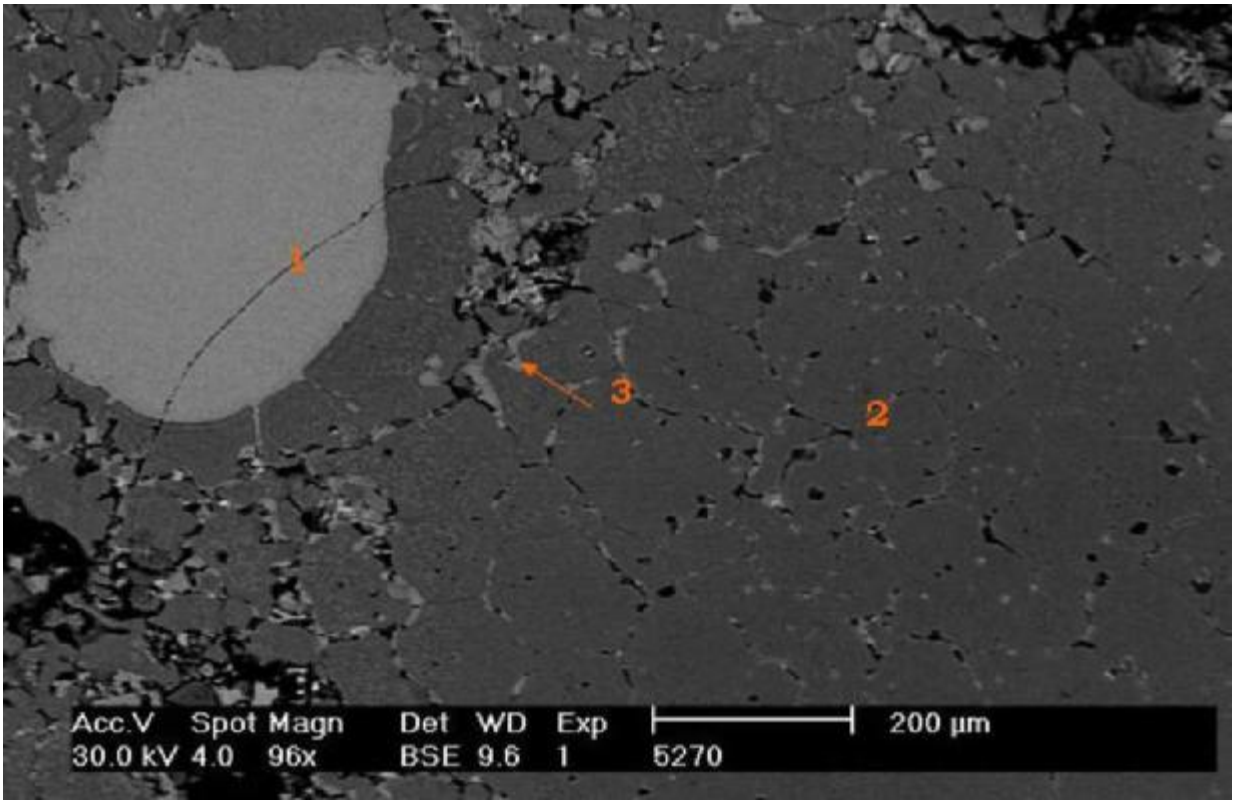
Рисунок 3.22 – Мікроструктура найменш зміненої зони зразка № 2

Пори в зразку наступних видів:

- Дрібні, ізольовані або групові, сполучені, нерівні, розмірами 80…200 мкм;
- Великі, рідкісні, неправильної форми, окремі, з відгалуженнями, розміром до 500 мкм.

Перехідна зона виділена умовно, по мікроструктурі і по мінеральному складу аналогічна незміненій зоні.

Робоча зона зразка № 2 характеризується більш потужною шлаковою скоринкою 11...17 мм, в порівнянні з шлакової скоринкою зразка № 1, і великими розмірами пір від 20…22 мкм, які заповнені силікатами, а також спіканням компонентів зернистої та тонкомолотої складових (рис. 3.23).



1 - хроміт; 2 - периклазохроміт; 3 - хромшпінелід; темні ділянки - пори

Рисунок 3.23 – Мікроструктура робочої зони в зразку № 2

Від шлакової скоринки на відстані 1,8...2,5 мм і 7.9 мм спостерігаються тріщини, ширина яких варіює від 100 до 1200 мкм.

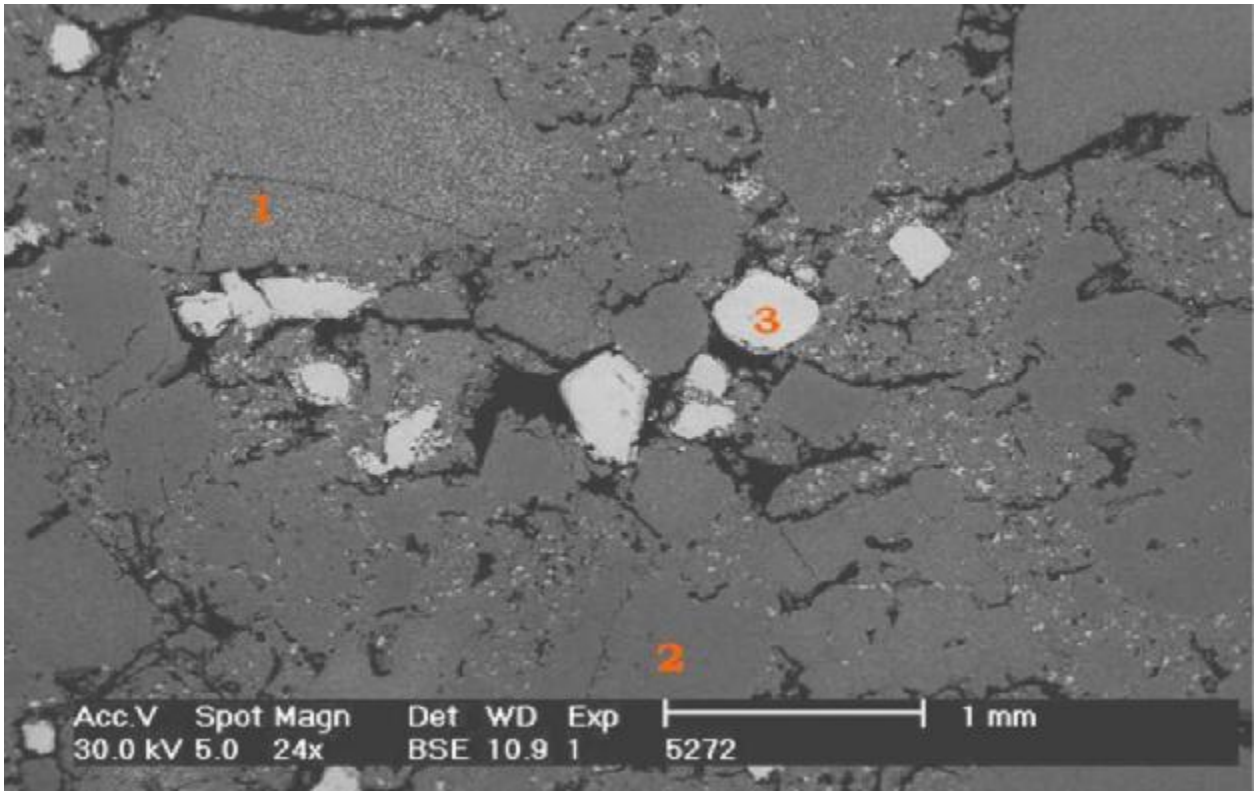
Мікроструктура зразка № 3 кардинально відрізняється від мікроструктур зразків № 1 і 2. Незважаючи на те, що вона складається з плавлених зерен периклазохроміту з переважним розміром 400…1800 мкм і розміром кристалів 200…800 мкм, в зернах периклазохроміту присутні округлі включення силікатів від 20 до 100 мкм , що трохи перевищує величину таких же включень в перших двох зразках.

Зв'язок тонкомолотої складової між собою хороший, прямо локальний, рідше - за допомогою хромшпінелідних або силікатних плівок.

Зв'язок зерен хроміту з тонкомолотою складової поганий, незадовільний або відсутній.

Зв'язок зерен периклазохроміту з частинками тонкомолотої складової хороший, прямий, мостовидний.

Поровий простір абсолютно відрізняється від зразків № 1 і 2: дрібних пір мало, великих багато (рис. 3.24).



1 - периклазохроміт; 2 - периклазохроміт; 3 - хроміт; темні ділянки - пори

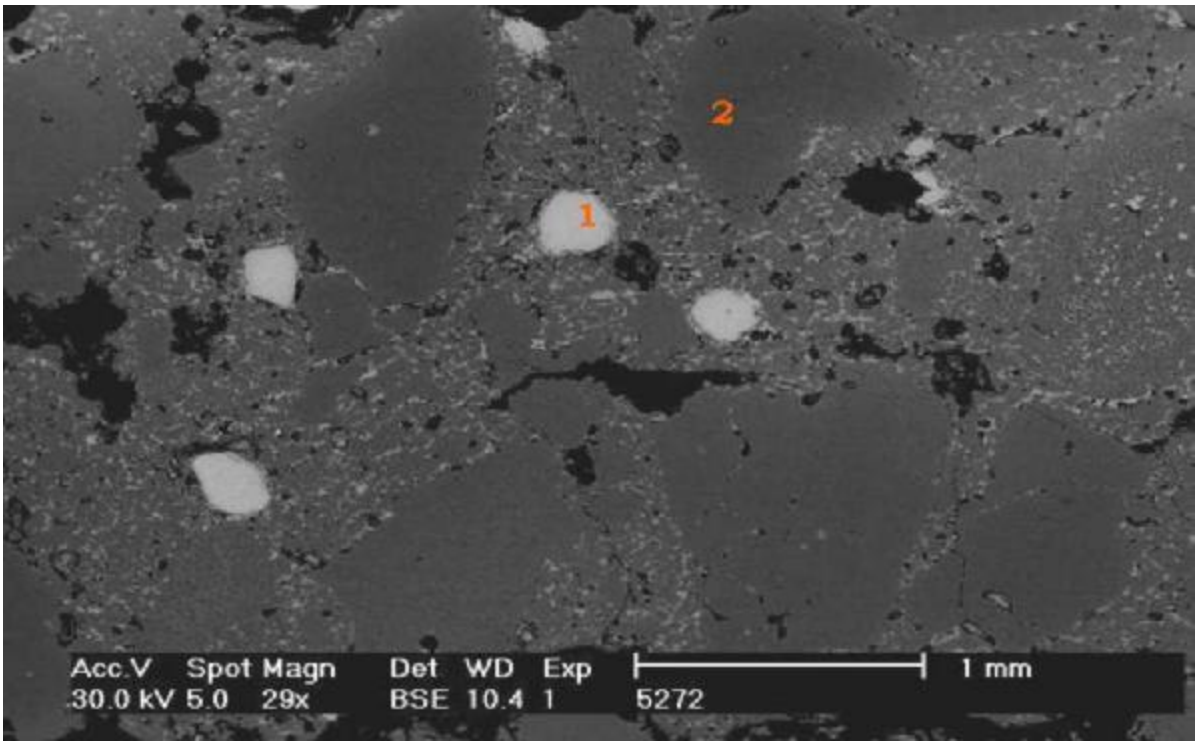
Рисунок 3.24 – Мікроструктура холодної зони зразка № 3

Пори в зразку чотирьох видів, з переважанням 3- і 4-го:

- рідкісні, дрібні, ізольовані, неправильної округлої форми, розміром до 50 мкм, переважають 10 ... 30 мкм;
- групові звиваються, сполучені, шириною до 100 мкм, переважають 20…50 мкм;
- великі, неправильні, з відгалуженнями, розміром до 1800 мкм, переважають 200…800 мкм;
- кільцеві, напівкільцеві, навколо зерен хроміту, шириною 40…200 мкм.

Робоча зона характеризується двошаровою шлаковою скоринкою потужністю

9 ... 11 мм. Перший шар складається з магнезіоферіту і ферохроміту з включеннями мервініту; другий шар, що знаходиться ближче до робочої поверхні, складається з ферохроміту і мервініту. Пори в шлаковій скоринці ізольовані, неправильної округлої форми, розміром 40…3000 мкм, заповнені силікатами. Характерним для робочої зони зразка № 3 є потужне спікання локальними ділянками. Мікроструктура неоднорідна, спостерігаються великі пори, які знижують термостійкість і механічну міцність (рис. 3.25).



1 - хроміт; 2 - периклазохроміт; темні ділянки - пори

Рисунок 3.25 – Мікроструктура робочої зони зразка № 3

За проведеними петрографічним дослідженням можна оцінити склад шихти, з якої були виготовлені периклазохромітові вироби (табл. 3.6) і мінерально-фазовий склад (табл. 3.7).

Таблиця 3.6 – Орієнтовний склад шихти для периклазохромітових виробів

№ п / п	склад шихти	Вміст, об. %		
		зразок		
		1	2	3
1	Плавлений периклазохроміт фр. 3.0 мм	59.63	-	64.65
2	Плавлений периклазохроміт фр. 2.0 мм	-	57.58	-
3	Хроміт фр. 0,5.0 мм	7-8	-	-
4	Хроміт фр. 1,0.0 мм	-	18.20	7.10
5	Спечений периклаз фр. 2.0,5 мм	3.5	-	-
6	Т/м суміш плавленого периклазу і хроміту	25.30	23.24	26.28

Таблиця 3.7 – Мінерально-фазовий склад для периклазохромітових виробів після служби в футеровці циркуляційного вакууматора

№ п / п	мінерально фазовий склад	Масова частка, %					
		зразок					
		1		2		3	
		зона					
		робоча	найменш змінена	робоча	найменш змінена	робоча	найменш змінена
1	Периклазохроміт	64.71	66,1	61.66	71.75	71.73	82.85
2	хроміт	8.10	8.10	15.20	15.20	5.8	5.8
3	хромшпінелід	7.8	7.8	6.8	6.8	3.5	3.5
4	Силікат (Монтичеліт, Мервініт, Ларніт і ін.)	12.18	2.3	3.5	2.3	6.8	3.5
5	Браунміллер	-	-	1.2	-	~ 1	> 1
6	Магнезіоферит, ферохромшпінелід	-	2.3	5.6	-	8.9	-
7	Інші (шпінелід, ванадат Са та ін.)	~ 1	> 1	~ 1	> 1	~ 1	> 1

У дослідженому зразку № 1 міститься хроміт дрібної фракції 0,15…0 мм. Всі зерна периклазохроміту в основному монокристалічної будови, з дуже великими включеннями хромшпінеліду. В середньому розмір включень 10…20 мкм, в рідкісних випадках - до 250 мкм. У тонкомолотої складової зерна хроміту добре спікаються і тісно контактують з іншими частинками. Виріб має мікропористу структуру (середній розмір пор від 40 до 80 мкм).

Зразок № 2 складається з зерен периклазохроміту, в основному полікристалічної будови, з розміром включень хромшпінеліду до 10 мкм. У тонкомолотої складової - плавлений периклазохроміт. Хроміт фракції 1 ... 0 мм, який, як і в зразку № 1, добре спечений і має хороший керамічний каркас з тонкомолотою складовою. Пори крупніше, ніж у виробі зразка № 1 (по видимому, через великі фракції хроміту), середній розмір пор 80…200 мкм. У порівнянні зі зразком № 1 у виробі зразка № 2 дрібних пір менше, великих більше.

Зразок № 3 складається в основному з монокристалічних зерен пе- риклазохроміту, з включеннями хромшпінеліду ще менших розмірів, ніж у виробі зразка № 2 і становить в середньому 1...3 мкм. Периклаз насичений хромшпінелідами нерівномірно (є зерна як з хорошим насиченням, так і з поганим). Хроміт фракції 0,5...0 мм, з частинками пов'язаний поганим незадовільним зв'язком, по видимому через

те, що при твердофазній дифузії хроміт віддає іони хрому в довколишній периклаз, який, в свою чергу, погано насичений хромшпінелідами і відчуває його недолік, в відміну від зразків № 1 і 2. Пори в зразку № 3 дуже великі, їх багато і вони в основному приурочені до зерен хроміту, а також розташовані навколо них, дрібних же пір дуже мало. Середній розмір переважаючих пір 200…450 мкм.

Таким чином, різна стійкість зразків № 1, 2 і 3 обумовлена декількома причинами:

1) виявленою різницею в мікроструктурах малозмінених зон: в зразку № 1 мікропориста, губчастоподібна будова з розмірами переважаючих пір 40…80 мкм, з дрібною фракцією хроміту, добре спеченою з периклазохромітом; в тонкомолотої складової використаний плавлений периклазохроміт;

В зразку № 2 середньопориста будова, з розмірами переважаючих пір 80 ... 200 мкм; хроміт введений в великій фракції 5.0 мм, але зпечений з тонкомолотою складовою добре, локальним зв'язком; в тонкомолотій складовой використаний плавлений периклазохроміт;

У в зразку № 3 практично немає дрібних пір, переважають великі, розмірами 200…450 мкм; в тонкомолотіфй складовій використаний спечений периклаз; як негативний фактор спостерігаються згустки - непромеса, що займають 20.30% загальної площі і складаються з керамічно незв'язаного плавленого периклазу і органічної речовини;

2) спостерігається відмінності мікроструктур в гарячих зонах:

У в зразку № 1 глибоке просочення силікатами, але приблизно 50% дрібних пір все одно залишаються незаповненими, тобто мікропориста і добре спечена будова зберігається як і в холодній зоні;

У в зразку № 2 неглибоке просочення силікатами, дуже щільно спечена будова, що забезпечує високу міцність. Великих пір практично немає, дрібні коагулюються;

У в зразку № 3 з зливного патрубка шлакова кірка відсутня - сколота, тому просочення силікатами невелике, у впускному патрубку шлакова кірка є, але просочення силікатами теж неглибоке, приблизно як у виробі 2; характерним для робочої зони вироби 3 є потужне спікання локальними зонами, тобто мікроструктура неод-

норідна, немонолітна, спостерігаються великі пори, які не підвищують термостійкість і сильно знижують механічну міцність.

З вищесказаного випливає, що вироби зі структурою як у зразка № 3, з самого початку не володіючи високою механічною міцністю, навіть при невеликих перероджженнях в мікроструктурі схильні до сколювання, і механізм зносу полягає в просочуванні виробів силікатами, якісному спіканні локальних ділянок робочої зони з утворенням великих пір і тріщин, через які відбувається сколювання окремими шарами.

У виробів зі структурою, характерною для зразків № 1 і 2, механізм зносу схожий. Вироби в зразку № 1 мають більш високу керамічну міцність, а також завдяки мікропористої будовою, не схильні до різкого тріщин і сколювання. У зразку № 2 вироби більше схильні до ерозійного і корозійного зносу, ніж в зразку № 1, внаслідок наявності більших пір і меншої кількості дрібних.

Таким чином, показано, що найбільша стійкість досягнута на виробах, в яких використовується плавлений периклазохроміт з великим розміром кристалів, рівномірним розподілом хромшпінелиду і додатково зміцненими добавкою тонкої фракції плавленого периклазохроміту. Високо обпалені вироби з прямим зв'язком між периклазом і хромітом, маючи менший розмір кристалів спеченого периклазу, показують меншу стійкість. Ще більш низьку стійкість показують вироби, де недостатній контакт між зернами хроміту і периклазу, і структура вогнетриву неоднорідна. Вироби, що мають міцність при стисненні не менше 70 Н/мм^2, що здається пористість не більше 13% і вміст оксиду кремнію не більше 0,9% в умовах експлуатації циркуляційних вакууматорів показують максимальну стійкість.

При використанні вогнетривких виробів із запропонованими параметрами на циркуляційних вакууматорах збільшився час експлуатації з 1355 до 1545 хв. вакуумування, що відповідає 88 і 100 плавок відповідно.

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

окремих 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 відкритих 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 називається 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, підсмоктування 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. Основні напрями підвищення стійкості футеровок конвертерів полягають у використанні периклазовуглецевих, периклазовапнякових і вапняковопериклазових вогнетривів системи MgO-CaO-C з добавками антиоксидантів, застосуванні факельного торкретування і вапняквмісних торкрет-мас.

2. Поряд з широким застосуванням периклазовуглецевих виробів в електросталеплавильних печах починають використовувати периклазовапнякові вироби. Так, застосування периклазовапнякових виробів протягом двох років в електросталеплавильних печах, що виплавляють нержавіючу сталь, дозволило підвищити їх стійкість в 1,4 рази в порівнянні з периклазохромітовими виробами.

3. Визначені фізико-хімічні властивості виробів, фазовий речовинний і зерновий склади, мікроструктура і пориста структура виробів, а також оцінена стійкість виробів сталерозливних ковшів в умовах служби киснево-конвертерного цеху.

4. Використання для кладки робочого шару футеровки кисневих конвертерів периклазовуглецевих, вапняковопериклазовуглецевих вогнетривів, застосування одноокатної схеми футерування робочого шару, використання клейових композицій при набору футерування, оптимізація температурного і шлакового режимів плавки, догляд за футеровкою в процесі її експлуатації (підварки, смолоскипне торкретування, роздування шлаку попередньої плавки) дозволяє різко, до 3000-4000 плавок, підвищити кампанію кисневих конвертерів по футеровці.

5. В різних зонах футерування конвертера використовуються різні за якістю та складом вироби (т.зв. диференційована кладка), що, в кінцевому рахунку, призводить до відносно рівномірному зносу футеровки.

6. Топографування поверхні футеровки конвертера з використанням сканера дозволяє виявити розташування зон підвищеного зносу вогнетривкої кладки і отримати достовірні дані про поточний профілі робочого простору в різні періоди кампанії агрегату.

7. Комплексний аналіз зі спільним використанням інтегрального показника динаміки відхилення внутрішньої топографії футерування конвертера від необхідної і результатів сканування робочого простору дозволить:

- запобігти виникненню аварійних ситуацій при експлуатації агрегату;
- підтримувати необхідні параметри топографії внутрішньої поверхні футеровки по ходу кампанії з обґрунтуванням раціональних способів ремонту.
- скоротити простої агрегату і питому витрата дорогих магнезіальних матеріалів і флюсів.

8. Однією з найбільш ефективних і маловитратних технологій по зниженню швидкості зносу вогнетривкої кладки є роздувка підготовленого кінцевого шлаку азотом. В результаті проведених лабораторних і промислових досліджень створено продукт, що дозволяє ефективно захищати футерування конвертерів, на базі вторинної сировини, вироблений в безпосередній близькості від металургійних комбінатів. Магнезійний брикетований флюс дозволяє змінювати властивості конвертерного шлаку для формування стійкого гарнісажу на футеровці конвертера. Гарнісаж створює на поверхні периклазовуглецевої цегли "вторинну футеровку".

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Hart R.L. Огнеупоры для электропечей. *Brick and Clay Rec.* 1983. V. 182. № 1. P. 40.

2. Ilattori Moioo Улучшенная доломитомагнезиальная футеровка. *Тайкабуцу Рефракторис*. 1991. V. 43. №8. P. 419—420.

3. Ямагани Т. Результаты использования материалов для покрытий промежуточных ковшей в системе MgO — CaO. *Тайкабуцу Рефракторис*. 1987. V. 39. №11. P. 643.

4. Provost G. Критерии выбора огнеупорных материалов для футеровки сталеразливочных ковшей. *Rev. Met.* 1987. V. 84. №2. P. 109—122.

5. Klein W., Münchberg W. Огнеупорные футеровки разливочных ковшей, применяемых во вторичной металлургии. *Интеркерам*. 1991. V. 40. №2. P. 89—93.

6. Piatkowski W., Kloska A. Универсальные ковшевые огнеупоры. *Mater. Ogniotrwale*. 1978. T. 30. №6. - C. 161-164.

7. Семба К Современные тенденции разработки огнеупоров для производства стали. *J. Iron and Steel Inst. Jap*. 1982. V. 68. №13. P. 1706—1712.

8. Моримо Т., Накамуро Т. Применение магнезиальноуглеродистых огнеупоров для футеровки миксерного ковша. *Тайкабуцу Рефракторис*. 1981. V. 33. № 286. P. 623-625.

9. Mitsuaki I., T. Yamamoto, K. Hirota Development and Use of Ultra-Low MgO – C NanoTech Refractories. *Journal of the Technical Association of Refractories, Japan.* 2006. № 3. C. 238.

10. Shibata T., K. Yamamoto, C. Tashiro Free water in castable and its Electrical Conductivity. *Stahl und Eisen.* 1996. Oktober. P. 192–195.

11. Hogan W. The steel mill of the next centure. *Steel Technology International.*1996-1997. P. 13–16.

12. Ramana M. V. Magnesia-alumina spinels in action. Industrial Minerals. 2006. № 1. C. 51–51.

13. Mills K., Y. Su, A. Fox, Z. Li, R. Thackray, H. Tsai Areview of slag splashing. *ISIJ International.* Vol. 45 (2005). № 5. P. 619–633.

14. Suto M., Y. Kawata Wear of MgO bricks used for RH degasser. *Taikabutsu-Refractories.* 2004. № 3. P. 125.

15. Wohmeyer G., Elorrza-Ricard T., Joilly R. The Impact of Syntehetic Slags on Steel Ladle Refractory Life. *51rd International Colloquium on Refractories*. 2008. Aachen, Germany, 15-16 October. 2008. pp. 80-83.

16. H. Jourbet: Refractory. Proc. 6th Int. Conf. on Molten Salts, Fluxes and Slags, Royal Inst. of Tech., Stockholm, and Helsinki Univ. of Tech., Helsinki, 2000..

17. Matti JL, Timo MJ, Physical Model Study of Selective Slag Splashing in the BOF. *ISIJ International*. 2002. Vol. 42. No. 11. pp. 1219-1224.

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

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

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

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

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

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

24. 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).

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

26. 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)).

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

28. 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 669.04:666.762

Новосельський Олександр Валентинович
магістрант, 1 курс, кафедра 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

УДОСКОНАЛЕННЯ ЗАСТОСОВУВАННЯ ПЕРИКЛАЗОВИХ ВОГНЕТРИВІВ У МЕТАЛУРГІЙНИХ АГРЕГАТАХ

Актуальність. В даний час частка витрат на вогнетриви для агрегатів ковшової обробки сталі може досягати 1,5 % собівартості металу навіть без урахування витрат на ремонти і втрати при простоях виведених на ремонт агрегатів. Тому підвищення стійкості футеровки, що визначає міжремонтний ресурс агрегатів – одна з найважливіших науково-технічних завдань.

Зниження питомих витрат за рахунок зменшення вартості вогнетривких виробів визнано недоцільним, оскільки зумовлює споживання вогнетривів зниженого якості і зниження надійності роботи агрегатів. Практика показала необхідність більш складного, комплексного підходу до проблеми стійкості вогнетривів – оптимізації умов їх експлуатації і раціональних конструктивних рішень. У той же час, деякі шляхи вирішення даної проблеми зустрічають певні труднощі. Використання диференційованого футерування на агрегатах ускладнює завдання оптимізації технологічного режиму, оскільки ковшовий шлак взаємодіє з різними типами вогнетривів по ходу обробки і розливання сталі.

Шлак діє як негативний вплив на футеровку, так і позитивний – через можливість утворення, при певних умовах, захисного гарнісажу. Завдання ускладнюється ще більше з урахуванням основної технологічної функції шлаку – рафінування металу і відповідним вимогами до його складу і властивостей.

З іншого боку, ефективність заходів щодо поліпшення умов експлуатації вогнетривів на практиці обмежена суто технічними факторами. Найчастіше, в футеровці є зони підвищеного зносу, інтенсифікованого, наприклад, перепадами температур або особливо високими швидкостями

руху розплавів, причому, саме ці зони визначають стійкість всієї конструкції в цілому.

Без застосування конструктивних рішень, що вирівнюють знос вогнетривів по всій футерівці агрегату, коригування шлакового режиму буде малоефективною, оскільки вона в меншій мірі торкнеться зони інтенсивного зносу.

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

Мета. Аналіз умови експлуатації периклазової футеровки металургійних агрегатів, дослідження механізму зносу футеровки агрегатів і розробка технології збільшення її стійкості.

Основний текст. Для кладки склепінь і стін електросталеплавильних печей застосовують обпалені периклазохромітові і хромітопериклазові вироби. Укоси і подини електропечей викладають з обпалених периклазових виробів.

Ці вироби мають досить високі термомеханічні властивості: низьку пористість, велику міцність і термостійкість. При цьому чіткої залежності між стійкістю футеровок електросталеплавильних печей і їх тоннажем не існує, що обумовлено різними умовами служби вогнетривких виробів.

Схема кладки футеровок електросталеплавильних печей з ексцентричним (еркерним) донним випуском сталі наведена на рис. 1, 2.

Основним напрямком підвищення стійкості футеровок стін і склепіння електросталеплавильних печей є їх водяне охолодження, застосування периклазовуглецевих виробів і торкретування.

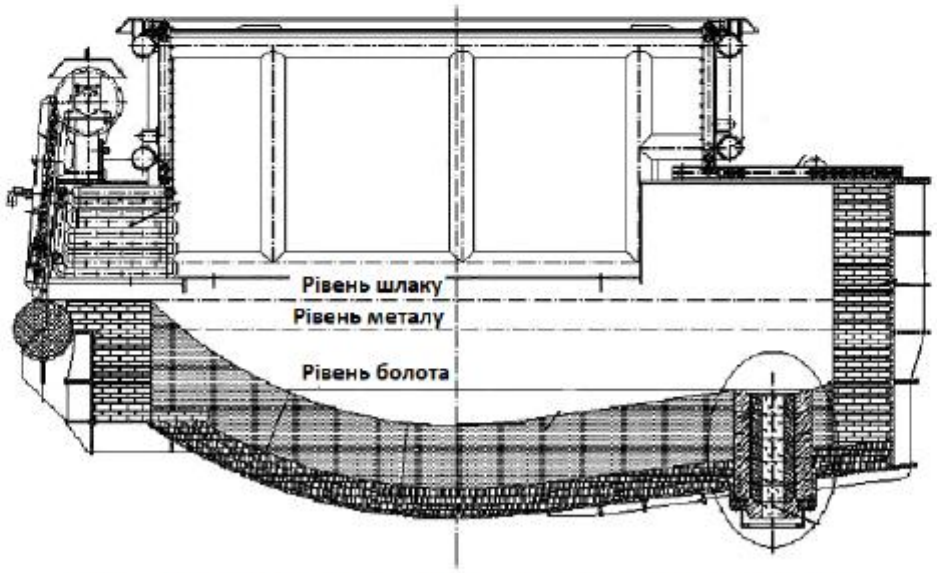


Рис. 1. Схема кладки електросталеплавильних печей

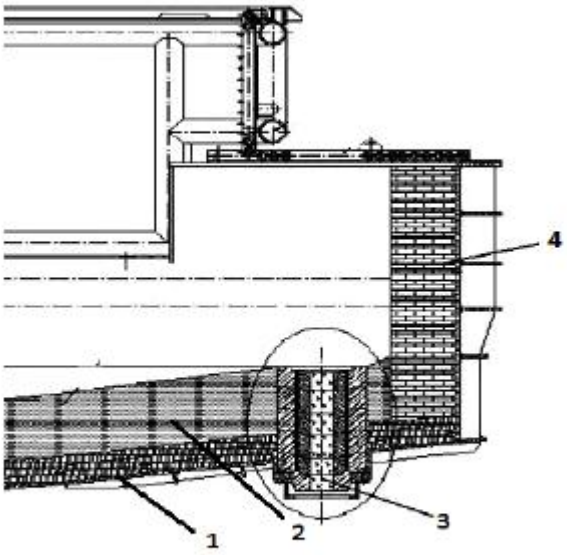


Рис. 2. Донний випуск сталі з печі:
1 – периклазові вироби марки ПУ (ПО) – 91 або 89; 2 – периклазовий порошок марок ППЕ-88, ППЕК-87; 3 – гніздові блоки марки ПГРБС;
4 – периклазовуглецеві вироби ПУПЕ, ПУЕ-116

Застосування водоохолоджуваних панелей дозволило на 75 % скоротити витрату вогнетривів в стінах електропечей і на 85 % – в їх склепіннях.

Великий інтерес представляють периклазовуглецеві вироби, стійкість яких в 1,5–3 рази вище стійкості зазвичай застосованих вогнетривів. Вироби мають низьку пористість. Властивості периклазовуглецевих виробів, що застосовуються в стінах електропечей, такі: 63–93 % MgO; 6–32 % С; $\sigma_{сж}$ = 20–80 МПа; $П_{отк}$ = 3–5 %; $\rho_{уяв}$ = 2,70–3,00 г/см³; модуль пружності при 1400 °С = 3–5 МПа.

Важливою властивістю периклазовуглецевих виробів є їх теплопровідність, яка у них в 3–4 рази вище, ніж у обпалених магнезіальних вогнетривів. Так, звичайні обпалені магнезіальні вогнетриви мають при 1000–1200 °С коефіцієнт теплопровідності 2,5–3,5 Вт/(м·К), а периклазовуглецеві – 10–11 Вт/(м·К).

Підвищення теплопровідності периклазовуглецевих виробів пов'язано з введенням в їх склад вуглецю. Тому в період служби в футеровці стін електросталеплавильних печей з водяним охолодженням на поверхні периклазовуглецевих виробів утворюється тонка шлакова зона, а глибинних змін не відбувається. Добавка плавленого периклазу в периклазовуглецеві вироби зменшує глибину проникнення шлаку і товщину зневуглецьованого шару.

У стінах 100-т електросталеплавильних печей з водоохолоджуваними панелями периклазовуглецеві вироби марки ПУЕП-116, якими викладали стіни від рівня металу до панелей, мали стійкість вище в 2–2,5 рази в порівнянні з ПХС-виробами. Клеєні блоки з периклазовуглецевих виробів мали таку ж стійкість, як і штучні вироби цього виду.

У склепіннях 100-т електросталеплавильних печей периклазовуглецеві вироби марки ПУЕП-116 мали стійкість на 25–50 % вище, ніж ПХС-вироби.

Механізм зносу в стінах периклазовуглецевих виробів полягає в їх шлакороз'єданні під впливом електросталеплавильних шлаків і в зниженні їх магнітної сприйнятливості. Знос периклазовуглецевих виробів включає три стадії: 1) формування зневуглецьованої зони внаслідок окислення графіту та інших вуглецевмісних речовин; 2) капілярне просочення зневуглецьованої зони розплавленими реагентами плавки; 3) хімічну взаємодію реагентів плавки з периклазом з утворенням легкоплавких з'єднань і поверхневе оплавлення робочих зон.

Подальше підвищення зносостійкості периклазовуглецевих виробів доцільно здійснювати шляхом пасивації графіту, що виключає його запилювання і різко зменшує ступінь вигоряння вуглецю.

Для скорочення витрат вогнетривів периклазовуглецеві вироби після служби в склепіннях і стінах електросталеплавильних печей повністю використовують повторно: частина виробів – для кладки стін, а уламки виробів – для подварки стін в суміші з заправним периклазовим порошком з добавкою рідкого скла. Безвідходна технологія застосування периклазовуглецевих виробів дозволяє повністю використовувати вогнетриви, підвищити стійкість стін і в підсумку зменшити їх простої на ремонтах.

Поряд з широким застосуванням периклазовуглецевих виробів в електросталеплавильних печах починають використовувати периклазовапнякові вироби. Так, застосування периклазовапнякових виробів протягом двох років в електросталеплавильних печах, що виплавляють нержавіючу сталь, дозволило підвищити їх стійкість в 1,4 рази в порівнянні з периклазохромітовими виробами.

Висновки. Основні напрями підвищення стійкості футеровок конвертерів полягають у використанні периклазовуглецевих, периклазовапнякових і вапняковопериклазових вогнетривів системи MgO-CaO-C з добавками антиоксидантів, застосуванні факельного торкретування і вапняквмісних торкрет-мас.

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.