

11. Рельеф поверхности засыпи шихтовых материалов на колошнике доменной печи / В.П.Радченко, О.Н.Кукушкин, В.И.Головки [и др.] // Теория и практика металлургии. – 2008. – №3. – С.5-8.
12. Исследование работы доменной печи с усовершенствованной винтовой загрузкой шихтовых материалов / А.П.Фоменко, Н.В.Крутас, А.В.Кузьмин [и др.] // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2011. – № 1. – С.10-12.
13. Довгалюк Б.П. Алгоритм управления тепловым режимом и ходом доменной печи / Б.П.Довгалюк // Проблемы автоматизированного управления доменным производством: материалы Всесоюзного семинара. – К.: Наукова думка. – 1974. – С.45-57.
14. Довгалюк Б.П. Інформаційне забезпечення АСУ ТП доменної печі / Б.П.Довгалюк // Вісник Технологічного університету Поділля: науковий журнал. – Хмельницький. – 2002. – Том 1. – С.91-95.

Надійшла до редколегії 29.03.2012.

УДК 669.184.244

ЧЕРНЯТЕВИЧ А.Г, д.т.н., профессор  
МАСТЕРОВЕНКО Е.Л., к.т.н., доцент

Днепродзержинский государственный технический университет

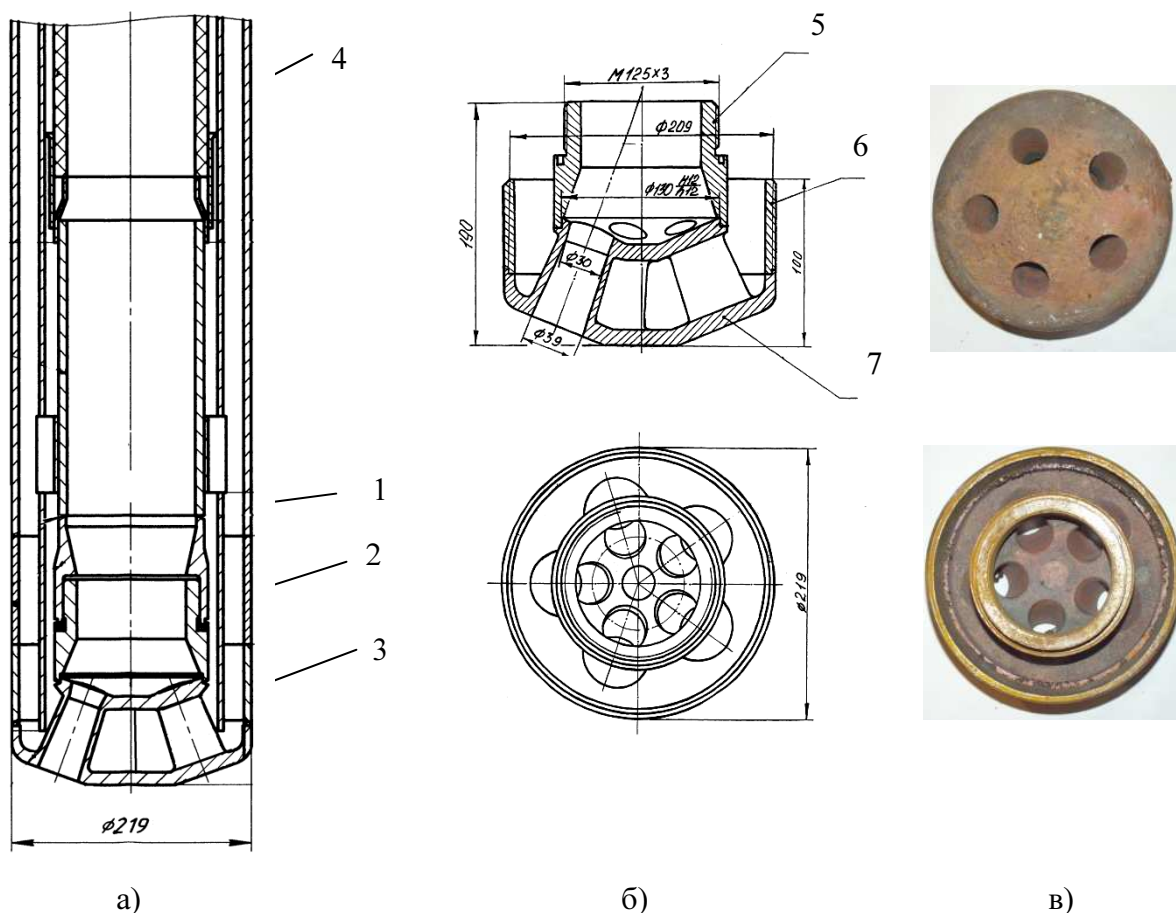
### НАПРАВЛЕНИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ КОНСТРУКЦИИ КИСЛОРОДНОЙ ФУРМЫ НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ

**Введение.** Эффективность работы конвертерного цеха определяется, прежде всего, высокой производительностью и низкими удельными расходами материальных и энергетических ресурсов, что в значительной степени зависит от конструктивных особенностей продувочного оборудования, дутьевого и шлакового режимов плавки.

Одним из факторов, обеспечивающих повышение ресурсо- и энергосберегающей эффективности кислородно-конвертерного процесса, является конструкция и стойкость ствола кислородной фурмы и ее наконечника. Известно, что наконечники фурм верхнего дутья работают в условиях высоких термонапряжений и постоянного контакта с высокотемпературными газами, шлаком и частицами металла. Большое влияние на надежность работы дутьевого устройства также оказывает процесс ее эксплуатации, особенно в случае двойного использования фурмы, а именно для продувки конвертерной ванны кислородом и нанесения шлакового гарнисажа на футеровку агрегата посредством раздува подготовленного конечного шлака азотными струями.

**Постановка задачи.** В условиях работы конвертерного цеха ПАО «Арселор-Миттал Кривой Рог», имеющем в своем составе шесть 160-т агрегатов, выплавка стали предусматривает максимальное удаление серы и фосфора непосредственно при продувке ванны. В качестве штатной конструкции наконечника кислородной фурмы используется литой 5-ти сопловый (рис.1) производства ООО «Константиновский завод металлургического оборудования». При этом обеспечивается продувка конвертерной ванны кислородом с расходом ( $Q_{O_2}$ ) 380-390 м<sup>3</sup>/мин через сопла Лавала критического диаметра ( $d_{кр}$ ) 32 мм, расположенные в литом сопловом блоке под углом ( $\alpha$ ) 20 град. к вертикальной оси фурмы. При диаметре ( $d_{нар}$ ) наружной трубы фурмы 219 мм реализован периферийный подвод охлаждающей воды к наконечнику с расходом ( $Q_{H_2O}$ ) порядка 80-95 м<sup>3</sup>/час.

Конструкция фурмы и наконечника (рис.1) не отвечают современным требованиям [1,2] с точки зрения повышения стойкости, поскольку имеют:



1, 2, 3 – внутренняя, промежуточная и наружная трубы фурмы соответственно;  
 4 – металлошланговый компенсатор; 5 –штуцер;  
 6 – соединительная вставка; 7 – литой сопловой блок

Рисунок 1 – Ствол(а) и наконечник (б, в) штатной кислородной фурмы  
 ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог»

- устаревшую систему компенсации термических напряжений в фурме в виде установленного на внутренней кислородподводящей трубе металлошлангового рукава, а также резьбового соединения наконечника с кислородподводящей трубой посредством штуцера и муфты с уплотнителем из шнуrowого асбеста;

- неэффективную конструкцию распределителя подводимой в наконечник охлаждающей воды, способствующего снижению скорости движения потоков вдоль торцевой части, возникновению застойных зон в межсопловом пространстве и, как следствие, недостаточному охлаждению наконечника в целом;

- литой медный сопловой блок, который отличается от цельноточенного или штампованного более низкой теплопроводностью, крупнозернистой структурой, пониженной чистотой внутренней поверхности, что ведет к снижению механической прочности и ухудшению условий охлаждения.

Для продления рабочей кампании 160-т конвертеров горячий ремонт футеровки первоначально осуществлялся путем нанесения шлакового гарнисажа с использованием штатной кислородной фурмы, а также факельного торкретирования с подачей торкрет-массы на основе магнезита через вращающуюся торкрет-фурму.

Следует особо отметить, что в результате внедрения технологии нанесения шлакового гарнисажа на футеровку конвертеров путем раздува азотными струями подготовленного конечного шлака условия эксплуатации кислородной фурмы и создания надлежащего шлакового режима плавки существенно осложнились. Работа конвертеров с частичным промежуточным скачиванием первичного низкоосновного шлака, присадка доломитизированной извести при малом количестве добавок плавикового шпата и формирование в процессе продувки шлака с повышенным содержанием оксида магния (8-12%), оптимального для образования шлакового гарнисажа, сопровождалось «сворачиванием» шлака, ухудшением удаления вредных примесей, усилением выноса капель металла и шлака с образованием металлошлаковой настыви на стволе кислородной фурмы и горловине конвертера.

Поэтому для условий работы ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог», характеризующихся нестабильными параметрами шихтовых материалов, для улучшения технологии продувки с ликвидацией отмеченных выше недостатков актуальным является вопрос совершенствования существующей и разработки новой верхней кислородной фурмы, лишенной указанных недостатков как в конструктивном оформлении, так и в технологической реализации выплавки в конвертере конечного железуглеродистого полупродукта.

**Результаты работы.** *Объекты и методика исследования.* Усовершенствование конструкции верхней кислородной фурмы ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог», направленное на эффективное проведение продувки конвертерной ванны по современной технологии, а также повышение стойкости и устранение причин преждевременной замены наконечников является объектом настоящего исследования.

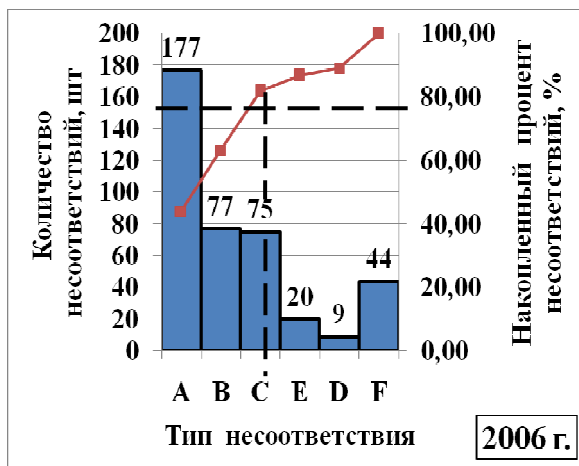
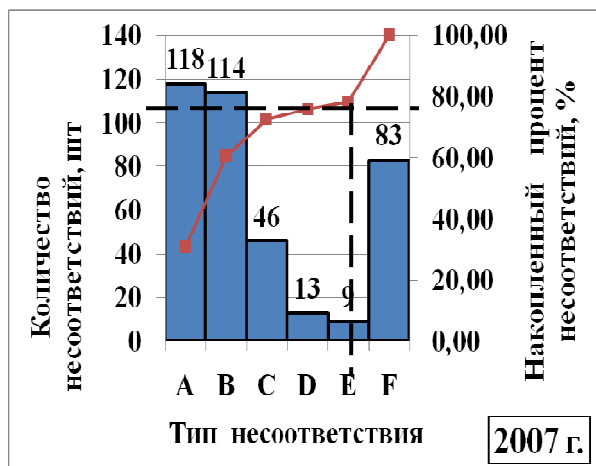
В последнее время роль производственных процессов для обеспечения качества продукции является одной из главных при одновременном снижении издержек производства. Обеспечение качества продукции согласно философии TotalQualityManagement (TQM) представляет собой совокупность планируемых и систематически проводимых мероприятий, создающих необходимые условия для выполнения каждого этапа петли качества (требования к оборудованию, сырью, материалам, средствам контроля и измерения, производственному персоналу и т.д.) для соответствия требованиям потребителя. Особое место среди систематически проводимых мероприятий обеспечения качества относятся мероприятия, связанные с предупреждением различных отклонений. К мероприятиям по предупреждению несоответствий можно отнести принудительную замену технологического оборудования или его элементов, планово-предупредительные ремонты, техническое обслуживание, обеспечение необходимой документацией всех рабочих мест и т.д.

Управление качеством представляет собой методы и деятельность оперативного характера. К ним относятся: управление процессами на основе системного и процессного подхода, выявление различного рода несоответствий в продукции или технологии с последующим устранением причин, их вызвавших.

Поэтому в данном исследовании особое внимание было уделено методам управления качеством из группы семи простых инструментов, что дало возможность получить надежные факторы разброса в процессе и регламентировать рациональные пределы вмешательства, так называемое статистическое регулирование процесса.

На начальном этапе исследований выполнен анализ стойкости и причин замены 5-ти сопловых наконечников фурм (рис.1) с использованием диаграмм Парето (рис.2).

На основании построенных диаграмм по данным эксплуатации кислородных фурм в 2002-2007 г.г. проведено ранжирование группы несоответствий по их значимости и построено два вида графиков: столбчатая диаграмма и кумулятивная кривая. За-

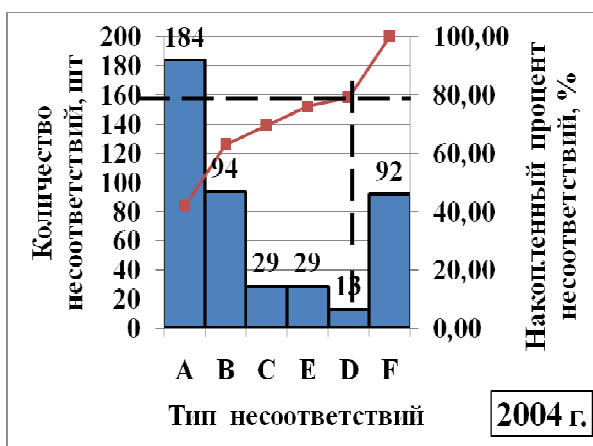
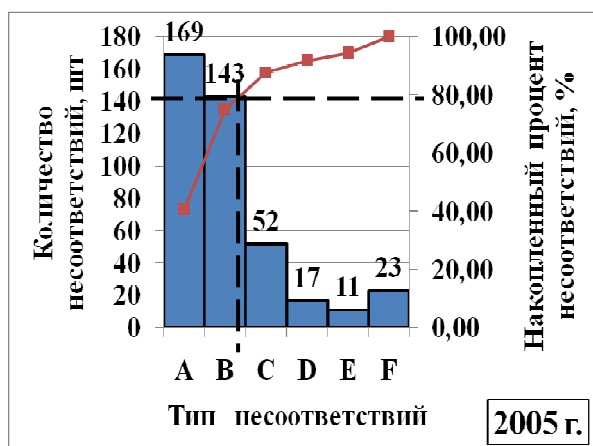


а)

Средняя стойкость 87,5 плавков

б)

Средняя стойкость 95,6 плавков

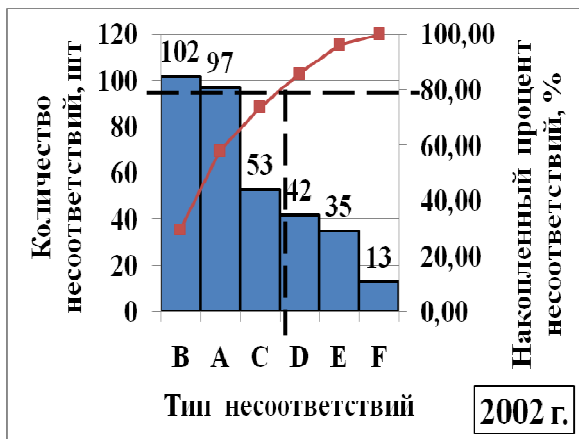
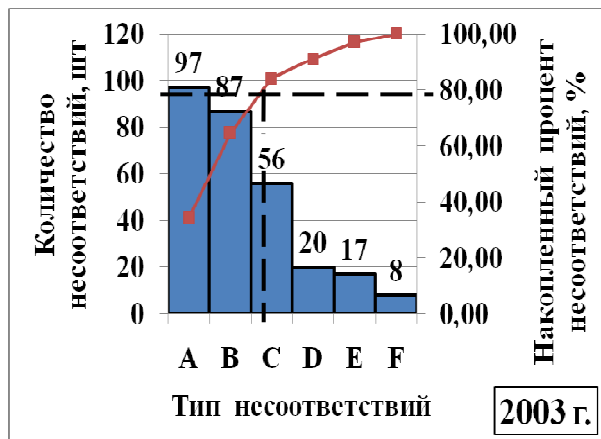


в)

Средняя стойкость 85,4 плавков

г)

Средняя стойкость 80,6 плавков



д)

Средняя стойкость 82,8 плавков

е)

Средняя стойкость 86,9 плавков

A – замена наконечника из-за обрезки настыли; B – прогар наконечника;  
C – разгар сопел; D – течь по сварному шву; E – течь компенсатора; F – прочие

Рисунок 2 – Анализ несоответствий на основе диаграммы Парето, влияющих на стойкость наконечников кислородных фурм по конвертерному цеху ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог» в 2002-2007 г.г.

тем на основании правила Парето (80:20) выделена область принятия первоочередных мер по устранению несоответствий.

Из диаграмм видно, что в 2007 и 2004 годах предупреждающие мероприятия направлены на все типы несоответствий при средней стойкости наконечников 87,5 и 80,6. Причем, если в 2007 г. при общем количестве несоответствий 383 (табл.1) наибольший и почти одинаковый вес имели причины замены наконечников из-за обрезки настыли (30,81%) и прогара наконечника (29,77%), то в 2004 г. при общем количестве несоответствий 441 распределение влияния этих факторов было (41,72 и 21,32%) с явным лидерством причины – выход из строя наконечника из-за обрезки настыли.

Таблица 1 – Процент несоответствий по каждому признаку выхода из строя наконечников кислородных фурм, применяемых в конвертерном цехе ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог»

Год	Процент несоответствий по каждому признаку (расшифровка – рис.2), %						Общее количество несоответствий за год, шт
	A	B	C	D	E	F	
2007	29,77	30,81	2,35	3,39	12,01	21,67	383
2006	19,15	44,03	4,98	2,24	18,66	10,94	402
2005	34,46	40,72	2,65	4,1	12,53	5,54	415
2004	21,32	41,72	6,58	2,95	6,58	20,86	441
2003	30,53	34,04	5,96	7,02	19,65	2,81	285
2002	29,82	28,36	10,23	12,28	15,50	3,80	342

В 2006 и 2002 годах приоритет причины замены наконечников находился между повреждением наконечника из-за обрезки настыли (44,03%) и прогаром наконечника (29,83%). Однако главный упор по устранению несоответствий согласно правилу Парето был брошен на три причины: повреждение наконечника из-за обрезки настыли, прогар наконечника и разгар сопел (18,66% в 2006 г. и 15,50% в 2002 г.).

Анализ работы фурм в 2005 и 2003 годах показал наименьшее количество признаков несоответствий, глобально влияющих на выход наконечника из строя, с явным лидерством повреждений наконечника из-за обрезки настыли (34,46% в 2005 г. и 30,53% в 2003 г.) и прогаром наконечника (40,72% в 2005 г. и 34,04% в 2003 г.). Был также существенно снижен процент прочих несоответствий по сравнению с другими годами (5,54% в 2005 г. и 2,81% в 2003 г.), что говорит о компетентности человеческих ресурсов по проведению процесса производства стали в конвертере.

Что касается максимального влияния каждого типа несоответствия по годам, то цифры такие: повреждение наконечника из-за обрезки настыли – 44,03% (2007 г.); прогар наконечника – 34,46% (2005 г.); разгар сопел – 19,65% (2003 г.); течь по сварному шву – 12,28% (2002 г.); течь компенсатора – 10,23% (2002 г.); прочие – 21,67% (2007 г.).

Дополнительно следует отметить, что эксплуатация штатной кислородной фурмы с 5-ти сопловой головкой (рис.1) характеризовалась:

- низкой средней стойкостью головок (80,6-95,6 плавов) по сравнению со стойкостью 400-450 плавов современных штампованных цельных головок [1];

- высокими расходами наружной трубы фурмы Ø219×7 мм (примерно 2600 м/год) из-за повреждения при обрезке металлошлаковых настылей. В результате обрезки настылей на фурменном стенде кислородной трубкой (3-5 обрезок настылей за смену) часто происходит повреждение наружной трубы фурмы и самого наконечника с возникновением интенсивной течи воды. Удалять настыль на фурменном участке не

представляется возможным, поэтому приходится полностью разрезать ствол фурмы с заменой значительных по протяженности участков наружной трубы;

- значительными расходами дорогостоящих металлошланговых компенсаторов (около 170 шт/год) из-за несовершенства системы компенсации;

- высокими среднемесячными простоями на ремонт и замену фурм, удаление металлошлаковых настывлей со ствола фурмы и горловины конвертера. Удаление настывлей с горловины конвертера с помощью совка, закрепленного на завалочном кране, зачастую сопровождается повреждением футеровки верхней конической части рабочего пространства агрегата.

С учетом вышеизложенного анализа были намечены и последовательно реализуются в условиях конвертерного цеха ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог» следующие направления и разработки по совершенствованию конструкции кислородной фурмы и применяемых наконечников с точки зрения повышения их стойкости, обеспечения надлежащего режима продувки конвертерной ванны с предотвращением интенсивного заметалливания ствола фурмы и горловины конвертера:

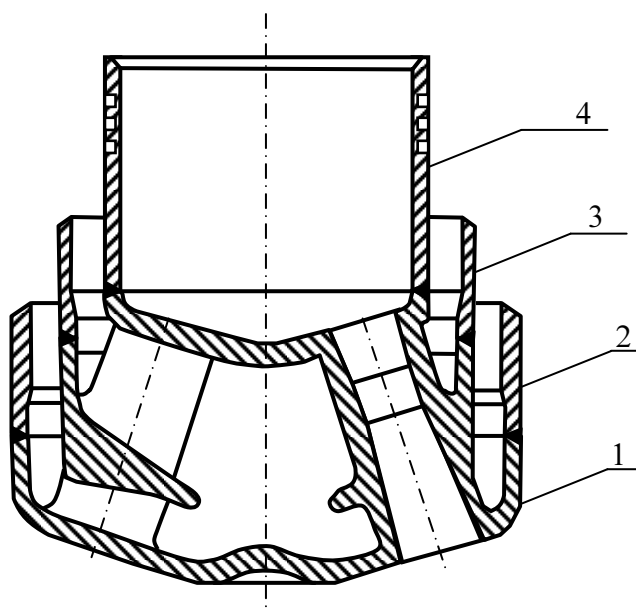
1. С целью повышения стойкости разработаны и опробованы в продолжительной эксплуатации 4-х и 12-ти сопловые цельноточенные наконечники (патент Украины № 12678) для верхней фурмы (рис.1), работающей с расходом кислорода 380-390 м<sup>3</sup>/мин при улучшенной системе охлаждения межсоплового пространства с периферийным подводом воды с расходом 70-100 м<sup>3</sup>/час [3]. Разработка 4-х соплового наконечника (сопла Лавая критического диаметра 36 мм, расположенные под углом 15 град. к вертикали) была направлена на преимущественное использование последнего в начальной кампании конвертера, когда профиль рабочего пространства агрегата не претерпевает значительных изменений вследствие износа футеровки, а также в случае использования в составе металлозавалки повышенной доли скрапа, извлекаемого при переработке шлаковых отвалов. Это связано с необходимостью повышения «жесткости» кислородного дутья в ходе продувки во избежание чрезмерного вспенивания шлака и образования выбросов. В то же время разработка конструкции 12-ти соплового наконечника (двухрядное размещение под углом 15 град. к вертикали 4-х сопел Лавая критического диаметра 34 мм и 8-ми цилиндрических сопел диаметром 8 мм) преследовала своей целью организацию продувки конвертерной ванны со снижением интенсивности заметалливания ствола фурмы и горловины конвертера, характерного при использовании штатной конструкции литого 5-ти соплового наконечника (рис.1).

Достигнутая средняя стойкость 4-х и 12-ти сопловых цельноточенных наконечников составила 162 и 137 плавов соответственно, что почти в 2 и 1,6 раза выше средней стойкости (85 плавов) 5-ти сопловых литых наконечников. Использование 4-х соплового наконечника обеспечивает более «жесткий» режим продувки, что дает возможность в условиях изменяемых параметров металлозавалки (соотношение скрапа, лома и чугуна) более эффективно предотвращать выбросы из конвертера и проводить плавки без промежуточного скачивания шлака. Применение 12-ти соплового наконечника обеспечивает ускоренное растворение присаживаемой обычной и доломитизированной извести, наведение жидкоподвижного основного шлака, содержащего 5-7% оксида магния, что способствует существенному снижению интенсивности заметалливания ствола фурмы и передачи последней под обрезку настывлей.

Внедрение в постоянную промышленную эксплуатацию предложенных конструкций 6-ти и 12-ти цельноточенных наконечников фурм, к сожалению, не состоялось из-за невозможности изготовления последних в механических цехах ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог», а также в условиях ООО «Константиновский завод металлургического оборудования».

2. С целью повышения стойкости литых наконечников предложено ООО «Константиновский завод металлургического оборудования» реализовать изготовление и поставку известной оптимизированной конструкции (рис.3), предусматривающей отливку медного соплового блока с распределителем, обеспечивающим ликвидацию застойных зон в межсопловом пространстве наконечника и скорость прохождения охлаждающей воды вдоль торцевой части последнего не ниже 5 м/с. Это решение обеспечит снижение количества вышедших из строя наконечников по причине прогара торцевой части и усиленного разгара выходных кромок сопел.

3. Для повышения стойкости фурм и снижения трудозатрат на их ремонт в настоящее время изменяется система компенсации расширения наружной трубы фурмы. При этом вместо металлошлангового компенсатора фурма оборудуется современной подвижной конструкцией [1, 2] с резиновыми кольцами, расположенными на соединительной вставке наконечника (рис.3) с внутренней трубой подвода кислорода.



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

Рисунок 3 – Оптимизированный вариант литого наконечника

4. Отработана и внедрена новая ресурсо- и энергосберегающая технология горячего ремонта футеровки 160-т конвертеров ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог» [4], обеспечивающая с использованием разработанной конструкции гарнисажной торкрет-фурмы совместное либо раздельное нанесение шлакового гарнисажа и факельное тор-

кретирование футеровки с использованием дешевых торкрет-масс на основе необожженного доломита (патент Украины № 25475). Это, помимо повышения стойкости футеровки конвертеров и снижения затрат на торкрет-массу, привело к прекращению использования кислородной фурмы для нанесения шлакового гарнисажа, что повлекло за собой снижение в 2,1 раза количества фурм, выведенных из строя из-за повреждения наружной трубы при обрезке настылей.

5. Для улучшения технологии продувки с ликвидацией отмеченных выше недостатков в наилучшем варианте планируется оснастить 160-т конвертера двухъярусными верхними фурмами повышенной стойкости [3]. Это позволит:

- обеспечить оптимальное перераспределение вдуваемого кислорода на реакции с металлической, шлаковой и газовой фазами, чтобы при надлежащем шлакообразовании избежать возникновения выбросов и обеспечить частичное дожигание отходящих газов с увеличением приходной части теплового баланса плавки без повышенного локального износа верхней части футеровки конвертера;

- предотвратить образование шлакометаллических настылей на стволе фурмы, конической части футеровки и горловине конвертера как в ходе продувки, так и при дополнительном использовании верхней фурмы для раздувки азотными струями конечного шлака с повышенным содержанием оксида магния с целью нанесения шлакового гарнисажа на футеровку агрегата;

- избежать чрезмерного переокисления металла и шлака, снижения остаточной концентрации марганца в случае вынужденного передувания ванны для повышения температуры металла или снижения в нем серы и фосфора.

При этом основными соплами Лавала нижнего яруса формируются сверхзвуковые кислородные струи, предназначенные для продувки конвертерной ванны с глубоким проникновением в металлический расплав, обеспечением интенсивного его обезуглероживания и перемешивания. Дополнительными цилиндрическими соплами верхнего яруса формируется обширная низкоскоростная область кислородных потоков, т.е. своеобразная завеса над зоной продувки, которая определяет в зависимости от высоты фурмы над ванной режимы дожигания монооксида углерода в полости конвертера без агрессивного воздействия факелов дожигания непосредственно на футеровку, а также препятствует выносу капель металла и шлака с развитием заматалливания технологического оборудования.

**Выводы.** На основании анализа выявленных недостатков эксплуатации штатной конструкции кислородной фурмы на 160-т конвертерах ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог» с применением методов управления качеством обоснованы основные направления по совершенствованию конструкции кислородной фурмы и применяемых наконечников с точки зрения повышения их стойкости, обеспечения надлежащего режима продувки конвертерной ванны с предотвращением интенсивного заматалливания ствола фурмы и горловины конвертера. Отражены достигнутые результаты в разработке и внедрении ряда предложенных мероприятий.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Современные разработки многосопловых головок фурм для конвертеров ЛД и взаимосвязь между конструкцией головки фурмы и металлургическими результатами / Д.П.Коттедж, Г.Л.Эколс, Д.Шуп, К.Энлер // Бюллетень НТИ «Черная металлургия». – 1993. – Вып. 1. – С.21-25.
2. Усовершенствование конструкции кислородной фурмы для конвертерного производства / А.Г.Величко, В.С.Гришин, В.А.Грядун[и др.] // Металл и литье Украины. – 2005. – №3-4. – С.32-33.
3. Чернятевич А.Г. Новые разработки конструкций кислородных фурм и способов продувки ванны 160-т конвертеров ОАО «АрселорМиттал Кривой Рог» / А.Г.Чернятевич,



Е.Н.Сигарев, И.В.Чернятевич // Теория и практика металлургии. – 2010. – № 1-2. – С.31-38.

4. Разработка и внедрение технологии горячего ремонта футеровки 160-т конвертеров с использованием вращающейся гарнисажной фурмы / А.Г.Чернятевич, В.А.Шерemet, Е.Н.Сигарев[и др.] // Бюллетень «Черная металлургия».– ОАО «Черметинформация». – 2008. – №11. – С.88-90.

Поступила в редколлегию 07.06.2012.

УДК 669.162.267

СИГАРЕВ Е.Н., к.т.н, доцент

Днепродзержинский государственный технический университет

### ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВА ШЛАКА ДЛЯ КОМПЛЕКСНОГО РАФИНИРОВАНИЯ ЖЕЛЕЗОУГЛЕРОДИСТОГО РАСПЛАВА

**Введение.** Наряду с неоспоримыми преимуществами (одностадийность и атермичность процесса) в сравнении с известными [1-3] отработанные в лабораторных условиях [4, 5] способы одновременного удаления серы и кремния из чугуна вдуванием топливно-кислородных и кислородно-известковых струй через погружные фурмы имеют ряд недостатков при реализации в промышленных условиях:

- изготовление и применение шлакоразделительных перегородок, сложность обслуживания двухкамерных заливочных ковшей;

- использование дорогостоящих порошкообразного алюминия в составе десульфурирующей смеси на основе извести и природного газа для создания кольцевой защитной оболочки вокруг кислородно-известковой струи, что снижает экономическую эффективность операции;

- расслоение и изменение состава предварительно подготовленной десульфурирующей смеси (90%CaO+10%Al) в процессе хранения и транспортировки, что осложняет получение стабильных показателей рафинирования чугуна;

- пожаро- и взрывоопасный режим работы инжекционного оборудования, особенно погружной фурмы из-за вдувания порошкообразной смеси, содержащей алюминий, в потоке кислорода.

С учетом возможной модернизации приобретенных рядом металлургических предприятий Украины коинжекционных установок десульфурации чугуна [6] и предложенной заменой порошкообразного алюминия на более дешевый и безопасный чушковый, а защитного природного газа на азот одновременное удаление кремния и серы в обычном заливочном ковше предлагается осуществлять по схеме (рис.1) [7]:

- производится первоначальная обработка железоуглеродистого расплава в заливочном ковше присадкой чушкового алюминия во время наполнения ковша расплавом;

- последующее вдувание порошкообразных десульфураторов вглубь расплава через две погружные фурмы, которые связаны с двумя работающими независимо одна от другой моно- или коинжекционными системами подачи порошков;

- через одну погружную фурму (типа «труба в трубе») производится вдувание в расплав порошкообразной извести в потоке кислорода, окруженного защитной кольцевой оболочкой азота, с удалением кремния в пределах первичной реакционной зоны воздействия кислородно-известковых струй на расплав, а серы – во вторичной барботажной реакционной зоне посредством взаимодействия с всплывающими к поверхности ванны каплями жидкоподвижного шлака системы (CaO-SiO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-MgO);

- путем подачи диспергированного магния или смеси последнего с известью в