

Д. Т. Н. В. Н. Соков (✉), К. Т. Н. С. Д. Сокова

ФГБОУ ВПО «Московский государственный строительный университет», Москва, Россия

УДК 666.974.2:666.762.11]-486:666.32/36

## ТЕРМОСТОЙКИЙ КОРУНДОВЫЙ БЕТОН, АРМИРОВАННЫЙ ВОЛОКНАМИ ОКСИДА АЛЮМИНИЯ, СИНТЕЗИРУЕМЫМИ В МАТРИЦЕ ПРИ ОБЖИГЕ. Часть 3. Выбор рациональных компонентов для получения корундового бетона\*

Отмечено, что методы подбора состава огнеупорных и строительных бетонов значительно различаются. При подборе состава огнеупорного бетона следует учитывать физико-химические процессы, проходящие при его твердении и спекании. Установлено, что наиболее полным требованиям удовлетворяют бетоны на основе высокоглиноземистого цемента и корундового заполнителя.

**Ключевые слова:** корундовый бетон, подбор состава бетона, соотношение крупных и мелких фракций заполнителя, высокоглиноземистый цемент (ВГЦ).

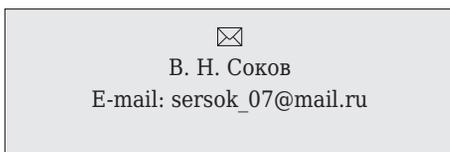
Методы<sup>1</sup> подбора составов огнеупорных и строительных бетонов значительно различаются. Такой обобщенный показатель оценки качества строительных бетонов, как марка бетона, неприемлем для огнеупорных бетонов. Критерием качества огнеупорного бетона является его надежная работа при воздействии комплекса условий (температуры службы, газовой среды, жидкого шлака, металла, механических нагрузок и др.). При подборе состава огнеупорного бетона следует учитывать физико-химические процессы, происходящие в бетоне при твердении и разупрочнении при спекании. Наибольшую трудность при разработке состава огнеупорного бетона из конкретных материалов представляет выбор наибольшей крупности заполнителя и оптимального соотношения в бетонной смеси крупных и мелких фракций заполнителя. Для выбора важнейших параметров — водоцементного отношения и общего водосодержания в бетонной смеси существует ряд хорошо проверенных методик, позволяющих при известном составе бетона экспериментально уточнить требуемые расход воды и водоцементное отношение.

Для выбора оптимального соотношения крупных и мелких фракций заполнителя пока не существует строго научно обоснованных рекомендаций, позволяющих аналитически

рассчитать гранулометрический состав заполнителя. Поэтому в каждом отдельном случае, с учетом условий работы бетона, приходится находить это соотношение экспериментальным путем. В огнеупорных бетонах в отличие от обычных роль заполнителя очень высока, так как его свойства во многом определяют специфические показатели самого огнеупорного бетона (огнеупорность, деформацию под нагрузкой, остаточную прочность, огневую усадку и др.). Рационально подобранный состав заполнителя в бетоне позволяет резко сократить расход цемента, являющегося наиболее дорогим компонентом и легкоплавкой составляющей и снижающего огнеупорность бетона.

Жесткий скелет из высокопрочного заполнителя несколько увеличивает прочность и снижает величину деформации бетона. Из-за неравномерности усадочных деформаций возникают внутренние напряжения, которые могут привести к образованию микротрещин. Заполнитель при этом «гасит» усадочные напряжения и в несколько раз уменьшает усадку бетона в целом по сравнению с усадкой цементного камня. Однако следует отметить, что снижение крупности заполнителя приводит к увеличению расхода вяжущего и водоцементного отношения, а это снижает огнеупорность, температуру деформации под нагрузкой и повышает огневую усадку бетона. Верхний предел крупности зерен заполнителя зависит от природы огнеупора (кварцит, спеченный магнезит, шамот), от размеров бетонных изделий, назначения масс и колеблется в пределах от 5 до 60 мм. Высказывается точка зрения о целесообразности применения в огнеупорных бетонах только мелкого заполнителя (0,4–0,8 мм),

\* Часть 1 статьи опубликована в журнале «Новые огнеупоры» № 5 за 2014 г., часть 2 — в № 6 за 2014 г.



обеспечивающего микротрещиностойкость при нагревании (работы Института физической химии [1]). Установлено, что массы с мелкозернистыми заполнителями склонны к усадке при высоких температурах и обладают низкой термостойкостью. Присутствие крупного заполнителя, по данным [2], полезно, так как такой заполнитель обеспечивает армирование бетона.

По нашему мнению, вопрос о размере зерен заполнителя необходимо рассматривать с учетом конкретных условий эксплуатации огнеупорного бетона. Следует учесть, что основу формирования и служебные свойства огнеупорного бетона определяют физико-химические процессы, происходящие не только при твердении, но и при нагревании, включая спекание. Огнеупорные бетоны после твердения должны обладать прочностью, обеспечивающей транспортability изделий, сохранять прочность при нагревании, иметь ограниченные усадку и деформацию при спекании. Поэтому огнеупорные заполнители следует рассматривать как химически активные компоненты, которые при взаимодействии с вяжущим образуют структуру бетона с определенными свойствами. С этой точки зрения мелкозернистые бетоны имеют преимущества перед крупнозернистыми. Часто встречающуюся в литературе сравнительную оценку огнеупорных бетонов только по прочностным показателям после твердения следует признать неточной. В работе [3] для композиционных материалов с регулируемой структурой предложена модель элементарной ячейки и рассмотрены реакции в ячейке, которые возникают при воздействии на нее внешней нагрузки. По этой модели структура бетона состоит из каркаса сферических зерен заполнителя, равномерно распределенных в матрице, которая создается затвердевшим цементным камнем. Рассматриваемая модель была использована для расчета прочности бетона в зависимости от количества, размера и прочности зерен заполнителя. Однако научно обоснованной методики выбора оптимальной крупности заполнителя нет. И в литературе об этом имеются противоречивые сведения [2, 4, 5], однако общая точка зрения такова — с увеличением крупности заполнителя холодная прочность растет, прочность после нагревания и обжига уменьшается. Однако бетонные футеровки разрушаются не из-за низкой прочности, а в результате сколов и трещин, образующихся при неравномерной усадке, высокой пористости и низкой термостойкости бетона.

На основании опытных данных, а также исходя из условия удобоукладываемости бетонной смеси по рекомендации [5] было установ-

лено, что наибольшая крупность заполнителя, при которой достигаются максимальные прочность и термостойкость бетона, ограничена размером примерно 5 мм. Наиболее полным требованиям к материалам, применяемым, например, в качестве конструктивных элементов футеровки конвертера аммиака, удовлетворяют корундовые бетоны на основе высокоглиноземистого цемента (ВГЦ) и корундового заполнителя.

Высокоглиноземистый цемент марки Талюм отличается от других гидравлических вяжущих тем, что в его составе диалюминат кальция  $\text{CaO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3$  ( $\text{CA}_2$ ) преобладает над моноалюминатом кальция  $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$  ( $\text{CA}$ ) и по химическому составу содержание в нем  $\text{Al}_2\text{O}_3$  находится в пределах от 75 до 80 % [6, 7]. Это обеспечивает огнеупорность до 1800 °С и позволяет определить возможную температуру службы (1700–1750 °С) при выборе соответствующего заполнителя и рациональной технологии изготовления изделий; ВГЦ содержит более 75 %  $\text{CA}_2$ . Соотношение  $\text{CA}_2$  и  $\text{CA}$  значительно влияет на свойства цемента как в нормальных условиях, так и после обжига. Этот вопрос освещался в ряде работ [8–10], в которых было показано, что содержание  $\text{CA}_2$  в количестве 80 % и  $\text{CA}$  20 % наиболее оптимально. Характеристика ВГЦ приведена ниже:

Химический состав, %:

$\text{SiO}_2$ .....	0,24
$\text{Al}_2\text{O}_3$ .....	79,12
$\text{Fe}_2\text{O}_3$ .....	0,12
$\text{CaO}$ .....	20,17
$\text{MgO}$ .....	0,11
$\text{SO}_3$ .....	0,04
$\Delta t_{\text{прк}}$ .....	0,03
Минеральный состав, %:	
$\text{CA}_2$ .....	80
$\text{CA}$ .....	20
Срок схватывания, мин:	
начало .....	30
конец .....	120
Активность, МПа .....	64
Нормальная консистенция, % .....	21,8
Удельная поверхность, $\text{cm}^2/\text{г}$ .....	4500
Плотность, $\text{г}/\text{cm}^3$ .....	3,1
Огнеупорность, °С .....	1780

Недостатком ВГЦ является короткий срок схватывания, что усложняет технологию производства бетонных изделий на его основе. Физико-механические характеристики ВГЦ после твердения 1 и 28 сут: предел прочности при изгибе 3,9 и 9,2 МПа, предел прочности при сжатии 23,0 и 64,0 МПа соответственно. Большая огневая усадка ВГЦ, достигающая 7 % при 1500 °С, может быть сведена до минимума за

счет рационально подобранного гранулометрического состава.

Для создания высокопрочного огнеупорного бетона на основе ВГЦ лучшим заполнителем является корунд. Выше 1300 °С он участвует в химических реакциях с ВГЦ, что ведет к образованию плотной структуры и повышению прочности бетона. В качестве заполнителя в данной работе использованы лом и бой корундовых изделий марки К. Лом и бой после дробления подвергали рассеву. Зерновой состав заполнителя, %: 2,5–5,0 мм 10, 1,25–2,50 мм 10, 0,63–1,25 мм 25, 0,315–0,630 мм 29, 0,140–0,315 мм 22, мельче 0,4 мм 4. Физико-хи-

мические показатели заполнителя приведены ниже:

Массовая доля, %:	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , не менее	97
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , не более	0,5
Открытая пористость, %, не более	23
Кажущаяся плотность, г/см <sup>3</sup> , не менее	3,2
Предел прочности при сжатии, МПа, не менее	73,0

В качестве армирующего компонента использованы специальные волокна диаметром от 30 до 40 мкм и длиной 5–8 мм.

(Продолжение следует)

### Библиографический список

1. **Доронин, Л. К.** Мелкозернистый огнеупорный бетон на цементных вяжущих : автореф. ... канд. техн. наук. — Харьков, 1970. — 20 с.
2. **Стрелов, К. К.** Технология и организация производства огнеупорных бетонов и применение их в металлургической промышленности / К. К. Стрелов, Д. С. Рутман, П. П. Дьячков // Труды ВостИО. — 1969. — Вып. 10. — С. 6–24.
3. **Стрелов, К. К.** Структура и свойства огнеупоров / К. К. Стрелов. — М. : Металлургия, 1972. — 215 с.
4. **Гогоци, Г. А.** Установка для испытания хрупких материалов на термостойкость / Г. А. Гогоци // Западская лаборатория. — 1967. — № 5. — С. 627, 628.
5. **Баженов, Ю. М.** Способы определения состава бетона различных видов / Ю. М. Баженов. — М. : Стройиздат, 1975. — 263 с.
6. **Кондрашенков, А. А.** Высокоглиноземистый цемент на основе алюмотермических шлаков / А. А. Кондрашенков, Г. И. Залдат, Б. С. Кишко // Цемент. — 1977. — № 1.
7. **Бакалкин, А. П.** Опыт получения высокоглиноземистого цемента на Семилукском огнеупорном заводе / А. П. Бакалкин, Я. З. Шапиро, Н. М. Сорин [и др.]. — Огнеупоры. — 1986. — № 5. — С. 26–28.
8. **Sawkow, J.** Влияние фазового состава огнеупорных глиноземистых цементов на их эксплуатационные свойства / J. Sawkow, J. Silikowski // НИНИТИ, Силикатные строительные материалы. — 1977. — № 12.
9. **Sawkow, J.** Огнеупорный глиноземистый цемент с добавкой α-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> / J. Sawkow // ВИНТИ. Силикатные строительные материалы. — 1977. — № 3.
10. **Jung, M.** Свойства и применение огнеупорных цементов, разработанных в ГДР / M. Jung // ВИНТИ. Силикатные строительные материалы. — 1977. — № 2. ■

Получено 01.04.14

© В. Н. Соков, С. Д. Сокова, 2014 г.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ



**COM 2014**  
CONFERENCE OF METALLURGISTS  
MET SOC



**PROSPERITY THROUGH PROCESS ADVANCEMENTS**

SEPTEMBER 28 TO OCTOBER 1, 2014 • HYATT REGENCY HOTEL, VANCOUVER (BC)

## COM 2014 — конгресс сталеплавильщиков

28 сентября – 1 октября  
2014 г.
г. Ванкувер,  
Канада