

А.Г.Чернятевич

**НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ФУРМЕННЫЕ УСТРОЙСТВА
ДЛЯ НАНЕСЕНИЯ ШЛАКОВОГО ГАРНИСАЖА
НА ФУТЕРОВКУ КОНВЕРТЕРА**

Институт черной металлургии НАН Украины

Разработаны новые технологии и конструктивные решения фурменных устройств, обеспечивающих нанесение шлакового гарнисажа и торкрет-покрытий на футеровку конвертера путем газовой или газопорошковой раздувки шлака и факельного торкретирования с использованием дешевых магнезиальных материалов..

Ключевые слова: конвертер, фурменные устройства, футеровка, шлаковый гарнисаж, , раздувка шлака, торкретирование, технология

Введение. Одним из важнейших путей повышения производительности кислородно-конвертерных цехов, экономии и рационального использования материальных и энергетических ресурсов является продление срока службы футеровки агрегатов.

В свое время в бывшем СССР основным методом повышения стойкости футеровки конвертеров являлся метод факельного торкретирования [1-4] высокотемпературным факелом, образующимся при сгорании в кислороде тонкомолотой углеродистой составляющей (25-30 % кокс, уголь, сланец) торкрет-массы на основе (70-75 %) обожженных магнезита или доломита. В процессе формирования факела частицы огнеупорного материала нагревались и при контакте с футеровкой спекались с ней и между собой с образованием прочного торкрет-покрытия.

Технология и оборудование факельного торкретирования футеровки конвертеров в горизонтальном и вертикальном положении, разработанные ДонНИИчерметом и Всесоюзным институтом огнеупоров в содружестве с инженерно-техническими работниками металлургических предприятий [1-4], были внедрены практически во всех кислородно-конвертерных цехах СССР. При этом, например, после внедрения торкретирования магнезитовой торкрет-массой 130-т конвертеров ЗСМЗ [1] на протяжении кампании (сентябрь 1976 г. – январь 1977 г.) среднемесячная стойкость смоломagneзитовой футеровки увеличилась с 696 до 1155 плавов, а факельное торкретирование футеровки доломитовой торкрет-массой в условиях НЛМК [4] дало возможность повысить средний срок службы смоло-доломитовой футеровки 160-т конвертеров с 733 до 1100 плавов (максимальный срок службы 1340 плавов) и 300-т конвертеров с 607 до 880 плавов (1011 плавов). Было признано [2-5], что наиболее перспективным является способ факельного торкретирования полностью механизированными и высокопроизводительными установками вертикального типа с применением дешевых торкрет-масс на основе доломита и извести.

Но так уж получилось, что на смену технологии факельного торкретирования в 90-х годах прошлого столетия пришел разработанной в США [6] новый ресурсо- и энергосберегающий метод продления срока службы футеровки способом раздувки струями азота конечного шлака, предварительно модифицированного магнезиальными материалами. Шлаковый гарнисаж предотвращает непосредственный контакт периклазоуглеродистого огнеупора с наиболее агрессивным кислым и ненасыщенным по MgO шлаком, формирующимся в начальный период продувки. В ходе дальнейшей продувки агрессивное воздействие шлака на огнеупорную футеровку снижается в результате повышения основности и концентрации оксида магния в нем за счет растворения добавок шлакообразующих и магнезиальных материалов, а также нанесенного в конце предыдущей плавки гарнисажа.

Современное состояние вопроса. Благодаря используемым приемам нанесения шлакового гарнисажа и полусухого торкретирования мест локального износа периклазоуглеродистой футеровки конвертера ее стойкость доведена на зарубежных металлургических предприятиях [7] до 10-23 тыс. плавов. Таких результатов в зарубежной практике добились за счет комплексного подхода к решению проблемы, когда наряду с ошлакованием и локальным торкретированием футеровки были выведены на соответствующий уровень операции:

- подготовки качественного металлолома и предварительного рафинирования чугуна перед конвертерной плавкой с глубоким удалением серы и фосфора;
- управления ходом продувки конвертерной ванны с ликвидацией додувок путем применения вспомогательной фурмы-зонда для определения температуры ванны, содержания углерода и кислорода в металлическом расплаве;
- снижения температуры железоуглеродистого полупродукта на выпуске из конвертера за счет дальнейшей ковшевой доводки стали на установке ковш-печь;
- контроля износа футеровки и шлакового гарнисажа лазерными измерительными системами;
- модернизации и качественного проведения ремонтно-профилактических работ и обслуживания всех вспомогательных систем и оборудования (механического привода, систем охлаждения опорных колец и корпуса конвертера, кислородных фурм, оборудования для транспортировки стали и шлака, а также отвода, очистки и утилизации конвертерного газа).

Отсутствием описанного комплексного подхода к повышению стойкости футеровки конвертеров, по-видимому, можно объяснить достигнутые на сегодняшний день более скромные показатели рабочей кампании агрегатов в пределах 5-7 тыс. плавов [8,9] на металлургических предпри-

ятиях СНГ. Даже в случае применения перечисленного комплекса мероприятий все же главными факторами, обеспечивающими рост показателей стойкости футеровки конвертеров, являются применение специальных магнезиальных флюсов для формирования конечного шлака с повышенными гарнисажными свойствами, способ и конструкция фурмы для нанесения шлакового гарнисажа на стены агрегата.

Важно отметить, что в процессе освоения проявились следующие недостатки технологии ошлакования футеровки конвертеров:

- присадка по ходу продувки магнезиальных шлакообразующих материалов с целью формирования конечного шлака, содержащего 8-14 % MgO и пригодного для нанесения гарнисажа, сопровождается ухудшением дефосфорации и десульфурации расплава, развитием явления «сворачивания» шлака и интенсивного выноса капель металла с заматалливанием технологического оборудования (ствола кислородной фурмы, горловины конвертера, экранных поверхностей камина);

- классическая верхняя кислородная фурма, содержащая наконечник с 4-6 расположенными по кругу под углом 15-20 градусов к вертикали соплами Лавая, не приспособлена для эффективной раздувки шлака с направленным брызговыносом шлаковых капель в места усиленного износа футеровки конвертера. Использование фурмы для продувки ванны кислородом и раздувки шлака азотными струями сопровождается более интенсивным образованием металлошлаковой настывли на стволе фурмы, что ведет к более частому (в 1,5-2 раза) снятию фурмы на обрезку настывлей;

- на футеровку конвертера раздувкой наносится только часть подготовленного конечного шлака, а остальная сливается в шлаковую чашу, что приводит к нерациональному использованию присаживаемых дорогостоящих магнезиальных шлакообразующих материалов (ИМФ, ФОМ, СМГ, ФМБУЖ и др. [8,9]).

Изложение основных результатов промышленных исследований.
В условиях работы цехов СНГ, обеспечивающих удаление в значительных количествах серы и фосфора в процессе продувки конвертерной ванны с одновременным формированием шлака с надлежащими гарнисажными свойствами за счет присадок дорогих магнезиальных модификаторов, применяющих для повышения стойкости периклазоуглеродистой футеровки нанесение шлакового гарнисажа с профилактическим факельным и полусухим торкретированием дорогими торкрет-массами и подваркой боем огнеупоров мест повышенного износа, посчитали перспективным проведение горячего ремонта футеровки конвертеров по двум технологическим схемам:

- первой, которая включает формирование в процессе продувки конвертерной ванны шлака с оптимальным содержанием оксида магния (5-6 %) с точки зрения благоприятного удаления фосфора и серы, последующее нанесение шлакового гарнисажа на футеровку конвертера посред-

вом раздувки азотными струями с одновременным факельным вдуванием «впрессовкой» в него дешевых порошкообразных магнезиальных материалов с целью формирования высокостойкого гарнисажного покрытия;

- второй, предусматривающей раздувку конечного конвертерного шлака с 5-6 % MgO азотно-порошковыми струями и формирование на стенах конвертера высокостойкого гарнисажа в процессе намораживания брызг шлака, обогащенных порошком магнезиального материала.

При этом предусматривалось, что:

- машина подачи верхнего дутья в конвертер оснащается, помимо кислородной продувочной фурмы, специально разработанными конструкциями гарнисажных фурм: совмещающих операции раздувки шлака азотными струями и факельного торкретирования футеровки дешевыми торкрет-массами, либо обеспечивающих нанесение шлакового гарнисажа посредством раздувки шлака азотно-порошковыми струями, несущими во взвешенном состоянии недефицитные магнезиальные материалы;

- вместо наметившейся тенденции к выводу из эксплуатации задействовать имеющиеся на предприятиях отделения приготовления торкрет-масс и установки факельного торкретирования футеровки конвертеров для приготовления и подачи дешевых торкрет-масс через верхние гарнисажные фурмы;

- раздувка конечного шлака с оптимальным содержанием оксида магния (5-6 %) с одновременным нанесением на стены конвертера дешевых магнезиальных материалов шлакообразующих материалов будет обязательной операцией в цикле каждой конвертерной плавки от выпуска до выпуска железистого полупродукта в сталеразливочный ковш.

Промышленному опробованию и внедрению предложенных технологических приемов нанесения шлакового гарнисажа на футеровку конвертера предшествовал проведенный с использованием физического и численного моделирования комплекс исследований [10-15], который позволил:

- установить, что основным режимом раздувки шлака с целью нанесения гарнисажа на футеровку конвертера является такой, когда реализуется пробой стационарными или перемещающимися газовыми или газопорошковыми струями столба шлакового расплава с образованием отраженных от днища обратных газовых или газопорошковых потоков, формирующих обособленные или соприкасающиеся по внешним границам кратера (реакционные зоны) эллипсоидной формы, с перемещением по поверхности кратеров волн и развитием направленного на стены агрегата брызгоуноса по модели подрезания гребней волн. При этом дополнительно может проводиться факельное вдувание «впрессовка» в наносимый шлаковый гарнисаж порошкообразных магнезиальных шлакообразующих материалов с помощью боковых газопорошковых струй;

- выполнить обоснование определяющих параметров дутьевого режима ошлакования футеровки конвертеров при многоструйной раздувке шлака;

- разработать методику определения основных конструктивных параметров новых конструкций гарнисажных торкрет-фурм при заданных расходах технологических газов и торкрет-массы.

С использованием приобретенной информации первоначально в условиях работы кислородно-конвертерного цеха № 2 ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК» для проведения ремонта периклазоуглеродистой футеровки 350-т конвертеров по предложенной технологии [16,17] была внедрена водоохлаждаемая гарнисажная торкрет-фурма (рис. 1).

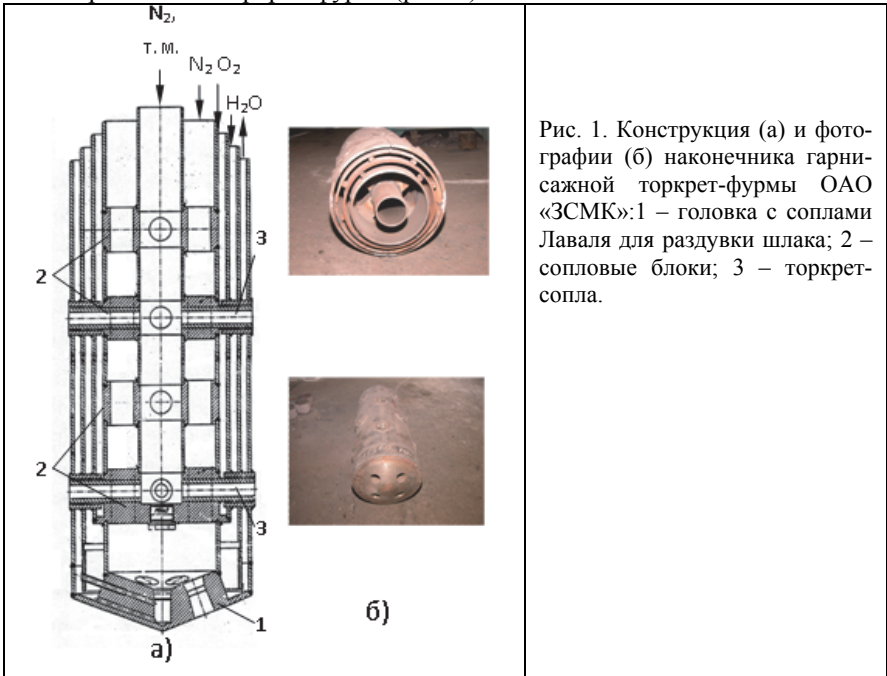


Рис. 1. Конструкция (а) и фотографии (б) наконечника гарнисажной торкрет-фурмы ОАО «ЗСМК»: 1 – головка с соплами Лавалья для раздувки шлака; 2 – сопловые блоки; 3 – торкрет-сопла.

В основу конструкции наконечника торкрет-фурмы с диаметром наружной трубы 426 мм положен блочный вариант размещения различных по конструкции и назначению сопел, позволяющий существенно уменьшить число сварных швов и упростить технологические операции изготовления самой фурмы.

Раздувка шлакового расплава осуществляется азотными струями, формируемыми 4-мя соплами Лавалья ($d_{кр} = 52$ мм), размещенными под углом 20° к вертикали в цельноточенной стальной водоохлаждаемой головке. Факельное торкретирование боковой поверхности конвертера осуществляется путем организации 16-ти торкрет-факелов, истекающих из торкрет-сопел типа «труба в трубе», размещенных в четыре яруса по вы-

соте фурмы в 4-х сопловых блоках. При этом оси сопел каждого последующего яруса смещены относительно друг друга на 45° с расстоянием между ярусами 0,2 м. В каждом торкрет-сопле подача торкрет-массы осуществляется через цилиндрическое сопло диаметром 30 мм, а кислорода через концентрическое сопло шириной 4 мм. Фурма обеспечивает расход торкрет-массы до 1500 кг/мин при подаче кислорода до 450-500 м³/мин на горение топлива (кокса 20-30% в магнезитовой или доломитовой торкрет-массе) и азота 800-1200 м³/мин на раздувку шлака. Расход охлаждающей воды составляет 300 – 350 м³/час.

В период работы гарнисажной торкрет-фурмы (рис. 1) было обеспечено улучшение большинства технологических и технико-экономических показателей конвертерной плавки, достигнута средняя стойкость периклазоуглеродистой футеровки 3260 плавок, превышающая среднегодовые показатели в 2720 плавок при работе по старой технологии.

Вместе с тем были установлены следующие отрицательные стороны конструкции гарнисажной торкрет-фурмы и технологии горячего ремонта футеровки конвертеров с ее использованием:

- значительно больший вес и более сложная конструкция гарнисажной торкрет-фурмы в сравнении с используемой штатной фурмой для факельного торкретирования, что вызывало осложнения в подъеме и установке фурмы в фурменный стенд;

- отсутствие компенсирующих устройств теплового расширения наружной трубы в наконечнике торкрет-фурмы, что может привести к разрушению сварных швов, возникновению течи охлаждающей воды и прекращению работы устройства;

- повышенные трудозатраты при изготовлении и ремонте наконечников торкрет-фурмы;

- эпизодическое разрушение нанесенного шлакового гарнисажа из-за высокотемпературного воздействия на футеровку торкрет-факелов при использовании торкрет-масс на основе обожженных доломита и магнезита.

Поэтому с целью устранения указанных недостатков и дальнейшего совершенствования технологии горячего ремонта футеровки пошли по пути:

- установления возможности применения дешевых торкрет-масс на основе необожженных магнезиальных материалов с целью снижения температуры образующихся торкрет-факелов и предотвращения возможного разрушения нанесенного гарнисажного слоя [18];

- разработки упрощенных конструкций газоохлаждаемых торкрет-фурм, приспособленных как для раздувки подготовленного конечного шлака азотными и азотно-порошковыми струями с целью нанесения шлакового гарнисажа, так и одновременного или последующего факельного торкретирования футеровки рабочего пространства конвертера [19,20].

Применительно к условиям горячего ремонта футеровки 350-т конвертеров ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК» путем численных расчетов были исследо-

ваны термогазодинамические особенности торкретирования футеровки конвертера с использованием гарнисажной торкрет-фурмы (рис. 1), обеспечивающей в процессе 3-4-х минутного ошлакования футеровки конвертера факельное торкретирование с расходом 0,8-1,0 т/мин дешевых торкрет-масс на основе карбонатных магнезиальных шлакообразующих материалов.

Результаты расчетов [18] показали возможность существенной замены обожженной огнеупорной составляющей торкрет-массы пылью доломитизированного известняка, сырого доломита и магнезита. За реальное время нахождения частицы карбоната в торкрет-факеле происходит ее диссоциация и она успевает нагреться до средней температуры факела.

Отмеченные выше направления по устранению недостатков применения водоохлаждаемой гарнисажной торкрет-фурмы (рис. 1) нашли свое применение в условиях работы всех шести 160-т конвертеров ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог». На основе полученных данных была проведена модернизация действующих установок факельного торкретирования, разработаны и внедрены новые технология ремонта футеровки и конструкция (рис.2) газоохлаждаемой гарнисажной вращающейся со скоростью 0,5-2,0 об/мин торкрет-фурмы [17,19]. На первом этапе (2006-2008 г.г.) обеспечивалось совместное (раздельное) нанесение шлакового гарнисажа и факельное торкретирование периклазоуглеродистой футеровки при раздувке шлака азотом с расходом 350-430 м³/мин через два торцевых сопла Лавала ($d_{кр} = 54$ мм) и подаче на стены конвертера торкрет-массы (магнезито-сланцевой и на основе необоженного доломита) с расходом 0,5 – 0,8 т на операцию в потоке сжатого воздуха с интенсивностью 60-80 м³/мин через десять цилиндрических сопел диаметром 21,2 мм, размещенных в два однорядных по высоте яруса (по пять сопел в каждом ярусе).

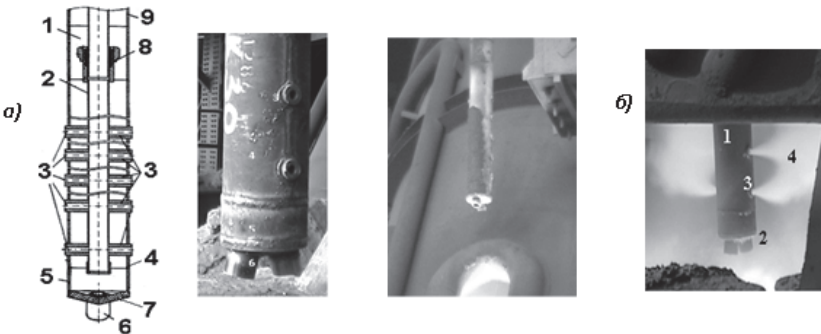


Рис. 2. Конструкция (а) и фотографии (б) наконечника газоохлаждаемой гарнисажной торкрет-фурмы ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог»: а) 1 – наконечник фурмы; 2 – внутренняя труба подачи торкрет-массы; 3 – боковые цилиндрические сопла; 4 – наружная труба; 5 – торцевая головка; 6 – сопла Лавала; 7 – тарелка; 8 – сальниковый компенсатор; 9 – наружная труба ствола фурмы; б) 1- наконечник фурмы; 2- сопла Лавала; 3- боковые цилиндрические сопла; 4- торкрет-факела.

При этом ресурсо- и энергосберегающий эффект был достигнут за счет:

- повышения средней стойкости футеровки конвертеров на 750 плавков с достижением максимальной стойкости в 3644 плавки;
- снижения расхода дорогостоящей магнезитосланцевой торкрет-массы с 2,88 до 0,92 кг/т стали;
- уменьшения интенсивности износа футеровки конвертера средним с 0,55 до 0,38 мм/плавку;
- снижения в 2,1 раза количества кислородных фурм, выведенных из строя (из-за повреждения наружной трубы) при обрезке настывлей;
- увеличения выпуска стали в среднем на 103,0 тыс.т/конвертер за кампанию по футеровке с 209,0-467,0 тыс.т стали в 2007 г. до 342,0-540,0 тыс.т стали/конвертер в 2008 г.;
- исключения расхода воды на охлаждение гарнисажной фурмы и технологического кислорода на операцию торкретирования.

Продолжительность одновременной операции ошлакования и торкретирования футеровки находилась в пределах 3-5 мин, что было меньше времени затрачиваемого на горячий ремонт футеровки (8-10 мин) в случае проведения отдельных последовательных операций нанесения шлакового гарнисажа и факельного торкретирования по прежней технологии.

На втором этапе после отработки технологии транспортирования порошкообразного необожженного доломита полностью отказались от применения доломитосланцевой торкрет-массы и внедрили технологию горячего ремонта футеровки 160-т конвертеров посредством совмещения операций раздувки шлака и дувания («впрессовки») в наносимый шлаковый гарнисаж порошкообразных частиц доломита, прошедших стадию обжига в факеле на пути движения к футеровке. При этом показатели стойкости футеровки конвертеров остались на прежнем уровне.

По результатам промышленной эксплуатации гарнисажной торкрет-фурмы (рис. 2) было установлен вынос определенной части торкрет-массы, подаваемой через ряд боковых сопел, из конвертера в потоке отходящих газов, что сопровождалось нерациональным расходом магнезиальных материалов и затрудняло формирование высокостойкого гарнисажного покрытия.

Для устранения этих недостатков была разработана и внедрена с 2009 г. в постоянную промышленную эксплуатацию технология [20,21] газопорошковой раздувки шлака с использованием газоохлаждаемой вращающейся гарнисажной фурмы с соплами Лавалья типа «труба в трубе» (рис.3). Фурма обеспечивает подачу порошкообразного необожженного доломита (400-800 кг/мин) в потоке воздуха (60-80 м³/мин) через центральные сопла непосредственно в шлаковую ванну по ходу операции. При этом соплами Лавалья обеспечивается подача азота (350-430 м³/мин) для раздувки шлаковой ванны на футеровку конвертера.

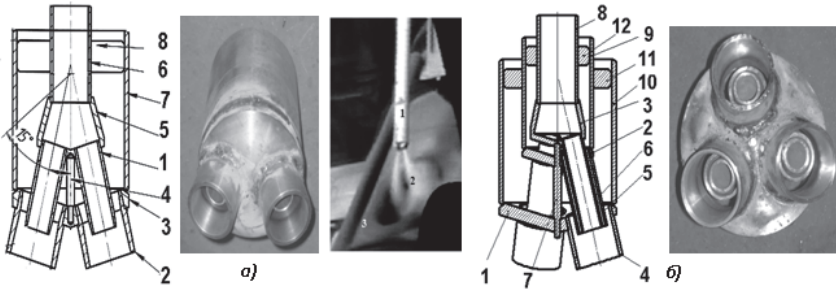


Рис. 3. Конструкция и фотографии двух- (а) и трехсоловых (б) наконечников газоохлаждаемой гарнисажной газопорошковой фурмы ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог»: а) 1 - газопорошковое сопло; 2 – азотное сопло Лавала; 3 - нижняя тарелка; 4 - фиксатор; 5 - верхняя тарелка; 6 - труба для подачи торкрет-массы; 7 – наружная труба; 8 – фиксатор; б) 1 – нижняя тарелка; 2 – верхняя тарелка; 3 – чаша; 4 – азотное сопло; 5 – газопорошковое сопло; 6 – кислородное сопло; 7 – фиксатор; 8, 9, 10 – патрубки; 11 и 12 – фиксатор.

За счет непосредственного направленного вдувания порошкообразных материалов в объем конечного конвертерного шлака, содержащего 5-6% MgO:

- уменьшены потери торкрет-массы с отходящими газами. Средний расход торкрет-массы на операцию составил 360,0 кг, что на 58% меньше, чем при использовании гарнисажной торкрет-фурмы (рис. 2). Уменьшение удельного расхода торкрет-массы составило 62% (с 1,42 кг/т стали в 2008 г. до 0,53 кг/т стали в 2012г.), продолжительность операции ошлакования сократилась на 30-35% (до 2,0-2,5 мин) с формированием более прочного шлакового гарнисажа;

- в 2011 г. средняя стойкость футеровки конвертеров в сравнении с 2010 г. увеличилась на 297 плавов и составила 3172 плавки (рекордная стойкость 4475 плавов);

- использование предложенных гарнисажных фурм (рис.3,а) способствовало снижению интенсивности заметалливания кислородной фурмы и привело к сокращению количества операций обрезки настывлей с 2-3 в смену до 1-2. Выход из строя кислородных фурм по причине повреждения при обрезке настывлей сократился с 44,0% в 2006 г. до 26,0% в 2011 г.

Численными экспериментами и прямыми замерами тепловизором «NEC TN9100» температуры ствола гарнисажных фурм (рис. 2, 3) до и после операции нанесения шлакового гарнисажа на футеровку подтверждено [21], что газовое охлаждение фурмы, изготовленной из обычной углеродистой стали, надежно и обеспечивает высокую стойкость дутьевого устройства. Средняя стойкость гарнисажной торкрет-фурмы (рис. 2) составила около 20000, а газопорошковой (рис. 3) более 30000 операций. Зафиксированная прямыми замерами температура поверхности ствола

гарнисажной торкрет-фурмы и газопорошковой сразу же после извлечения из конвертера колебалась в пределах 69-505 °С и 105-337 °С соответственно.

Наряду с очевидным достоинством газопорошковой гарнисажной фурмы (простота конструкции и ремонтпригодность, высокие эксплуатационные показатели и др.) необходимо отметить, что дальнейшее повышение эффективности применения торкрет-масс на основе необоженных магнезиальных материалов ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$, MgCO_3 , $\text{Mg}(\text{OH})_2$) для формирования заданных свойств шлака непосредственно по ходу раздувки может быть обеспечено за счет обогащения технологическим кислородом газовых струй, несущих порошкообразные материалы, и раздувочного азота с целью улучшения теплового баланса раздувки шлака газопорошковыми струями при снижении температуры и вязкости последнего по ходу операции.

Для реализации такой технологии раздувки вязких конвертерных шлаков разработана и предложена к внедрению гарнисажная фурма с трехсопловым наконечником (рис.3,б) типа «труба в трубе», обеспечивающая формирование струй, состоящих из центральной газопорошковой струи (60-80 м³/мин воздуха + 100-350 кг/мин сырого доломита) и двух кольцевых (100-150 м³/мин кислорода и 350-430 м³/мин азота).

С учетом приобретенного опыта применительно к условиям работы 350-т конвертеров ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК» в предложенной конструкции газоохлаждаемой гарнисажной торкрет-фурмы (рис. 4) предусмотрена раздувка конечного шлака азотными струями с расходом 900-1200 м³/мин при подаче торкрет-массы (30% кокса+70% необоженного доломита) к боковым соплам с расходом до 1500 кг/мин в потоке азота, обогащенного до 60% кислородом. Количество и размеры боковых цилиндрических сопел для создания торкрет-факелов и торцевых сопел Лаваля для подачи азота на раздувку конвертерного шлака, расстояние между ними и расположение остаются без изменений.

Для газопорошковой раздувки конечного шлака разработана также газоохлаждаемая гарнисажная фурма с 4-х сопловым наконечником, имеющим составные сопла типа «труба в трубе» (рис. 5). Наконечник выполнен в виде:

- двух концентрично размещенных стальных труб, внутренней для подачи порошкообразных магнезиальных материалов с расходом 350-600 кг/мин в потоке транспортирующего азота с максимальной интенсивностью 150-250 м³/мин и наружной, обеспечивающей расход технологического азота на раздувку конечного шлака в пределах 750- 1200 м³/мин;

- верхней тарелки с закрепленными в ней под углом 15° к вертикали 4-мя газопорошковыми цилиндрическими соплами диаметром 34 мм и нижней тарелки с азотными соплами Лаваля критического диаметра 75 мм, выступающими за торец тарелки.

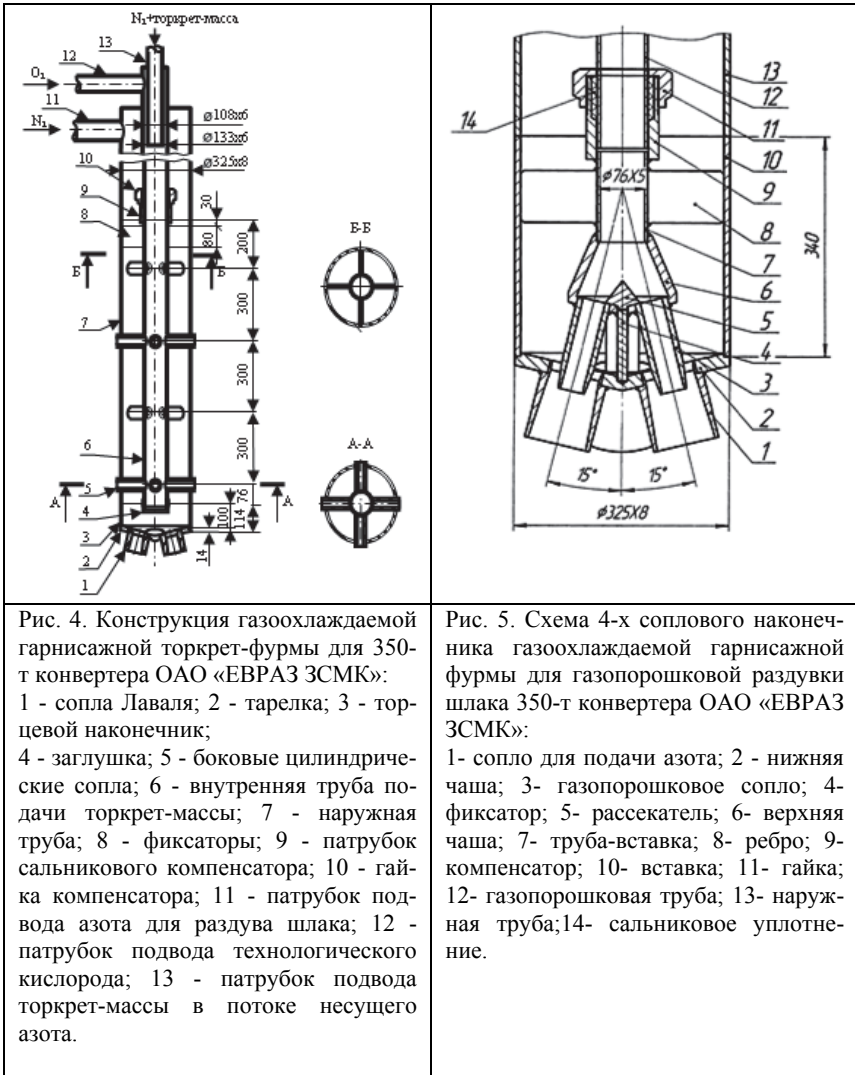


Рис. 4. Конструкция газоохлаждаемой гарнисажной торкрет-фурмы для 350-т конвертера ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК»:

1 - сопла Лавала; 2 - тарелка; 3 - торцевой наконечник; 4 - заглушка; 5 - боковые цилиндрические сопла; 6 - внутренняя труба подачи торкрет-массы; 7 - наружная труба; 8 - фиксаторы; 9 - патрубок сальникового компенсатора; 10 - гайка компенсатора; 11 - патрубок подвода азота для раздува шлака; 12 - патрубок подвода технологического кислорода; 13 - патрубок подвода торкрет-массы в потоке несущего азота.

Рис. 5. Схема 4-х соплового наконечника газоохлаждаемой гарнисажной фурмы для газопорошковой раздувки шлака 350-т конвертера ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК»:

1- сопло для подачи азота; 2 - нижняя чаша; 3- газопорошковое сопло; 4- фиксатор; 5- рассекатель; 6- верхняя чаша; 7- труба-вставка; 8- ребро; 9- компенсатор; 10- вставка; 11- гайка; 12- газопорошковая труба; 13- наружная труба; 14- сальниковое уплотнение.

Азот для раздувки шлаковой ванны подается в кольцевом зазоре между внутренней и наружной трубой, поступает к нижней тарелке и в виде четырех кольцевых сверхзвуковых азотных струй вдувается в рабочее пространство конвертера по кольцевым зазорам между внутренними цилиндрическими соплами и внешними соплами Лавала.

Магнезиальная торкрет-масса в потоке азота подается через внутреннюю трубу и в виде газопорошковых струй вдувается в полость конвертера через четыре цилиндрических сопла. При этом газопорошковые

струи (азот + торкрет-масса) окружены кольцевой оболочкой сверхзвукового азота, которая формируется при вдувании азота через кольцевую зазор между соплами.

За счет вдувания магнизиальной торкрет-массы в потоке азота непосредственно в объем шлаковой ванны обеспечивается формирование капель шлака с необходимыми физико-химическими свойствами (химический состав, жидкоподвижность и т.п.) непосредственно в пределах реакционных зон с одновременным набрызгиванием капель шлака на футеровку.

Для вдувания предусмотрено использовать недефицитные дешевые торкрет-массы, включающие продукты помола отходов обожженного и сырого доломита, боя магнезитовых огнеупоров, производство которых без особых проблем может быть налажено в действующих отделениях приготовления торкрет-масс.

Выводы. В условиях работы 350-т конвертеров ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК» и 160- конвертеров ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог» отработаны новые ресурсо- и энергосберегающие технологии и конструкции гарнисажных фурм, обеспечивающие нанесение шлакового гарнисажа на футеровку агрегата путем газовой или газопорошковой раздувки шлака и факельного торкретирования с использованием дешевых магнизиальных материалов.

1. *Комплекс оборудования для факельного торкретирования 130-т конвертеров Западно-Сибирского металлургического завода / А.В.Лакунцов, О.Н.Чемерис, Л.М.Учитель и др. // Бюллетень ЦИИИ и ТЭИ ЧМ. – 1977.– № 22.– С. 46–47.*
2. *Факельное торкретирование конвертеров в вертикальном положении / О.Н.Чемерис, А.В.Лакунцов, В.М.Червоненко и др. // Металлург.– 1977.– № 12.– С. 25–26.*
3. *Факельное торкретирование футеровки кислородных конвертеров / Е.Д.Штепа, А.А.Ярмаль, В.М.Червоненко и др. – К.: Техніка, 1984. – 143 с.*
4. *Факельное торкретирование футеровки конвертеров доломитовой торкрет-массой // А.М.Поживанов, Н.Д.Карпов, В.В.Рябов и др. // Огнеупоры.– 1984.– № 10.– С. 7–9.*
5. *Перспективы факельного торкретирования футеровки кислородных конвертеров / М.В.Малахов, О.Н.Чемерис, И.А.Юзефовский и др. // Огнеупоры.– 1987.– № 1.– С.50–53.*
6. *Messina C. I. Slag splashing in the BOF – World wide status, practices and results // Iron and Steel Engineer. – 1996. – № 5. – P. 17–19.*
7. *Sian C., Wenyuan Y., Conglie Z. Slag splashing for Bao Steel's 300 metric ton BOF and crystallographic structure of its slag // Iron and Steelmaker. – 2000. – № 7. – P. 39–41.*
8. *Пути достижения стойкости футеровок конвертеров выше 5000 плавов в ОАО ММК / В.Ф.Дьяченко, И.М.Захаров, В.Г.Овсянников и др. // Новые огнеупоры.– 2006.– № 6.– С. 3–6.*
9. *Рекордная стойкость футеровки 160-т конвертера – 7145 плавов / А.Г.Левада, Ю.Л.Денисов, А.М.Белоусов и др. // Сталь.– 2010.– № 9.– С. 46–48.*

10. *Математическая модель гидродинамических процессов в полости конвертера при продувке шлакового расплава газовыми струями* / Е.В.Протопопов, Р.С.Айзатулов, А.Г.Чернятевич и др. // Изв. Вузов. Черная металлургия.– 1997.– № 2.– С. 5–9.
11. *Математическая модель образования шлакового гарнисажа на поверхностях футеровки и верхней фурмы конвертера при продувке шлакового расплава газовыми струями* / Е.В.Протопопов, Р.С.Айзатулов, А.Г.Чернятевич и др. // Изв.Вузов. Черная металлургия.– 1997.– № 4.– С.14–17.
12. *Процессы теплообмена в условиях нанесения шлакового гарнисажа и факельного торкретирования футеровки конвертеров. Математическая модель* / Е.В.Протопопов, А.Г.Чернятевич, В.В.Соколов и др. // Изв. Вузов. Черная металлургия.– 2004.– № 10.– С. 8–13.
13. *Исследование процесса нанесения шлакового гарнисажа на футеровку конвертера с использованием фурм, приспособленных для раздувки шлака и факельного торкретирования.* / Е.В.Протопопов, А.Г.Чернятевич, В.В.Соколов, Е.А.Чубина // Труды восьмого конгресса сталеплавильщиков (г. Нижний Тагил, 18–22 октября 2004 г.), М.: «Черметинформация», 2005.– С.133–139.
14. *Гидрогазодинамические особенности новых технологий нанесения шлакового гарнисажа на футеровку конвертера.* / А.Г.Чернятевич, Е.Н.Сигарев, Е.А.Чубина и др. // Металлургическая и горнорудная промышленность.– 2006.– № 7.– С.153–157.
15. *Математическая модель гидрогазодинамических и массопереносных процессов в полости конвертера при продувке шлакового расплава газопорошковыми струями.* / Т.Р.Галиуллин, Е.В.Протопопов, А.Г.Чернятевич и др. // Изв. Вузов. Черная металлургия.– 2007.– № 10.– С.15–19.
16. *Пат. 2273669 РФ, МПК С21С 5/44. Способ ремонта футеровки конвертера и фурма для его осуществления.* / Мокринский А.В., Протопопов Е.В., Лаврик А.Н. и др. Опубл. 10.04.2006.
17. *Разработка конструкций фурменных устройств для горячего ремонта футеровки конвертеров.* / А.Г.Чернятевич, Е.В.Протопопов, Е.Н.Сигарев и др. // Терия и практика металлургии.– 2010.– № 1–2.– С.68–73.
18. *Сигарев Е.Н., Чернятевич А.Г., Чубина Е.А. Численное исследование термогазодинамических особенностей торкретирования футеровки конвертера* // Изв. Вузов. Черная металлургия.– 2007.– № 2.– С. 17–24.
19. *Патент 83445 Україна, МПК С21С 5/44, F27D 1/16. Спосіб ремонту футерівки конвертера та торкрет–фурма для його здійснення* / А. Г. Чернятевич, Є. М. Сігарьов, І. В. Чернятевич, К. І. Чубін, О. А. Чубіна – № 200705316; Заявл. 15.05.2007; Опубл. 10.07.2008; Бюл. № 13.
20. *Патент 93161 Україна, МПК С21С 5/44. Спосіб ремонту футерівки конвертера та торкрет–фурма для його здійснення* / А. Г. Чернятевич, Є. М. Сігарьов, К. І. Чубін, О. А. Чубіна – № 201000032; Заявл. 11.01.2010; Опубл. 10.01.2011; Бюл. № 1.
21. *Освоение технологии нанесения шлакового гарнисажа на футеровку конвертера путем раздувки шлака перемещающимися газопорошковыми струями* / А.Г.Чернятевич, Е.Н.Сигарев, Е.В.Протопопов и др. // Изв. Вузов. Черная металлургия.– 2011.– № 2.– С. 15–20.

*Статья рекомендована к печати
докт. техн. наук А.С.Вергуном*

A.G.Чернятевич

Нові технології і фурмені пристрої для нанесення шлакового гарнісажу на футеровку конвертера

Розроблено нові технології та конструктивні рішення фурмених пристроїв, що забезпечують нанесення шлакового гарнісажу і торкретпокриттів на футеровку конвертера шляхом газової або газопорошковою раздувкою шлаку і факельного торкретування з використанням дешевих магнезійних матеріалів.

Ключові слова: конвертер, фурмені пристрої, футеровка, шлаковий гарнісажу,, раздувкой шлаку, торкретування, технологія

A.G.Chernyatevich

The new technologies and lance improvement for the converter slag skull coating

Develop new technologies and design solutions lance mouth-tron devices that provide application slag skull and sprayed coatings on the lining of the converter by gas or gas-powder blowing slag and flare shotcrete using cheap materials magnesia ..

Keywords: converter tuyere device, lining, slag skull,, blowing slag smoothing technology