

К. т. н. **В. В. Словиковский, А. В. Гуляева** (✉)

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет», г. Екатеринбург, Россия

УДК 666.762.32-484.2:620.178.16

## ЭФФЕКТИВНЫЕ ФУТЕРОВКИ ЭЛЕМЕНТОВ КЛАДОК, ПОДВЕРЖЕННЫХ ПОВЫШЕННОМУ ЭРОЗИОННОМУ ИЗНОСУ

Испытаны различные огнеупоры магнезиального состава в узлах футеровок плавильных агрегатов, подверженных в большей степени абразивному износу. Наиболее стойкими являются огнеупоры периклазохромитового состава на основе плавленого зерна (ПХП) производства ООО «Группа Магнетит». Применение данных огнеупоров в элементах кладок, подверженных повышенному эрозионному износу, повышает стойкость футеровок печей ПЖВ (печей Ванюкова), РТП, вельц-печей, горизонтальных конвертеров в 1,5–2,5 раза.

**Ключевые слова:** абразивоустойчивость, скорость износа, литой блок, огнеупоры из плавленых порошков, периклазохромит.

**А**нализ работы агрегатов цветной металлургии, выполненный нами, показал, что разрушение магнезиальной футеровки происходит не только за счет температурных и химических факторов, но и в результате эрозионно-абразивного воздействия среды. Это наблюдается, например, в районе фурменной зоны, боковых частей конвертеров, в шлаковых летках печей РТП, печей обеднения при производстве никеля, печей для выплавки олова и печей КИВЦЭТ, футеровке шламовых перегонных печей ПЖВ. Сравнительные данные по сопротивлению магнезиальных огнеупоров различных марок абразивному воздействию среды в литературе отсутствуют. Цель исследования — повышение стойкости футеровок тепловых агрегатов цветной металлургии путем установки в отдельных элементах кладки огнеупоров, обладающих повышенной эрозионной стойкостью, и получение в одинаковых условиях данных по износостойкости различных магнезиальных огнеупоров, применяемых в цветной металлургии. Износостойкость неметаллических материалов обычно определяют на лабораторном круге истирания (ЛКИ) и характеризуют ее потерями массы образцов на  $1 \text{ см}^2$  поверхности в стандартных условиях испытаний. Стандартные условия: путь истирания — 50 м, температура  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ , удельная нагрузка на образцы  $0,6 \cdot 10^5 \text{ Па}$ , абразивный материал — кварцевый песок Вольского месторождения.

Абразивную износостойкость огнеупоров определяет ряд факторов: твердость зерен крупнозернистой составляющей, состав и пол-

нота спекания тонкомолотой составляющей и др. При недостаточном спекании связки под воздействием струи расплава зерна периклаза и периклазошпинелида выкрашиваются и способствуют дополнительному абразивному износу. По возрастанию износостойкости магнезиальные огнеупоры можно расположить в ряд: ПХС, МХС, ХП, МПМ, ХПТ, ПХПП, плавленолитые, RaDEX, изделия фирмы CROCK (China Russia Refractory Co. Ltd).

Результаты испытаний показывают, что наилучшей сопротивляемостью абразивному воздействию шлакоштейнового расплава обладают плавленолитые огнеупоры магнезиального состава, такие как ХП, ХП + 20 %  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , ХП + 20 %  $\text{ZrO}_2$  (табл. 1). Увеличивающаяся абразивоустойчивость объясняется характером пористости. У плавленолитых огнеупоров она носит закрытый характер и имеет величину 3–6 %. На повышение абразивоустойчивости влияет также наличие прямых связей между кристаллами огнеупора и малое количество (1–4 %) легкоплавких соединений ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{CaO}$ ). К сожалению, плавленолитые огнеупоры магнезиального состава в промышленных объемах в РФ не производятся. Нами была выпущена полупромышленная партия таких огнеупоров с высокими физико-механическими свойствами [1] на Режском никелевом заводе (РНЗ), г. Реж.

Высокими показателями абразивоустойчивости обладают изделия марки RADEXDB6 и RADEXOX6 фирмы RHI; изделия QBDMGe-20A фирмы CROCK, что объясняется повышенным количеством прямых связей между зёрнами материала (до 70–80 %) вследствие высокой очистки исходных материалов и высокой температуры обжига ( $1800\text{--}1840 \text{ }^\circ\text{C}$ ).

Установлено, что износостойкость магнезиальных огнеупоров в определенной степени зависит от пористости материала. Так, у огнеу-



А. В. Гуляева  
E-mail: a.gulyaewa2012@yandex.ru

**Таблица 1. Свойства магниезильных огнеупорных изделий**

Изделия	Термостойкость (1300 °С – вода), теплосмены	Предел прочности при сжатии, МПа	Открытая пористость, %	Абразивоустойчивость, г/см <sup>2</sup>	Скорость износа огнеупора, 10 <sup>-2</sup> м/ч
ХП	3–5	25,0–26,0	20–23	0,36–0,68	0,029
МХС	3–5	26,0–28,0	21–22	0,38–0,51	0,015
ПХС	4–6	30,0–34,0	16–20	0,4–0,9	0,012
ХПТ	6–8	25,0–30,0	18–20	0,2–0,29	0,011
ПХПП	3–4	39,0–42,0	14–15	0,18–0,20	0,010
МПМ	1–3	50,0–60,0	14–17	0,44–0,48	0,031
Литой блок:					
ХП	2–4	80,0–90,0	1–3	0,04	0,005
ХП +20 % Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3–5	71,0–83,0	1–3	0,08	0,010
ХП +20 % ZrO <sub>2</sub>	2–5	80,0–95,0	1–3	0,06	0,006
Периклазоуглеродистые ПУ	4–6	51,8	4,9	0,12	0,09
RADEX	5–6	55,0–60,0	12–13	0,11	0,01
QBDMGe-20A	3–5	60,0–70,0	10–13	0,18	0,02

поров марки ПХПП при пористости 16,7 % износостойкость 0,2 ± 0,01 г/см<sup>2</sup>, в то время как у огнеупоров ХП эти величины 23,2 и 0,5±0,2 г/см<sup>2</sup> соответственно.

В 2012–2013 гг. в конвертерном отделении ОАО «Среднеуральский медеплавильный комбинат» во время очередных текущих ремонтов в районе фурменного пояса и задней стенки конвертеров были испытаны различные огнеупоры:

- MCR-105 ООО «Группа Магnezит» (производство Китая);
- ПХКЦ-19 и ХПТ ООО «Группа Магnezит»;
- RADEXDB6 и RADEXOX6 фирмы RHI;
- QBDMGe-20A фирмы CROCK.

Результаты эксплуатации конвертеров с различными огнеупорами представлены в табл. 2.

В период эксплуатации конвертеров, на которых были установлены огнеупоры MCR-105 ООО «Группа Магnezит» (производство Китая), ПХКЦ-19 и ХПТ ООО «Группа Магnezит» и QBDMGe-20A фирмы CROCK, было проведено по 6–8 операций «обмотка» (наплавление магнетитового гарнисажного слоя), в период эксплуатации конвертера, на котором были установлены огнеупоры RADEXDB6 и RADEXOX6 — 2 операции «обмотка» [2]. Изделия фирм RHI (RADEX) и CROCK прослужили большее количество плавов (227 и 209) по сравнению с традиционными изделиями ПХКЦ ООО «Группа Магnezит» и изделиями MCR-105

**Таблица 2. Сравнительная характеристика эксплуатации огнеупоров в районе фурм разных конвертеров**

Показатели	ПХКЦ-19, ХПТ	MCR-105-50, MCR-105-5	RADEX	Фирмы CROCK
Число плавов между текущими ремонтами	101	128	227	209
Скорость износа фурменного пояса, см за плавку	0,29	0,22	0,13	0,18

ООО «Группа Магnezит» (производство Китая) при сравнительно равной интенсивности эксплуатации. Конвертеры не находились в горячем резерве, а эксплуатировались непосредственно после завершения разогрева.

Наиболее изнашиваемой частью огнеупорной футеровки рудно-термических печей на Побужском никелевом заводе являются шпурсы, выполненные из периклазохромитовых изделий. Пропускная стойкость шлаковых шпуров не превышает 6000–8000 т. Для шпуровых узлов характерен эрозионный износ огнеупора, так как скорость струи шлака и металла достигает 10–20 м/с. Нами было предложено использовать в летках и шпуровых узлах фурменные блоки ПХПФБ-1 с прямоугольным сечением (ТУ 14-200-140–75) комбината «Магnezит». Проведенные промышленные испытания показали, что стойкость шпуровых узлов при этом увеличилась в 1,8–2,2 раза, их пропускная способность возросла до 17500 т.

В кладке электропечей для восстановления олова слабым звеном, сдерживающим дальнейший рост стойкости футеровки, является шпуровой узел. Разрушение футеровки этой части электропечи, выполненной из огнеупоров ПХС и ХП, происходит в основном за счет абразивного воздействия металлического и шлакового расплавов, температура которых достигает 1500 °С. На основании данных лабораторного испытания различных огнеупоров магниезильного состава было признано целесообразным испытать в этих условиях более износостойкие плавильные огнеупоры МПМ и ПХПП (см. табл. 1).

Средняя скорость разрушения футеровки шпурового узла, по данным завода «Рязцветмет», в случае применения огнеупоров ПХС и ХП равнялась 0,66 мм за сутки. При текущем ремонте печи плавильного цеха завода «Рязцветмет» нами в ее шпуровые узлы были установлены взамен

изделий ПХС и ХП более абразивоустойчивые, фасонные, желобчатые периклазовые плавные огнеупоры МПМ-2 размерами 460×152×75 мм с диаметром желобка 32 мм. После разогрева в течение суток печь была пущена в работу.

Печь с опытным шпуровым узлом, выполненным из плавных изделий, находилась в непрерывной работе 4 мес и была остановлена в связи с общим ремонтом футеровки. Визуальный осмотр шпурового узла после остановки печи показал, что шпуровой канал находился в рабочем состоянии. Диаметр шпурового канала увеличился с первоначальных 32 до 53 мм в момент остановки печи, т. е. в среднем износ составил 0,30 мм за сутки. В связи с разрушением футеровки, окружающей опытные огнеупоры, было принято решение выбить плавные изделия тоже. Несмотря на это, стойкость шпурового узла в данной кампании увеличилась, что позволило продлить общую продолжительность работы печи на 1 мес, или на 33 %. Далее было начато оформление шпурового узла печи фасонными блоками ПХПП. Шпуровой узел был выполнен тремя блоками на всю толщину футеровки [3].

Осмотр состояния шпурового узла после 3 мес эксплуатации показал, что внутренний диаметр периклазохромитового блока составляет 80 мм, т. е. линейный разгар составил 0,23 мм за сутки. Из трех установленных по оси шпурового канала блоков в рабочем состоянии находились два. Состояние шпурового узла было признано удовлетворительным, что позволило без текущего ремонта продлить общую продолжительность его эксплуатации до 7 мес, т. е. увеличить кампанию в 2,2 раза.

Футеровка любой вельц-печи является наиболее ответственной частью конструкции: от качества футеровки зависят продолжительность кампании и основные технико-экономические показатели передела. В настоящее время длительность кампании составляет от 1 до 3 мес, вследствие чего требуется проведение частых ремонтов с использованием большого количества дорогостоящих огнеупорных материалов, применением значительной доли ручного труда каменщиков высшей квалификации.

Основной причиной малой стойкости футеровок вельц-печей является абразивный износ, вызываемый большим количеством перерабатываемой шихты, достигающим 1000 т в смену.

Нами проведены широкие (по диапазону температур) исследования шлако- и абразивоустойчивости различных видов огнеупорных изделий (см. табл. 1). Выявлено, что необходимыми свойствами по отношению к продуктам переработки в вельц-печах обладают огнеупорные изделия на основе плавного зерна с повышенным содержанием  $Cr_2O_3$  (до 25 %). Огнеупоры

ПХПП периклазохромитового состава на основе плавного зерна были разработаны нами на комбинате «Магнезит», испытаны и внедрены на Лениногорском полиметаллическом комбинате, Усть-Каменогорском свинцово-цинковом комбинате, Челябинском электроцинковом заводе и Алмалыкском горно-металлургическом комбинате, что обеспечило увеличение стойкости футеровок вращающихся печей в 1,5–1,8 раза (см. табл. 2) и достижение значительного фактического экономического эффекта.

Плавку периклазохромита проводили по режиму с использованием специальных добавок  $MgSO$ ,  $Al_2O_3$  и других с целью повышения содержания в зерне  $Cr_2O_3$  до 25 % и не менее чем до 16–18 % в соответствии с ТУ 8-368-8 согласно [5]. Повышение содержания  $Cr_2O_3$  увеличивает термостойкость изделий ПХПП до 7–8 теплосмен, что очень существенно при эксплуатации в вельц-печах, имеющих значительный температурный перепад при каждом повороте печи. При этом снижается также смачиваемость футеровки реагентами плавки со 100–150 мм при использовании изделий ПХС до 5–6 мм при применении изделий ПХПП, что исключает образование настывлей.

На комбинате «Магнезит» была выпущена промышленная партия изделий ПХПП массой 600 т. Применение изделий опытной партии в печах ПВ и в вельц-печах Усть-Каменогорского свинцово-цинкового комбината позволило повысить стойкость футеровок 1,8–2,5 раза.

Эрозионно-стойкие огнеупоры ПХПП были также использованы в наиболее изнашиваемых частях кладки печи ПЖВ: арках шлакового и штейнового сифонов, части шпуровой стенки, верхней части шлакового перетока и участка стенки на уровне шлакового пояса в отстойнике для обеднения шлака. Испытания дали хорошие результаты. Так, в шпуровой стенке огнеупоры ПХПП прослужили 6 кампаний, в то время как кладка из огнеупоров ХП служила 1–2 кампаний.

Низкая стойкость фурменной зоны горизонтальных конвертеров цветной металлургии обусловлена многими факторами, в том числе эрозионным износом. Установка в надфурменной части износостойких огнеупоров ПХПП и ХПТ по схеме «шахматка» позволила повысить стойкость футеровок медно-никелевых конвертеров в 1,5–2,0 раза. Данная футеровка была внедрена на Алавердинском горно-металлургическом комбинате, Уфалейском никелевом заводе, Красноуральском и Кировоградском медеплавильных комбинатах [5, 6].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Как показали исследования различных огнеупоров магнезиального состава в узлах футеро-

вок, подверженных эрозионному износу, износоустойчивость и шлакоустойчивость связаны почти пропорционально. Поэтому по показателям износоустойчивости можно прогнозировать срок службы тех или иных огнеупоров без дорогостоящих испытаний на шлакоустойчивость. Испытания различных огнеупоров магнезильного состава в узлах футеровок плавильных агрегатов, подверженных в большей степени абразивному износу, показали, что наиболее стойкими являются огнеупоры периклазохромитового состава на основе плавленного зерна (ПХПП) производства ООО «Группа Магнезит». Применение их в элементах кладок, подверженных повышенному эрозионному износу, увеличивает стойкость футеровок печей ПВ, РТП, вельц-печей, горизонтальных конвертеров в 1,5–2,5 раза.

**Библиографический список**

1. **Словиковский, В. В.** Опыт получения основных плавнелитых огнеупоров / В. В. Словиковский, Г. В. Кононенко, И. Е. Ферштатер, Ю. А. Хохлов // Огнеупоры. — 1979. — № 11. — С. 33–36.
2. **Готенко, С. Н.** Эксплуатация огнеупоров в зоне конвертеров / С. Н. Готенко, А. В. Ладейщиков, В. А. Сергеев // Сб. трудов III Международной научно-практической конференции. — Екатеринбург : УрФУ, 2013. — С. 131, 132.
3. **Словиковский, В. В.** Высокоустойчивые футеровки шпуровых узлов рудно-термических печей / В. В. Словиковский, А. В. Гуляева // Новые огнеупоры. — 2015. — № 2. — С. 3–4.  
**Slovikovskii, V. V.** Durable Linings for the Tap Holes of Ore-Roasting Furnaces / V. V. Slovikovskii, A. V. Gulyaeva // Refractories and Industrial Ceramics. — 2015. — Vol. 56, № 1. — P. 1–4.
4. **А. с. 1623353 СССР.** Футеровка вельц-печи большого диаметра / В. В. Словиковский, Н. Ф. Лебедев, Б. В. Пономарёв, Р. А. Унжаков, А. Н. Кутняков, Е. А. Сытин, В. Ф. Музычук. — № 4296686 ; заявл. 22.09.87 ; опубл. 20.03.91, Бюл. № 3.
5. **Словиковский, В. В.** Повышение стойкости футерменного пояса горизонтальных конвертеров медно-никелевого производства / В. В. Словиковский // Цветные металлы. — 2006. — № 2. — С. 32–34.
6. **Словиковский, В. В.** Футеровка горизонтальных медно-никелевых конвертеров повышенной стойкости / В. В. Словиковский, А. В. Гуляева // Новые огнеупоры. — 2013. — № 11. — С. 39–42.  
**Slovikovskii, V. V.** More durable lining for horizontal copper-nickel converters / V. V. Slovikovskii, A. V. Gulyaeva // Refractories and Industrial Ceramics. — 2014. — Vol. 54, № 6. — P. 463–466. ■

Получено 11.03.16

© В. В. Словиковский, А. В. Гуляева, 2016 г.

Министерство образования и науки Украины  
Национальный технический университет  
«Харьковский политехнический институт»  
ПАО «УкрНИИОгнеупоров имени А. С. Бережного»



Международная научно-практическая конференция

**«Пятые научные чтения имени академика НАНУ А. С. Бережного «Физико-химические проблемы в технологии тугоплавких и неметаллических материалов»**

к 90-летию кафедры технологии керамики, огнеупоров, стекла и эмалей»

11–14 октября 2016 г.

г. Харьков, Украина



**Тематика конференции:**

- Секция 1. Керамические материалы и огнеупоры: от теории к практике
- Секция 2. Химия и технология вяжущих и композиционных материалов
- Секция 3. Физико-химические основы технологии конструкционных, в том числе, наноструктурных материалов
- Секция 4. Стеклоэмали и стеклокомпозиционные материалы и покрытия.

**Контактная информация:**

**Федоренко Елена Юрьевна** fedorenko\_e@ukr.net  
+380507130335, +380632970313

**Саввова Оксана Викторовна** savvova\_oksana@ukr.net  
+380502010444

**Корогодская Алла Николаевна** korogodskaya@yandex.ru  
+380662296068

**Воронов Геннадий Константинович** voronov1976@ukr.net  
+380661449973