

**К. Н. Шарандин¹, Г. Г. Немсадзе², д. т. н. А. Н. Смирнов³,
Р. А. Джоджуа², Д. В. Рябый¹ (✉)**

¹ Компания GIR-ENGINEERING Ltd, г. Днепр, Украина

² ПАО «ЗНВКИФ» «General Investment Resources», г. Киев, Украина

³ Физико-технологический институт металлов и сплавов
НАН Украины, г. Киев, Украина

УДК 666.76.001.8

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ГОРЯЧЕГО РЕМОНТА ФУТЕРОВКИ КОНВЕРТЕРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАЗРАБОТАННОЙ МАГНЕЗИАЛЬНОЙ МАССЫ МАРКИ GIR-RB-X КОМПАНИИ GIR-ENGINEERING

Выполнен анализ методов горячего ремонта участков опережающего износа рабочей футеровки конвертеров. Разработана методика оценки качества саморастекающейся магнезиальной подварочной массы на лабораторной печи роторного типа. Разработана ремонтная масса марки GIR-RB-X на основе вторичного сырья, позволяющая эффективно восстанавливать участки огнеупорной футеровки конвертера, подверженные опережающему износу. Проведены промышленные испытания саморастекающейся магнезиальной ремонтной массы на футеровках большегрузных конвертеров в условиях ПАО ДМК и ЧАО «МК «Азовсталь». Компанией GIR-ENGINEERING Ltd организовано серийное производство массы марки GIR-RB-X в ПАО КрОЗ.

Ключевые слова: конвертер, футеровка, магнезиальная масса, роторная печь, адгезия.

Одной из важнейших стратегий развития технологии конвертерного производства стали является достижение высокой стойкости рабочей футеровки, что соответствует минимальным удельным затратам на огнеупоры и исключает простои, связанные с ремонтами [1, 2]. Выбор оптимальной системы контроля футеровки в течение кампании формируется из технологических требований с целью снижения удельных затрат [3–5]. Оценивая перспективы развития рынка огнеупоров для сталеплавильного комплекса Украины, можно предположить дальнейшее развитие тенденции к снижению удельного расхода огнеупоров на 1 т стали за счет повышения эксплуатационной стойкости футеровок конвертеров. Об этом свидетельствуют показатели стойкости в Европе, Японии, Китае и США, в 1,5–2,0 раза и более превосходящие средние показатели, достигнутые в Украине.

Современные технологии позволяют осуществлять горячие ремонты футеровки конвертера без вывода ее из эксплуатации в ходе

рабочей кампании. Основные способы восстановления огнеупоров: торкретирование (полусухое, факельное), подварка (формованными изделиями, массами), раздувка конечного (модифицированного) шлака азотом [6–8]. Такие методы, как правило, непродолжительные (5–35 мин) и при значительной эффективности не нарушают ритмичность производственного процесса.

Известно, что огнеупорная кладка конвертера подвержена неравномерному износу. Это обусловлено целым рядом факторов, основными из которых являются коррозионное воздействие шлака и эрозионное воздействие циркуляционных потоков газо-шлако-металлической эмульсии. Ввиду особенностей гидродинамики конвертерного процесса [9, 10] и специфики его цикличности (завалка – пробоотбор – слив), т. е. постоянного кантования агрегата с продуктами плавки, формируются зоны опережающего износа футеровки. В основном это зоны нижнего конуса, цапф, слива и летки. Схема зональной кладки конвертера и пример топографии неравномерного износа футеровки показаны на рис. 1.

Существуют два основных метода ремонта наиболее сложных участков опережающего износа футеровки (зоны цапф и летки) — торкретирование (полусухое, факельное) и подварка саморастекающейся массой. Торкретирование осуществляется с использованием специально-



Д. В. Рябый

E-mail: dmitriy.ryabyi@gir.ua

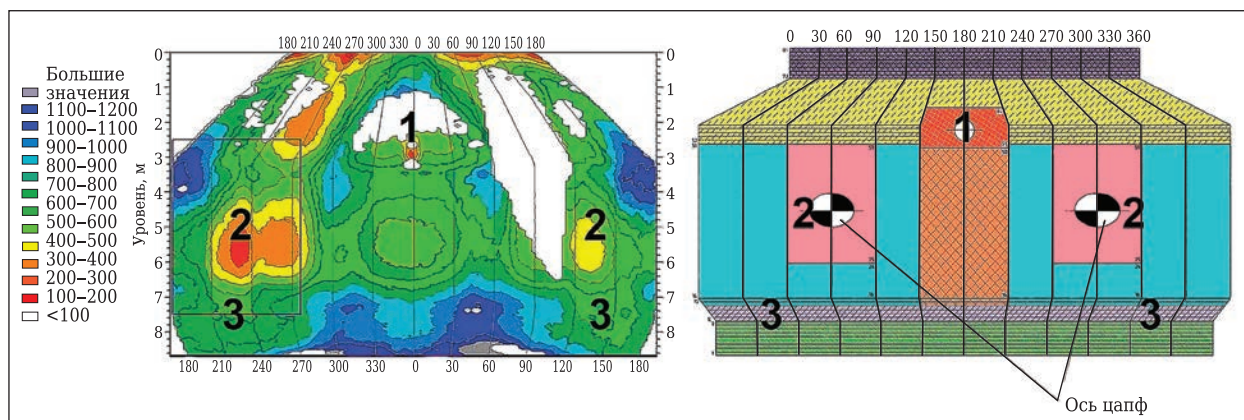


Рис. 1. Зональная футеровка 350-т конвертера (а) и пример неравномерности износа зон (б): 1 — летки; 2 — цапф; 3 — нижнего конуса. Цвет на топографии — остаточная толщина футеровки: синий — max, красный — min

го оборудования, требующего подготовки и настройки перед операцией, что влечет за собой значительные временные затраты (до 30–50 мин), нарушающие производственный график. Зачастую экономия времени (сокращение выдержки, снижение расхода массы) на подобной операции негативно влияет на качество ремонта и снижает стойкость восстановленного участка. Подварка — это способ восстановления наиболее изношенного локального участка футеровки конвертера саморастекающимися магнезиальными массами. Он является наиболее перспективной альтернативой торкретированию, так как не требует специального оборудования и подготовки персонала. Конвертер после слива продуктов плавки кантуется в сторону слива или завалки, в зависимости от зоны износа. Саморастекающаяся подварочная масса забрасывается на ремонтируемый участок вручную либо из ломозавалочного совка. За счет своих специфических свойств подвижности в температурном интервале спекания масса равномерно заполняет место износа. При определенной выдержке (10–20 мин) материал спекается в прочный огнеупорный конгломерат и приваривается к футеровке с образованием так называемой латки — подварки. Производство магнезиальной подварочной массы на базе недефицитных вторичных ресурсов Украины и ближнего зарубежья представляется весьма рентабельным.

Компанией GIR-ENGINEERING проведен детальный анализ рынка вторичного магнезиального сырья Украины, подходящего для производства саморастекающейся подварочной массы. Основные шихтовые материалы для разработки и производства массы — лом периклазовых, периклазоуглеродистых, периклазохромитовых изделий. Подобные материалы представлены на рынке в достаточном количестве, а также являются техногенными отходами металлургических предприятий, нуждающимися в утилизации.

На основании доступной отечественной сырьевой базы специалистами компании GIR-

ENGINEERING разработана рецептура саморастекающейся подварочной магнезиальной массы марки GIR-RB-X. Основными качественными показателями разработанной массы являются:

- гранулометрический состав (фракции мельче 8 мм), подобранный специально для обеспечения максимально плотной укладки зерновой составляющей после спекания;
- химический состав (содержание MgO 80–85 мас. % на прокаленное вещество, обеспечивающее максимальную эрозионную стойкость после спекания);
- связующие компоненты (смесь органических и неорганических смол, кислот и солей), обеспечивающие жидкоподвижность массы в заданном интервале температур, регулирующие время спекания, придающие заданную механическую прочность конгломерату.

Разработана методика для проверки и оптимизации физико-химических свойств подварочной массы. Эксперимент проводили в нагревательной печи роторного типа [11]. Схема и внешний вид экспериментальной установки представлены на рис. 2.

Методика экспериментальных исследований была разделена на три этапа. *Первый этап* — подготовка огнеупоров к операции подварки. В полости печи расплавляли шлакометаллическую эмульсию. Температура жидкой ванны 1630 °C. Принудительный износ внутреннего пространства осуществлялся вращением печи вокруг своей оси с частотой 10–12 об/мин. Неравномерности износа внутреннего пространства добивались наклоном печи относительно горизонтальной оси. Продолжительный контакт рабочей поверхности со шлакометаллической эмульсией (3,5 ч) имитировал эрозионный и коррозионный износ периклазоуглеродистой футеровки с инфильтрацией жидких продуктов плавки в огнеупор, что в достаточной степени соответствовало механизмам износа в реальных условиях конвертерной плавки.

Второй этап — заполнение ремонтной массой зоны опережающего износа, т. е. подварка

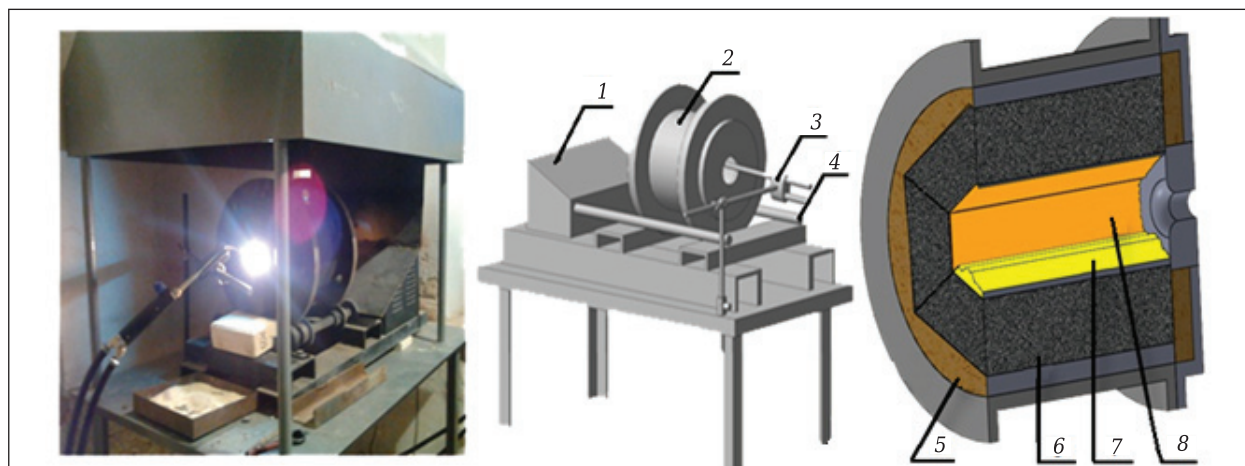


Рис. 2. Общий вид (а) и схема установки (б, в) экспериментального стенда печи роторного типа: 1 — двигатель; 2 — корпус печи; 3 — газОВО-кислородная горелка; 4 — приводной вал; 5 — теплоизоляция; 6 — периклазоуглеродистая футеровка (конвертерные огнеупоры); 7 — подварочная масса марки GIR-RB-X; 8 — рабочая поверхность огнеупора (пропитка продуктами плавки)

изношенной зоны разработанной массой GIR-RB-X (рис. 3). Перед засыпкой массы в полость печи продукты плавки сливали. Температура рабочего пространства после слива плавки составляла 1450 °С. Массу подавали по течке во внутреннее пространство на изношенный участок футеровки. Расход массы на операцию составил 0,5 кг. Проверку подвижности массы оценивали при вращении печи вокруг горизонтальной оси реверсом в две стороны на 45 град. Заполнение изношенного участка происходило равномерно, без преждевременного спекания массы. Затем печь возвращали в исходное положение и выдерживали в течение 15 мин до полного прогрева навески и спекания (рис. 4, а). Степень адгезии массы после спекания к поверхности оценивали вращением печи вокруг горизонтальной оси. Масса спеклась в плотный монолит с футеровкой, не осыпалась и не отслаивалась.

Третий этап — повторный разогрев печи до рабочей температуры 1630 °С для испытания эрозионной и коррозионной стойкости подварочной массы. После оценки адгезионных свойств и скорости спекания рабочее пространство повторно разогревали до температуры конвертерной плавки. При этом в рабочее пространство загружали новые порции металла и шлака до формирования жидкоподвижной ванны (1/3 внутреннего объема печи) 4–5 кг. Непрерывное вращение печи с шлакометаллической эмульсией продолжалось в течение 1 ч для имитации эрозионного и коррозионного износа конгломерата подварки. Далее продукты плавки вновь сливали из печи. Внешний вид и остаточное количество подварочной массы после повторного разогрева и износа шлакометаллической эмульсией показаны на рис. 4, б. После качественной оценки поведения подварочной массы, степени

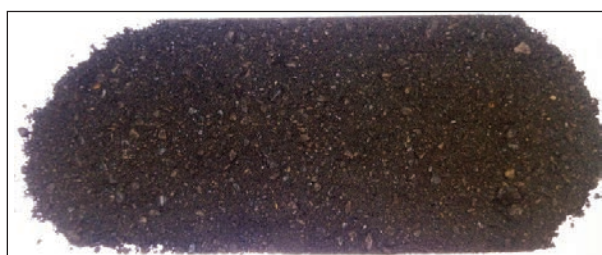


Рис. 3. Магнезиальная ремонтная масса марки GIR-RB-X (экспериментальный образец)

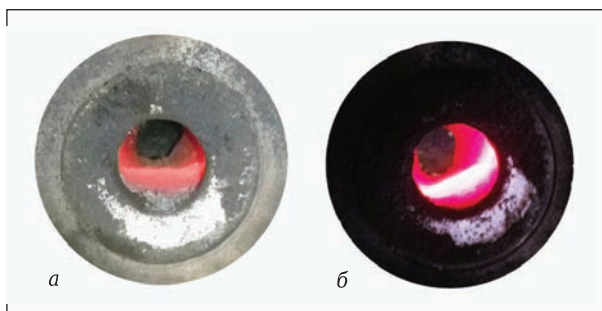


Рис. 4. Равномерное заполнение изношенного участка (а) и подварка после повторного разогрева и эрозионно-коррозионного износа (б)

ее адгезии к периклазоуглеродистому кирпичу, времени спекания и коррозионно-эрозионной устойчивости печь охлаждали до комнатной температуры. Далее футеровку демонтировали и отделяли навеску спеченной массы от поверхности огнеупора.

После механической подготовки образца подварки-конгломерата производили замер предела прочности при сжатии на лабораторном прессе. Данный параметр составил 38,5 МПа, что в полной мере удовлетворяет производствен-

ным требованиям и соответствует показателю зарубежных аналогов. Образец подварочной массы имеет плотную структуру, что также подтверждается количеством крупных фрагментов после разрушения на прессе (рис. 5).

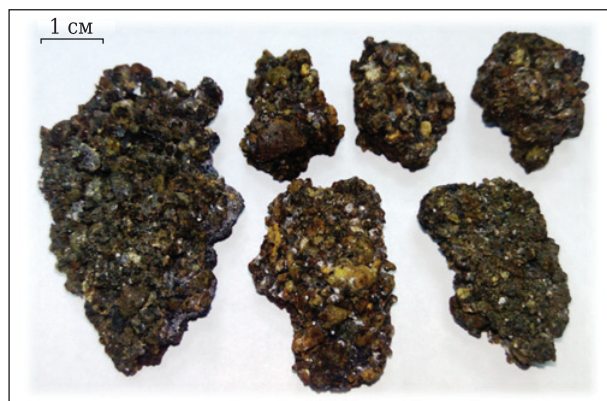


Рис. 5. Образец конгломерата массы марки GIR-RB-X после разрушения на прессе

На производственной площадке компании GIR-ENGINEERING в условиях ПАО КрОЗ получена опытная партия магнезиальной подварочной массы марки GIR-RB-X в количестве 10 т. Физико-химические показатели магнезиальной подварочной массы марки GIR-RB-X представлены в таблице. Основным компонентом при производстве массы являлось вторичное сырье, т. е. отходы металлургического (бой периклазового, периклазоуглеродистого и периклазохромитового кирпича) и огнеупорного производства. Компания GIR-ENGINEERING располагает специально оборудованной линией для производства сухих смесей, включающей в себя бункерную эстакаду (16 бункеров), шнековую систему подачи и автоматического дозирования, а также смесители принудительного действия типа Eirich (рис. 6).

По состоянию на конец 2018 г. проведены промышленные испытания массы GIR-RB-X в условиях двух металлургических комбинатов

Основные физико-химические свойства массы марки GIR-RB-X

Показатель	Норма для марки GIR-RB-X	Методы контроля
Массовая доля общей влаги W , %, не более	5	ГОСТ 22939.2
Гранулометрический состав, мм	<8	ДСТУ 3210
Массовая доля, %:		
MgO, не менее	75	ДСТУ 3305.8 (ГОСТ 2642.8)
C, не менее	10	ГОСТ 23581.9
Предел прочности при сжатии (после спекания 1600 °C), МПа, не менее	35	ГОСТ 4071.1-94



Рис. 6. Технологическая линия компании GIR-ENGINEERING по производству сухих огнеупорных смесей

ПАО ДМК и ЧАО «МК «Азовсталь» в количестве 3 т на каждом, результаты которых показали, что подварочная масса при попадании на футеровку конвертера возгоралась, после выдержки спекалась; удельный расход подварочной массы составил 0,089 кг/т при нормативном 0,092 кг/т. Отмечена удовлетворительная адгезия материала к рабочему слою футеровки и равномерность образования подварочного конгломерата. Стойкость подварочного слоя, выполненного с использованием массы марки GIR-RB-X, составила 30 плавов, что соответствует стойкости базовых поставщиков. Масса марки GIR-RB-X рекомендована к использованию в условиях ЧАО «МК «Азовсталь» и ПАО ДМК.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании доступной отечественной сырьевой базы специа-

листами компании GIR-ENGINEERING разработана рецептура саморастекающейся, подварочной магнезиальной массы марки GIR-RB-X, а также методика для проверки и оптимизации ее физико-химических свойств, включающая три основных этапа: подготовку огнеупорных образцов к операции подварки, заполнение ремонтной массой зоны опережающего износа (операция подварки), испы-

тание эрозионной и коррозионной стойкости подварочной массы.

Проведены промышленные испытания массы в условиях ПАО ДМК и ЧАО «МК «Азов-сталь» в количестве 3 т. Результаты испытаний положительны, использование массы рекомендовано, о чем свидетельствуют соответствующие заключения предприятий.

Библиографический список

1. **Смирнов, А. Н.** Перспективы развития рынка огнеупоров для сталеплавильного комплекса Украины / А. Н. Смирнов // *Металлургический компас. Украина - Мир*. — 2010. — № 4. — С. 16–23.
2. **Аксельрод, Л. М.** Развитие производства огнеупоров в мире и в России, новые технологии / Л. М. Аксельрод // *Новые огнеупоры*. — 2011. — № 3. — С. 106–120.
3. **Сердюков, А. А.** Современная футеровка для крупных кислородных конвертеров / А. А. Сердюков, А. Ф. Тонкушин, А. Н. Смирнов // *Металлы и литье Украины*. — 2010. — № 9/10. — С. 4–7.
4. **Аксельрод, Л. М.** Повышение стойкости футеровки конвертеров: огнеупоры, технологические приемы / Л. М. Аксельрод, А. П. Лаптев, В. А. Устинов, Ю. Д. Геращук // *Металлы и литье Украины*. — 2009. — № 1/2. — С. 9–15.
5. **Немсадзе, Г. Г.** Повышение стойкости футеровки кислородных конвертеров: монография / Г. Г. Немсадзе, К. Н. Шарандин. — Донецк: GIR-INTERNATIONAL - Норд Пресс, 2014. — 135 с.
6. **Смирнов, А. Н.** Повышение стойкости футеровки и совершенствование методов обслуживания современных большегрузных конвертеров / А. Н. Смирнов, А. Ф. Тонкушин, А. А. Сердюков, К. Н. Шарандин // *Бюл. научно-технической и экономической информации. Черная металлургия*. — 2012. — № 6. — С. 26–30.
7. **Смирнов, А. Н.** Моделирование элементов процесса нанесения гарнисажного покрытия на рабочий слой футеровки конвертера / А. Н. Смирнов, К. Н. Шарандин, А. Ю. Лизун // *Изв. вузов. Черная металлургия*. — 2012. — № 11. — С. 43–48.
8. **Шарандин, К. Н.** Технология раздувки конечного шлака азотом в большегрузных конвертерах с использованием магнезиального модификатора / К. Н. Шарандин // *Металл и литье Украины*. — 2018. — № 5/6. — С. 19–26.
9. **Смирнов А. Н.** Физическое моделирование металла в конвертере с комбинированной продувкой / А. Н. Смирнов, Е. Н. Лебедев, К. Н. Шарандин // *Изв. вузов. Черная металлургия*. — 2010. — № 9. — С. 23–27.
10. **Смирнов, А. Н.** Физическое моделирование взаимодействия встречных газовых струй при комбинированной продувке в конвертере / А. Н. Смирнов, Е. Н. Лебедев, К. Н. Шарандин [и др.] : сборник. Инновационные способы внепечной обработки стали и чугуна. Донецк, 2011. — С. 176–181.
11. **Смирнов, А. Н.** Роторная печь для сравнительной оценки эрозионной стойкости огнеупорных изделий тепловых агрегатов / А. Н. Смирнов, Г. Г. Немсадзе, К. Н. Шарандин [и др.] // *Новые огнеупоры*. — 2018. — № 4. — С. 145–148.

Smirnov, A. N. Rotary furnace for comparative evaluation of heating unit refractory object erosion resistance / A. N. Smirnov, G. G. Nemsadze, K. N. Sharandin [et al.] // *Refract. Ind. Ceram.* — 2018. — Vol. 59, № 2. — P. 227–230. ■

Получено 16.01.19

© К. Н. Шарандин, Г. Г. Немсадзе, А. Н. Смирнов, Р. А. Джоджуа, Д. В. Рябый, 2019 г.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ

THERM PROCESS



Thermoprocess 2019 — международная выставка и симпозиум по оборудованию и технологиям термической обработки

25–29 июня 2019 г.

Messe Düsseldorf, г. Дюссельдорф, Германия

Тематика

- термическая обработка (обжиг, кальцинация, прокаливание, спекание, агломерация)
- плавка, литье (обработка в жидкой фазе)
- нагрев, термическая и поверхностная обработка
- покрытие, присоединение, соединение
- технологии термической переработки и обезвреживания отходов
- термические процессы под защитным и реакционным газом
- выработка тепла
- термическое оборудование для регенерации ценных веществ и термическое дожигание

www.thermoprocess.de