

УДК 666.762.1-494:621.365.5

ОГНЕУПОРНЫЕ ИЗДЕЛИЯ ДЛЯ ИНДУКЦИОННЫХ ПЕЧЕЙ НАГРЕВА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ЗАГОТОВОК

Приведены результаты, касающиеся совершенствования технологии изделий из волокнистых композиционных материалов для индукционных установок нагрева металлических заготовок за счет использования в составе изделий ВКВС. Новые изделия по сравнению с обычно используемыми для этих целей изделиями АКБФ обладают улучшенными эксплуатационными характеристиками.

Ключевые слова: индукционные печи нагрева металлических заготовок, волокнистые композиционные материалы (ВКМ), изделия АКБФ, ВКВС (высококонцентрированные вяжущие суспензии).

Одной из областей применения изделий из волокнистых композиционных материалов (ВКМ) является их использование в индукционных установках нагрева металлических заготовок. Основными требованиями, предъявляемыми к таким видам изделий, являются:

- малая теплопроводность, которая позволяет снизить тепловые нагрузки на водоохлаждаемые катушки индуктора и одновременно сохранить большее количество тепловой энергии в канале для прогрева заготовки;

- высокая термостойкость, поскольку футеровка индуктора (а иногда в этих индукторах применяют обмазки либо готовые огнеупорные изделия) подвергается термоударам за счет высокой скорости индукционного нагрева заготовки и, соответственно, большой скорости изменения температуры в рабочем пространстве.

В течение уже более чем 25 лет этим требованиям удовлетворяют изделия АКБФ, которыми футеруют индукторы. Одной из особенностей технологии изготовления изделий АКБФ является то, что она позволяет легко формировать изделия практически любой конфигурации и различных размеров. Изделия АКБФ выпускаются только в ОАО «Динур» по ТУ 1590-024-00190495–2004 и соответствуют требованиям, указанным в ниже:

Массовая доля, %:

SiO ₂	26–42
Al ₂ O ₃	25–40
MgO	16–32
P ₂ O ₅	5–8
Открытая пористость, %	30–43
Предел прочности при сжатии, МПа, не менее	5

До определенного времени изделия АКБФ вполне соответствовали требованиям потребителя и нашли широкое применение в установках нагрева заготовок в России, Украине, Белоруссии, Казахстане. Однако совершенствование оборудования и технологии нагрева потребовало улучшения служебных свойств этих изделий, а именно:

- повышения предельной температуры эксплуатации (до 1300–1400 °С вместо 1000–1100 °С, допускаемой для изделий АКБФ);

- устранения охрупчивания изделий в течение длительной службы при предельных температурах эксплуатации, что ускоряет их механический износ;

- увеличения механической прочности. Это требование потребителями ранее всерьез не предъявлялось, но тем не менее оно постоянно стояло на повестке дня. Как показал опыт, при работе на длинных заготовках их концевые участки могут механически повреждать футеровку вследствие биения. Ремонт поврежденных участков (например, замена обмазки) требует времени, что сказывается на производительности агрегата.

В этой связи в существующую технологию производства изделий АКБФ было решено внести некоторые изменения, которые позволили бы сразу улучшить служебные свойства изделий АКБФ. Технология изделий АКБФ, описанная в ряде публикаций [1, 2], заключается в том, что путем намотки ВКМ (в виде стеклосетки специального переплетения) с промазкой каждого слоя огнеупорным наполнителем с фосфатной связкой получают изделия, которые впоследствии проходят стадии сушки и обжига. Именно ВКМ придает изделиям теплоизоляционные свойства, высокую термостойкость, а огнеупорный наполнитель со связкой обеспечивает сохранение формы при эксплуатации и керамические характеристики изделий. За счет увеличения количества фосфатной связки можно обеспечить повышение механической прочности при комнатной температуре, но не при требуемой температуре эксплуатации (>1000 °С), поскольку будет происходить оплавление рабочей поверхности изделия, вызванное превышением сверх допустимого предела легкоплавких фосфатных стекол. При этом, снизив охрупчивание базового ВКМ, можно увеличить также теплопроводность изделия, что нежелательно. Поэтому поднять предельную температуру эксплуатации таким способом невозможно.

Рассмотрев все вышеизложенные аспекты, пришли к выводу о необходимости замены состава огнеупорного наполнителя и фосфатного свя-

Физико-химические показатели изделий из ВКМ на ВКВС

Показатели	ВКВС-1	ВКВС-2
Открытая пористость, %, после обжига при температуре, °С:		
600	31–33	—
1000	32–34	32–34
1200	33–35	31–33
1300	34–35	30–31
1400	34–36	28–30
Предел прочности при сжатии, МПа, после обжига при температуре, °С:		
600	10–15	—
1000	10–15	10–15
1200	17–18	16–17
1300	17–18	22–25
1400	20–25	28–30
Теплопроводность, Вт/(м·К), при температуре, °С:		
400	0,8	0,8
600	0,7	0,7
800	0,6	0,6

зующего. В качестве комплексного компонента решили использовать суспензии ВКВС, которые разработаны и освоены в ОАО «Динур» Ю. Е. Пивинским. Этим материалам посвящено много публикаций [3–5], но почти все они рассматриваются применительно к огнеупорным бетонам, в которых в качестве наполнителя используется зерновая основа (кварц, боксит и т. п.).

Использование ВКВС применительно к технологии ВКМ предполагало выведение из состава изделий легкоплавких связующих, что автоматически повышает огнеупорность, а следовательно, и температуру предельной эксплуатации, сохраняя при этом высокую пористость и за счет этого теплоизоляционные свойства. При этом использование ВКВС в качестве связующего позволяет создать однородную физико-химическую основу изделий, что также ведет к повышению огнеупорности изделий.

Одновременно, как показал опыт работ Ю. Е. Пивинского, ВКВС является отличным связующим материалом для керамики, что позволяло ожидать и значительного улучшения прочностных характеристик. В процессе исследований выяснилось, что без добавки активатора получить хорошую адгезию ВКВС к ВКМ очень трудно, поэтому пришлось дорабатывать и эту позицию.

Отработанная в ОАО «Динур» технология производства ВКВС позволила провести работу с двумя их видами. В таблице приведены характеристики изделий ВКМ с применением ВКВС.

Как видно из таблицы и сопоставления ее с ранее приведенными данными, удалось сохранить весьма близкие результаты открытой пористости, что определяет основу показателя теплопроводности. Прочность изделий при комнатной температуре возросла в 2–4 раза.

Обжиг в течение длительного времени при температуре 1400 °С показал, что новые изделия

не теряют своей формы и не меняют размеров, в то время как изделия АКБФ при 1200–1250 °С уже полностью оплавляются (поэтому их температура эксплуатации и определяется уровнем 1000–1100 °С). Эксперимент подтвердил, что изделия из ВКМ на ВКВС позволяют повысить температуру их эксплуатации до 1300–1400 °С, что и являлось одной из основных задач настоящей работы.

Установлено, что теплопроводность изделий при повышении температуры снижается и при 800 °С достигает 0,6 Вт/(м·К), т. е. практически той же величины, что и у изделий АКБФ (0,5–0,6 Вт/(м·К)). Такой показатель позволяет предположить, что тепловые нагрузки на индукционные катушки даже при более высоких, чем в настоящее время температурах, не должны отрицательно сказываться на их состоянии и работоспособности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенный комплекс исследований по совершенствованию технологии изделий из ВКМ для индукционных установок нагрева металлических заготовок позволил получить новый вид изделий, который по сравнению с изделиями АКБФ обладает улучшенными эксплуатационными характеристиками, а именно:

- повышенной предельной температурой эксплуатации (1300–1400 °С вместо 1000–1100 °С);
- в 2–3 раза увеличенной прочностью при комнатной температуре;
- теплопроводностью на уровне теплопроводности изделий АКБФ, что вполне обеспечивает требования потребителя по этому показателю.

Библиографический список

1. **Козмец, Н. А.** Керамические композиты и их применение при разливке металлических расплавов / Н. А. Козмец, Д. С. Рутман, Е. Я. Гимпельман // Огнеупоры. — 1984. — № 10. — С. 52–55.
2. **Сизов, В. И.** Огнеупоры для футеровки печей и линии разливочного тракта алюминиевого производства / В. И. Сизов, Н. А. Козмец, В. Н. Тонков, Л. А. Карпец // Новые огнеупоры. — 2004. — № 8. — С. 27–29.
3. **Пивинский, Ю. Е.** Основы технологии керамобетон / Ю. Е. Пивинский // Огнеупоры. — 1978. — № 2. — С. 34–42.
4. **Пивинский, Ю. Е.** Керамические вяжущие и керамобетоны / Ю. Е. Пивинский. — М.: Металлургия, 1990. — 274 с.
5. **Пивинский, Ю. Е.** Керамобетоны — заключительный этап эволюции низкоцементных огнеупорных бетонов / Ю. Е. Пивинский, Е. В. Рожков // Новые огнеупоры. — 2002. — № 4. — С. 96–101.

Pivinskii, Yu. E. Ceramic Castables — Final Stage in the Evolution of Low-Cement Refractory Castables. Part 3 / Yu. E. Pivinskii, E. V. Rozhkov // Refractories and Industrial Ceramics. — 2003. — Vol. 44, № 3. — P. 134–140. ■

Получено 17.01.13
© В. И. Сизов, 2013 г.