

К. т. н. **А. С. Тимофеева** (✉), к. т. н. **Т. В. Никитченко, В. Д. Шишкин**

Старооскольский технологический институт имени А. А. Угарова
(филиал НИТУ «МИСиС»), г. Старый Оскол, Россия

УДК 666.974.2:666.762.1].001.5

ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ НА СВОЙСТВА ОГНЕУПОРНОГО БЕТОНА

Приведены результаты исследования влияния различных факторов на улучшение рабочих характеристик огнеупорного бетона. Описаны методики проведения лабораторных испытаний и их результаты по исследованию влияния различных добавок и влагосодержания на свойства огнеупорного бетона.

Ключевые слова: огнеупорный бетон, муллитовый наполнитель, муллитовая пыль, периклазовая пыль, влагосодержание, предел прочности при сжатии.

В настоящее время в развитии производства железорудной и металлургической продукции первостепенное значение имеют показатели энергетических затрат за счет снижения тепловых потерь. Одним из факторов, обеспечивающих снижение тепловых потерь, является применение современных эффективных огнеупорных материалов. Тенденции развития огнеупоров предполагают расширение ассортимента неформованных материалов, в частности огнеупорных бетонов [1, 2]. Огнеупорными бетонами называют безобжиговый композиционный материал огнеупорностью от 1580 °С и выше, состоящий из огнеупорного заполнителя, связки (вяжущего) и необходимых добавок, приобретающий заданные свойства при твердении и обладающий ограниченной усадкой при высоких температурах. В зависимости от применяемой добавки огнеупорные бетоны приобретают определенные специфические свойства: химико-минеральный состав, огнеупорность, пористость, жаропрочность, максимальную температуру применения и др. В зависимости от химико-минерального состава огнеупорного наполнителя огнеупорные бетоны подразделяются на различные типы и группы [3].

На базе лаборатории кафедры металлургии и металловедения СТИ НИТУ «МИСиС» проведены исследования влияния зернового состава наполнителя, различных добавок и массовой доли воды на прочность огнеупорного бетона. Для выполнения экспериментов была изготовлена установка (рис. 1) для формования образцов, которые подвергались последующим температурным и физическим воздействиям. В модели вибро-

пресса использовали три изложницы размерами 100×60×60 мм. Для лучшего извлечения образцов формы с одной стороны были разрезаны по высоте, а посередине соединялись через проушины с резьбой. При необходимости их можно разъединять и соединять. В качестве виброплощадки был использован вибропривод ВП-30Т. Для укрепления изложниц на столе вибропривода были закреплены две пластины из слоистого прессованного материала — гетинакса. По центру нижней пластины выполнена выемка под изложницы размерами 180×60 мм и глубиной 4 мм для того, чтобы формы были плотно закреплены.

Образцы огнеупорного бетона различного состава для испытаний подготавливали в соответствии с требованиями ГОСТ Р 52541–2006 «Бетоны огнеупорные. Подготовка образцов для испытаний». Вначале определяли влияние зернового состава муллитового наполнителя на качество огнеупорного бетона. В качестве наполнителя использовали в основном муллитокремнеземистую бетонную смесь (МЛС-62) различного гранулометрического состава: фракций мельче 1,0, 1–3 и 3–6 мм. При формировании бетонной смеси увеличивали количество крупной фракции за счет

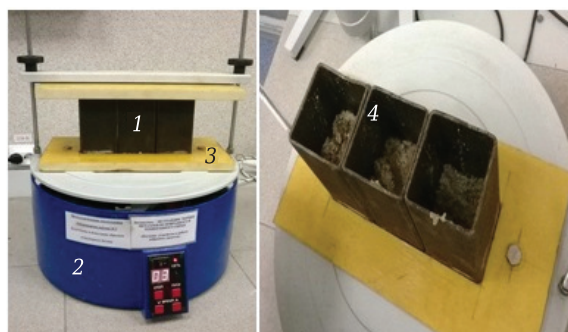


Рис. 1. Общий вид лабораторной установки: 1 — изложницы; 2 — вибропривод ВП-30Т; 3 — пластины из гетинакса; 4 — изложница для заливки бетонной смеси (общий вид)



А. С. Тимофеева
E-mail: uked@yandex.ru

снижения доли средней и мелкой (табл. 1). Количество цемента во всех пробах было одинаковым. Образцы испытывали на изменение размеров при нагреве, предел прочности при сжатии в сыром виде и после обжига при 1300 °С. Определяли также число теплосмен, выдержанных испытуемым образцом до разрушения при резкой смене температур от 950 °С до температуры проточной воды. Образцы помещали в печь, разогретую до 950 °С, и выдерживали их при этой температуре не менее 30 мин. После выдержки образцы извлекали из печи и опускали в проточную воду на 3 мин. Затем выдерживали на воздухе 5 мин и снова помещали в печь. Нагрев и охлаждение происходили до тех пор, пока образцы не разрушились на два или более кусков. Из каждого вида смеси готовили 6 образцов; в табл. 1 приведены усредненные данные результатов исследования.

Применение огнеупорных бетонов требует тщательной дозировки воды и тщательного перемешивания [4]. Задача следующих испытаний заключалась в подборе оптимального количества воды при формировании огнеупорной массы. При воздействии воды на порошок цемента его составные части вступают в реакцию с водой. При этом выделяется известь и образуются нерастворимые в воде новые соединения — гидросиликаты и гидроалюминаты кальция. Связав химически часть воды, новые соединения, обладая меньшей растворимостью, выпадают из раствора в виде мельчайших кристаллов, невидимых под обычным микроскопом. Эти кристаллы срастаются, переплетаясь между собой и образуя плотное камневидное тело.

Сухая смесь состояла из 70 % МЛС-62, 5 % МКС-72 и 25 % цемента. Из сухой смеси изготавливали образцы огнеупоров с добавкой различного количества воды в соответствии с влажностью 16,67, 18,75, 20,83, 22,92 и 25 %. Полученные образцы сушили и обжигали при 800 и 1300 °С (рис. 2).

Образцы с влажностью 16,67, 22,92 и 25 % не прошли внешнюю проверку, поэтому не могли быть подвергнуты дальнейшим испытаниям, т. е. при влажностном содержании ниже 17 и выше 22 % формирование образцов становится затруднительным. Образцы с влажностью 18,75 и 20,83 % были проверены на прочность. Испытания на предел прочности при сжатии проводили согласно ГОСТ 4071.2–94 «Из-

делия огнеупорные теплоизоляционные. Метод определения предела прочности при сжатии при комнатной температуре». Результаты испытаний представлены в табл. 2, из которой видно, что увеличение влажностного содержания бетонной смеси до определенных пределов позволяет повысить прочность огнеупорного бетона.

Влияние загрязнений на прочность огнеупорного бетона исследовали при добавлении в основную огнеупорную смесь заданного количества пыли разного состава (рис. 3). При этом использовали пыль муллитовую и периклазовую огнеупоров в количестве 1,5 и 3 %. Образцы огнеупорного бетона с добавкой Al_2O_3 не выдержали извлечения из изложниц. Следовательно, введение дополнительного Al_2O_3 ухудшает связующие свойства раствора, т. е. загрязнение муллитом может значительно ухудшить качество бетонных

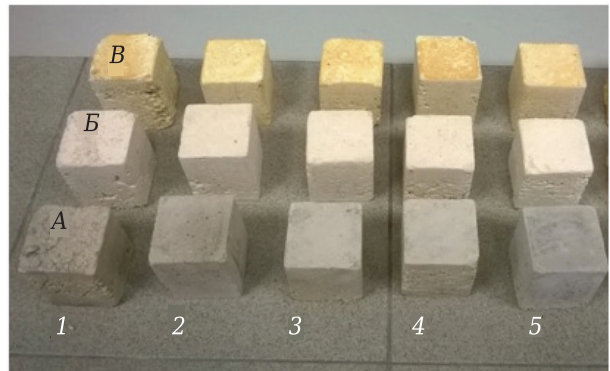


Рис. 2. Образцы огнеупорного бетона с влажностью 16,67 (1), 18,75 (2), 20,83 (3), 22,92 (4) и 25 % (5): А — образцы после сушки; В — после обжига при 800 °С; В — после обжига при 1300 °С

Таблица 1. Характеристика образцов огнеупорного бетона с наполнителем разного гранулометрического состава (1–3)

Компонент	Состав 1	Состав 2	Состав 3
Содержание компонента, %, в составах 1–3			
МЛС-62 фракции, мм:			
3–6	20	30	45
1–3	30	25	20
<1	25	20	10
Цемент	25	25	25
Результаты испытаний			
Средневзвешенный диаметр наполнителя, мм	1,630	1,950	2,445
Средняя усадка, мм	0,53	0,55	0,60
Предел прочности образца, МПа:			
сырого	61,70	76,53	54,67
после обжига при 1300 °С	29,73	26,10	24,30
Количество теплосмен	55,33	51,67	43,33

Таблица 2. Результаты испытаний образцов огнеупорного бетона на прочность в зависимости от влажностного содержания

Влажностное содержание образца, %	Режим термообработки	Предел прочности при сжатии, МПа
18,75	Сушка при 100 °С	3,30
18,75	Обжиг при 800 °С	4,36
18,75	Обжиг при 1300 °С	4,24
20,83	Сушка при 100 °С	4,44
20,83	Обжиг при 800 °С	4,60
20,83	Обжиг при 1300 °С	4,56

смесей. Образцы огнеупорного бетона с добавкой пыли периклазового огнеупора и без него прошли внешнюю проверку, сушку и обжиг при 800 и 1300 °С (рис. 4).

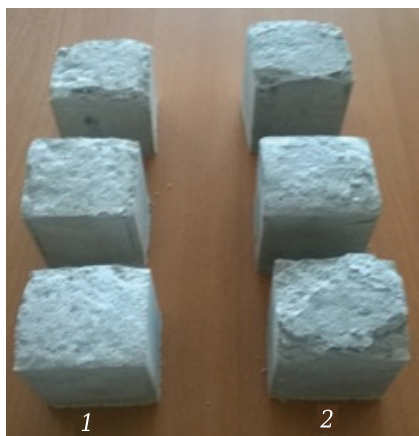


Рис. 3. Образцы огнеупорного бетона с добавкой муллитовой пыли: 1 — МЛС-62 (73,5 %), цемент Secar-72 (25 %), Al_2O_3 (1,5 %); 2 — МЛС-62 (72 %), цемент Secar-72 (25 %), Al_2O_3 (3 %)

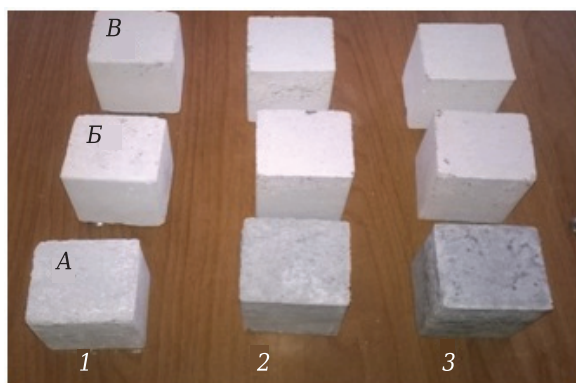


Рис. 4. Образцы огнеупорного бетона с добавкой периклазовой пыли: 1 — МЛС-62 (75 %), цемент Secar-72 (25 %); 2 — МЛС-62 (73,5 %), цемент Secar-72 (25 %), пыль периклазового огнеупора (1,5 %); 3 — МЛС-62 (72 %), цемент Secar-72 (25 %), пыль периклазового огнеупора (3 %); А — образцы после сушки при 110 °С; Б — после обжига при 800 °С; В — после обжига при 1300 °С

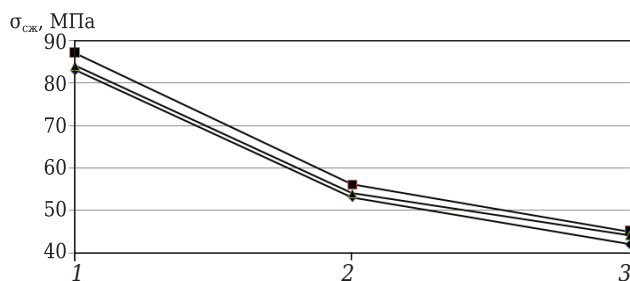


Рис. 5. Влияние добавки периклазовой пыли на предел прочности при сжатии $\sigma_{сж}$ огнеупорного бетона: ◆ — без добавки; ■ — с добавкой 1,5 % периклазовой пыли; ▲ — с добавкой 3 % периклазовой пыли; 1 — после сушки; 2 — после обжига при 800 °С; 3 — после обжига при 1300 °С

Испытания на предел прочности при сжатии проводили согласно ГОСТ 4071.2–94 «Изделия огнеупорные теплоизоляционные. Метод определения предела прочности при сжатии при комнатной температуре». Результаты измерений показаны на рис. 5. Добавка периклазовой пыли способствует повышению прочности огнеупорного бетона с муллитовым наполнителем; при этом количество добавки может иметь оптимум. Поскольку в работе исследовали воздействие периклазовой пыли как возможного загрязняющего компонента, можно сделать вывод, что пыль периклазового огнеупора не ухудшает качество огнеупорного бетона с муллитовым наполнителем. Напротив, периклазовая пыль может быть использована как модифицирующая добавка в огнеупорный бетон для улучшения его прочностных свойств.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследование влияния различных факторов на прочностные свойства огнеупорных бетонов показало:

- увеличение содержания крупной фракции (3–6 мм) огнеупорного наполнителя ухудшает качественные характеристики огнеупорного бетона;
- количество добавляемой воды при формировании огнеупорной бетонной смеси влияет на качество огнеупорного бетона; при этом влагосодержание имеет оптимум. Для испытываемого состава смеси наилучшие показатели были получены при влагосодержании (20±1) %;
- при попадании муллитовой пыли в огнеупорную смесь качественные показатели огнеупорного бетона ухудшаются, в то время как добавка 1,5 % периклазовой пыли способствует улучшению прочностных свойств огнеупорного бетона с муллитовым наполнителем.

Исследование выполнено в рамках государственного задания 11.1298.2017/ПЧ.

Библиографический список

1. Аксельрод, Л. М. Конкуренция на металлургическом рынке — двигатель конкуренции на огнеупорном рынке / Л. М. Аксельрод // Новые огнеупоры. — 2016. — № 7. — С. 3–17.
2. Гришпун, Е. М. Огнеупорные изделия и массы ОАО «Динур» / Е. М. Гришпун, А. М. Гороховский, Е. В. Беклемишев, Л. А. Карпец // Новые огнеупоры. — 2011. — № 8. — С. 16–23.
3. Семченко, Г. Д. Неформованные огнеупоры : уч. пособие / Г. Д. Семченко. — Харьков : НТУ «ХПИ», 2007. — 304 с.
4. Аксельрод, Л. М. Развитие огнеупорной отрасли — отклик на запросы потребителей / Л. М. Аксельрод // Новые огнеупоры. — 2013. — № 3. — С. 107–122. ■

Получено 22.08.17

© А. С. Тимофеева, Т. В. Никитченко,
В. Д. Шишкин, 2017 г.