

УДК 669.054:669.782

¹Проценко М. Ю., ¹Куберский С. В., ¹Завгородний С. Р., ²Анашкин А. А.¹Донбасский государственный технический университет,²ООО «Южный горно-металлургический комплекс»

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БОЯ МАГНЕЗИТОВЫХ ОГНЕУПОРОВ В СОСТАВЕ ТОРКРЕТ-МАСС

В работе исследована возможность повышения стойкости футеровки кислородного конвертера, что позволяет снизить удельные затраты на огнеупоры и технологические простои, связанные с ремонтами. Для решения поставленной задачи предложено торкретирование футеровки кислородного конвертера торкрет-массой собственного производства, полученной после помола отработанных периклазовых, периклазоалюмоуглеродистых и периклазоуглеродистых огнеупоров.

Ключевые слова: футеровка, торкрет-масса, конвертер, периклазовый огнеупор, периклазоалюмоуглеродистый огнеупор, периклазоуглеродистый огнеупор, помол, жидкое стекло.

В процессе работы конвертера рабочий слой футеровки изнашивается в результате механического износа (тип огнеупоров, их качество, метод кладки, удары кусков лома при завалке его в конвертер, срыв настывлей и др.), растворения ее в шлаке (при высоком содержании в нем SiO_2), а также под действием термических напряжений. Скорость износа футеровки зависит от состава исходной шихты, сортамента выплавляемых сталей и хода процесса шлакообразования. Износ футеровки неравномерен по высоте и периметру конвертера, а наиболее сильно он проявляется в середине цилиндрической части, в так называемой зоне цапф.

Для увеличения срока службы футеровки проводятся горячие ремонты, предусматривающие подварку, торкретирование и ошлакование. При подварке в конвертере оставляют часть шлака от предыдущей плавки, имеющего высокую основность и достаточно высокую жидкоподвижность. Конвертер устанавливают таким образом, чтобы шлак заполнил места локального износа кладки, и засыпают на него бой огнеупорного кирпича. Обломки кирпича пропитываются шлаком, и эта масса затвердевает в течение 10–20 мин, после чего начинают следующую плавку. Наваренный слой в течение нескольких плавок предохраняет от износов рабочий слой.

Однако использование этого метода приводит к потерям рабочего времени, и он пригоден для ремонта только тех участков футеровки конвертера, которые находятся в плоскости его вращения.

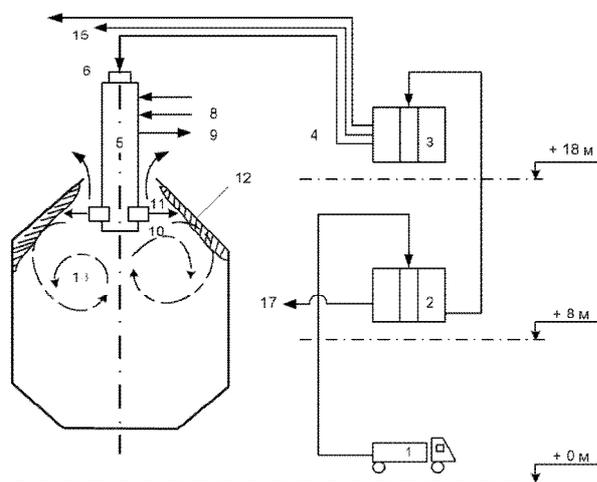
Широкое распространение получил систематический горячий ремонт футеровки путем торкретирования. Он заключается в нанесении на изношенные места кладки порошка огнеупорного материала с помощью напольной установки, называемой торкретмашиной. Иногда огнеупорный материал вдувают специальной вертикальной фурмой (вертикальное торкретирование). Различают сухое, влажное и огневое (факельное, рис. 1) торкретирование доломитовой, доломитомagneзитовой и магнетитохромитовой массами [1, 2]. Торкрет-масса должна хорошо удерживаться на изношенном месте после нанесения, свариваться с материалом футеровки и иметь достаточно высокую огнеупорность.

С целью снижения агрессивного воздействия кремнезема на огнеупорную футеровку важно снижать содержание кремния в чугуне и окиси кремния в сыпучих материалах, всемерно ускорять растворение извести и формирование активного основного шлака, а также добавлять в шлак MgO (до определенного предела), что затрудняет его переход из огнеупоров

в шлак вследствие изменений условий массопереноса. Кроме того, необходимо уделять внимание содержанию FeO в шлаке [3, 4]. Оксиды железа шлака действуют на футеровку двояко: с одной стороны, обогащение шлака FeO ускоряет растворение извести и уменьшает вредное действие кремнезема, с другой — проникновение оксида в огнеупоры способствует их износу. Аналогично оксидам железа влияет на стойкость футеровки и плавиковый шпат. Также влияние на износ футеровки оказывают колебания температуры между плавками и режим продувки.

Наиболее эффективным способом «восстановления» опережающего износа огнеупорной футеровки конвертера, как в зоне нижнего конуса, так и в других труднодоступных зонах кладки, является раздувка азотом на ее поверхность специально подготовленного конечного шлака [5, 6].

Способ раздувки конечного шлака азотом может быть использован для ремонта всей рабочей поверхности футеровки конвертера (рис. 2).



- 1 — автоцементовоз; 2, 3 — спаренные промежуточные камерные питатели;
4 — материалопровод; 5 — торкрет-фурма;
6 — трубопровод торкрет-массы; 7 — подвод кислорода; 8 — подвод воды; 9 — отвод воды;
10 — щелевые сопла; 11 — истечение струи;
12 — футеровка конвертера

Рисунок 1 — Схема комплекса оборудования для факельного торкретирования футеровки

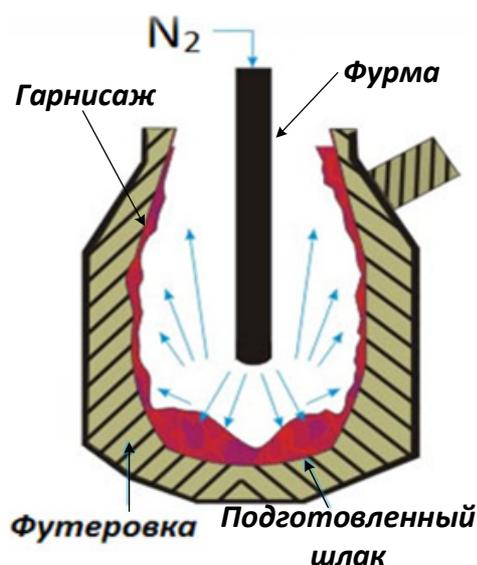


Рисунок 2 — Схема раздувки шлака на футеровку

Подача азота в конвертер осуществляется через кислородную фурму. Раздувке азотом подвергается шлак, оставшийся в конвертере после слива плавки. В зависимости от консистенции шлака в конвертер производится присадка сыпучих материалов в количестве 1,5–4,5 кг/т стали. Масса присаживаемого материала зависит от физико-химических свойств шлака и его количества, при этом шлак, налипая на футеровку, охлаждается и затвердевает, создавая прочный защитный слой, препятствующий износу огнеупоров [5].

При наличии в конвертере густого конечного шлака перед присадкой сыпучих материалов производится раздувка шлака кислородом в течение 30–40 с. Раздувка конечного шлака азотом чистотой не менее 99% осуществляется при его давлении $\geq 1,67$ МПа. Длительность операции по раздувке шлака составляет не менее 3–4 мин. Положение фурмы во время раздувки изменяется от 1,3–1,4 м до 0,9–1,0 м над уровнем жидкой ванны в три-четыре приема. Для получения равномерного по толщине шлакового покрытия всей поверхности футеровки осуществляются наклоны конвертера из стороны в сторону относительно оси, проходящей через его цапфы, на угол 15–20° [7].

Материалы, используемые в качестве модификаторов конечного конвертерного шлака, должны соответствовать определенным параметрам по фракционному составу, механической прочности, насыпной плотности, химическому и гранулометрическому составу, времени растворения [8]. От параметров подобранных модификаторов и эффективности выполнения самой операции раздувки зависят толщина и качество наносимого гарнисажного слоя. Эта величина обычно находится в пределах 15–40 мм за операцию.

На сегодняшний день существует две основные «концепции» по эксплуатации футеровки конвертера:

– первая основана на принципе постоянного ухода за футеровкой и обеспечения предельно возможного повышения ее стойкости. Ее цель — увеличение длительности рабочих кампаний конвертеров, так называемая вечная футеровка;

– вторая предполагает поддержание на максимально допустимом уровне содержания магния в шлаке за счет применения магнийсодержащих материалов.

Считается, что насыщенность шлака магнием (в пределах 9–12 %) не дает ему растворять футеровку и при надлежащем уходе способствует увеличению ее долговечности. Однако в последние годы эта тенденция несколько поменялась, что связано с удорожанием используемых в нашем регионе магнезиальных материалов.

Одним из основных критериев технологического «качества» магнезиальных материалов, наряду с химическим, является

гранулометрический состав, при этом четко регламентируется фракционный состав каждого из компонентов флюса. В качестве органических соединений могут использоваться смола или пек, этиленгликоль, бакелит, меласса и т. п., а в качестве минеральных соединений — лингосульфаты, жидкое натриевое стекло, ортофосфорная кислота, бишофит и др. Основные физико-химические параметры магнийсодержащих флюсов различных производителей представлены в таблице 1.

Особого внимания заслуживает сырье, относящееся к так называемым отходам добычи и производства доломита, магнезита и огнеупорной продукции, а также бой огнеупорного кирпича (отслужившая футеровка конвертеров, ковшей и т. д.), имеющийся в значительных количествах на каждом металлургическом предприятии.

При этом хорошо известно, что переработка и утилизация отходов, а также использование их в виде относительно дешевого сырья для металлургического производства может обеспечить значительное снижение затрат на шихту, повышение качества и конкурентоспособности, а главное, снижение себестоимости готовой продукции.

Кроме того, такой подход поможет решить экологические проблемы промышленно развитых регионов, где скопились огромные месторождения техногенных отходов, а также утилизировать текущие отходы, неизбежно образующиеся на промышленных предприятиях.

Таблица 1

Основные физико-химические параметры магнийсодержащих флюсов

Марка флюса	Химический состав, %					Прочность, МПа
	MgO	CaO	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	C	
PN-FL-60	60–62	3–5	7–9	4–5	-	≥35
Dalslag P71	70–72	1–4	6–9	1–3	2–4	≥30
SOM 60	58–62	4–7	≤	1–3	-	≥35
ФОМ	60–65	5–7	≤	7–9	-	≥30
SNC-65	65–67	7–9	≤	3–5	-	≥25
БК-4	50–55	17–20	≤8	1–3	6–7	15–18
БК-8	58–60	15–17	≤8	1–3	6–7	15–18

Ввиду отсутствия собственных магниесодержащих ископаемых и производств огнеупоров в регионе актуальной является переработка накопленных боя огнеупоров. Все эти материалы могут быть эффективно использованы в качестве удешевляющих наполнителей при производстве флюсов для металлургической отрасли. Поэтому актуальной задачей является внедрение процесса торкретирования конвертера торкрет-массой собственного производства.

Основной *целью* данной работы являлась разработка состава новой торкрет-массы собственного производства для ремонта футеровки конвертера.

Объект исследования — футеровка кислородного конвертера.

Предмет исследования — торкрет-масса для торкретирования футеровки кислородного конвертера.

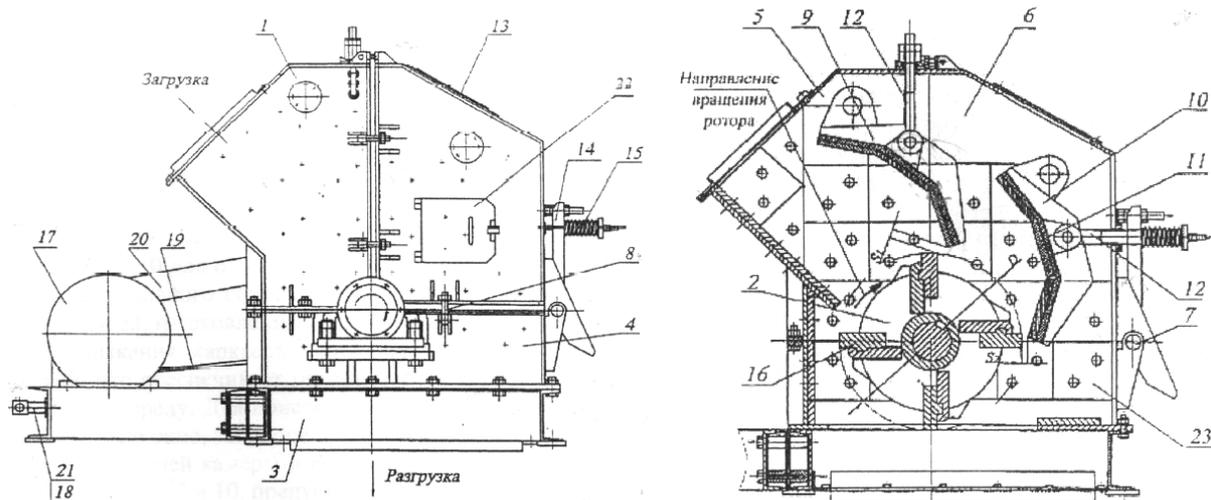
Основная *задача*, решаемая в исследованиях, заключалась в выборе эффективного состава торкрет-массы для торкретирования футеровки конвертера.

Для повышения стойкости рабочего слоя футеровки кислородного конвертера

ККЦ ООО «ЮГМК», экономии торкрет-масс и оптимизации технологии торкретирования была исследована целесообразность использования для торкрет-масс бывших в употреблении магниесодержащих изделий (периклазовые, периклазоалюмоуглеродистые и периклазоуглеродистые).

Дробление боя огнеупоров производили на роторной дробилке с диаметром ротора 400 мм и длиной рабочей части ротора 400 мм (ДР 4×4), представленной на рисунке 3.

Химический состав полученного после дробления материала определяли с использованием сканирующего рентгенофлуоресцентного спектрометра Simultix 12 и рентгеновского спектрометра ARL9900, имеющих предел измерения от 0,0001 (ppm) до 100 %, а стандартное отклонение 0,01–0,001. Химический анализ торкрет-массы представлен в таблице 2. Обработку экспериментальных данных производили на ПЭВМ с использованием стандартных пакетов прикладных программ Microsoft Excel.



1 — корпус; 2 — ротор; 3 — рама; 4 — основание; 5 — каркас неподвижный; 6 — каркас откидной; 7 — ось; 8 — болты откидные; 9, 10 — плита отражательная; 11, 23 — плита защитная; 12, 21 — винт регулировочный; 13 — крышка; 14 — упор; 15 — пружина амортизирующая; 16 — било; 17 — привод; 18 — устройство натяжное; 19 — передача клиноременная; 20 — ограждение привода; 22 — дверка

Рисунок 3 — Схема дробилки ДР 4×4

Таблица 2
Химический состав шихтовых материалов
и конечных продуктов обработки

Массовая доля, %					
Cr ₂ O ₃	MgO	CaO	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃
6,23	34,6	1,38	27,5	5,96	21,2

Анализ результатов химического состава торкрет-массы показал, что в процессе измельчения в дробилку попадают не только периклазовые, периклазохромитовые и хромитопериклазовые изделия, но и некоторое количество шамотных огнеупоров, содержащих до 28 % SiO₂.

Для исследования эффективности использования торкрет-массы, полученной из бывших в употреблении огнеупоров, были проведены предварительные плавки с нанесением торкрет-слоя на футеровку конвертера.

Технологические операции торкретирования футеровки кислородного конвертера состояли из нескольких основных этапов:

- на дробильно-измельчительной машине периклазовые, периклазоалюмоуглеродистые и периклазоуглеродистые огнеупорные изделия, бывшие в употреблении, измельчались до фракции «–5» мм;

- приготавливалась смесь жидкого стекла с водой в пропорции 1:2 до достижения плотности 1,12–1,15 г/см³. Данная смесь использовалась в качестве связующего для лучшей адгезии торкрет-массы;

- сжатым воздухом торкрет-масса, раствор жидкого стекла и воды подавались к выходу из сопла торкрет-установки где происходило их смешивание;

- слой торкрет-массы наносился на футеровку возвратно-поступательными движениями.

Результаты опытных плавки представлены в таблице 3 и свидетельствуют о том, что:

- оптимальный расход применяемой торкрет-массы на одну операцию торкретирования составляет около 520 кг, при этом достигнута наилучшая стойкость нанесенного торкрет-слоя (5 плавки);

- при визуальном осмотре отскок (скол) данной торкрет-массы от футеровки соста-

вил до 40 %, при этом установлено, что качество торкретирования зависело от наличия в массе крупных зерен (до 15 мм).

По результатам опытных плавки и оценки эффективности предложенной технологии было установлено, что:

- для полноценной замены 1 т покупной торкрет-массы необходимо применение 4 т массы собственного производства и 320 кг жидкого стекла;

- наиболее оптимальным решением является использование торкрет-массы, состоящей из 80 % покупной смеси и 20 % собственного производства.

Анализ полученных опытных данных позволил установить, что для получения 4 т торкрет-массы с наилучшими показателями качества необходимо измельчить смесь (бой магнетитовый — 2,0 т, или 46,3 %, и бой периклазоуглеродистый — 2,0 т, или 46,3 %) до фракции «–5» мм и добавить жидкое стекло в количестве 0,32 т (7,4 %).

Экономическая эффективность от частичной замены (до 20 %) торкрет-массы LR-XBL-80 массой собственного производства составляет около 18 тыс. руб/т.

Проведенные исследования показали возможность использования боя магниесодержащих огнеупоров для изготовления торкрет-масс, наносимых на рабочий слой футеровки конвертера с целью повышения его стойкости. Реализация предложенной технологии в производственных условиях показала высокую эффективность при коэффициенте замены торкрет-массы LR-XBL-80 на массу собственного производства 1:4, а также улучшение экологии и ресурсосбережение за счет рециклинга бывшего в употреблении огнеупорного кирпича.

Таблица 3
Результаты опытных плавки

№ опыта	Расход торкрет-массы, кг	Стойкость торкрет-слоя, плавки
1	460	4
2	520	5
3	480	4
4	300	3

В ходе дальнейших исследований предполагается более качественное разделение бывших в употреблении огнеупоров перед измельчением на соответствующие группы

и исследование эффективности использования других связующих с целью улучшения свойств торкрет-массы и повышения стойкости торкрет-слоя.

Библиографический список

1. Пути достижения стойкости футеровки конвертеров более 5000 плавов / В. Ф. Дьяченко, [и др.] // *Сталь*. 2007. № 2. С. 51–53.
2. Опыт эксплуатации и комплексная технология ухода за футеровкой конвертера / В. А. Шеремет [и др.] // *Новые огнеупоры*. 2006. № 1. С. 4–7.
3. Fengjun Z. Slag splashing for protection the converter lining // *Shanghai jinshu — Shanghai Metals*. 1999. Vol. 21. №. 5. P. 40-44.
4. Выплавка стали в 370-тонных кислородных конвертерах с использованием шлакообразующих материалов, содержащих оксид магния / Р. С. Тахаутдинов [и др.] // *Черные металлы*. 2002. № 1. С. 12–14.
5. Способ нанесения гарнисажа на футеровку конвертера : пат. 2632738 Российская Федерация. № 2109072 ; заявл. 10.05.16 ; опубл. 09.10.17, Бюл. № 28. 7 с.
6. Chigwedu C. Kempken J. Using slag splashing technology for low gunning rates and even lower refractory costs // *Stahl und Eisen*. 2006. № 126 (2). Pp. 19–26.
7. Протопопов Е. В., Айзатулов Р. С., Лаврик А. Н. Исследование особенностей формирования шлакового гарнисажа на футеровку кислородных конвертеров // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. 2002. № 7. С. 279–282.
8. Модификатор магнезимального состава для конвертерного шлака и способ его использования : пат. 2009 107 478 Российская Федерация. № 2404262 ; заявл. 02.03.09 ; опубл. 10.09.10, Бюл. № 25. 2 с.

© Проценко М. Ю., Куберский С. В., Завгородний С. Р.

© Анашкин А. А.

Рекомендована к печати к.т.н., доц. каф. МЧМ ДонГТУ Должиковым В. В., заместителем начальника ЦЛК ООО «ЮГМК» Тарасовым В. Н.

Статья поступила в редакцию 20.06.2023.

PhD in Engineering Protsenko M. Yu., PhD in Engineering Kuberskiy S. V., Postgraduate Zavgorodniy S. R. (Donbass State Technical University, Alchevsk, LPR, the Russian Federation),
Anashkin A. A. (OOO “YuGMK”, Alchevsk, LPR, the Russian Federation)

UTILIZATION EFFICIENCY OF BREAKAGE OF MAGNESITE REFRACTORIES IN THE GUNNING BODY COMPOSITION

The article investigates the possibility of increasing the durability of lining of the oxygen converter, which reduces the specific costs of refractories and technological repair-related downtime. To solve this problem, the gunning of oxygen converter is proposed with a gunning body of its own production obtained after grinding used-on periclase, periclase-aluminum-carbon and periclase-carbon refractories.

Key words: lining, gunning body, converter, periclase refractory, periclase-aluminum-carbon refractory, periclase-carbon refractory, grinding, liquid glass.

References

1. Diachenko V. F., Zakharov I. M., Ovsianikov V. G. Ways to achieve converter lining fastness over 5000 melts [Puti dostizheniya stojkosti futerovki konverterov bolee 5000 plavok]. *Stal*. 2007. No. 2. Pp. 51–53. (rus)

2. Sheremet V. A., Kekukh A. V., Troshchiy S. V. *Operating experience and integrated maintenance technology for converter lining [Opyt ekspluatatsii i kompleksnaya tekhnologiya uhoda za futerovkoj konvertera]*. *Novye ogneupory*. 2006. No. 1. Pp. 4–7. (rus)

3. Fengjun Z. *Slag splashing for protection the converter lining*. *Shanghai jinshu — Shanghai Metals*. 1999. Vol. 21. No 5. Pp. 40–44.

4. Takhautdinov R. S., Stepanova A. A., Sarychev A. V. *Steel smelting in 370-ton BOCs using slag-forming materials containing magnesium oxide [Vyplavka stali v 370-tonnyh kislородnyh konverterah s ispol'zovaniem shlakobrazuyushchih materialov, sodержashchih oksid magniya]*. *Chernye metally*. 2002. Pp. 12–14. (rus)

5. *The method of applying the skull on the converter lining: patent 2632738 RF. No. 2109072, submitted 10.05.16, published 09.10.17, bulletin No. 28. 7 p.*

6. Chigwedu C. Kempken J. *Using slag splashing technology for low gunning rates and even lower refractory costs*. *Stahl und Eisen*. 2006. № 126 (2). Pp. 19–26.

7. Protopopov E. V., Aizatulov R. S., Lavrik A. N. *Investigation of the features of a slag scull formation on lining of the oxygen converters [Issledovanie osobennostej formirovaniya shlakovogo garnisazha na futerovku kislородnyh konverterov]*. *Metallurgical and Mining Industry*. 2002. No. 7. Pp. 279–282. (rus)

8. *Modifier of magnesia composition for converter slag and method of its use: patent 2009 107 478 RF. No. 2404262, submitted 02.03.09, published 10.09.10, bulletin No. 25. 2 p.*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Проценко Михаил Юрьевич, канд. техн. наук, доцент, зав. каф. металлургии черных металлов Донбасский государственный технический университет, г. Алчевск, Луганская Народная Республика, РФ
e-mail: mikhailu4@yandex.ru

Куберский Сергей Владимирович, канд. техн. наук, профессор каф. металлургии черных металлов Донбасский государственный технический университет, г. Алчевск, Луганская Народная Республика, РФ
e-mail: Skuberskiy@yandex.ru

Завгородний Сергей Романович, аспирант каф. металлургии черных металлов Донбасский государственный технический университет, г. Алчевск, Луганская Народная Республика, РФ
e-mail: s-zavgorodni@mail.ru

Анашкин Александр Анатольевич, зам. нач. по механическому оборудованию кислородно-конверторного цеха ООО «Южный горно-металлургический комплекс», г. Алчевск, Луганская Народная Республика, РФ
e-mail: anashkin1081@mail.ru