

К. т. н. Р. В. Зубашенко (✉)

ЗАО «ПКФ «НК», г. Старый Оскол, Россия

УДК 666.762.1-436.1

## ТЕРМОСТОЙКИЕ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫЕ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ ИЗДЕЛИЯ НА ОСНОВЕ АЛЮМОСИЛИКАТНОГО ВОЛОКНА

Представлен ассортимент высокотемпературных теплоизоляционных изделий, выпускаемых в ЗАО «ПКФ «НК». Показаны свойства и применение производимых термостойких теплоизоляционных изделий в высокотемпературном тепловом агрегате.

**Ключевые слова:** высокотемпературная теплоизоляция, футеровка, тепловой агрегат, термостойкость, корундовые и алюмосиликатные теплоизоляционные изделия.

**В** настоящее время экономия энергии является одной из актуальных задач большинства стран мира. Сокращение запасов невозполнимых источников энергии, а также ухудшение экологической ситуации в мире привело к тому, что решение данной проблемы ведется на государственном уровне. Очевидно, что важная роль в решении проблемы энергосбережения и экономии тепловой энергии принадлежит высокоэффективной тепловой изоляции, и в том числе высокотемпературной.

За последние годы ЗАО «ПКФ «НК» освоило производство целого ряда алюмосиликатных и корундовых теплоизоляционных изделий. Разработанные теплоизоляционные изделия имеют низкую и длительно не меняющуюся теплопроводность, достаточную механическую прочность, необходимую огнеупорность. Свойства не изменяются при высоких температурах. К наиболее высокотемпературным можно отнести изделия марок КТ-1,1 и КТ-1,3 (ГОСТ 52803). Свойства производимой высокотемпературной теплоизоляции представлены в таблице.

Известно, что в качестве выгорающей добавки при производстве корундовых теплоизоляционных изделий используют опилки и пенополистирол [1]. В ЗАО «ПКФ «НК» освоен метод выгорающих добавок с применением пенополистирола (рис. 1). Корундовые теплоизоляционные изделия поставляются в течение нескольких лет для футеровки арматурного слоя вакуум-камер и установок металлизации цеха окомкования и металлизации ОАО «Оскольский электрометаллургический комбинат». В ОАО «Металлургический завод «Электросталь» эти-

ми изделиями футерована безмуфельная электрическая печь (рис. 2).

Важным показателем для теплоизоляционных изделий является термическая стойкость. Известно, что термостойкость — свойство, значительно влияющее на величину износа огнеупор-

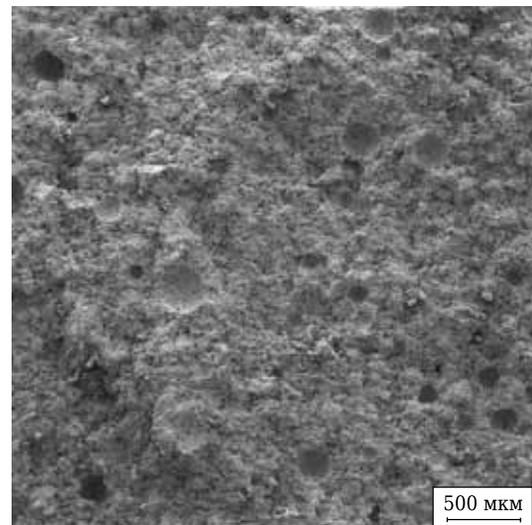


Рис. 1. Микроструктура изделия марки КТ-1,3



Рис. 2. Футеровка безмуфельной электрической печи ОАО «Металлургический завод «Электросталь»



Р. В. Зубашенко  
E-mail: zroman7777@mail.ru

ных изделий в процессе их службы, в частности в рабочем слое печей периодического действия. Огнеупорная футеровка таких тепловых агрегатов в процессе службы подвергается попеременному нагреву и охлаждению. В результате между поверхностью и внутренней частью материала возникает перепад температур, который может привести к разрушению изделия.

Можно указать четыре основных фактора, из которых каждый в отдельности обеспечивает огнеупорным изделиям высокую термическую стойкость:

- низкий модуль упругости;
- малый температурный коэффициент линейного расширения;
- высокая теплопроводность огнеупорной основы;
- рациональный состав связки, цементирующей зернистую основную огнеупорную массу изделия.

Связка — существенный фактор, определяющий термическую стойкость огнеупорных изделий. Так, например, согласно [2] магнезитовые изделия на форстеритовой связке не термостойки. Магнезитовые изделия на шпинельной связке обладают заметно большей термостойкостью. Известно также, что введение в хрупкие

зернистые керамические изделия волокнистых материалов позволяет существенно увеличить их термостойкость. Такие изделия имеют достаточно низкую теплопроводность и значительно большее сопротивление тепловому удару, чем ячеистая керамика.

Наибольшее практическое применение для огнеупорной промышленности имеют волокна системы  $Al_2O_3-SiO_2$ . Исходя из этого, технология теплоизоляционных изделий с повышенной термической стойкостью разрабатывалась на основе алюмосиликатного волокна. В результате проведенных исследований было освоено промышленное производство изделий НК-29 с требуемой термостойкостью.

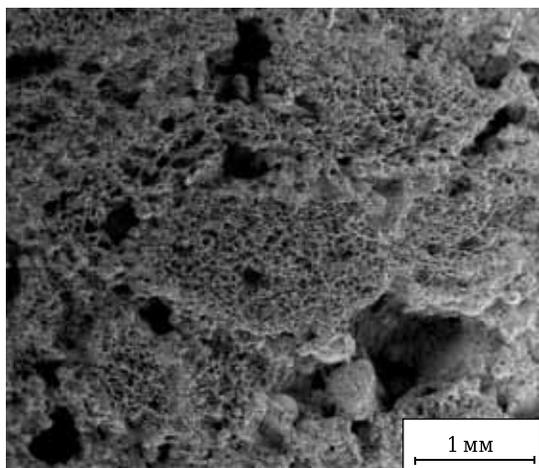
Изделие представляет собой пористый материал, сформованный из хаотично расположенных волокон системы  $Al_2O_3-SiO_2$  и заполнителя малой плотности (рис. 3). Основными кристаллическими соединениями являются корунд ( $d/n$  равно 3,48, 2,55, 2,085, 1,601 Å), муллит ( $d/n$  равно 5,39, 3,43, 3,39, 2,54 Å) и  $\alpha$ -кристобалит ( $d/n$  равно 4,11, 2,52 Å). Отличительная особенность полученного материала — высокий предел прочности при сжатии, составляющий не менее 7,0 МПа. Максимальная температура эксплуатации составляет 1500 °С (см. таблицу). Технология позволяет получать крупногабаритные изделия. Изделия имеют низкие предельные отклонения размеров, что достигается механической обработкой полуфабриката.

Для сравнительной оценки были проведены испытания термостойкости НК-29 и корундового теплоизоляционного изделия КТ-1,3. Испытания проводили в условиях 1300 °С – воздух. Образцы при термоциклировании на воздухе охлаждали до комнатной температуры. На рис. 4 представлены результаты испытания образцов после 7 воздушных теплосмен. Видно, что изделие НК-29 не претерпело практически никаких изменений, в то время как изделие КТ-1,3 полностью разрушилось.

Исследования фазового состава показали, что в волокнах изделий образуется муллит и  $\alpha$ -кристобалит. В результате кристаллизации этих фаз при термообработке аморфные алюмосиликатные волокнистые материалы приобретают хрупкость [3]. Как показал эксперимент, термостойкость разработанных изделий при этом имеет достаточно высокое значение.

Было показано, что изделия НК-29 состоят из высокоглиноземистого заполнителя малой плотности, сцепленного круглыми тонкими извилистыми алюмосиликатными волокнами, контактирующими в отдельных точках между собой и с зернами заполнителя (см. рис. 3). Присутствие волокон в составе огнеупора обеспечивает его устойчивость к резким температурным изменениям.

Кроме того, благодаря такой структуре доля теплового потока, передающаяся кондукцией



**Рис. 3.** Микроструктура изделия марки НК-29



**Рис. 4.** Результат испытания на термостойкость изделий КТ-1,3 (а) и НК-29 (б)

**Физико-химические свойства высокотемпературных теплоизоляционных изделий производства ЗАО «ПКФ «НК»\***

Изделие	Массовая доля, %		Кажущаяся плотность, г/см <sup>3</sup> , не более	Предел прочности при сжатии, МПа, не менее	Теплопроводность при средней температуре 650±25 °С, Вт/(м·К), не более
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , не менее	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , не более			
NK-29	63	1,0	1,35	7,0	0,45
КТ-1,1	90	1,0	1,1	2,5	0,55
КТ-1,3	95	0,3	1,3	3,5	0,80

\* Максимальная температура применения 1500 °С.

по волокнам и заполнителю изделий, невелика. Это является следствием значительного теплового сопротивления образующихся таким образом точечных контактов. В данном случае основной вклад в общий поток тепла вносит молекулярный, конвективный и лучистый перенос тепла в пространстве между волокнами и заполнителем. Последняя составляющая доминирует при высоких температурах эксплуатации изоляции [4].

Известно, что особенно велик вклад излучения в эффективную теплопроводность крупнопористой огнеупорной теплоизоляции в связи с малым поглощением его в порах. Вкладом излучения, например, объясняется то, что шамотные изделия с крупными порами при высокой температуре более теплопроводны, чем изделия с мелкими порами при одинаковой пористости [5]. Из таблицы видно, что разработанные изделия NK-29, имеющие достаточно развитую поровую структуру, характеризуются сравнительно невысоким значением теплопроводности при высоких температурах. Один из примеров эксплуатации NK-29 показан на рис. 5. Представленная печь построена в ОАО «Речицкий фарфоровый завод».

Применение термостойких высокотемпературных теплоизоляционных изделий производства ЗАО «ПКФ «НК» не ограничивается



**Рис. 5.** Футеровка высокотемпературной печи ОАО «Речицкий фарфоровый завод»

приведенным выше примером. Оно постоянно расширяется, а используемые технологии непрерывно совершенствуются. Предприятие планирует и в дальнейшем уделять особое внимание освоению новых видов теплоизоляционных материалов и приглашает к сотрудничеству по промышленному применению выпускаемой продукции.

**Библиографический список**

1. **Стрелов, К. К.** Технология огнеупоров / К. К. Стрелов, И. Д. Кащеев, П. С. Мамыкин. — М. : Metallurgy, 1988. — 528 с.
2. **Мамыкин, П. С.** Огнеупорные изделия (свойства, технология, изготовление и служба в промышленных печах) / П. С. Мамыкин. — Свердловск : Metallurgizdat, 1955. — 487 с.
3. **Алленштейн, Й.** Огнеупорные материалы. Структура, свойства, испытания : справочник / под ред. Г. Роучка, Х. Вутнау ; пер. с нем. / Й. Алленштейн и др. — М. : Интернет Инжиниринг, 2010. — 392 с.
4. **Кац, С. М.** Высокотемпературные теплоизоляционные материалы / С. М. Кац. — М. : Metallurgy, 1981. — 274 с.
5. **Стрелов, К. К.** Теоретические основы технологии огнеупорных материалов / К. К. Стрелов. — М. : Metallurgy, 1985. — 480 с. ■

Получено 16.08.16  
© Р. В. Зубащенко, 2016 г.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ

41st INTERNATIONAL CONFERENCE AND EXPOSITION ON  
**ADVANCED CERAMICS AND COMPOSITES**  
 January 22 – 27, 2017  
 Hilton Daytona Beach Resort and Ocean Center | Daytona Beach, Florida, USA

ceramics.org/icacc2017

The American Ceramic Society  
 www.amceramics.org

Engineering Ceramics Division