

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

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

УДК 666.76.001.8:[669.24+669.33]

ЭФФЕКТИВНОЕ ПРИМЕНЕНИЕ КОМБИНИРОВАННОЙ ФУТЕРОВКИ В КОНВЕРТЕРАХ МЕДНО-НИКЕЛЕВОГО ПРОИЗВОДСТВА

Изучены причины малой стойкости футеровок конвертеров, свойства износо- и термостойких хромито-периклазовых огнеупоров ХПТ. Разработана технология изготовления хромито-периклазовых огнеупоров на основе плавленных порошков и налажено их производство на комбинате «Магнезит». Предложены и внедрены схемы кладки огнеупоров «шахматка» и «зебра» с использованием изделий ХПТ и ПХП на 9 медно-никелевых комбинатах. Увеличение стойкости футеровки при использовании схемы «шахматка» от 15 до 49 %, от внедрения схемы кладки «зебра» до 82,5 %.

Ключевые слова: хромито-периклазовый огнеупор, плавленное зерно, химическое взаимодействие, термостойкость, скорость износа.

Производство отечественных огнеупоров снижается. По данным, которыми располагает ассоциация «Огнеупорпром» (6 специализированных предприятий и огнеупорные производства при ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат» и ОАО «Нижнетагильский металлургический комбинат»), и по данным Росстата РФ, производство огнеупоров на огнеупорных предприятиях сократилось в 2012 г. на 55 % по отношению к 2011 г. Ежегодные потери российских огнеупорных предприятий из-за импортных поставок превышают 1,5 млрд руб. Такое положение может привести к развалу отечественного огнеупорного производства и поставит отечественную металлургическую промышленность и оборонный комплекс в полную зависимость от импорта огнеупоров [1].

Цель настоящей работы — анализ причин малой стойкости футеровок медно-никелевых конвертеров, механизм их износа; разработка эффективной конструкции надфурменной зоны кладки с использованием высокостойких современных огнеупорных изделий, как спеченных, так и из плавленного зерна, обладающих высокой химической стойкостью, термо- и износостойкостью. Работы по увеличению стойкости футеровки конвертеров, применению комбинированных футеровок проводили на Кировградском (КМК), Красноуральском (КрМК) и Карабашском (КаМК) медеплавильных комбинатах. Разработка технологий для получения высокостойких огнеупорных изделий, обладающих конкурентоспособностью, весьма актуальна. Это особенно

важно при создании футеровок для таких печей, работающих по новейшим технологиям тепловых агрегатов, как печи ПЖВ и Кивцэт-ЦС, горизонтальные конвертеры, электропечи и др.

К сожалению, согласно выводам ряда работ расход отечественных огнеупоров на 1 т стали в целом по стране остается достаточно высоким по сравнению с расходом огнеупоров, закупаемых в промышленно развитых странах: Японии, США, Германии, Австрии и др. [2].

Интенсификация технологических процессов в цветной металлургии и необходимость переработки все более бедных руд и концентратов требуют увеличения длительности кампании тепловых агрегатов и, следовательно, повышения стойкости футеровки. Последнее может быть достигнуто за счет применения более стойких к шлакам и расплавам цветной металлургии огнеупоров и путем использования рациональных комбинированных схем футеровки агрегатов.

В течение ряда лет авторы настоящей статьи занимались проблемой увеличения стойкости огнеупорной футеровки конвертеров медно-никелевого производства. Лабораторными исследованиями [3] было установлено, что наиболее высокой стойкостью к шлаку медно-никелевого производства обладают огнеупоры марки ПХП на основе плавленного периклазохромитового материала (ПХПП).

Была разработана технология производства огнеупоров ПХПП, вещественный состав шихты которых содержал, мас. %: плавленный периклазохромит фракции 3–1 мм 32, фракции 1–0 мм 28; плавленный хромито-периклаз фракции 3–1 мм 15; вибромолотый плавленный хромито-периклаз фракции мельче 0,063 мм 25. Массу готовили в бегунковых смесителях по отработанному режиму комбината «Магнезит». Изделия прессовали под давлением 110 МПа и обжигали



А. В. Гуляева

E-mail: a.gulyaeva2012@yandex.ru

в туннельной печи при 1850 °С. После обжига изделия имели хороший внешний вид. Выплавов и посечек на поверхности огнеупоров не было. Изделия обладали улучшенными показателями физико-керамических свойств и содержали незначительное количество SiO_2 и CaO .

Приведенные в табл. 1 показатели свойств огнеупоров ПХПП обусловлены: наличием крупнокристаллического плавного зерна в связке, размеры которого достигают 800–950 мкм, в то время как зерно в основных спеченных огнеупорах 50–80 мкм; повышенным количеством прямых связей между зернами (70 %) и пониженным содержанием силикатов в тонкомолотой составляющей (SiO_2 до 15 %, $\text{CaO} \leq 2$ %) по сравнению с 5–10 % силикатов в основных спеченных огнеупорах.

Большое влияние на смачиваемость шлаком оказывает капиллярная пропитка реагентами расплава, которая зависит от характера пор огнеупора — крупные пропитываются быстрее, чем мелкие. Плотная структура переклазохромитовых огнеупоров с применением плавной тонкомолотой фракции хромитопериклаза и характер пор в огнеупорах ПХПП уменьшают смачиваемость их расплавом. Но огнеупоры ПХПП характеризуются сравнительно низкой термостойкостью.

Авторами изучена технология изготовления хромитопериклазовых термостойких огнеупоров ХПТ для конвертеров цветной металлургии. Технологией производства этих огнеупоров предусматривается использование шихты, содержащей, мас. %: хромитовой руды фракции 3–1 мм 20–30; периклазового порошка фракции 2–0 мм 35–34; тонкомолотой периклазохромитовой смеси фракции 0,063 мм 30–35. Изделия изготавливают под давлением прессования 100–120 МПа и обжигают при 1700 °С. Свойства огнеупоров ХПТ приведены в табл. 1.

В настоящее время для футеровки конвертеров в основном используют огнеупоры ХПТ или ПХС, которые обеспечивают длительность кампании 50–70 сут. Наиболее изнашиваемыми участками футеровки конвертеров являются фурменная и надфурменная зоны на границе шлака и газовой среды, где максимально проявляется агрессивное воздействие расплава на футеровку. Высокая температура факела на выходе

интенсифицирует химическое взаимодействие огнеупора со шлаком, большие температурные перепады на рабочей поверхности фурменной и надфурменной зон, вызванные условиями работы агрегата, приводят к растрескиванию и скалыванию огнеупоров, что облегчает вымывание материала потоками расплава. Поэтому для обеспечения равномерного износа огнеупорной футеровки надфурменную зону усиливали более стойкими огнеупорами на основе плавного зерна. Первоначально футеровку надфурменной зоны (7–8 рядов выше фурменного пояса) выполняли полностью огнеупорами ПХПП-71, фурменной зоны — блоками повышенной стойкости марки ПХФБ-25 (КаМК) или желобковыми изделиями марки ПШС.

Однако исследованиями было установлено [4], что равноценное увеличение стойкости футеровки можно получить, используя смешанную кладку надфурменной зоны, в которой чередуются огнеупоры ПХПП и ХПТ или ПХС в шахматном порядке (рис. 1). Огнеупоры ХПТ или ПХС характеризуются меньшим температурным коэффициентом линейного расширения по сравнению с этим показателем огнеупоров ПХПП (см. табл. 1), поэтому они менее чувствительны к термическим напряжениям, появляющимся вследствие температурного градиента по толщине футеровки. В надфурменной зоне конвертеров с особенно большими температурными перепадами комбинация изделий ХПТ с изделиями ПХПП, имеющими наибольшую устойчивость к

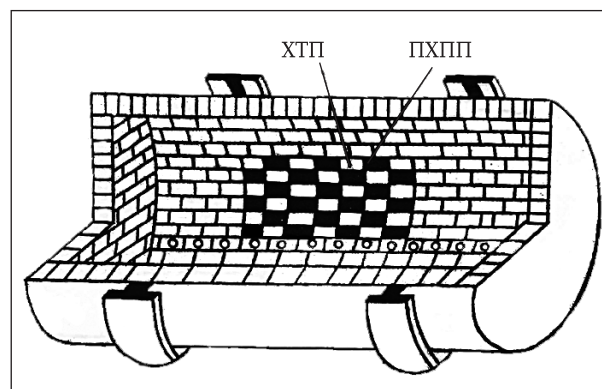


Рис. 1. Комбинированная схема кладки «шахматка» футеровки надфурменного пояса горизонтального конвертера

Таблица 1. Свойства магнезиальных огнеупоров

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

шлакам медно-никелевого производства, создаст наилучший эффект, так как суммируются их ценные свойства и экономятся огнеупоры из дорогостоящего плавленого сырья.

В табл. 2 приведены результаты испытаний комбинированной кладки надфурменной зоны на Кировградском, Красноуральском и Карабашском медеплавильных комбинатах. Данные усреднены по результатам 3–5 промышленных испытаний. Применение схем комбинированной кладки позволило повысить стойкость футеровки конвертеров на 49 %. Эти данные соответствуют полученным ранее для конвертеров никелевого производства [4], хотя эффективность применения комбинированной футеровки в медной подотрасли несколько ниже, что связано с различиями в технологических режимах и механизмах взаимодействия огнеупоров с медными и никелевыми шлако-штейновыми расплавами.

С целью детального изучения механизма износа футеровки надфурменной зоны измеряли ее разгары через фурмы в различные периоды кампании конвертеров с комбинированной кладкой. На основе этих данных построены кинетические кривые разгара футеровки средней части конвертера, подверженной наиболее интенсивному износу. Кинетика разгара показана на рис. 2. Скорость износа футеровки не является постоянной величиной, в начальный период кампании она выше, чем в середине. Эти результаты согласуются с данными, полученными при исследовании работы конвертеров Медного завода Норильского горно-металлургического комбината. В установившемся режиме работы скорость износа почти не меняется и составляет 2,0–3,5 мм/сут. Очевидно, что значительный износ футеровки конвертеров в начальный период эксплуатации является следствием термического удара при пуске конвертера и термоциклирования, в результате чего возникают термические напряжения в кладке. При этом образуется трещиноватая структура рабочей поверхности огнеупо-

ра, идет пропитка футеровки шлаком и штейном и происходит износ скалыванием по трещинам. С течением времени нарушенный слой футеровки смывается расплавом, поверхность футеровки пропитывается на глубину 6–7 мм, скорость износа снижается до стационарной величины, износ происходит вследствие химического и абразивного воздействия расплава.

По мере износа футеровка становится тоньше, увеличивается градиент температуры по толщине огнеупорной кладки, глубина пропитки расплавом уменьшается вследствие его быстрого застывания и снижения скорости химических реакций, скорость износа, соответственно, уменьшается. Это продолжается до тех пор, пока воздействие градиента температур не приведет к образованию поперечных к направлению градиента сколов футеровки, с этого момента разрушение футеровки развивается катастрофически.

Усиление надфурменной зоны футеровки конвертеров плавлеными периклазохромитовыми

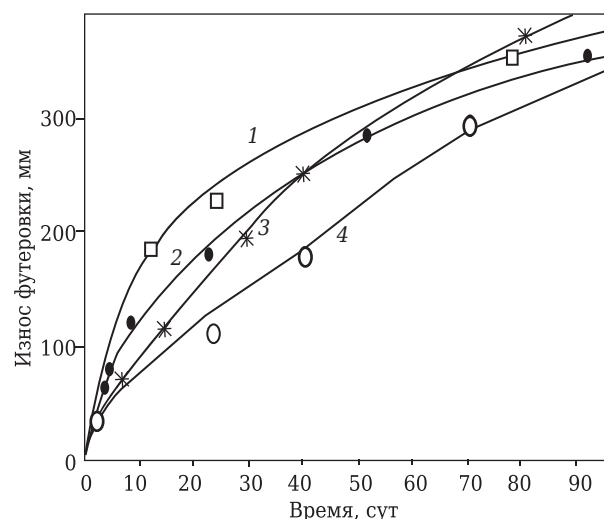


Рис. 2. Кинетика разгара футеровки фурменной зоны двух конвертеров на КМК (1, 2) и на КаМК (3, 4)

Таблица 2. Результаты испытаний комбинированной кладки «шахматка»

Комбинат	Продолжительность кампаний, сут	Износ огнеупоров за кампанию, мм	Скорость износа, мм/сут	Увеличение стойкости футеровки, %
Карабашский медеплавильный комбинат	92,6	287,1	16,2	35,0
Красноуральский медеплавильный комбинат	78,0	195,0	2,5	42,0
Кировоградский медеплавильный комбинат	94,7	381,0	4,0	49,0
Норильский горно-металлургический комбинат	39,2	270,5	6,9	18,7
Уфалейский никелевый комбинат	13,7	165,0	12,0	30,0
Комбинат «Южуралникель» (г. Орск)	8,0	130,0	16,2	35,0
Комбинат «Печенег-никель» (г. Заполярный)	45,8	400,8	10,8	14,8
Медногорский медно-серный комбинат (г. Медногорск)	65,0	310,0	4,8	22,0

огнеупорами в сочетании с хромитопериклазовыми термостойкими огнеупорами обеспечивает более равномерный износ по всей поверхности кладки. Стойкость футеровки конвертеров с применением комбинированной кладки не уступает или выше стойкости футеровки с использованием только плавленных периклазохромитовых огнеупоров ПХПП. Применение научно обоснованных режимов разогрева и конвертирования с учетом специфики предприятий может значительно повысить эффект использования высокостойких огнеупоров.

За счет применения комбинированной кладки в медно-никелевых конвертерах достигнуто увеличение стойкости футеровки на 15–49 %. Однако широкое применение этих плавленозернистых переклазохромитовых огнеупоров сдерживается их высокой стоимостью (они дороже спеченных переклазохромитовых изделий в 5–10 раз). Для удешевления кладки на заводе «Бетлехемстил» в Стилтоне при выполнении футеровки электросталеплавильных печей в горячей зоне спеченные огнеупоры с прямой связью зерен частично заменяли плавлено-литыми изделиями, причем ряды огнеупоров чередовали. Такую футеровку назвали «смешанной» панелью.

Нами было предложено испытать данную практику в футеровке фурменной зоны горизонтальных конвертеров на КМК. По предложенной схеме «зебра» фурменный пояс выкладывали из огнеупоров с желобком марки ХПТ, надфурменный пояс (7 рядов) — по комбинированной схеме кладки с применением компенсационных прокладок. Для усиления фурменного пояса по одному ряду ниже и выше фурм выкладывали полностью из огнеупоров ПХПП (рис. 3). При такой схеме кладки создается каркас из высоко-

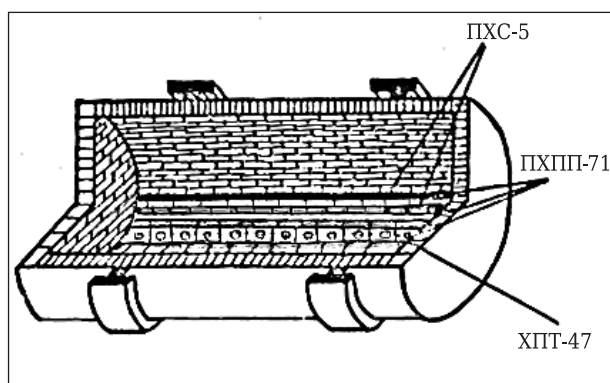


Рис. 3. Комбинированная схема кладки «зебра» футеровки надфурменного пояса горизонтального конвертера

стойких и менее стойких огнеупоров, что позволяет в 2 раза уменьшить расход дорогостоящих изделий без уменьшения стойкости футеровки. Этим обеспечивается экономическая целесообразность такой футеровки.

С использованием схемы кладки «зебра» конвертер проработал 127 сут (средняя стойкость футеровки второго конвертера составила 69,6 сут). Срок кампании увеличился на 57,4 сут (82,5 %).

Из вышеизложенного следует, что наряду со схемой кладки футеровки «шахматка» может быть рекомендована еще одна схема — «зебра», которая имеет то же назначение, но более рациональна в производственных условиях. При ее применении уменьшаются затраты на капитальные и текущие ремонты, сокращается количество ремонтов, улучшаются условия труда каменщиков и экономятся дорогостоящие огнеупоры.

Библиографический список

1. **Энтин, В. И.** Итоги работы огнеупорных предприятий в 2008 г. / В. И. Энтин // Новые огнеупоры. — 2009. — № 7. — С. 52–55.
2. **Словиковский, В. В.** Разработка высокоэффективных инновационных производств перспективных огнеупорных материалов для цветной металлургии / В. В. Словиковский, Н. Х. Понетаева, А. В. Гуляева // Сб. материалов международной научно-практической конференции «Создание высокоэффективных производств на предприятиях горно-металлургического комплекса». — Верхняя Пышма, 2013 г. — С. 152–154.

3. **Словиковский, В. В.** Периклазохромитовые огнеупоры из плавных материалов / В. В. Словиковский, В. Н. Ерошкина, Г. В. Кононенко [и др.] // Огнеупоры. — 1985. — № 3. — С. 13–17.
4. **Словиковский, В. В.** Испытание нового типа кладки футеровки конвертеров / В. В. Словиковский, В. В. Чунаев // Цветная металлургия. — 1984. — № 9. — С. 45–46. ■

Получено 26.02.15

© В. В. Словиковский, А. В. Гуляева, 2015 г.