

УДК 621.785:666.362

И.В. Гладких

ВЛИЯНИЕ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА ОГНЕУПОРНОГО ЗАПОЛНИТЕЛЯ ИЗ ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ НА СВОЙСТВА ЖАРСТОЙКОГО БЕТОНА

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Представлены результаты исследования влияния гранулометрического состава огнеупорного заполнителя из техногенного сырья на свойства жаростойкого бетона. Установлено, что использование гранулометрического состава заполнителя, рассчитанного на основании обобщающего уравнения Фуллера, Андреасена и Боломэ с использованием эмпирических коэффициентов $\alpha=0,1$; $n=0,7$, обеспечивает получение бетона с высокими качественными характеристиками.

Ключевые слова: огнеупорный заполнитель, гранулометрический состав, техногенное сырье, жаростойкий бетон.

В современных условиях стремления к материало- и энергосбережению, экономии природных ресурсов, снижению антропогенной нагрузки на окружающую среду повышение уровня использования техногенного сырья особенно актуально. Применительно к огнеупорной промышленности важнейшим из техногенных сырьевых ресурсов является лом различных видов огнеупорных изделий (шамотных, диасовых, магнезитовых и др.), образующихся в процессе эксплуатации и ремонтов промышленных тепловых агрегатов.

Согласно экспертным оценкам [1-3], вторичное использование 1 т лома алюмосиликатных огнеупоров позволяет сэкономить до 1,5 т огнеупорной глины, 0,15 т условного топлива, $1,4 \cdot 10^5$ Дж электроэнергии; 1 т боя кремнеземистых изделий экономит 1,2 т кварцитов, 0,3 т условного топлива, $1,6 \cdot 10^5$ Дж электроэнергии; 1 т магнезиальных огнеупоров экономит до 2,3 т природного магнезита, 0,35 т хромитовой руды, 0,25 т условного топлива, $1,6 \cdot 10^5$ Дж электроэнергии. Кроме того, использование вторичных огнеупоров способствует исключению высокотемпературного обжига огнеупорного сырья из технологического процесса производства огнеупоров, что позволяет снизить удельный выход оксида углерода до 5 кг на тонну готовой продукции, оксидов азота до 6 кг/т, диоксида серы до 7,5 кг/т [4]. Следовательно, эффективное использование лома огнеупорных материалов обеспечивает в итоге значительное ресурсосбережение и сохранение окружающей среды.

Одним из перспективных направлений переработки огнеупорного лома, в частности боя шамотных изделий, является использование его в качестве вторичного огнеупорного сырья для производства жаростойких бетонов, получивших широкое распространение в черной и цветной металлургии. Применение их вместо штучных огнеупоров снижает трудозатраты, уменьшает сроки строительства, позволяет быстро изготавливать изделия любой формы, зачастую повышает долговечность футеровки.

Кроме того, в отличие от традиционных огнеупоров жаростойкие бетоны не требуют обжига – самого дорогого технологического процесса производства огнеупоров. Производство изделий из жаростойкого бетона проще и более гибкое, чем штучных огнеупоров. Соответственно, в общем объеме огнеупоров доля бетонов и «неформованных огнеупоров» неуклонно увеличивается с 1970-х гг., как в нашей стране, так и за рубежом [2, 3].

Ввиду многообразия промышленных отходов, пригодных для использования в технологии жаростойкого бетона в качестве техногенного огнеупорного сырья, следует отметить, что оно должно удовлетворять требованиям, предъявляемым к огнеупорным заполнителям, которые регламентируют химико-минералогический состав, огнеупорность и др. Кроме того, применение огнеупорного заполнителя из техногенного сырья должно обеспечивать необхо-

димый комплекс технологических и эксплуатационных характеристик жаростойкого бетона, который в значительной степени зависит от гранулометрического состава заполнителя. Проведенные исследования показали, что оптимальное соотношение зерен разных фракций обеспечивает виброреологические характеристики бетонных масс, способствующих созданию низкопористой и прочной структуры бетона как в процессе формования, так и под воздействием тепловой обработки [6].

Для достижения максимального уплотнения бетонной массы подбор гранулометрического состава рекомендуется осуществлять с использованием кривых распределения Фурнса, уравнений Фуллера (1), Андреасена (2) и Боломэ (3) [7, 8]:

$$X_i = \left(\frac{d_i}{D_{\max}}\right)^{0,5} \cdot 100; \quad (1)$$

$$X_i = \left(\frac{d_i}{D_{\max}}\right)^n \cdot 100; \quad (2)$$

$$X_i = \left[\alpha + (1-\alpha) \cdot \left(\frac{d_i}{D_{\max}}\right)^{0,5} \right] \cdot 100 \quad (3)$$

где X_i – содержание фракции с размером зерен меньше d_i , %;

D_{\max} – максимальный размер зерна, мм;

α – коэффициент, зависящий от типа бетона и характера зерен заполнителя;

n – показатель степени, зависящий от формы зерен, их взаимного сцепления, условий осуществления упаковки.

На основании анализа уравнений (1)–(3) авторами [7] предложено обобщающее уравнение (4), расширяющее интервал возможных значений показателя степени свободы в пределах $n = 0,5-0,9$ и $0 < \alpha < 0,4$:

$$X_i = \left[\alpha + (1-\alpha) \cdot \left(\frac{d_i}{D_{\max}}\right)^n \right] \cdot 100. \quad (4)$$

Эффективность использования уравнения (4) подтверждена при подборе гранулометрического состава огнеупорных периклазовых масс для изготовления безобжиговых изделий полусухого прессования.

В настоящей работе проведены исследования влияния гранулометрического состава огнеупорного заполнителя из техногенного сырья на свойства жаростойкого бетона. Для проведения исследований в качестве сырьевых материалов использовали: огнеупорный заполнитель на основе лома алюмосиликатных изделий, вяжущее – жидкое стекло натриевого по ГОСТ13078-81 «Стекло натриево жидкое» (силикатный модуль – 2,9; плотность – 1,41 г/см³), отвердитель – кремнефтористый натрий по ТУ 113-08-587-86 (массовая доля Na_2SiF_6 не менее 98 %).

Физико-химические характеристики огнеупорного заполнителя из техногенного сырья представлены в табл. 1.

Таблица 1

Физико-химические показатели огнеупорного заполнителя из техногенного сырья

Наименование показателя						
Массовая доля, %				Огнеупорность, °С	Водопоглощение, %	Массовая доля влаги, %
Al_2O_3	CaO	Fe_2O_3	SiO_2			
35,80	0,16	2,86	47,80	1690	12,0	3,0

Из представленных данных следует, что физико-химические характеристики заполнителя из техногенного сырья соответствуют требованиям, предъявляемым к заполнителям алюмосиликатным марки ЗША по ГОСТ 23037-99 «Заполнители огнеупорные» (массовая доля Al_2O_3 не менее 35,0 %, массовая доля Fe_2O_3 не более 6,5 %; огнеупорность не ниже 1690 °С). Значение водопоглощения находится в пределах, допустимых для заполнителей, изготовленных из брака и лома (не более 15 %).

Исследования проводились на образцах бетона (кубы с ребром 50 и 100 мм), изготовленных в разборных металлических формах из масс состава: заполнитель – 70 %, вяжущее – 25%, отвердитель – 5%. Формование образцов осуществлялось на лабораторном вибростоле, с параметрами вибрации – частота колебаний 40 кол/с, амплитуда колебаний 0,2 мм. Образцы бетона выдерживались на воздухе при температуре окружающей среды 20-25 °С в течение 3 суток, затем подвергались сушке при температуре 105 °С в течение 48 часов (температурно-влажностный режим твердения образцов огнеупорного бетона соответствовал условиям ГОСТ 20910-90 «Бетоны жаростойкие»).

В работе изучалось влияние 2-х видов гранулометрического состава заполнителя из техногенного сырья на свойства жаростойкого бетона:

1) гранулометрический состав заполнителя с непрерывной гранулометрией фракции 5-0 мм;

2) гранулометрический состав заполнителя, рассчитанный на основании уравнения (4) с использованием эмпирических коэффициентов $\alpha=0,1$; $n=0,7$, фракции 5-0 мм.

Таблица 2

Гранулометрический состав заполнителя из техногенного сырья

Фракция, мм	Содержание фракций заполнителя из техногенного сырья, % масс.			Полные остатки на контрольных ситах (требования ГОСТ 20910-90), % масс.
	Гранулометрический состав № 1	Гранулометрический состав № 2		
		Расчетный	Фактический	
Более 5,0	1,3	-	1,1	0-5
5-2,5	9,4	34,6	37,2	10-40
2,5-1,25	24,7	21,3	18,8	20-60
1,25-0,63	21,3	13,0	9,8	40-85
0,63-0,315	18,4	8,1	11,1	60-95
0,315-0,16	12,8	4,9	6,9	80-100
Менее 0,16	12,1	18,1	15,1	
Всего	100	100	100	

Поскольку существующие в огнеупорном производстве методы разделения порошков не позволяют осуществлять расфракционирование материалов на узкие фракции для последующей их дозировки, смешения и получения полидисперсной смеси с заданным соотношением фракций, расчет содержания фракций заполнителя гранулометрического состава №2 осуществляли по трем фракциям: 5 мм, 3 мм, 1 мм. С учетом расчета гранулометрический

состав №2 характеризовался следующим содержанием фракций %, масс: 5-3 мм – 27; 3-1 мм – 33; 1-0 мм – 40. Гранулометрический состав заполнителя из техногенного сырья представлен в табл. 2.

Анализ представленных данных показывает, что гранулометрический состав заполнителя обоих вариантов полностью удовлетворяет требованиям, предъявляемым к заполнителям жаростойких бетонов по ГОСТ 20910-90 «Бетоны жаростойкие». При этом фактический гранулометрический состав №2 незначительно отличается от расчетного состава.

Образцы жаростойкого бетона исследовались на следующие физико-механические характеристики: кажущаяся плотность, открытая пористость и прочность на сжатие при температуре термообработки 20 °С, 105 °С, 1000 °С.

Определение физико-механических характеристик бетона проводили согласно ГОСТ 24468-80 «Изделия огнеупорные. Метод определения кажущейся плотности и общей пористости теплоизоляционных изделий», ГОСТ 2409-95 «Огнеупоры. Метод определения кажущейся плотности, открытой и общей пористости, водопоглощения», ГОСТ 4071.2-94 «Изделия огнеупорные теплоизоляционные. Метод определения предела прочности при сжатии при комнатной температуре».

Результаты исследования влияния гранулометрического состава заполнителя из техногенного сырья и температуры термообработки на физико-механические характеристики жаростойкого бетона представлены в табл. 3.

Из представленных данных следует, что кажущаяся плотность образцов бетона, полученных с использованием заполнителя гранулометрического состава №2, характеризуются более высокими значениями, практически не зависит от температуры термообработки и находится в диапазоне 1,84-1,86 г/см³, по сравнению с образцами бетона на основе заполнителя гранулометрического состава №1 (1,63-1,84 г/см³). Выявленное при этом незначительное увеличение кажущейся плотности с 1,63 г/см³ до 1,68 г/см³ у образцов бетона на основе заполнителя №1 после обжига при температуре 1000 °С обусловлено усадкой образцов.

Зависимость открытой пористости от температуры для разных видов гранулометрического состава заполнителя носит неоднозначный характер. С увеличением температуры термообработки у образцов бетона на основе заполнителя №2 наблюдается уменьшение пористости с 24,8 % до 18,6 %. Пористость образцов бетона на основе заполнителя гранулометрического состава №1 в интервале температур 105-1000 °С практически не изменяется и находится в пределах 31,5-30,2 %.

Наиболее значительное влияние вида гранулометрического состава заполнителя и температуры термообработки выявлено на механическую прочность образцов бетона.

Таблица 3

Физико-механические характеристики образцов огнеупорного бетона

Гранулометрический состав заполнителя из техногенного сырья	Наименование показателя качества							
	Кажущаяся плотность при температуре термообработки, г/см ³			Открытая пористость при температуре термообработки, %		Прочность на сжатие при температуре термообработки, МПа		
	20 °С	105 °С	1000 °С	105 °С	1000 °С	20 °С	105 °С	1000 °С
№ 1	1,84	1,63	1,68	31,50	30,20	5,97	14,84	26,50
№ 2	1,86	1,84	1,85	27,80	18,60	8,42	28,0	33,2

Установлено, что после сушки при температуре 105 °С прочность бетона на основе заполнителя гранулометрического состава №2 практически в два раза превышает прочность бетона на основе заполнителя состава №1, и составляет 28 МПа и 14,84 МПа, соответственно.

При температуре 1000 °С достигаются максимальные значения прочности (26,5 МПа и 33,2 МПа) образцов бетона для обоих видов заполнителя, при этом наибольшая прочность бетона достигается при использовании заполнителя гранулометрического состава №2. Существенные различия в значениях прочности на сжатие образцов бетона, по-видимому, обусловлены распределением зерен различных фракций в гранулометрическом составе заполнителя и некоторым оптимальным соотношением площадей поверхности зерен заполнителя и матричного компонента бетона.

Таким образом, в результате проведенных исследований влияния гранулометрического состава огнеупорного заполнителя из техногенного сырья на свойства жаростойкого бетона установлено, что использование заполнителя гранулометрического состава, рассчитанного на основании обобщающего уравнения (4) с эмпирическими коэффициентами $\alpha=0,1$; $n=0,7$, обеспечивает получение бетона с низкой пористостью (18,6 %) и высокой механической прочностью (33,2 МПа).

Библиографический список

1. **Хорошавин, Л.Б.** Значение вторичных огнеупоров недооценено / Л.Б. Хорошавин // Уральский рынок металлов. 2006. № 8. – С. 39–42.
2. **Хорошавин, Л.Б.** Современные тенденции развития производства и применения огнеупоров./ Технология композиционной керамики в материаловедении: материалы заочной Всероссийской конференции. – Уфа: Вагант, 2008. – С. 22–30.
3. **Хорошавин, Л.Б.** Диалектика огнеупоров / Л.Б. Хорошавин – Екатеринбург: Изд-во Екатеринбургская Ассоциация Малого Бизнеса, 1999. – 359 с.
4. **Старк, С.Б.** Газоочистные аппараты и установки в металлургическом производстве: учеб. для вузов / С.Б. Старк. – М.: Металлургия. – 2-е изд., перераб. и доп. – 1990. – 400 с.
5. **Кашеев, И.Д.** Неформованные огнеупоры: справоч. изд. в 2 т. Т. 2: свойства и применение неформованных огнеупоров / И.Д. Кашеев, М.Г. Ладыгичев, В.Л. Гусовский. – М.: Теплотехник, 2004. – 440 с.
6. **Пивинский, Ю.Е.** Неформованные огнеупоры: справоч. изд. в 2 т. Т. 1. Книга 1. Общие вопросы технологии / Ю.Е. Пивинский. – М.: Теплоэнергетик, 2004. – 448 с.
7. **Кашеев, И.Д.** Химическая технология огнеупоров: учеб. пособие / И.Д. Кашеев, К.К. Стрелов, П.С. Мамыкин. – М.: Интернет Инжиниринг, 2007. – 752 с.
8. **Стрелов, К.К.** Технология огнеупоров / К.К. Стрелов, И.Д. Кашеев, П.С. Мамыкин. – 4-е изд. – М.: Металлургия, 1988. – 528 с.

*Дата поступления
в редакцию 15.10.2015*

I.V. Gladkikh

INFLUENCE OF GRANULOMETRIC COMPOSITION OF HEAT-RESISTANT FILLER FROM TECHNOGENIC RAW MATERIALS ON PROPERTIES OF HEAT-RESISTANT CONCRETE

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev

Results of research of influence of granulometric composition of heat-resistant filler from technogenic raw materials on properties of heat-resistant concrete are presented. It is established that use of of the filler calculated on the basis of the generalizing equation of Fuller, Andreasen and Bolome with use of empirical coefficients of $\alpha=0,1$; $n=0,7$, provides receiving concrete with high qualitative characteristics.

Key words: heat-resistant filler, granulometric composition, technogenic raw materials, heat-resistant concrete.