

Д. т. н. В. Н. Соков (✉), к. т. н. С. Д. Сокова, к. т. н. В. В. Соков

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

УДК 666.974.2-486:666.762.11-486].001.5

## ТЕРМОСТОЙКИЙ КОРУНДОВЫЙ БЕТОН, АРМИРОВАННЫЙ ВОЛОКНАМИ ОКСИДА АЛЮМИНИЯ, СИНТЕЗИРУЕМЫМИ В МАТРИЦЕ ПРИ ОБЖИГЕ. Часть 7. Исследование стойкости корундового армированного бетона в углерод- и водородсодержащей среде (эндогаз)\*

Корундовый армированный бетон, стойкость которого оценена в углерод- и водородсодержащей атмосфере как хорошая, может быть рекомендован к эксплуатации при любых температурах ниже предельно допустимой. Изделия показали также хорошую стойкость в сильно восстановительной среде.

**Ключевые слова:** термостойкий корундовый армированный бетон, углеродсодержащая атмосфера, водородсодержащая атмосфера, эндогаз, влажный водород, объемные изменения (стойкость) бетона.

Работы по исследованию взаимодействия контролируемых атмосфер, проведенные за последнее десятилетие, подтвердили и углубили сложившиеся представления [1] о характере и причинах разрушения огнеупоров в углеродсодержащих атмосферах. Установлено, что основной из причин разрушения огнеупоров в среднетемпературных печах является выделение углерода при разложении оксида углерода:  $\text{CO} \leftrightarrow \text{C} + 1/2\text{O}_2$ . Протекание этой реакции возможно лишь при температуре ниже 900 °С, при которой CO термодинамически неустойчив. Вследствие очень малой скорости реакции в гомогенной газовой фазе разложение CO происходит обычно на катализаторе, каковым является металлическое железо, восстановленное при низких температурах. Наиболее интенсивное выделение углерода, сопровождающееся разрушением материала, происходит в интервале 500–600 °С; скопление углерода внутри огнеупора оказывает давление, превышающее предел его механической прочности, и приводит к его разрушению. Это давление может достигать  $12,8 \cdot 10^8$  Па. Выделение углерода из цементационных атмосфер, содержащих углеводороды, происходит неза-

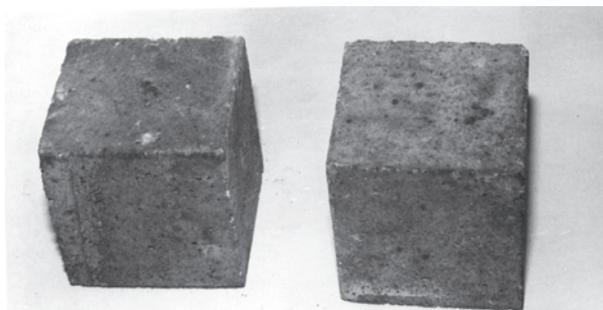
\* Части 1–4 статьи опубликованы в журнале «Новые огнеупоры» № 5–8 за 2014 г., части 5 и 6 — в № 1 и 2 за 2015 г.

висимо от присутствия железа и проявляется при более высоких температурах по сравнению с разложением CO. В этом случае разрушения футеровки не наблюдается, но могут заметно ухудшиться электроизоляционные свойства огнеупорного материала.

При оценке стойкости огнеупоров в контролируемых атмосферах следует учитывать также восстановительное действие атмосферы на оксиды, содержащиеся в материале. В среднетемпературных печах восстановлению подвержены главным образом оксиды железа, что не является непосредственной причиной разрушения огнеупоров, но является необходимым условием для дальнейшего отложения углерода, вызывающего разрушение. В связи с этим результаты испытаний материалов в атмосфере CO могут существенно отличаться от результатов испытаний в эндогазе, так как в последнем случае присутствует более эффективный восстановитель — водород и разрушение происходит за более короткий срок.

Исследование стойкости корундового армированного материала в углерод- и водородсодержащей атмосфере (эндогаз) проводили двумя методами: в первом случае образцы испытывали в герметизированной камере муфельной электрической печи при 550 °С [1]; во втором — в камерной электрической печи, работающей в полупромышленных условиях при 1050 °С. Максимальная длительность испытаний в первом случае составляла 500 ч, во втором 1500 ч. Эндогаз содержал H<sub>2</sub> — 30 %, CO — 20 %, CO<sub>2</sub> — 0,25 %, CH<sub>4</sub> — 1 %, N<sub>2</sub> — остальное. В некоторых работах [2] большая

✉  
В. Н. Соков  
E-mail: sersok\_07@mail.ru

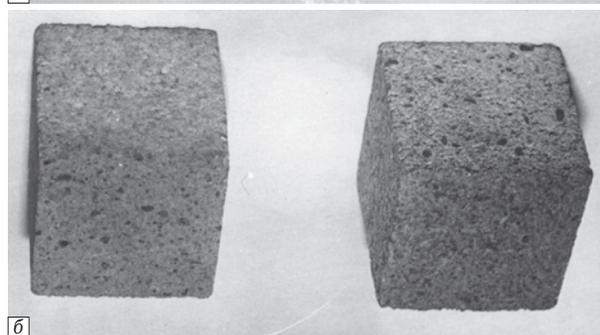
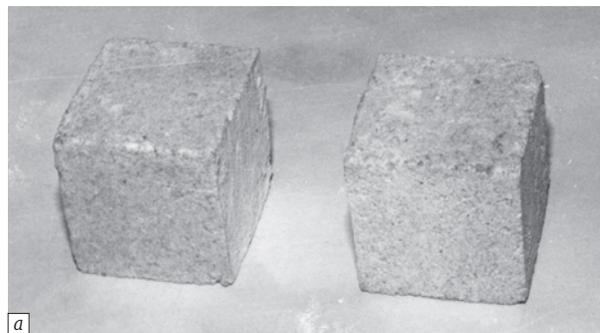


**Рис. 1.** Армированный корундовый бетон после испытаний в атмосфере эндогаза при 1050 °С (1500 ч)

роль в разрушении огнеупоров в углеродсодержащей атмосфере отводится объемным изменениям при восстановлении. Однако проведенные исследования показали, что разрушение огнеупоров происходит не к моменту завершения восстановления, а к моменту достижения некоторой степени науглероживания.

Корундовый армированный бетон, стойкость которого оценена как хорошая, может быть рекомендован к эксплуатации при любых температурах ниже предельно допустимой. Изделия после испытаний в атмосфере эндогаза показаны на рис. 1.

Стойкость корундового армированного бетона в атмосфере влажного водорода оценивали на образцах-кубах с ребром 50 мм при 1600 °С. Длительность выдержки при максимальной температуре 2 ч, скорость подъема



**Рис. 2.** Образцы корундового неармированного (а) и армированного (б) бетона после испытаний в атмосфере влажного водорода

температуры до номинальной 250 °С/ч. Образцы прошли три полных цикла испытаний без видимых изменений макроструктуры, что позволяет сделать вывод об их высокой стойкости в сильно восстановительной среде. Исследуемые образцы после испытаний показаны на рис. 2.

### Библиографический список

1. **Буслович, Н. М.** Футеровочные материалы для печей с контролируруемыми атмосферами / Н. М. Буслович, Л. А. Михайлов. — М.: Энергия, 1975. — 71 с.
2. **Стрелов, К. К.** Стойкость огнеупорных материалов в среде монооксида углерода / К. К. Стрелов,

В. И. Федотов // Огнеупоры. — 1984. — № 4. — С. 7–10. ■

Получено 23.09.14

© В. Н. Соков, С. Д. Сокова, В. В. Соков, 2015 г.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ



## Ceramitec 2015

Technologies · Innovations · Materials

October 20 – 23 · Messe München

[ceramitec.de](http://ceramitec.de)



### Ceramitec 2015 – Технологии, Инновации, Материалы

20–23 октября 2015 г. г. Мюнхен, Германия

<http://www.ceramitec.de/en/home>