

Новые неформованные огнеупоры для цементной промышленности

РЕФЕРАТ. В статье представлены технические решения АО «Боровичский комбинат огнеупоров» по использованию сухих бетонных смесей для футеровки цементных вращающихся печей и смежного оборудования. Отражены этапы разработки и проводимые исследования. Дана краткая характеристика продукции, разработанной для эксплуатации в специальных условиях.

Ключевые слова: вращающаяся печь, производство цемента, огнеупорные изделия, сухие бетонные смеси.

Keywords: rotary kiln, cement production, refractories, dry mix concrete.

Введение

В настоящее время АО «Боровичский комбинат огнеупоров» (АО «БКО») — одно из крупнейших и наиболее современных предприятий по изготовлению огнеупоров в России. Это производство имеет в своей структуре карьер по добыче огнеупорной глины, участки подготовки огнеупорных заполнителей, в том числе участок плавки, и полную технологическую цепочку изготовления, сортировки и упаковки огнеупорных изделий.

Поставки огнеупорной продукции на предприятия цементной промышленности составляют значительную долю объема сбыта АО «БКО». Среди основных потребителей — холдинг «ЕВРОЦЕМЕНТ груп», HeidelbergCement AG, ООО «БазэлЦемент», а также ряд других российских и зарубежных производителей цемента. На долю АО «БКО» приходится более 60 % всех

поставок алюмосиликатных огнеупоров на российские цементные предприятия.

Для цементных предприятий АО «БКО» производит полный спектр огнеупорных изделий и материалов, что позволяет предложить потребителю комплексную поставку огнеупоров для футеровки и вращающейся печи, и всех сопутствующих тепловых агрегатов линии по производству цемента.

В своей структуре АО «БКО» имеет аккредитованную центральную заводскую лабораторию, которая выполняет приемо-сдаточные испытания производимой продукции на соответствие требованиям нормативной документации. Непосредственно разработками и внедрением новых видов продукции в производство занимается собственное исследовательское подразделение — «Центр совершенствования технологии и производства» (ЦСТиП), включающий в себя четыре

бюро технологического отдела и физико-химический отдел.

В последние годы специалисты ЦСТиП провели большую работу по разработке специальной линейки огнеупорных бетонов для удовлетворения потребностей цементной промышленности в высококачественных современных материалах. Среди вновь разработанных и внедренных в производство:

- стандартный бетон, содержащий 42–45 % Al_2O_3 ;
- муллитокремнеземистый бетон, в котором содержится 50–55 % Al_2O_3 ;
- высокоглиноземистый бетон с содержанием 62–80 % Al_2O_3 ;
- корундовый бетон, содержащий более 90 % Al_2O_3 ;
- линейка бетонов с добавкой 5–30 % карбида кремния;
- теплоизоляционные бетонные смеси различной плотности.

Также имеется возможность изготавливать на предприятии литые (монокристаллические) блоки из огнеупорного бетона различных составов.

Подход АО «БКО» к разработке новых продуктов

Сотрудники отдела маркетинга регулярно анализируют потребности рынка в новой продукции путем прямого контакта с техническими специалистами предприятий-потребителей. Такие контакты помогают отслеживать конъюнктуру рынка и предлагать только высокотехнологичные современные решения для всех типов тепловых агрегатов и смежного оборудования.

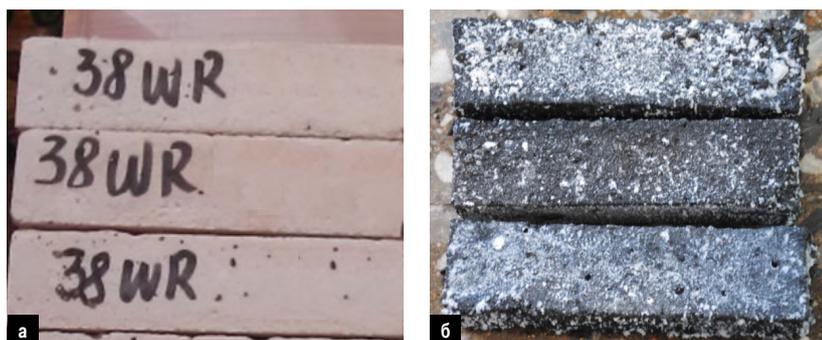


Рис. 1. Типичный внешний вид образцов бетона до (а) и после испытаний (б) на устойчивость к щелочам по методу ВО

Рис. 2. Типичный внешний вид образцов после испытаний на устойчивость к щелочам по тигельному методу

Инженеры ЦСТИП тесно сотрудничают с профильными вузами России, такими как национальный исследовательский технологический университет (МИСиС), Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет), Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет) и Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

При разработке новых видов огнеупорных материалов используются достижения ведущих мировых производителей высококачественной продукции. Технические специалисты этих компаний посещают лабораторную базу предприятия с целью максимально эффективного применения поставляемой на предприятие продукции.

Большое внимание уделяется изучению непосредственных условий эксплуатации продукции на предприятии заказчика. Инженеры-разработчики АО «БКО» посещают производства с целью проанализировать условия эксплуатации, использования и хранения разрабатываемой продукции и установить обратную связь с цеховыми службами. В результате удается создать высококачественный продукт, адаптированный под конкретное предприятие. Постоянно осуществляется мониторинг эксплуатации отгруженной продукции в условиях заказчика.

Разработка неформованных огнеупоров для цементной промышленности

При эксплуатации в тепловых агрегатах цементной промышленности огнеупорные бетоны подвергаются влиянию следующих разрушающих факторов:

- воздействию щелочей;
- воздействию извести;
- интенсивному абразивному износу.

В ходе разработки новой линейки бетонов основное внимание уделялось изучению этого влияния. Подобранный и протестированный и в лабораторных, и в опытно-промышленных условиях вещественный состав

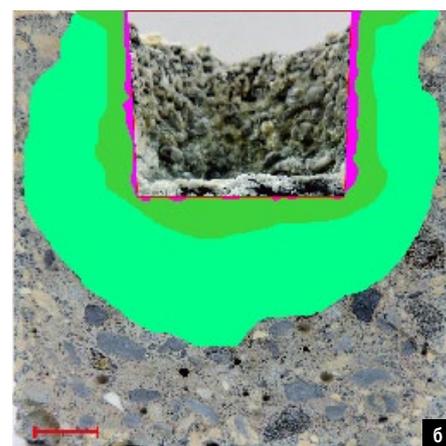
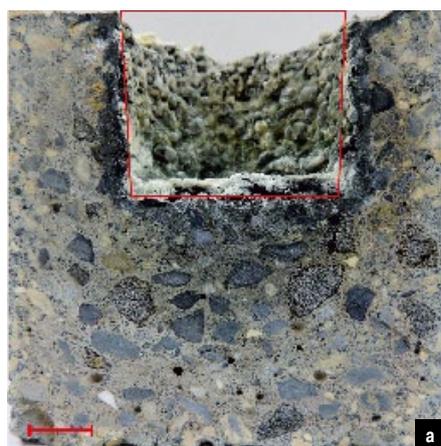


Рис. 3. Вид образца до (а) и после испытаний (б) при определении коррозионной устойчивости бетонов при взаимодействии с карбонатом калия. Розовый цвет — площадь разрезания, темно-зеленый — площадь взаимодействия, зеленый — площадь пропитки

обеспечивает идеальный баланс устойчивости материала и его стоимости.

Устойчивость к щелочам оценивали следующими способами*:

- методом восстановительного обжига в щелочной засыпке с последующим определением потери массы при кипячении обожженных образцов (методом ВО),
- тигельным методом.

Подготовленные согласно методу ВО балочки высушивали и обжигали при температурах, соответствующих тепловому режиму различных зон тепловых агрегатов цементной промышленности. Типичный внешний вид образцов до (а) и после (б) испытаний показан на рис. 1.

Для проведения испытаний на устойчивость к щелочам тигельным методом из бетонных смесей всех разработанных составов были сформованы образцы в виде тиглей. В углубление помещали навески безводного карбоната калия так, чтобы они наполовину заполнили углубление тигля по высоте. Затем тигли накрывали крышками из аналогичного огнеупорного материала и обма-

зывали мертелем для создания герметичных условий. После высыхания мертеля образцы устанавливали в лабораторную нагревательную печь и выдерживали при максимальной температуре в течение 5 ч. Типичный внешний вид образцов после испытаний представлен на рис. 2.

После температурной выдержки верхнюю крышку снимали и разрезали тигли пополам. Параметры стойкости к щелочи определяли с помощью системы Videotest. Типичный внешний вид обработанного на ней тигля до и после испытаний приведен на рис. 3.

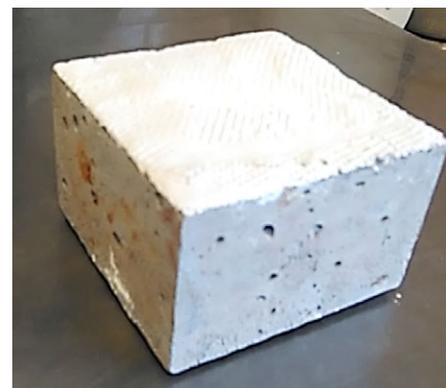


Рис. 4. Образец огнеупорного бетона с нанесенным слоем гашеной извести

* Маргишвили А.П., Иксанова А.Н., Булин В.В., Скурихин В.В. Огнеупорные материалы для эксплуатации в условиях высокой щелочной нагрузки // Цемент и его применение. 2018. № 4. С. 67–81.

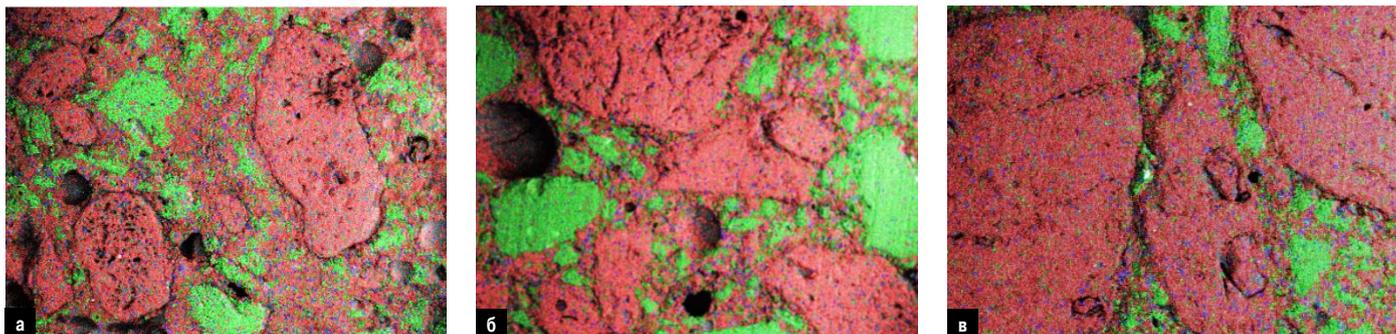


Рис. 5. Карты распределения элементов в бетоне: а — верх образца, б — середина, в — низ; Al — красный цвет, Si — зеленый, Ca — синий

Устойчивость к извести. Данное свойство бетонов оценивали следующим образом. На верхнюю поверхность образцов в виде плиточек размерами 35×70×70 мм, предварительно обожженных при максимальной температуре эксплуатации, наносили слой гашеной извести толщиной 1 мм (рис. 4) и уплотняли его при помощи шпателя, после чего нагревали образцы в лабораторной печи с последующей выдержкой при максимальной температуре в течение 2 ч.

После остывания образцы разрезались по центру в вертикальной плоскости. Степень взаимодействия их материала с гашеной известью определяли на срезах образцов. Петрографическое исследование поверхности срезов проводили визуально и с помощью сканирующего электронного микроскопа JEOL-6380LV с энергодисперсионным спектрометром INCA.

При осмотре образцов во всех случаях было отмечено, что следы взаимодействия материала с гашеной известью наблюдаются только на поверхности в виде локально «налипших» корок, толщина слоя которых составляет порядка 0,3–0,5 мм.

Для детального исследования изменений во внутренней структуре бетона после взаимодействия с известью были выполнены поперечные срезы образцов. На срезах каждого из них условно выделены три основные зоны: верх, середина и низ. С помощью электронного микроскопа с ЭДС-микроанализатором и приложения Mapping получены карты распределения основных химических элементов (рис. 5) по площади каждой зоны. Видно, что в толщу исследованного бетона проникло лишь незначительное количество кальция.

Устойчивость к истиранию. Для определения этого параметра из разработанных бетонных масс были сформованы образцы-плиточки размерами 35 × 70 × 70 мм, после чего проведен их высокотемпературный обжиг.

Предварительно взвешенные с погрешностью до 0,01 г образцы закреплялись в тисках суппорта универсального настоль-

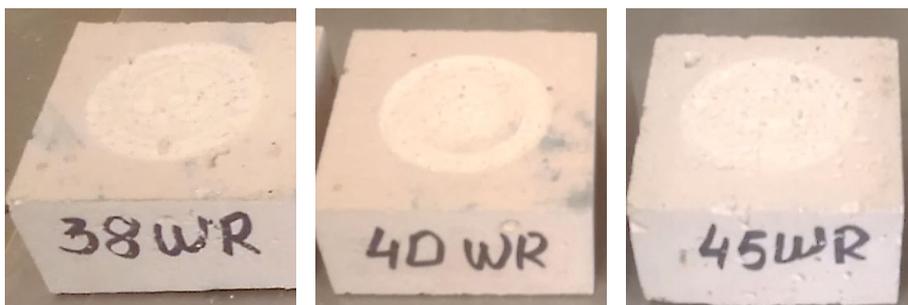


Рис. 6. Образцы бетонов после испытаний на устойчивость к истиранию

Таблица 1
 Линейка сухих бетонных смесей для футеровки тепловых агрегатов цементной и известковой промышленности

Тепловой агрегат	Зона агрегата	Рекомендуемая марка смеси
Вращающаяся печь мокрого способа производства цемента	Выходное кольцо	BORCAST-53 SiC 25R BORCAST-57 SiC 25R BORCAST-70 SiC 10R BORCAST-80W
	Входное кольцо	BORCAST-40 WR BORCAST-45 WR BORCAST-55W BORCAST-65S
Вращающаяся печь сухого способа производства цемента	Выходное кольцо	BORCAST-53 SiC 25R BORCAST-57 SiC 25R
	Входное кольцо	BORCAST-40 WR BORCAST-45 WR BORCAST-55W
Известковая вращающаяся печь	Входное кольцо	BORCAST-40 WR BORCAST-45 WR BORCAST-55W
	Выходное кольцо	BORCAST-80W
Циклон	Верхние ступени	BORCAST-38 WR BORCAST-40 WR BORCAST-45 WR
	Нижние ступени	BORCAST-53 SiC 25R BORCAST-57 SiC 25R BORCAST-70 SiC 10R
Декарбонизатор	Верхняя ступень	BORCAST-53 SiC 25R BORCAST-57 SiC 25R
	Нижняя ступень	BORCAST-53 SiC 25R BORCAST-57 SiC 25R
Третичный газоход	Входное и выходное кольца, отводы	BORCAST-38 WR BORCAST-40 WR BORCAST-45 WR BORCAST-55W
	То же, при работе с повышенной щелочной нагрузкой	BORCAST-53 SiC 25R BORCAST-57 SiC 25R
Холодильник	Участки с высокой абразивной нагрузкой	BORCAST-53 SiC 25R BORCAST-57 SiC 25R BORCAST-70 SiC 10R

Таблица 2

Показатели физико-химических свойств бетонов линейки BORCAST

Показатель	Значение для марки (BORCAST)									
	38WR	40WR	45WR	50W	55W	55WT	65S	80 W	96 W	96 WTA
Массовая доля, %:										
Al ₂ O ₃ , не менее	38	40	45	50	55	55	65	80		—
MgO + Al ₂ O ₃ , не менее	—	—	—	—	—	—	—	—	96	96
Fe ₂ O ₃ , не более	—	—	—	—	—	2,0	—	—	—	1,0
CaO, не более (в пределах)	(3,0–5,0)	(3,0–5,0)	(3,0–5,0)	(1,0–2,0)	2,0	2,0	(1,0–2,0)	(1,0–2,0)	2,0	(1,0–2,0)
SiO ₂ , не более	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,0
Предел прочности при сжатии после обжига при температуре 1300 (1000) °С, МПа, не менее	(65)	(60)	(50)	45	50	40	70	65	70	80
Кажущаяся плотность после обжига при температуре 1300 °С, г/см ³ , не менее	2,10	2,00	2,00	2,25	2,25	2,30	2,45	2,60	3,10	2,90
Рекомендуемая температура применения, °С	1300	1300	1300	1350	1450	1450	1450	1500	1700	1700
Термостойкость, число теплосмен, не менее	—	—	—	—	—	50	—	—	—	—
Остаток на сетке № 7, %, не более	10									
Проход через сетку № 0063, %, не менее	30	30	35	30	30	30	30	30	20	20

Таблица 3

Показатели физико-химических свойств бетонов линейки BORCAST с добавкой карбида кремния

Показатель	Значение для марки (BORCAST)		
	53 SiC 25R	57 SiC 25R	70 SiC 10R
Массовая доля, %:			
Al ₂ O ₃ , не менее	53	57	70
CaO, не более	2,0	2,0	2,0
SiC, не менее	25	25	10
Предел прочности при сжатии после обжига при температуре 1000 (1300) °С, МПа, не менее	100	100	(75)
Кажущаяся плотность после обжига при температуре 1000 (1300) °С, г/см ³ , не менее	2,70	2,80	(2,65)
Рекомендуемая температура применения, °С	1600	1600	1400
Остаток на сетке № 7, %, не более	10		
Проход через сетку № 0063, %, не менее	25	25	30

ного сверлильного станка, после чего приводился в движение истирающий цилиндр, изготовленный из предварительно обожженного корундового бетона. Цилиндр закреплялся в сверлильном патроне станка через переходную оправку. Частота вращения истирающего цилиндра составляла 250 об/мин. Определялась устойчивость образцов к истиранию под приложенной к ним постоянной нагрузкой 2 кг в течение 10 мин. Истирающему воздействию подвергалась гладкая поверхность образцов.

По окончании испытания образцы извлекали из тисков, очищали от пыли и повторно взвешивали. Показатель устойчивости к истиранию определяли по формуле:

$$\Delta q = \frac{q_1 - q_2}{F} \text{ [г/см}^2 \cdot 10^{-3}\text{]},$$

где q_1 и q_2 — масса образца до и после испытания соответственно, г; F — площадь контакта истирающего цилиндра с поверхностью образца, см².

Внешний вид образцов после испытаний представлен на рис. 6.

Бетоны всех разработанных составов обладают высокими показателями предела прочности при сжатии, удовлетворяющими предъявляемым потребителями требованиям.

В результате проведенных исследований была разработана новая линейка сухих бетонных смесей производства АО «БКО» для футеровки тепловых агрегатов цементной и известковой промышленности (табл. 1–3).

Испытания разработанных смесей производятся в соответствии с программами, согласованными с каждым из потребителей, и к настоящему времени еще не завершены.

Заключение

Чтобы достичь требуемых эксплуатационных характеристик огнеупорной продукции в условиях предприятия-потребителя, АО «БКО» выполняет широкий спектр исследований. Все они ориентированы в

первую очередь на создание высококачественного продукта, предназначенного для конкретных условий службы. Только после проведения лабораторных и промышленных испытаний в адрес заказчика отправляется техническое предложение. При этом на регулярной основе проводятся работы по улучшению качественных показателей поставляемой продукции.

Разработаны и проходят испытания огнеупорные бетоны для футеровки цементных вращающихся печей мокрого и сухого способа производства, а также печей обжига известки. Бетоны различных составов линейки BORCAST предлагаются адресно, в соответствии с условиями их службы в различных зонах печей.

Организована и действует постоянная обратная связь с предприятиями-потребителями. В ходе совместной работы вырабатываются технические решения, позволяющие обеспечить удобство применения и длительную эксплуатацию поставляемой продукции.