

Д. Т. Н. И. Д. Кашеев¹ (✉), С. А. Поморцев², А. А. Ряплова²¹ ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет», г. Екатеринбург, Россия² ООО «Огнеупор», г. Магнитогорск, Россия

УДК 666.974.2:666.762.1]:669.1.043.1

РАЗРАБОТКА ОГНЕУПОРНЫХ БЕТОНОВ АЛЮМОСИЛИКАТНОГО И ГЛИНОЗЕМИСТОГО СОСТАВОВ ДЛЯ ТЕПЛОВЫХ АГРЕГАТОВ ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

Приведены результаты разработки серии бетонов с низким содержанием цемента для различных условий службы в тепловых агрегатах черной металлургии. В производстве смесей используется широкий спектр заполнителей — от плавленного корунда до шамота. Температура применения бетонов в зависимости от состава заполнителя от 1450 до 1750 °С. Бетоны не разупрочняются при нагреве и обладают высокими качественными показателями. Практическое использование бетонов в тепловых агрегатах и ковшах для транспортировки металла на Магнитогорском металлургическом комбинате показало их высокую эксплуатационную стойкость.

Ключевые слова: низкоцементные бетоны, бетонные смеси, заполнитель, высокоглиноземистый цемент (ВГЦ), коррозионная стойкость, шлакоустойчивость.

В настоящее время перспективным направлением в России и за рубежом является изготовление изделий и футеровок из сухих бетонных смесей. Доля огнеупорных бетонов в общем объеме отечественной огнеупорной продукции составляет примерно 25 % [1]. ООО «Огнеупор» наращивает производство огнеупорных виброналивных бетонов, не уступающих по качественным и эксплуатационным показателям импортным аналогам, а с 2010 г. занимается разработкой низкоцементных бетонов, что позволяет без ухудшения высокотемпературных свойств использовать различные огнеупорные заполнители. Невысокое содержание цемента в составе бетона сводит к минимуму негативное влияние процессов, происходящих при твердении цемента, которые в традиционных бетонах являются причиной так называемого «интервала разупрочнения». Технические и экономические преимущества низкоцементных бетонов способствуют их широкому применению на всех переделах металлургического производства [2, 3]. Сферы применения низкоцементных бетонов постоянно расширяются, что связано с рядом существенных преимуществ и возможностей [2, 3]:

- с повышенной коррозионной стойкостью и деформационной устойчивостью, так как со-

держание СаО в низкоцементных бетонах существенно ниже, чем в обычных;

- с более высокой прочностью как при более низких, так и при высоких температурах, чем у обычных бетонов;

- с мелкопористой структурой, которая создает условия для повышенной термостойкости за счет большего количества мелких пор. Эти поры тормозят развитие микротрещин на ранней стадии их формирования.

Постоянно растущие требования к качеству огнеупоров стимулируют производителей модернизировать оборудование и использовать новые виды сырья для производства продукции. В 2013 г. в ООО «Огнеупор» введена в эксплуатацию современная автоматизированная линия по производству сухих смесей. На участке установлены смесители фирмы «Eirich», позволяющие производить дозирование и качественное смешение, в том числе высокодисперсных специальных добавок в объеме смеси. Это значительно повысило качество выпускаемой продукции. Участок имеет бункерную эстакаду, рассчитанную на многокомпонентность составов смесей, и электронные весовые дозаторы. В производстве смесей используется большое количество различных заполнителей: плавленный корунд, синтетические плавленные порошки системы $Al_2O_3-SiO_2$, спеченные материалы на основе природного алюмосиликатного сырья (глин, каолинов и др.). Классификация заполнителей осуществляется на дробильно-помольном участке, позволяющем получать узкофракционные порошки.

В процессе отработки технологии в качестве вяжущего использовали смесь 10 % вы-



И. Д. Кашеев

E-mail: kir77766617@yandex.ru

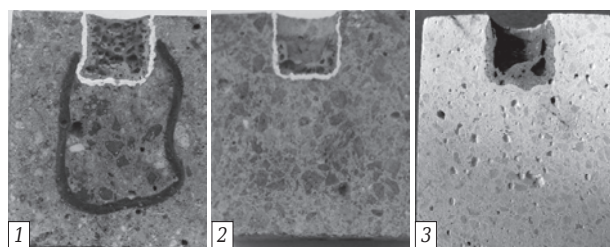


Рис. 1. Образцы составов 1–3 после испытания на шлакоустойчивость

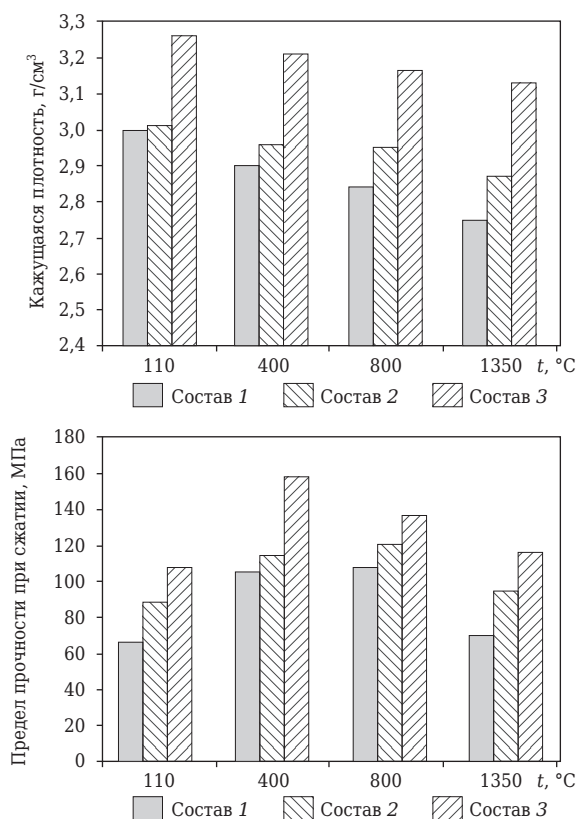


Рис. 2. Влияние снижения доли ВГЦ в бетонной смеси и усовершенствования дискретной матрицы огнеупорного бетона составов 1–3 на его кажущуюся плотность и предел прочности при сжатии

сокоглиноземистого цемента (ВГЦ) и 10 % реактивного глинозема. Регулирование реологических свойств бетонов осуществляли введением суперпластификатора С-3 и триполифосфата натрия (состав 1). Дальнейшими исследованиями исходная дискретная матрица была усовершенствована за счет снижения количества ВГЦ и регулирования количества высокодисперсного корунда в составе шихты, содержания в ней диспергирующих компонентов и армирующих волокон для ускорения процессов сушки и уменьшения внутренних напряжений в бетоне (составы 2 и 3).

Физико-керамические свойства бетонных смесей определяли на лабораторных образцах

кубах с ребром 70 мм по ГОСТ Р 5241, изготовленных виброформованием. После твердения и термообработки на образцах определяли кажущуюся плотность, водопоглощение, открытую пористость и предел прочности при сжатии согласно ГОСТ 2409. Шлакоустойчивость образцов оценивали тигельным методом в высокотемпературной печи. С этой целью в углубление тигля засыпали шлак, измельченный до зерен размерами менее 0,5 мм. Образцы нагревали со скоростью 700 °C/ч до 1400 °C с выдержкой при конечной температуре в течение 2 ч. Затем печь охлаждали, а образцы распиливали алмазным инструментом по центру углубления. Образцы после испытания на шлакоустойчивость показаны на рис. 1.

Анализ данных свидетельствует, что образец состава 1 отличается от образцов составов 2 и 3 с усовершенствованной матрицей повышенной пропиткой шлаком (см. рис. 1); площадь пропитки составляет 2113,2 мм², площадь разъедания 51,8 мм². Образцы составов 2 и 3 обладают высокой стойкостью к воздействию металла и шлака за счет снижения пористости до 8,6 % (состав 3) и содержания муллиты, синтез которого сопровождается уплотнением и упрочнением образцов. По результатам испытаний площадь разъедания шлаком образца состава 2 от 40,8 до 51,5 мм²; у образца состава 3 отмечена глубина шлакопропитки от 60,8 до 65,7 мм², шлакоразъедание не выявлено. Свойства исследуемых образцов показаны на рис. 2. Снижение доли ВГЦ в бетонной смеси и усовершенствование матрицы за счет введения дисперсных составляющих и специальных добавок значительно улучшают физико-химические и структурные свойства образцов (см. рис. 2). Их свойства достаточны для эксплуатации плотных бетонов в металлургическом производстве.

Сравнение свойств разработанных составов огнеупорных бетонов (см. рис. 2) показывает, что усовершенствование матричной системы приводит к увеличению кажущейся плотности (с 2,75 до 2,87–3,13 г/см³), предела прочности при сжатии образцов после термообработки при 1350 °C (с 69,0 до 93,1–114,9 МПа). После термообработки бетона при 400 °C его открытая пористость снизилась с 15,7 до 10,9–8,6 %, а после термообработки при 1350 °C — с 24,5 до 20,3–18,2 %. Водопотребность бетона при усовершенствовании матричной системы снизилась с 7,0 (состав 1) до 4,5–5,3 % (составы 2 и 3), что позволило ускорить процессы сушки и термообработки изделий, а также улучшить эксплуатационные свойства бетонов. Долговечность и качество смесей были достигнуты

Таблица 1. Физико-химические показатели бетонных смесей различных марок

Показатели	Норма для марки								
	КБС-90	КБС-93	ВБС-60	ВБС-70	ВБС-72	ВБС-75	ВБС-80	ШБС-45	ШБС-50
Массовая доля, %:									
Al ₂ O ₃ , не менее	90,0	93,0	60,0	70,0	72,0	75,0	—	45,0	50,0
(Al ₂ O ₃ + Cr ₂ O ₃), не менее	—	—	—	—	—	—	80,0	—	—
Fe ₂ O ₃ , не более	1,5	1,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	—	2,8
CaO, не более	2,5	2,5	3,5	3,5	4,0	4,0	5,5	4,0	3,5
Массовая доля влаги в смеси, %, не более	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Кажущаяся плотность бетона после сушки при 110 °С, г/см ³ , не менее	3,00	3,10	2,40	2,40	2,60	2,60	2,80	2,00	2,10
Предел прочности при сжатии бетона, МПа, не менее:									
после сушки при 110 °С	60	60	50	40	50	50	50	50	50
после термообработки при 400 °С	—	—	40	—	40	40	40	35	35
после термообработки при 1350 °С	60	60	—	50	—	—	—	—	—

Таблица 2. Физико-химические показатели опытных комплектов бетонных изделий для МНЛЗ № 6 ККЦ ОАО ММК

Показатели	ВБС-80	КБС-93
Химический состав бетонных смесей, мас. %:		
Al ₂ O ₃	82,94	95,94
Fe ₂ O ₃	0,51	0,17
CaO	6,00	2,31
Водопоглощение*, %	5,9–6,9/6,4	3,8–4,5/4,1
Предел прочности при сжатии*, МПа	50,5–62,6/56,8	42,8–101,0/72,3
Кажущаяся плотность, г/см ³	2,82	3,21

* В числителе — предельные значения, в знаменателе — средние.

благодаря применению современных сырьевых и связующих материалов, оптимизированного гранулометрического состава и использованию в матричной системе ультрадисперсных специфических добавок, таких как активные формы глинозема и дисперганты зарубежного производства. Полипропиленовая фибра повышает способность бетона к деформации без разрушения, уменьшая тем самым размер и количество трещин, а также способствует сохранению прочности бетона.

На основании проведенных исследований разработана серия огнеупорных бетонов алюмосиликатного и глиноземистого составов для службы при температуре от 1450 до 1750 °С. Бетонные смеси применяют для футеровки различных элементов тепловых агрегатов и изготовления огнеупорных изделий. В табл. 1 приведены качественные показатели бетонных смесей.

Составы низкоцементных бетонов являются многокомпонентными. Это усложняет технологию их производства, но придает ей гибкость, возможность изменять вещественный состав в соответствии с требованиями заказчика. Вы-

бор марки бетона ведется на основе базового рецепта, в который вносятся корректировки на основании результатов испытаний опытно-промышленной партии продукции у потребителя. Приготовление бетона из разработанных смесей у потребителя не требует особых условий. Бетон можно готовить в обычном бетоносмесителе, при этом он обладает хорошими реологическими свойствами и удобоукладываемостью.

Разработанные смеси серийно поставляют на Магнитогорский металлургический комбинат для изготовления вибролитых огнеупорных изделий различной конфигурации и назначения, используемых в сталеплавильных агрегатах и ковшах для транспортировки металла: фурм для продувки и обработки металла, «бойных» и страховочных плит, фильтрующих перегородок и порогов, гнездовых блоков, защитных колец, стартовых труб и т. д.

На участке выпуска бетонных смесей ООО «Огнеупор», оснащенном смесителем интенсивного действия и вибростолами с регулируемой частотой вибрации, изделия производятся методом виброформования с последующей тепловлажностной обработкой в пропарочной

камере. Парообработка изделий ускоряет процессы гидратации высокоглиноземистого цемента и сокращает время твердения бетона. Термообработку изделий осуществляют в сушилах с автоматизированной системой регулирования температуры в пределах до 400 °С и длительности термообработки.

Испытания разработанных бетонов подтвердили их высокую конкурентоспособность на рынке неформованных огнеупоров. В табл. 2 приведены качественные показатели опытных комплектов (согласно заключению центральной лаборатории контроля ОАО ММК) для МНЛЗ № 6 кислородно-конвертерного цеха (ККЦ) ОАО ММК, состоящих из фильтрующей перегородки, порога, турбостопа и гнездового блока.

Качественные показатели серийных бетонных изделий в зависимости от марки смеси после термообработки при 400 °С: кажущаяся плотность от 2,75 до 3,20 г/см³, предел прочности при сжатии от 50 до 105 МПа, линейная

усадка 0,1–0,2 %. После термообработки при 1350 °С кажущаяся плотность изделий увеличилась с 2,60 до 3,12 г/см³, предел прочности при сжатии повысился с 65 до 95 МПа, линейная усадка уменьшилась до 0,2 %.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработана технология бетонных смесей с низким содержанием цемента для различных условий службы в тепловых агрегатах черной металлургии. Для производства смесей используют различные заполнители — от плавленного корунда до шамота. Температура применения бетонов в зависимости от состава находится в пределах от 1450 до 1750 °С. Бетоны не разупрочняются при нагреве и обладают пределом прочности при сжатии до 115 МПа. Практическое использование бетонов в тепловых агрегатах и ковшах для транспортировки металла на Магнитогорском металлургическом комбинате показало их высокую эксплуатационную стойкость.

Библиографический список

1. **Суворов, С. А.** Периклазовые бетоны с пониженной влажностью для бойных плит и перегородок промежуточного ковша : тезисы Международной конференции огнеупорщиков и металлургов (29–30 марта 2012 г., Москва) / С. А. Суворов, А. П. Шевчик // Новые огнеупоры. — 2012. — № 3. — С. 78.
2. **Очагова, И. Г.** Мировая практика производства и применения огнеупоров в сталеплавильном производстве / И. Г. Очагова // Новые огнеупоры. — 2000. — № 4. — С. 117–119.

3. **Примаченко, В. В.** Алумосиликатные низкоцементные бетоны для футеровок элементов металлургических агрегатов / В. В. Примаченко [и др.] // Металлургия и горнорудная промышленность. — 2003. — № 5. — С. 64–66. ■

Получено 16.05.14

© И. Д. Кащеев, С. А. Поморцев, А. А. Ряпова,
2014 г.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ

57th INTERNATIONAL COLLOQUIUM ON REFRACTORIES 2014



September, 24th and 25th 2014 • EUROGRESS, Aachen, Germany

57-й МЕЖДУНАРОДНЫЙ КОЛЛОКВИУМ ПО ОГНЕУПОРАМ «ОГНЕУПОРЫ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННОСТИ»

24 – 25 сентября 2014 г.
г. Аахен, Германия

Тематика:

- | | | |
|----------------------------|---|------------------------|
| ■ Чугун, сталь | ■ Металлургия, разливка | ■ Монтаж и сервис |
| ■ Медь | стали | футеровки |
| ■ Литейный чугун | ■ Техника литья | ■ Износ |
| ■ Цветные и легкие металлы | ■ Формованные и неформованные огнеупоры | ■ Управление качеством |
| | | ■ Утилизация |

<http://www.feuerfest-kolloquium.de/>