

Е.Н. Сигарев, д-р техн. наук, зав. кафедрой, e-mail: en_sigarev@ua.fm

Н.Н. Недбайло, аспирант

М.А. Кашеев, канд. техн. наук, доцент

Ю.В. Байдуж, аспирант

Днепропетровский государственный технический университет, г. Каменское, Украина

Совершенствование конструкции гарнисажной фурмы и технологии восстановления профиля рабочего пространства конвертера

В статье рассмотрены проблемы технологии ошлакования футеровки кислородного конвертера путем раздувки предварительно модифицированного магнезиальными добавками конвертерного шлака с использованием гарнисажных фурм.

Ключевые слова: профиль, фурма, футеровка, гарнисаж, конвертер, шлак, огнеупор.

Введение. Для стабилизации динамики фаз и дутьевого режима конвертерной плавки необходимым условием является обеспечение симметричности рабочего пространства кислородного конвертера в независимости от периода кампании агрегата по футеровке. На большинстве металлургических предприятий Украины, США, КНР применяются современные способы горячего ремонта футеровки конвертеров, в том числе путем раздувания модифицированного конечного конвертерного шлака с использованием специальных гарнисажных фурм [1, 2].

Как установлено исследованиями топографии износа футеровки по ходу кампании 250-т конвертеров конвертерного цеха ПАО «Днепропетровский меткомбинат» [3], осложнения в формировании равномерного по толщине слоя защитного шлакового гарнисажа и, соответственно, невозможность поддержания симметрии рабочего пространства (рис. 1, а), возникают вследствие опережающего износа футеровки в зонах 1 (рис. 1, б), расположенных в цилиндрической части агрегата между цапфенными зонами и зонами выпуска расплава и загрузки, на меридианах 50, 150, 215 и 310°.

В соответствии с принятой в цехе технологией нанесения шлакового гарнисажа, предварительно модифицированный присадками магнезиальных флюсов конечный конвертерный шлак раздувают сверхзвуковыми струями азота с использованием специальной гарнисажной 6-ти сопловой фурмы с сгруппированными по три в направлении цапфенных зон соплами Лаваля двух различных диаметров (рис. 2, а). Наконечник фурмы имеет два основных, размещенных симметрично в направлении цапф конвертера, сопла Лаваля с критическим ($d_{кр}$) и выходным ($d_{вих}$) диаметрами сопел 43 и 49 мм соответственно; четыре дополнительных сопла Лаваля с $d_{кр} = 37$ мм и $d_{вих} = 43$ мм соответственно. Угол наклона сопел к вертикальной оси фурмы составляет $\alpha_1 = 17^\circ 30'$ и в плане между осями соседних сопел по $\gamma_1 = 50^\circ$ (между соплами $d_{кр} = 37$ мм и $d_{кр} = 43$ мм), а между группами сопел – $\gamma_2 = 80^\circ$ соответственно.

Раздувку шлаковой ванны проводят с использованием ступенчатого режима перемещения гарнисажной фурмы по высоте (в диапазоне от 4-х на начальном этапе до 0,5 м над днищем конвертера в основной период операции) с расходом азота 600–800 м³/мин.

Постановка задачи. Необходимо отметить, что многолетнее использование специально разработанной для условий ПАО «Днепропетровский меткомбинат» гарнисажной фурмы не позволило полностью решить проблему неравномерности нанесения шлакового гарнисажа и развития несимметричности рабочего пространства по мере уменьшения толщины футеровки.

С целью определения изменения конфигурации профиля рабочего пространства и фактической толщины сформированного с использованием для раздувки шлака 6-ти сопловой фурмы (рис. 2, а) гарнисажного слоя, провели [3] последовательное сканирование профиля с использованием интерферометра *LaCam M007* (фирмы *Ferrotron Technologies GmbH*, Германия). Для повышения объективности оценки сканирование осуществляли как в первый период кампании 250-т конвертера по футеровке (500-я и 501-я плавки по футеровке – I-й этап), так и на завершающем этапе кампании (4010-я и 4131-я плавки – II-й этап сканирования).

С целью фиксации сканированием конфигурации исходного профиля рабочего пространства, перед началом конвертерных плавков № 500 и № 4130 (по футеровке), нанесение шлакового гарнисажа путем раздувки шлаковой ванны на футеровку не проводилось.

После выпуска стали и раздувки в течение 5–7 мин модифицированного присадками магнезиальных флюсов конечного шлака (с начальной массой 18,9 т / 20,1 т), с химическим составом, %: 45,3 / 49,1 CaO; 18,7 / 21,1 SiO₂; 6,9 / 7,3 MgO; 10,5 / 15,8 FeO (для I-го / II-го этапа сканирования соответственно), осуществляли повторное сканирование рабочего пространства для определения изменений в профиле рабочего пространства и расчета фактической толщины нанесенного на футеровку гарнисажного слоя.

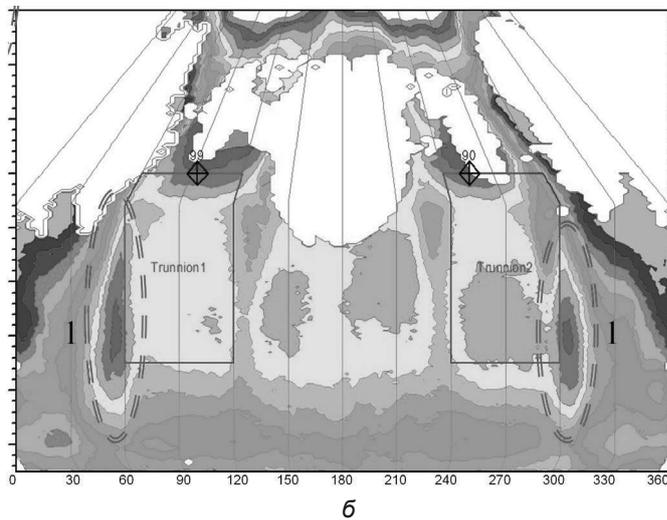
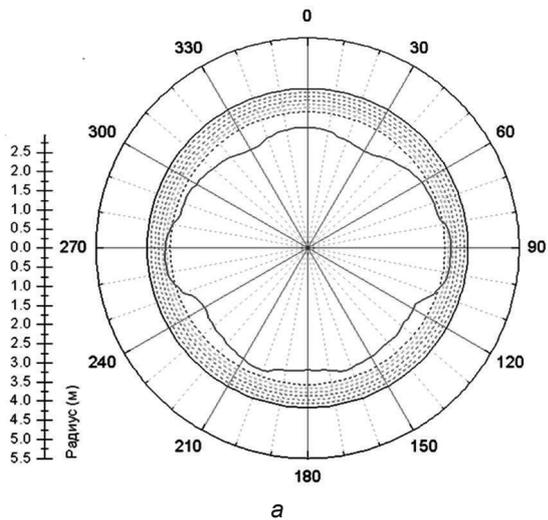
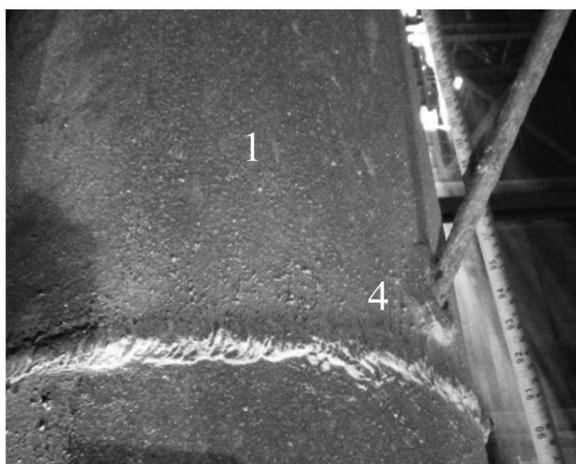


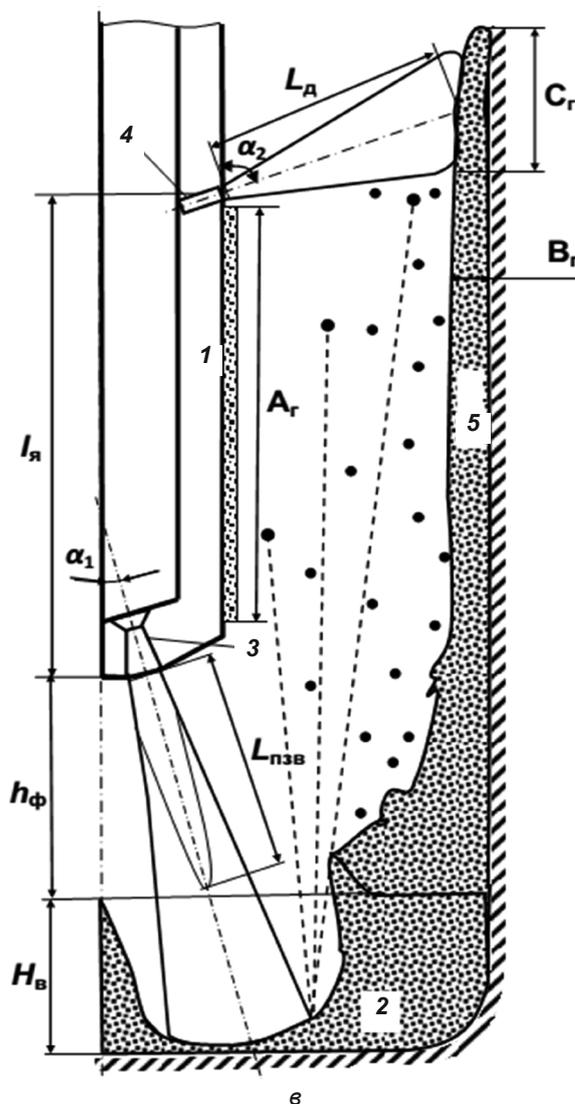
Рис. 1. Горизонтальное сечение профиля футеровки при использовании штатной 6-ти сопловой гарнисажной фурмы ПАТ «Днепропетровский меткомбинат» для нанесения шлакового гарнисажа (а) и выявленные по результатам сканирования зоны опережающего износа (1) футеровки (развертка конвертера) (б)



а



б



в

Рис. 2. Наконечник штатной гарнисажной фурмы (а), дополнительные цилиндрические сопла второго яруса фурмы (б) и схема раздувки шлаковой ванны (в): 1 – фурма; 2 – шлаковая ванна; 3 – сопла Лавалья наконечника фурмы; 4 – цилиндрические сопла второго яруса; 5 – гарнисажный шлаковый слой

Результаты проведенных исследований [3] показали, что толщина сформированного раздувкой шлаковой ванны гарнисажного шлакового слоя со-

ставляет 5–8 мм в районе горловины и 35–200 мм – в нижней части агрегата. Кроме того, установлено существование широкого диапазона значений толщины

гарнисажного слоя в различных зонах конвертера по радиусу рабочего пространства.

Расчетами, с использованием разработанной авторами данной статьи методики [4], определено, а в результате промышленных исследований подтверждено, что площадь нанесенного на поверхность футеровки «пятна» шлакового гарнисажа, ограничена сектором S_C и определяется количеством сопел Лавала в наконечнике фурмы, а высота гарнисажного «пятна» (ΔH), в соответствующем секторе, зависит от угла наклона сопел Лавала к вертикали.

Так, в соответствии с расчетами по методике [4], при расположении наконечника 6-ти сопловой фурмы (рис. 2, а) на высоте (h_{ϕ}) 4 м от днища конвертера, для нанесения на сектор S_C слоя гарнисажа толщиной 50 мм продолжительность раздувки должна составлять 3,3 мин. При расположении же фурмы на высоте 0,5 м толщина покрытия в 50 мм достигается раздувкой ванны продолжительностью уже в 5,9 мин. Последнее обстоятельство связано с изменением диаметров капель шлака, образующихся в реакционной зоне взаимодействия азотных струй со шлаковой ванной, с перемещением наконечника фурмы относительно уровня ванны.

Результаты исследований. Использование усовершенствованного, разработанного с применением методики [4], графика перемещения 6-ти сопловой фурмы по ходу операции раздувки ванны, не обеспечило решения задач по надлежащему «ошлакованию» выявленных «проблемных» зон (рис. 1) и восстановления симметрии рабочего пространства конвертера.

Решение поставленных задач в условиях конвертерного цеха ПАО «Днепропетровский меткомбинат» затруднено также ввиду отсутствия специального оборудования для локального торкретирования футеровки.

Кроме того, конструкция штатной гарнисажной фурмы (рис. 2, а) не предназначена для корректировки направления движения шлаковых капель, выносимых из шлаковой ванны под влиянием газовых струй из сопел Лавала наконечника.

Для решения задачи по восстановлению симметрии профиля рабочего пространства, с достижением необходимой толщины гарнисажного слоя в определенных, в том числе «проблемных» зонах (рис. 1, б) на поверхности футеровки, целесообразным представлялось использование дополнительных управляющих факторов воздействия на газшлаковый поток, с перенаправлением части потока в заданный сектор на стене агрегата.

К ограничениям при перенаправлении части газшлакового потока в заданный сектор рабочего пространства относили необходимость получения гарнисажного слоя заданной толщины за время, не превышающее продолжительность раздувки шлаковой ванны. Учитывали также перманентное охлаждение и уменьшение уровня ванны, с повышением вязкости шлакового расплава, и изменение условий для «наращивания» гарнисажного слоя по мере уменьшения толщины футеровки по ходу кампании [5].

В наиболее простом варианте перенаправление части газшлакового потока на стены конвертера можно обеспечить при наличии дополнительных (бо-

ковых) газовых потоков, направленных под определенным углом к потоку, например, с использованием двухъярусной фурмы.

Влияние угла наклона и диаметра дополнительных боковых сопел на площадь сектора S_C , высоту гарнисажного «пятна» (ΔH) и схема раздувки шлаковой ванны с использованием двухъярусной фурмы исследованы и получили развитие по результатам физического моделирования гидрогазодинамики процесса раздувки [6].

На основании результатов математического [5] и физического моделирования [6] была спроектирована, изготовлена и опробована на 250-т конвертере, в условиях конвертерного цеха ПАО «Днепропетровский меткомбинат», двухъярусная 10-ти сопловая гарнисажная фурма (рис. 2, б). Схема раздувки шлаковой ванны фурмой с дополнительными боковыми соплами представлена на рис. 2, в.

Согласно расчетам, выполненным по методике [4], при кинетической энергии струй, истекающих из сопел Лавала, в 38883,18 Дж и 9915,5 Дж (для сопел с критическим диаметром 0,043 м и 0,037 м соответственно), расход энергии на образование поверхности раздела «газ-шлак» не превышает 1,5 Дж. Таким образом, подавляющая часть энергии струй расходуется на дробление шлакового расплава и формирование обратного газшлакового потока с выносом капель шлака различного диаметра на поверхность футеровки, ствол фурмы и за пределы конвертера через горловину.

С учетом приведенного выше, штатная гарнисажная фурма (рис. 2, а) была модернизирована путем размещения второго яруса боковых сопел (рис. 2, б), расположенных на стволе на расстоянии 2–2,5 м (l_{ϕ}) от торца 6-ти соплового наконечника. Второй ярус фурмы состоит из 4-х цилиндрических сопел, выполненных из жаропрочной стали и расположенных под углом 115° к поверхности ванны.

При соотношении расхода азота между боковыми и основными соплами 10-ти сопловой фурмы (рис. 2, б) как 17 % и 83 % от общего расхода азота (600–800 м³/мин) на раздувку ванны, давление газового потока, истекающего из бокового сопла фурмы на обратный газшлаковый поток, в плоскости пересечения с последним, составит, Н:

$$F = K \cdot Q \cdot V^2 \cdot \rho, \quad (1)$$

где K – безразмерный коэффициент; Q – объемный расход азота на раздувку ванны, м³/с; V , ρ – скорость и плотность газовой струи, м/с и кг/м³ соответственно.

С учетом величины давления струй азота из боковых сопел на обратный газшлаковый поток и на поверхность футеровки определили, что расстояние, на которое давление боковой газовой струи способно переместить капли шлака, одного порядка с размерами рабочего пространства конвертера (рис. 3, а).

Расчетом площади сечения боковых струй, с учетом изменения длины окружности внутренней поверхности футеровки 250-т конвертера, при уменьшении толщины последней по ходу кампании, определили, что каплями шлака, перемещенного газовыми струями

(100–130 м³/мин), истекающими из боковых сопел второго яруса фурмы в направлении к стенам, будет покрываться от 29,5 до 46,98 % рабочей поверхности футеровки агрегата.

Проверку возможности перенаправления части газошлакового потока в заданные сектора рабочего пространства конвертера выполнили с использованием методики планирования эксперимента на модели 250-т конвертера, изготовленной в масштабе 1:13 [6].

Полученная обработкой результатов физического моделирования [6] математическая модель зависимости толщины слоя нанесенного шлакового гарнисажа (B_r) в области «проблемных» зон на стенах конвертера (рис. 1, б) от расстояния между ярусами сопел двухъярусной фурмы имеет вид:

$$B_r = -0,642 + 0,43 \cdot H_b - 0,1476 \cdot h_{\phi} + 0,1507 \cdot l_{\text{я}} - 0,067 \cdot H_b \cdot l_{\text{я}} + 0,0166 \cdot h_{\phi} \cdot l_{\text{я}}, \quad (2)$$

где H_b – глубина шлаковой ванны; h_{ϕ} – расстояние между наконечником фурмы и днищем конвертера; $l_{\text{я}}$ – расстояние между осями боковых сопел и торцом наконечника фурмы.

Наибольшая толщина гарнисажного покрытия, за один и тот же промежуток времени раздувки шлака, обеспечивается в режиме выноса газошлакового потока из ванны уменьшенной глубины, что может быть связано с образованием значительного количества мелких шлаковых капель [4] и благоприятными условиями их перемещения в направлении секторов S_c на стенах конвертера под давлением газового потока из сопел второго яруса фурмы.

Математическая модель зависимости ширины зоны покрытия шлаковым гарнисажом (C_r) в области «проблемных» зон футеровки конвертера от расстояния между ярусами сопел двухъярусной фурмы имеет вид:

$$C_r = -2,5825 + 6,0825 \cdot H_b + 0,0825 \cdot h_{\phi} + 0,168 \cdot l_{\text{я}} - 0,2475 \cdot H_b \cdot h_{\phi} - 0,1675 \cdot H_b \cdot l_{\text{я}}. \quad (3)$$

Ширина зоны в основном определяется глубиной шлаковой ванны и уменьшается по мере подъема

фурмы (рис. 3, б). Это объясняется увеличением диаметра реакционной зоны взаимодействия газовых струй, истекающих из сопел Лаваля, с ванной и перемещением границ обратного газошлакового потока в нижние горизонты рабочего пространства конвертера.

Таким образом, расчетами с использованием методики [4], полученными в ходе физического [6] и численного моделирования [5], и с использованием моделей (2) и (3) подтверждено, что при использовании газовых потоков, истекающих из дополнительных боковых сопел в направлении «проблемных» зон, существует возможность перенаправления части шлаковых капель, вынесенных из ванны, на стены агрегата. Это расширяет возможности для корректировки и изменения профиля внутреннего рабочего пространства конвертера путем создания гарнисажного слоя заданной толщины за ограниченный длительностью раздувки шлаковой ванны промежуток времени.

Конструкция гарнисажной двухъярусной фурмы (рис. 2, б) была использована в ходе опытно-промышленной кампании 250-т конвертера ПАО «Днепропетровский меткомбинат» для горячего ремонта футеровки по штатной технологии нанесения гарнисажного покрытия путем раздувки ванны конечного конвертерного шлака.

Продолжительность операции нанесения шлакового покрытия составила 4–7 мин, в зависимости от жидкоподвижности и количества конвертерного шлака, оставленного после выпуска стали. Осложнений в проведении ошлакования футеровки конвертера, соблюдении требований технологической инструкции при использовании двухъярусной гарнисажной фурмы (рис. 2, б) не выявлено.

Условия и результаты проведения горячего ремонта футеровки путем нанесения шлакового гарнисажа с использованием опытно-промышленной (рис. 2, б) и сравнительной (рис. 2, а) конструкций гарнисажных фурм приведены в таблице. Необходимо отметить, что в период задействования опытной двухъярусной фурмы (рис. 2, б) не использовали магнезиальные флюсы (п. 10 таблицы) для модифицирования конвертерного шлака перед раздувкой на футеровку.

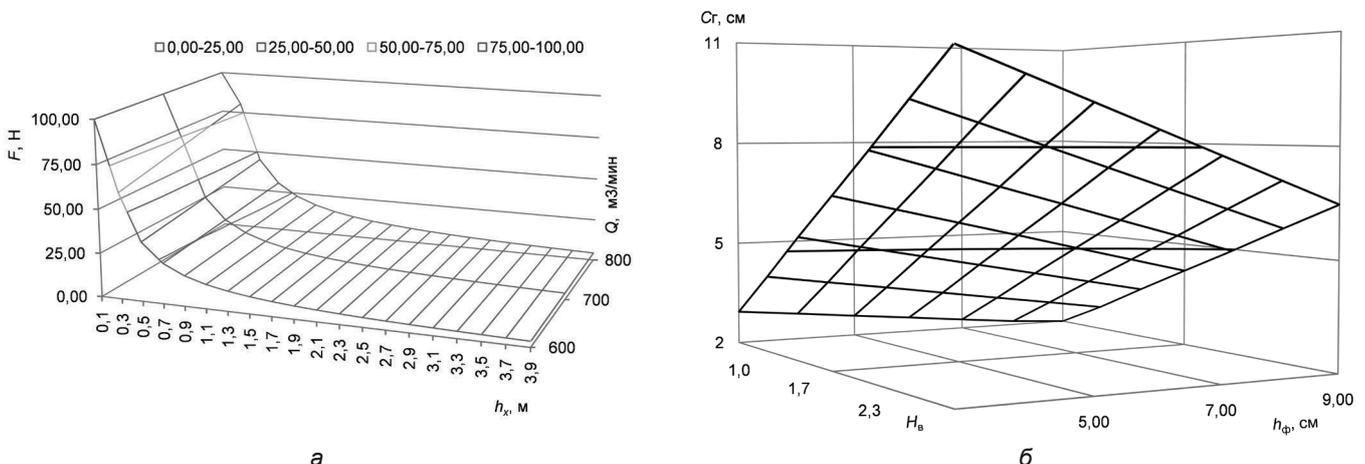


Рис. 3. Зависимость давления газовой струи, истекающей из бокового сопла второго яруса фурмы, (рис. 2, б) диаметром 20 мм по сечению газошлакового потока от расстояния от торца сопла (а) и ширина зоны покрытия шлаком «проблемной» зоны (рис. 1, б) на стене конвертера

Результаты исследовательской и сравнительной кампании 250-т конвертера

№	Показатель	Сравнительная кампания	Исследовательская кампания	Отклонение
1	Толщина футеровки (арматурный и рабочий слой), мм	1210	1080	- 130
2	Стойкость футеровки, плавов, в т.ч.:	3408	3731	+ 323
	– рабочего слоя	2480	2235	- 245
	– арматурного слоя	928	1496	+ 568
3	Интенсивность работы конвертера, пл./сутки	14,2	11,4	- 2,8
4	Продолжительность простоев конвертера, час	384	749	+ 365
5	% плавов с нанесением гарнисажа путем раздувки шлака	77,6	80,9	+ 3,3
6	Интенсивность износа футеровки, мм/пл., в т.ч.:			
	– в начальный период кампании по футеровке (до 800 плавки)	0,60	0,39	- 0,21
	– в основной период кампании	0,30	0,29	- 0,01
	– арматурного слоя	0,24	0,16	- 0,08
7	Характеристика конечного шлака перед раздувкой:			
	- среднее содержание (FeO), %, в т.ч.	15,9	15,2	- 0,7
	– с (FeO) > 20 %	11,8	2,8	- 9,0
	– с (FeO) < 8 %	0,7	0,9	+ 0,2
	- среднее содержание (MgO), %, в т.ч.	6,5	6,8	+ 0,3
	– с (MgO) < 8 %	85,6	27,8	- 57,8
8	Основность шлака, ед.	2,3	2,4	+ 0,1
9	Количество плавов, с температурой выпуска стали более 1700 °С, %	4,4	6,3	+ 1,9
10	Удельные расходы, кг/т:			
	– доломитизированной извести	65,3	66,8	+ 1,5
	– магнезиальных флюсов	0,564	0	- 0,564
11	Удельные расходы огнеупоров, кг/т	0,829	0,705	- 0,124
12	Удельные затраты на огнеупорные материалы для ремонта футеровки, %	100	93,99	- 6,01

Кроме того, начальная толщина футеровки конвертера в опытно-промышленной кампании была уменьшена на 130 мм, что, в соответствии с результатами моделирования [7], способствует «наращиванию» гарнисажного шлакового слоя.

Использование опытной фурмы и предложенной схемы раздувания шлаковой ванны (рис. 2, в), с обеспечением перенаправления части газшлакового потока, позволило наносить слой гарнисажного покрытия необходимой, в данном секторе, толщины, уменьшить вынос капель шлака через горловину конвертера и степень зашлакованности ствола фурмы.

Использование уменьшенной начальной толщины футеровки и расчетного [4, 7] алгоритма перемещения фурмы по ходу раздувки шлака расширяет возможности для корректировки и обеспечения симметрии рабочего пространства конвертера по футеровке (рис. 4, а, б) по ходу кампании.

После завершения первого этапа опытно-промышленной кампании на конвертере № 1 двухъярусная гарнисажная фурма была установлена также и на конвертере № 2 (после 2382 плавки по футеровке). На рис. 4, в представлен профиль футеровки 250-т конвертера (вертикальный разрез) на 2383 (1) и 2469 (2) плавках по футеровке.

Установлено, что при использовании для раздувки шлака штатной гарнисажной фурмы (рис. 2, а),

аварийное уменьшение толщины рабочего слоя футеровки было достигнуто уже на плавке № 2382 (по футеровке). После замены 6-ти сопловой фурмы на двухъярусную гарнисажную фурму (рис. 2, б) проведение раздувки шлака с перенаправлением части газшлакового потока в аварийные зоны позволило, в значительной степени, обеспечить к 2469 плавке рациональный профиль рабочего пространства конвертера (рис. 4, в) за счет управляемого «наращивания» гарнисажного шлакового слоя заданной толщины и его распределения по высоте агрегата.

Дальнейшее штатное использование предложенной конструкции фурмы (рис. 2, б) для ошлакования футеровки позволило в период как с 2469 до 2956 плавки (рис. 4, з), так и до завершения кампании, поддерживать рациональный профиль рабочего пространства конвертера.

Необходимо отметить, что при применении двухъярусных гарнисажных фурм (рис. 2, б), размывания нанесенного гарнисажного шлакового слоя в секторах пересечения газовых потоков из боковых сопел (рис. 2, в) и стен конвертера не обнаружено.

Предложенные конструкции фурм введены в штатную эксплуатацию в конвертерном цехе ПАО «Днепропетровский меткомбинат» с 2016 года.

При внедрении усовершенствованной конструкции гарнисажной фурмы и технологии нанесения

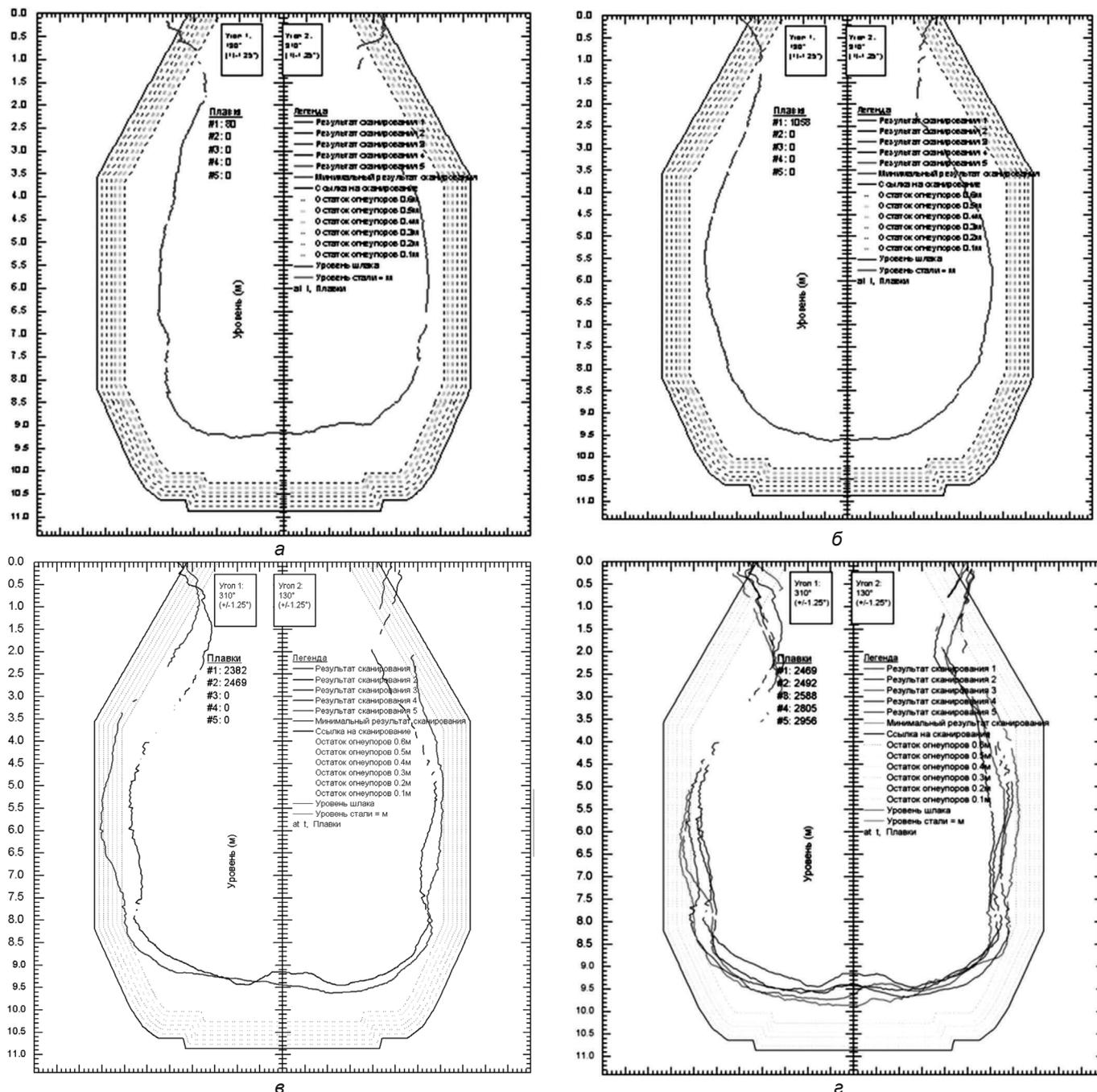


Рис. 4. Профиль рабочего пространства конвертера (а) до начала использования двухъярусной фурмы (рис. 2, б), скорректированный профиль в период использования двухъярусной фурмы (б), восстановление рационального профиля после аварийного уменьшения толщины футеровки (в) и поддержание рационального профиля по ходу кампании конвертера (г). Вертикальный разрез по меридиану 130°–310°. 1 – зона аварийного уменьшения толщины рабочего слоя футеровки после 2382 плавки; 2 – гарнисажный шлаковый слой на футеровке, сформированный в период с 2382 по 2469 плавку по футеровке

шлакового гарнисажа раздувкой шлаковой ванны в условиях конвертерного цеха ПАО «Днепропетровский меткомбинат» достигнут ресурсосберегающий и экономический эффект за счет:

- повышения производительности конвертеров вследствие уменьшения продолжительности простоев на горячий ремонт футеровки на 1,35 %;
- повышения стойкости футеровки конвертеров на 9,5 %;
- уменьшения расхода огнеупорных материалов, которые используются для горячего ремонта футеровки на 6,01 %.

Экономический эффект от применения усовершенствованной конструкции фурмы за 2016 г. составил 1,96 грн/т стали.

Выводы

Выводы

Предложена усовершенствованная технология проведения ошлакования футеровки путем раздувки шлаковой ванны и конструкция двухъярусной гарнисажной фурмы для корректировки и поддержания рационального профиля рабочего пространства кислородного конвертера.

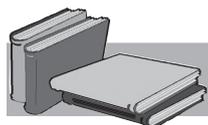
Разработана и внедрена в промышленную эксплуатацию конструкция двухъярусной фурмы с допол-

нительными боковыми соплами на стволе, предназначенными для перенаправления части обратного газшлакового потока, образующегося при раздувке шлаковой ванны азотными струями, на заданные «проблемные» зоны на футеровке. Использование двухъярусной гарнисажной фурмы для ошлакования футеровки не вызвало осложнений и не привело к размыванию нанесенного гарнисажного шлакового слоя в секторах пересечения газовых потоков из боковых сопел и стен конвертера.

Разработаны технологические рекомендации для проведения операции ошлакования футеровки

конвертера с учетом возможности формирования и поддержания рационального профиля рабочего пространства агрегата нанесением гарнисажного шлакового слоя заданной толщины.

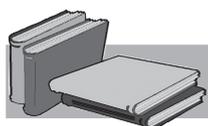
Обеспечено уменьшение интенсивности выноса шлака за пределы конвертера и степень зашлакованности ствола фурмы, сокращение удельных расходов огнеупорных материалов при увеличении стойкости футеровки.



ЛИТЕРАТУРА

1. Protopopov E.V., Chernyatevich A.G., Feiler S.V., Sigarev E.N. Applying slag coatings to the converter lining // *Steel in Translation*. – 2014. – Vol. 44. – № 6. – P. 403–407.
2. Chernyatevich A.G., Sigarev E.N., Chernyatevich I.V., Chubin K.I., Chubina E.A. New system for applying a slag coating to the converter lining // *Steel in Translation*. – 2017. – Vol. 47. – № 6. – P. 394–398.
3. Сигарев Е.Н., Сигарев Н.К., Семенова Д.А., Байдуж Ю.В. Топографирование поверхности футеровки конвертера // *Збірник наукових праць Дніпродзержинського технічного університету: (технічні науки)*. – Дніпродзержинськ: ДДТУ. – 2015. – Вип. 1 (26). – С. 19–24.
4. Сигарев Е.Н., Низяев К.Г., Сигарев Н.К., Недбайло Н.Н., Байдуж Ю.В. Определение параметров раздувки шлаковой ванны на футеровку конвертера // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2016. – № 3. – С. 31–36.
5. Сигарев Е.Н., Сокол А.Н., Недбайло Н.Н. Компьютерное моделирование теплового состояния системы «гарнисаж – футеровка» с учетом неравномерности ее толщины // *Математичне моделювання*. – 2016. – № 2 (35). – С. 70–73.
6. Сигарев Е.Н., Чернятевич А.Г., Недбайло М.М., Чернятевич И.В. Дослідження гідрогазодинамічних закономірностей нанесення шлакового гарнісажу на футеровку конвертера комбінованого дуття // *Теорія і практика металургії*. – 2015. – № 1, 2 (102–103). – С. 204–206.
7. Сигарев Е.Н., Сокол А.Н., Недбайло Н.Н. Компьютерное моделирование нанесения шлакового гарнисажа на футеровку конвертера при изменении положения фурмы // *Математичне моделювання*. – 2015. – № 1 (32). – С. 56–58.

Поступила 18.10.2018



REFERENCES

1. Protopopov, E.V., Chernyatevich, A.G., Feiler, S.V., Sigarev, E.N. (2014). Applying slag coatings to the converter lining. *Steel in Translation*, Vol. 44, no. 6, pp. 403–407 [in English].
2. Chernyatevich, A.G., Sigarev, E.N., Chernyatevich, I.V., Chubin, K.I., Chubina, E.A. (2017). New system for applying a slag coating to the converter lining. *Steel in Translation*, Vol. 47, no. 6, pp. 394–398 [in English].
3. Sigarev, E.N., Sigarev, N.K., Semenova, D.A., Bayduzh, Y.V. (2015). Topography of the converter liner surface. *Zbirnyk naukovykh prats' Dniprodzerzhyns'kogo tekhnichnogo universytetu (tekhnichni nauky)*. Dniprodzerzhyns'k: DDTU, Vol. 1 (26), pp. 19–24 [in Russian].
4. Sigarev, E.N., Nizyaev, K.G., Sigarev, N.K., Nedbailo, N.N., Bayduzh, Yu. V. (2016). Determination of the parameters of blowing the slag bath on the lining of the converter. *Metallurgical and mining industry*, no. 3, pp. 31–36 [in Russian].
5. Sigarev, E.N., Sokol, A.N., Nedbailo, N.N. (2016). Computer simulation of the thermal state of the “garbage-lining” system, taking into account the unevenness of its thickness. *Matematychnе modeliuвання*, no. 2 (35), pp. 70–73 [in Russian].
6. Sigarev, E.N., Chernyatevich, A.G., Nedbailo, N.N., Chernyatevich, I.V. (2015). Investigation of the hydrogazodynamic laws of applying a slag garrison on the lining of the combined blower converter. *Theory and practice of metallurgy*, no. 1, 2 (102–103), pp. 204–206 [in Ukrainian].
7. Sigarev, E.N., Sokol, A.N., Nedbailo, N.N. (2015). Computer simulation of the application of the slag skull to the lining of the converter with a change in the position of the lance. *Matematychnе modeliuвання*, no. 1 (32), pp. 56–58 [in Russian].

Received 18.10.2018

Анотація

Є.М. Сігарьов, д-р техн. наук, зав. кафедри, e-mail: en_sigarev@ua.fm;
М.М. Недбайло, аспірант; **М.А. Кащєєв**, канд. техн. наук, доцент;
Ю.В. Байдуж, аспірант

*Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське,
Україна*

Удосконалення конструкції гарнісажної фурми та технології відновлення профілю робочого простору конвертера

У статті розглянуто проблеми технології ошлакування футерівки кисневого конвертера шляхом роздування попередньо модифікованого магнезіальними добавками конвертерного шлаку з використанням гарнісажних фурм.

Ключові слова

Профіль, фурма, футерівка, гарнісаж, конвертер, шлак, вогнетрив.

Summary

E.N. Sigarev, Doctor of Engineering Sciences, Head of Department, e-mail: en_sigarev@ua.fm; **N.N. Nedbailo**, Postgraduate Student; **M.A. Kasheev**, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor; **Yu.V. Bayduzh**, Postgraduate Student

Dniprovsk State Technical University, Kamenskoye, Ukraine

Improving the construction of the garnissage tuyere and technology restoring the converter working space profile

The article deals with the problems of «splash-slag» technology for the lining of the oxygen converter by blowing the converter's slag, previously modified by magnesia additives, with the use of special lances.

Keywords

Profile, tuyere, lining, skull, converter, slag, refractory.