

А.Г.Чернятевич

**НАПРАВЛЕНИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ КОМБИНИРОВАННОЙ
ПРОДУВКИ КОНВЕРТЕРНОЙ ВАННЫ КИСЛОРОДОМ
И НЕЙТРАЛЬНЫМ ГАЗОМ**

Институт черной металлургии НАН Украины

Изложены вопросы разработки и совершенствования отечественной технологии комбинированной продувки конвертерной ванны кислородом сверху и нейтральным перемешивающим газом (азот, аргон) через днище. 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, двухъярусная фурма, кислород, нейтральный газ, донные фурмы

Современное состояние вопроса. Технология конвертерного процесса с комбинированной продувкой кислородом сверху и нейтральным перемешивающим газом (азот, аргон) через днище получила распространение в 1980-х гг., благодаря улучшению технологических и технико-экономических показателей. В настоящее время в мире около 80% конвертерной стали выплавляется по этой технологии, которая обеспечивает в зависимости от сортамента выплавляемой стали следующие преимущества по сравнению с классическим кислородно-конвертерным процессом с верхней продувкой:

- увеличение интенсивности подачи кислорода и уменьшение длительности продувки;
- более спокойный характер продувки с отсутствием интенсивных выбросов шлакометаллической взвеси из агрегата;
- повышение стабильности по температуре и химическому составу от плавки к плавке;
- уменьшение угара железа и окисленности металла на выпуске, увеличение остаточного содержания марганца, снижение расхода алюминия и ферросплавов и в итоге – повышение выхода жидкой стали;
- получение низких содержания углерода и вредных примесей в конечном металлургическом полупродукте.

В последние годы начавшееся в СНГ техническое перевооружение кислородно-конвертерного процесса реализуется в направлении закупки и установки «под ключ» зарубежных оборудования и технологий комбинированной продувки конвертерной ванны кислородом сверху и нейтральным перемешивающим газом через днище [1-3].

Вместе с тем, внедренная австрийской фирмой «VAI» на ряде металлургических предприятий России (ОАО «НЛМК», ОАО «ЕВРАЗ НТМК»)

и Украины (ПАО «АМК», ПАО «ДМКД») технология комбинированной продувки конвертерной ванны кислородом сверху через обычную много-сопловую фурму и нейтральным газом (азот, аргон) через донные много-канальные пробки [1-3], способствуя более спокойному ходу продувки, улучшению перемешивания ванны со снижением окисленности металла и шлака, особенно при содержании углерода в конечном металлическом полупродукте $\leq 0,05$ %, к сожалению, характеризуется следующими недостатками:

- для верхней продувки ванны 160 и 330-т конвертеров с расходом кислорода соответственно 500 и 1050-1200 $\text{м}^3/\text{мин}$ применяются кислородные фурмы классической конструкции с литыми наконечниками (рис. 1) немецкой фирмы «Impact», содержащими 6 сопел Лавала, расположенными по кругу под углом (α) наклона к вертикальной оси фурмы 14, 17 и 20° . Используемые наконечники (рис. 1) достигли своего конструктивного совершенства с точки зрения повышения стойкости и снижения трудозатрат на их замену в процессе эксплуатации. Вместе с тем эти наконечники не удовлетворяют требованиям технологии в отношении улучшения теплового баланса конвертерной плавки, хода шлакообразования, удаления фосфора при повышенном содержании углерода в металлическом расплаве [1-3];

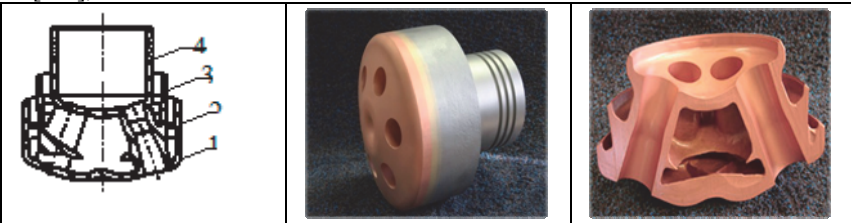


Рис. 1. Конструкция наконечника фирмы «Impact»: 1 - литой сопловой блок; 2- соединительная вставка с наружной трубой отвода воды; 3- соединительная вставка с промежуточной трубой

- интенсифицируется заметалливание технологического оборудования (ствола кислородной фурмы, горловины конвертера и экранных поверхностей камина) из-за более продолжительного протекания комбинированной продувки в режиме «сварачивания» шлака, особенно при содержании в последнем более 8 % оксида магния. Удаление металлошлаковых настывлей с кислородной фурмы с помощью кислородно-топливных резаков, горловины конвертера совком для загрузки лома, закрепленным на кране, вынужденный переход на продувку с полным дожиганием отходящих газов с целью удаления настывлей с экранных поверхностей камина сопровождаются снижением производительности конвертера и стойкости кислородных фурм, разрушением футеровки конической части агрегата и

ускоренным выходом горловины и трубчатых водоохлаждаемых элементов газоотводящего тракта из строя;

- существенно осложняется технология нанесения шлакового гарнисажа на футеровку 160 и 330- т конвертеров и особенно уход за днищем с целью предотвращения его износа и обеспечения работоспособности соответственно 10 и 16 донных фурм (многоканальных огнеупорных пробок) для подачи азота и аргона с расходом 0,2-1,7 $\text{м}^3/\text{мин}$ через одну продувочную пробку;

- из-за ускоренного износа днища, прекращения работы части донных продувочных пробок в результате повреждения при загрузке лома или «запечатывания» высокомагнезиальным конечным шлаком при его раздуве кампания комбинированной продувки заканчивается и агрегат переводится на классическую верхнюю продувку.

Для решения отмеченных проблем в настоящее время актуально с учетом приобретенного отечественного опыта [4-7] комбинированной продувки 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 плавки.

Результаты отечественных разработок. В бывшем СССР вначале 1980-х гг. освоение комбинированной продувки кислородом и нейтральным газом на 160-т конвертерах Западно-Сибирского металлургического комбината (ЗСМК) возглавил ИЧМ (ныне Институт черной металлургии им. З.И. Некрасова Национальной академии наук Украины). Все исследования и разработки осуществлялись под руководством заведующего отделом металлургии стали, профессора, д.т.н. Я.А. Шнеерова. Были организованы широкомасштабные комплексные проектные и исследовательские работы, к которым привлекались головные отраслевые институты – Всесоюзный институт огнеупоров, «ВНИПИЧерметэнергоочистка», ВостИО, сотрудники ЗСМК, Восточного филиала ИЧМ и кафедр металлургии стали Днепродзержинского индустриального института (ДИИ) и Сибирского металлургического института (СМИ).

Перед началом работ обычная технология ведения плавки на 160-т конвертерах ЗСМК предусматривала расход лома около 25 %. Заливаемый в конвертер при 1300-1400 °С чугуn содержал 0,45-1,05 % Si, 0,48-0,80 % Mn, 0,018-0,030 % S, 0,20-0,30 % P.

Продувка кислородом сверху с расходом около 400 $\text{м}^3/\text{мин}$ велась через фурму с 5-ти сопловым наконечником, имеющим сопла Лавалья критического диаметра ($d_{кр}$) 35 мм, расположенные под углом (α) 20°. В течение первых 3-4 минут продувки фурму располагали на высоте 2,0-2,5 м над уровнем спокойной ванны, а затем опускали на рабочую высоту 1,0-1,4 м. В качестве шлакообразующих материалов применяли известь с содержанием 80-90 % CaO и плавиковый шпат. Корректировку температурного режима плавки проводили присадками известняка.

В связи с высоким содержанием в чугуне фосфора осуществлялось быстрое наведение основного окислительного шлака, который поддерживался во вспененном состоянии на уровне горловины на протяжении большей части периода продувки. Основность конечного шлака была на уровне 3,0-3,5, а суммарное содержание FeO в пределах 18-22 %.

При выплавке стали с 0,20 % С и более продувку заканчивали при содержании углерода не ниже 0,12 %, а остальных марок – не менее 0,06 % С.

Основной целью разрабатываемой технологии комбинированной продувки [4] являлось снижение расхода жидкого чугуна путем повышения степени дожигания монооксида углерода отходящих газов в рабочем пространстве конвертера за счет использования двухъярусной фурмы.

Первоначально это потребовало решения комплекса научно-технических задач по оснащению конвертера:

- системой регулируемого подвода основного и дополнительного кислорода к верхней двухъярусной фурме;
- системой регулируемой подачи азота, аргона и компрессорного воздуха к донным фурмам.

В процессе опытно-промышленных кампаний плавки провели отработку:

- конструкции двухъярусной фурмы, режимов подачи через нее двух потоков кислорода и изменения ее высоты в ходе комбинированной продувки с присадкой в конвертер шлакообразующих материалов;
- рациональной конструкции донных фурм и схемы расположения их в днище конвертера
- режимов подачи нейтрального газа через донные фурмы, в том числе перехода с азота на аргон;
- технологических параметров плавки с комбинированной продувкой для различного сортамента стали, включая слеппродувочное перемешивание.

В свое время значительным достижением в разработке конструкции кислородной фурмы и совершенствовании технологии верхней продувки конвертерной ванны явилось применение на 130-т конвертерах металлургического завода «Криворожсталь» двухъярусной фурмы [8-10], обеспечивающей регулируемое вдувание в рабочее пространство агрегата и взаимодействие с конвертерной ванной разноимпульсных сверх- и дозвуковых кислородных струй. По замыслу разработчиков [8, 9] преследовалась, прежде всего, цель улучшения теплового баланса плавки и более гибкого управления ходом шлакообразования и продувки конвертерной ванны за счет оптимального перераспределения вдуваемых кислородных потоков на реакции в металлической, шлаковой и газовой фазах полости конвертера. Разработанная конструкция двухъярусной фурмы и технология продувки конвертерной ванны при расходе кислорода через сопла верхнего и нижнего яруса соответственно 100-150 и 450 $\text{нм}^3/\text{мин}$ позволи-

ли [8, 9] интенсифицировать процессы продувки и шлакообразования, увеличить производительность конвертеров благодаря сокращению на 22 % длительности продувки и долю перерабатываемого металлолома до 30 % за счет дожигания монооксида углерода отходящих газов. Однако проявилось такое отрицательное последствие использования двухъярусных фурм как ускоренный локальный износ цилиндрической и верхней конической части футеровки конвертера [8- 10].

При освоённой отечественной технологии комбинированной продувки на 160-т конвертерах ЗСМК [4-7], предусматривающей верхнюю продувку ванны двумя регулируемым потоками основного (300-350 $\text{нм}^3/\text{мин}$) и дополнительного (50-100 $\text{нм}^3/\text{мин}$) кислорода через двухъярусную фурму и подачу через 10 донных одноканальных фурм с каналом диаметром 6-8 мм нейтральных газов (азот, аргон) с расходом 6-16 $\text{нм}^3/\text{мин}$, удалось за счет дополнительного управляющего воздействия (изменение интенсивности донного дутья) более эффективно управлять ходом шлакообразования и продувки с точки зрения предотвращения интенсивного образования вспененной шлакометаллической эмульсии и выбросов, повышения степени дожигания отходящих газов, снижения окисленности конечного металла и шлака.

Отработанная конструкция двухъярусной фурмы ИЧМ и ЗСМК, имеющая в нижнем ярусе четыре сопла Лавалья с критическим диаметром ($d_{кр}$) 35 мм, расположенных под углом (α_1) 15^0 к вертикали, а в верхнем ярусе, удаленном на 2,5 м от нижнего,- шесть овальных щелевых сопел (19x44 мм) под углом (α_3) 30^0 , оптимальный режим дутья и присадок шлакообразующих материалов обеспечили [4-6]:

- 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 заметалливания ствола фурмы и горловины конвертера.

Вместе с тем не получилось избежать интенсивного износа футеровки цилиндрической и верхней конической части конвертера, а также добиться надлежащей стойкости днища и донных фурм в отсутствие 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 5-ти сопловой фурмы (сопла Лавалья с $d_{кр}$ 35 мм и α_1 20^0), обеспечивающей расход кислорода 380-400 $\text{нм}^3/\text{мин}$.

Для выхода из создавшегося положения совместными усилиями сотрудников ЗСМК, Днепродзержинского индустриального и Сибирского металлургического институтов были внедрены следующие мероприятия по повышению эффективности комбинированной продувки ванны 160-т конвертеров:

- с целью освоения нового способа выплавки стали в конвертере [11] была модернизирована система подачи технологических газов к верхней фурме (рис. 2), что обеспечило возможность осуществления продувки конвертерной ванны через двухъярусную или двухконтурную фурмы двумя регулируемы потоками основного и дополнительного кислорода с возможностью регулируемой подачи нейтрального газа в потоке дополнительного кислорода, в том числе до его полного замещения;

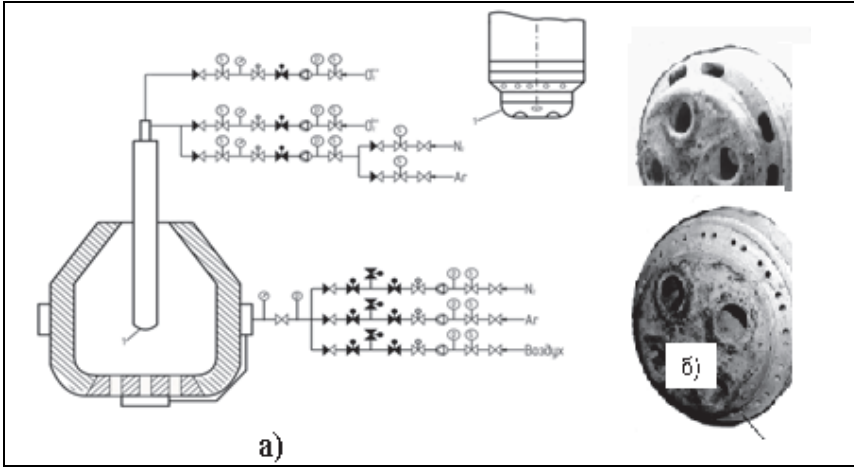


Рис. 2. Схема оснащения 160-т конвертеров ЗСМК регулируемым подводом технологических газов (а) и двухконтурной фурмой с 12-ти и 36-ти сопловыми наконечниками (б).

- по предложенной методике [12,13] спроектированы, изготовлены и проверены в продолжительной работе [14-17] 12-ти и 36-ти канальные наконечники с двухрядным расположением сопел для двухконтурной фурмы (рис. 2). В 12-ти канальном наконечнике внутренний ряд сопел выполнен в составе четырех сопел Лавалья ($d_{кр} = 35$ мм, $\alpha_1 = 15^0$) и обеспечивал «жесткую» продувку конвертерной ванны сверхзвуковыми струями с расходом основного кислорода 300-350 $\text{нм}^3/\text{мин}$ с целью интенсификации обезуглероживания и расплавления металлолома. Восемь овальных щелевых сопел (19x44 мм), размещенных в наружном ряду наконечника под углом $\alpha_2 = 30^0$, обеспечивали при расходе дополнительного кислорода 50-100 $\text{нм}^3/\text{мин}$ значительный по площади дозвуковой поток, направленный на дожигание СО до CO_2 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-ти канального наконечника позволяла посредством центральной группы сверхзвуковых струй, формируемых при расходе основного кислорода в количестве 300-350 $\text{нм}^3/\text{мин}$ четырьмя соплами Лавалья ($d_{кр} = 35$ мм, $\alpha_1 = 12^0$) внутреннего ряда, создать объединенную

реакционную зону интенсивного выделения монооксида углерода с диаметром $D_{p.з.}^{общ}$ на поверхности металлической ванны в спокойном состоянии (рис. 3,а). При этом за счет направленных дозвуковых струй наружного ряда, истекающих при расходе дополнительного кислорода $50-100 \text{ нм}^3/\text{мин}$ через 32 цилиндрических сопла диам. 8 мм под углом $\alpha_2 = 30^\circ$, осуществлялось дожигание монооксида углерода до его диоксида в «свищевом» потоке отходящих из реакционной зоны через слой вспененного шлака газов при подавлении интенсивного выноса капель металла и шлака;

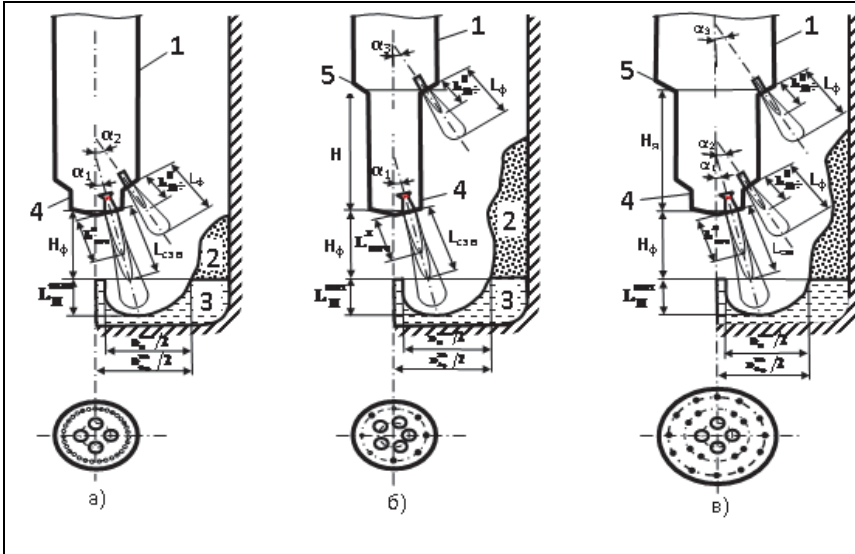


Рис.3. Схема продувки конвертерной ванны с дожиганием отходящих газов при использовании двухконтурной (а) и двухъярусных (б, в) фурм: 1 – фурма; 2 – шлак; 3 – металл; 4 – нижний наконечник; 5 – верхний сопловой блок.

- для донного перемешивания конвертерной ванны нейтральными газами с расходом $6-16 \text{ нм}^3/\text{мин}$ были использованы 8-10 одноканальных огнеупорных блоков производства Всесоюзного института огнеупоров и комбината «Магнезит» с диаметром сопел 8 мм, расположенные по контуру сегмента окружности, диаметр которой составляет $0,45-0,51$ от общего диаметра дна.

Отработанный и внедренный режим комбинированной продувки через двухконтурную фурму с 36-ти канальным наконечником [14] по сравнению с обычной обеспечил повышение показателя дожигания отходящих газов на $10-15 \%$, снижение расхода чугуна и извести в пределах $10-18$ и $0,8-2,3 \text{ кг/т}$ стали соответственно. При этом был предотвращен локальный износ цилиндрической и верхней конической части футеровки конвертера, фиксируемый при использовании двухъярусной фурмы.

Применение двухконтурной фурмы [15] с подачей нейтрального газа в количестве 5-7,5 % расхода окислительного газа в потоке дополнительного кислорода позволило обеспечить экономию чугуна и извести соответственно на 30,7 и 7,1 кг/т стали.

Разработанная технология комбинированной продувки [11,16] с подачей через двухъярусную фурму ЗСМК и ИЧМ основного кислорода (350-380 $\text{нм}^3/\text{мин}$) при кратковременной замене дополнительного кислорода (20-55 $\text{нм}^3/\text{мин}$) на азот (20-60 $\text{нм}^3/\text{мин}$) в определенные периоды операции (рис. 3,б) с целью осаживания вспененного шлака при постоянном вдувании нейтрального газа (6-8 $\text{нм}^3/\text{мин}$) через днище позволила:

- более гибко управлять состоянием вспененного слоя шлакометаллической эмульсии с целью предотвращения выбросов, повышения эффективности дожигаания 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 % и выход годного на 0,8 %.

Так уж получилось, что с развалом СССР отработанные и внедренные в свое время на 160-т конвертерах ЗСМК технологии комбинированной продувки [4-11,14-17] были выведены из эксплуатации. В настоящее время владельцами металлургических предприятий закупается оборудование и технологии зарубежных фирм [1-3] без технической экспертизы ведущих специалистов научно-исследовательских и проектных организаций СНГ. 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.

Общеизвестно, что при нестабильных условиях шихтовки плавки, характерных для значительного количества конвертерных цехов СНГ, применяемый дутьевой и шлаковый режим операции должен обеспечить:

- ускоренное растворение присадок извести и магниезиальных шлакообразующих материалов с наведением жидкоподвижного основного шлака с оптимальным содержанием MgO и надлежащей окислительной, фосфор- и серопогложительной способностью;

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

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

В условиях работы конвертерных цехов СНГ, использующих комбинированную продувку ванны и применяющих для повышения стойкости

футеровки агрегатов технологию нанесения шлакового гарнисажа, желательна, по мнению автора, для повышения ресурсо- и энергосберегающей эффективности кислородно-конвертерного процесса внедрить с учетом имеющегося опыта [14-17] следующие, проверенные в промышленной эксплуатации, разработки.

Предложенные технические решения. Прежде всего, необходимо оснастить конвертерные агрегаты усовершенствованными конструкциями двухконтурных, а лучше двухъярусных фурм, и системами подвода к ним двух регулируемых потоков кислорода с возможностью их полной замены 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 цельнооблочного 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, формируемыми цилиндрическими соплами, расположенными в наконечниках двухконтурной (рис. 3,а) и 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 монооксида 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 агрессивного воздействия на футеровку верхней части агрегата.

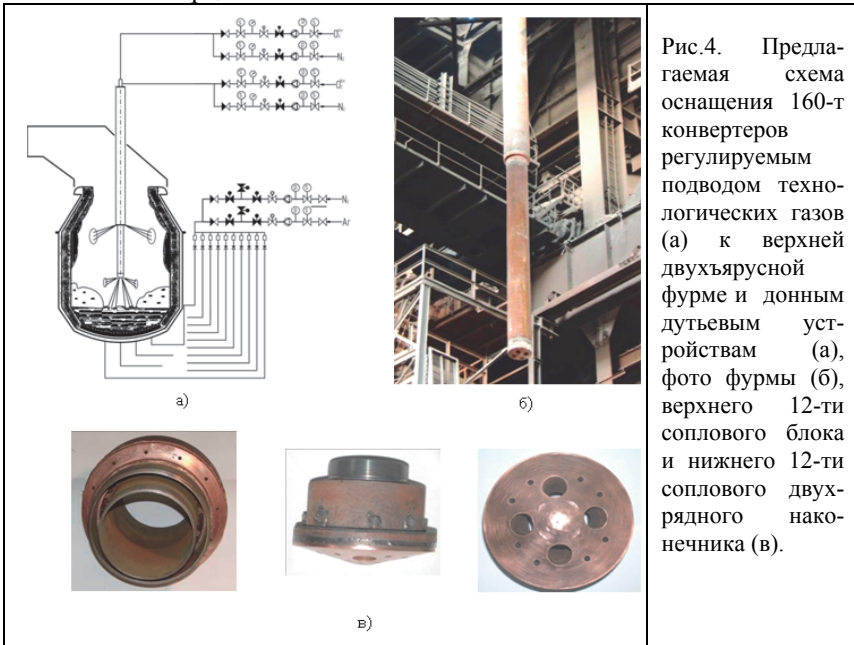
В этой связи показателен пример работы ряда цехов США и Канады [18-21], в которых используют для верхней кислородной продувки ванны большегрузных конвертеров емкостью 220 [19], 262 [20] и 295 [21] тонн и раздува конечного шлака азотными струями с целью нанесения на футеровку шлакового гарнисажа двухъярусные 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, удается предотвратить интенсивное настывлеобразование на стволе фурмы, футеровке и горловине конвертера [18-21] и значительно уменьшить задержки в работе конвертеров, связанные с очисткой настывлей и заменой фурм. При этом обеспечена максимальная стойкость футеровки конвертеров 30 [21] и 43 [20] тыс. плавов.

Если при использовании двухконтурных и двухъярусных фурм замена основного потока кислорода на азот преследует своей целью организацию

раздува подготовленного конечного шлака сверхзвуковыми азотными струями с целью формирования защитного шлакового гарнисажа на футеровке конвертера, то посредством кратковременной подачи азота через верхний ярус сопел [16], взамен дополнительного кислорода, можно в ходе продувки управлять вспениванием шлака в рабочем пространстве конвертера с подавлением выбросов, а также предотвращать чрезмерное переокисление металла и шлака при глубоком «передуве» и на вынужденных додувках путем подачи через цилиндрические сопла азота с минимальным расходом, достаточным для избегания «запечатывания» сопел брызгами металла и шлака.

Подход к оценке размеров образуемых реакционных зон (L_{11}^{\max} , D_{11}^{\max} , $D_{р.з.}^{\text{общ}}$) и структурных составляющих кислородных струй ($L_{ф}$, $L_{сзв}$, $L_{нач}^{\text{II}}$, $L_{нач}^{\text{I}}$), эффективности дожигания отходящих газов при предлагаемых (рис. 3) вариантах продувки конвертерной ванны отражен в статьях [12,13,17,22].

На основании приобретенного производственного опыта [12,14-17] с учетом выявленных недостатков продувки через двухъярусную фурму с разделенным кислородным потоком [23] для условий работы 160-т конвертеров ПАО «ЕВРАЗ ЗСМК» предложен, в отличие использовавшихся раньше [12, 14-17], новый вариант комбинированной продувки (рис. 3,в) с использованием фурмы (рис.4), обеспечивающей вдувание дополнительного кислорода через цилиндрические сопла, размещенные на двух ярусах относительно торца наконечника.



В данном случае рекомендуется:

- обеспечить подвод к двухъярусной фурме двух регулируемых потоков основного ($350-400 \text{ нм}^3/\text{мин}$) и дополнительного ($15-50 \text{ нм}^3/\text{мин}$) кислорода с возможностью их полной замены на азот с теми же расходами;
- оснастить конвертера разработанной конструкцией двухъярусной фурмы повышенной стойкости, включающей: проверенный в работе цельноточенный 12-ти канальный наконечник [24] с двухрядным расположением 4-х сопел Лавалья ($d_{\text{кр}} = 34 \text{ мм}$, $\alpha_1 = 12^\circ$) и 8-ми цилиндрически сопел ($d_{\text{ц}}=8 \text{ мм}$, $\alpha_2=17^\circ$) и верхний цельноточенный 12-ти канальный блок с цилиндрическими соплами ($d_{\text{ц}} = 8 \text{ мм}$, $\alpha_1 = 35^\circ$), расположенный на расстоянии 2,5 м от торца нижнего наконечника;
- оборудовать конвертера современной системой регулируемого подвода к каждой донной фурме нейтральных перемешивающих газов (азот, аргон) и взамен многоканальных перейти на более дешевые и высокостойкие одноканальные дутьевые устройства [25].

Все это позволит при выбранной начальной и рабочей высоте фурмы над ванной:

- 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 вспениванием шлака и организовать на протяжении большей части времени плавки спокойную продувку с частичным дожиганием отходящих газов в режиме перекрытия 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 путем ликвидации воздействия на последнюю 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;
- организовать без проблем нанесение шлакового гарнисажа на футеровку конвертера посредством раздува конечного шлака азотными струями, формируемыми соплами Лавалья нижнего наконечника при максимальном расходе азота и минимальной подаче азота через цилиндрические сопла верхнего яруса во избежание их «запечатывания» брызгами шлака.

В заключение необходимо отметить, что наряду с предложенной конструкцией двухъярусной фурмы (рис. 4) разрабатываются перспективные с точки зрения повышения эффективности комбинированной продувки конвертерной ванны:

- трехъярусная кислородная фурма [26], 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;

- многоканальная донная фурма для подачи нейтральных газов в конвертер, чтобы при меньшем количестве фурм обеспечить надлежащее перемешивание ванны с продлением работы агрегата по технологии комбинированной продувки [27].

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

1. *Оптимизация комбинированной продувки в конвертере с применением нового технического обеспечения* / А.В.Ярошенко, Ю.Ф.Суханов, Ю.Н.Долгих // *Сталь*. – 2008. - № 8. – С.19-21.
2. *Система комбинированной продувки жидкой конвертерной ванны на Нижнетагильском металлургическом комбинате* / Ю.А.Данилин, С.В.Виноградов, Н.В.Мухранов, В.Герберт // *ОАО «Черметинформация». Бюллетень «Черная металлургия»*. – 2008. – №6. – С.51-53.
3. *Освоение технологии комбинированной продувки в 160-т конвертерах* / Л.А.Смирнов, А.А.Бабенко, Ю.А.Данилин [и др.] // *Сталь*. – 2010. – №5. – С.43-45.
4. *Комбинированная продувка металла с подачей нейтрального газа через днище конвертера* / Я.А.Шнееров, С.З.Афонин, В.В.Смоктый [и др.] // *Сталь*. – 1985. – № 11. – С. 16-21.
5. *Комбинированная продувка металла в 160-т конвертерах ЗСМК* / Р.С.Айзатулов, В.В.Смоктый // *Сталь*. – 1986.-№10.-С.12-13.
6. *Комбинированные процессы выплавки стали в конвертерах* / В.В.Смоктый, В.В.Лапицкий, Э.С.Белокуров. – К.: Техніка, 1992. – 163 с.
7. *Смоктый В.В. Отечественный опыт комбинированной продувки в конвертере* // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2012. – № 6. – С. 9-12.
8. *Работа 130-т конвертеров, оборудованных двухъярусными фурмами* / В.И.Баптизмаский, В.О.Куликов, А.Т.Китаев [и др.] // *Экспресс-информация ЦНИИ и ТЭИ ЧМ.*– 1974. –Серия 6. – Вып.3. – С. 1-14.

9. *Применение двухъярусных кислородных фурм на 130-т конвертерах* / В.В.Бондаренко, В.Г.Мелихов, Ф.Т.Белин [и др.] // Бюллетень ЦНИИ ЧМ. - 1974. - № 15. - С.48-50.
10. *Служба футеровки 130-т конвертеров при продувке металла кислородом через двухъярусную фурму* / А.П.Кудрина, Б.В.Никифоров, А.Т.Китаев [и др.] // Огнеупоры. - 1974. - №1. - С.27-32.
11. *А.с. 1337417 СССР, МКИ С21С 5/32. Способ выплавки стали в конвертере* / А.Г.Чернятевич, Р.С.Айзатулов, Л.М.Учитель и др. // Открытия. Изобретения. - 1987. - № 34. - С. 94,95.
12. *Разработка наконечников двухконтурных фурм для кислородных конвертеров* / А.Г.Чернятевич, Е.В.Протопопов // Изв. Вузов. Черная металлургия. - 1995.- №12.-С.13-17.
13. *Экспериментальное изучение параметров реакционной зоны конвертерной ванны в условиях комбинированной продувки* / А.Г.Чернятевич, Е.В.Протопопов / Изв. Вузов. Черная металлургия. - 1991.-№6.-С.17-24.
14. *Комбинированная продувка конвертерной ванны с использованием двухконтурной фурмы* / А.Г. Чернятевич, Л.А Ганзер, Р.С. Айзатулов и др. // Черная металлургия: Бюл. НТИ.- 1988.- № 7.- С. 48-50.
15. *Комбинированная продувка с подачей нейтрального газа сверху и через днище конвертера* / А.Г.Чернятевич, Р.С.Айзатулов, Л.М.Учитель и др. // Сталь. - 1989. - № 5. - С.20-23.
16. *Повышение эффективности комбинированной продувки ванны 160-т конвертеров* / А.Г. Чернятевич, Р.С. Айзатулов, Л.М. Учитель и др. // Бюллетень ЦНИИ и ТЭИ ЧМ.- 1989.- № 12.- С.48,49.
17. *О повышении эффективности дожигания отходящих газов в полости конвертера* / Е.В. Протопопов, А.Г. Чернятевич, Е.Л. Мастеровенко, С.В. Юдин // Изв. Вузов. Черная металлургия. - 1999.-№3.-С.30-35.
18. *Post Combustion Lances in Basic Oxygen Furnace (BOF) Operations* / N. Rymarchyk // *Steelmaking Conference Proceedings*. - 1998. - P. 445-449.
19. *Improvement in Oxygen Lance Life* / R. Petrushka, S. Manley // *Steelmaking Conference Proceedings*. - 2000. - P. 245-250.
20. *Production improvement of No. 2 BOSP at ESA* / K. Ughadpada, S. Briglio, G. Mohammed // *Iron and Steel Technology*. - 2010. - №11.- P. 59-64.
21. *Further process improvements at Severstal Sparrows Point via new technology implementation* / R. P. Stone, D. Neith, S. Koester et al. // *AISTech Proceedings*. - 2009. - №1.- P. 737-747.
22. *Перспективные направления в применении двухъярусных кислородных фурм* / А.Г. Величко, А.Г. Чернятевич, Е.Н. Сигарев и др. //ОАО «Черметинформация». Бюллетень «Черная Металлургия».- 2012.- №10.- С. 48-53.
23. *Разработка конструкции двухъярусной фурмы и режима продувки ванны 160-т конвертеров ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог» с ее использованием* /А.Г. Чернятевич, Е.Н. Сигарев, И.В. Чернятевич и др. // Теория и практика металлургии.- 2012.- № 5-6.- С. 76-85.
24. *Численное моделирование и промышленная отработка конструкций цельноточенных наконечников кислородно-конвертерных фурм* / А.В.Мокринский, Е.В.Протопопов, А.Г.Чернятевич // Изв. Вузов. Черная металлургия. - 2005.- №12.-С.16-20.
25. *Опыт эксплуатации донных одноканальных дутьевых устройств при комбинированной продувке в 160-т конвертере* / В.В. Смоктий, Э.Э. Шумахер, В.Г.

Порохнявый, Иванов С.Г. // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. - 2013. - № 4. - С. 17-19.

26. Пат. 2063446 РФ, МПК⁶ C21C 5/48. Кислородная фурма для продувки жидкого металла / Е.В.Протопопов, Р.С.Айзатулов, В.В.Соколов и др. Опубл. 10.07.1996, Бюл. № 19.
27. Цзян Л., Цзи-ган Ч., Хон-мин Ч. Оптимизация системы комбинированной продувки 300-тонного конвертера на заводе фирмы BAOSTEEL // *Огнеупоры и техническая керамика*. - 2008. - № 6. - С. 48-52.

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

А.Г.Чернятевич

Напрямки удосконалення комбінованої продувки конвертерної ванни киснем і нейтральним газом

Викладено питання розробки та удосконалення вітчизняної технології комбінованої продувки конвертерної ванни киснем зверху та нейтральним газом (азот, аргон) через днище. Запропоновано нову технологію комбінованої продувки конвертерної ванни з подачею в робочий простір агрегату різноімпульсних струменів кисню і нейтрального газу через верхню двоярусну фурму та нейтрального газу через донні дуттьові пристрої.

Ключові слова: конвертер, комбінована продувка, двох'ярусна фурма, кисень, нейтральний газ, донні фурми

A.G. Chernyatevich

Trends of the technology development of the converter bath combined blowing by oxygen and inert gas

The aim of the study is to determine the gas content in the steel with different variants of smelting technologies in a converter in a top-blown oxygen. The principal possibility of reducing the amount of gases in the melt in the final stages of melting. It is shown that the use of additional fuel in oxygen converter allows you to increase the amount of recycled scrap without increasing the gas content in the steel.

Keywords: converter combined blowing, bunk lance, oxygen, inert gas, bottom tuyeres