

## Технология раздувки конечного шлака азотом в большегрузных конвертерах с использованием магниезиального модификатора

*Выполнены исследования процесса нанесения гарнисажа на рабочую поверхность футеровки конвертера. Изучены основные механизмы, сопровождающие формирование гарнисажного слоя. Разработана методика оценки эффективности использования добавочных материалов.*

*По результатам лабораторных исследований разработан флюс-модификатор на основе вторичного сырья, позволяющий изменять свойства конечного конвертерного шлака для формирования устойчивого гарнисажа на рабочей поверхности футеровки.*

*Проведены промышленные испытания партии магниезиального модификатора в условиях сталеплавильных цехов, оборудованных большегрузными конвертерами.*

**Ключевые слова:** конвертер, футеровка, конечный шлак, магниезиальный модификатор, адгезия, гарнисажное покрытие, стойкость.

**В**ажнейшей стратегией развития технологии эксплуатации конвертеров и сталеразливочных ковшей является достижение высокой стойкости рабочей футеровки, что соответствует минимальным удельным затратам на огнеупоры и исключает простои, связанные с ремонтами [1–3].

Выбор оптимальной системы ухода за футеровкой в течение кампании формируется, в конечном счете, из соображений снижения удельных затрат (на 1 т стали) и технологических требований [3, 4].

Одной из наиболее эффективных и относительно малозатратных технологий по снижению скорости износа огнеупорной кладки является раздувка подогретого конечного шлака азотом.

Разработанная, как известно, в США технология раздува шлака в кислородном конвертере заключается во вдувании азота высокого давления через верхнюю фурму с целью разбрызгивания шлака на поверхность футеровки [3]. Этот защитный слой препятствует прямому контакту огнеупорных изделий футеровки с жидким металлом и шлаком в течение плавки, предотвращая окисление углерода и эрозию периклазоуглеродистых огнеупоров. Вся операция раздува шлака азотом занимает не более 3–4 мин.

Для эффективной технологии раздувки шлак необходимо модифицировать специальными магниезиальными материалами, повышающими его вязкость и придающими необходимые физические свойства [5, 6]. Ввод флюса осуществляется, как правило, до подачи азота и/или на первых секундах раздувки, одновременно либо порционно.

В настоящее время существует серьезная практическая необходимость в разработке и производстве оптимальных синтетических сталеплавильных флюсов с повышенным содержанием оксидов магния определенных физико-химических свойств и структуры, характерных для конкретных производственных условий, преимущественно на основе недефицитного сырья и техногенных отходов.

Особого внимания заслуживает сырье, относящееся к т. н. отходам добычи и производства доломита, магнезита и огнеупорной продукции на территории Украины и стран ближнего зарубежья, а так же лом периклазоуглеродистого кирпича (конвертеры, ковши и т. д.) имеющийся в значительных количествах на каждом металлургическом предприятии.

Известно, что основные жидкие шлаки при температурах сталеплавильных процессов (~ 1600 °С) имеют кажущуюся вязкость на уровне 0,05–0,15 Па·с [7]. При этом характерной особенностью таких шлаков является возможность течения по поверхности огнеупоров с такой же температурой. Следовательно, присутствие твердых частиц во взвешенном состоянии в шлаке обеспечивает его гетерогенность и замедление течения по поверхности огнеупора. Тогда с использованием фазовых диаграмм при заданных температурах всегда можно получить равновесные составы жидких фаз шлакового расплава и определить долю присутствующих твердых фаз. В таком случае, имея представление о «необходимом» химическом и фазово-минералогическом составе гарнисажного шлака, существует возможность управления этим составом посредством ввода специально разработанного модификатора.

Регулирование количества и качества как легкоплавкой, так и тугоплавкой составляющей во флюсе, учитывая конкретные условия эксплуатации конвертера, позволяет добиться высокой тугоплавкости защитного слоя и, как следствие, его большой стойкости.

Для разработки специальных магниезиальных модифицирующих добавок с параллельным определением физико-химических свойств гарнисажного покрытия разработана оригинальная комплексная методика, представленная на рис. 1.

Присадка модифицирующих добавок осуществляется на жидкий конвертерный шлак, разогретый до 1600 °С, с оценкой времени и характера растворения с предварительным и последующим замером вязко-

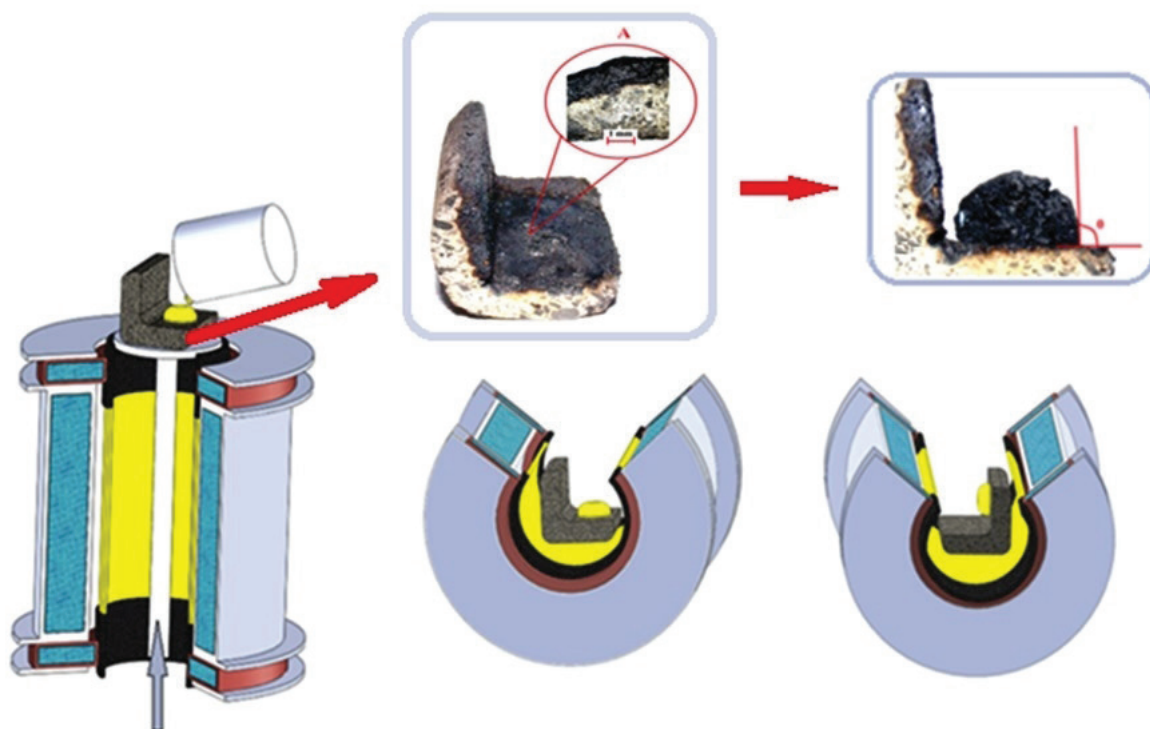


Рис. 1. Методика определения краевого угла смачивания и степени адгезии шлака к огнеупорному образцу

сти расплава. Образцы конечного шлака отбирались с 10 промышленных плавов, периодичностью один раз в смену, в условиях конвертерного цеха ПАО «Алчевский металлургический комбинат» (АМК). Химический состав усредненной навески шлака, используемой в опытных исследованиях, представлен в табл. 1.

Так, на заранее подготовленный (обжиг, шлаковая пропитка) образец (уголок), нагретый до температуры футеровки агрегата  $1400^{\circ}$ , помещалась капля жидкого модифицированного шлака. После чего производился замер краевого угла смачивания, как критерия адгезии.

После этого, уголок с «лежащей» каплей возвращали в горизонтальную печь, где оценивали температурный интервал плавления капли гарнисажного покрытия. Для этого образец в положении «подложка» нагревали до температуры футеровки в процессе плавки, а затем переворачивали на  $90^{\circ}$  в положение – «стенка», после этого визуально оценивалось поведение гарнисажа с параллельным повышением температуры.

На рис. 2, в качестве примера, показана высокая тугоплавкость и адгезия подготовленного образца гарнисажа.

Установлено, что главным параметром, определяющим смачивание шлаком периклазового материала, является содержание в шлаке FeO. При содержании FeO более 21,0 %

угол смачивания шлаком (с содержанием MgO – 5 %) поверхности периклаза менее  $18^{\circ}$ , а при снижении концентрации FeO до 5 % смачивание изменяется на отрицательное, а угол смачивания достигает величины более  $90^{\circ}$  (рис. 3).

Трансформация химического состава шлака с увеличением содержания в нем MgO вызывает ухудшение смачивания периклазового материала, причем степень повышения угла смачивания сильно зависит от окисленности шлака. Так, при содержании оксида железа 22 % увеличение концентрации MgO от 5 до

Таблица 1

**Химический состав конечного («повалочного») конвертерного шлака – усредненная навеска**

Содержание основных элементов, %						
CaO	SiO <sub>2</sub>	MgO	Fe <sub>общ.</sub>	MnO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	(CaO+MgO) / SiO <sub>2</sub>
46,3	15,6	5,2	22,0	1,4	1,7	3,30

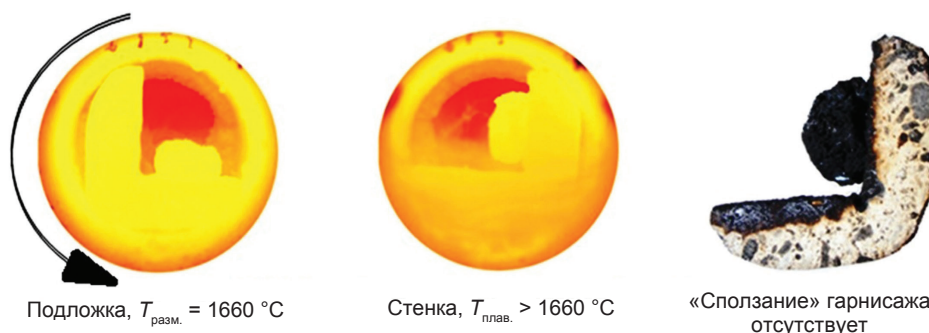
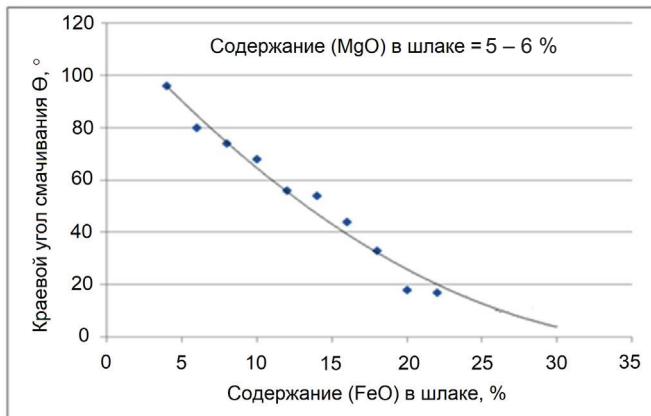


Рис. 2. Образец конечного шлака, модифицированного флюсом марки «БК-4», в качестве гарнисажного слоя



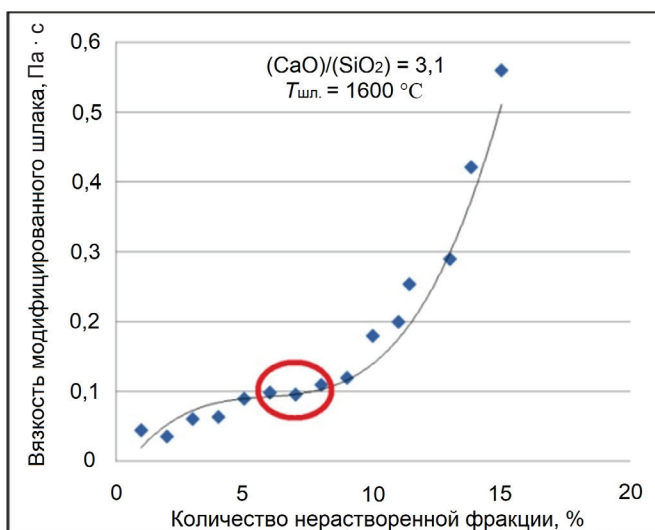
**Рис. 3.** Зависимость краевого угла смачивания от содержания (FeO) в шлаке

12 % вызывает изменение угла смачивания от 10 до 28 – 45° (смачивание остается положительным), при содержании FeO около 15 %мас. аналогичное повышение концентрации MgO приведет к изменению угла до величины ~ 87°. При этом эффект смачивания практически отсутствует.

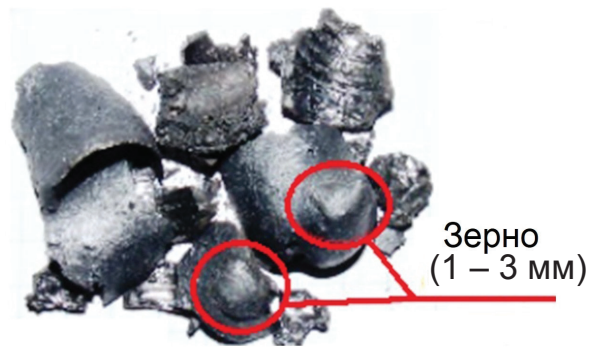
В совокупности с обеспечением краевого угла смачивания ( $\theta$ ), который характеризовал эффективное «скрепление» гарнисажа с поверхностью футеровки, удалось достичь высокой огнеупорности защитного слоя. Разработанный модификатор, в данном случае, выполнял роль полидисперсного наполнителя в виде 2-х фракций, что позволило достигнуть большей концентрации твердой фазы, по сравнению с монодисперсным наполнением, при постоянной вязкости [8, 9]. Так, наряду с «удовлетворительной» вязкостью расплава, достигнуто большое количество тугоплавких (и труднорастворимых) фаз в объеме гарнисажа.

На рис. 4 представлена экспериментальная зависимость вязкости конечного конвертерного шлака от количества диспергированной твердой фазы («зерен»).

Установлено, что с повышением количества диспергированной твердой (нерастворенной) фракции в шлаке, его вязкость растет. При достижении 6–8 %



**Рис. 4.** Зависимость вязкости подготовленного шлака от количества нерастворенных «зерен» (%мас.)



**Рис. 5.** Образец подготовленного (модифицированного) шлака. Недорастворенные фракции (зерна) в остывшем гарнисаже

«зерновой фазы» шлак имеет «удовлетворительную» вязкость для выполнения операции набрызгивания. Тогда как, с увеличением количества «зерен» более 10 %, наблюдается резкое повышение вязкости, связанное с его резкой гетерогенизацией.

На всех этапах разработанной лабораторной методики осуществляли отбор проб исследуемых образцов шлака для их оценки на предмет химического и минералогического анализа (рис. 5).

На основании выполненных исследований сформулирован концептуальный подход к физико-химическим свойствам флюсов-модификаторов, предназначенных непосредственно для наведения шлака под раздувку «на гарнисаж». Так, труднорастворимые компоненты магнийсодержащих материалов, в количестве 65–35 %мас., по меньшей мере, 80 % которых имеют фракцию 2–6 мм, доставляются и равномерно распределяются во всем объеме шлакового расплава в первые секунды продувки азотом. Это достигается за счет присутствия в материале легкорастворимых, мелкодисперсных компонентов, которые способствуют рассредоточению присаживаемых компонентов. Эти компоненты при контакте со шлаком быстро ассимилируются (растворяются), повышая содержание MgO в шлаке. Такое соотношение труднорастворимых и легкорастворимых компонентов приводит к образованию значительного количества тугоплавких ферритных фаз в подготавливаемом шлаке и формированию прочного «скелета» в остывшем гарнисажном покрытии за счет нерастворенных фракций – «зерен» [10–11].

В начале 2014 г. на производственном активе компании ООО «ГИР-Интернешнл» произведена опытная партия магнезиального модификатора марки «БК-4» в количестве 180 т. Материал производился в соответствии с патентом Украины № 99248 [11]. Основными компонентами при производстве модификатора являлось вторичное сырье, то есть отходы металлургического (бой магнезиального, периклазового и периклазоуглеродистого кирпича) и огнеупорного производства (отсевы и отходы производства доломита).

Основные физико-химические показатели магнезиального модификатора марки «БК-4» представлены в табл. 2.

## Основные физико-химические свойства модификаторов конечного шлака

Наименование показателя	Норма для марки	Методы контроля
	БК-4	
1. Массовая доля общей влаги W, % не менее	5	ГОСТ 22939.2
2. Механическая прочность на сбрасывание, % не менее	90	ГОСТ 21289
3. Массовая доля кусков размером менее 5 мм на партию, % не более	10	ГОСТ 2093-82
4. Массовая доля оксида магния MgO, % не менее	65,4	ГОСТ 2642.8
5. Массовая доля оксида CaO, % не менее	21,2	ГОСТ 23581.16
6. Потери массы при прокаливании (п.п.), %	11,3	ГОСТ 2642.2-86
7. Размер брикета, мм	40×40×30	-

Брикетирование магниезиально-доломитовой смеси производили методом полусухого вибропрессования на органическом связующем. Общий вид производенной продукции представлен на рис. 6.

Опытная партия магниезиального модификатора марки «БК-4» в количестве 180 т произведена для условий КЦ ПАО «АМК» с учетом специфики производства. При проведении промышленных исследований, с целью подбора альтернативных шлакообразующих материалов при выплавке стали в конвертерах № 1 и 2, отработывалась технология подготовки конечного конвертерного шлака под раздувку азотом с использованием опытной партии магниезиального брикетированного флюса марки «БК-4» производства ООО «ГИР-Интернешнл» в количестве 180 т.

Исследования проводились в соответствии с производственной программой ПАО «АМК», а именно р. п. № 4-ОГ-1-2013-31, пункты 5.1 и 8.2 «Дорожной карты по повышению стойкости футеровок конвертеров до 6000 пл.».

Испытания проводились в условиях стабильной шихтовки плавки и технологии выплавки стали по действующей нормативно-технической документации ПАО «АМК» на конвертерах № 1 и 2, выполненных из огнеупоров фирм «RH1» и «Puyang».

Геометрические размеры внутреннего рабочего пространства конвертеров, то есть соотношение  $H/D$ , обуславливают характерные зоны футеровки, подверженные опережающему износу в условиях ККЦ ПАО «АМК» – «подцапфенные карманы». Технология раздувки шлака азотом высокого давления выполнялась в соответствии с требованиями технологической инструкции ТИ 05757665-КЦ2-03-2011 и ВТК № 05757665-2-289-2014. При этом высота положения верхней фурмы принималась постоянной  $L_{ф.} = 1,5$  м при магистральном давлении азота  $P_{N_2} = 21$  ати. Такой режим, в конечном счете, обеспечивал максимальное, равномерное нанесение гарнисажа вдоль всей внутренней поверхности футеровки от нижнего до верхнего конуса (цилиндрическая часть, в том числе цапфы и «подцапфенные карманы»).

Поступивший в КЦ в биг-бэгах (по 0,8 т каждый) магниезиальный модификатор марки «БК-4» с помощью крана перемещали на конвертерную площадку. Присадку порции модификатора в конвертер на



Рис. 6. Брикетированный флюс-модификатор марки «БК-4», размер 40×30 мм

оставшийся после выпуска плавки шлак осуществляли с использованием завалочной машины, из совка.

Поступающие данные химического анализа повалочного шлака, температуры выпуска, а также расхода шлакообразующих материалов по ходу продувки позволяли в оперативном порядке управлять процессом модифицирования шлака перед раздувкой.

Упаковочная тара в биг-бэги по 0,8 т (до 1 т) являлась безальтернативной для опытной партии модификатора «БК-4», продиктованная условиями транспортной логистики и бункерного хозяйства для партий малых объемов. Поэтому управление массовым расходом материала определялось количеством оставшегося конечного шлака в конвертере, после его слива на повалке. При этом определяющими параметрами модифицирования оставались содержание FeO и MgO в шлаке. Количество оставшегося, после слива шлака колебалось в пределах 15–17 т.

Средний расход опытного модификатора марки «БК-4» составил 0,8 т/операцию. С использованием материала непосредственно на конечный шлак проведено 214 плавки, с расходом 171,2 т.

Для оценки изменения содержания MgO в конечном шлаке при использовании опытного материала, а так же определения минералогического состава на всех плавках, осуществлялся отбор проб гарнисажа после присадки флюса «БК-4».

В результате анализа проб модифицированного шлака установлено, что присадка магниезиального

модификатора марки «БК-4» на конечный шлак в количестве 0,8 т (6–8 % от массы шлака) обеспечивает оптимальное содержание MgO – 7–9 % (в среднем 8,62 %) для эффективной раздувки. При этом формирование тугоплавких ферритных фаз и наличие непрореагировавших «зерен» фракцией 1–3 мм в объеме гарнисажа формируют прочный («армированный») защитный слой.

На рис. 7 представлена минералогическая картина пробы гарнисажного слоя с непрореагировавшей «зерновой» фракцией периклаза размером 2 мм.

Одним из основных факторов оценки эффективности использования опытного модификатора марки «БК-4» был характер и время растворения порции материала.

В результате исследований отмечена хорошая ассимиляция брикетов в шлаковом расплаве (в течение ~ 2 минут), что способствовало быстрому загущению остаточного шлака.

При этом повышение жидкоподвижности конечного шлака (перед вводом опытного материала), путем кратковременного его раздува кислородом в течение 10–15 секунд, позволило значительно повысить скорость растворения флюса – до 30–40 секунд. При этом время, затрачиваемое на всю операцию раздувки, сокращалось в среднем в 1,4 раза, с 4,2 мин до 3 мин, соответственно.

Обработанный магниезальным флюсом конечный шлак хорошо раздувался при выполнении операции газодинамического торкретирования (раздувки шлака азотом). По визуальной оценке состояния гарнисажного покрытия отмечена его равномерность по всей внутренней поверхности футеровки от нижнего конуса до горловины.

В период испытания опытной партии осуществлялся постоянный мониторинг состояния футеровки и динамики образования гарнисажного покрытия

посредством визуальных наблюдений – фото-фиксации и лазерного сканирования остаточных толщин.

По результатам наблюдений установлено, что на поверхности футеровки образуется равномерный, устойчивый защитный гарнисаж толщиной от 60 до 80 мм. Стойкость такого защитного покрытия составляла 3–5 плавов.

Необходимо отметить, что стойкость гарнисажа из шлака немодифицированного, либо модифицированного альтернативными материалами, колебалась в пределах 1–3 плавки.

На рис. 8 и 9 представлены сравнительные сканограммы изменения состояния футеровки конвертера № 1 (стойкость 2266 пл. и 2810 пл., соответственно) при регулярном (через 3–5 плавков) проведении операции по раздувке шлака азотом.

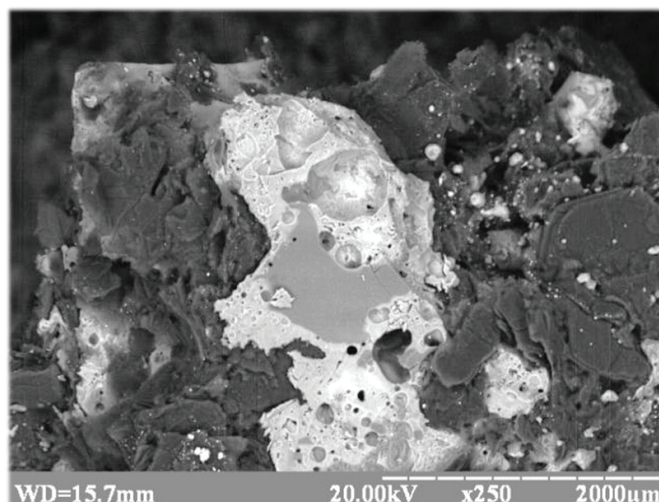


Рис. 7. Минералогическая макроструктура. Нерастворенное «зерно» периклаза размером 2 мм в объеме гарнисажного слоя. Увеличение в 250 раз

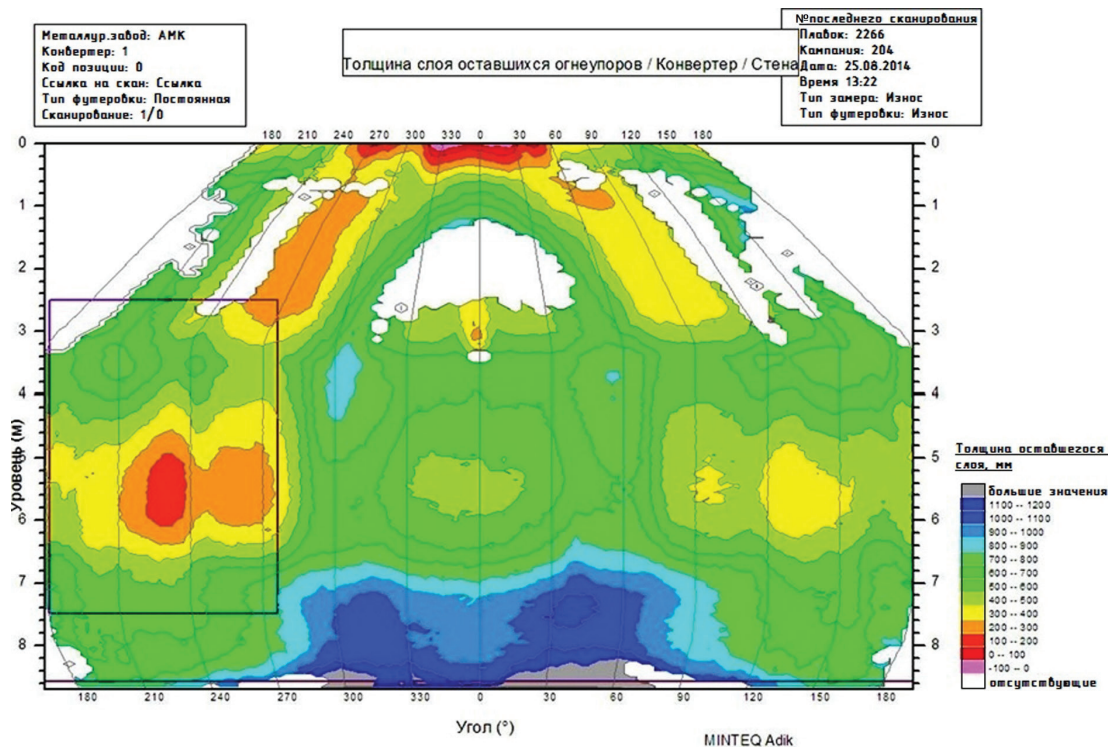
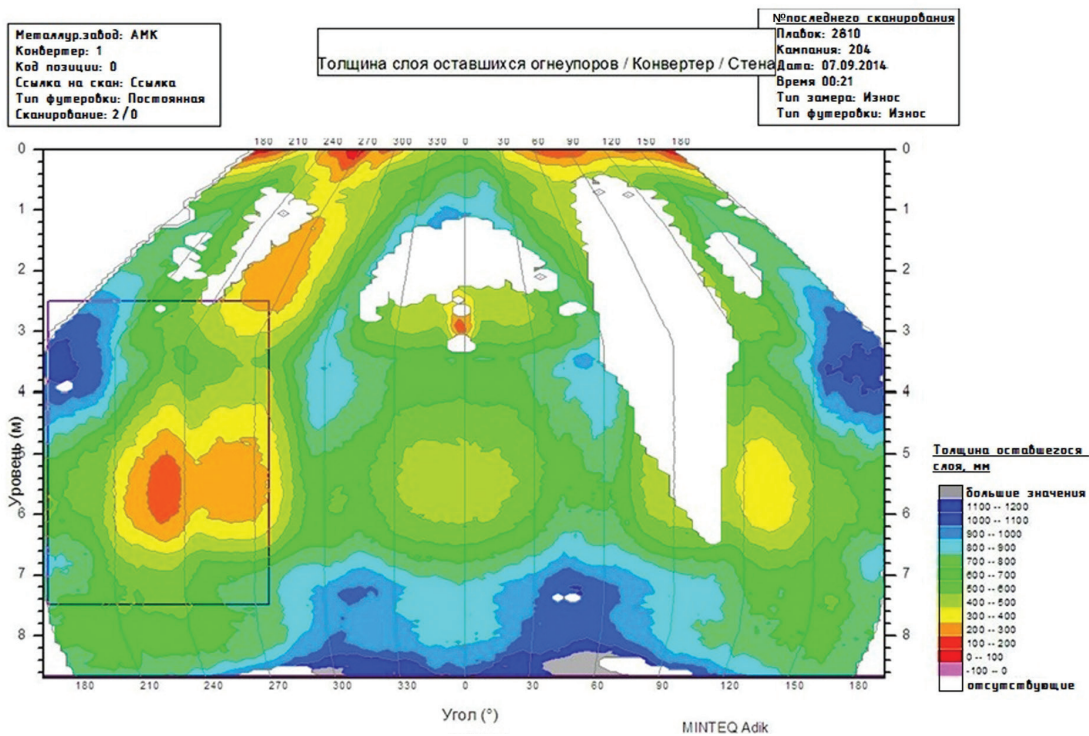


Рис. 8. Сканограмма остаточных толщин рабочей футеровки конвертера № 1 со стойкостью 2266 пл. до использования опытного модификатора конечного шлака марки «БК-4»



**Рис. 9.** Сканограмма остаточных толщин рабочей футеровки конвертера № 1 со стойкостью 2310 пл. на заключительном этапе использования опытного модификатора конечного шлака марки «БК-4»

При сравнении представленных рис. 8 и 9 видно увеличение толщины стен футеровки за счет образования на поверхности шлакового гарнисажа со стороны повалки, с 600–800 мм до 800–1100 мм и уменьшение площади опережающего износа кладки в зоне проблемных «подцапфенных карманов».

## Выводы

Для эффективной технологии раздувки шлак необходимо модифицировать специальными магниезиальными материалами, повышающими его вязкость и придающими необходимые физические свойства.

Установлено, что главными параметрами, определяющими эффективное смачивание шлаком периклазового материала, является содержание в шлаке FeO на уровне 13–15 % и MgO – 7–8 %. Показано, что при содержании 6–8 % «зерновой фазы», шлак имеет «удовлетворительную» вязкость для выполнения операции набрызгивания.

Сформулирован концептуальный подход к физико-химическим свойствам флюсов-модификаторов, предназначенных непосредственно для наведения шлака под раздувку «на гарнисаж». Так, труднорастворимые компоненты магниесодержащих материалов, в количестве 0,65–0,35 % мас., по меньшей мере, 80 % которых имеют фракцию 2–6 мм, обеспечивают формирование тугоплавкого скелета в объеме гарнисажного покрытия.

В условиях КЦ ПАО «АМК» проведены успешные испытания магниезиального модификатора марки «БК-4» производства и поставки компании ООО «ГИР-Интернешнл» в количестве 180 т. В ходе испытаний отработана технология эффективного модифицирования шлака под раздувку азотом с постоян-

ным расходом «БК-4» в 800 кг/операцию, что соответствует 2,3 кг/т стали.

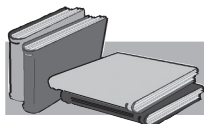
Применение магниезиального модификатора марки «БК-4» в количестве 0,8 т/операцию позволяет повысить содержание MgO в шлаке до оптимальных 7–9 % и вносит труднорастворимые фракции («зерна») размером 2–6 мм, которые в совокупности с формированием тугоплавких ферритных фаз обеспечивают армирующий «скелет» в объеме гарнисажного слоя.

В результате непрерывного мониторинга гарнисажеобразования и сканирования остаточных толщин рабочей футеровки, зафиксировано равномерное нанесение защитного гарнисажа толщиной 60–80 мм со стойкостью до 5 пл.

Достигнута стойкость гарнисажного слоя в 3–5 пл. с использованием опытного модификатора марки «БК-4», против 1–3 пл. с использованием известных флюсов.

Использование разработанного материала позволяет снизить необходимость поддержания высокого, на уровне 9–12 %, содержания MgO в шлаке за счет использования в процессе завалки и по ходу продувки высокомагнезиальных флюсов. Так, установлено, что для обеспечения условий образования устойчивого гарнисажа при применении брикетированного флюса «БК-4», оптимальным является содержание MgO в шлаке на уровне 7–9 %.

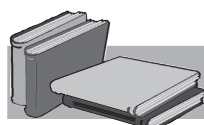
Повышение стойкости гарнисажного слоя в 1,6 раза и снижение содержания MgO в шлаке на 2–3 % обеспечивает снижение удельного расхода магниезиальных материалов в условиях КЦ ПАО «АМК» на ~ 3,5 кг/т стали, что соответствовало перспективному снижению удельных затрат на ~ 0,93 USD/т стали.



## ЛИТЕРАТУРА

1. Немсадзе Г. Г., Шарандин К. Н. Повышение стойкости футеровки кислородных конвертеров. Монография. – Донецк: GIR-INTERNATIONAL – Норд Пресс, 2014. – 135 с.
2. Смирнов А. Н., Шарандин К. Н., Лизун А. Ю. Моделирование элементов процесса нанесения гарнисажного покрытия на рабочий слой футеровки конвертера // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. – 2012. – № 11. – С. 43–48.
3. Аксельрод Л. М., Лаптев А. П., Устинов В. А., Геращук Ю. Д. Повышение стойкости футеровки конвертеров: огнеупоры, технологические приемы // Металл и литье Украины. – 2009. – № 1–2. – С. 9–15.
4. Сердюков А. А., Тонкушин А. Ф., Смирнов А. Н. Современная футеровка для крупных кислородных конвертеров // Металл и литье Украины. – 2010. – № 9–10. – С. 4–7.
5. Matti J. Luomala, Timo M. J. Fabritius. Physical Model Study of Selective Slag Splashing in the BOF // ISIJ International. – Vol. 42 (2002). – № 11. – P. 1219–1224.
6. Кутателадзе С. С. Анализ подобия и физические модели. – Новосибирск: Наука, 1986. – 297 с.
7. Гладкий В. Н. Вискозиметрия металлургических расплавов. – М.: Металлургия, 1989. – 164 с.
8. Суворов С. А., Козлов В. В. Проектирование образования гарнисажа на поверхности футеровки конвертера и оптимизация расхода модификатора // Новые огнеупоры. – 2011. – № 1. – С. 35–37.
9. Суворов С. А., Козлов В. В. Модификатор конвертерного шлака магнезиального состава для нанесения шлакового гарнисажа // Новые огнеупоры. – 2009. – № 4. – С. 48–49.
10. Serdiukov A. A., Tonkushin A. F., Smirnov A. N., Sharandin K. N. Modification of final BOF slag for the effective slag splashing technology // The 5th Baosteel Biennial Academic Conference 2013, B–12, pp. 371–376.
11. Патент № 99248 Україна, МПК C21C5/44, C21C5/36. Спосіб підготовки шлаку для нанесення гарнісажного покриття на футерівку конвертера / О. М. Смірнов, А. Ф. Тонкушин, А. О. Сердюков, К. М. Шарандін. – № а201204761; заявл. 17.04.2012; опубл. 25.07.2012. – Бюл. № 14/2012, 5 с.

Поступила 26.06.2018



## REFERENCES

1. Nemsadze, G.G., Sharandin, K.N. (2014). Increasing the stability of the lining of oxygen converters [Povyshenie stoikosti futerovki kislородnykh konverterov. Monografiia]. Donetsk: GIR-INTERNATIONAL – Nord Press, 135 p. [in Russian].
2. Smirnov, A.N., Sharandin, K.N., Lizun, A.Yu. (2012). Modeling elements of the process of laying the garnish cover on the working layer of the converter lining [Modelirovanie elementov protsessa nanesenii garnisazhnogo pokryt'ia na rabochii sloi futerovki konvertera]. Izvestiia vysshikh uchebnykh zavedenii. Chernaia metallurgii – News of higher educational institutions. Ferrous metallurgy, no. 11, pp. 43–48 [in Russian].
3. Aksel'rod, L.M., Laptev, A.P., Ustinov, V.A., Gerashchuk, Yu.D (2009). Increasing the stability of the lining of converters: refractories, technological methods [Povyshenie stoikosti futerovki konverterov: огнеупоры, tekhnologicheskie priemy]. Metall i lit'e Ukrainy, no. 1–2, pp. 9–15 [in Russian].
4. Serdiukov, A.A., Tonkushin, A.F., Smirnov, A.N. (2010). Modern lining for large oxygen converters [Sovremennaia futerovka dlia krupnykh kislородnykh konverterov]. Metall i lit'e Ukrainy, no. 9–10, pp. 4–7 [in Russian].
5. Matti J. Luomala, Timo M. J. Fabritius (2002). Physical Model Study of Selective Slag Splashing in the BOF. ISIJ International, Vol. 42 (2002), no. 11, pp. 1219–1224 [in English].
6. Kutateladze, S.S. (1986). Similarity analysis and physical models [Analiz podobii i fizicheskie modeli]. Novosibirsk: Nauka, 297 p. [in Russian].
7. Gladkii, V.N. (1989). Viscosimetry of metallurgical melts [Viskozimetriia metallurgicheskikh rasplavov]. Moscow: Metallurgii, 164 p. [in Russian].
8. Suvorov, S.A., Kozlov, V.V. (2011). Designing the formation of a garrison on the surface of the converter lining and optimizing the flow rate of the modifier [Proektirovanie obrazovaniia garnisazha na poverkhnosti futerovki konvertera i optimizatsiia raskhoda modifikatora]. Novye огнеупоры – New refractories, no. 1, pp. 35–37 [in Russian].
9. Suvorov, S.A., Kozlov, V.V. (2009). Modifier of converter slag of magnesia composition for slag casing [Modifikator konverternogo shlaka magnezial'nogo sostava dlia nanesenii shlakovogo garnisazha]. Novye огнеупоры – New refractories, no. 4, pp. 48–49 [in Russian].
10. Serdiukov, A.A., Tonkushin, A.F., Smirnov, A.N., Sharandin, K.N. (2013). Modification of final BOF slag for the effective slag splashing technology. The 5th Baosteel Biennial Academic Conference 2013, B–12, pp. 371–376 [in English].
11. Patent no. 99248 Ukraine, MPK C21C5/44, C21C5/36. Method for the preparation of slag for application of the skull coating at the converter lining [Sposib pidgotovky shlaku dlia nanesennia garnisazhnogo pokryt'ia na futerivku konvertera]. O. M. Smirnov, A. F. Tonkushin, A. O. Serdiukov, K. M. Sharandin, no. a201204761, zaiavl. 17.04.2012, opubl. 25.07.2012, Biul. no. 14/2012, 5 p. [in Ukrainian].

Received 26.06.2018

## Анотація

**К. М. Шарандін**, генеральний директор ТОВ «ГІР-Інжинірінг», e-mail: sharandin@gir.ua

ТОВ «ГІР-Інжинірінг», Дніпро, Україна

## Технологія роздувки кінцевого шлаку азотом у великовантажних конвертерах з використанням магнезійного модифікатору

*Виконано дослідження процесу нанесення гарнісажу на робочу поверхню футерівки конвертера. Вивчено основні механізми, які супроводжують формування гарнісажного шару. Розроблено методику оцінки ефективності використання додаткових матеріалів.*

*За результатами лабораторних досліджень розроблено флюс-модифікатор на основі вторинної сировини, що дозволяє змінювати властивості кінцевого конвертерного шлаку для формування стійкого гарнісажу на робочій поверхні футерівки.*

*Проведено промислові випробування партії магнезійного модифікатора в умовах сталеплавильних цехів, обладнаних великовантажними конвертерами.*

## Ключові слова

*Конвертер, футерівка, кінцевий шлак, магнезійний модифікатор, адгезія, гарнісажне покриття, стійкість.*

## Summary

**K. N. Sharandin**, CEO of LLC "GIR-Engineering", e-mail: sharandin@gir.ua

GIR-Engineering, LLC, Dnipro, Ukraine

## Final slag splashing technology in high capacity converters using magnesia flux

*The research of the process of skull forming on the working surface of the converter lining has been carried out. The main mechanisms accompanying the formation of the skull layer have been studied. A methodology for estimating the efficiency of the use of additional materials has been developed.*

*Based on the results of laboratory studies, a flux-modifier has been developed, based on secondary raw materials, which allow changing the properties of the final converter slag to form a stable skull on the working surface of the lining.*

*Industrial tests of the batch of the magnesia modifier under the conditions of steel-smelting shops equipped with high-capacity converters have been carried out.*

## Keywords

*Converter, lining, final slag, magnesia modifier, adhesion, skull layer, refractory lifetime.*