

*Д-р техн. наук В. В. Примаченко, канд. техн. наук Л. А. Бабкина,
канд. техн. наук Л. Н. Солошенко, Л. М. Щербак, Т. Г. Тишина
(ПАО «УКРНИИ ОГНЕУПОРОВ ИМ. А. С. БЕРЕЖНОГО»,
г. Харьков, Украина)*

Исследование влияния вида гидравлического вяжущего на свойства шамотного бетона и образцов из него

Введение

Экономию трудовых и энергетических ресурсов обеспечивает производство и применение неформованных огнеупорных материалов и, в первую очередь, огнеупорных бетонов. Наряду с применением бетонов нового поколения — низкоцементных, широко используются традиционные бетоны, содержащие 15—30 мас. % гидравлического вяжущего (более 3 мас. % по СаО) [1; 2].

В зависимости от температуры применения огнеупорного бетона в его составе в качестве гидравлически твердеющего вяжущего используется высокоглиноземистый или глиноземистый цемент [3; 4].

В ПАО «УКРНИИ ИМЕНИ А. С. БЕРЕЖНОГО» разработан состав и освоено производство шамотной бетонной смеси марки СШБ по ТУ У 26.2-00190503-328: 2009 [5; 6]. Технология изготовления указанной бетонной смеси предусматривает использование высокоглиноземистого цемента марок ВГЦ-73 или ВГЦШ-60 собственного производства с низким содержанием примесей [7]. Шамотная бетонная смесь используется для футеровки паровых и водогрейных котлов, печей кальцинации, установок по сжиганию твердых бытовых отходов, для изготовления методом вибролитья горелочных камней различной конфигурации и других мест применения.

Согласно [8; 9], в составе шамотных бетонных смесей также используется другой вид цемента — глиноземистый цемент марки Gorkal-40 польского производства.

В связи с этим, в настоящей работе было исследовано влияние вида гидравлического вяжущего (высокоглиноземистого цемента марок ВГЦ-73, ВГЦШ-60 и глиноземистого цемента Gorkal-40) на свойства шамотного бетона и образцов из него.

В настоящей статье изложены результаты этих исследований.

Экспериментальная часть

Для проведения исследований в лабораторных условиях ПАО «УКРНИИО ИМЕНИ А. С. БЕРЕЖНОГО» были изготовлены образцы из опытных бетонов. Для их приготовления использовали следующие сырьевые материалы: шамот (каолин кальцинированный) марки ШК-40 по ТУ У 347-00191916-001:2005 производства ОАО «Ватутинский комбинат огнеупоров», гидравлически твердеющее вяжущее — высокоглиноземистый цемент марок ВГЦ-73 и ВГЦШ-60 по ТУ У 26.2-00190503-337: 2010 собственного производства и глиноземистый цемент марки Gorkal-40 фирмы «Gorka Cement Sp. Z.o.o.» польского производства.

Характеристика использованных цементов приведена в табл. 1.

В качестве крупнозернистой и мелкозернистой составляющих бетона использовали шамот, а в качестве тонкомолотой составляющей — смесь шамота и цемента, взятых в определенном соотношении. Бетонную смесь для исследований получали смешением вышеуказанных материалов в лабораторной мешалке планетарного типа.

Для затворения использовали водопроводную воду в количестве, обеспечивающем получение необходимой консистенции.

Лабораторные образцы (кубы с ребром 40 мм) готовили методом вибрolitия в разборных металлических формах. Образцы бетона после твердения во влажных условиях при температуре 18—20 °С в течение 7 суток сушили при температуре 110 °С (2 ч), а затем термообрабатывали при температуре 1350 °С в лабораторной муфельной печи с выдержкой при конечной температуре в течение 5 ч.

Определение свойств образцов осуществляли согласно стандартам Украины по утвержденным методикам: предел прочности при сжатии определяли в соответствии с ГОСТ 4071.1—94 (ISO 10059-1-92); открытую пористость и кажущуюся плотность — по ГОСТ 2409—95; огнеупорность — по ГОСТ 4069—69; термостойкость по режиму 950 °С — вода — по ГОСТ 7875.2—94; теплопроводность определяли методом стационарного теплового потока по ГОСТ 12170—85; изменение линейных размеров (усадка или рост) образцов — путем замера до и после термообработки.

Петрографические исследования выполняли на полированных шлифах на оптическом микроскопе МИН-8.

Вещественный состав шихт представлен в табл. 2.

Таблица 1

Характеристика использованных цементов

Наименование материала	Содержание оксидов, мас. %							Петрографическое описание
	$\Delta m_{\text{прк}}$	Al_2O_3	SiO_2	Fe_2O_3	TiO_2	CaO	$\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$	
Высокоглиноземистый цемент марки ВГЦ-73	0,38	74,12	0,65	0,35	—	24,51	—	Проба содержит ~80—95 об. % CA_2 , до 10 об. % CA , незначительное количество криптокристаллического вещества ~2 об. % и α - Al_2O_3 — до 3 об. %
Высокоглиноземистый цемент марки ВГЦШ-60	0,38	67,90	12,62	0,80	—	17,62	—	Проба состоит из ВГЦ и шамота. Шамот представлен бесцветным, внешне бесструктурным, прозрачным или полупрозрачным стекловидным веществом с $N_{\text{сум}} = 1,560 \pm 0,01$. ВГЦ представлен в основном диалюминатом кальция (CA_2) как мономинеральной, так и совместной кристаллизации (сростков) с CA . В незначительном количестве наблюдаются зерна и агрегаты CA (как в виде отдельных зерен, так и в виде агрегатов-сростков) и следы криптокристаллического и стекловидного вещества. Содержание, об. % : шамот ~29—31; CA ~ до 2; CA_2 ~ 65—67
Глиноземистый цемент марки Gorkal-40	0,28	44,30	2,63	13,7	1,82	36,8	0,06 + 0,02	Проба представлена отдельными зернами, тонкодисперсными агрегатами и агрегатами-сростками. Агрегаты-сростки состоят из мелких (<2 мкм) зерен, вероятно, ферритов и алумоферритов кальция, бесцветных анизотропных зерен CA и короткопризматических зерен, возможно, твердого раствора геленита с ферроокерманитом, поскольку показатель преломления выше, чем у геленита. Содержание, об. % : CA ~ 60—65; ферриты, алумоферриты кальция ~20—25; силикаты на основе геленита ~10—15; рутил ~1—2

Таблица 2

Вещественный состав шихт

Состав шихты, %	Номер шихты		
	1	2	3
Шамот фр. 6—0,09 мм	+	+	+
Высокоглиноземистый цемент марки ВГЦ-73	+	—	—
Высокоглиноземистый цемент марки ВГЦШ-60	—	+	—
Глиноземистый цемент марки Gorkal-40	—	—	+

Результаты и их обсуждение

Свойства образцов представлены в табл. 3.

Таблица 3

Свойства образцов

Наименование свойств	Показатели свойств для образцов из шихты №*		
	1	2	3
Предел прочности при сжатии, Н/мм ² , после сушки при температуре 110 °С	37,0	36,0	30,0
Свойства образцов после термообработки при температуре 1350 °С:			
предел прочности при сжатии, Н/мм ²	31,0	37,0	41,0
открытая пористость, %	21,0	21,0	20,7
кажущаяся плотность, г/см ³	2,15	2,13	2,16
изменения линейных размеров, %	-0,74	-0,55	-0,56
Термостойкость, теплосмен, по режиму 950 °С — вода	8	Не опр.	7
Теплопроводность, Вт/(м·К), при средних температурах	0,999/500 °С 1,210/845 °С	Не опр.	0,943/501 °С 1,180/840 °С

* Составы шихт приведены в табл. 2.

Анализ экспериментальных данных свидетельствует о том, что образцы, изготовленные из бетона всех опытных шихт, имеют высокие показатели свойств. При этом прочность образцов, изготовленных из бетона состава № 3, после термообработки при температуре 1350 °С несколько выше, чем аналогичных образцов, содержащих высокоглиноземистый цемент, что, по-видимому, обусловлено повышенной степенью спекания бетона вследствие значительного количества оксида железа в глиноземистом цементе. Кроме того, шамотный бетон, содержащий

глиноземистый цемент, характеризуется высокими теплофизическими свойствами (низкой теплопроводностью и достаточно высокой термостойкостью), что, по-видимому, объясняется особенностями его микроструктуры. Согласно данным проведенных петрографических исследований, образец состоит из зерен заполнителя — шамота и связующей массы. Образец плотно спечен. Контакты связка — наполнитель плотные, нечеткие, практически неразличимые. Связующая масса — тонкокристаллическая, представлена анортитом, характеризующимся более низкой теплопроводностью, и соединениями на основе оксидов железа. Анортит наблюдается в виде мелких (< 4 мкм) удлиненных плотно сросшихся кристаллов, образующих вокруг зерен шамота каемки шириной до 20—30 мкм (рисунок). Полученные результаты петрографических исследований свидетельствует об активном взаимодействии шамота с глиноземистым цементом при обжиге.

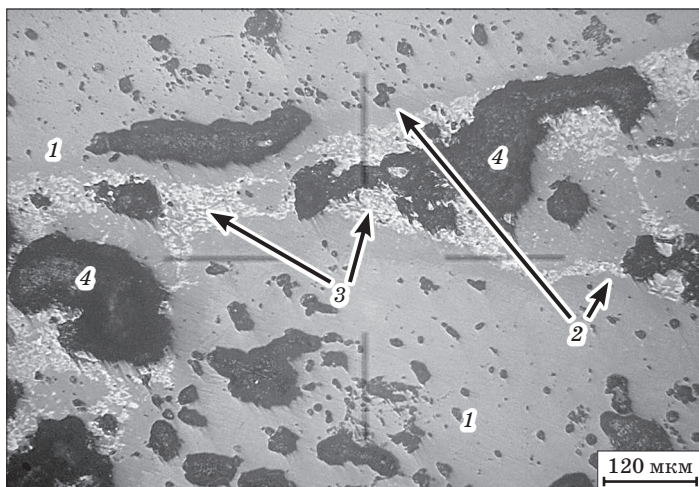


Рис. Микроструктура образца бетона из шихты № 3, содержащего глиноземистый цемент, после обжига при температуре 1350 °С:

1 — шамот; 2 — анортит; 3 — соединения на основе оксидов железа; 4 — поры

Показатели свойств шамотной бетонной смеси, содержащей глиноземистый цемент, и нормативные показатели шамотной бетонной смеси марки СШБ с высокоглиноземистым цементом в соответствии с требованиями технических условий приведены в табл. 4.

Таблица 4

Показатели свойств шамотной бетонной смеси с глиноземистым цементом и нормативные показатели шамотной бетонной смеси марки СШБ с высокоглиноземистым цементом в соответствии с требованиями технических условий

Наименование свойств	Показатели свойств для бетона марки	
	СШБ	Фактические с цементом марки Gorkal-40
	по ТУ У 26.2-00190503-328: 2009	
Массовая доля, % Al ₂ O ₃ CaO Fe ₂ O ₃	Не менее 44 Не менее 3 Не более 1,6	42,2 8,00 3,82
Огнеупорность, °С	Не ниже 1670	1610
Зерновой состав, % : остаток на сетке № 5 остаток на сетке № 2 остаток на сетке № 05 остаток на сетке № 009 проход через сетку № 009	Не более 10 Не более 45 Не более 70 Не более 80 Не менее 20	10,0 25,5 67,2 73,5 26,5
Предел прочности при сжатии, Н/мм ² , образцов из бетона после термообработки при температуре: 110 °С 1350 °С	Не менее 35 Не менее 20	30 41

На основании результатов проведенных исследований разработана технология изготовления нового вида шамотного бетона с гидравлически твердеющим вяжущим — глиноземистым цементом, марки СШБГ. Использование глиноземистого цемента позволяет расширить сырьевую базу и снизить себестоимость изготовления шамотного бетона.

Заключение

Исследовано влияние вида гидравлически твердеющего вяжущего (высокоглиноземистого цемента марок ВГЦ-73 и ВГЦШ-60 производства ПАО «УКРНІІО ІМЕНІ А. С. БЕРЕЖНОГО» и глиноземистого цемента марки Gorkal-40 польского производства) на свойства шамотной бетонной смеси и образцов из бетона. На основании результатов исследований разработан новый вид продукции — шамотная бетонная смесь марки СШБГ, содержащая в качестве гидравлически твердеющего вяжущего глиноземистый цемент. Разработанный бетон по прочностным

показателям после высокотемпературного обжига превосходит бетон с высокоглиноземистым цементом.

Показатели свойств шамотной бетонной смеси, содержащей глиноземистый цемент марки Gorkal-40: химический состав, мас. %: $Al_2O_3 \geq 40$; CaO — 6,5—8,5; зерновой состав, мм — 0—6; предел прочности при сжатии образцов из бетона после термообработки при температуре 110 (2 ч) и 1350 °С (5 ч) более 25 и 30 Н/мм² соответственно.

Шамотная бетонная смесь разработанного состава, наряду с бетонными смесями, содержащими отечественный высокоглиноземистый цемент марок ВГЦ-73 и ВГЦШ-60, рекомендуется для использования в качестве футеровочного материала для тепловых агрегатов с температурой службы до 1350 °С.

Библиографический список

1. Огнеупорные бетоны : справочник / С. Р. Замятин, А. К. Пургин, Л. Б. Хорошавин [и др.] — М. : Металлургия, 1982. — 190 с.
2. Огнеупорные бетоны : сб. науч. тр. — Л., 1984. — 111 с.
3. Жаростойкие бетоны / под ред. Некрасова К. Д. — М. : Стройиздат, 1964. — 292 с.
4. Герасимов Е. П. Жаростойкие бетоны для электропечей / Е. П. Герасимов, В. М. Мартынов, В. С. Сасса. — М. : Энергия, 1969. — 145 с.
5. Бабкина Л. А. Разработки УкрНИИО по технологии производства неформованных огнеупоров / Л. А. Бабкина // Научные исследования по технологии и службе огнеупоров : сб. науч. тр. — Х. : Каравелла, 1997. — С. 126—132.
6. Использование корундового и шамотного бетонов для комбинированной монолитной огнеупорной футеровки проходных индукторов / В. В. Примаченко, Л. А. Бабкина, В. И. Дрозд [и др.] // Металлургическая и горнорудная пром-сть. — 2002. — № 3. — С. 63—65.
7. Высокоглиноземистый цемент с низким содержанием примесей / А. П. Бакалкин, Я. З. Шапиро, Л. Г. Литвин [и др.] // Огнеупоры. — 1986. — № 1. — С. 43—45.
8. Высокоочищенный высокоглиноземистый цемент: производство и свойства / И. Штиннесен, А. Бур, Р. Кокеджей-Лоренц [и др.] // Новые огнеупоры. — № 8. — 2003. — С. 22—27.
9. Исследование физико-механических характеристик среднецементного жаростойкого бетона на шамотно-карбидкремниевых заполнителях и его практическое применение / С. Гоберис, И. Пундене, В. Антонович [и др.] // Новые огнеупоры. — 2005. — № 9. — С. 59—63.

Рецензент к. т. н. Костырко И. Ю.