

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

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

УДК 666.762.32+666.762.81:669.243+669.63

ВЫСОКОСТОЙКИЕ ФУТЕРОВКИ ШПУРОВЫХ УЗЛОВ РУДНО-ТЕРМИЧЕСКИХ ПЕЧЕЙ

Проанализированы причины малой стойкости футеровок шпуровых узлов рудно-термических печей никелевых и оловянных производств. Установлено, что причиной малой стойкости футеровок шпуровых узлов рудно-термических печей является большое количество швов, а также низкая шлако- и абразивостойкость спеченных периклазохромитовых огнеупоров. Проведена работа с целью создания бесшовной конструкции шпуровых узлов из шламоустойчивого огнеупора. Разработаны конструкция блоков ПШФБ, состав высоко-температурного клея, плавящихся огнеупоров периклазохромитового состава (ПХПП). Применение бесшовной конструкции шпуровых узлов увеличило стойкость их футеровки в 2,0–2,5 раза.

Ключевые слова: периклазохромитовые огнеупоры, периклазошпинелидный кирпич, графитокорундовые изделия, огнеупорный клей, шпуровой узел.

Производство ферроникеля из окисленных никелевых руд по схеме восстановительный обжиг руды во вращающихся печах, получение чернового ферроникеля из огарка в рудно-термических печах (РТП) и рафинирование чернового ферроникеля в вертикальных конвертерах с кислородным дутьем является перспективной технологией цветной металлургии.

Однако отсутствие опыта эксплуатации печей большой мощности (48 МВ·А) по указанной технологии создает определенные трудности, что отрицательно влияет на производительность рудно-термических печей и на качество готового продукта. Одно из узких мест в производстве ферроникеля — небольшая стойкость огнеупорной кладки (12–18 мес при нагрузке печи 25–26 МВ·А). Быстрый износ огнеупоров в районе шпуров и леток, аварийные проорывы расплава через разрушенные элементы кладки затрудняют освоение технологии плавки и достижение расчетных мощностей РТП.

Усовершенствование схемы огнеупорной кладки, использование более стойких огнеупорных материалов позволят при расчетной производительности печей продлить их кампанию до двух и более лет. Наиболее изнашиваемой частью огнеупорной футеровки РТП на Побужском никелевом заводе (ПНЗ), г. Побужье, являются шпур. В настоящее время на РТП-1 и РТП-2 шпур выполняются из периклазошпинелидного кирпича. Пропускная стойкость шлаковых шпуров не превышает 6–8 тыс. т. На рис. 1 показана схема кладки и разгара шпуров из графитокорундового огнеупора. Для шпуров характерна сильная эрозия огнеупора, так как скорость струи шлака и металла достигает 10–20 м/с. Наряду с эрозией огнеупор испытывает тепловые удары в момент выпуска расплава и коррозионное воздействие шлака.

При выборе огнеупорного материала шпуров исходили из условий службы: эрозия, тепловой удар, коррозия. Наибольшей стойкостью в этих условиях обладают графитокорундовые изделия состава, мас. %: корунд ≥ 55 ; огнеупорная глина 1,7–2,0; графит 15–18; карбид кремния $7 \pm 0,5$; кремний $3 \pm 0,5$. Изделия из этой массы имеют высокую термическую и эрозионную стойкость и практически не пропитываются, осуществляется коррозионный износ тонкими слоями по мере окисления углерода. Для производственных испытаний была выпущена опытная партия графитокорундовых изделий нормальных размеров в количестве 1 т.

Опытный огнеупор характеризовался высокой механической прочностью и очень высокой термостойкостью. Исследования характера износа кладки шпуров из периклазошпинелидных и графитокорун-

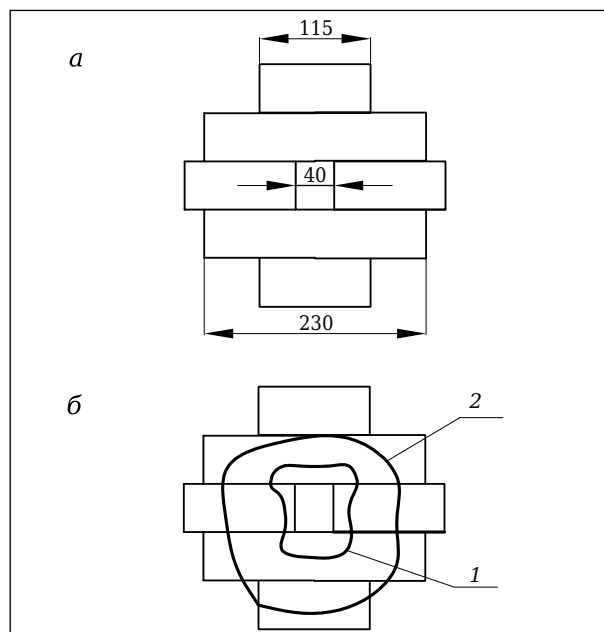


Рис. 1. Схема кладки (а) и разгара (б) шпуров из графитокорундового огнеупора: 1 — разгар после выпуска 3 тыс. т шлака; 2 — после выпуска 8 тыс. т шлака



А. В. Гуляева

E-mail: a.gulyaewa2012@yandex.ru

довых изделий показали, что износ осуществляется в результате эрозии; наиболее слабым звеном в шпурах являются швы. Следовательно, реальное повышение сроков службы кладки шпуров возможно путем частичного или полного устранения в ней швов на участках, непосредственно примыкающих к струе расплава. Поэтому опыт эксплуатации леток и шпуров, выполненных из периклазошпинелидных блоков ПШФБ-1, представляет несомненный интерес.

С точки зрения технологии и службы огнеупора наиболее рациональной следует признать цилиндрическую форму блоков с отверстием в центре. В связи с тем что летки и шпуры наиболее изнашиваемые части термических агрегатов, в качестве огнеупорного материала целесообразно применять высокотемпературные плавящиеся периклазовые порошки. Применение цилиндрических блоков для шпуров РТП затруднено из-за сложной схемы кладки, поэтому предложено использовать блоки ПШФБ-1 с прямоугольным сечением размерами 225×225×230 мм (ТУ 14-200-148–75) комбината «Магнезит» (см. таблицу, рис. 2), свойства которых приведены ниже.

Открытая пористость, %	15,5
Предел прочности при сжатии, МПа	52,2
Температура начала деформации под нагрузкой 0,2 МПа, °С	1600
Масса, кг	47,2
Стойкость, т шлака:	
блочной футеровки	17500
изделий нормальных размеров	6000–8000

Шпуры из блоков выполняли на глубину 460 мм, характер износа блочной футеровки существенно отличался от износа кладки из изделий нормальных размеров; последняя из-за большой поверхности швов пропитывалась шлаком на значительную глубину уже в первый период эксплуатации. Глубина пропитки огнеупора в случае блочной кладки не превышала 20 мм. В целом блоки изнашивались более равномерно. После службы в углах блоков обнаружены радиальные трещины, частично заполненные шлаком, однако пропитка основной массы огнеупора по трещинам не происходила, следовательно, образование трещин в блоках существенно не влияло на стойкость в службе не оказывает.

Таким образом, исключение из шпуров швов позволило при прежнем химическом составе периклазошпинелидного огнеупора увеличить продолжительность службы шпуров более чем в 2 раза. Использование блоков экономически эффективно

лишь при выполнении кладки на всю толщину футеровки. Так как блочная кладка выполняется без перевязки, то может показаться, что возникает опасность прорыва расплава по периметру блоков. Однако очевидно, что такой прорыв маловероятен, так как металлические шпуры испытывают со стороны футеровки значительное давление, обусловленное ее тепловым ростом и массой. Шлаковые шпуры интенсивно охлаждаются закладными холодильниками. Это практически исключает всякое просачивание расплава вследствие крутой характеристики вязкости шлака от температуры. Наконец, шпуры можно выполнить на клею, разработанном авторами настоящей статьи, который обладает улучшенными физико-механическими свойствами. Применение клея исключает образование сквозных щелей, а также уменьшает температурные напряжения в кладке (рис. 3) [2]. Огнеупорный клей предназначен для склеивания кладки футеровок высокотемпературных тепловых агрегатов черной и цветной металлургии. Физико-механические показатели клея:

Огнеупорность, °С, не ниже	1700
Термостойкость, воздушные теплосмены, не менее	24
Предел прочности, МПа, не менее:	
при сдвиге	6,5
при сжатии	35
Растекаемость, мм, не менее	70–90
Осадка конуса, см, не менее	11
Линейная усадка, %	0–1
Кажущаяся плотность, г/см ³ , не менее	2,2
Открытая пористость, %, не более	27

Шлаковый шпур из блоков ПШФБ-1 на всю глубину футеровки был выполнен в РТП на Побужском никелевом заводе. Просачивание шлака по сквозно-

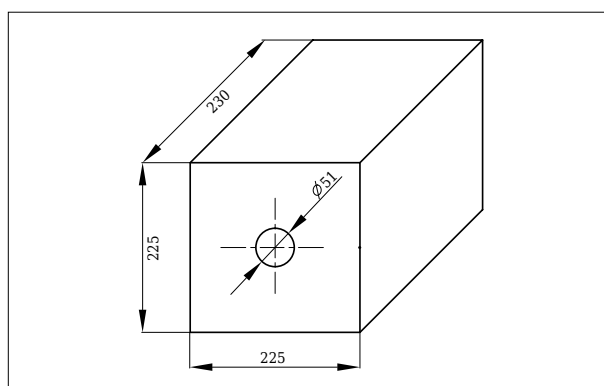


Рис. 2. Размеры блока ПШФБ-1

Свойства огнеупорных изделий

Марка изделия	Термостойкость (1300 °С – вода), теплосмены	Предел прочности при сжатии, МПа	Открытая пористость, %	Абразивостойкость, г/см ²	$\alpha_{\text{ср}}, 10^{-6} \text{ град}^{-1}$	Модуль упругости, 10 ³ МПа	Скорость износа огнеупора, 10 ⁻² м/ч
ХП	3–5	25,0–26,0	20–23	0,36–0,68	6,9	19,3	0,029
МХС	3–5	26,0–28,0	21–22	0,38–0,51	8,9	17,2	0,015
ПХС	4–6	30,0–34,0	16–20	0,40–0,90	9,5	12,5	0,012
ХПТ	6–8	25,0–30,0	18–20	0,20–0,29	9,1	14,6	0,011
ПХПП	3–4	39,0–42,0	14–15	0,18–0,20	10,0	11,4	0,010
МПМ	1–3	50,0–60,0	14–17	0,44–0,48	12,1	46,2	0,031

* Температурный коэффициент линейного расширения.

му шву не наблюдалось. Выпущенная по разработанной технологии производства опытная партия графитокорундовых изделий нормальных размеров испытана в шпурах. Стойкость опытного огнеупора в 3 раза выше стойкости периклазошпинелидных штучных изделий. Графитокорундовые огнеупоры обладают высокой шлакоустойчивостью, но кладка из них имеет большое количество швов. Проведено испытание блочной кладки шпуров. Испытания показали увеличение стойкости шпуров в 1,8–2,2 раза.

В электропечах для восстановления олова шпуровой узел является участком, сдерживающим дальнейший рост стойкости их футеровки. Разрушение футеровки этой части электропечи, выполненной из ПХС- и ХМ-огнеупоров, происходит в основном за счет абразивного воздействия металлического и шлакового расплава, имеющих температуру до 1500 °С. Средняя скорость разрушения футеровки шпурового узла, по данным завода «Рязцветмет», в случае применения ПХС- и ХМ-огнеупоров, равнялась 0,66 мм за сутки.

На основании данных лабораторного испытания различных огнеупоров магнезиального состава было признано целесообразным испытать более износостойкие плавненные огнеупоры марок МПМ и ПХПП (см. таблицу). При текущем ремонте печи плавильного цеха завода «Рязцветмет» в шпуровые узлы были установлены взамен изделий марок ПХС и ХМ более абразивостойкие, фасонные, желобчатые плавненные периклазовые огнеупоры марки МПМ-2 размерами 460×152×75 мм, диаметр желобка 32 мм. После разогрева в течение суток печь была пущена в работу.

Печь с опытным шпуровым узлом, выполненным из плавненного огнеупора, находилась в непрерывной работе 4 мес и была остановлена в связи с общим ремонтом футеровки. Визуальный осмотр шпурового узла после службы показал, что шпуровой канал находился в рабочем состоянии. Диаметр шпурового канала увеличился с первоначальных 32 до 53 мм в момент остановки печи. В среднем износ составил 0,30 мм за сутки. В связи с разрушением футеровки, окружающей опытные огнеупоры, было принято решение выбить и плавненные изделия. Несмотря на это, стойкость шпурового узла в данной кампании увеличилась, что позволило продлить общую продолжительность работы печи на 1 мес, или на 33 %.

Далее на заводе «Рязцветмет» было начато оформление шпурового узла печи № 3 фасонными блоками ПХПП. Шпуровой узел был выполнен тремя блоками

Библиографический список

1. **Словицкий, В. В.** Служба периклазохромитовых фурменных блоков в горизонтальных конвертерах / В. В. Словицкий, В. И. Ерошкина, Г. В. Кононенко [и др.] // Огнеупоры. — 1983. — № 7. — С. 49–52.
2. **Словицкий, В. В.** Высококачественный высокотемпературный клей для вращающихся печей / В. В. Словицкий, С. П. Каменных, С. Г. Дойладов [и др.] // Сб. тр. 7-й конференции «Алюминий Урала-2002», г. Красноуральск, 2002 г. — С. 101–102.
3. **Словицкий, В. В.** Периклазохромитовые огнеупоры из плавненных материалов / В. В. Словицкий,

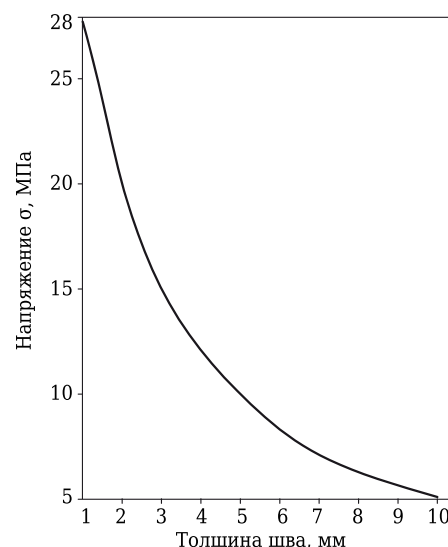


Рис. 3. Зависимость величины температурных напряжений, возникающих в огнеупорной кладке, от толщины шва

на всю толщину футеровки. Физико-химические свойства блоков ПХПП приведены ниже:

Массовая доля, %:

MgO.....	≥70
Cr ₂ O ₃	8–16
CaO.....	≤2,5
SiO ₂	≤2,0

Открытая пористость, %, не более.....16

Предел прочности при сжатии, МПа, не менее... 30

Температура начала деформации под нагрузкой 0,2 МПа, °С, не ниже..... 1640

Термостойкость, теплосмены, не менее.....5

Осмотр состояния шпурового узла после 3 мес эксплуатации показал, что внутренний диаметр периклазохромитового блока 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 блока. Состояние шпурового узла было признано удовлетворительным, что позволило без текущего ремонта продлить общую продолжительность его эксплуатации до 7 мес.

Испытания и внедрение данных мероприятий позволило увеличить стойкость футеровки шпуровых узлов рудно-термических печей в 2,0–2,5 раза на Побужском никелевом заводе, Уфалейском никелевом комбинате, оловянном заводе «Рязцветмет» и оловянном Новосибирском комбинате.

В. И. Ерошкина, Г. В. Кононенко [и др.] // Огнеупоры. — 1985. — № 3. — С. 47–49.

4. **А. с. 1052500 СССР.** Способ получения плавненных периклазохромитовых материалов / В. В. Словицкий, Г. А. Нечистых, П. Н. Бабин [и др.]. — № 3467658/29-331 17203; заявл. 09.07.82; опубл. 1983, Бюл. № 41.■

Получено 11.11.14
© В. В. Словицкий,
А. В. Гуляева, 2015 г.