



НОВЫЕ

ISSN 1683-4518

# ОГНЕУПОРЫ

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

Огнеупоры в тепловых агрегатах ▲

Сырьевые материалы ▲

Производство и оборудование ▲

Теплотехника ▲

Научные исследования и разработки ▲

Экология ▲

Экономика и рынок ▲

9

СЕНТЯБРЬ 2019

К. т. н. **А. С. Никифоров** (✉), **Е. В. Приходько**, **А. К. Кинжибекова**,  
**А. Е. Карманов**

*Павлодарский государственный университет  
имени С. Торайгырова, г. Павлодар, Республика Казахстан*

УДК 666.762.1:66.041.491].017:536.2

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ОГНЕУПОРОВ ОТ ИХ ПРОПИТКИ АГРЕССИВНОЙ СРЕДОЙ

Рассмотрены особенности пропитки агрессивной средой рабочего слоя футеровки вращающихся печей и разливочных ковшей ферросплавного производства, приведены результаты анализа толщины пропитки. На основе разработанного и защищенного патентом способа исследовано изменение теплопроводности огнеупоров после службы. Установлено, что теплопроводность огнеупорных материалов рабочего слоя футеровки промышленных печей растет (на 5–12 %) вследствие пропитки огнеупора агрессивной средой.

**Ключевые слова:** *шамотные огнеупоры, пропитка агрессивной средой, футеровка вращающихся печей, футеровка разливочных ковшей, теплопроводность огнеупора.*

**О**гнеупорные материалы, применяемые в высокотемпературных агрегатах, подбирают для каждого конкретного случая. При этом свойства огнеупоров будут отвечать заявленным требованиям только при их постоянном составе. В новых огнеупорах, устанавливаемых в тепловые агрегаты, примесные компоненты располагаются в связующей части шихты (матрице), по которой обычно проходит химическая коррозия огнеупора. В идеальном случае желательно полное отсутствие примесей в составе огнеупора, так как даже небольшое их количество (например, 2–3 %) существенно ухудшают свойства огнеупора, в частности снижают его коррозионную устойчивость [1]. Кроме примесей, вносимых в огнеупорные материалы при их производстве, в процессе работы высокотемпературного агрегата возможна пропитка его футеровки агрессивной средой. Пористость рабочего слоя футеровки, высокая температура и связанная с ней низкая вязкость агрессивного расплава способствуют этому процессу.

Помимо ухудшения огневых свойств и снижения коррозионной устойчивости огнеупорных материалов изменение их свойств ведет к уменьшению прочности и ухудшению теплофизических характеристик (теплопроводности, теплоемкости и др.). В ряде работ [2, 3] основными причинами разрушения футеровки считают пропитку огнеупоров расплавами и образование зон с различными химическим составом и структурой. Устранение про-

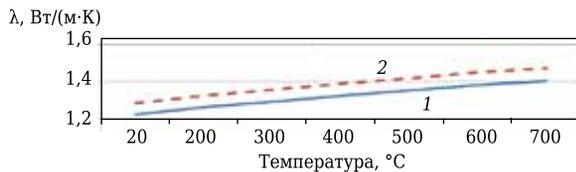
питки огнеупорных изделий расплавами шлака и металла обеспечивает повышение стойкости футеровки в 1,2–1,5 раза. Неоднородная капиллярно-пористая структура огнеупоров способствует проникновению агрессивной среды в футеровку и образованию зон с различными химическим и фазовым составами и структурой. Следствием зонообразования является изменение ТКЛР в разных зонах огнеупора и впоследствии термическое скалывание по границам зон при изменении температуры футеровки в ходе технологического процесса или перехода с одного штатного режима работы теплового агрегата на другой [3].

Теплопроводность (в качестве составляющей части температуропроводности) входит в расчетную схему определения температурных напряжений, которые лимитируют скорость разогрева теплового агрегата. При этом более высокая теплопроводность материала позволяет проводить разогрев с более высокой скоростью [4]. Несомненно, важным фактором при этом является глубина пропитки рабочего слоя футеровки, т. е. толщина огнеупорного слоя с измененной теплопроводностью. Но если учесть, что максимальные температурные напряжения возникают на границе огнеупорного слоя (со стороны разогрева) и снижаются по толщине футеровки, то можно предположить, что пропитка рабочего слоя даже на незначительную глубину будет влиять на процесс разогрева.

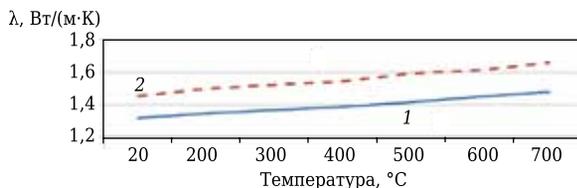
Таким образом, для моделирования тепловой работы футеровки высокотемпературных агрегатов с учетом влияния условий эксплуатации необходимо учитывать изменение теплофизических свойств огнеупора при воздействии на него агрессивной среды. В настоящей статье проанализировано влияние пропитки огнеупоров на их теплопроводность.



А. С. Никифоров  
E-mail: aleke4599@mail.ru



**Рис. 7.** Зависимость теплопроводности  $\lambda$  шамотного огнеупора ШЦУ от температуры: 1 — огнеупор ШЦУ до эксплуатации; 2 — огнеупор ШЦУ после эксплуатации (8 мес)



**Рис. 8.** Зависимость  $\lambda$  шамотного огнеупора ШКУ от температуры: 1 — огнеупор ШКУ до эксплуатации; 2 — огнеупор ШКУ после трех плавок феррохрома

рис. 7. Видно, что после эксплуатации огнеупоров ШЦУ в рабочем слое футеровки печи спекания в течение 8 мес их теплопроводность увеличивается примерно на 4–5 %. Для исследования шамотных огнеупоров ШКУ были отобраны образцы из рабочего слоя футеровки разливочных ковшей ферросплавного производства во время проведения промежуточного ремонта после трех плавок феррохрома. Полученные данные (рис. 8) показывают, что после трех плавок феррохрома теплопроводность огнеупоров ШКУ увеличивается примерно на 10–12 %.

Таким образом, экспериментальным путем доказано, что условия эксплуатации огнеупоров в рабочем слое футеровки высокотемпературного агрегата значительно влияют на их теплопроводность. Причем увеличение теплопроводности может достигать 12 % от ее первоначального значения. Полученные значения позволяют корректировать графики разогрева высокотемпературных агрегатов. Кроме теплопроводности,

#### Библиографический список

1. **Кащеев, И. Д.** Химическая технология огнеупоров / И. Д. Кащеев, К. К. Стрелов, П. С. Мамыкин. — М.: Интермет Инжиниринг, 2007. — 752 с.
2. **Словиковский, В. В.** Футеровка горизонтальных медно-никелевых конвертеров повышенной стойкости / В. В. Словиковский, А. В. Гуляева // Новые огнеупоры. — 2013. — № 11. — С. 39–42. <https://doi.org/10.17073/1683-4518-2013-11-39-42>.
- Slovikovskii, V. V.** More durable lining for horizontal copper-nickel converters / V. V. Slovikovskii, A. V. Gulyaeva // Refract. Ind. Ceram. — 2017. — Vol. 54, № 6. — С. 463–466.
3. **Кащеев, И. Д.** Огнеупорная футеровка печей цветной металлургии / И. Д. Кащеев // Цветные металлы. — 2004. — № 10. — С. 69–71.

на скорость разогрева футеровки значительно влияет прочность материала, так как она является определяющим фактором для возникающих температурных напряжений. В этой связи для дальнейших исследований необходимо получить зависимости прочности огнеупорных материалов от температуры.

Пропитка огнеупорного материала агрессивной средой может иметь положительное значение для функционирования футеровки. Это происходит в том случае, если расплав застывает и образует на поверхности футеровки защитный слой — гарнисаж. Образование гарнисажа характерно, например, для печей ферросплавного производства, в которых для образования гарнисажа на рабочем слое футеровки печи помещают водоохлаждаемые панели.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

- в результате взаимодействия огнеупоров рабочего слоя футеровки с расплавом металла происходит изменение их геометрических параметров и теплофизических свойств;

- пропитка огнеупоров агрессивной средой (в промышленных печах) приводит к повышению их теплопроводности как за счет изменения структуры, так и за счет насыщения слоя, соприкасающегося с агрессивной средой, ее частицами. Для оценки изменения теплопроводности огнеупорных материалов при службе в высокотемпературных агрегатах был разработан и запатентован способ определения теплофизических свойств материалов и на основе его был создан измерительный стенд.

Результаты исследования изменения теплопроводности огнеупорных материалов при службе в высокотемпературных агрегатах показали, что теплопроводность огнеупоров в рабочем слое футеровки промышленных печей растет (на 5–12 %) вследствие пропитки огнеупоров агрессивной средой.

4. **Никифоров, А. С.** Исследование термических напряжений в футеровке сталеразливочного ковша / А. С. Никифоров, Е. В. Приходько // Новые огнеупоры. — 2005. — № 10. — С. 84–87.

**Nikiforov, A. S.** Thermal stresses generated in the lining of a steel ladle / A. S. Nikiforov, E. V. Prikhod'ko // Refract. Ind. Ceram. — 2005. — Vol. 46, № 5. — С. 360–363.

5. **Пат. 16015 Республика Казахстан, МКИ G 01 N 25/18.** Способ определения теплофизических параметров материалов / Никифоров А. С., Приходько Е. В.; опубл. 15.07.05. ■

Получено 14.07.19

© А. С. Никифоров, Е. В. Приходько, А. К. Кинжибекова, А. Е. Карманов, 2019 г.