

УДК 669.184.244.62

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ КОМБИНИРОВАННОЙ ПРОДУВКИ КОНВЕРТЕРНОЙ ВАННЫ КИСЛОРОДОМ И НЕЙТРАЛЬНЫМ ГАЗОМ*

С.В. Фейлер¹, к.т.н., доцент
Е.В. Протопопов¹, д.т.н., профессор
А.Г. Чернятевич², д.т.н., профессор

¹ Сибирский государственный индустриальный университет (Новокузнецк, Россия)

² Днепропетровский государственный технический университет (Днепропетровск, Украина)

Аннотация. Выполнен сравнительный анализ существующих технологий комбинированной продувки металла в конвертерах, выявлены недостатки рассмотренных технологических вариантов. Предложена новая технология комбинированной продувки конвертерной ванны с подачей в рабочее пространство агрегата разноимпульсных струй кислорода и нейтрального газа через верхнюю двухъярусную фурму и нейтрального газа через донные дутьевые устройства.

Ключевые слова: конвертер, комбинированная продувка, верхняя двухъярусная фурма, кислород, нейтральный газ, донные фурмы.

E-MAIL: feyler@rdtc.ru

На современном этапе развития конвертерного производства в качестве важнейших перспективных разработок последних десятилетий можно выделить внедрение технологий комбинированной продувки и нанесения защитных огнеупорных покрытий на футеровку агрегата для увеличения продолжительности кампании.

В последние годы в мировой практике техническое перевооружение кислородно-конвертерного процесса реализуется в направлении приобретения лицензии и установки «под ключ» зарубежного оборудования по внедрению технологии комбинированной продувки конвертерной ванны кислородом сверху и нейтральным перемешивающим газом через днище [1 – 3].

Внедренная австрийской фирмой «VAI» на ряде металлургических предприятий России (ОАО «Новолипецкий металлургический комбинат», ОАО «ЕВРАЗ Нижнетагильский металлургический комбинат») и Украины (ПАО «Алчевский металлургический комбинат») технология комбинированной продувки конвертерной ванны кислородом сверху через обычную многосопловую фурму и нейтральным газом (азотом, аргоном) через донные многоканальные пробки [1 – 3] имеет ряд преимуществ (более спокойный ход продувки, улучшение перемешивания ванны со снижением окисленности металла и шлака и т.д.), но, к сожалению, характеризуется следующими недостатками:

– для верхней продувки ванны конвертеров емкостью 160 и 330 т с расходом кислорода соответственно 500 и 1050 – 1200 м³/мин применяются кислородные фурмы классической конструкции с литыми наконечниками немецкой фирмы «Impact» (рис. 1), содержащими шесть сопел Лаваля, расположенными по кругу

под углом (α) наклона к вертикальной оси фурмы 14, 17 и 20°. Используемые наконечники достигли своего конструктивного совершенства с точки зрения повышения стойкости и снижения трудозатрат на их замену в процессе эксплуатации. Вместе с тем эти наконечники не позволяют обеспечить совершенствования технологии в отношении улучшения теплового баланса конвертерной плавки, хода шлакообразования, удаления фосфора при повышенном содержании углерода в металлическом расплаве [1 – 3];

– интенсифицируется заматывание технологического оборудования (ствола кислородной фурмы, горловины конвертера и экранных поверхностей камина) вследствие выноса капель металла из зоны продувки из-за более продолжительного периода операции в режиме «сварачивания» шлака, особенно при содержании в последнем более 8 % оксида магния. Удаление металлошлаковых настывей с кислородной фурмы и вынужденный переход на продувку с полным дожиганием отходящих газов для удаления настывей с экранных поверхностей камина сопровождаются снижением производительности конвертера, стойкости кислородных фурм, разрушением футеровки конической части агрегата и ускоренным износом горловины;

– существенно осложняется технология нанесения шлакового гарнисажа на футеровку конвертеров и особенно уход за днищем с целью предотвращения его износа и обеспечения работоспособности донных фурм (многоканальных огнеупорных пробок) для подачи азота и аргона с расходом 0,2 – 1,7 м³/мин через одну продувочную пробку;

– ускоренный износ днища и части донных продувочных пробок, поврежденных при загрузке лома или «запечатывании» высокомагнезиальным конечным шлаком при его раздувке приводит к прекращению

* Работа выполнена в СибГИУ по государственному заданию Минобрнауки России, проект 2556.

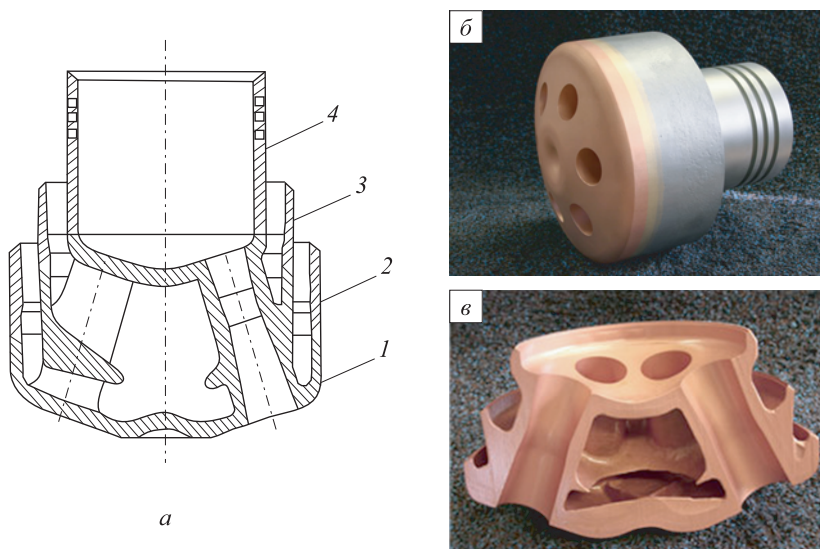


Рис. 1. Конструкция (а) и внешний вид (б, в) наконечника фирмы «Impact»:

1 – литой сопловой блок; 2 – соединительная вставка с наружной трубой отвода воды; 3 – соединительная вставка с промежуточной трубой подвода воды; 4 – соединительная вставка с центральной трубой подвода кислорода

кампании с комбинированной продувкой и переводом работы агрегата на классическую верхнюю продувку.

Для решения отмеченных проблем в настоящее время актуально разработать новые конструкции фурменных устройств и технологию продувки конвертерной ванны с подачей регулируемых потоков кислорода и нейтрального газа, обеспечивающих более высокие технологические и технико-экономические показатели процесса.

В недавнем прошлом значительным достижением в разработке конструкции дутьевого устройства и совершенствовании технологии верхней продувки конвертерной ванны явилось применение на конвертерах емкостью 130 т металлургического завода «Криворожсталь» двухъярусной фурмы [4 – 6], обеспечивающей регулируемую подачу в рабочее пространство агрегата и взаимодействие с конвертерной ванной разноимпульсных сверх- и дозвуковых кислородных струй. По замыслу разработчиков [4, 5] основной целью технического решения являлось улучшение теплового баланса плавки, более гибкое управление ходом шлакообразования и продувки конвертерной ванны за счет оптимального перераспределения вдуваемых кислородных потоков на реакции в металлической, шлаковой и газовой фазах рабочего объема конвертера. Разработанная конструкция двухъярусной фурмы и технология продувки конвертерной ванны при расходе кислорода через сопла верхнего и нижнего ярусов соответственно 100 – 150 и 450 м³/мин позволили интенсифицировать процессы продувки и шлакообразования, увеличить производительность конвертеров благодаря сокращению длительности продувки и увеличению доли перерабатываемого металлолома до 30 % за счет дожигания оксида углерода отходящих газов [4, 5]. При этом был зафиксирован значительный опережающий локальный

износ цилиндрической и верхней конической частей футеровки конвертера, что является серьезным недостатком технологии [4 – 6].

При освоении отечественной технологии комбинированной продувки на 160-т конвертерах Западно-Сибирского металлургического комбината (ЗСМК) [7 – 9], предусматривающей верхнюю продувку ванны двумя регулируемыми потоками основного (300 – 350 м³/мин) и дополнительного (50 – 100 м³/мин) кислорода через двухъярусную фурму и подачу через десять донных одноканальных фурм с каналом диам. 6 – 8 мм нейтральных газов (азота, аргона) с расходом 6 – 16 м³/мин, удалось за счет дополнительного управляющего воздействия (изменения интенсивности донного дутья) более эффективно управлять ходом продувки и шлакообразования с точки зрения предотвращения интенсивного вспенивания шлакометаллической эмульсии и выбросов, повышения степени дожигания отходящих газов, снижения окисленности конечного металла и шлака.

Двухъярусная фурма конструкции ЗСМК и Института черной металлургии (ИЧМ) (Украина), имеющая в нижнем ярусе четыре сопла Лавалья с критическим диам. ($d_{кр}$) 35 мм, расположенных под углом (α_1) 15° к вертикали, а в верхнем ярусе, удаленном на 2,5 м от нижнего, – шесть овальных щелевых сопел размерами 19×44 мм под углом (α_3) 30°, отработанный режим дутья и присадок сыпучих материалов обеспечили [7 – 9]:

- снижение расхода чугуна, извести и плавикового шпата на 35 – 40, 4 – 5 и 0,8 кг/т стали соответственно;
- повышение выхода жидкой стали на 0,5 %;
- предотвращение интенсивного заматывания ствола фурмы и горловины конвертера.

Вместе с тем внедрение такой технологии не обеспечило снижения интенсивного износа футеровки цилиндрической и верхней конической частей конвертера,

а также надлежащей стойкости днища и донных фурм в отсутствии индивидуальной подачи и регулирования нейтрального газа на каждую фурму. Из-за ускоренного локального износа верхней части футеровки конвертера после 150 – 180 плавов приходилось выводить из эксплуатации двухъярусную фурму и переходить на продувку с использованием обычной пятисплотовой фурмы, обеспечивающей расход кислорода 380 – 400 м³/мин.

В качестве альтернативных решений совместными усилиями сотрудников ЗСМК, Днепропетровского индустриального и Сибирского металлургического институтов были внедрены следующие мероприятия по повышению эффективности комбинированной продувки ванны конвертеров емкостью 160 т [10 – 16]:

- с целью освоения нового способа выплавки стали в конвертере [10] модернизирована система подачи технологических газов к верхней фурме (рис. 2), что обеспечило возможность осуществления продувки конвертерной ванны через двухъярусную или двухконтурную фурму двумя регулируемыми потоками основного и дополнительного кислорода с возможностью регулируемой подачи нейтрального газа в потоке дополнительного кислорода, вплоть до его полного замещения;

- в соответствии с разработанной методикой [11, 12] спроектированы, изготовлены и проверены в продолжительной работе 12-и и 36-и каналные наконечники с двухрядным расположением сопел в двухконтурной фурме (рис. 2) [13 – 16]. В 12-и каналном наконечнике внутренний ряд сопел выполнен в составе четырех сопел Лавалья ($d_{кр} = 35$ мм, $\alpha_1 = 15^\circ$), что обеспечивает «жесткую» продувку конвертерной ванны сверхзвуковыми струями с расходом основного кислорода 300 – 350 м³/мин с целью интенсификации обезуглероживания и расплавления металлолома. Восемь овальных щелевых сопел, размещенных в наружном ряду наконечника под углом $\alpha_2 = 30^\circ$, обеспечивали при

расходе дополнительного кислорода 50 – 100 м³/мин значительный по площади дозвуковой поток, направленный на дожигание оксида углерода до диоксида в места канального выхода СО на поверхность ванны из отдельных реакционных зон, ускоренную наводку шлака и благоприятные условия протекания реакций дефосфорации и десульфурации расплава.

Более совершенная конструкция 36-и каналного наконечника позволяла посредством центральной группы сверхзвуковых струй, формируемых при расходе основного кислорода в количестве 300 – 350 м³/мин четырьмя соплами Лавалья ($d_{кр} = 35$ мм, $\alpha_1 = 12^\circ$) внутреннего ряда, создать объединенную реакционную зону интенсивного выделения оксида углерода с диам. $D_{р.з}^{общ}$ на поверхности металлической ванны (рис. 3, а). При этом за счет направленных дозвуковых струй наружного ряда, истекающих при расходе дополнительного кислорода 50 – 100 м³/мин через 32 цилиндрических сопла под углом $\alpha_2 = 30^\circ$, осуществлялось дожигание оксида углерода до его диоксида в «свищевом» потоке отходящих из реакционной зоны через слой вспененного шлака газов при подавлении интенсивного выноса капель металла и шлака;

- для донного перемешивания конвертерной ванны нейтральными газами с расходом 6 – 16 м³/мин использовали 8 – 10 одноканальных огнеупорных блоков производства Всесоюзного института огнеупоров и комбината «Магнезит» при расположении по контуру сегмента окружности, диаметр которой составляет 0,45 – 0,50 общего диаметра днища.

Отработанный и внедренный режим комбинированной продувки через двухконтурную фурму с 36-и каналным наконечником [13] по сравнению с обычной фурмой обеспечил повышение показателя дожигания отходящих газов на 10 – 15 %, снижение расхода чугуна и извести в пределах 10 – 18 и 0,8 – 2,3 кг/т стали со-

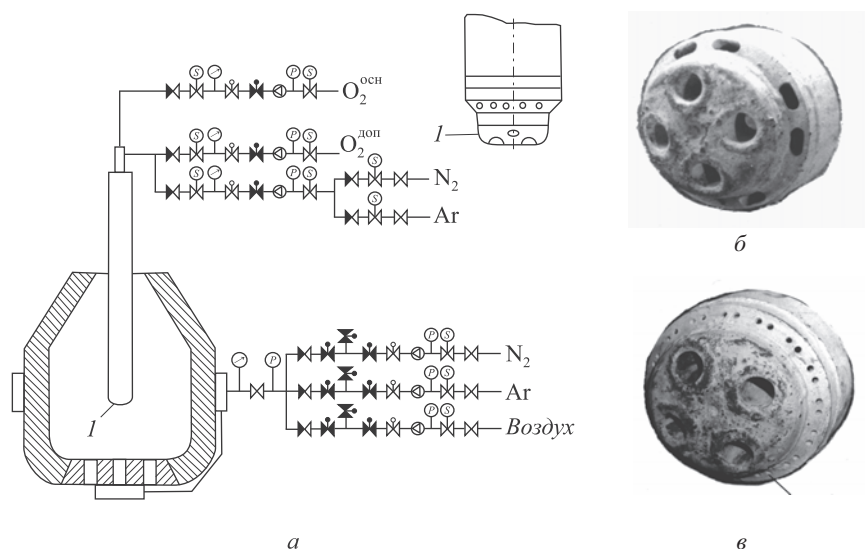


Рис. 2. Схема (а) оснащения 160-т конвертеров ЗСМК регулируемым подводом технологических газов и двухконтурной фурмой с 12-и (б) и 36-и (в) сопловыми наконечниками

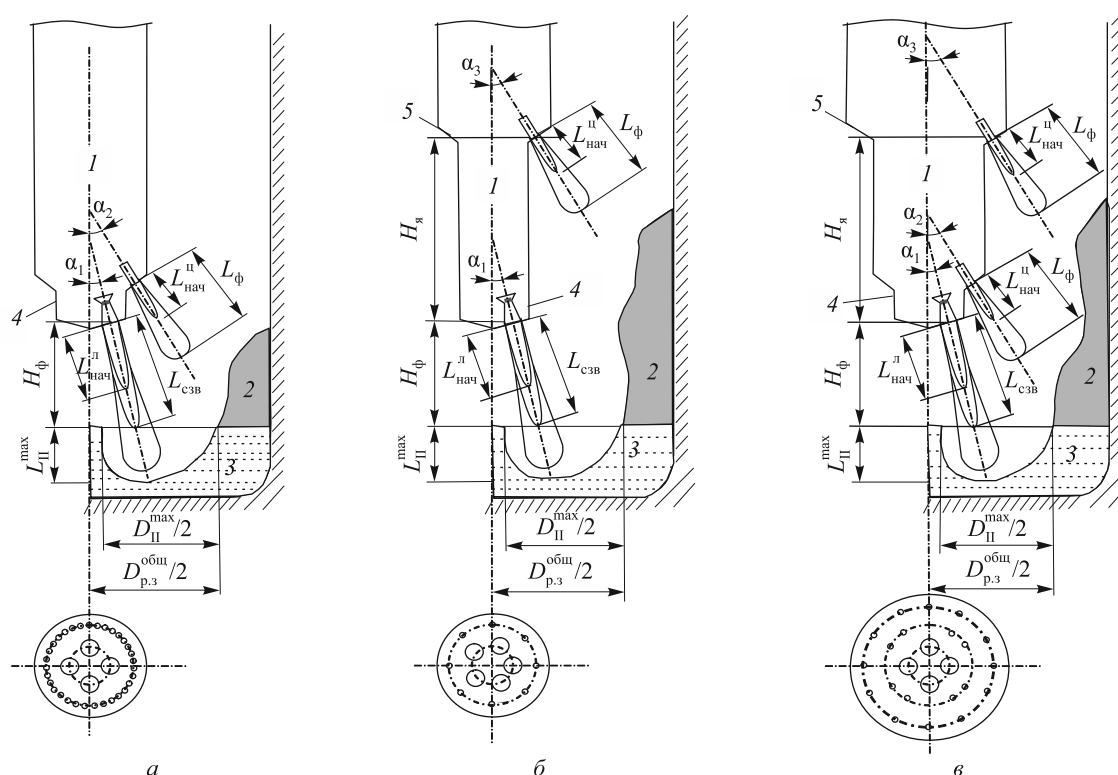


Рис. 3. Схема продувки конвертерной ванны с дожигом отходящих газов при использовании двухконтурной (а), двухъярусной (б) и двухконтурной двухъярусной (в) фурм:
1 – фурма; 2 – шлак; 3 – металл; 4 – нижняя головка; 5 – верхний сопловый блок

ответственно. При этом был решен важнейший вопрос предотвращения локального износа цилиндрической и верхней конической частей футеровки конвертера, фиксируемый при использовании двухъярусной фурмы.

Применение двухконтурной фурмы с подачей нейтрального газа в количестве 5,0 – 7,5 % расхода окислительного газа в потоке дополнительного кислорода позволило обеспечить экономию чугуна и извести соответственно на 30,7 и 7,1 кг/т стали [14].

Внедрение других вариантов технологии комбинированной продувки в условиях ЗСМК [10, 15] позволило значительно расширить функциональные возможности процесса и достигнуть улучшения по целому ряду показателей. Так, разработанная технология комбинированной продувки с подачей через конструкцию двухъярусной фурмы ЗСМК и ИЧМ основного потока кислорода (350 – 380 м³/мин) при кратковременном замещении дополнительного кислорода (20 – 55 м³/мин) на азот (20 – 60 м³/мин) в определенные периоды операции (рис. 3, б) с целью осаждения вспененного шлака при постоянном вдувании нейтрального газа через днище (6 – 8 м³/мин) позволила:

- более гибко управлять состоянием вспененного слоя шлакометаллической эмульсии с целью предотвращения выбросов, повышения эффективности дожига отходящих газов, удаления фосфора и серы;
- снизить расход чугуна на 14,5 кг/т стали, содержание оксидов железа в шлаке на 0,5 %, а также повысить

остаточное содержание марганца на 0,02 – 0,05 % и выход годного на 0,8 %.

С распадом СССР отработанные и внедренные в свое время на 160-т конвертерах ЗСМК оборудование, дутьевые устройства и варианты технологии комбинированной продувки были выведены из эксплуатации [7 – 10, 13 – 16].

В настоящее время собственники металлургических предприятий в подавляющем большинстве закупает оборудование и технологии зарубежных фирм без технической экспертизы ведущих специалистов научно-исследовательских и проектных организаций СНГ [1 – 3]. Не принимаются во внимание результаты ранее выполненных и проверенных в опытно-промышленном масштабе в бывшем СССР разработок оборудования и технологий, направленных на повышение ресурсо- и энергосберегающей эффективности кислородно-конвертерного производства стали.

В соответствии с современными представлениями для эффективной работы агрегатов при нестабильных условиях шихтовки плавки, характерных для большинства конвертерных цехов стран СНГ, применяемый дутьевой и шлаковый режим операции должен обеспечивать:

- ускоренное растворение присадок извести и магnezияльных шлакообразующих материалов с наведением жидкоподвижного основного шлака по ходу продувки с оптимальным содержанием оксида магния и надле-

жащей окислительной, фосфор- и серопоглощающей способностью;

- спокойный, без интенсивных выбросов и выносов ход продувки с предотвращением образования металлошлаковых настывей на стволе фурмы, горловине конвертера и экранных поверхностях котла-утилизатора;

- получение по окончании продувки железоуглеродистого полупродукта с требуемой температурой и концентрацией фосфора, а также шлака с повышенным до 8 – 14 % содержанием оксида магния, пригодным для нанесения шлакового гарнисажа на футеровку конвертера.

В условиях работы агрегатов, использующих комбинированную продувку ванны и применяющих для повышения стойкости футеровки агрегатов технологию нанесения шлакового гарнисажа, желательно, по мнению авторов, для повышения ресурсо- и энергосберегающей эффективности кислородно-конвертерного процесса внедрить с учетом имеющегося опыта проверенные в промышленной эксплуатации разработки [13 – 16].

Прежде всего необходимо оснастить конвертерные агрегаты усовершенствованными конструкциями двухконтурных и/или двухъярусных фурм, системами подвода к ним двух регулируемых потоков кислорода с возможностью их полного замещения на азот. В результате появляется возможность обеспечить продувку конвертерной ванны в режиме глубокого проникновения в металлический расплав основных сверхзвуковых кислородных струй, истекающих из сопел Лавала цельноблочного наконечника двухконтурной или двухъярусной фурмы, при перекрытии торца последнего слоем вспененной шлакометаллической эмульсии. При этом интенсифицируются процессы растворения присаженного лома, обезуглероживания и перемешивания ванны. Одновременно дополнительными дозвуковыми кислородными струями, которые формируются цилиндрическими соплами, расположенными в наконечниках двухконтурной (рис. 3, а) или двухъярусной (рис. 3, в) фурм и в верхних сопловых блоках двухъярусных фурм (рис. 3, б, в), создается обширная и относительно низкоскоростная область кислородных потоков на пути встречного потока оксида углерода, преимущественно выходящего из реакционной зоны взаимодействия основных кислородных струй с расплавом. Эта область (в зависимости от высоты фурмы над ванной и расхода дополнительного кислорода) определяет режимы шлакообразования, подавления интенсивного выноса мелких капель металла и шлака в направлении ствола фурмы и горловины конвертера, дожигания отходящих газов без воздействия на футеровку верхней части агрегата.

В этой связи показателен пример работы ряда металлургических фирм США и Канады [17 – 20], где используют для верхней кислородной продувки ванны большегрузных конвертеров емкостью 220 т [18],

262 т [19] и 295 т [20] и раздувки конечного шлака азотными струями с целью нанесения на футеровку шлакового гарнисажа двухъярусные фурмы с так называемым разделенным основным кислородным потоком. При подаче кислорода на дожигание отходящих газов в количестве 3,0 – 3,5 % от общего через верхний ярус сопел, расположенный на расстоянии 1,8 – 2,0 м от торца наконечника, удастся предотвратить интенсивное настывлеобразование на стволе фурмы, футеровке и горловине конвертера [17 – 20] и значительно уменьшить простои конвертеров, связанные с очисткой настывей и заменой фурм. При этом по данным работ [19, 20] обеспечивается максимальная стойкость футеровки конвертеров 30 и 43 тыс. плавов.

Если при использовании двухконтурных и двухъярусных фурм замена основного потока кислорода на азот преследует своей целью организацию раздувки подготовленного конечного шлака сверхзвуковыми азотными струями для формирования защитного шлакового гарнисажа на футеровке конвертера, то посредством кратковременной подачи азота через верхний ярус сопел [15] при замещении потока дополнительного кислорода, можно в ходе продувки управлять вспениванием шлака и подавлением выбросов, а также предотвращать чрезмерное переокисление металла и шлака при глубоком «передувке» и при исправлении операции и додувках путем подачи через цилиндрические сопла азота с минимальным расходом, достаточным для предотвращения «запечатывания» сопел каплями металла и шлака.

Подход к оценке размеров образуемых реакционных зон при проектировании дутьевых устройств (L_{11}^{\max} , D_{11}^{\max} , $D_{p.3}^{\text{общ}}$) и структурных составляющих кислородных струй (L_{ϕ} , $L_{\text{сзв}}$, $L_{\text{нач}}^{\text{н}}$, $L_{\text{нач}}^{\text{п}}$), эффективности дожигания отходящих газов при предлагаемых (рис. 3) вариантах продувки конвертерной ванны отражен в работах [11, 12, 16, 21].

На основании приобретенного производственного опыта [11, 13 – 15] с учетом выявленных недостатков продувки через двухъярусную фурму с разделенным кислородным потоком [22] для условий работы 160-т конвертеров ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК» предложен (в отличие от использовавшихся ранее вариантов [11, 13 – 15]), новый вариант комбинированной продувки (рис. 3, в) с использованием фурмы (рис. 4), которая обеспечивает вдувание дополнительного кислорода через цилиндрические сопла, размещенные на двух ярусах относительно торца наконечника.

В этом случае технологически обосновано и рекомендуется (рис. 4):

- обеспечить подвод к двухъярусной фурме двух регулируемых потоков (основного (350 – 400 м³/мин) и дополнительного (15 – 50 м³/мин)) кислорода с возможностью их полного замещения на азот с теми же расходами;
- оснастить конвертеры двухъярусной фурмой повышенной стойкости разработанной конструкции,

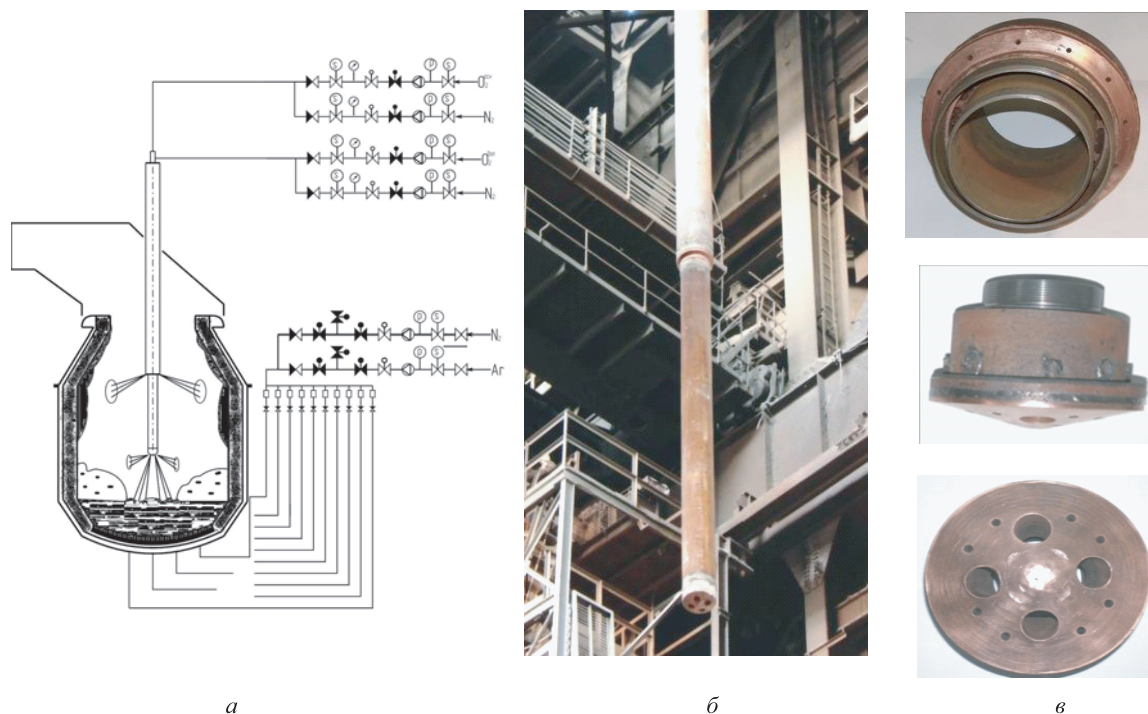


Рис. 4. Предлагаемая схема оснащения 160-т конвертеров регулируемым подводом технологических газов к верхней двухъярусной фурме и донным дутьевым устройствам (а), фото фурмы (б), верхнего 12-и соплового блока и нижнего 12-и соплового двухрядного наконечника (в)

включающей цельноточенный 12-и каналный наконечник [23] с двухрядным расположением четырех сопел Лаваля ($d_{кр} = 34$ мм, $\alpha_1 = 12^\circ$) и восьми цилиндрических сопел ($d_{ц} = 8$ мм, $\alpha_2 = 17^\circ$) и верхний цельноточенный 12-и каналный блок с цилиндрическими соплами ($d_{ц} = 8$ мм, $\alpha_1 = 35^\circ$), расположенный на расстоянии 2,5 м от торца нижнего наконечника;

- оборудовать конвертеры современной системой регулируемого подвода к каждой донной фурме нейтральных перемешивающих газов (азота, аргона) и взамен многоканальных перейти на более дешевые и высокостойкие одноканальные дутьевые устройства [24].

Использование таких технических решений при выбранной начальной и рабочей высоте фурмы над ванной позволит обеспечить:

- более эффективно перераспределять вдуваемый кислород на реакции с металлической, шлаковой и газовой фазами рабочего пространства конвертера, интенсифицировать процессы формирования основного шлака с оптимальной окисленностью и содержанием оксида магния с точки зрения окисления фосфора;

- управлять уровнем ванны и организовать на протяжении большей части времени плавки спокойную продувку с частичным дожиганием отходящих газов в режиме при перекрытии вспененной шлакометаллической эмульсией нижнего наконечника фурмы с предотвращением интенсивных выбросов и «сворачивания» шлака;

- предотвратить интенсивное заметалливание ствола фурмы, конической части футеровки и горловины конвертера, а также локальный износ футеровки при

предотвращении воздействия на футеровку высокотемпературных факелов дожигания;

- обеспечить снижение окисленности металла и шлака на окончательной стадии операции, особенно в случае вынужденных «додувок» плавки с целью обеспечения заданного состава и температуры расплава;

- обеспечить нанесение шлакового гарнисажа на футеровку конвертера посредством раздувки конечного шлака азотными струями, формируемыми соплами Лаваля нижнего наконечника при максимальном расходе азота и минимальной подаче азота через цилиндрические сопла верхнего яруса во избежание их «запечатывания» брызгами шлака.

В заключение следует отметить, что наряду с предложенной конструкцией двухъярусной фурмы (рис. 4) авторами разработана перспективная с точки зрения повышения эффективности комбинированной продувки конвертерной ванны кислородная фурма [25], приспособленная для вдувания в полость конвертера регулируемых потоков основного кислорода через сопла Лаваля нижнего двухрядного наконечника и дополнительного кислорода через цилиндрические сопла наконечника и верхнего яруса фурмы.

Выводы. Разработана и предложена к промышленному внедрению новая конструкция двухъярусной фурмы и технология комбинированной продувки кислородом и нейтральным газом ванны конвертеров емкостью 160 т, обеспечивающие повышение технологических и технико-экономических показателей плавки в сравнении с известными разработками.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ярошенко А.В., Суханов Ю.Ф., Долгих Ю.Н. // Сталь. 2008. № 8. С. 19 – 21.
2. Данилин Ю.А., Виноградов С.В., Мухранов Н.В., Герберт В. // Бюл. «Черная металлургия». ОАО «Черметинформация». 2008. № 6. С. 51 – 53.
3. Смирнов Л.А., Бабенко А.А., Данилин Ю.А. и др. // Сталь. 2010. № 5. С. 43 – 45.
4. Баптизманский В.И., Куликов В.О., Китаев А.Т. и др. // Экспресс-информация ЦНИИ и ТЭИ ЧМ. 1974. Сер. 6. Вып. 3. С. 1 – 14.
5. Бондаренко В.В., Мелихов В.Г., Белин Ф.Т. и др. // Бюл. ЦНИИ ЧМ. 1974. № 15. С. 48 – 50.
6. Кудрина А.П., Никифоров Б.В., Китаев А.Т. и др. // Огнеупоры. 1974. № 1. С. 27 – 32.
7. Шнееров Я.А., Афонин С.З., Смоктий В.В. и др. // Сталь. 1985. № 11. С. 16 – 21.
8. Айзатулов Р.С., Смоктий В.В. // Сталь. 1986. № 10. С. 12, 13.
9. Смоктий В.В., Лапицкий В.В., Белокуров Э.С. Комбинированные процессы выплавки стали в конвертерах. – К.: Техніка, 1992. – 163 с.
10. А.с. 1337417 СССР. Способ выплавки стали в конвертере / А.Г. Чернятевич, Р.С. Айзатулов, Е.В. Протопопов и др. // Открытия. Изобретения. 1987. № 34. С. 94, 95.
11. Чернятевич А.Г., Протопопов Е.В. // Изв. вуз. Черная металлургия. 1995. № 12. С. 13 – 17.
12. Чернятевич А.Г., Протопопов Е.В. // Изв. вуз. Черная металлургия. 1991. № 6. С. 17 – 24.
13. Чернятевич А.Г., Айзатулов Р.С., Протопопов Е.В. и др. // Черная металлургия. Бюл. НТИ. 1988. № 7. С. 48 – 50.
14. Чернятевич А.Г., Айзатулов Р.С., Протопопов Е.В. и др. // Сталь. 1989. № 5. С. 20 – 23.
15. Чернятевич А.Г., Айзатулов Р.С., Протопопов Е.В. и др. // Бюл. ЦНИИ и ТЭИ ЧМ. 1989. № 12. С. 48, 49.
16. Протопопов Е.В., Чернятевич А.Г., Мастеровенко Е.Л. и др. // Изв. вуз. Черная металлургия. 1999. № 3. С. 30 – 35.
17. Rymarchyk N. Post Combustion Lances in Basic Oxygen Furnace (BOF) Operations. – Steelmaking Conference Proceedings. 1998. P. 445 – 449.
18. Petrushka R., Manley S. Improvement in Oxygen Lance Life. – Steelmaking Conference Proceedings. 2000. P. 245 – 250.
19. Ughadpada K., Briglio S., Mohammed G. Production improvement of No. 2 BOSP at ESA // Iron and Steel Technology. 2010. № 11. P. 59 – 64.
20. Stone R.P., Neith D., Koester S. et al. Further process improvements at Severstal Sparrows Point via new technology implementation // AISTech Proceedings. 2009. № 1. P. 737 – 747.
21. Величко А.Г., Чернятевич А.Г., Сигарев Е.Н. и др. // Бюл. «Черная Металлургия». ОАО «Черметинформация». 2012. № 10. С. 48 – 53.
22. Чернятевич А.Г., Сигарев Е.Н., Чернятевич И.В. и др. // Теория и практика металлургии. 2012. № 5 – 6. С. 76 – 85.
23. Мокринский А.В., Протопопов Е.В., Чернятевич А.Г. // Изв. вуз. Черная металлургия. 2005. № 12. С. 16 – 20.
24. Смоктий В.В., Шумахер Э.Э., Порохнявый В.Г. и др. // Металлургическая и горнорудная промышленность. 2013. № 4. С. 17 – 19.
25. Пат. 2063446 РФ. Кислородная фурма для продувки жидкого металла / Протопопов Е.В., Айзатулов Р.С., Соколов В.В. и др. Заявл. 21.03.1994. Оpubл. 10.07.1996. Бюл. № 19.

© 2014 г. С.В. Фейлер, Е.В. Протопопов,
А.Г. Чернятевич
Поступила 21 марта 2014 г.

THE IMPROVED TECHNOLOGY OF COMBINED BLOWING OF A CONVERTER BATH WITH OXYGEN AND INDIFFERENT GAS

*S.V. Feyler¹, Cand. Eng., Assist. Professor
E.V. Protopopov¹, Dr. Eng., Professor
A.G. Chernyatevich², Dr. Eng., Professor*

¹ Siberian State Industrial University (Novokuznetsk, Kemerovo region, Russia)

² Dneprodzerzhinsk State Technical University (Dneprodzerzhinsk, Ukraine)

E-MAIL: feyler@rdtc.ru

Abstract. A comparative analysis of existing combined blowing technologies of metal in converters has been performed, as well as shortcomings of the considered technological options have been revealed. The researchers offer a new technology of combined blowing of a converter bath with the supply into a workspace unit different pulse jets of oxygen and indifferent gas through the upper bunk lance and indifferent gas through the bottom blowing of devices.

Keywords: converter, combined blowing, upper bunk lance, oxygen, indifferent gas, bottom blowing.

REFERENCES

1. Yaroshenko A.V., Suhanov Yu.F., Dolgih Yu.N. *Stal'*. 2008. № 8. P. 19 – 21.

2. Danilin Yu.A., Vinogradov S.V., Mukhranov N.V., Gerbert V. *Byul. «Chernaya metallurgiya»*. ОАО «Chermetinformaciya». 2008. № 6. Pp. 51 – 53.
3. Smirnov L.A., Babenko A.A., Danilin Yu.A. etc. *Stal'*. 2010. № 5. Pp. 43 – 45.
4. Baptizmanskiy V.I., Kulikov V.O., Kitaev A.T. etc. *Ekspress-informaciya CNII i TyeI ChM*. 1974. Ser. 6. Issue. 3. Pp. 1 – 14.
5. Bondarenko V.V., Melikhov V.G., Belin F.T. etc. *Byul. CNII ChM*. 1974. № 15. Pp. 48 – 50.
6. Kudrina A.P., Nikiforov B.V., Kitaev A.T. etc. *Ogneupory*. 1974. № 1. Pp. 27 – 32.
7. Shneerov Ya.A., Afonin S.Z., Smoktiy V.V. etc. *Stal'*. 1985. № 11. Pp. 16 – 21.
8. Ayzatlov R.S., Smoktiy V.V. *Stal'*. 1986. № 10. Pp. 12, 13.
9. Smoktiy V.V., Lapickiy V.V., Belokurov Ye.S. *Kombinirovannie protsessi viplavki stali v konverterakh*. K.: Tehnika, 1992. 163 p.
10. Chernyatevich A.G., Ayzatlov R.S., Protopopov E.V. etc. *Sposob viplavki stali v konvertere*. Certificate of authorship of USSR № 1337417, 1987.
11. Chernyatevich A.G., Protopopov E.V. *Izv. vuz. Chernaya metallurgiya*. 1995. № 12. Pp. 13 – 17.
12. Chernyatevich A.G., Protopopov E.V. *Izv. vuz. Chernaya metallurgiya*. 1991. № 6. Pp. 17 – 24.

13. Chernyatevich A.G., Ayzatulov R.S., Protopopov E.V. etc. *Chernaya metallurgiya. Byul. NTL*. 1988. № 7. Pp. 48 – 50.
14. Chernyatevich A.G., Ayzatulov R.S., Protopopov E.V. etc. *Stal'*. 1989. № 5. Pp. 20 – 23.
15. Chernyatevich A.G., Ayzatulov R.S., Protopopov E.V. etc. *Byul. CNII i TYel ChM*. 1989. № 12. Pp. 48, 49.
16. Protopopov E.V., Chernyatevich A.G., Masterovenko E.L. etc. *Izv. vuz. Chernaya metallurgiya*. 1999. № 3. Pp. 30 – 35.
17. Rymarchyk N. Post Combustion Lances in Basic Oxygen Furnace (BOF) Operations. *Steelmaking Conference Proceedings*. 1998. Pp. 445 – 449.
18. Petrushka R., Manley S. Improvement in Oxygen Lance Life. *Steelmaking Conference Proceedings*. 2000. Pp. 245 – 250.
19. Ughadpada K., Briglio S., Mohammed G. Production improvement of No. 2 BOSP at ESA. *Iron and Steel Technology*. 2010. № 11. Pp. 59 – 64.
20. Stone R.P., Neith D., Koester S. et al. Further process improvements at Severstal Sparrows Point via new technology implementation. *AISTech Proceedings*. 2009. № 1. Pp. 737 – 747.
21. Velichko A.G., Chernyatevich A.G., Sigarev E.N. etc. *Byul. «Chernaya Metallurgiya». OAO «Chermetinformaciya»*. 2012. № 10. Pp. 48 – 53.
22. Chernyatevich A.G., Sigarev E.N., Chernyatevich I.V. etc. *Teoriya i praktika metallurgii*. 2012. № 5 – 6. Pp. 76 – 85.
23. Mokrinskiy A.V., Protopopov E.V., Chernyatevich A.G. *Izv. vuz. Chernaya metallurgiya*. 2005. № 12. Pp. 16 – 20.
24. Smoktiy V.V., Shumaher Ye.Ye., Porohnyaviy V.G. etc. *Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost'*. 2013. № 4. Pp. 17 – 19.
25. Protopopov E.V., Ayzatulov R.S., Sokolov V.V. etc. *Kislородnaya furma dlya produvki zhidkogo metalla*. Patent RF № 2063446, 1984.

Received March 21, 2014