

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ОГНЕУПОРОВ В ФУТЕРОВКЕ ЦЕМЕНТНЫХ ВРАЩАЮЩИХСЯ ПЕЧЕЙ*

Рассмотрены требования и условия эксплуатации огнеупоров в футеровках вращающихся печей цементной промышленности. Исследованы возможные направления повышения эффективности использования огнеупоров в цементной промышленности. На основе анализа стойкости футеровки и свойств огнеупоров предложена классификация факторов, влияющих на длительность работы вращающихся печей для цементной промышленности.

Ключевые слова: огнеупоры, вращающаяся печь, состав и структура огнеупора, эксплуатационные факторы.

В последние десятилетия в производстве огнеупоров для цементной промышленности наблюдается значительный прогресс. Удельное потребление огнеупоров достигло 0,58 кг/т цементного клинкера по сравнению с 1,2 кг/т в 1970 г. Среди тепловых агрегатов в цементной отрасли наибольшее распространение получили вращающиеся печи, эксплуатация огнеупорной кладки в которых происходит в очень сложных условиях. Кроме химического взаимодействия с перерабатываемым продуктом футеровка испытывает температурные напряжения, вызываемые перепадом температур, а также воздействием механической нагрузки от давления корпуса печи, многократно повторяющихся знакопеременных нагрузок на опорах.

Снижение себестоимости является главной задачей производителей цемента по всему миру. В решении этой проблемы большую роль играет служба огнеупоров во вращающихся печах. Футеровка вращающихся печей выполняет ряд функций [1–5]. Во-первых, она служит транспортной поверхностью, по которой движется перерабатываемый материал, поэтому она должна хорошо сопротивляться истирающим воздействиям. Во-вторых, она является поверхностью, аккумулирующей тепло и передающей его затем обжигаемому материалу. Из общего количества тепла только 47–48 % передается горячими газами непосредственно нагреваемому материалу, примерно 45–47 %

тепла аккумулируется футеровкой, а затем передается обжигаемому материалу. Остальные 5–7 % тепла теряются с отходящими газами в атмосферу. Третья и основная функция футеровки — теплоизоляция, которая сохраняет тепло для проведения технологического процесса, а также предохраняет корпус печи от перегрева. Полагают [4], что температура корпуса печи не должна превышать 350 °С, так как при более высоких температурах, когда в корпусе печи возникают большие растягивающие напряжения, а его прочность резко падает, создаются условия для разрушения корпуса. При 450 °С прочность стали уменьшается в несколько раз по сравнению с прочностью при 20 °С.

Теплоизоляционные свойства футеровки являются критерием ее износа. Поэтому надежность и долговечность футеровки печей необходимо рассматривать как с подбора химико-минерального состава огнеупора, так и с оптимальных конструктивных решений. Основные требования, предъявляемые к огнеупорным изделиям для футеровки печей [6, 7]: высокие плотность и прочность при сжатии, низкие пористость и газопроницаемость, повышенная стойкость к истиранию, наличие коррозионно-стойкой связки, низкая теплопроводность, особенно при выполнении футеровки в один окат (однослойной). Основным критерием технико-экономической оценки качества огнеупоров во всем мире является удельный расход огнеупоров на 1 т продукта. Из табл. 1 следует, что все страны в мире за последние годы снижали расход огнеупоров. Так, в 1950 г. удельный расход огнеупоров составлял 2,2 кг/т цемента, к 2008 г. он уменьшился в 3 раза. Уменьшение расхода огнеупоров обусловлено заметным повышением качества футеровочных материалов

* По материалам семинара «Огнеупоры и огнеупорные футеровки цементных печей» (18–21 мая 2015 г., Московская обл., Наро-Фоминский р-н).



И. Д. Кащеев

E-mail: kir77766617@yandex.ru

Таблица 1. Удельный расход огнеупоров в мире в период 1950–2008 гг., кг/т

Огнеупоры	1950 г.	1980 г.	2000 г.	2008 г.
Для производства стали в мире:	~60	30	18	16
в Японии	–	15	11	8
в Европе	~60	17	12	10
в США	~50	20	12	11
в Китае	–	55	30	23
Для производства:				
цемента	2,2	1,2	0,9	0,7
стекла	15	12	6	5
меди	–	6	4	2
алюминия	26	20	14	10

Таблица 2. Термические и физические свойства $MgAl_2O_4$, MgO и Al_2O_3

Показатели	$MgAl_2O_4$	MgO	Al_2O_3
Теплопроводность, Вт/(м·К)	5,9	7,1	6,3
ТКЛР, $10^{-6} K^{-1}$	7,6	13,5	8,8
Плотность, г/см ³	3,58	3,58	3,99
Температура плавления, °С	2135	2800	2050

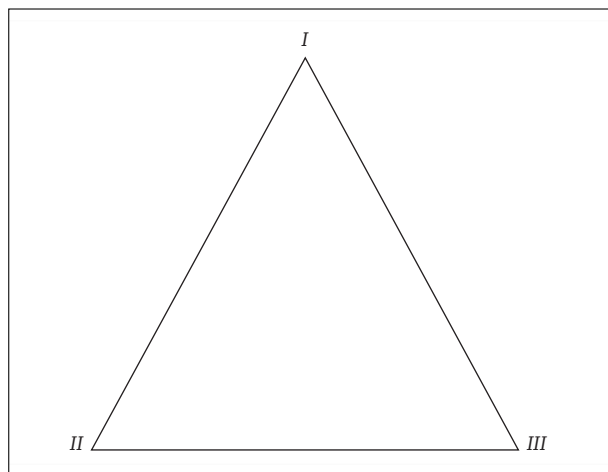


Рис. 1. Факторы, определяющие стойкость футеровки печей

и изделий, использованием новых видов огнеупоров и способов ремонта футеровки и др.

Техническим основанием повышения эффективности применения огнеупоров послужило изменение типа периклаза в производстве периклазосодержащей продукции. Сначала периклазовые огнеупоры производили из намертво обожженного периклаза, затем из крупнокристаллического намертво обожженного периклаза, сейчас применяют плавный периклаз. К числу новых современных огнеупорных материалов, освоенных зарубежной и отечественной огнеупорной промышленностью, относятся спеченная и плавная благородная шпинель, табулярный глинозем, диспергиру-

ющий и реактивный глинозем, микрокремнезем, различные нанодисперсные порошки оксидного состава, органические связки нового поколения и др. Освоение производства благородной шпинели и изделий и масс на ее основе следует считать основным достижением российской огнеупорной промышленности за последние десятилетия. Шпинель ($MgO \cdot Al_2O_3$) является высокоогнеупорным соединением с температурой плавления 2135 °С. В табл. 2 представлены некоторые свойства шпинели в сравнении с MgO (периклаз) и Al_2O_3 (корунд). Разница в величинах ТКЛР этих фаз является причиной высокой устойчивости шпинели к термическим ударам.

При эксплуатации вращающихся печей на футеровку воздействуют ряд факторов, которые условно разделены на три группы [1]. Предлагается другая классификация факторов, основанная на приоритете огнеупорных материалов (рис. 1), в которой термические и механические факторы объединены в термо-механические. Состав, структура и свойства огнеупоров выделены в отдельный самостоятельный фактор, который влияет не только на химические свойства футеровки, но и на термо-механические нагрузки в процессе эксплуатации. Заметно возросла роль эксплуатационных факторов, на которые влияют технологические параметры производства цементного клинкера. К ним относятся:

I — состав и структура (пористость, плотность, размер и распределение пор, тепло-

проводность, газопроницаемость, размер кристаллов, распределение кристаллической и стекловидной фаз и др.);

II — термомеханические и конструктивные свойства (прочность при высокой температуре, модуль упругости, ТКЛР, ползучесть), размеры теплового агрегата, способы загрузки и выгрузки и др.);

III — эксплуатационные параметры (температурный режим, состав шлака и расплава, скорость движения расплава и газов в печном пространстве, длительность отдельных периодов кампании, формирование гарнисажа и др.). Следует отметить, что эксплуатационные факторы могут изменяться по ходу кампании теплового агрегата.

Колебания температуры в процессе эксплуатации отрицательно влияют на состояние огнеупорной кладки, особенно для огнеупоров с высоким ТКЛР. От ТКЛР зависит величина напряжений, возникающих в кладке при ее нагревании, и особенно при резком изменении температуры в печи. Например, если линейное расширение шамотного кирпича при 1000 °C составляет около 0,4 %, то для хромитопериклазового изделия оно достигает 0,9 %, т. е. более чем в 2 раза выше (рис. 2). Существует (на основе практики применения огнеупоров) предельное расширение огнеупорных материалов в интервале от 20 до 1000 °C, %: шамотные 0,5–0,7 %, диносовые 1,2–1,4 %, периклазовые 1,3–1,4 %, хромитопериклазовые 0,8–0,9 %, форстеритовые 1,1 % [8].

Огнеупорные материалы, как правило, многофазны. Они обычно состоят из нескольких кристаллических и аморфных фаз. Очевидно, что их расширение представляет некоторую аддитивную величину, определяемую ТКЛР всех слагающих фаз. Чем больше различаются ТКЛР отдельных фаз, тем более значительными окажутся возникающие в изделиях расширения при колебании температуры и, следовательно, появляющиеся нарушения, тем более вероятным будет и разрушение изделий вследствие этих напряжений.

Термомеханические напряжения в футеровке считаются наиболее опасными, особенно когда они возникают при колебаниях температуры. Колебания температур в поверхностном слое футеровки вызывают разрыхление макроструктуры огнеупоров, появление трещин и снижение прочности огнеупоров. Гарнисаж (обмазка) способствует падению градиента температур, так как снижает температуру на контакте огнеупорная футеровка–обмазка. Поэтому формирование гарнисажа является условием для повышения стойкости футеровки.

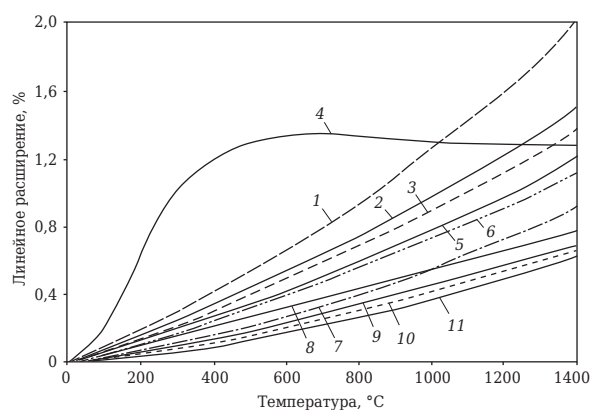


Рис. 2. Зависимость линейного расширения различных огнеупоров от температуры: 1 — периклазовые; 2 — хромитопериклазовые; 3 — хромитовые; 4 — диносовые; 5 — бадделлитовые (стабилизированные); 6 — корундовые (99 % Al₂O₃); 7 — корундовые (90 % Al₂O₃); 8 — шамотные; 9 — силлиманитовые; 10 — цирконовые; 11 — карбидкремниевые

Однако при переходе с периклазохромитовой футеровки на периклазошпинельную образование гарнисажа заметно уменьшается вследствие более высокой химической стойкости периклазошпинельных огнеупоров к продуктам синтеза цементного клинкера. Огнеупорные футеровочные материалы являются неоднородными, состоящими из кристаллической и аморфной фаз, поведение которых при нагревании и колебаниях температуры сильно различается. При высоких температурах и скачке температур возможна пластическая деформация; если ее величина достигнет значения величины теплового расширения, термостойкость материала может быть очень большой.

Эксплуатационные факторы можно повышать конструктивными и технологическими приемами. Правильная конструкция отдельных элементов кладки обеспечивает устойчивость и плотное прилегание кладки к корпусу печи, устраняет попадание горячих газов в образующиеся зазоры и тем самым нагрев и деформацию корпуса печи, разрушение футеровки. К технологическим приемам относится строгое соблюдение технологического режима обжига, что способствует стабилизации теплового режима, исключает необходимость переводов на тихий ход, уменьшает колебания температуры в футеровке.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе анализа стойкости футеровки и свойств огнеупоров предложена классификация факторов, влияющих на длительность работы вращающихся печей для цементной промышленности.

Библиографический список

1. Огнеупоры для промышленных агрегатов и топок. В 2 кн. Кн. 2. Служба огнеупоров ; под ред. И. Д. Кашеева, Е. Е. Грищенко. — М. : Интермет Инжиниринг, 2002. — 656 с.
2. **Ильина, Н. В.** Футеровка цементных вращающихся печей / Н. В. Ильина, Т. Н. Сохацкая. — М. : Стройиздат, 1965. — 267 с.
3. **Шубин, В. И.** Футеровка цементных вращающихся печей / В. И. Шубин. — М. : Стройиздат, 1975. — 182 с.
4. **Ходоров, Е. И.** Печи цементной промышленности / Е. И. Ходоров. — М. : Стройиздат, 1968. — 456 с.
5. **Давыдов, С. Я.** Вращающиеся печи предприятий строительных материалов : учебное пособие / С. Я. Давыдов, В. А. Пьячев, И. Д. Кашеев [и др.]. — Екатеринбург : УГТУ-УПИ, 2006. — 352 с.
6. **Ярушина, Т. В.** Новые хромитопериклазовые огнеупоры Группы «Магнезит» для вельц-печей цинкового производства / Т. В. Ярушина, В. В. Смертин, Д. Ю. Язовских [и др.] // Новые огнеупоры. — 2011. — № 6. — С. 114–121.
7. **Казанбаев, Л. А.** Служба футеровки вельц-печей цинкового производства / Л. А. Казанбаев, П. А. Козлов, А. В. Колесников [и др.] // Новые огнеупоры. — 2004. — № 4. — С. 82, 83.
8. **Кашеев, И. Д.** Футеровка дуговых электросталеплавильных печей / И. Д. Кашеев, И. П. Басьяс, Г. А. Фарафонов [и др.]. — М. : Интермет Инжиниринг, 2010. — 192 с. ■

Получено 27.05.15
© И. Д. Кашеев, 2015 г.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ



IREFCON 2016 — 11-я Индийская международная конференция по огнеупорам

20–22 января 2016 г. г. Хайдарабад, Индия

Тематика

- Оценка качества сырья по термомеханическим показателям
- Производства чугуна и стали в Индии: перспективы для будущих технических кадров
- Торкретирование шахты доменной печи
- Огнеупоры для сталелитейной промышленности
- Новейшие достижения в контроле огнеупоров и оборудовании
- Огнеупоры для цементной промышленности
- Потребление легковесных огнеупоров
- Снижение стоимости огнеупоров путем систематического их совершенствования

www.irefcon.org