

Металургії

(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота / проект

другий (магістерський)

(рівень вищої освіти)

на тему Удосконалення технології виробництва
вогнетривких бетонів для монолітної футеровки
теплових агрегатів

Виконав: студент 2 курсу, групи МЕТ-18-1М

спеціальності 136 Металургія

(код і назва спеціальності)

освітньої програми металургія горних металів

(код і назва освітньої програми)

спеціалізації _____

(код і назва спеціалізації)

Кудревуєва О.М.

(ініціали та прізвище)

Керівник к.т.н., доц. Харченко О.В.

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

Рецензент д.т.н., проф. Терновий Ю.Ф.

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

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет металургії
Кафедра металургії
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 [підпис]
« 10 » 01 20 20 року

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ/ПРОЕКТ СТУДЕНТОВІ (СТУДЕНТЦІ)

Кудрявцевої Ольги Михайлівни
(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи (проекту) Удосконалення технології виробництва
вогнетривких бетонів для футеровки теплових агрегатів

керівник роботи Харченко О.В. доц., к.т.н.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ЗНУ від « 10 » 09 20 19 року № 1541-С

2 Строк подання студентом роботи 10.01.2020

3 Вихідні дані до роботи науково-технічна література, техноло-
гічні інструкції та інші інформаційні джерела

4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Резюме, вступ, загальна частина, експериментальна
частина, охорона праці, висновки, список використаних
джерел

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

1. Актуальність проблеми, мета та завдання. 2. Графік залежності екологічного впливу
матеріалів. 3. Індекс порівняння загальної ваги при флюїдуванні. 4. Схема технології
вироблення сухої бетонної суміші. 5. Співвідношення між кількістю футеровки та кількістю
кільку МВЛ. 6. Аналіз процесу ерозії. 7. Аналіз впливу температури на властивості
аналізу. 8. Класифікація суміші, властивості суміші. 9. Аналіз складу суміші.
10. Результати лабораторного аналізу. 11. Висновки

6 Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ 1.	к.т.н., доц. Харченко О.В.	02.09.19	16.09.19
Розділ 2.	к.т.н., доц. Харченко О.В.	17.09.19	01.10.19
Розділ 3	к.т.н., доц. Харченко О.В.	01.10.19	29.11.19
Розділ 4	к.т.н., доц. Харченко О.В.	29.11.19	12.12.19
Розділ 5	к.т.н., доц. Харченко О.В.	12.12.19	23.12.19

7 Дата видачі завдання 02.09.2019

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Збір матеріалу майстерської роботи	10.09.19	
2.	Групування та аналіз зібраного матеріалу	01.10.19	
3.	Виконання загальної частини	29.11.19	
4.	Проведення експериментів	29.11.19	
5.	Виконання спеціальної частини	12.12.19	
6.	Виконання розділу охорона праці	23.12.19	
7.	Перевірка роботи консультантами	27.12.19	
8.	Підписання рекомендаційної записки	10.01.20	
9.	Захист майстерської роботи	17.01.20	

Студент О. Кудрець Кудрець О.М.
(ініціали та прізвище)

Керівник роботи (проекту) [підпис] Харченко О.В.
(підпис) (ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер [підпис] Башлій С.В.
(підпис) (ініціали та прізвище)

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ТА ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ ВОГНЕТРИВКИХ БЕТОНІВ.....	8
1.1 Характеристика вогнетривких бетонів.....	9
1.2 Види вогнетривких бетонів.....	15
1.3 Класифікація магнезіальних бетонів.....	17
1.4 Основні тенденції розвитку ринку вогнетривких матеріалів...	24
1.5 Утилізація відпрацьованих вогнетривких матеріалів.....	31
1.6 Аналіз сучасного стану методів отримання монолітної футеровки теплових агрегатів	36
1.7 Висновки.....	40
2 ОСНОВИ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА ВОГНЕТРИВКИХ БЕТОНІВ.....	41
2.1 Вибір складів і технології виготовлення вогнетривких бетонів.....	45
2.2 Дозування і змішування вихідних компонентів.....	46
2.3 Укладання і ущільнення бетонної маси.....	47
2.4 Твердіння бетону.....	50
2.5 Упаковка, зберігання і транспортування.....	50
2.6 Технологія виробництва магнезіального бетону на основі плавленого периклазу.....	51
2.7 Технологічна лінія виробництва бетонних сумішей.....	53
2.8 Висновки.....	56
3 РОЗРАХУНОК МАТЕРІАЛЬНО-ВИРОБНИЧОГО ПОТОКУ.....	57
3.1 Режим роботи підприємства.....	57
3.2 Визначення витрати компонентів бетону.....	59
3.3 Визначення усереднено-умовного складу бетону.....	62
3.3 Розрахунок матеріального потоку.....	63

3.4	Проектування бетонозмішувального цеху.....	65
3.4.1	Проектування складу цементу.....	66
3.4.2	Проектування складу заповнювачів.....	67
3.4.3	Розрахунок бетонозмішувального вузлу (БЗВ).....	69
3.4.4	Розрахунок витратних бункерів.....	71
3.4.5	Вибір дозаторів.....	72
3.5	Висновки.....	73
4	ВДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА МАГНЕЗІАЛЬНОГО БЕТОНУ ДЛЯ МОНОЛІТНОЇ ФУТЕРОВКИ ПРОМІЖНИХ КОВШІВ МБЛЗ.....	74
4.1	Футеровка проміжних ковшів МБЛЗ.....	74
4.2	Дослідження процесу формування магnezіального бетону.....	76
4.2.1	Дослідження процесу гідратації периклазового порошку.....	77
4.2.2	Дослідження властивостей периклазового бетону на високоглиноземистому цементі.....	82
4.2.3	Дослідження властивостей низькоцементного периклазового бетону з додаванням мікрокремнезему.....	86
4.3	Висновки.....	94
5	УТВОРЕННЯ ШКІДЛИВИХ РЕЧОВИН ТА ШЛЯХИ ЗМЕНШЕННЯ ЗАБРУДНЕННЯ ДОВКІЛЛЯ ПІД ЧАС ВИКОНАННЯ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЇ ВОГNETРИВКИХ МАТЕРІАЛІВ І ВИРОБІВ.....	96
5.1	Зниження викидів при видобутку та переробки мінеральної сировини.....	98
5.2	Обезпилювання газів, що відходять в вогнетривких цехах.....	102
5.3	Висновки.....	106
	ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	107
	ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ.....	109

ВСТУП

Актуальність проблеми. Інтенсивний розвиток науки і техніки, впровадження нових виробничих процесів в металургії вимагають створення високоякісних вогнетривких матеріалів, до яких пред'являються підвищені вимоги. Для забезпечення працездатності футерування проміжних ковшів МНЛЗ недостатньо добитися лише підвищення механічної міцності магnezіальних вогнетривів. Але недоліком магnezіальних бетонів є схильність цих матеріалів до гідратації як при контакті з водою, так і з водяною парою, що призводить до їхнього розтріскування та зниження механічної міцності бетону при твердінні та наступній термообробці. Тому дослідження шляхів пригнічення процесів гідратації оксиду магнію є актуальною проблемою. Необхідно, щоб магnezіальні бетони відповідали ряду вимог, що визначають критерії працездатності в процесі тривалої експлуатації, а, отже, впливають на техніко-економічні показники високотемпературних процесів.

Мета роботи: дослідження впливу добавок високоглиноземистого цементу і мікрокремнезему на реологічні властивості і процеси твердіння периклазового бетону та оптимізування хімічного складу бетонних сумішей.

Для досягнення означеної мети вирішувалися наступні задачі:

1. Обґрунтувати область визначення ступеня гідратації магnezіальних бетонних сумішей з певним співвідношенням складових.
2. Дослідження впливу додавання високоглиноземистого цементу до периклазового бетону шляхом визначення індексу розтікання бетону та механічної міцності.
3. Проаналізувати зміну показників властивостей бетону за рахунок різного відсоткового складу добавки мікрокремнезему до складу шихти.

Об'єкт дослідження: периклазовий бетон, що містить в якості заповнювача спечений периклаз марки DTMF 97 виробництва ООО

«Магнезит» (Росія) та в'яжуче у вигляді високоглиноземистого цементу марки СА-270 и диспергуючі добавки марок М-ADS і М-ADW виробництва компанії Almatris (Німеччина) і добавки мікрокремнезему.

Предмет досліджень: вдосконалення складу периклазового бетону та технології його виготовлення для подальшого ефективного його використання як робочого шару проміжних ковшів МБЛЗ.

Методи досліджень: структуру зразків бетону та окремих його складових визначали за допомогою оптичної та растрової мікроскопії, фазовий склад зразків бетону визначали за допомогою рентгенофазового аналізу; вологість, відкриту пористість, уявну щільність, а також межу міцності зразків при стисканні – за відповідними стандартами для визначення властивостей бетонів.

Наукова новизна: вивчено вплив різного вмісту мікрокремнезему на властивості периклазового бетону. Встановлено оптимальний вміст мікрокремнезему. Порівняні властивості бетонів з додаванням мікрокремнезему та високоглиномистого цементу. Знайдено, що бетони з додаванням мікрокремнезему мають кращі властивості ніж у разі використання високоглиноземистого цементу.

Практичне значення: отримані результати можуть бути використані для виготовлення периклазових бетонів більш високої якості, що дозволяє використовувати їх у важких умовах експлуатації, таких як робочий шар футеровки в проміжних ковшах МБЛЗ. Для впровадження результатів у виробництво потрібні додаткові дослідження щодо процесів тужавлення бетонів і набору міцності.

Публікації. За результатами магістерської роботи опубліковані одна стаття і одні тези на конференцію.

Структура і об'єм роботи. Кваліфікаційна робота магістра складається з вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел з 34 найменувань, викладена на 113 сторінках машинописного тексту, включаючи 22 рисунків, 24 таблиці.

1 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ТА ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ ВОГНЕТРИВКИХ БЕТОНІВ

Вогнетривкі матеріали і вироби забезпечують ефективну експлуатацію основних технологічних агрегатів і машин в більшості галузей сучасної промисловості. У багатьох випадках функціонування і ефективність цілих технологічних систем обумовлено якістю і експлуатаційними властивостями вогнетривів. Це, перш за все, відноситься до чорної і кольорової металургії, енергетиці, хімічній промисловості, машинобудуванню та ін. [1].

Вогнетривкі матеріали для виробництва чавуну і сталі набули значного розвитку в останні 25 - 30 років, що зумовило певний прогрес у вдосконаленні роботи основних технологічних агрегатів. В даний час вже цілком очевидно, що використання нових високоефективних вогнетривких продуктів дозволяє металургам помітно знизити їх питомі витрати на тонну сталі, підвищити енергозберігаючий ефект і забезпечити стабільність роботи технологічних систем [2-3].

Вогнетривкі матеріали і вироби широко використовуються при виробництві чавуну і сталі для футерування технологічних агрегатів, емкостей для накопичення та транспортування рідкого металу, печей для підігріву заготовок тощо. Як показує практика, в даний час витрата вогнетривів на 1 т сталі становить в середньому 8 - 14 кг. При цьому прогрес у зниженні питомого споживання вогнетривів, досягнутий в останні 3 - 4 десятиліття, обумовлений як виведенням з експлуатації низькоефективних сталеплавильних агрегатів, так і створенням нових вогнетривких матеріалів, в максимальному ступені відповідає умовам технологічних процесів при виробництві чавуну і сталі (рис. 1.1). Основний прогрес у підвищенні стійкості вогнетривів для виробництва і розливання сталі був, мабуть, досягнут в поєднанні раціональних фізико-хімічних та експлуатаційних властивостей вогнетривких виробів з оптимальною побудовою конструкції футеровки, яка враховувала б технологічні особливості її експлуатації.

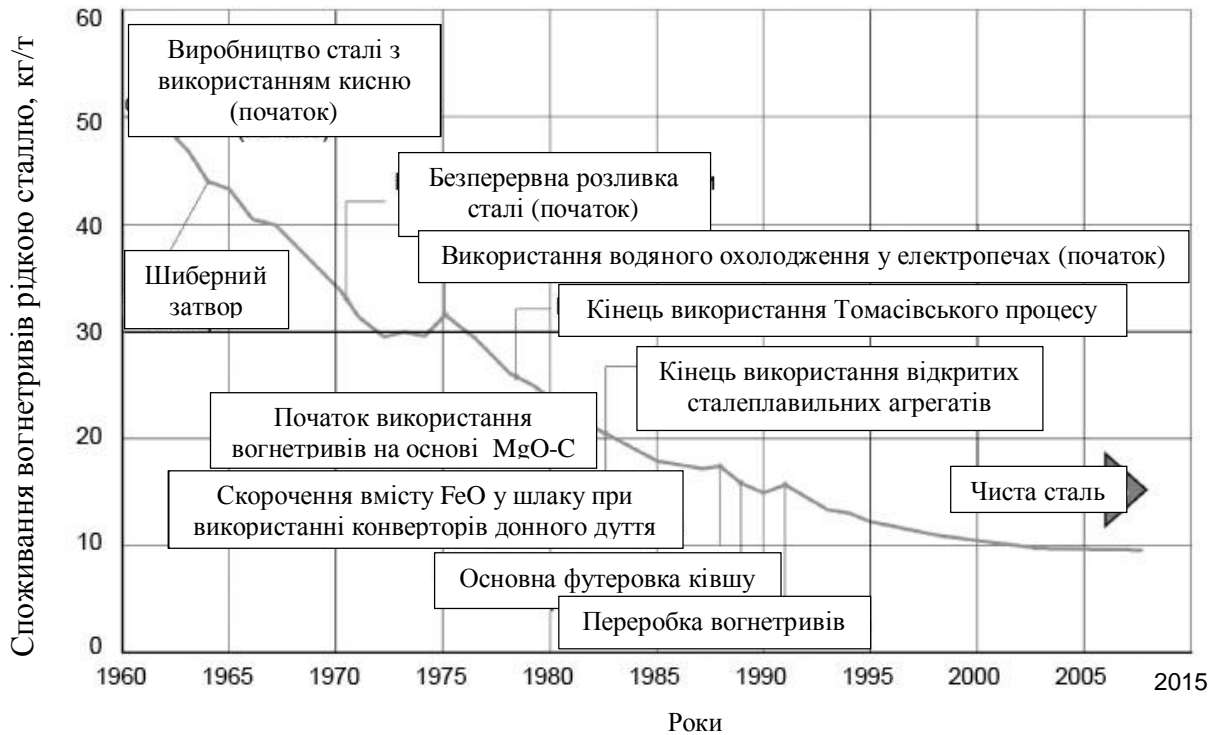


Рисунок 1.1 - Питоме споживання вогнетривів і вплив на нього інновацій при виробництві сталі і нових рішень у вогнетривкій промисловості

У промисловій практиці розрізняють чотири основні типи вогнетривкої продукції: неформовані вогнетриви (бетони, суміші для торкретування і ремонту, зв'язуючі матеріали і мертели і т.п.); формовані вогнетриви (вогнетривкі вироби типу цегла, блок і т.п.); функціональні вироби (вогнетривкі вироби певної геометричної форми і призначення, елементи конструкцій футеровки агрегатів та ін.); теплоізоляційні матеріали, що забезпечують захист від втрат тепла.

1.1 Характеристика вогнетривких бетонів

Вогнетривкими бетонами називають безобжіговий композиційний матеріал з вогнетривкістю вище 1580 °С, що складається з заповнювача, зв'язки (в'язучого) і необхідних добавок, який отримує задані властивості при твердінні і володіє обмеженою усадкою при високих температурах [5].

Вогнетривкий бетон – новий вид технічних матеріалів, який за фізико-хімічними властивостями є вогнетривами, а за методами виготовлення і способам застосування можуть бути віднесені до бетонів.

Вогнетривкі бетони являють собою безобжігові вогнетриви, що виготовляють у вигляді сухих бетонних сумішей, бетонних мас, великих блоків і панелей. У порівнянні з обпаленими штучними виробами вогнетривкі бетони дозволяють:

- скоротити витрати палива в 1,5 - 2 рази за рахунок виключення операції випалу;
- знизити теплові втрати завдяки поліпшенню теплоізоляційних властивостей і газощільних футеровок;
- підвищити продуктивність праці завдяки високій механізації і автоматизації виробництва бетонів;
- скоротити тривалість кладки футеровок більш ніж в 5 разів;
- скоротити трудові витрати більш ніж в три рази під час ремонту футеровок при наявності малої механізації;
- підвищити стійкість футеровок в ряді випадків більш ніж на 30% внаслідок зменшення термічних напруг і відсутності швів в футеровці;
- скоротити транспортні втрати вогнетривких матеріалів;
- зменшити питомі витрати вогнетривів на одиницю продукції, що випускається в результаті підвищення стійкості футеровок.

Вогнетривкі бетони класифікують за загальними і спеціальними ознаками. До загальних класифікаційних ознак відносять: хіміко-мінералогічний склад, вогнетривкість, пористість, максимальну температуру застосування. До спеціальних класифікаційних ознак відносять: тип в'язучого, спосіб формування та ін.

Залежно від хіміко-мінералогічного складу заповнювача вогнетривкі бетони підрозділяють на кремнеземисті, алюмосилікатні, корундосодержащіє і т.д.

Залежно від вогнетривкості бетони за аналогією з вогнетривкими виробами і матеріалами поділяють на: вогнетривкі, високовогнетривкі і вищої вогнетривкості.

Залежно від відкритої пористості бетони підрозділяють на: підвищеної щільності (до 16 %); щільні (від 16 до 20 %); звичайної щільності (від 20 до 30 %); зниженої щільності (від 30 до 45 %) і низької щільності (від 45 до 85 %).

Залежно від максимальної температури застосування вогнетривкі бетони ділять на 8 груп [6]:

Група бетонів	I	II	III	IV	V	VI	VII
Температура використання, °С	1100	1200	1300	1400	1500	1700	1700

За максимальну температуру застосування вогнетривких бетонів приймають температуру, при якій протягом 5 ч без навантаження лінійна усадка не перевищує 1 %.

Під в'язучою речовиною вогнетривких бетонів приймають дисперсійну систему, що складається з тонкозернистого (розміром менше 0,09 мм) вогнетривкого цементу і хімічної зв'язки. Залежно від типу в'язучого речовини вогнетривкі бетони розділять на:

1. Гідратаційні в'язучі, дисперсною фазою яких є цемент, що тверднуть при додаванні води.
2. Силікатні в'язучі, у якості хімічної зв'язки яких вводять лужні силікати, етіленсилікат і ін.
3. Фосфатні в'язучі, у якості хімічної зв'язки яких вводять фосфорну кислоту або водні розчини її солей.
4. Сульфатно-хлоридні в'язучі, в яких в якості цементу найчастіше застосовують періклазовий тонкомолотий порошок, а зв'язкою служать водні розчини $MgCl_2$, $MgSO_4$, $FeSO_4$ і ін.

5. Органічні в'язучі, у яких в дисперсний порошок вогнетривкого цементу додані смоли, пеки та інші органічні сполуки.

В'язкість багато в чому визначається типом наповнювача, способом формування, дотриманням об'ємостійності і міцності бетону при високих температурах служби. Оптимальний вміст в'язучого на практиці підбирають дослідним шляхом.

Спосіб формування має велике значення в технології бетонів. За способом укладання і ущільнення розрізняють вогнетривкі бетони: напівсухого формування, виготовлені методом пресування, вібропресуванням, трамбуванням, віброущільненням і т.п.; пластичного формування, виготовлені з пластичних мас різними способами – видавлюванням, допресуванням і т.п.; литі і вібролиті з текучих мас.

Вогнетривкі бетони класифікують також за типом виробів: бетонні блоки, бетонні суміші, бетонні маси, по виду в'язких і іншими ознаками (крупності зерен, фізичному стану при поставці та ін.).

Вогнетривкі порошки, розділені на фракції, називають заповнювачами.

Заповнювачами у вогнетривких бетонах служать зернисті порошки вогнетривких матеріалів.

Порошки, що містять всі фракції, необхідні для бетону і в'язучі речовини в сухому вигляді називають сухими бетонними сумішами. Сухі суміші, зачинені водою або рідкими в'язучими речовинами, називають готовими бетонними сумішами.

Усадка бетонів при випалюванні і деякі інші властивості залежать від зернового складу заповнювачів. Усадка тим менше, ніж більш грубозернисті заповнювачі, використані при виготовленні.

Армування вогнетривких бетонів різними волокнами (скляними, вуглецевими, азбестовими, сталевими і ін.) сприяє підвищенню міцності, стійкості до механічних навантажень і термічним ударам.

Процес приготування бетонів складається з дозування всіх компонентів суміші, перемішування їх до отримання однорідної маси і формування.

Формування може здійснюватися з пластичних і напівсухих мас на пресах або трамбуванням, з рідких мас – методом лиття. Тобто з бетонів можна виготовляти як штучні вироби потрібних розмірів (блоки, вироби суцільної форми), так і монолитне футерування.

Термообробку проводять шляхом прогрівання, якщо використовують гідравлічні в'язучі (цементи), або в сушарках, якщо використовують рідке скло, фосфатні і інші зв'язки.

У таблиці 1.1 наведені приклади використання неформованих вогнетривів, в т.ч. і бетонів в чорній металургії.

Таблиця 1.1 – Приклади застосування неформованих вогнетривів в чорній металургії

Агрегати та процеси	Область застосування	Найбільш розповсюджений тип матеріалу
1	2	3
Доменні печі	Колошник печі	Шамотні бетони
	Жолоба на литейному дворі	Al_2O_3 -SiC-C (60-75, 10-25, 1-4 %), Al_2O_3 -SiO ₂ -SiC-C або Al_2O_3 -Cr-бетони, пластичні маси сухого віброущільнення або завчасно литі фасонні блоки
	Горн	Al_2O_3 -Cr або MgO-Cr - бетони
	Верхня частина шахти	Високоглиноземисті торкрет-маси
	Фурмений пояс	Попередньо литі високоглиноземисті блоки Al_2O_3 -SiO ₂ -Cr
	Льотка	SiC або Cr
	Ремонтні матеріали для шахти	Алюмосилікатні глини з добавкою (або без) SiC або Cr, андалузитові пластичні маси на полімерній зв'язці
Чавуновозні ковші	Набивання конічних частин	Шамотні пластичні маси
	Горловина	Високоглиноземисті Al_2O_3 -SiO ₂ бетони
	Фурми для десульфурації	Високоглиноземисті бетони з добавкою (або без) сталювого дроту, SiO ₂ , шпінелі та ін.
Кисневі конвертери	Ущільнення горловини	Магнезійні набивні маси, пластичні маси з 85 % Al_2O_3
	Захисні плити у зоні завалки	Високоглиноземисті попередньо литі блоки

	Сталевипускний отвір	Пластичні маси з пластинчатого глинозему
	Ремонтні суміші	Магнезійні на смоляній зв'язці або MgO-Cr – торкрет-маси

Продовження таблиці 1.1

1	2	3
Електродугові печі	Склепінні блоки і кільця для ущільнення електродів	Високоглиноземисті (70-97 % Al_2O_3) або Al_2O_3 -Cr набивні маси, бетони або попередньо литі блоки
	Робочий шар подини	Магнезійні набивні маси або бетони
	Сталевипускний отвір	Пластичні маси з пластинчатого глинозему
	Захисні плити у зоні завалки	Високоглиноземисті попередньо литі блоки
	Ремонтні суміші	Торкрет-маси на основі спеченого MgO
Ківші позапічного рафінування (сталерозливні)	Захисна плита в зоні падіння струменя	Глиноземисті (80 % Al_2O_3), глиноземно-шпінелідні або Al_2O_3 -Cr – бетони або попередньо литі блоки
	Гніздо для стакану	Високоглиноземисті (90 % Al_2O_3) або Al_2O_3 -Cr пластичні маси
	Захисний шар футеровки	(60-85 % Al_2O_3) бетони/пластичні маси
	Робочий шар футеровки	80-90 % Al_2O_3 +10-20 % шпінелі, Al_2O_3 -Cr або циклонові бетони та попередньо литі блоки
	Кришка	Високоглиноземистий (75-90 % Al_2O_3) попередньо литий вогнетрив
	Шлаковий пояс	90 % MgO – 10 % Zr бетон
	Ремонтні суміші	Глиноземношпінельна суміш для торкретування
Проміжний ківш	Змінна футеровка	Глиноземисті (60 % Al_2O_3) пластичні маси або бетони
	Оновлюєма/витратна футеровка	Торкретування матеріалом на магнезійній основі
	Внутрішній захисний шар	Глиноземистий бетон
	Покриття	Глиноземисті (60 % Al_2O_3) бетони
	Перегородки, пороги, екрани	Глиноземисті (60 % Al_2O_3) попередньо литі блоки
	Ділянка падіння струменя	Високоглиноземисті попередньо литі блоки

1.2 Види вогнетривких бетонів

Бетони з динасових вогнетривів кварцитоглинястих, кварцитових, динасокварцитових і динасових не дають усадки при високих температурах. Бетони з динасовим заповнювачем застосовують в теплових агрегатах з тривалим циклом роботи. Для агрегатів, що працюють нетривалий час, використовують кварцитовий заповнювач.

Алюмосилікатні бетони (АСБ) виготовляють на основі алюмосилікатного заповнювача, з використанням в якості в'язучого глиноземистого і високоглиноземистого цементів, при взаємодії яких з водою відбувається твердіння бетонної суміші. Алюмосилікатні бетони в залежності від складу застосовують при температурі 800 - 1800 °С. Виготовляють їх також на рідкому склі і фосфатних сполучних. Твердіння бетонів відбувається при температурах 260 °С і вище.

Керамобетони виготовляють для печей відпалу сталі і машин безперервного лиття заготовок (МБЛЗ): кварцові оболонки, стакани і труби. В якості вихідної сировини застосовують лом кварцового скла з масовою часткою не менше 99,5 % SiO_2 і Fe_2O_3 не більше 0,05 %, а також в невеликій кількості рідке скло.

Периклазові (магнезіальні), периклазовапняні, периклазошпінелідні, периклазосилікатні, периклазоцирконісті, периклазовуглецеві і інші бетони містять не менше 15 % MgO або його безкисневих сполук.

Цементи для периклазових бетонів виготовляють з периклазового порошку фракцій $< 0,5$ мм. Кількість введеної хімічної зв'язки визначається способом виготовлення бетону.

Периклазові бетони містять більше 85% MgO. Для виготовлення цих бетонів використовують периклазові наповнювачі (бій периклазових виробів, бетонних блоків, недоплав і сварки периклазу), периклазові цементи, хімічні зв'язки (поліфосфат натрію, рідке скло, сірчаноокислий магній, СДБ) і добавки (ферохромовий і електроплавильні шлаки, портландцемент і ін.), які є прискорювачами твердіння.

Магнезіальновапняні бетони містять ≥ 10 % CaO. Для виготовлення цих бетонів використовують заповнювачі (периклазові сварки, бій магнезітовмістовних виробів і блоків, обпалений доломіт, вапняк і т.д.), цементи (периклазовий, периклазокальційовані суміші і т.д.), зв'язки (смоли, пеки, технічні масла, парафін і ін.) і добавки (корунд, вуглецьвмістовні матеріали).

Основним недоліком магнезіальновапняних бетонів є гідратація CaO, що призводить до руйнування бетонів.

Магнезіальношпінелідні бетони містять оксиди магнію, хрому та алюмінію в сумі ≥ 35 %. Для виготовлення бетонів використовують заповнювачі (плавлений периклаз, недоплав, бій виробів і блоків, свари, електрокорунд та ін.), цементи (периклазовий, хромітовий, високоглиноземний і ін.), хімічні зв'язки (поліфосфат натрію, рідке скло, сірчаноокислий магній) і добавки, що прискорюють твердіння (ферохромовий шлак, портландцемент, доломіт і ін.) і спікаючі добавки (вогнетривка глина, окалина та ін.).

Магнезіальносилікатні бетони містять ≥ 25 % MgO і $\geq 10\%$ SiO₂. Вони підрозділяються на периклазофорстерітові, форстеритові, форстерітохромітові і хромітофорстерітові. Для виготовлення цих бетонів використовують заповнювачі (спечений дуніт, бій магнезіальносилікатних виробів і блоків, азбестові відходи, некондиційні хроміти і т.д.), цементи (периклазовий, форстеритовий і різні суміші), хімічні зв'язки (поліфосфат натрію, рідке скло) і добавки, що прискорюють твердіння (ферохромовий

шлак, портландцемент) і регулюють структуру бетону (кварцит, електрокорунд, графіт).

1.3 Класифікація магнезійних бетонів

Класифікація магнезійних бетонів проводиться за різними ознаками [7].

До групи магнезійних бетонів входять 10 підгруп, в кожен групу – 10 видів, в кожен вид – 1000 складів. Така класифікація дає можливість кодувати 100 тисяч складів.

Другий принцип класифікації – за хіміко-мінералогічним складом. Згідно з цим принципом магнезійні бетони діляться на підгрупи: магнезійновапняні (містять оксид магнію і оксид кальцію); магнезійношпінелідні (оксид магнію і оксиди тривалентних металів, наприклад, алюмінію або хрому); магнезійновуглецеві (оксид магнію і вуглець); магнезійносилікатні (оксид магнію і оксид кремнію) і магнезійноцирконісті (оксид магнію і оксид цирконію). У таблиці 1.2 приведена масова частка основних оксидів в різних підгрупах магнезійних бетонів.

Таблиця 1.2 - Масова частка основних оксидів в різних підгрупахмагнезійних бетонів

Бетон	Масова частка, %						
	MgO	CaO	Cr ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	C	SiO ₂	ZrO ₂
1	2	3	4	5	6	7	8
Магнезійновапняні							
Периклазові	≥ 85	≤ 6	-	-	-	-	-
Периклазовапняні	50-85	6-45	-	-	-	-	-

Вапнянопериклазові	15-50	45-85	-	-	-	-	-
Периклазоалітові	35-75	15-40	-	-	CaO/SiO ₂ >2		
Вапняні	-	85	-	-	-	-	-
Магнезіальношпінелідні							
Периклазохромітові	≥ 60	-	5-20	-	-	-	-
Хромітопериклазові	40-60	-	15-35	-	-	-	-

Продовження таблиці 1.2

1	2	3	4	5	6	7	8
Хромітові	≤ 40	-	≥ 30	-	-	-	-
Периклазошпінельні	25-85	-	≤ 25	5-20	-	-	-
Периклазошпінельні	≥ 40	-	-	5-55	-	-	-
Шпінельні	25-40	-	-	55-70	-	-	-
Магнезіальновуглецеві							
Периклазовуглецеві	≥ 60	-	-	-	≤ 40	-	-
Периклазовапняновуглецеві	≥ 30	≥ 10	-	-	≤ 40	-	-
Вуглецевопериклазові	≤ 60	-	-	-	≥ 40	-	-
Шпінельновуглецеві	≥ 20	-	-	≥ 40	≤ 40	-	-
Форстерітовуглецеві	≥ 40	-	-	-	≤ 40	≥ 10	-
Периклазоцирконовуглецеві	≥ 40	-	-	-	≤ 40	-	≥ 5
Магнезіальносилікатні							
Периклазофорстерітові	65-85	-	-	-	-	≥ 7	-
Форстеритові	45-65	-	-	-	-	25-40	-
Форстерітохромітові	40-60	-	5-15	-	-	20-30	-
Хромітофорстерітові	25-45	-	≥ 15	-	-	15-25	-
Магнезіальноцирконісті							
Периклазоцирконісті	65-85	-	-	-	-	-	5-30
Цирконійпериклазові	45-65	-	-	-	-	-	≥ 30
Периклазоцирконісті	65-85	-	-	-	-	5-30	5-30
Цирконопериклазові	30-65	-	-	-	-	≥ 20	≥ 30

Магнезіальні бетони являють собою дисперсні системи, в яких дисперсною фазою є цемент і заповнювачі, а дисперсійним середовищем – хімічна зв'язка.

Третій принцип, за яким проводять класифікацію магнезіальних бетонів – за ступенем подрібнення дисперсної фази.

Системи, в яких розмір часток дисперсної фази не перевищує 10^{-7} см, відносяться до молекулярно-дисперсних розчинів – дисперсидам.

Дисперсоїди, або колоїдно-дисперсні системи, містять частинки дисперсної фази розміром 10^{-5} - 10^{-7} см.

Розмір частинок дисперсної фази в грубодисперсних суспензіях перевищує 10^{-5} см.

Дисперсні системи утворюються на стадії змішування магнезіального цементу з рідиною замішування, тому для них обов'язкова присутність рідкого дисперсійного середовища.

Після завершення процесів твердіння з дисперсної системи утворюється магнезіальний бетон. У бетонах частки дисперсної фази розміром менше 0,1 мм представлені в'язучим чи цементами: звичайними (не менше 100 мкм), дисперсними (менше 1 мкм) і ультрадисперсними (менше 0,01 мкм). Частинки, розмір яких перевищує 0,1 мм, є заповнювачами. Мікрозаповнювачі мають розмір частинок 0,1 - 3 мм, а макрозаповнювачі – більше 3 мм. Магнезіальні бетони з мікрозаповнювачами, в яких допускається присутність рідкого дисперсійного середовища до 20 %, називають «мартель».

За кількістю введеного цементу магнезіальні бетони підрозділяють на звичайні (15 – 35 % цементу), нізкоцементні (5 – 15 % цементу), ультранізкоцементні (менше 5 %) і безцементні.

За способом формування розрізняють пресовані, трамбовані, вібровані, литі і торкретировані бетони.

Класифікація за величиною пористості приведена в таблиці 1.3.

Бетони з загальною пористістю менше 45 % відносяться до щільних, а з пористістю більше 45 % - до теплоізоляційних.

Класифікація магнезіальних бетонів за властивостями, що визначають області їх застосування, приведена в таблиці 1.4.

Для кожного виду магнезійного бетону існує оптимальна область застосування, яка визначається температурою і умовами експлуатації.

Таблиця 1.3 – Класифікація бетонів за величиною пористості

Група бетону	Відкрита пористість, %	Загальна пористість, %
Особливощільні	< 3	-
Високощільні	3 – 10	-
Підвищенощільні	10 – 16	-
Ущільнені	16 – 20	-
Середньощільні	20 – 30	-
Низькощільні	30	45
Високопористі	-	45 – 75
Ультрапористі	-	75

Таблиця 1.4 – Класифікація магнезійних бетонів за експлуатаційними властивостями

Група бетонів	Температура служби бетону, °С	Властивості бетону, що визначають його знос	Рекомендована підгрупа магнезійного бетону
1	2	3	4
1	800 - 1200	Термостійкість	Магнезійносилікатні, магнезійношпінелідні
		Ерозостійкість	Магнезійноцирконісті
		Метало- та шлакостійкість до кольорових металів і шлаків	Магнезійновуглецеві
		Стійкість до розплавів солей і шлаків	Магнезійношпінелідні
2	1200 - 1400	Окалиностійкість	Магнезійносилікатні

		Клінкеростійкість	Магнезійновапняні
		Скlostійкість	Магнезійноцирконісті
		Терmostійкість	Магнезійношпінелідні
		Шлакостійкість	Магнезійновуглецеві
3	1400 - 1600	Розплавостійкість	Магнезійносилікатні
		Метало- шлакостійкість	та Магнезійновапняні

Продовження таблиці 1.4

1	2	3	4
		Металостійкість	Магнезійноцирконісті
4	1600 - 1800	Терmostійкість	Магнезійношпінелідні
		Шлакостійкість	Магнезійновуглецеві
		Ерозостійкість	Магнезійноцирконісті
5	Більш 1800	Термошлакостійкість	Магнезійновапняні, магнезійновуглецеві

Розглянемо також класифікацію заповнювачів, використовуваних в магнезійних бетонах. Магнезійні заповнювачі – магнезійні макрозерністі матеріали з розмірами зерен більше 0,1 мм, що утворюють при взаємодії з в'язучими речовинами бетони із заданими термомеханічними властивостями.

За зовнішнім виглядом розрізняють зернисті, комірчасті і волокнисті заповнювачі. У таблиці 1.5 дана класифікація заповнювачів за зерновим складом.

Таблиця 1.5 – Класифікація заповнювачів за зерновим складом

Клас	Вид заповнювача	Розмір зерен, мм
Мікрозаповнювачі		
1	Тонкозернисті	0,1 – 1
3	Дрібнозернисті	3
Макрозаповнювачі		

5	Середньозернисті	5
10	Крупнозернисті	10
15	Крупнозернисті	15
25	Щебеневі	25
45	Щебеневі	45
60	Щебеневі	60

За відкритою пористістю магнезіальні заповнювачі поділяють на високощільні (менше 10 % пор), щільні (11 – 15 %), підвищеної щільності (16 – 20 %), звичайної щільності (21 – 30 %), зниженої щільності (31 – 45 %) і низької щільності (більше 45 % пор).

Використання в якості заповнювачів волокнистих і голчастих частинок вуглецевого, високоглиноземістого, корундового і магнезіального складів різко підвищує термостійкість і зносостійкість магнезіальних бетонів.

Для виготовлення магнезіальних бетонів використовують різні види в'яжучих речовин. В'яжучі повинні забезпечувати тверднення бетону при низьких температурах, збереження міцності при середніх температурах, формування зносостійкої структури бетону аж до високих температур. Залежно від свого складу в'яжучі поділяються на 5 видів: гідратаційні, сульфатно-хлоридні, силікатні, фосфатні і органічні.

Гідратаційні в'яжучі твердіють при змішуванні з водою. До них відносяться високоглиноземний, глиноземистий, барійалюмінатний, периклазоалюмінатний, алітопериклазовий і периклазовий цементи.

Дисперсійним середовищем в сульфатно-хлоридних в'яжучих є розчини сульфатів і хлоридів магнію, заліза і алюмінію, а також алюмінати натрію. Дисперсна фаза - різні магнезіальні цементи. Іноді в якості рідини замішування використовують відхід виробництва - відпрацьовані розчини травильних ванн.

Силікатні в'яжучі - дисперсні системи, в яких дисперсна фаза (магнезійний цемент) змішується з лужними силікатами (рідке скло). Використовуються також етилсилікат, кремнезоля і інші розчини, що містять золь кремнекислоти.

В фосфатних в'яжучих магнезіальний цемент змішують з розчинами фосфорної кислоти і її кислими солями. Найбільшого поширення в якості рідини замішування отримали поліфосфати натрію, триполіфосфат натрію і тринатрійфосфат. Використовують також суміші ортофосфорної кислоти з периклазовим порошком, при цьому виходить магнійфосфатна зв'язка, або з доломітом (доломітфосфатная зв'язка). Для торкретування застосовують кальційфосфатну, алюмохромфосфатну, цирконій-фосфатну зв'язку.

В органічних в'яжучих магнезіальні цементи змішують з органічними речовинами: смолами, пеками, відпрацьованими технічними маслами, бітумом, гудроном, лігносульфонатами і ін.

За способами отримання магнезіальні в'яжучі ділять на три групи: хімічні, механохімічні і екзотермічні.

Хімічні в'яжучі – дисперсні системи, що складаються з вогнетривких цементів і хімічних (механохімічних) зв'язок, отриманих простим змішуванням.

Механохімічні в'яжучі – дисперсні системи, що складаються з вогнетривких цементів і хімічних, механохімічних зв'язок, отриманих при спільному помелі вогнетривких матеріалів, води, розчинів з добавками солей або без них. Тверднуть внаслідок проходження між ними процесів утворення нових сполук, полімеризації або поліконденсації.

Екзотермічні в'яжучі – це дисперсні системи, що складаються з вогнетривких цементів, хімічних або механохімічних зв'язок і екзотермічних добавок, отримані шляхом їх простого змішування або спільного помелу і тверднуть внаслідок проходження між ними екзотермічних процесів.

Магнезіальні цементи – це магнезіальні мікрозернисті матеріали, які при взаємодії з хімічною зв'язкою утворюють в'яжуче, що володіє

адгезійними властивостями. Звичайні магнезіальні цементи містять частинки розмірами менше 0,06 мм, дисперсні цементи – дрібніше 1 мкм і ультрадисперсні цементы – частки дрібніше 0,01 мкм в кількості не менше 95 %. За своїм складом магнезіальні цементы класифікуються також як магнезіальні бетони: периклазовий, периклазовапняний, вапнянопериклазовий, алітопериклазовий, вапняний, периклазохромітовий, хромітопериклазовий, хромітовий, форстеритовий і інші.

Хімічними зв'язками називають водні розчини солей, кислот або лугів, при взаємодії яких з магнезіальними цементами відбувається твердіння при низьких температурах, при цьому міцність бетону не знижується при середніх температурах і структура, що формується, виявляється зносостійкою при високих температурах.

При додаванні до механохімічних в'язучих металевих порошоків отримують екзотермічні в'язучі.

Залежно від використовуваної рідини замішування зв'язки, також як і в'язучі, підрозділяються на гідратаційні, сульфатно-хлоридні, силікатні, фосфатні і органічні.

Добавки вводять в магнезіальні бетони для коригування їх властивостей. До добавок, які регулюють реологічні властивості, відносяться пластифікуючі і розріджуючі; до регулюючих терміни схоплювання і твердіння - прискорювачі і сповільнювачі твердіння, протиморозні добавки; до регулюючих структуру – протиусадочні, мікрогазоутворюючі, евтектичні; до регулюючих термомеханічні властивості бетонів – підвищуючі термостійкість, щільність, шлакостійкість. Є також добавки, що регулюють поверхневі властивості бетонних виробів – органічні покриття, що просочують розчини, добавки, що знижують поверхневий натяг; зменшують вигорання вуглецю (антиоксиданти).

1.4 Основні тенденції розвитку ринку вогнетривких матеріалів

Світове виробництво вогнетривких матеріалів і виробів з різних міжнародних джерел оцінюється на рівні 46 - 52 млн. т в рік (в тому числі близько 30 - 34 млн. т виробляється в Китаї). При цьому найбільшим споживачем вогнетривкої продукції є чорна металургія (переважно доменне і сталеплавильне виробництво) [8].

Розвиток світової чорної металургії характеризується подальшим зростанням обсягів виробництва металопродукції (переважно за рахунок КНР та Індії), а також трансформацією технологічних процесів в частині зниження питомого споживання вогнетривких матеріалів, що витрачаються, зменшення втрат енергії і зниження навантаження на екологію навколишнього середовища. Такі тенденції в значній мірі формують конкурентне середовище і нові вимоги до вогнетривкої продукції.

Тим часом, основу більшості вогнетривких матеріалів складають шість базових оксидів – SiO_2 , Al_2O_3 , MgO , CaO , Cr_2O_3 , ZrO_2 . (Рис. 1.2). На практиці до складу вогнетривкого матеріалу входить певна комбінація сполук з цих оксидів, а також деяких добавок. Залежно від хімічного складу температура плавлення або руйнування різних матеріалів варіюється в досить широкому діапазоні температур 1800 - 3300 °С.

Не менш важливим фактором є динаміка розвитку ситуації на ринку сировини (рис. 1.3), яка характеризується стійким зростанням цін на всі види вихідних матеріалів.

Велика частина сировинних компонентів для вогнетривів характеризується наявністю дефіциту на ринку, який визначається як об'єктивними причинами (невідновлюваність ресурсів), так і суб'єктивними (штучний дефіцит). Це особливо актуально для вогнетривких бокситів, магнезиту, графіту і хромової руди. Пріоритетним напрямком в цьому плані буде розвиток вогнетривких матеріалів на базі альтернативних джерел сировини, які є більш дешевими і доступними для виробників вогнетривів.

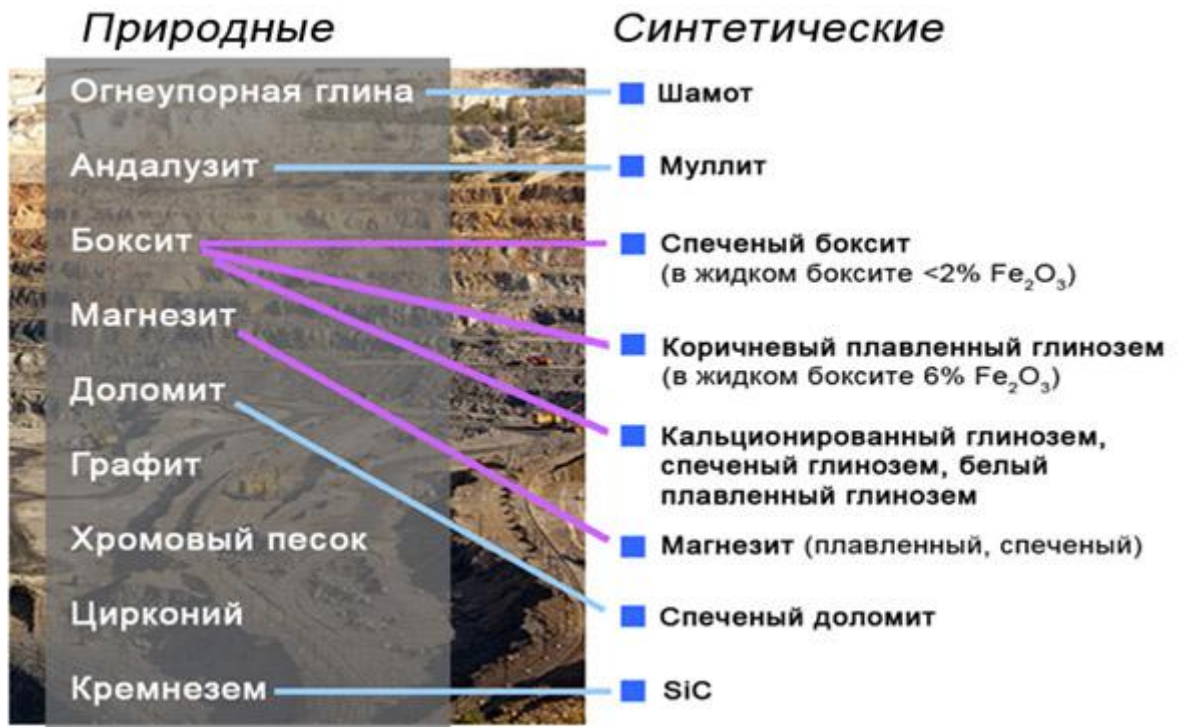


Рисунок 1.2 - Основні природні матеріали, що використовуються для виробництва вогнетривів та синтетичні матеріали

Основні виробники вогнетривів в даний час є глобальними гравцями ринку вогнетривів, більше незалежними від будь-якої однієї країни або частини світу. Найважливішими тенденціями і аспектами розвитку вогнетривких виробів, наприклад, для чорної металургії є створення матеріалів і функціональних виробів, що забезпечують зниження питомої витрати і витрат на вогнетриви.

Природний мінерал магнезит, що представляє собою безводний карбонат магнію з групи кальциту (MgCO_3), є в даний час одним з найважливіших сировинних компонентів для вогнетривкової промисловості. Як правило, магнезіальні вироби – це обпалені вогнетриви, одержувані на основі

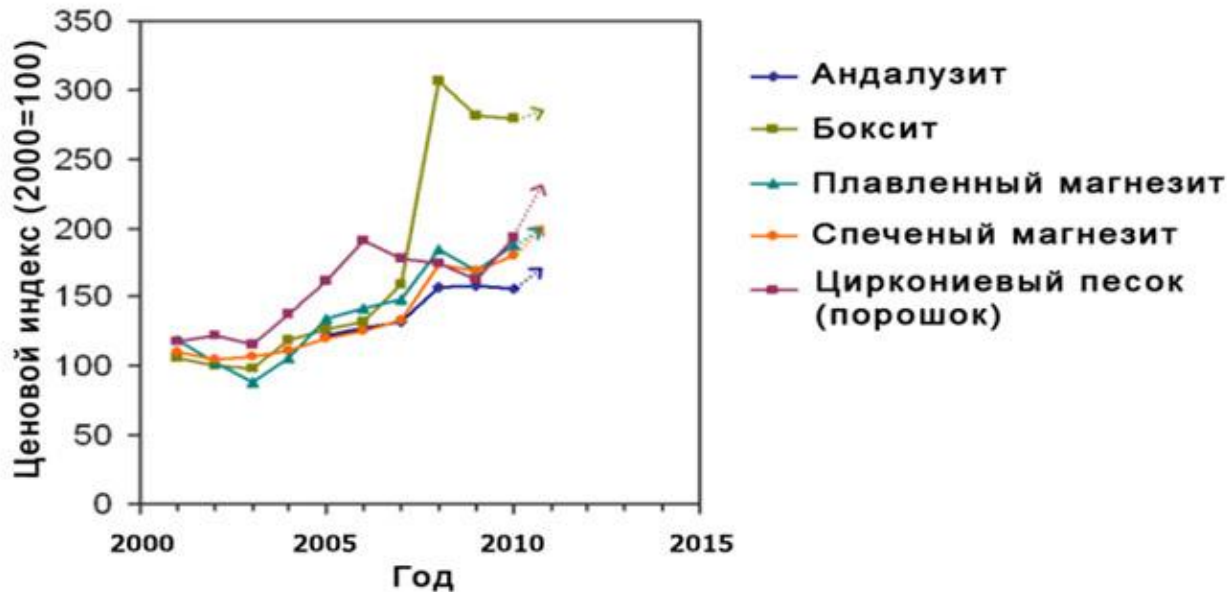


Рисунок 1.3 - Динаміка зміни цін на основні види сировини, яка використовується для виробництва вогнетривів

магнійвмістовних з'єднань. Магнезіальні вогнетривкі вироби відрізняються високою вогнетривкістю - вище 1900 °С (з чистого периклазу – до 2800 °С) і підвищеною стійкістю проти основних і залізистих розплавів. Вони виготовляються з периклазового (магнезитового) порошку, отриманого випалюванням (до спікання) магнезиту або окислу магнію, видобутого з морської води. Для відповідальних виробів застосовують також порошок з плавленого магнезиту або окислу магнію.

В цілому розвідані запаси магнезиту в світі оцінюються в 12,4 млрд. т, причому, 8 країн володіють 97 % цих запасів. За різними оцінками в світі видобувається близько 21 - 22 млн. т магнезиту, з яких трохи більше 50 % виробляється в Китаї. Основні запаси магнезиту та виробництво магнезіальних виробів сконцентровано в невеликій кількості країн, які і визначають ситуацію на світовому ринку (рис. 1.4).

Плавлений периклаз з максимальним ущільненням і великими кристалами отримують в дугових печах при температурах понад 2800 °С плавкою окислу магнію головним чином в Китаї, Росії та Австралії.

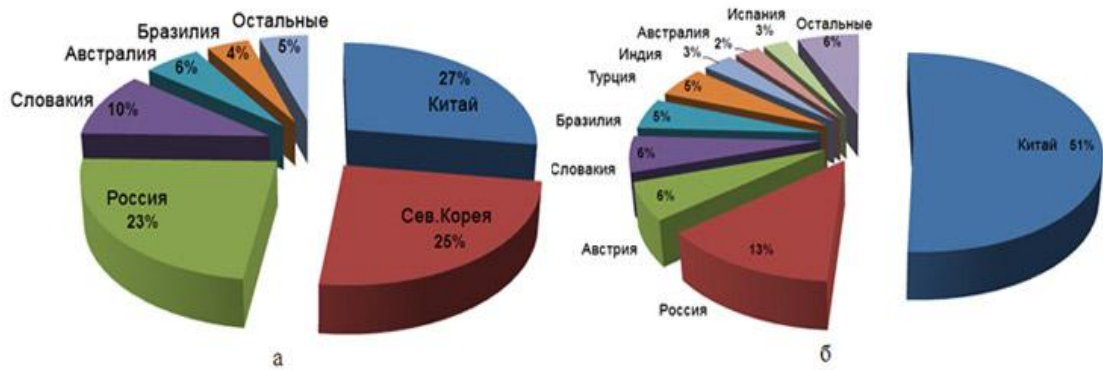


Рисунок 1.4 - Об'єми запасів (а) та об'єми виробництва (б) магнезиту у провідних країнах світу

Виробництво периклазу з природного магнезиту становить приблизно 8 млн. т. При цьому Китай займає домінуючу позицію на цьому ринку (52 – 55 %), залишаючи на другому місці Росію (13 %), яка також має величезні запаси магнезиту.

Найбільш типові області застосування вогнетривів на основі магнезиту і периклаза: футерування конвертерів і дугових печей; футерування сталерозливних ковшів; футерування проміжних ковшів МБЛЗ; шибєрні плити сталерозливних ковшів; високотемпературні випалювальні печі; різного роду добавки і флюси в сталеплавильному виробництві і т.п.

Одним зі світових лідерів у виробництві вогнетривів стає вертикально-інтегрована компанія Magnesita Refratarios SA, що володіє виробничими потужностями в Бразилії, Аргентині, США, Франції, Бельгії, Німеччині, Тайвані та Китаї. В останнє десятиліття в число найбільших світових виробників увійшла німецька компанія «Calderys», яка виробляє понад 600 тис. т вогнетривів в рік. У число найбільших світових виробників вогнетривів увійшла також відома японська фірма «KrosakiHarima», яка поглинула відомого індійського виробника «TataRefractories».

На території СНД фактично єдиним транснаціональним вертикально інтегрованим холдингом по виробництву вогнетривів є російська компанія ТОВ «Група «Магнезит», виробничі підприємства якої розташовані в Росії,

Китаї, Словаччині, Україні та Німеччині. Група постійно розширює не лише виробничу, а й власну сировинну базу, удосконалюючи технологію виробництва сировинних матеріалів основного складу, включаючи спечені і плавлені матеріали.

Поряд з тенденцією укрупнення і злиття вогнетривких компаній не можна не відзначити тенденцію закриття невеликих виробників вогнетривких виробів, що спостерігається, насамперед, у країнах Європи (в тому числі в Росії та Україні), США, Японії та ін. Це слід пояснювати, головним чином, загостренням конкурентної боротьби і неможливістю невеликих виробників розширити ринки збуту.

В цілому основні особливості виробництва і поставок вогнетривів споживачам полягають в наступному:

- вогнетривка промисловість все в більшій мірі потрапляє в залежність від виробників сировини, яка сконцентрована, як правило, в невеликій кількості країн і фірм;

- застосування вогнетривких матеріалів і виробів європейських виробників обмежується вищими, ніж у китайських фірм цінами; вибір європейських вогнетривких матеріалів може бути обґрунтований технічно важливою мотивацією (функціональні можливості, надійність, умови доставки та ін.);

- виробники вогнетривів продовжують посилювати вимоги до якості (і ціни) сировини відповідно до вимог споживачів до якості вогнетривкої продукції стосовно до конкретних металургійним підприємствам і технологій;

- виробники вогнетривів будуть розвивати технології застосування відпрацьованих вогнетривких матеріалів в основному виробничому циклі;

- торгові фірми, щоб забезпечити реалізацію вогнетривких матеріалів і виробів, будуть все більш активно брати участь в розробці вимог до вогнетривів, що допоможе гармонізувати стратегії закупівель для кінцевих споживачів;

- підвищення експлуатаційних і економічних показників вогнетривів в рамках конкретних технологічних агрегатів буде досягтися в площині комплексних поставок вогнетривкої продукції і обслуговування футерування протягом усього циклу експлуатації [9].

Аналізуючи ситуацію на ринку вогнетривких матеріалів, необхідно, перш за все, розглядати ситуацію з виробництвом і експортом вогнетривів з Китаю. Так, виробництво вогнетривів в Китаї перевищило рівень 50 % всього виробництва вогнетривів в світі. Це в сукупності з порівняно низькими цінами китайських вогнетривів обумовлює домінуюче становище вогнетривів, експортованих з КНР, на ринку України, Росії та інших країн СНД.

За різними джерелами в даний час в Китаї діють 2 - 3 тисячі підприємств з видобутку сировини і виробництва вогнетривів. При цьому сукупний обсяг виробництва вогнетривів в Китаї оцінюється в 28 - 30 млн. п, в тому числі формованих вогнетривів – 17 - 18 млн. т. Тим часом, за останні 5 років виробництво шамотних і бокситових виробів в Китаї помітно скоротилося, а випуск вуглецьвмістовних і функціональних вогнетривких виробів і неформованих вогнетривів збільшився.

Обсяг експорту китайських вогнетривів перевищив 6 млн. т на рік. Причому експорт основних вогнетривів перевищив 1 млн. т на рік, плавленого та спеченого периклазу – понад 1,3 млн. т, бокситу і корунду – близько 0,9 млн. т і 0,8 млн. т відповідно, а графіту – понад 0,6 млн. т на рік. Головними об'єктами імпорту в категорії вогнетривкої сировини для Китаю залишаються цирконій і хроміт.

В цілому така ситуація, яка обумовлена низькою ціною на вогнетриви, що імпортуються з Китаю, мабуть, буде обумовлювати подальший розвиток експансії китайських вогнетривів на ринки Європи і, зокрема, України. Однак представляється малоімовірним, що існуючі технології виробництва вогнетривких матеріалів будуть в змозі повністю задовольнити майбутні

потреби металургійної галузі в ракурсі питомих витрат на тонну продукції і забезпечення необхідної якості сталі.

Для підвищення конкурентоспроможності продукції європейським виробникам уже найближчим часом доведеться, насамперед, розглядати можливість застосування більш дешевого і відповідно низькоякісної сировини, замінюючи традиційні сировинні компоненти, імпортовані з Китаю. У цьому плані найбільш перспективним представляються розробки в частині застосування технологічних добавок на основі нано структурних матриць, в тому числі з використанням нано вуглецевих частинок, що дозволяють знизити вміст вуглецю у вогнетривів [10].

1.5 Утилізація відпрацьованих вогнетривких матеріалів

При розбиранні вогнетривкої футеровки і кладки печей утворюється вогнетривкий брухт, придатний до подальшого використання. Основна кількість вогнетривкого брухту утворюється на підприємствах чорної металургії і в ливарних виробництвах машинобудівних заводів. Значна кількість вогнетривкого брухту утворюється в пристроях для розливання сталі, і перш за все в сталерозливних ковшах, які футеруються в основному алюмосилікатними вогнетривами [18].

Вогнетривкий брухт (шамотних, магнезійних, периклазовуглецевих і хромомагнезійних вогнетривів), що утворюється при розбиранні вогнетривкої футеровки і кладки печей, є основною частиною вогнетривких відходів і знаходить широке промислове застосування (табл. 1.6).

Таблиця 1.6 - Частка відходів вогнетривів різних процесів чорної металургії [19, 20]:

Частка вогнетривких відходів,%	Виробництво
10	Доменне
6	Попередня підготовка чавуну (видалення сірки і фосфору)
7	Киснево-конвертерне
3	Мартенівське
2	Електросталеплавильне
25	позапічної обробки сталі
15	Безперервне розливання сталі
10	Розливання сталі в злитки
78	Всього по виробництву металу
22	Інші виробництва

З таблиці 1.6 випливає, що близько 60 % відходів вогнетривів утворюється при виробництві сталі, 16 % - при виробництві чавуну. Близько 22 % становлять відходи вогнетривів коксохімічного, прокатного виробництва, термічної обробки і лиття.

Гранулометричний склад брукху коливається від 200 - 100 мм до пилоподібних частинок. Значна кількість вогнетривкого брукху утворюється на підприємствах чорної металургії і в ливарних виробництвах машинобудівних заводів. Велика частина вогнетривких відходів утворюється при заміні футеровок плавильних агрегатів, установок позапічної обробки і розливання сталі, нагрівальних та сушильних печей.

При збагаченні вогнетривкого брукху для вилучення частинок металу, наявних в шлаку, використовується магнітна сепарація. В цьому випадку фракція розміром менше 20 мм, що залишилася після ручного сортування,

надходить в кульові млини, що працюють в замкнутому циклі з гуркотом, де лом подрібнюється до розміру часток не більше 3 мм. Подрібнений лом подається на магнітні сепаратори. Загальна схема магнітної сепарації вогнетривкого магнезійного брухту представлена на рисунку 1.5.

Збагачення методом магнітної сепарації дозволяє підвищити якість і збільшити обсяг використання вогнетривкої брухту.

Більшість відходів використовуються як вторинна сировина в вогнетривкому виробництві.

Магнезійний лом використовується для отримання торкрет-мас, тобто неформованих порошкоподібних вогнетривких матеріалів для нанесення покриттів, а так само використовується для отримання заправного порошку. З брухту хромомагнезитових, хромітопериклазових і магнезітодоломітових вогнетривів готують порошки для загущення шлаку і наварки його у вигляді вогнетривкої твердого захисного шару (гарнісажу) на футеровку робочого простору конвертера.

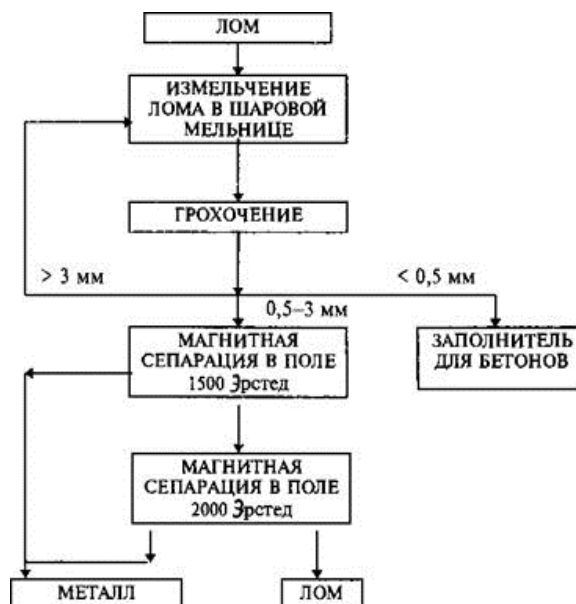


Рисунок 1.5 - Схема магнітної сепарації магнезійного брухту

У Росії розроблена технологія отримання водної керамічної в'язкої суспензії (ВКВС), основу якої становить кремнезоля (колоїдний розчин

кремнезему). У суміш вводять добавки для дисперсного тверднення з водною керамічною в'язкою суспензією. Введені добавки містять силікати кальцію (нефеліновий шлам, сталеплавильні та ферохромові шлаки). Шихту вогнетривів перемішують з додаванням водної керамічної в'язкої суспензії затверджувачів. Вироби сушать при температурі 70 - 80 °С. При температурі 130 - 150 °С вироби стають міцними при роздавлюванні 12 - 14 Н/мм². Вироби обпалюють. При температурі 1400 °С вироби досягають міцність 25 - 28 Н/мм². Застосовуючи водну керамічну терпку суспензію можна виробляти на основі відходів безліч виробів з наступних вогнетривів: шамоту, динасу, муллїта, магнезиту, магнезітохромїта, периклаза, форстериту.

В Японії і Китаї для підвищення ступеня повторного використання вогнетривкої брухту вогнетривкі заводи побудовані поблизу металургійного виробництва. Застосовується ручне та механізоване сортування, дроблення, магнітна сепарація і введення в шихту нових вогнетривів. Відмінністю цих країн від інших в сфері утилізації відпрацьованих вогнетривких матеріалів є прагнення утилізувати дорогі вогнетриви: пластини шибєрних затворів з плавлених Al_2O_3-SiC корунду і карбїду кремнію або цеглу з алюмомагнезіально-вуглецевої сировини.

Швеція імпортує вогнетриви (до 50 %), а також сировину для виробництва високоякісних вогнетривів.

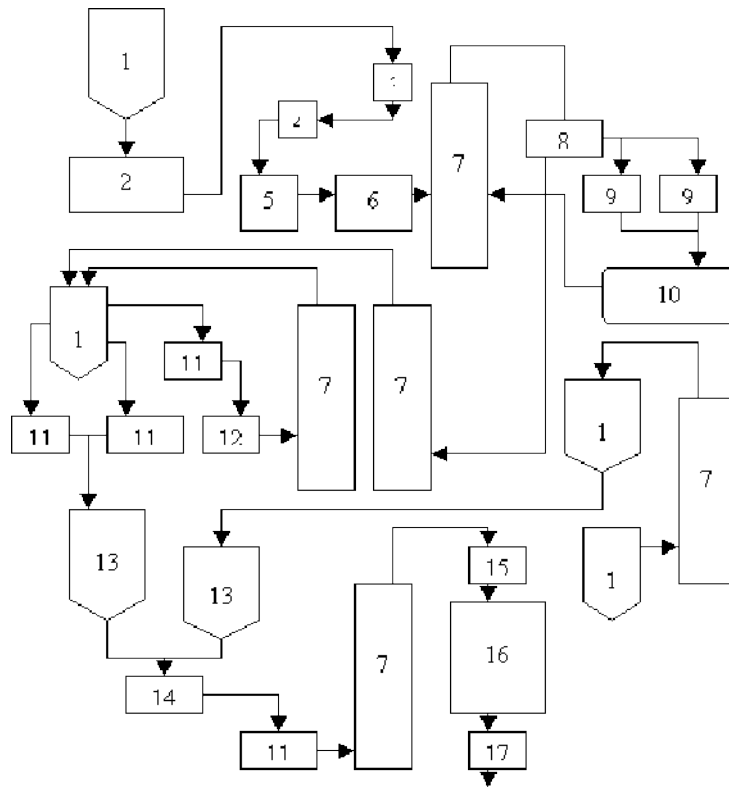
Вогнетривкий брухт застосовують для виробництва периклазових і хромїтопериклазових вогнетривких мас, сталєрозливних ковшів, для виробництва алюмосилікатних вогнетривких бетонів.

На рисунку 1.6 представлена блок-схема з виробництва вогнетривких основних мас, яка використовується на одному зі шведських заводів, що працює на вторинній сировині.

Разом з ломом застосовують вогнетривку глину, графіт, окис алюмінію, вогнетривкий цемент і хїмічні в'язучі речовини.

Вторинні вогнетривкі матеріали широко використовують на машинобудівних підприємствах і заводах кольорової металургії. Малозмінені

вогнетривкі вироби, відібрані при ремонті печей, йдуть в кладку цих же печей. Повторне використання вогнетривких виробів найбільш ефективно, так як не вимагає додаткових затрат ручної праці і енергії, але дозволяє економити первинні вогнетриви.



1 - збірник; 2 - гуркіт; 3 - щокова дробарка; 4 - барабанна сушарка; 5 - магнітний сепаратор; 6 - віброжелоб; 7 - елеватор; 8 - класифікатор; 9 - конічна дробарка; 10 - конвеєр; 11 - трубчастий транспортер; 12 - об'ємні ваги; 13 - вібромлин; 14 - змішувач; 15 - класифікатор; 16 - бункера; 17 - пристрій фасування

Рисунок 1.6 - Блок-схема цеху з виробництва вогнетривких основних мас на базі вторинної сировини в Швеції

1.6 Аналіз сучасного стану методів отримання монолітної футеровки теплових агрегатів

У міру збільшення потужності пічного парку абсолютні втрати від простою печей зростають, тому все більшого значення набувають підвищення терміну служби вогнетривких футеровок, зменшення кількості зупинок і часу простою печей через ремонт. Простою печей через ремонт футеровок становить в середньому близько 3 – 4 % календарного часу, а на окремих заводах коливається в межах 0,3 – 12,5 % [11, 12].

На стійкість вогнетривких футеровок впливає безліч різноманітних факторів. Найголовніші з них: якість вогнетривів, якість виконання футеровочних робіт, умови експлуатації.

Отримання необхідної стійкості неформованих вогнетривів в футеровці плавильних печей, яка знаходиться в жорстких умовах служби, піддаючись впливу високих температур, має дати дуже великі переваги в порівнянні з формованими вогнетривами.

Застосування неформованих вогнетривких матеріалів широко поширене в сучасних випалювальних печах. Загальновідомо, що цьому послужили висока якість, легкість і можливість скорочення за часом виконання робіт.

Застосування вогнетривких бетонів і мас дає великий економічний ефект: скорочується витрата більш дорогих обпалених штучних вогнетривів, особливо фасонних, знижуються витрати на виготовлення футеровки, в ряді випадків підвищується стійкість футеровки, що призводить до зниження загальної витрати вогнетривів на 1 т сталі, що виплавляється.

У таблиці 1.7 наведено порівняння загальної вартості футерування з вогнетривкої цегли і бетону за один цикл її служби і вартості сировини до використання відпрацьованих вогнетривів.

Таблиця 1.7 – Індекси порівняння загальної вартості футерування (вогнетривка цегла і неформовані вогнетриви)

Види вартості	Вогнетривка цегла	Вогнетривкий бетон
Сфера виробництва		
Вартість сировини	24,6	33
Трудові витрати	16,4	4
Вартість палива	2,4	-
Вартість опалубки	5,1	-
Вартість інших робіт	23,5	19
Всього	72,0	56
Сфера використання		
Вартість виготовлення футерування	19,5	22
Вартість нагріву	4,4	4
Вартість руйнування футеровки	6,5	10
Вартість оцінки якості відпрацьованих вогнетривів	2,4	10
Всього	28,0	36

Наведені в таблиці 1.7 індекси розраховані як показники вартості. У таблиці не наведено експлуатаційні витрати.

В даний час, коли постійно говорять про економію теплової енергії в зв'язку з «нафтовим» шоком, знову стали звертати увагу на економію теплової енергії в процесі виробництва вогнетривів, про що свідчать публікації в різних джерелах. На рисунку 1.7 наведено порівняння витрат теплоенергії для виробництва різних вогнетривів.

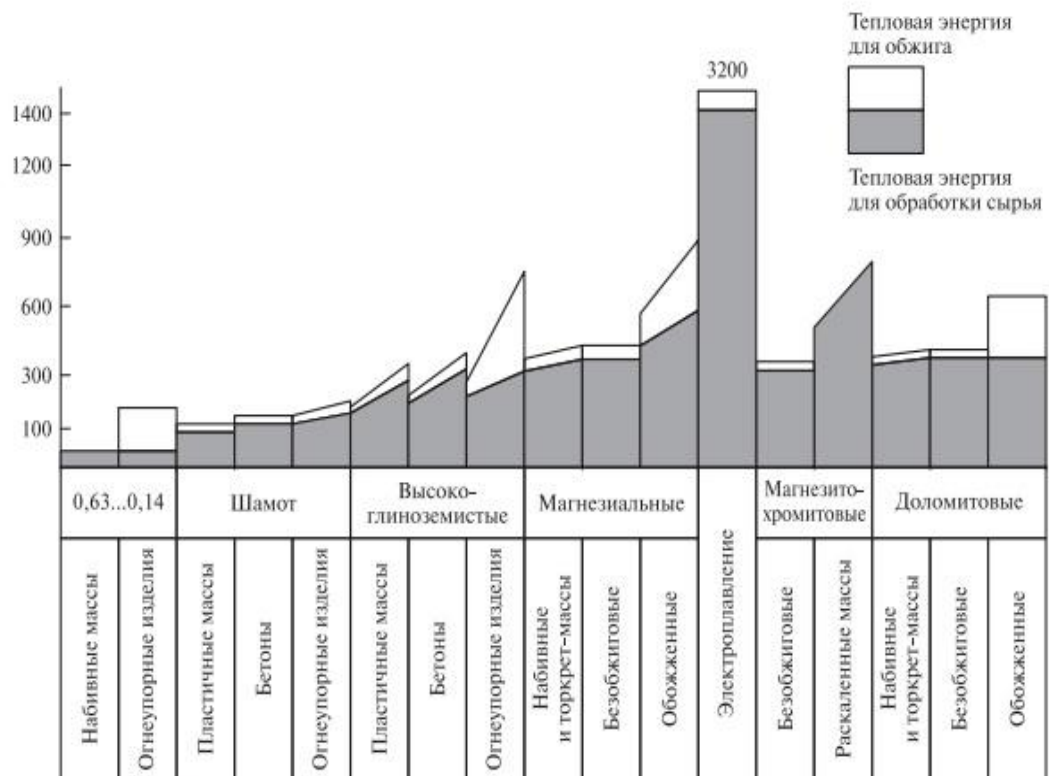


Рисунок 1.7 - Порівняння витрат теплової енергії

З аналізу даних рисунку 1.7 можна зробити наступні висновки:

1. Витрата паливної енергії при виробництві вогнетривких виробів в два рази перевищує витрату при виробництві неформованих вогнетривів.

2. 50 – 70 % всієї теплової енергії, необхідної для виробництва вогнетривких виробів, становить теплова енергія, що витрачається на виготовлення, використовується в цьому випадку штучного сировини.

3. При виробництві неформованих вогнетривів витрата теплової енергії більше при виготовленні магнезитових вогнетривів, ніж при виготовленні шамотних.

Монолітне футерування з неформованих мас у порівнянні з футеровками з заздалегідь виготовлених цегл і блоків різних форм мають ряд технологічних переваг [13, 14]:

- простота виконання футеровок складних конструкцій;
- скорочення термінів будівництва і більш низька вартість;

- забезпечення монолітності футеровок (відсутність швів);
- швидкий ремонт в холодному і гарячому стані, який може проводитися і без зупинки печі;
- зменшення маси футеровки за рахунок кращих теплотехнічних властивостей неформованих матеріалів в порівнянні з вогнетривкою цеглою;
- стійкість і довговічність конструкції завдяки застосуванню анкерів;
- більш висока термостійкість, особливо в термічних печах.

Застосування монолітних футеровок з неформованих мас знаходить все більше застосування в нашій країні і за кордоном.

У зв'язку із зростанням застосування неформованих вогнетривів, безсумнівно, що необхідні такі передумови: поліпшення якості неформованих вогнетривів, включаючи розробку нових сполучних і нових видів неформованих вогнетривів високої термічної стійкості, а також удосконалення технології зведення футеровочних конструкцій.

У порівнянні з фасонними вогнетривами, одержуваними за керамічної технології, вогнетривкі бетони володіють деякими недоліками.

Пористість їх до і після спікання підвищена. Підвищений вміст СаО, а в деяких з них і Fe_2O_3 вимагає застосування дорогих заповнювачів для усунення недоліків, внесених цими компонентами. Головне ж у тому, що пористість і забруднення СаО і Fe_2O_3 не сприяють стійкості при термохімічній корозії.

Іншим недоліком є зниження механічних властивостей при температурі дегідратації гідралічного в'язучого від 250 до 400 °С і аж до температури початку керамічного спікання 800 - 1100 °С.

Також небажаним є необхідність підтримки вологості при схоплюванні бетону з метою попередження передчасного випаровування води, необхідної для гідратації цементу. Зазвичай це роблять зволоженням поверхні бетону, покриттям з вологих мішків або непроникною пластмасовою плівкою.

Незважаючи на ці недоліки, бетони на гідралічних в'язучих знаходять все більше застосування в промисловості. Це пояснюється перш за все

значним зниженням трудомісткості, можливістю розвитку індустріалізації футеровочних і тепломонтажних робіт, зменшенням витрат паливно-енергетичних ресурсів на виготовлення одиниці футерувальної поверхні.

1.7 Висновки

Вогнетривкі матеріали і вироби входять до складу багатьох технологічних агрегатів в металургійній і хімічній промисловості, енергетиці та ін. Тим часом більшість вогнетривів надзвичайно чутливі до порушень в технологічному процесі експлуатації, що зумовлює ретельний вибір їх якості стосовно конкретної виробничої схемою .

Торкаючись розвитку ситуації із забезпеченням вогнетривкої промисловості сировиною, слід уже зараз говорити про розвиток дефіциту якісного магнезиту. На тлі підвищення ролі в поставках сировини і вогнетривів від неєвропейських виробників за доцільне переходити на європейські (українські) джерела сировини в тих випадках, коли це економічно можливо. З огляду на важливість вогнетривкої складової для металургійної промисловості, є досить важливим залучення металургійних заводів у вогнетривку промисловість і забезпечення поставок сировини.

У плані розвитку нових ефективних видів вогнетривкої продукції будуть продовжувати інвестуватися дослідження в частині застосування нових видів неформованих вогнетривів.

У зв'язку із зростанням застосування неформованих вогнетривів, безсумнівно, що необхідні такі передумови: поліпшення якості неформованих вогнетривів, включаючи розробку нових сполучних і нових видів неформованих вогнетривів високої термічної стійкості, а також удосконалення технології зведення футеровочних конструкцій.

2 ОСНОВИ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА ВОГНЕТРИВКИХ БЕТОНІВ

Слід розрізняти поняття: бетонна суміш, бетонна маса, бетонний виріб (монолітна футеровка).

Бетонна (суха) суміш - це суміш вогнетривкого заповнювача (раціонального зернового складу) з цементом. Її готують, як правило, на заводі-виробнику і поставляють споживачеві в паперових або поліетиленових мішках.

Бетонна маса - це суміш вогнетривкого заповнювача і в'язучого (цементу і хімічної зв'язки), з якої можна виготовити виріб або монолітну футеровку. Бетонну масу готують на заводі-виробнику або зачиняють безпосередньо на місці її використання.

Бетонний виріб (монолітну футеровку) отримують в результаті ущільнення бетонної маси і її подальшого твердіння.

Магнезіальні бетони виготовляють переважно за двома технологіями, які розрізняються способом введення в'язучого (рис. 2.1 та 2.2) [15].

За першою технологією заповнювачі та вогнетривкі цементи змішують в бетонозмішувачах (сухе змішання) і отримують уніфіковані сухі бетонні суміші, які або відвантажують споживачам в сухому вигляді, або додають до сумішей хімічні зв'язки, потім суміші перемішують і використовують для приготування бетонних мас. Бетонні маси відвантажують споживачам для виготовлення або відновлення монолітних футеровок теплових агрегатів різними методами: трамбуванням, вібрацією, литтям і торкретуванням. Маса використовують для виготовлення бетонних блоків, панелей і окремих секцій футеровок методами пресування, трамбування, вібрації і лиття. Бетонні вироби, блоки і панелі зазвичай сушать при 120 - 150 °С протягом 16 - 24 год.

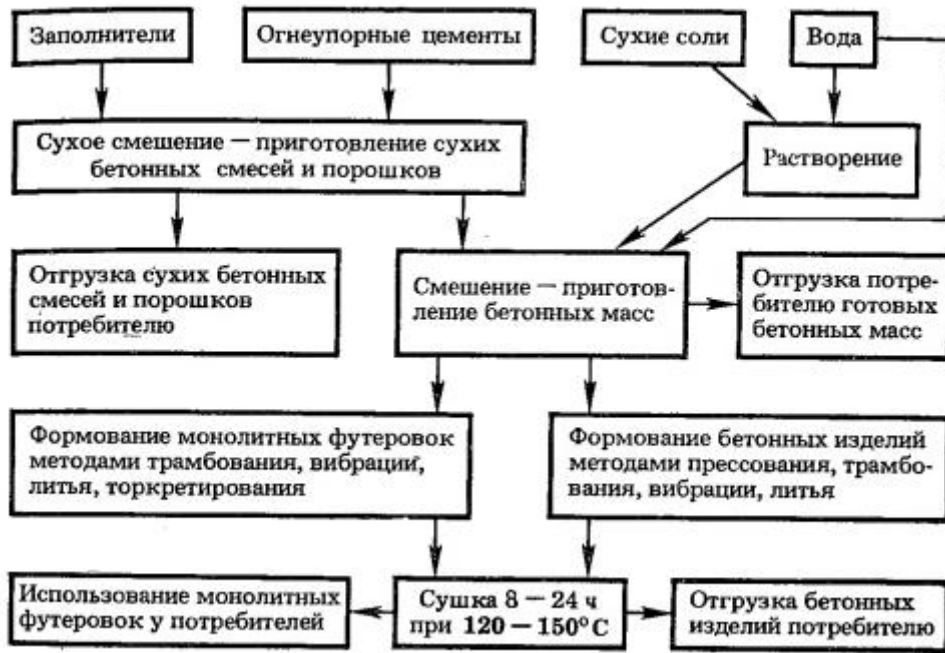


Рисунок 2.1 – Перша технологія виготовлення магnezіальних бетонів

За другою технологією виробляють спільний помел вихідних матеріалів для цементів, сухих солей і різних добавок. Ці тонкомолоті суміші завантажують разом з заповнювачем в бетонозмішувачі, перемішують і відвантажують споживачам у вигляді сухих бетонних сумішей. До цих сумішей споживачеві необхідно додавати тільки воду для отримання бетонних мас. Виробник може сам отримувати бетонні маси шляхом додавання води і потім відвантажувати споживачам або використовувати для виготовлення бетонних виробів, блоків, панелей і окремих секцій футеровок різними методами. Сушать їх при 120 - 150 °С протягом 16 - 24 год.



Рисунок 2.2 – Друга технологія виготовлення магnezіальних бетонів

Друга технологія простіша за першу: вона не вимагає ділянки для розчинення сухих солей і приготування зв'язок як у виробника, так і у споживача. До того ж сухі солі прискорюють спільний помел вихідних матеріалів для цементів.

Властивості магnezіальних бетонів, отриманих по першій і другій технологіям, практично однакові.

Магnezіальні бетони в порівнянні з іншими вогнетривкими бетонами володіють рядом переваг:

- мають широкий асортимент сировинних матеріалів;
- дозволяють виробляти уніфіковані сухі бетонні суміші, що використовуються для виготовлення монолітних футеровок теплових агрегатів, пресованих бетонних виробів і литих бетонних блоків, а також бетонні блоки найбільш прогресивним і простим способом методом лиття, який володіє багатьма перевагами в порівнянні з іншими способами виробництва бетонних блоків. При цьому можливе виготовлення практично

будь-яких блоків, панелей і окремих секцій футеровок будь-якої форми, в тому числі багат шарових блоків з будь-якими вкладишами;

- для виготовлення з них литих блоків потрібна більш проста опалубка;
- литі блоки не вимагають додаткових засобів ущільнення;
- найбільш легко піддаються повної механізації і дозволяють створити

повністю механізовану потокову лінію виробництва.

Периклазові бетони зазвичай складаються з 75 ± 5 % периклазових заповнювачів і 25 ± 5 % периклазових цементів. Іноді понад 100 % вводять 1 – 5 % добавок і різну кількість хімічних зв'язок в залежності від способу виготовлення бетону:

- 2 – 5 % зв'язок при виготовленні бетонів методом пресування,
- 4 – 6 % методом трамбування,
- 7 – 12 % методом вібрації,
- 12 – 18 % методом лиття.

Периклазові заповнювачі дроблять на щековій дробарці, потім на валковій або конусній, розсіюють на віброгуркоті з сітками № 15, 5 і 1; фракцію > 15 мм повертають на додаткове дроблення.

Периклазові цементи отримують шляхом трубомельничного помелу периклазового спеченого порошку окремо або спільно з кальцинованим периклазом (каустичним магнезитом) до вмісту фракції $< 0,06$ мм не менше 80 %. Доцільно під час помелу цих матеріалів вводити добавки і різні сухі солі, які використовуються для приготування хімічних зв'язок.

Приготування тонкомолотої складової периклазових бетонів шляхом спільного помелу різних матеріалів істотно спрощує технологію виробництва бетонів і підвищує гомогенність їх властивостей.

2.1 Вибір складів і технології виготовлення вогнетривких бетонів

За методами підбору складів вогнетривкі бетони значно відрізняються від будівельних. Такий узагальнений показник оцінки якості, як «марка бетону», не прийнятний для вогнетривких бетонів. Критерієм якості вогнетривкого бетону є надійна його робота, при впливі комплексу умов (температури їх служби, газового середовища, рідкого шлаку, металу, механічних навантажень і ін.). При підборі складів бетонів слід враховувати фізико-хімічні процеси, що відбуваються в бетоні при твердінні, знеміцненні і спіканні, а також наступне:

- умови роботи бетону;
- хіміко-мінеральний склад і модифікаційні перетворення в заповнювачі;
- ативність хімічної зв'язки, цементу і заповнювача, швидкість їх взаємодії;
- верхня межа крупності заповнювача і його раціональний зерновий склад;
- терміни схоплювання і умови твердіння в'язучого;
- спосіб виготовлення бетону і оптимальне співвідношення в'язучого і заповнювача;
- зміна фазового складу і обсягу в процесі твердіння і спікання в'язучого і заповнювача;
- кількість і склад рідкої фази при максимальній температурі застосування бетону;
- міцностні, пружні, структурні і деформативні властивості бетону у всьому температурному інтервалі його служби.

2.2 Дозування і змішування вихідних компонентів

Вихідні матеріали дозують за об'ємом або за масою безперервно або періодично. Вагові дозатори забезпечують більш високу міцність в порівнянні з об'ємними, однак при цьому вологість матеріалів повинна бути постійною.

Для безперервного об'ємного дозування сипких матеріалів і живлення машин зазвичай застосовують тарілчасті, вібраційні, барабанні, коливаючі, гвинтові і стрічкові живильники і тічки з регулюючим затвором. Тарілчасті дозатори мають точність дозівки $\pm 5\%$, барабанні $\pm 2\%$, гвинтові дозатори малопродуктивні, але мають високу точність дозування.

Змішування здійснюють з метою отримання таких суміші і маси, в яких властивості були б рівноцінні у всіх частинах обсягу. Велике значення має послідовність змішування. Для отримання рівномірної суміші спочатку змішують великі фракції з рідкою зв'язкою, потім в змішувач вводять тонку фракцію (цемент, добавку). В цьому випадку тонка фракція порошку рівномірно розподіляється по поверхні великих частинок і грудочок не утворюється. Рівномірність одержуваної суміші (маси) залежить від багатьох обставин: тривалості змішування, типу і режиму роботи змішуючого апарату, кількості компонентів, їх співвідношення, фізичних властивостей, дисперсності і ін. Час змішування в залежності від конкретних умов і виду бетону встановлюється дослідним шляхом. Прямої залежності якості бетону від часу змішування не встановлено.

Змішувач вибирають в залежності від режиму роботи, а також від зернового складу, вологості, плинності і інших властивостей маси. По режиму роботи бетонозмішувачі поділяються на циклічної і безперервної дії, за принципом змішування - на гравітаційні і з примусовим змішуванням компонентів, по виконанню - на стаціонарні та пересувні.

2.3 Укладання і ущільнення бетонної маси

При укладанні бетонної суміші в опалубку (форму) необхідно враховувати такі особливості цього технологічного процесу:

- висоту допустимого вільного падіння маси;
- стан поверхні попереднього шару бетону, на який укладають масу;
- розбивку обсягу виконуваних бетонних робіт на окремі ділянки;
- умови розрівнювання - розподілу в опалубці маси, поданої для укладання;
- температурні умови.

Залежно від способу укладання бетонну масу готують різної консистенції: малопластичної, пластичної або литої. До початку укладання й розподілу маса повинна бути однорідною і зберігати задану пластичність. При укладанні необхідно виключити расфракціонування і розшарування маси, для чого не можна перевищувати висоту вільного падіння маси, яка в залежності від консистенції і зернового складу повинна бути в межах 0,5 - 5,0 м.

Поверхні шарів покладеної і ущільненої мас повинні забезпечити монолітність виготовленого виробу (футерування), для чого ущільнений шар розпушують на глибину 5 - 10 мм. Поверхню стінок опалубки покривають змащенням для полегшення знімання опалубки з забетонованого виробу.

Метою формування є отримання виробу певної форми і структури. Спосіб ущільнення бетонної маси залежить від її консистенції. Розрізняють чотири способи формування виробів:

- 1) напівсухий (гідростатичне і вібропресування, пневматичне трамбування, торкретування);
- 2) пластичний (для пластичних мас);

- 3) вібраційне формування;
- 4) лиття з текучих мас.

Можливі комбіновані способи формування. Формування бетонних мас повинно забезпечити зближення на мінімально можливій відстані всіх компонентів маси без її розшарування і механічного руйнування зерен зв'язки.

Сутність напівсухого формування полягає в наступному: в форму засипають бетонну масу і стискають верхнім штемпелем (одностороннє пресування) або двома штемпелями з протилежних сторін (двостороннє пресування). Після закінчення пресування виріб виштовхують з форми і цикл пресування повторюється. Ступінь ущільнення бетону залежить від властивостей маси, зусилля пресування, конструкції преса або іншого формуючого агрегату і форми пресованого виробу. В результаті пресування збільшуються контактна поверхня частинок і їх зчеплення. При цьому зменшуються пористість і розмір пор. При напівсухому пресуванні обсяг одержуваного виробу в 1,5 - 2 рази менше обсягу вільно насипаної маси. У мас з більшою вологістю оптимальне ущільнення досягається при значно менших тисках, однак зі збільшенням кількості зв'язки понад оптимального підвищується пористість виробу після сушки.

Для напівсухого пресування використовують: гідравлічні преси, преси для пресування великогабаритних вогнетривів зусиллям 50 і 60 МН; коліноричажні преси зусиллям 2,2 МН; фрикційні преси. На пресах можна отримувати фасонні бетонні вироби або блоки невеликих розмірів.

Найбільш прийнятним способом формування великих бетонних виробів з напівсухих мас є виготовлення їх за допомогою трамбовок пневматичних або електричних.

Трамбування можна визначити як миттєвий пресовий тиск, що прикладається. Під дією його окремі частки заповнювача впроваджуються в розташовані нижче шари маси і ущільнюють її. Трамбування можна застосовувати при виготовленні виробів значної товщини, ведучи пошарове

укладання. Установки, засновані на застосуванні зазначених трамбовок, дозволяють отримувати блоки великих розмірів, в тому числі по висоті, різних за формою, дають можливість швидко переходити від одних виробів до інших.

Процес виготовлення бетонних виробів методом трамбування полягає в наступному: в форму засипають шар маси висотою 50 - 70 мм, ущільнюють пневматичної трамбівкою 2 - 3 рази, поверхня ущільненої маси розпушують, засипають наступний шар і т. д. Щоб не допустити шаруватості виробів ущільнюючий елемент застосовують в вигляді решітки, яка збільшує питомий тиск пресування і дозволяє засипати масу безперервно. Для отримання рівної поверхні виробу на форму одягають надставку висотою 30 - 50 мм. Після закінчення трамбування надставку знімають, зайву масу зрізують, а поверхню вирівнюють, підсипаючи мелкозернисту масу і пригладжуючи кельмою.

Виготовляти бетонні вироби і монолітні футерування, а також ремонтувати їх можна методом торкретування. Торкрет-установки обладнають вихровими насосами. Можливо торкретування як попередньо зачиненими масою, так і сухою сумішшю, що зачиняють, в соплі безпосередньо перед виготовленням виробу або футеровки.

Пластичні бетонні маси ущільнюють в стрічковому пресі, з якого вони виходять у вигляді безперервної стрічки необхідної форми, що розрізають на брикети потрібного розміру. Брикети укладають і ущільнюють за допомогою пневматичної трамбування з металевим або гумовим бойком.

Сутність процесу вібраційного ущільнення мас полягає в тимчасовому тискотропному розрідженні в'язучого, яке після припинення коливань знову набуває вихідну в'язкість. Відомі такі вібратори: поверхневі, передають коливання безпосередньо на бетонну масу через робочу площадку; зовнішні, передають коливання через опалубку; внутрішні (булави, циліндри), що передають коливання на бетонну масу; віброплощинки, передають коливання бетонної маси через форму.

2.4 Твердіння бетону

За характером процесів, що протікають при твердінні, в'язучі можна розділити на 3 групи: гідратаційні, коагуляційні і поліконденсаційні (полімеризації). До першої групи належать в'язучі на основі глиноземистого, високоглиноземисті, періклазового і портландського цементів, до другої групи - на основі глини, бітумних і дьогтьових речовин, до третьої групи - на основі рідкого скла, фосфатних, органічних і елементоорганічних зв'язок.

Фізико-хімічні процеси в різних групах в'язучих визначаються різними умовами твердіння бетонів. Бетони першої групи тверднуть при нормальній температурі у вологому середовищі, при пропарюванні або автоклавованні, бетони другої і третьої груп, - як правило, при сушінні або термообробці. Режим твердіння визначають для кожного виду бетону. Бетонні вироби доцільно сушити у виробника з метою скорочення часу розігріву теплових агрегатів.

2.5 Упаковка, зберігання і транспортування

Упаковка заповнювачів або сухих бетонних сумішей повинна проводитись в паперові (ГОСТ 2226-75), поліетиленові (ГОСТ 17811-78) мішки або спеціальні м'які контейнери (ГОСТ 6-19-80-73).

Заповнювачі 1 - 5-го класів допускається транспортувати навалом в вагонах. Транспортування заповнювачів і сумішей, упакованих в мішки, повинно проводитися в критих залізничних вагонах. Зберігати заповнювачі та суміші необхідно на критих складах, в умовах, що виключають зволоження і засмічення матеріалами другого складу.

Пластичні та напівсухі бетонні маси упаковують в поліетиленові мішки по 25-50 кг, спеціальні м'які контейнери або поліетиленову плівку (ГОСТ 10354-73), після чого укладають в дерев'яні ящики (ГОСТ 10198-78) або на піддони. Зберігають масу в критому приміщенні в умовах, що виключають її зволоження і висихання. Тривалість зберігання в закритій тарі не повинна перевищувати 30 діб. Транспортують масу в критих вагонах або в контейнерах на відкритому рухомому складі.

Великоблочні бетонні вироби слід зберігати в критих приміщеннях в умовах, що виключають їх зволоження. Транспортують вироби на платформах або автомашинах, захистивши від попадання вологи толем (ГОСТ 10999-76) або іншим водонепроникним матеріалом. При відвантаженні ряди виробів перекладають дерев'яними рейками, а також виробляють розклинення виробів в ряду дерев'яними клинами. Допускається упаковка виробів в обрешітку з дерев'яних рейок.

2.6 Технологія виробництва магнезіального бетону на основі плавленого периклазу

За традиційними технологіями виробництва вогнетривких бетонів заповнювачі та цементи змішують в змішувачах і отримують сухі суміші, які або можна відправити користувачам або додати до них хімічні зв'язки й використовувати для виготовлення готових мас. Маси використовують безпосередньо за місцем призначення, тобто для виготовлення або

відновлення монолітних футеровок різними методами: трамбування, вібрації або торкретування. Також з мас виготовляють бетонні блоки, панелі або окремі секції футеровок ковкою, пресуванням, трамбуванням, вібрацією і литтям.

Комплексна безвідходна технологія виробництва магнезіальних бетонів складається з операцій:

- 1) підготовка вихідних матеріалів;
- 2) змішування компонентів (утворення сухої суміші);
- 3) (цей етап може бути опущений) затворення сухої бетонної суміші водою (утворення готової бетонної суміші).

З урахуванням отриманих результатів можна запропонувати наступну технологію виготовлення магнезіального бетону, придатного для виготовлення футеровки проміжних ковшів МБЛЗ.

Підготовка заповнювача (периклазу) полягає у подрібненні вихідної сировини. Спочатку периклазову шихту дроблять на щоківній дробарці до фракції 15 - 0 мм, потім розсівають на наклонному ситі або віброгрохоті на ситах № 15, 5, 1 і повертають фракцію +15 мм на повторне дроблення. Далі заповнювачі дроблять до фракції, наприклад, 3 – 1 мм і 1 - 0 мм на конусних і двохвалкових дробарках. При цьому досягається висока степінь усереднення за зерновим і хімічним складом.

Для забезпечення властивостей бетону, до периклазового наповнювача додають мікрокремнезем у кількості близько 6 %.

Мікрокремнезем звичайно потрапляє у виробництво у готовому за зерновим складом вигляді і представляє собою рихлі агломерати з дуже низькою насипною щільністю.

Змішування має велике значення для досягнення однорідного складу шихти. Мікрокремнезем через свої фізичні властивості дещо погано розсіюється, тому однорідність суміші досягається тривалістю змішування у агрегатах типу трубних млинів. При цьому окрім безпосереднього

змішування досягається додаткова активізація поверхні периклазу, що позитивно впливає на подальші процеси твердіння безцементного бетону.

Загальні параметри виробництва, що контролюють: зерновий і хімічний склад і вологість вихідних компонентів; зерновий, хімічний склад, вологість і терміни зберігання готових сухих сумішей і мас.

Оскільки шихта містить достатньо велику кількість пилу, робочі місця повинні бути оснащені приточно-витяжною вентиляцією. Всі вентиляційні установки, що вловлюють пил, слід оснастити пневмоочисткою. Вловлений пил необхідно повертати у виробництво.

Для виготовлення монолітних футеровок теплових агрегатів зручним є використання бетону у вигляді готової сухої суміші, яку слід лише затворити водою згідно з інструкцією виробника.

2.7 Технологічна лінія виробництва бетонних сумішей

Установку продуктивністю 50 - 100 тис. м³/год сухих сумішей (встановлена потужність електродвигунів 250 кВт) (рис. 2.3) випускають в модульному (блочному) виконанні [23].

Заповнювач з критого типового складу засобами завантаження подається в приймальний бункер 40, захищений навісом від атмосферних опадів та обігрівається димовими газами, що відходять з сушильного барабана 4, звідки стрічковим конвеєром 38, оснащеним обігрівачем, подається на контрольний гуркіт 3 і потім в сушильний барабан.

Залежно від вологості заповнювача продуктивність сушильного барабана регулюється подачею стрічковим конвеєром. Вологість матеріалу, що надходить в сушильний барабан, повинна бути не більше 10 %. В якості палива для сушильного барабана застосовують природний газ або мазут. Температура матеріалу на виході з сушильного барабана 90 - 110 °С.

Висушений заповнювач вологістю не більше 0,2 % подається ковшовим елеватором 34 на вібраційний гуркіт 7 для поділу заповнювача на п'ять фракцій (мм): 0,0 - 0,63; 0,63 - 1,25; 1,25 - 3; 3 - 10; 10 - 20. Фракціонований заповнювач розподіляється в відповідні силоси 9, забезпечені індикаторами рівня.

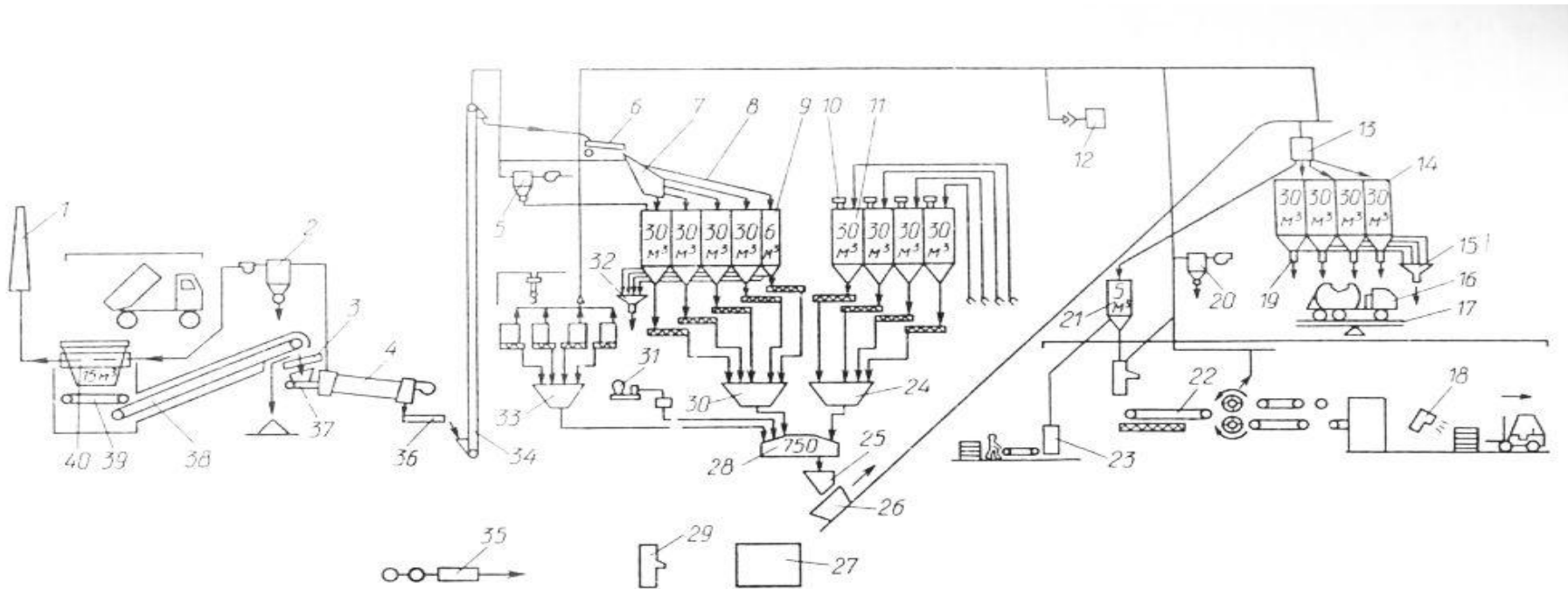
В'яжучі транспортують на завод цементовозами, які розвантажуються пневматичним способом в силоси в'яжучих 11, також забезпечені індикаторами рівня. Кожен силос для них можна заповнювати різними в'яжучими за умови очищення ємності від залишків попереднього в'яжучого. Додатки і пігменти, що надходять на завод в готовому вигляді, завантажують в витратні бункера.

Заповнювач та в'яжучі надходять в дозатори відповідно 30 та 24, а звідти в змішувач 28 примусової дії. Приготовлені в змішувачі сухі суміші через воронку 25 і підйомний пристрій 26 надходять в силоси готової продукції, звідки розподіляються в транспортні ємності 16 або на лінію упаковки 23. На лінії упаковки, що представляє собою роботизований комплекс, проводяться такі операції: подача маніпулятором мішечної тари, фасування, прокатування і очищення мішка від пилу, укладання на піддони і герметизація.

Система управління обладнанням автоматична із застосуванням мікропроцесорної техніки управляє:

- ваговим автоматичним дозуванням компонентів суміші з мінімізацією похибки дозування;
- розвантаженням віддозованих компонентів в змішувачі;
- змішуванням компонентів в змішувачах протягом заданого часу;
- здійснює логіко-програмне управління всіма механізмами, які беруть участь в автоматичному циклі.

Блок управління складається з операторської і апаратної з силовою частиною.



1 - димова труба, 2 - фільтр очищення димових газів, 3 - контрольний гуркіт, 4 - сушильний барабан, 5, 20 - фільтри очищення повітря, 6, 36 - вібраційні живильники, 7 - вібраційний гуркіт, 8 - завантажувальні жолоби, 9 - силоси сухих фракціонованих заповнювачів, 10 - фільтри, 11 - силоси в'язучих матеріалів, 12 - промисловий пилосос, 13 - розподільний пристрій, 14 - силоси готової продукції, 15, 32 - тракти надлишкових матеріалів, 16 - автосмесевіз, 17 - автомобільні ваги, 18 - пристрій для укладання мішків на піддони, 19 - розвантажувальний пристрій готової продукції, 21 - проміжний силос готової продукції, 22 - лінія фасування суміші в мішки, 23 - пристрій для фасування суміші в мішки, 24 - ваговий дозатор в'язучих, 25 - збірна воронка, 26 - підйомний пристрій, 27 - комплект технологічного обладнання лабораторії, 28 - змішувач, 29 - система автоматичного управління, 30 - ваговий дозатор заповнювачів, 31 - ваговий дозатор пігментів, 33 - дозатор рідких добавок з чотирма живильниками, 34 - ковшовий елеватор, 35 - система підготовки стисненого повітря, 37, 39 - стрічкові живильники, 38 - стрічковий конвеєр, 40 - приймальний бункер

Рисунок 2.3. Технологічна схема установки виробництва сухих сумішей

2.8 Висновки

Приготування магнезійної бетонної суміші - комплексний технологічний процес, що включає ряд підготовчих операцій і операцій по безпосередньому приготуванню суміші. До складу перших операцій входять, крім заготівлі складових бетонної суміші, їх зберігання та подача в бункера бетонного заводу.

Операції по безпосередньому приготуванню суміші включають дозування складових, їх завантаження в бетонозмішувач, перемішування в бетонозмішувачі і видачу готової суміші. Устаткування для здійснення цих операцій зазвичай монтується в одній споруді, званому бетонним заводом або бетонозмішувальною установкою (БЗУ).

До складу БЗУ входять: склади наповнювачів, в'язучих, добавок, пристрої для їх підготовки, надбункерне, бункерне, дозаторне, змішувальне відділення, відділення видачі готової суміші, система автоматики і необхідні транспортні засоби.

Технологія приготування бетонних сумішей як на місцевих, так і центральних установках і заводах здійснюється за певними технологічними схемами, які розробляються з урахуванням наявного обладнання та його розташування, а також складів бетонних сумішей і інших чинників. Однак, незалежно від схеми технологічного процесу якість бетонних сумішей повинна відповідати вимогам проектного завдання. Основними чинниками, що впливають на якість бетонних сумішей, є: точність завантаження складових; швидкість обертання барабана; ступінь завантаження барабана і тривалість перемішування.

Для безперебійної і чіткої роботи установки або заводу з приготування бетонної суміші необхідно забезпечити належний контроль за станом і роботою устаткування і апаратури.

3 РОЗРАХУНОК МАТЕРІАЛЬНО-ВИРОБНИЧОГО ПОТОКУ

Вихідними даними для розрахунку матеріального потоку служать річна потужність підприємства, номенклатура продукції підприємства і цехів і допустимі норми втрат матеріалів.

3.1 Режим роботи підприємства

Режим роботи цеху або заводу визначає розрахунок технологічного обладнання, потоків і кількість сировини, списковий склад робочих. Режим роботи заводу або цеху характеризується числом робочих днів у році, кількістю робочих змін на добу і кількістю годин роботи в зміну [24].

При призначенні режиму роботи цеху приймається:

- номінальна кількість робочих діб на рік, T_n - 260;
- кількість робочих змін на добу (крім теплової обробки) - 2 або 3;
- для теплової обробки, n -3;
- кількість робочих змін на добу з прийому сировини, матеріалів і відвантаження готової продукції залізничним транспортом, n -3;
- те ж автотранспортом, n -2 або 3;
- номінальна кількість робочих діб на рік з прийому сировини і матеріалів з залізничного транспорту - 365;
- тривалість робочої зміни в годину, t - 8;
- тривалість планових зупинок в добі на ремонт конвеєрних ліній, T_p - 13, поточно-агрегатних, стендових ліній і касетних установок з готування бетонних і розчинних сумішей, T_p -7;
- коефіцієнт використання технологічного обладнання:
- конвеєрних ліній, K_n - 0,95;
- поточно-агрегатних і інших - 0,92.

Визначимо річний фонд робочого часу за формулою:

$$T_{\phi} = (T_n - T_p) n t K_v,$$

де T_n - номінальна кількість робочих днів на рік;

T_p - тривалість планових зупинок технологічних ліній на ремонт в добі;

n - кількість змін на добу;

t - тривалість робочої зміни в годинах;

K_v - коефіцієнт використання обладнання.

Для конвеєрної лінії:

$$T_{\phi} = (260 - 13) \cdot 280,95 = 3754,4 \text{ годин.}$$

Для теплової обробки:

$$T_{\phi} = (260 - 7) 380,92 = 5807,04 \text{ годин.}$$

Для поточно-агрегатної, касетної ліній:

$$T_{\phi} = (260 - 7) 280,92 = 3724,16 \text{ годин.}$$

Для складського господарства:

$$T_{\phi} = (365-7) 380,92 = 7904,64 \text{ годин.}$$

У розрахунках річного фонду робочого часу не враховуються простой устаткування через нестачу робочої сили, сировини, палива, електроенергії або організаційних неполадок, а також втрати робочого часу, пов'язані з браком у виробництві.

3.2 Визначення витрати компонентів бетону

Витрата компонентів бетону: води, цементу, дрібного і крупного заповнювачів визначають попереднім розрахунком складу бетону за відповідними методиками [25].

Розрахунок складу бетону. Для марки бетон 150 з міцністю $R_b = 15$ МПа і удобоукладальністю (осадка конуса) О.К. = 3 - 4 см:

Початкові дані:

1. Цемент М300, $R_c = 30$ МПа - активність цементу, $\rho_c = 3100$ кг/м³ - дійсна густина цементу, $\rho_H^c = 1100$ кг/м³ - насипна щільність цементу.

2. Дрібний заповнювач $\rho_d = 2540$ кг/м³ - дійсна густина, $\rho_H^d = 1500$ кг/м³ - насипна щільність дрібного заповнювача.

3. Крупний заповнювач $D_{\max} = 20$ мм - максимальний розмір зерен, $\rho_k = 2800$ кг/м³ - дійсна густина, $\rho_H^k = 1430$ кг/м³ - насипна щільність крупного заповнювача, міжзернова порожнинність становить 51 %.

4. Заповнювачі рядові.

Цементно-водне відношення визначається з формули:

$$R_b = A \cdot R_c \cdot (Ц/В - 0,5), \quad (3.1)$$

$$R_b = A \cdot R_c \cdot (Ц/В + 0,5), \quad (3.2)$$

де R_b - міцність бетону, МПа;

A - емпіричний коефіцієнт, що залежить від якості заповнювачів, $A = 0,6$;

R_c - міцність цементу, МПа;

Ц/В - цементно-водне відношення.

Якщо марка бетону менше або дорівнює марці цементу, розрахунок ведеться по формулі (3.1). Якщо марка бетону більше марки цементу, розрахунок ведеться за формулою (3.2).

$$150 = 0,6 \cdot 300 \cdot (Ц/В - 0,5),$$

$$Ц/В = 1,33$$

Витрата води визначається, виходячи із заданої легкоукладальності бетонної суміші, виду і крупності заповнювача.

Для О.К. = 3 - 4 см і $D_{\text{макс}} = 20$ мм витрата води дорівнює $V = 195$ л

Витрата цементу визначається за формулою:

$$Ц = В \cdot Ц/В, \quad (5.3)$$

де V - витрата води, л.

$$Ц = 195 \cdot 1,33 = 260 \text{ кг}$$

Витрата крупного заповнювача визначається за формулою:

$$K = \frac{1000}{\frac{V_{\text{п}} \times K_{\text{р}}}{\rho_{\text{н}}^{\text{к}}} + \frac{1}{\rho_{\text{к}}}} \quad (3.4)$$

де $K_{\text{р}}$ - коефіцієнт розсунення зерен (приймаємо $K_{\text{р}} = 1,33$);

$V_{\text{п}}$ - порожнистість крупного заповнювача, $V_{\text{п}} = 51$ %

$$K = 1000 / (0,51 \cdot 1,33 / 1,43 + 1 / 2,80) = 1202 \text{ кг}$$

Витрата дрібного заповнювача визначається за формулою:

$$D = \left[1000 - \left(\frac{Ц}{\rho_{ц}} + В + \frac{К}{\rho_{к}} \right) \right] \times \rho_{д} \quad (3.5)$$

де Ц - витрата цементу, кг;

$\rho_{ц}$ - дійсна густина цементу, кг/м³;

К - витрата крупного заповнювача, кг;

$\rho_{к}$ - дійсна густина крупного заповнювача, кг/м³;

В - витрата води, л;

$\rho_{д}$ - дійсна густина дрібного заповнювача, кг/м³.

$$D = [1000 - (260/3,1 + 195 + 1202/2,80)] 2,54 = 740 \text{ кг.}$$

Аналогічно розраховуються марки бетону: М150 О.К. = 5 см; М150 О.К. = 8см; М200 ОК = 5 см; М200 ОК = 8 см. Результати розрахунку в таблиці 3.1

Для М150 і О.К. = 5 см.

Цементно-водне відношення визначається за формулою (3.1):

$$Ц/В = 150/(300 \times 0,6) + 0,5 = 1,33.$$

Кількість цементу визначається за формулою (3.3):

$$Ц = 200 \times 1,33 = 267 \text{ кг.}$$

Кількість крупного заповнювача визначається за формулою (3.4):

$$К = 1000/(0,51 \times 1,35/1,43 + 1/2,80) = 1192 \text{ кг.}$$

Кількість дрібного заповнювач визначається за формулою (3.5):

$$D = [1000 - (267/3,1 + 200 + 1192/2,80)] 2,54 = 732 \text{ кг.}$$

3.3 Визначення усереднено-умовного складу бетону

Результати розрахунку складу бетону наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 - Результати розрахунку складу бетону.

Марка бетону	Гранична крупність заповнювача, мм	ОК, см	Витрати матеріалів, кг/л на м ³ бетону				
			вода	цемент	крупний заповнювач	дрібний заповнювач	Частка бетону в загальному складі, %
150	20	3-4	195	260	1203	741	0,07
150	20	5	200	267	1192	732	0,25
150	20	8	210	280	1177	709	0,20
200	20	5	200	267	1192	732	0,13
200	20	8	210	280	1177	709	0,35

Витрати компонентів усереднено-умовного складу бетону (V_y , Π_y , K_y , D_y) підраховуються за формулами:

$$V_y = \chi_1 V_1 + \chi_2 V_2 + \dots + \chi_n V_n,$$

$$K_y = \chi_1 K_1 + \chi_2 K_2 + \dots + \chi_n K_n,$$

$$D_y = \chi_1 D_1 + \chi_2 D_2 + \dots + \chi_n D_n,$$

$$\Pi_y = \chi_1 \Pi_1 + \chi_2 \Pi_2 + \dots + \chi_n \Pi_n,$$

де χ_n - частка кожного складу в загальній продуктивності бетонозмішувального цеху.

$$V_y = 195 \cdot 0,07 + 200 \cdot 0,25 + 210 \cdot 0,20 + 200 \cdot 0,13 + 210 \cdot 0,35 = 205 \text{ кг}$$

$$K_y = 1203 \cdot 0,07 + 1192 \cdot 0,25 + 1177 \cdot 0,20 + 1192 \cdot 0,13 + 1177 \cdot 0,35 = 1184 \text{ кг}$$

$$D_y = 741 \cdot 0,07 + 732 \cdot 0,25 + 709 \cdot 0,20 + 732 \cdot 0,13 + 709 \cdot 0,35 = 720 \text{ кг}$$

$$C_y = 260 \cdot 0,07 + 267 \cdot 0,25 + 280 \cdot 0,20 + 267 \cdot 0,13 + 280 \cdot 0,35 = 274 \text{ кг}$$

Результати розрахунку усереднених-умовного складу бетону наведено в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 - Результати розрахунку усереднених-умовного складу бетону

Вид бетону	Витрати матеріалів, кг/л на м ³ бетону			
	вода	цемент	крупний заповнювач	дрібний заповнювач
Усереднений склад бетону	205	274	1184	720

3.3 Розрахунок матеріального потоку

Для розрахунку матеріального виробничого потоку уточнюється розподіл виробничого процесу на технологічні зони і норми неминучих втрат матеріалів по зонах.

Зона 1: транспортно-сировинної ділянки. Втрати цементу 1 %, щебеню 1 %, піску 2 %.

Зона 2: склади сировини. Втрати цементу 1 %, крупного заповнювача 1,5 %, дрібного заповнювача 2 %.

Зона 3: бетонозмішувальний вузол. Втрати бетонної суміші 1 %.

Зона 4: формувальні лінії. Втрати бетонної суміші 0,5 %.

Зона 5: ділянка термообробки і доведення виробів. Втрати 0,5 %.

Зона 6: склад готової продукції. Втрати 0,5 %.

Потім підраховуються необхідні продуктивності технологічних переділів і потреби в матеріалах, починаючи з зони: склад готової продукції за формулою:

$$\Pi_{(n+1)} / \frac{(1 - Q_n)}{100} \quad (3.6)$$

де Π_n - продуктивність в зоні n (n - номер зони), м³/рік;

$\Pi_{(n+1)}$ - продуктивність в зоні, наступної за зоною, що розраховується (зона номер n + 1);

Q_n - виробничі втрати в зоні, %.

Розрахунок потреби заводу в цементі і крупного заповнювача ведеться за формулою:

$$\begin{aligned} \text{Ц} &= \Pi^{(\text{БЗВ})} \cdot \text{Ц}_y / (1 - Q^{(\text{склад сировини})} / 100), \text{ т} \\ \text{К} &= \Pi^{(\text{БЗВ})} \cdot \text{К}_y / ((1 - Q^{(\text{склад сировини})} / 100) \cdot \rho_{\text{Н}}^{\text{К}}), \text{ м}^3 \end{aligned}$$

де $\Pi^{(\text{БЗВ})}$ - продуктивність в зоні БСУ;

$\text{Ц}_y, \text{К}_y$ - витрата цементу і крупного заповнювача на 1 м³ умовного бетону;

$Q^{(\text{склад сировини})}$ - втрати цементу і крупного заповнювача на складі, %;

$\rho_{\text{Н}}^{\text{К}}$ - насипна щільність крупного заповнювача, т/м³.

Матеріальний потік бетону проектового підприємства представлений у таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 - Матеріальний потік бетону проектового підприємства

№ п/п	№ зон	Переділ	Втра ти, %	Од. вим.	Формула (б)	Продуктивність		
						рік	доба	год.
1	0	Реалізація ЖБ	0	м ³	68600	68600	208,28	8,68

2	6	Склад готової продукції	0,5	м ³	$68600/(1-0,5)/100$	68944,72	209,33	8,72
3	5	Термообробка	0,5	м ³	$68944,72/(1-0,5)/100$	69291,18	286,37	11,93
4	4	Формувальні лінії цеху	0,5	м ³	$69291,18/(1-0,5)/100$	69639,38	448,78	18,70
5	3	Бетонозмішувальний вузол	1	м ³	$69639,38/(1-1)/100$	70342,81	453,32	18,89
6	2	Склад сировини:	1	т	$70342,81 \times 0,274 / (1-1) / 100$	19468,62	59,11	2,46
		- цементу	1,5	м ³	$(70342,81 \times (1,184 / 1,43)) / (1-1,5) / 100$	59128,81	179,00	7,48
		- крупного заповнювача	2,0	м ³	$(70342,81 \times (0,720 / 1,5)) / (1-2) / 100$	34453,62	104,60	4,35
7	1	Транспортно-сировинна ділянка:						
		- цементу	1,0	т	$19468,62 / (1-1) / 100$	19665,27	59,71	2,49
		- крупного заповнювача	1,5	м ³	$59128,81 / (1-1,5) / 100$	60029,24	182,26	7,59
		- дрібного заповнювача	2,0	м ³	$34453,62 / (1-2) / 100$		106,74	4,44

3.4 Проектування бетонозмішувального цеху

До складу бетонозмішувального цеху входять: склад цементу, склади заповнювачів, бетонозмішувальні вузли та внутріцехові транспортні зв'язки між складами сировини і бетонозмішувальні установки.

3.4.1 Проектування складу цементу

Цемент на заводах зберігається в силосних складах, які в залежності від виду транспорту залізничного, автомобільного, водного, можуть бути: прирейкові, притрасові, берегові.

Берегові склади цементу використовуються, коли економічно використовувати найдешевший вид транспорту - водний, і при відсутності інших транспортних зв'язків з цементним заводом.

У нашому випадку цемент доставляється за допомогою залізничного транспорту.

При проектуванні необхідно передбачати роздільне зберігання цементу за видами і марками.

Необхідна місткість складу цементу визначається за формулою:

$$V_{\text{сц}} = \frac{Ц_{\text{доб}} \times n}{K_3},$$

де $Ц_{\text{доб}}$ - добова потреба заводу в цементі, т;

n - нормативний запас цементу, діб;

K_3 - коефіцієнт запасу ($K_3 = 0,9$).

Так як доставка цементу здійснюється залізничним транспортом, то $n = 7 - 10$ діб.

$$V_{\text{сц}} = 59,11 \times 7 / 0,9 = 460 \text{ т.}$$

За значенням необхідної місткості складу цементу вибираємо типовий проект автоматизованого призалізничного складу цементу, характеристики якого представлені в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 - Характеристика типового складу цементу

Місткість, т	Кількість силосів	Вантажообіг, тис. т/рік	Потужність струмоприймачів, кВт	Число працюючих, чол.
480	4	24,48	208	5

Склад розміщується поблизу БЗВ з підвітряного боку від формувальних і адміністративно-побутових корпусів. Цементопровід зі складу в БЗВ вибирається по найкоротшому шляху з найменшою кількістю вигинів. З точки зору економії цементу при складі потрібно передбачити ділянку домола з метою підвищення або відновлення у залежавшогося цементу активності. Домол з добавками знижує витрату цементу, покращує властивості бетонної суміші і підвищує швидкість і ступінь гідратації цементу. Домелених цемент відразу подається в витратні бункери БЗВ.

3.4.2 Проектування складу заповнювачів

Існуючі типи складів заповнювачів можна класифікувати:

- за способом зберігання: відкриті, закриті і частково закриті;
- по виду ємності: штабельні (матеріал складається на майданчику, по довжині розділений стінками на відсіки), бункерні, напівбункерні, силосні і траншейні;

- в залежності від виду транспорту та розташування складів: прирейкові, притрасові, берегові і комбіновані;

- по виду обладнання для завантаження складу: естакадні (заповнювач завантажується в ємності зверху за допомогою стрічкового транспортера з візком, що скидається), грейферні (мостовий кран з грейферним захватом ходить над складськими ємностями), зі штабіліровочною машиною С-492;

- по виду обладнання для розвантаження складу і подачі заповнювачів в БСУ: галерейні (забір матеріалу проводиться через затвори на стрічковий транспортер, розташований в підземній галереї під складськими ємностями), бункерні (матеріал з ємностей подається в прийомні бункера грейферним краном, автовантажувачем або бульдозером).

Найбільш надійним з точки зору збереження якості наповнювачів, повної механізації і автоматизації складських операцій є тип складу: комбінований (прирейковий, притрасовий), полубункерний, естакадно-галерейний, закритий склад.

Незважаючи на більше капіталовкладення при будівництві, трудомісткість і собівартість складської переробки наповнювачів нижче.

Розрахунок складу проводиться, виходячи з потреби в сировинних матеріалах, нормативних запасів і конкретної характеристики прийнятого типу складу. Розрахунки зводяться до визначення місткості, площі і геометричних розмірів складу. Ємність (m^3) в складі для зберігання кожного виду заповнювача розраховується за формулою.

$$V_c = \Pi_{\text{доб}} \times n \times K_{\phi} \times K_3,$$

де $\Pi_{\text{доб}}$ - добова потреба заводу в даному виді заповнювача, m^3 ;

n - нормативний запас заповнювача, доб;

K_{ϕ} - коефіцієнт що враховує необхідне збільшення ємності складу при зберіганні декількох фракцій заповнювачів;

K_3 - коефіцієнт завантаження ($K_3 = 1,2$ для полубункерних складів).

Для крупного заповнювача:

$$V_{\text{ск}} = 179,07 \times 1,05 \times 1,2 = 1578,7 \text{ м}^3;$$

Для дрібного заповнювача:

$$V_{\text{сд}} = 104,67 \times 1,05 \times 1,2 = 922,5 \text{ м}^3;$$

$$V_{\text{заг}} = (V_{\text{ск}} + V_{\text{сд}}) \times 1,2 = (1578,7 + 922,5) \times 1,2 = 3001,44 \text{ м}^3.$$

За величиною сумарної місткості складу наповнювачів підбираємо типовий склад прирельсового типу, характеристики якого представлені в таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 - Характеристика типового складу наповнювачів.

Шифр	Місткість складу, м ³	Річний вантажообіг, тис. м ³ /рік	Площа забудови, м ²
708-13-84	3000	85	1396,5

Прив'язка типового складу здійснюється поблизу транспортних магістралей і на мінімально необхідному відстані від БСУ, щоб транспортний зв'язок (галерея) між ними була якомога коротша.

3.4.3 Розрахунок бетонозмішувального вузлу (БЗВ)

Необхідна годинна продуктивність бетонозмішувального відділення (БЗВ) визначається за формулою:

$$P_{\text{б.год.}} = P_3 \times K_1 \times K_2,$$

де P_3 - годинна продуктивність БЗВ, м^3 ;

K_1 - коефіцієнт резерву виробництва;

K_2 - коефіцієнт нерівномірності видачі та споживанні бетонної суміші.

$$P_{\text{б.год.}} = 18,89 \times 1,2 \times 1,25 = 28,4 \text{ м}^3.$$

Годинна продуктивність бетонозмішувача визначається за формулою:

$$Q_{\text{год}} = 60 \frac{V_3}{t_{\text{ц}}} \times K_{\text{в}},$$

де V_3 - обсяг одного готового замісу, м^3 ;

$t_{\text{ц}}$ - час циклу приготування одного замісу, хв;

$K_{\text{в}}$ - коефіцієнт використання.

$$Q_{\text{год}} = 60 \times 10,97 / 2 = 29,1 \text{ м}^3.$$

Необхідна кількість змішувачів підраховується за формулою:

$$Z = P_{\text{б.год.}} / Q_{\text{год}}, \text{ шт.}$$

$$Z = 28,4 / 29,1 = 0,98.$$

Приймаємо 2 змішувача для бетону СБ-93.

Технічна характеристика примусового змішувача СБ-93 представлена у таблиці 3.6.

Таблиця 3.6 - Технічна характеристика примусового змішувача СБ-93 [26].

Параметр	Величина
Обсяг готового замісу, л (V_3):	
- бетонної суміші	1000
- розчину	1200
Місткість по завантаженню, л	1500
Число циклів в 1 годину при приготуванні:	
- бетонної суміші	40
- розчину	35
Найбільша крупність заповнювача, мм	70
Частота обертання робочого органу, об / хв	20
Потужність двигуна, кВт:	
- обертання робочого органу	37
Тиск в пневмосистемі, МПа	0,4 – 0,6
Габаритні розміри, м	3,34×2,69×2,85
Маса, кг	4900

3.4.4 Розрахунок витратних бункерів

За нормами встановлюється число і місткість витратних бункерів для великих, дрібних заповнювачів і цементів.

Обсяг витратного бункера визначається за формулою:

$$V_6 = \frac{\Pi \times n}{0,8 m} \rho,$$

де Π - витрата матеріалу, м³/год;

n - час, на яке робиться запас;

m - кількість бункерів;

ρ - насипна щільність (для цементу).

Бункер цементу:

$$V_{\text{бц}} = 2,46 \times 2 \times 1,1 / 0,8 \times 2 = 3,38 \text{ м}^3.$$

Бункер дрібного заповнювача:

$$V_{\text{бд}} = 4,35 \times 2 / 0,8 \times 2 = 5,43 \text{ м}^3.$$

Бункер крупного заповнювача:

$$V_{\text{бк}} = 7,48 \times 3 / 0,8 \times 4 = 7,01 \text{ м}^3.$$

3.4.5 Вибір дозаторів

Вибір дозаторних пристроїв здійснюється по максимальній витраті того чи іншого компонента. Технічні характеристики дозаторів представлені в таблиці 3.7

Таблиця 3.7 - Технічна характеристика вагових дозаторів циклічної дії

Показник	Для води	Для цементу	Для дрібного заповнювача	Для крупного заповнювача
Позначення	АВДЖ-2400М	АВДЦ-1200М	АВДІ-1200М	АВДІ-2400М

Межа дозування	20-500	100-300	200-1200	250-1300
Цикл дозування	90	90	90	90
Габарити	1,86×1,1×2,75	1,81×0,96×2,15	2,06×1,17×2,66	2,06×1,17×2,6

3.5 Висновки

Найважливішою ланкою технічного прогресу у виробництві магnezіальних бетонів (сумішей), що зв'язує науку з виробництвом, є проектування нових технологічних ліній, цехів, реконструкція та переоснащення діючих підприємств. У проектах безпосередньо реалізуються результати наукових досліджень, використовуються досягнення передової техніки. Від якості проектування в значній мірі залежать темпи технічного прогресу.

Розрахунок матеріально-виробничого потоку бетонозмішувального цеху виконується з метою виявлення потреб в сировинних матеріалах, напівфабрикатах, комплектуючих деталях і готових виробах по всіх переділах технологічного процесу. Дані розрахунку потоку використовуються для проектування складів цементу і заповнювачів, бетонозмішувальних вузлів, бетонозмішувального цеху, формувальних ліній і теплових установок формувальних цехів і складів готової продукції.

4 ВДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА МАГНЕЗІАЛЬНОГО БЕТОНУ ДЛЯ МОНОЛІТНОЇ ФУТЕРОВКИ ПРОМІЖНИХ КОВШІВ МБЛЗ

Магнезіальні вогнетриви широко використовують для футерування конвертерів, електросталеплавильних печей, сталерозливальних ковшів, установок безперервного лиття заготовок та ін. При цьому монолітні футеровки є найбільш прогресивним видом магнезіальних футеровок. Вони прості у виготовленні, дозволяють викладати будь-які складні форми, і на відміну від виробництва вогнетривких формованих виробів не потребують тривалої та енергоємної операції обпалення. Перевагою перед іншими футеровками є також виключення необхідності ломки старих футеровок – їх просто підливають до первісних розмірів. При цьому досягається максимальне покращення умов праці робочих та найбільша продуктивність. Згідно роботі [28], натеper частка неформованих вогнетривів в Японії перевищує 60 %, а в США досягла 55 %.

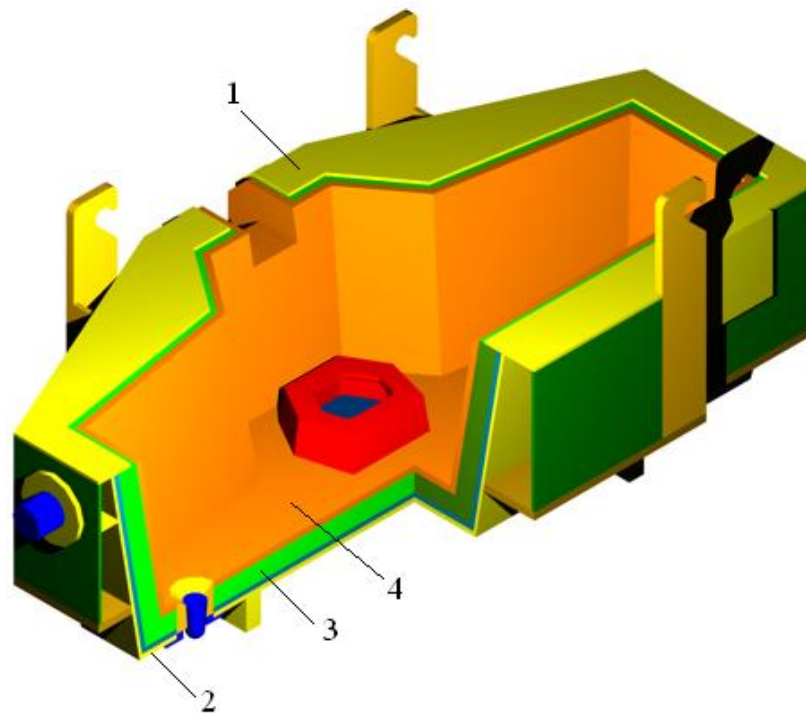
Монолітні магнезіальні футеровки можуть бути створені з вогнетривких бетонів на основі периклазу: плавленого для найбільш важких умов служби або спеченого для менш важких умов. До першого випадку відноситься футеровка днища та стінок проміжних ковшів МБЛЗ.

4.1 Футеровка проміжних ковшів МБЛЗ

Проміжні ковші служать для передачі сталі зі сталерозливних ковшів в кристалізатор, створення резерву сталі при зміні сталерозливних ковшів, видалення неметалевих включень, підтримання постійної швидкості лиття, температури сталі, усунення поглинання металом газів з повітря. Довга тривалість контакту з металом та шлаком (10 -25 годин та більше), високі

температури дуже впливають на стійкість футеровки й обумовлюють високі вимоги як до її якості, так і до можливості спрощення її ремонту.

Важливим напрямом збільшення ефективності безперервного розливання сталі є збільшення числа плавок без заміни проміжного ковша. Для цього в конструкції проміжних ковшів використовують багат шарові футеровки, що складаються з основного (арматурного) шару, на який зверху наносять робочий (витратний) шар (рис. 4.1). В останній час набула поширення футеровка, в якій арматурний шар виконують з тиксотропних алюмосилікатних наливних мас з вмістом Al_2O_3 від 40 до 95 %, а робочий шар – з основних вогнетривких мас, що містять більш ніж 85 % MgO [28].



1 – кожух; 2 – теплоізоляційний шар; 3 – арматурний шар; 4 – робочий шар

Рисунок 4.1 - Схема футеровки проміжного ковша МБЛЗ [27]

Робочий шар футеровки проміжного ковша звичайно працює тільки один цикл розливки. Стійкість арматурного шару – 800-1000 плавок. Робочий шар, як правило, наноситься на арматурний методом мокрого торкретування (набризкування).

Вогнетриви на основі MgO дуже стійкі щодо FeO: в системі MgO-FeO при температурі 1600 °C розплав з'являється лише при вмісті 80 % FeO, у то час як в системах CaO-SiO₂-Al₂O₃ вже при 40 - 60 % FeO кількість розплаву досягає 100 %.

Використання магнезійних бетонів забезпечує також чистоту сталі щодо неметалевих включень за рахунок виключення контакту сталі з вогнетривами, що містять оксиди алюмінію та кремнію.

Мінімальна товщина покриття має бути 30 мм. Це забезпечує оптимальний ефект зчеплення торкрет-покриття з робочою футеровкою та її легкому відділенню від арматурного шару після розливки.

В процесі розливки найбільше руйнування футеровки проміжного ковша спостерігається в зоні падіння струму металу зі сталерозливного ковша та в зоні шлаку. Одним зі способів захисту футеровки є відповідне локальне збільшення товщини робочого шару, що дозволяє збільшити число плавов без заміни проміжного ковша.

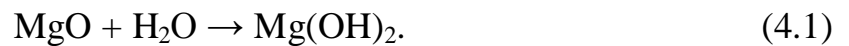
4.2 Дослідження процесу формування магнезійного бетону

Магнезійні бетони є досить перспективним матеріалом для виготовлення монолітних футеровок теплових агрегатів. Основа бетону, MgO, має дуже високу температуру плавлення, високу стійкість при роботі з основним шлаками. Аналіз досліджень в області вдосконалення бетонів показує перспективність отримання малоцементних та безцементних бетонів, які зберігають високу вогнетривкість, та зменшують потрапляння неметалевих включень під час контакту з розплавленим металом. Але недоліком магнезійних бетонів є схильність цих матеріалів до гідратації як при контакті з водою, так і з водяною парою, що призводить до їхнього

розтріскування. Тому дослідження шляхів пригнічення процесів гідратації оксиду магнію MgO є актуальною проблемою.

4.2.1 Дослідження процесу гідратації периклазового порошку

Основною перешкодою для широкого використання периклазових монолітних вогнетривів є схильність MgO до гідратації, в результаті якої утворюється брусит Mg(OH)₂:



Процес гідратації периклазу супроводжується руйнуванням кубічної решітки MgO, утворенням нової гексагональної структури бруситу Mg(OH)₂, об'ємним розширенням та руйнуванням структури бруситу при подальшому нагріванні. Загальна реакція утворення бруситу (4.1) є сумарною, і фактично включає ряд проміжних процесів, в ході яких на поверхні кристалів периклазу утворюються позитивні іони Mg(OH)⁺, які переходять в водний розчин. Коли концентрація іонів Mg²⁺ досягає насичення, на поверхні периклазу осідає гідроксид магнію Mg(OH)₂, який далі утворює кристалічний брусит.

Різна щільність MgO (3,5 г/см³) і бруситу (2,4 г/см³) призводить до виникнення тріщин. Реакція протікає в бетонах під час змішування та сушіння. На утворення тріщин впливають такі фактори, як природа MgO, присутність функціональних добавок, пористість.

При температурах 400-600 °C брусит розкладається, що призводить до зростання пористості й впливає на механічну міцність бетону в даному температурному діапазоні.

Крім того, гідратація MgO може впливати на реологію бетону, що

призводить до необхідності використання більшої кількості води, а також до прискорення погіршення плинності.

Представляє практичний інтерес аналіз можливості виготовлення якісних магнезіальних бетонів на основі гідратаційних в'язучих для футеровки металургійних агрегатів, а саме для проміжного ковша МБЛЗ. Виготовлення магнезіального бетону оптимального складу потребує досліджень можливостей уникнення розвитку процесів гідrataції MgO.

Для забезпечення високої зносостійкості футеровки як вихідний матеріал використовують плавлений периклаз. Для нього властиві висока вогнетривкість, метало- та шлакостійкість. Плавлений периклаз має більшу щільність ніж каустичний (більше $3,5 \text{ г/см}^3$ порівняно з $2,4 \text{ г/см}^3$) і $\text{CaO/SiO}_2 = 2:1$ та більше, щоб уникнути утворення легкоплавких Ca-Mg силікатів: мервиніту і монтічеліту з температурами плавлення нижче $1500 \text{ }^\circ\text{C}$. При відношенні $\text{CaO/SiO}_2 > 2$ утворюється двокальцієвий силікат з температурою плавлення $2130 \text{ }^\circ\text{C}$ та трикальцієвий силікат, який плавиться при $2050 \text{ }^\circ\text{C}$. Периклаз для виробництва вогнетривів має мати високу щільність, великий розмір кристалів і низький вміст оксидів заліза ($0,3 - 0,4 \%$), які при високих температурах, утворюють тверді розчини з MgO, що мають більше теплове розширення ніж з CaO. Вміст SiO_2 також має бути знижений через погіршення вогнетривких властивостей [28].

В умовах центральної комплексної лабораторії ПРАТ «Запоріжвогнетрив» було проведено дослідження плавленого периклазу марки DTMF 97 фракцій 3-1, 1-0,5 і менше $0,063 \text{ мм}$ виробництва ООО «Магнезит» (Росія). Хімічний склад і щільність його наступні:

MgO – 97 %, CaO – 1,5 %, SiO_2 – 0,5 %, Al_2O_3 – 0,1 %, Fe_2O_3 – 0,7 %;
уявна щільність $3,46 \text{ г/см}^3$. Пористість – 2,5 %.

Петрографічне дослідження показало (рис. 4.2), що зерна порошку складаються з полігональних і ізометричних кристалів, в основному прямо зв'язаних між собою, іноді через силікатні прошарки двокальцієвого силікату і монтічеліту. Зустрічаються зростки призматичних і ізометричних

кристалів. Попадаються зерна з округлою формою з силікатними плівками монтичелітового складу і порами, розмір яких близький до розмірів кристалів. Розмір кристалів – від 60 до 1025 мкм, середні розміри – від 130 до 510 мкм.

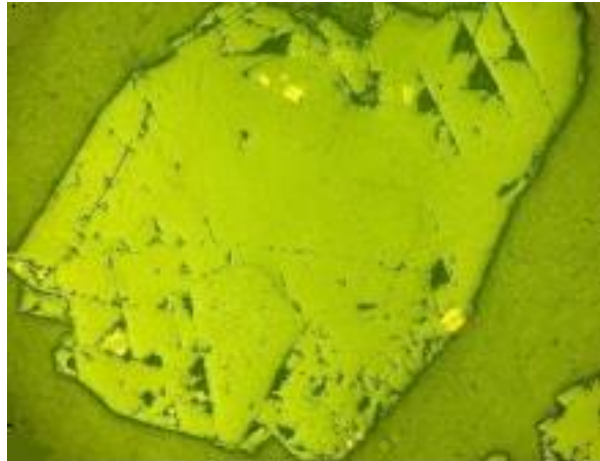


Рисунок 4.2 - Мікроструктура плавленого периклазу

Навіску порошку, прожареного при 1000 °С до постійної маси, витримували в дистильованій воді протягом 72 год при 20, 35 и 50 °С, після чого порошки сушили й визначали прирощення маси. Зміни маси порошку фракції < 0,063 мм в залежності від температури та часу гідратації показано на рисунку 4.3. Видно, що гідратація тонкої фракції периклазу помітно залежить від температури: швидкість гідратації є значною у першу добу, особливо при 35 та 50 °С. Потім швидкість гідратації знижується.

Крупні фракції периклазу гідратуються несуттєво. При витримці протягом 72 год. при максимальній температурі (50 °С) приріст маси порошку не перевищує 1,0 - 1,5 %.

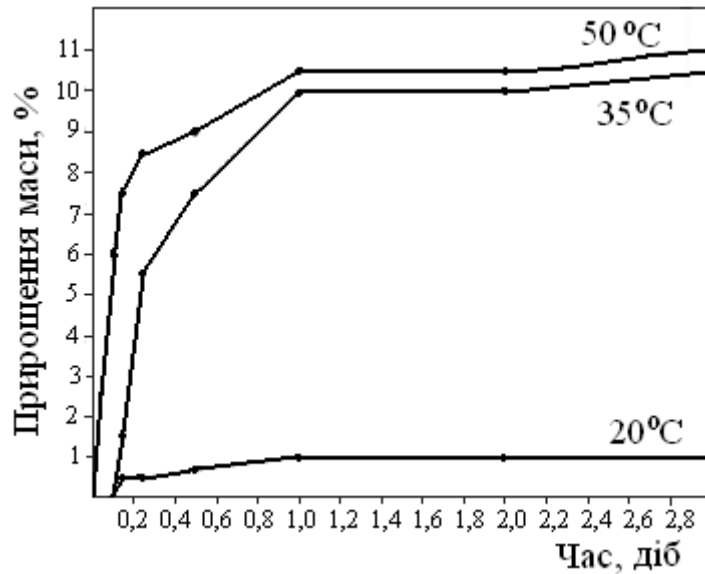
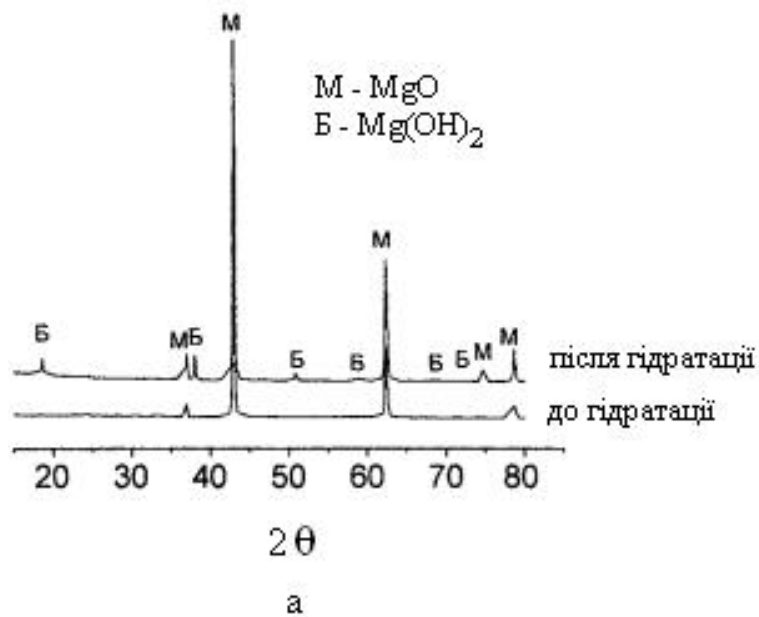


Рисунок 4.3 - Залежність гідратації порошку MgO фракції <0,063 мм від часу витримки у воді при різних температурах

Характер такої залежності можна пояснити утворенням шару $Mg(OH)_2$ на поверхні кристалів периклазу, який гальмує подальший масоперенос, і реакція (4.1) переходить в дифузійний режим.

Результати рентгеноструктурного аналізу порошків периклазу до і після гідратації показані на рисунку 4.4.



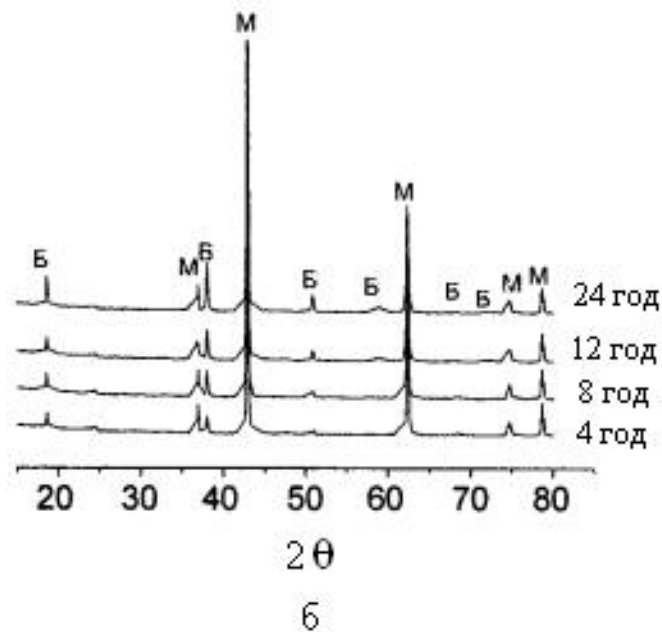


Рисунок 4.4 – Результати рентгеноструктурного аналізу порошку периклазу до і після гідратації при 20 °С (а) і після гідратації при 50 °С (б) різної тривалості

З рисунку 4.4 видно, що інтенсивність піків бруситу зростає з температурою та часом гідратації.

Спостереження дозволяють зробити висновок, що гідратація плавленого MgO відноситься до топохімічних реакцій, які мають індукційний період. Для фракцій 3 - 1 та 0,5 - 1 мм він триває 2 - 3 год, а для тонкомолотого порошку MgO фракції < 0,063 мм він практично відсутній.

Отже, необхідність застосування заходів щодо зниження гідратації MgO відноситься, насамперед, до фракції <0,063 мм. Можна припустити, що для цього слід знизити швидкість розчинення MgO та/або осадження Mg(OH)₂ – наприклад, за рахунок зниження рН системи.

2.2.2 Дослідження властивостей периклазового бетону на високоглиноземистому цементі

Вибір виду та кількості добавок, що уповільнюють процеси гідратації периклазу та регулюють реотехнологічні властивості бетонних мас, є ключовим завданням технології периклазових бетонів.

Результати дослідження гідратації порошку периклазу показали, що для виготовлення бетонів з тонкоподрібненого периклазу потрібні міри, що запобігають гідратації MgO. Використання в магнезійних бетонах в якості в'язучого периклазового цементу, що характеризується високою питомою поверхнею та збільшеною дефектністю зерен, через високу гідравлічну активність цементу призводить до погіршення реологічних властивостей бетонних мас, зниженню їхньої рухливості та удобоукладиваємості, ускладнює процеси формування бетону. Також, при гідратації периклазового цементу може формуватися брусит з відповідними об'ємними змінами та розпушуванням структури бетону, зниженням механічної міцності бетону при твердінні та наступній термообробці.

Згідно даним практики, для виробництва низькоцементних бетонних сумішей доцільно використовувати моноалюмінаткальцієві цементи.

З урахуванням вище зазначеного, використовували високоглиноземистий цемент марки СА-270 та диспергуючі добавки марок М-ADS і М-ADW виробництва компанії Almatix.

Цемент СА-270 – представник другого покоління цементів з 70 % Al_2O_3 , який характеризується дуже низькою водопотребою, доброю плинністю та високою міцністю. Він використовується, головним чином, в низькоцементних або ультранизькоцементних бетонах, що укладаються за допомогою вібрації або торкретуванням, а також в самоплинних бетонах.

Характеристики цементу марки СА-270: CaO – 27,5 %, Al_2O_3 – 72,0 %, MgO – 0,2 %, SiO_2 – 0,2 %, Fe_2O_3 – 0,1 %; частка фракції -0,45 мкм – 88 %;

період тужавлення – тривалий.

Диспергуючі добавки марок M-ADS і M-ADW (диспергуючі глиноземи) використовують для руйнування агрегатів з високодисперсних частинок. Вони також дозволяють корегувати швидкість твердіння бетону (при незначному впливі на початок твердіння): M-ADS – сповільнювач твердіння, M-ADW – прискорювач. Обидві добавки використовують одночасно в заздалегідь встановленій пропорції, що забезпечує бажані терміни твердіння. Згідно рекомендаціям виробника, загальна кількість диспергуючого глинозему, що вводять у бетонні маси, становить приблизно 1 мас.% (при будь-якому співвідношенні). В роботі [34] відмічають ряд переваг цих добавок перед використанням традиційних диспергаторів – фосфатів і лимонної кислоти.

Відомо, що зерновий склад шихт вогнетривів практично не залежить від виду заповнювачів і цементів і складає ($\pm 5\%$): фракції 3-1 мм – 45%, 1-0 мм – 25%, менше 0,06 мм – 30 %. Такий зерновий склад забезпечує найбільш щільну укладку зерен.

Зразки бетон готували згідно з ГОСТ Р52541-2006 «Бетонные огнеупорные. Подготовка образцов для испытаний»[30]. Для цього порошки компонентів бетону загальною масою 3 кг змішували в лабораторному змішувачі протягом 5 хв. Додавали воду і перемішували ще 5 хв. Склад суміші приведений в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Склад бетонної суміші

Вміст, мас. %, фракції MgO, мм			Вміст добавок, мас. %			Вода (понад 100%)
3-1	1-0,5	<0,063	CA-270	ADS	ADW	
45	20	29	5	0,5	0,5	5

Індекс розтікання шихти, що характеризує консистенцію бетонної маси, визначали методом конусу. Для цього бетонну масу заливали в форму-

конус без дна висотою 80 мм і діаметром основи 100 мм і залишали на 15 с для осідання. Потім форму підіймали і дозволяли масі вільно розтікатися протягом 2 хв. Після цього штангенциркулем вимірювали діаметр маси, що розтеклася, по двом перпендикулярним напрямкам і знаходили середнє значення, яке підставляли у формулу: $IP = d_{cp} - 100, \%$.

Індекс розтікання бетону при вологості 5 % склав 40 %.

Отриману вологу бетонну суміш заливали у кубічні форми з ребром 80 мм. Зразки сушили при 110 °С протягом 24 год., після чого обпалювали при 600 і 1100 °С з витримкою 2 год. при максимальній температурі обпалу.

Час тужавлення складав від 2-30 год. до 6-40 год.

Фазовий склад і параметри кристалічної решітки зразків проводили методом рентгенофазового аналізу за допомогою дифрактометра з обертовим анодом Miniflex 600 (Японія). Ідентифікацію дифракційних максимумів проводили з використанням банку даних JSPDS.

Вологість, відкриту пористість і уявну щільність визначали за ГОСТ 2409-2014, межу міцності зразків при стисканні – по ГОСТ Р 53065.2-2008.

Фазовий аналіз зразків представлено в таблиці 4.2, властивості – в таблиці 4.3.

Загальний вигляд частинки бетону після гідратації показаний на рисунку 4.5.

Таблиця 4.2 – Фазовий склад зразків

Фаза	Вміст, мас.%			
	до термообробки	після термообробки при температурі, °С		
		110	600	1100
MgO	94	96	99	98,7
Mg(OH) ₂	0,7	0,4	0,1	-
Ca ₂ Al ₂ O ₅ ·8H ₂ O	1,6	0,8	0,1	-
CaAl ₄ O ₇	1,2	0,4	0,2	-

CaAl_2O_4	2,5	1,6	0,3	0,3
$\text{Ca}_3\text{Al}_2(\text{OH})_{12}$	-	0,5	-	-
$\text{Al}(\text{OH})_3$	-	0,3	-	-
Al_2O_3	-	-	0,3	0,8
MgAl_2O_4	-	-	-	0,2

Таблиця 4.3 – Властивості зразків

Зразок	Водопоглинання, %	Відкрита пористість, %	Уявна щільність, г/см^3	Межа міцності при стисканні, МПа
до термо- обробки	2,5	7,5	2,98	40
після термо- обробки при, °С:				
110	3,5	10,5	2,95	50
600	4,6	13,5	2,90	30
1100	5,5	17,0	2,90	16

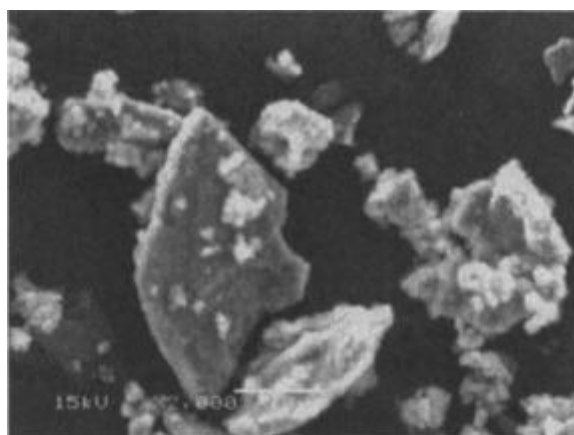


Рисунок 4.5 – Загальний вигляд частинок периклазу з цементом після гідратації

З таблиці 4.2 видно, що вміст фази $Mg(OH)_2$ при всіх температурах не перевищує 0,7 % (мас.) и не може суттєво впливати на стійкість бетону. Властивості зразків бетону до термообробки і висушених при $110\text{ }^\circ\text{C}$ знаходяться на рівні властивостей алюмосилікатних бетонів.

Обпалювання при температурі вище $600\text{ }^\circ\text{C}$ призводить до зростання відкритої пористості і зниження межі міцності, що пов'язане з руйнуванням цементних кристалогідратів. Спінання в системі не спостерігалось.

4.2.3 Дослідження властивостей низькоцементного периклазового бетону з додаванням мікрокремнезему

В технології вогнетривких бетонів для регулювання гідравлічної активності в'язучих і технологічних властивостей бетонних мас використовують добавки, які знижують водопотребу сумішей і покращують плинність мас, прискорюють або уповільнюють процеси гідратації цементу і твердіння бетону, а в умовах термічного нагрівання і при температурах експлуатації не призводять до погіршення високотемпературних властивостей бетону [31].

Аналіз літературних джерел показує, що для захисту частинок периклазу від гідратації використовують добавки мікрокремнезему, алюмініатів кальцію, реактивного або кальцінованого глиноземів [32, 33]. Механізм гідратації добавок і аморфні й кристалічні гідрати, що при цьому утворюються, впливають на гідравлічну активність та спінання периклазу.

Серед таких добавок особливо перспективним є мікрокремнезем.

Мікрокремнезем представляє собою ультрадисперсний матеріал, що складається з аморфного SiO_2 , який утворюється при очищенні газів від виробництва кремнію та феросиліцію. Печі для виробництва феросиліцію з високим вмістом кремнію дають мікрокремнезем, дуже подібний за своїми

властивостями і складом. Частинки мікрокремнезему мають гладку поверхню та сферичну форму. Середній розмір частинок – 0,1 - 0,2 мкм, а питома площа поверхні становить від 13000 до 25000 м²/кг.

Згідно літературних даних, мікрокремнезем є ефективним гальмувачем процесу гідратації MgO. В високолужному розчині він утворює кремнієву кислоту, яка реагує з гідратованою поверхнею зерен MgO, і в результаті утворюються гідрати силікатів магнію (MgHSiO₄·2H₂O), які створюють на поверхні частинок периклазу захисне покриття, яке ускладнює дифузію води та уповільнює гідратацію периклазу. Додавання мікрокремнезему дозволяє отримувати безцементні магнезіальні бетони. Крім того, відмічається, що добавки мікрокремнезему позитивно впливають на водопотребу, плинність та ін., тобто дозволяють контролювати властивості бетонів. При високих температурах MgO і SiO₂ утворюють форстерит, температура плавлення якого близько 1890 °С. Це нижче ніж температура плавлення MgO, проте можна очікувати кращий результат, ніж у разі використання цементів.

В даній роботі було досліджено вплив на властивості бетону добавок до порошку периклазу різних кількостей мікрокремнезему. Було використано мікрокремнезем виробництва Elkem (Норвегія). Порошок складався з рихлих агломератів з дуже низькою насипною щільністю. Хімічний склад мікрокремнезему представлений в таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 – Хімічний склад мікрокремнезему

MgO	SiO ₂	CaO	K ₂ O	Na ₂ O	інше
0,31	96,51	0,23	0,75	0,18	2,02

В роботі було приготовано три склади бетонів з різним вмістом мікрокремнезему: 3, 6 та 9 %. Вміст води був 5,5 %.

Зразки бетонів були отримані литтям в сталеві форми, витримані протягом 24 год при відносній вологості 90 % і потім висушені при 110 °С й обпалені при 1500 °С.

Методи дослідження були такі ж самі як в попередньому пункті. Результати досліджень механічних властивостей представлені в таблиці 4.5.

Загальний вигляд частинок периклазу з добавками мікрокремнезему показаний на рисунку 4.6.

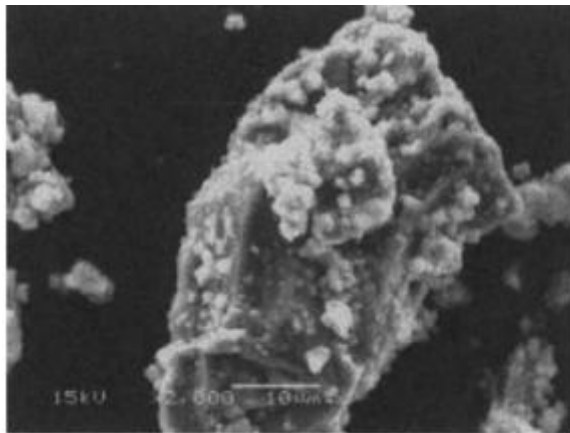


Рисунок 4.6 – Загальний вигляд частинок периклазу з добавкою мікрокремнезему

Таблиця 4.5 – Механічні властивості бетонів з мікрокремнеземом

Параметр	Вміст кремнезему, %					
	3	6	9	3	6	9
	після 100 °С			після 1500 °С		
Міцність на стискання, МПа	89,0	160,1	177,5	63,9	150,2	119,1
Модуль Юнга, ГПа	1,1	3,3	3,3	1,3	3,5	4,5
Уявна щільність, г/см ³	2,78	2,84	2,82	2,90	3,05	2,98
Відкрита пористість, %	14,7	4,8	5,8	16,5	10,6	11,8

З даних таблиці 4.5 видно, що після обробки при 100 °С найбільшу міцність має бетон з 9 % кремнезему, але міцність при 6 % є меншою дуже несуттєво. Така ж сама залежність спостерігається для модуля Юнга. Схожі результати спостерігаються щодо відкритої пористості. Зразок з 6 % мікрокремнезему має найнижчу пористість, яка лише незначно нижча за пористість зразка з 9 % мікрокремнезему. Зразок з 3 % кремнезему має пористість в три рази вище проти зразка з 6 %. Такий результат може бути пов'язаний з кількістю гідратованих фаз.

Рентгенофазовий аналіз показав наявність в зразках з 6 % та 9 % мікрокремнезему тільки периклазу, а для зразка з 3 % також незначну кількість бруситу (рис. 4.7). Тобто 3 % мікрокремнезему не повністю подавляє процес гідратації.

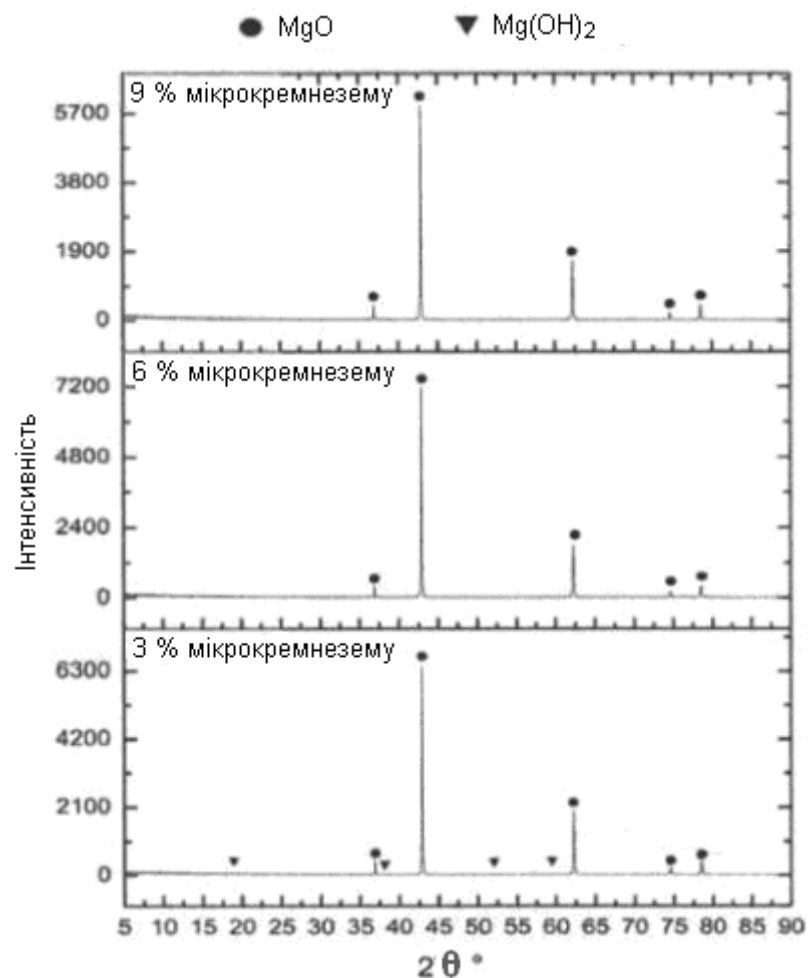


Рисунок 4.7 – Результати рентгенофазового аналізу зразків бетону після обробки при 110 °С

Після випалу при 1500 °С гідравлічний зв'язок повністю перейшов у керамічний. Для бетонів всіх складів спостерігалось зниження міцності на стискання, але у той же час зростання модуля Юнга та відкритої пористості. Найвищу міцність показав зразок з 6 % мікрокремнезему. Зразок з 9 % мікрокремнезему показав найбільше падіння міцності. Найнижча міцність – у зразка з 3 % мікрокремнезему.

Рентгенофазовий аналіз показав наявність тільки двох фаз: MgO та форстериту (рис. 4.8).

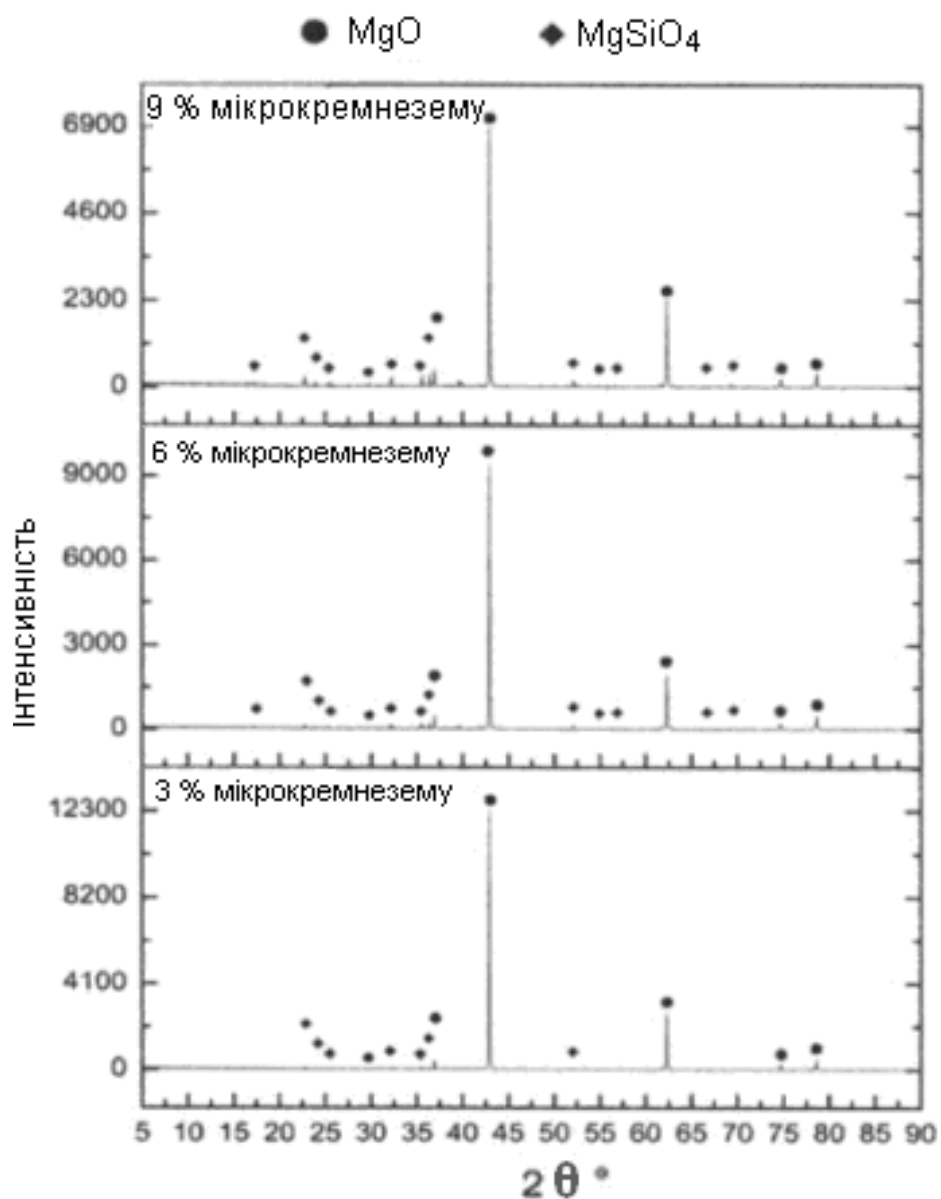


Рисунок 4.8 – Результати рентгенофазового аналізу зразків бетону після випалу при 1500 °С

Отримані результати свідчать, що механічні властивості бетонів після обробки при 110 °С залежать від кількості добавки мікрокремнезему і визначаються гідравлічним зв'язком. Більша кількість мікрокремнезему створює більшу кількість гідратованих фаз, особливо в порах, і підвищує механічні властивості бетонів. Також підвищена кількість мікрокремнезему захищає від повторної гідратації MgO, що також позитивно впливає на механічні властивості.

З підвищенням температури гідравлічний зв'язок руйнується, і утворюється керамічний. При цьому здійснюються два процеси, що впливають на властивості бетонів. При руйнуванні гідравлічного зв'язку вода видалається у вигляді водної пари, і компактність бетону знижується, а також і його міцність. Утворення нових зв'язуючих фаз (у нашому випадку форстериту), а також спікання покращує механічні властивості матеріалу.

Так, бетон з 3 % мікрокремнезему, який має найнижчу міцність, має найбільшу кількість води. Тому при видаленні води у вигляді водяної пари зразок демонструє найбільшу пористість та найменшу уявну щільність. Також мала кількість мікрокремнезему сприяє утворенню малої кількості форстериту – фази, що зв'язує.

З таких самих причин спостерігається погіршення механічних властивостей бетону з 9 % мікрокремнезему. Велика кількість мікрокремнезему утворює велику кількість гідратованої фази, що призводить до зниження щільності під час випалу. Крім того, високий вміст мікрокремнезему сприяє утворенню несущого форстеритового зв'язку в результаті неповного реагування MgO з SiO₂. Таким чином, для зразка бетону з 9 % мікрокремнезему міцність має знижуватися. При цьому 6 % мікрокремнезему сприяє створенню значної кількості форстеритових зв'язків, що є причиною найкращих механічних властивостей бетонів після випалу.

Дослідження структури бетонів після випалу за допомогою растрової мікроскопії показує в наявності зразках MgO і форстериту як головних фаз, а

також незначну кількість силікатів кальцію та магнію. Зразок з 3 % мікрокремнезему показав найвищу пористість, а зразок з 9 % - найбільш компактну мікроструктуру, але також найбільшу кількість фаз між зернами MgO. У зразку з 6 % мікрокремнезему менше міжзеренних фаз ніж при 9 %, а також більш низька пористість відносно 3 % (рис. 4.9).

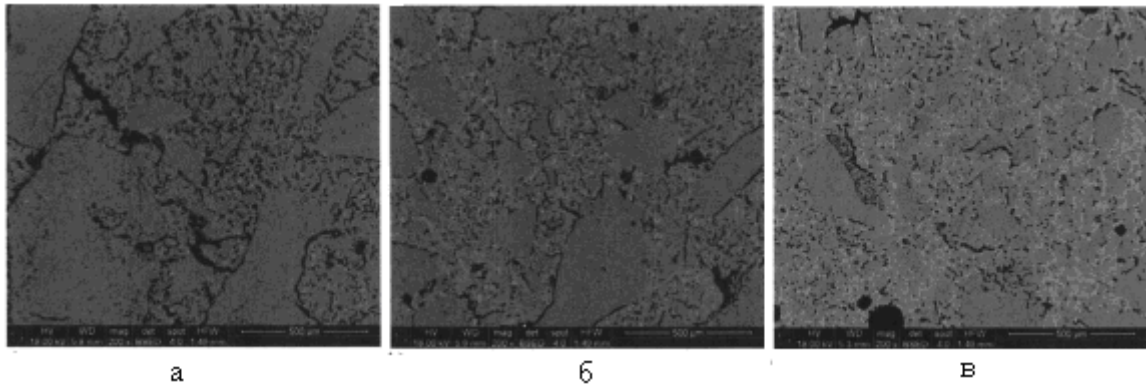


Рисунок 4.9 – Зображення, отримані за допомогою растрового мікроскопу, для бетонів, що містять відповідно 3 % (а), 6 % (б) та 9 % (в) мікрокремнезему

Таким чином, механічні властивості магнезіальних бетонів залежать від вмісту мікрокремнезему. Оптимальний вміст мікрокремнезему залежить від ряду чинників, таких як зерновий склад, умови приготування бетону. Надто низький та надто високий зміст мікрокремнезему призводить після випалу до зниження механічних властивостей бетонів.

Найкращі властивості показав бетон з 6 % мікрокремнезему. На відміну від термообробки при 110 °С, після випалу велика кількість фаз, що пов'язують, не гарантує добрі механічні властивості бетонів. Оптимальним виявився зміст мікрокремнезему близько 6 % (між 3 % та 9 %).

2.4 Висновки

Розвиток високотемпературних технологій в металургії та інших галузях промисловості визначає підвищені вимоги до експлуатаційних властивостей вогнетривів, що призводить до необхідності подальшого вдосконалення існуючих і створення нових видів магнезіальних бетонних сумішей з метою поліпшення їх якості.

Основним об'єктом, що вимагає якісного футерування, є проміжний ківш МБЛЗ. Зазвичай футерування проковша включає в себе ізоляційний шар, наливний бетонний шар і торкрет-шар, що наноситься перед кожною серією. По суті, торкрет-шар контактує з рідкою сталлю і від його стійкості залежить ритм роботи проковша. Як торкрет-маси використовується (в %), наприклад, суміш на основі магнезиту, в якій також є спеціальні добавки, що забезпечують підвищені механічні і теплоізоляційні властивості.

Але недоліком магнезіальних бетонів є схильність цих матеріалів до гідратації як при контакті з водою, так і з водяною парою, що призводить до їхнього розтріскування та зниження механічної міцності бетону при твердінні та наступній термообробці. Тому дослідження шляхів пригнічення процесів гідратації MgO є актуальною проблемою.

При вивченні гідратації на порошках фракцій 3 – 1 мм, 1 - 0,5 мм та менше 0,063 мм, було визначено, що гідратація тонкої фракції периклазу помітно залежить від температури: швидкість гідратації є значною у першу добу, особливо при 35 та 50 °С, потім швидкість гідратації знижується; крупні фракції периклазу гідратуються несуттєво. При витримці протягом 72 год. при максимальній температурі (50 °С) приріст маси порошку не перевищує 1,0 - 1,5 %.

Вибір виду та кількості добавок, що уповільнюють процеси гідратації периклазу та регулюють реотехнологічні властивості бетонних мас, є ключовим завданням технології периклазових бетонів.

Згідно даним практики, для виробництва низькоцементних бетонних сумішей доцільно використовувати, наприклад, високоглиноземистий цемент марки СА-270 та диспергуючі добавки марок M-ADS і M-ADW виробництва компанії Almatix. Визначено, що вміст бруситу при всіх температурах не перевищує 0,7 % (мас.) и не може суттєво впливати на стійкість бетону.

Також для захисту частинок периклазу від гідратації використовують добавки мікрокремнезему. В високолужному розчині він утворює гідрати силікатів магнію, які створюють на поверхні частинок периклазу захисне покриття, яке ускладнює дифузію води та уповільнює гідратацію периклазу.

При дослідженні впливу на властивості бетону до порошку периклазу додавали різну кількість мікрокремнезему. Отримані результати свідчать, що механічні властивості бетонів після обробки при 110 °С залежать від кількості добавки мікрокремнезему і визначаються гідравлічним зв'язком: більша кількість мікрокремнезему створює більшу кількість гідратованих фаз, особливо в порах, і підвищує механічні властивості бетонів, а також захищає від повторної гідратації MgO, що також позитивно впливає на механічні властивості. Оптимальний вміст мікрокремнезему залежить від ряду чинників, таких як зерновий склад, умови приготування бетону.

Було визначено, що надто низький та надто високий вміст мікрокремнезему призводить після випалу до зниження механічних властивостей бетонів. Тоді як, найкращі властивості показав бетон з 6 % мікрокремнезему. Надто низький (3 %) та надто високий (9 %) вміст мікрокремнезему призводить після випалу до зниження механічних властивостей бетонів.

5 УТВОРЕННЯ ШКІДЛИВИХ РЕЧОВИН ТА ШЛЯХИ ЗМЕНШЕННЯ ЗАБРУДНЕННЯ ДОВКІЛЛЯ ПІД ЧАС ВИКОНАННЯ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЇ ВОГНЕТРИВКИХ МАТЕРІАЛІВ І ВИРОБІВ

Зниження викиду шкідливих речовин в атмосферу досягається застосуванням ефективніших типів технологічного обладнання, апаратів пило- і газоочистки, кращої герметизацією технологічних процесів, підвищенням технологічної дисципліни і культури виробництва, впровадженням нових прогресивних технологічних процесів.

Вибір методів очищення і апаратури для цього залежать від складу, властивостей, дисперсності і концентрації забруднюючих речовин і необхідного ступеня очищення. У таблиці 5.1 наведені деякі характеристики пиловловлювачів і ефективність їх використання на підприємствах.

Таблиця 5.1. - Характеристики пиловловлювачів і їх ефективність

Пиловловлювачі	Запиленість повітря, г/м ³		Мінімальний розмір частин, мкм	Ефективність уловлювання, %	Агрегати застосування
	на вході	на виході			
Пилеосадні камери	не обмежується		30	5 - 15	обертові печі, сушільні барабани
Циклони	1000	20	6	50 - 90	обертові печі, млини, дробарки, пневмотранспорт і ін.
Мокрі пиловловлювачі	20	0,1	0,5 - 1	90 - 99	теж
Електрофільтри	10	0,1 - 3	0,5 - 1	90 - 95	теж
	10	0,1 - 1	0,5	95 - 99	
Рукавні фільтри	20	0,1	0,5	98 - 99	млини

	100	0,5	0,5		
--	-----	-----	-----	--	--

Для очищення технологічних і вентиляційних викидів від шкідливих газів застосовують адсорбенти і абсорбенти. У адсорберах потік, що очищається пропускають через шар адсорбенту, що складається з зернистої речовини з великою питомою поверхнею (оксид алюмінію, силікагель, активоване вугілля і т.п.). При цьому шкідливі гази і пари зв'язуються адсорбентом і потім можуть бути з нього вилучені. Після насичення адсорбенту, через деякий час роботи, його замінюють свіжим матеріалом. У адсорберах для очищення газів застосовують рідкі речовини, наприклад, воду або розчини солей, які поглинають шкідливі гази і пари. В цьому випадку шкідливі речовини розчиняються в адсорбенті або вступають з ним в реакцію.

Поширеним способом очищення газів, особливо що містять органічні сполуки, є дожигання у високотемпературному полум'ї. Очищення газів, що відходять від пилу на більшості вогнетривких заводів ведуть за схемою:

Циклон → мультициклон → електрофільтр → вентилятор (димосос) → атмосфера.

Залежно від технологічних умов схему коректують у бік додавання або полегшення очищення.

У деяких випадках застосовують мокру очистку газів, що відходять рідиною, яка захоплює тверді частинки і видаляє їх з потоку.

Виробничі стічні води поділяють на дві категорії: забруднені і незабруднені (умовно чисті). Склад виробничих стічних вод коливається в значних межах, що викликає необхідність ретельного підходу до вибору надійного і ефективного методу очищення. Значну частину води на промислових підприємствах (до 50 – 70 %) витрачають на охолодження продуктів горіння в різних апаратах, для промивання проміжної продукції, для транспортування, як розчинник та ін.

Незабруднений, чистий оборотний цикл працює за схемою:

нагріта вода → охолодження в градирні → споживач.

У забруднені оборотні цикли надходять стоки мокрого очищення повітря, вологого прибирання приміщень і промивання технологічного обладнання. Схема очищення при цьому будується так:

ємність → накопичувач стоків → коагулюючі змішувачі → відстійник (очищення від шламу) → фільтри (очищення від масел і нафтопродуктів) → піщані фільтри → сборний резервуар → споживач.

Повторне використання стічних вод після їх очищення отримало в даний час широке поширення. У ряді галузей промисловості (чорної металургії) 90 - 95 % стічних вод використовується в системах оборотного водопостачання і лише 5 – 10 % скидається в водойми. Ефективність використання води на підприємствах оцінюють витратою оборотної води, коефіцієнтом її використання і відсотком втрат.

5.1 Зниження викидів при видобутку та переробки мінеральної сировини

Промисловість з видобутку та переробки мінеральної сировини перетворює існуючі в природі матеріали в корисні продукти. Мінеральна сировина видобувається в рудниках або відкритих розробках. Через відносно сухий стан багатьох копалин видобуток і подальша переробка їх приводять до утворення пилу. Основний викид в атмосферу від переробки мінеральної сировини відбувається у вигляді пилу. Однак якщо має місце теплова обробка або плавлення сировини, то може відбуватися викид летючих матеріалів, що залежить від складу сировини.

Цикл операцій з переробки мінеральної сировини починається з його видобутку в рудниках або виїмки з відкритих розробок.

Викиди в атмосферу широко варіюються в залежності від типу рудника і методів видобутку сировини, від вмісту вологи в матеріалі і його щільності. Так, викид в атмосферу з шахти може бути невеликим, в той час як відкритий кар'єр, що вимагає буріння і проведення вибухових робіт, може давати високі пилові викиди.

Нижче наведені джерела викидів аерозолів при видобутку і первинної переробки мінеральної сировини більшості типів:

1. Закриті джерела буріння, дроблення, просівання, вузли перевантаження контейнерів;
2. Відкриті джерела: розтин родовища, вибухові роботи, навантаження, транспортування, виїмка, дорога, відвали, конвеєри.

Джерелами аерозолів можуть бути процеси щодо закритого типу, такі як дроблення і просіювання і відкритого типу, такі як навантаження, зберігання в відвалах, перевезення. Перераховані операції не є обов'язковими для кожного циклу видобутку і переробки сировини. Перевантаження і вивезення матеріалу виробляють в основному при розробці поверхневих родовищ, що тягне за собою видалення ґрунту та інших шарів, що покривають родовище, яке розробляється. Розробка відкритих кар'єрів і каменоломень, перевантаження і видалення ґрунту та інших порід є частіше одноразової або періодичної операцією. Для цих типів родовищ потужність поклади, яку треба виробити, порівнянна з обсягом породи, що перевантажується.

Подальша переробка мінеральної сировини залежить від типу сировини і кінцевого продукту. Буріння та вибухові роботи використовують при розробці тільки твердих порід. Первісна обробка мінеральної сировини пов'язана із застосуванням механічного обладнання (навантажувачі та стрічкові конвеєри), а також вимагає використання великовантажних автомобілів і гірського транспорту. Тимчасові немощені дороги, ділянки розвантаження і навантаження руди, ділянки поховання відходів та роботи гірничодобувної техніки також є джерелами запилення.

При поводженні з сухою мінеральною сировиною відбувається викид пилу. До переробки мінеральну сировину завантажують безпосередньо в подаючий пристрій або бункер, дроблять і сортують по крупності. Пристрої, що подають руду, як правило, є відкритими джерелами викиду пилу. У первинних дробарках, щоккових і жираторних подрібнюють сировину розміром від 0,6 - 0,9 до 0,15 м. Існує велика кількість типів дробарок, вибір конкретного типу і розміру дробарки залежить від типу сировини, швидкості його подачі і кінцевого розміру часток. Більшість дробарок, хоча і виробляють багато шуму, досить добре закриті і викидають відносно невеликі кількості пилу порівняно з іншими процесами по обробці мінеральної сировини:

Сортування по крупності в переробній промисловості виконують грохоченням, потім матеріал направляють в окремий відвал або на подальше просіювання.

При цьому використовують вібраційні грохоти. Для матеріалів, що складаються з частинок малого розміру, зменшення викиду пилу досягають при використанні закритих грохотів.

Виробництво легких мінералів, цементного клінкеру, вапна, скла, плавлених і обпалених вогнетривів вимагає термічної обробки сировини. Термічна обробка проводиться в печах різного типу, конструкція яких визначена технологічним завданням. Широко поширеним тепловим агрегатом при обробці сировини служить обертова піч. В якості палива обертових печей використовують мазут або природний газ. Залежно від виду використовуваного палива і складу мінеральної сировини можуть мати місце різноманітні викиди фтористих з'єднань, SO_2 , NO_x , CO .

Обертова піч, яка використовується для випалу шламу, являє собою сталевий циліндр, трохи нахилений, з вогнетривкої футеровкою. Сировина подається в верхній торець печі через завантажувальний бункер. Паливо спалюють у нижньому торці печі. Потік гарячих газів від згоряння палива проходить через обертову піч в протivotоці з завантажувальною сировиною.

Оберткові печі мають різні розміри (до 7,6 м діаметром і 210 м завдовжки). При обертанні печі сировина рухається вниз до нижнього торця, поступово нагріваючись. Природні матеріали (вапняк, кремнезем, глина) при такій обробці перетворюються в нові суміші, такі як кальцієві силікати і алюмінати.

У таблиці 5.2 наведені дані щодо викидів шкідливих речовин з випалювальних печей та агрегатів при проведенні підготовчих операцій подрібнення і сушки. Тверді суспензії (аерозолі) складають основну масу шкідливих речовин. Розподіл за розмірами частинок аерозолів випалювальних печей, наведено нижче. Близько 40 % частинок, що викидаються має розмір менше 10 мкм.

Розмір частинок, мкм	60	50	40	30	20	10	5	1
Розподіл часток з обпалювальної печі розміром менше зазначеного, %	93	90	84	74	58	38	23	3

Таблиця 5.2. - Викиди при виробництві цементу в випалювальних печах без системи очищення

Шкідливі речовини	Питома кількість шкідливих речовин при різних способах обробки	
	сухий	морий
Аерозолі	111	104
Діоксид сірки ¹ : мінеральна сировина	4,5	4,5
газове паливо	несуттєві	несуттєві
мазут (сірчистий)	1,9	1,9
Оксиди азоту	1,2	1,2
¹ - Викид діоксиду сірки представляє суму від виділення клінкером і згоряння палива. Це величина включає кількість SO ₂		

	печі	печі	печі	печі	печі	печі	печі	печі
Витрата умовного палива, кг/т	110-140	90	435-450	350	450-500	450-500	250	600-800
Вихід продуктів згоряння, м ³ /т 10 ³	2,0-2,5	1,2	4,8-5,0	3,5	7 (16)	7 (16)	3	3,3-3,5
Вологовміщення продуктів згоряння, г/м ³	73	73	63	63	60	60	70	70
Питомий вихід, кг/т:								
пилу	35-200	35-200	170-400	170-400	70 (160-200)	70 (160-200)	42,3-84,6	42,3-84,6
сірчистого газу	0,9-7,5	0,9-7,5	-	-	-	-	-	-
оксидів азоту	0,72	0,72	3,7-4,2	3,7-4,2	4,5-6,0	4,5-6,0	2,1-2,4	2,1-2,4
Концентрація в газах, г/м ³ :								
пилу	15-85	<60	40-70	40-70	8,0	10,0	12,1-24,2	12,1-24,2
сірчистого ангідриду	0,4-3,5	0,4-3,5	-	-	-	-	-	-
оксидів азоту	0,3	0,3	0,7-0,24	0,7-0,24	0,7-1,0	0,7-1,0	0,6-0,7	0,6-0,7
Вміст часток пилу, %, розміром, мкм:								
<0,5	6,0	6,0	-	-	-	-	-	-
5 - 10	7,0	7,0	13,5	5,0	19,0	-	-	-
10 – 20	12,0	12,0	18,5	18,0	30,0	13,0	3	3
20 – 40	20,0	20,0	29,0	42,0	28,0	27,0	21,0	21,0
40 – 60	20,0	20,0	19,0	19,0	10,0	17,0	-	-
60 – 80	15,0	15,0	20,0	8,0	6,0	10,0	76	76
>80	20,0	20,0	20,0	8,0	7,0	33,0	-	-
Средньомедіанний діаметр dm, мкм	40	40	32	32	22	46	57	57
Питомий електроопір пилу при 200 °С, Ом см (10 ¹²)	2	1	4	4	-	-	5	5
Щільність пилу,	2,1	2,1	2,5-2,8	2,5-2,8	3,4	-	2,7-2,9	2,7-2,9

г/см ³								
Насипна щільність пилу, г/см ³	0,7-1,0	0,7-1,1	0,9	0,9	1,05	-	0,9-1,1	0,9-1,1
Кут природного укусу, град	32-44	32-44	-	-	31	-	35-43	35-43

При випалюванні виробів кількість шкідливих викидів залежить від хімічного складу палива (наявність сірки) і недосконалості організації процесу горіння (наявність оксиду вуглецю). За статистичними даними, кількість оксиду вуглецю в димових газах не перевищує 5 кг/т готового продукту. Концентрація оксидів азоту за високотемпературними тунельними печами на ходиться в межах 120 мг/м³. Пил в продуктах згорання відсутній. Вогнетривкі матеріали сушать зазвичай в сушильних барабанах. Віднесення пилу при сушінні глини залежить від кінцевої вологості і характеризується при нормальному режимі сушки такими даними:

Кінцева вологість, %	3-4	8-10	14	18
Віднесення пилу, % від кількості глини, що завантажується	7,5	3,5-4,0	2	0,3

При сушінні магнезиту і хромітової руди винесення пилу не перевищує 1 % маси матеріалу, що завантажується в барабан.

Для очищення газів в вогнетривкому виробництві частіше застосовують циклони різних типів і сухі електрофільтри. З огляду на те, що пилу вогнетривких матеріалів притаманні в'язучі властивості, не рекомендується застосовувати мокрі способи очищення газів. Тканинні фільтри у виробництві вогнетривів також не застосовують через високу абразивність пилу, особливо шамоту і доломіту.

Незважаючи на порівняно велику пил, циклони і батарейні циклони, встановлені за обертовими обпалювальними печами, працюють з низькою ефективністю, що не перевищує 70 – 75 %. Основними причинами незадовільної роботи батарейних циклонів є великі присоси повітря, що

виникають із-за швидкого зносу вихлопних труб і утворення відкладень в напрямних апаратах. Поодинокі циклони також не забезпечують санітарної норми внаслідок погіршення ефективності зі збільшенням розмірів і малої щільності пилу вогнетривких матеріалів.

Робота електрофільтрів у виробництві вогнетривів ускладнюється високим питомим опором пилу, що зумовлює втрату частини робочої напруги на шарі і виникнення режиму зворотної корони.

Оптимальними умовами роботи електрофільтрів за обпалювальними печами при спалюванні природного газу є: швидкість газу в активній зоні 0,6 - 0,8 м/с, температура газу 110 - 120 °С і вологість 70 - 80 г/м³.

Зниження питомого електричного опору пилу досягається кондиціонуванням димових газів. Найбільш простим і дешевим способом, що не вимагає складного апаратного оформлення (дозуючих пристроїв, приладів контролю), вважають кондиціонування водяною парою, при якому підвищуються вологість газу, електропровідність пилу, електрична міцність розрядного проміжку і зменшується в'язкість газу. У якості кондиціонуючих присадок застосовують також сірчаний ангідрид, аміак, хлористий натрій, вуглекислий калій і ін.

У обертових печах при випалюванні доломіту, вапна і глини на шамот передбачають двоступеневу систему очищення (рис. 5.1) з попереднім очищенням в групі циклонів і тонким очищенням в електрофільтрі із застосуванням кондиціонування димових газів.

У шахтних печах при випалюванні доломіту і глини на шамот внаслідок зниженої початкової запиленості задовільні результати дає одноступеневе очищення в електрофільтрі, а при випалюванні вапна можна обмежитися тільки групою циклонів.



1 - піч, 2 - група циклонів, 3 - електрофільтр, 4 - димосос, 5 - димова труба

Рисунок 5.1 – Схема газоочисток, що застосовуються у виробництві вогнетривів при випалі доломіту, магнезиту та глини на шамот в обертових трубчастих печах

5.3 Висновки

Зниження викиду шкідливих речовин в атмосферу досягається застосуванням ефективніших типів технологічного обладнання, апаратів пило- і газоочистки, кращої герметизацією технологічних процесів, підвищенням технологічної дисципліни і культури виробництва, впровадженням нових прогресивних технологічних процесів.

Вибір методів очищення і апаратури для цього залежать від складу, властивостей, дисперсності і концентрації забруднюючих речовин і необхідного ступеня очищення.

Умови праці на підприємствах з виробництва вогнетривів, незважаючи на технічні заходи, запроваджені в підгалузі в 70-80-х роках минулого століття, не відповідають вимогам чинних гігієнічних нормативів.

Провідним шкідливим виробничим фактором на вогнетривких підприємствах є пиловий, рівні якого від півтора до десяти разів перевищують гранично-допустимі концентрації в повітрі робочої зони і обумовлюють структуру професійної захворюваності.

Для очищення газів в вогнетривкому виробництві частіше застосовують циклони різних типів і сухі електрофільтри.

Один з напрямків розвитку вогнетривкого виробництва в даний час - повернення до практики, коли виробники продукції із застосуванням вогнетривкого брухту спільно з її споживачами були б ініціаторами проведення аналізу властивостей конкретних видів вогнетривів, а також досліджень, що стосуються впливу відходів на фізико-хімічні властивості і хімічний склад вогнетривів для конкретних умов експлуатації.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В роботі було досліджено можливість покращення якості магнезіального бетону з метою подальшого його використання для футеровки проміжних ковшів МБЛЗ. Для цього були досліджені процеси гідратації основи магнезіальних бетонів – плавленого периклазового порошку. Знайдено, що найбільша гідратація характерна для тонкої фракції (<0,063 мм) периклазу.

Для оцінки впливу на гідратацію бетону було перевірено два типи бетонів – з додаванням високогіноземистого цементу, а також мікрокремнезему. Результати досліджень показали, що додавання мікрокремнезему дає кращі результати порівняно з високогіноземистим цементом. Так, до термообробки механічна міцність бетонів на стискання складала при використанні високогіноземистого цементу СА-270 40 МПа, а з 6 % мікрокремнезему 160 МПа. Це гарантує високу ранню міцність під час виготовлення футеровки.

Мікрокремнезем під час гідратації вступає в реакцію с гідроксидом магнію. Висока чистота та дрібність мікрокремнезему сприяє пришвидшенню реакції. Велика кількість реактивних сферичних мікрочастинок оточують кожне зерно периклазу, ущільнюючи масу, заповнюючи порожнини міцними продуктами гідратації і покращуючи зчеплення.

Механічні властивості бетонів після обробки при 110 °С залежать від кількості добавки мікрокремнезему і визначаються гідравлічним зв'язком. Більша кількість мікрокремнезему створює більшу кількість гідратованих фаз, особливо в порах, і підвищує механічні властивості бетонів. Також підвищена кількість мікрокремнезему захищає від повторної гідратації MgO, що також позитивно впливає на механічні властивості.

З підвищенням температури гідравлічний зв'язок руйнується, і утворюється керамічний. При цьому здійснюються два процеси, що

впливають на властивості бетонів. При руйнуванні гідравлічного зв'язку вода видалається у вигляді водної пари, і компактність бетону знижується, а також і його міцність. Утворення нових зв'язуючих фаз (у нашому випадку форстериту), а також спікання покращує механічні властивості матеріалу.

Найкращі властивості показав бетон з 6 % мікрокремнезему. Надто низький та надто високий зміст мікрокремнезему призводить після випалу до зниження механічних властивостей бетонів. На відміну від термообробки при 110 °С, після випалу велика кількість фаз, що пов'язують, не гарантує добрі механічні властивості бетонів.

Магнезіальні бетони з мікрокремнеземом не розміцнюються через їхнє низькотемпературне спікання і мають високу температуру деформації під навантаженням в результаті утворення форстеритової зв'язки між зернами периклазу.

Високий індекс розтікання свідчить, що додавання мікрокремнезему не тільки знижує інтенсивність процесу гідrataції периклазу, а також знижує водопотребу.

Таким чином, периклазові бетони з додаванням мікрокремнезему є перспективним матеріалом для футерування теплових агрегатів, що працюють в важких умовах. Потрібні подальші дослідження із встановлення більш ефективних технологічних параметрів як виробництва бетонних сумішей, так і умов виробництва стійких футеровок з них. Збільшення ефективності виробництва даних бетонів та впровадження їх у виробництво можливе, у тому числі, за рахунок використання заміників мікрокремнезему феросплавного виробництва на більш дешеві та доступні відходи кремнезему інших виробництв.

Технологія виробництва периклазового бетону з використанням мікрокремнезему замість бетону з магнезіальною або високоглиноземистою зв'язкою усуває необхідність створення ділянки з приготування зв'язки (розчинення мінеральних солей, таких як хлорид магнію, та додавання інших

добавок; приготування цементної суміші). Усувається також необхідність тонкого помелу цементу.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Смирнов А.Н. Основные тенденции развития рынка огнеупорных материалов и изделий / А.Н. Смирнов // Металл и литье Украины. – 2012. – №10. – С. 4-7.
2. Бааске А. Огнеупорные материалы: разработки, тенденции, доступность / А. Бааске, Д. Дюберс, Р. Фандрих и др. // Черные металлы. – 2011. – №9. – С. 32-39.
3. Аксельрод Л.М. Развитие огнеупорной отрасли – отклик на запросы металлургии / Л.М. Аксельрод // Бюл. «Черная металлургия». – 2013. – №3. – С. 125-142.
4. Воронов Г.В., Старцев, В.А. Огнеупорные материалы и изделия в промышленных печах и объектах вспомогательного назначения / Г.В. Воронов, В.А. Старцев // Екатеринбург: УГТУ-УПИ. – 2006. – 303 с.
5. Дюдкин, Д.А. Огнеупоры и их эксплуатация / Дюдкин Д.А., Ухин В.Е. // [Электронный ресурс] – 2004. – <http://uas.su>
6. Сизиков А. М., Шаповалова Е. В. Пути повышения качества магниезальных бетонов / А. М. Сизиков, А. М. Шаповалова // Омск: СиБАДИ, 2009. – 92 с.
7. Минаев Д. Огнеупорный рынок / Д. Минаев, И. Рябов, С. Костюченко // Металлоснабжение и сбыт. – 2012. Июль-август. – С. 116-121.
8. Мацуи Т. Характеристики и использование магниезальноуглеродистых изделий, полученных с применением нанотехнологий / Т. Мацуи, К. Гото, Я. Ямада // Новые огнеупоры. – 2006. – № 12. – С. 61-64.
9. Соков В.Н. Создание огнеупорных бетонов и теплоизоляционных материалов с повышенной термостойкостью [Электронный ресурс] : [монография] / Моск. гос. строит. ун-т, В.Н. Соков .— М. : МГСУ, 2015 .— 288 с. : ил.

10. Огнеупоры и футеровки / под ред. И.С. Кайнарского; пер. с яп. С.И. Жужжи, Б.В. Крылова. – М.: Metallurgy, 1976. – 416 с.
11. Аксельрод Е.И. Теплопроводность высокопористой изоляции из высокоглиноземистого волокна / Е.И. Аксельрод [и др.] // Огнеупоры. 1979. № 10. С. 9—13.
12. Фельдгандлер Г.Г. Применение огнеупорных бетонов и масс в черной металлургии / Москва : ЦИИНЧМ, 1960. 15 с.
13. Замятин Р.С. Огнеупорные бетоны / Справочник / Р.С. Замятин, А.К. Пургин, Л.Б. Хорошавин и др. // М.: Metallurgy, 1982. – 192 с.
14. Стрелов К.К. Технология огнеупоров / Стрелов К.К. Мамыкин П.С. // 3-е изд., перераб., М., Metallurgy, 1978. - 376 с.
15. Хорошавин Л.Б. Магнезиальные огнеупоры : справочник / Л.Б. Хорошавин, В.А. Перепелицын, В. А. Кононов. - М. : Интермет Инжиниринг, 2001. - 575 с. : ил.
16. Утилизация отработанных огнеупорных материалов [Электронный ресурс] <https://msd.com.ua/pererabotka-promyshlennykh-otkhodov/utilizaciya-otrabotannykh-ogneupornyx-materialov-2/>
17. Эффективные способы утилизации отработанных огнеупорных материалов [Электронный ресурс] / Евсеева Е.Ю. Инновационный Евразийский Университет, Казахстан
18. Хомский Г.С. Вторичные материальные ресурсы черной металлургии / Справочник в 2-х т. т.1: Лом и отходы черных металлов и огнеупорных материалов / под ред. Хомского Г.С. – М.: Экономика, 1986. – 229 с.
19. Черепанов К.А. Рециклинг боя огнеупорных изделий в металлургии / К.А. Черепанов, М.В. Темлянцев, Е.Н. Темлянцева, А.А. Терре / Известия ВУЗов. Черная металлургия. 2004. – №12. – С. 69-73.
20. Смирнов А.Н. Непрерывная разливка стали / Смирнов А.Н., Куберский С.В., Штепан Е.В. // Донецк: ДонНТУ, 2011 г.

21. Аксельрод Л. М. Внедрение технологии изготовления рабочей футеровки проковшей «сухими» магнезиальными массам / Л.М. Аксельрод, Н.В. Горелов, Е.М. Сладков, Д.В. Капустян, Д.И. Борзов // *Металл и литье Украины*. — 2010. — № 9-10. — С. 11-14.

22. Тихинов А.Ф. Автоматизированные бетоносмесительные установки и заводы / Тихинов А.Ф., Королев К.М. // *Учеб. пособие*. – М.: Высш. шк., 1990. – 191 с.

23. Баженов Ю.М. Технология бетона / Ю.М. Баженов. // М.: АСВ. - 2009. - 500 с.

24. Тимофеев А.И. Проектирование предприятий сборного железобетона / А.И. Тимофеев, В.А. Безбородов // *Учебное пособие*. - Новосибирск, НГАСУ. - 1991. – 80 с.

25. Бауман В.А. Строительные машины / Справочник в 2-х т./ Под редакцией В.А. Баумана и Ф.А. Лапира. Изд. 4-ое, перераб. и доп. // М.: «Машиностроение», 1976 – 502 с.

26. Смирнов А.Н. Повышение эксплуатационного ресурса металлоприемника и футеровки промежуточного ковша шестиручьевого сортовой МНЛЗ / Смирнов А. Н. и др. // *Сталь*. 2009. № 9. С. 23–27.

27. Сенников С.Г. Материалы и оборудование для футеровки промежуточных ковшей МНЛЗ / Сенников С.Г. и др. // *Огнеупоры и техническая керамика*. 2000. № 7. С. 43–49.

28. Катаока С. Развитие огнеупоров для сталеплавильного производства в Японии / *Новости черной металлургии за рубежом*. 1997. № 1. С.132-140.

29. Influence of microsilica on mechanical properties of basic castables. / J. Szczerba, R. Prorok, Z. Czapka et al. *Proceedings of the Unified International Technical Conference on Refractories (UNITECR 2013)*. 2014. P. 1013-1018.

30. ГОСТ Р 52541-2006. Бетоны огнеупорные. Подготовка образцов для испытаний / Москва : Стандартинформ, 2006. 11 с.

- 31 Пивинский Ю. Е. Неформованные огнеупоры / Справочник. Т. 1. Общие вопросы технологии. // Москва : Теплоэнергетик, 2005. 448 с.
32. Саломао Р. Влияние гидравлических вяжущих на гидратацию спеченного магнезита в огнеупорных бетонах / Саломао Р., Пандолфелли В.К., Биттенкурт Л.Р. // Огнеупоры и техническая керамика. 2011. № 4-5. С. 59-63.
33. Salomao R., Pandolfelli V. C. Microsilica addition as on antihydration technique for magnesia-containing refractory castables. American Ceramic Society Bulletin. 2007. № 86. P. 9301-9306.
34. Алексеенко И. А. Роль функциональных добавок при формовании и твердении периклазового бетона / И. А. Алексеенко, В. В. Песчанская // Вісник Нац. техн. ун-ту "ХПІ" : зб. наук. пр. Темат. вип. : Хімія, хімічна технологія та екологія. – Харків : НТУ "ХПІ", 2016. – № 22 (1194). – С. 5-9.