

А.Г.Чернятевич

ОПЫТ РАЗРАБОТКИ КИСЛОРОДНЫХ ФУРМ С ЦЕНТРАЛЬНЫМ ОХЛАЖДЕНИЕМ ГОЛОВОК

Институт черной металлургии им. З.И.Некрасова НАН Украины

Показаны этапы разработок и результаты применения для верхней и комбинированной продувки ванны 250-т конвертеров новых конструкций обычных и двухконтурных кислородных фурм с центральным охлаждением головок и блочным вариантом размещения сопел. Предложены направления дальнейшей модернизации конструкций фурм и совершенствования дутьевого и шлакового режимов при верхней кислородной продувке.

Ключевые слова: конвертер, продувка ванны, кислородная фурма, конструкция головки, дутьевые режимы

Среди конвертерных цехов СНГ единственным является цех Днепровского металлургического комбината им.Дзержинского (ПАО «ДМКД»), где с начала ввода в эксплуатацию в декабре 1982 г. на 250-т агрегатах применяются кислородные фурмы с центральным подводом охлаждающей воды к многосопловой головке [1]. В свое время принятие такого технического решения было обусловлено необходимостью передела в конвертерах низкомарганцовистых чугунов, содержащих 0,08 - 0,14 % Мп, с применением верхней продувки конвертерной ванны кислородом с расходом до 1350 м³/мин. Известная к тому времени практика [2] переработки в 350-т конвертерах Западно-Сибирского металлургического комбината (ЗСМК, г. Новокузнецк, Россия) чугунов с 0,3-0,8 % марганца свидетельствовала в пользу применения верхних кислородных фурм с 6-11-ю сопловыми сварными головками, обеспечивающих при расходе кислорода 1200-1600 м³/мин продолжительность продувки 11-15 мин при удовлетворительном тепловом режиме плавки, ходе шлакообразования и плавления тяжеловесного лома, удаления серы и фосфора, отсутствии интенсивных выбросов и заметалливания технологического оборудования. Однако такие фурмы отличались сложностью конструкции и низкой стойкостью головок (в среднем до 30 плавов) из-за неудовлетворительной системы периферийного охлаждения (образование застойных зон в межсопловом пространстве) и большого количества сварных швов, в том числе на торце головки, подвергающейся воздействию высоких температур реакционной зоны взаимодействия кислородных струй с ванной и выбрасываемых из нее брызг металла и шлака.

К решению поставленных задач по разработке конструкций кислородных фурм для 250-т конвертеров сотрудники кафедры металлургии стали Днепродзержинского государственного технического университета (ДГТУ) и ДМКД приступили еще на стадии строительства

цеха, внося соответствующие предложения и коррективы в заложенные в первоначальный проект конструкторские и технологические разработки.

Впервые был предложен следующий комплекс новых технических решений:

- вместо традиционной системы подвода одного потока кислорода к верхней фурме использовать новую систему подвода технологических газов (рис.1) с обеспечением двух независимо регулируемых потоков основного (1000-1350 м³/мин) и дополнительного (100-200 м³/мин) кислорода с возможностью замещения в нужные периоды операции дополнительного кислорода на азот с расходом до 200 м³/мин;

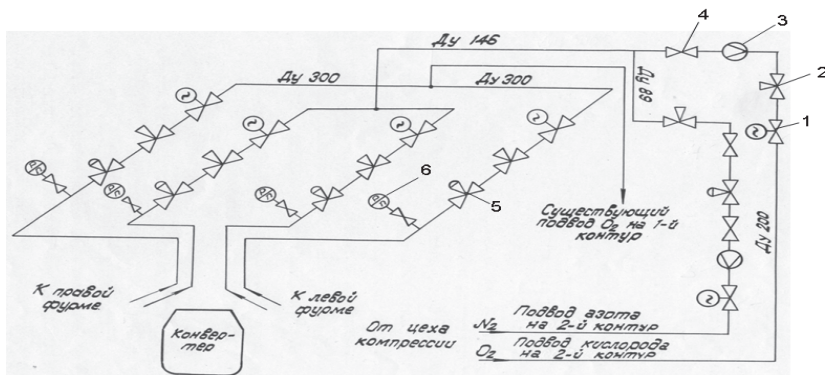


Рисунок 1 – Схема предложенной системы подвода кислорода и азота на верхнюю продувку 250-т конвертера. 1- задвижка с электрическим приводом; 2- клапан отсекающий; 3- диафрагма; 4- вентиль; 5- клапан регулирующий; 6 - манометр

- применять двухконтурные или двухъярусные кислородные фурмы с предложенной системой подвода технологических газов (рис.1), обеспечивающие регулируемое по ходу продувки совмещение «жесткого» и «мягкого» характера воздействия кислородных струй на ванну, чтобы более эффективно управлять ходом шлакообразования, удаления фосфора и серы, дожигания СО до СО₂ в полости конвертера с улучшением теплового баланса конвертерной плавки;

- использовать для повышения стойкости сварных головок фурм центральный подвод воды в межсопловое пространство головки и блочный вариант расположения в ней сопел [3], что способствует улучшению ее охлаждения, упрощению конструкции с уменьшением числа сварных швов.

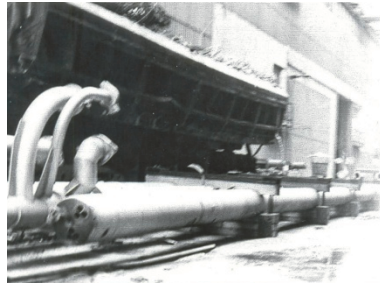
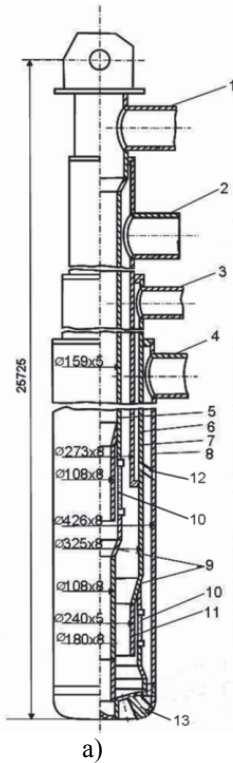
Уже в 1979 г. тогдашнему ПО «Ждановтяжмаш» (г. Мариуполь) были переданы рабочие чертежи на изготовление двухъярусной фурмы (рис.2) конструкции ДГТУ с центральным подводом охлаждающей воды к головке. В предложенной фурме функцию основной продувки

конвертерной ванны с расходом кислорода до 1350 м³/мин выполняли девять сопел Лавалья критического диаметра ($d_{кр}$) 40 мм, сгруппированных в 3-х сопловых блоках, размещенных равномерно по кругу в головке под углом 15° между вертикальной осью фурмы и осью блока. В самом блоке сопла располагались под углом 90° к оси блока. На втором ярусе фурмы на расстоянии до 6 м от торца головки размещались в шахматном порядке на двух горизонтах под углом 60° к вертикали восемь шелевых сопел (10x57 мм), обеспечивающих создание нейтральной газовой завесы (расход азота до 200 м³/мин) над реакционной зоной с целью подавления выноса мелких капель металла и предотвращения заметалливания фурмы, горловины конвертера и экранных поверхностей котла-утилизатора. Компенсация температурных напряжений в фурме достигалась системой наружного металлошланговых компенсаторов.

Поскольку в установленные сроки не была запущена в строй предложенная система подвода технологических газов на верхнюю продувку (рис.1) пришлось в пусковой период работы цеха использовать 8 кислородных фурм с периферийным подводом охлаждающей воды в 5-ти сопловую головку, которые в последующем были модернизированы с обеспечением центрального охлаждения головки [3, 4], а также переоборудовать 12 изготовленных ПО «Ждановтяжмаш» двухъярусных фурм (рис.2) под обычную кислородную продувку (рис.3).

В переоборудованном и освоенном варианте конструкции ствола фурмы (рис.3,а), используемой по сегодняшний день, для компенсации разности температурного удлинения наружной и внутренней труб фурмы применяются два металлошланговых рукава, внутри которых расположены защитные металлические трубы. Один конец защитной трубы приварен к переходнику основной внутренней или промежуточной трубы, а другой – свободно перемещается внутри металлошлангового рукава. Это обеспечивает надлежащую стойкость компенсатора и предотвращает разрыв металлошлангового рукава в моменты пиковой неуравновешенности давления воды и кислорода с внутренней и наружной поверхности рукава при включении и отключении кислородного дутья.

После пуска конвертерного цеха на протяжении 10-ти летнего периода (1983-1993 гг.) были разработаны, изготовлены и опробованы в работе новые конструкции 5-ти, 6-ти, 9-ти и 12-ти сопловых головок (рис.3,б-д) с учетом изменения расхода кислорода в пределах 600-1350 м³/мин при отводе конвертерных газов в режимах полного и частичного дожигания. При этом расчет укороченных сопел Лавалья головок для работы в указанном выше диапазоне расхода кислорода вели по методике, предусматривающей истечение кислородных струй в режиме оптимального недорасширения.



б)

Рисунок 2 – Конструкция (а) и вид (б) двухъярусной кислородной фурмы: 1,2,3 – патрубки подвода кислорода, воды и азота; 4 – патрубков отвода воды; 5,6,7,8 – труба подвода воды, промежуточная труба подвода кислорода, промежуточная труба подвода азота, наружная труба отвода воды; 9 – переходники; 10 – металлошланговые рукава; 11 – защитные трубы; 12 – щелевые сопла подачи азота; 13 – 9-ти сопловая головка

При диаметре наружной трубы фурмы 426 мм использование блочного варианта размещения 6-ти, 9-ти и 12-ти сопел в головке способствовало упрощению конструкции последней с уменьшением в три-четыре раза количества сварных швов в верхней и нижней чашах. Размещение сопел в блоке и самих сопловых блоков в головке фурмы производили с условием обеспечения в ходе продувки раздельного существования первичных реакционных зон в объеме расплава, образуемых при внедрении в ванну рассредоточенных кислородных струй. Применение центрального подвода воды к головке с расходом $350 \text{ м}^3/\text{час}$ при конструкции верхней чаши, обеспечивающей равенство площадей проходных сечений подводящих и отводящих охладитель трактов, предотвращало возникновение застойных зон в межсопловом пространстве и гарантировало постоянную скорость движения воды (свыше 5 м/с) вдоль торцевой поверхности головки, воспринимающей наибольшие тепловые нагрузки.

Вынужденное многообразие опробованных многосопловых головок (рис.3,б-д) было обусловлено их применением как для верхней кислородной [4-8], так и при отработке комбинированной продувки конвертерной ванны кислородом через донные и верхнюю фурмы по

технологиям Института черной металлургии (ИЧМ, г. Днепропетровск, Украина) [9] и ДГТУ [10,11].

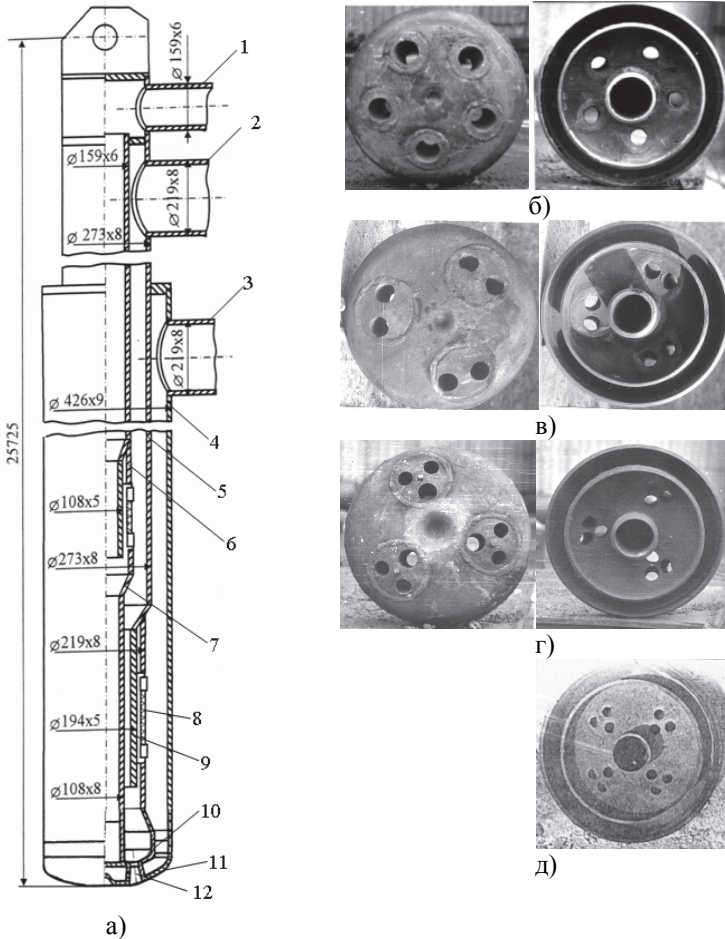


Рисунок 3 – Конструкция ствола кислородной фурмы (а) и вид 5-ти (б), 6-ти (в), 9-ти (г) и 12-ти (д) сопловых сварных головок: 1,2 – патрубки подвода воды и кислорода; 3 – патрубок отвода воды; 4,5,6 – наружная, промежуточная и внутренняя трубы ствола фурмы; 7 – переходник; 8 – металлошланговый рукав; 9 – защитная труба; 10,11 – верхняя и нижняя чаши головки; 12 – сопло Лаваля

Из опробованных конструкций головок фурм производства ДМКД с однорядным (рис.3,б) и блочным (рис.3,в-д) расположением сопел [4-8,11] после устранения выявленных в ходе испытаний недостатков окончательное внедрение с продолжительным сроком применения получили:

- 9-ти сопловая, используемая для продувки конвертерной ванны с расходом кислорода до 1350 м³/мин. В головке (рис.3, г) между верхней и нижней чашами размещены равномерно три трехсопловых блока, ось которых по отношению к вертикальной оси фурмы расположена под углом 15°. В блоке имеется одно сопло Лавала критического диаметра ($d_{кр.}$) 39 мм и два цилиндрических сопла диаметром ($d_{ц.}$) 39 мм. Сопла расположены под углом 9° к оси блока. Фиксация блоков в головке обеспечивает двухрядное круговое расположение сопел на торцевой поверхности головки с реализацией совмещения «жесткого» (внутренний ряд сопел Лавала) и «мягкого» (наружный ряд цилиндрических сопел) дутья при одном подводе кислорода. В межсопловом пространстве блоков выполнены отверстия для прохода охлаждающей воды в радиальном направлении относительно центра блока;

- 6-ти сопловая (рис.3,в), предназначенная для продувки конвертерной ванны с расходом кислорода 600-1200 м³/мин. Характеризуется наличием в головке фурмы трех двухсопловых блоков с соплами Лавала ($d_{кр.} = 37$ мм). Углы наклона оси сопел к оси блока и оси блоков к вертикали фурмы составляют соответственно 9° и 15°. Между соплами в блоке выполнена цилиндрическая проточка для прохода охлаждающей воды. Выходные сечения сопел на торце головки расположены в один ряд по кругу, соответствующему наружному ряду расположения сопел в 9-ти сопловой головке (рис.3,г) с углом наклона оси каждого сопла к вертикальной оси фурмы 24°;

- 5-ти сопловая (рис.3,б), снабженная соплами Лавала ($d_{кр.} = 39$ мм), расположенными равномерно по кругу под углом 17° к вертикальной оси фурмы и обеспечивающими расход кислорода 600-1200 м³/мин.

12-ти сопловая головка (рис.3,д) была специально разработана для реализации технологии комбинированной продувки конвертерной ванны в режиме встречного взаимодействия верхних кислородных и донных кислородно-топливных струй, предложенной ДГТУ [10,11]. Головка включала четыре сопловых блока, равномерно расположенных по кругу и содержащих по три цилиндрических сопла диаметром ($d_{ц.}$) 26 мм с проточками между ними для прохождения воды. Угол наклона соплового блока к вертикали фурмы был 24° при угле наклона сопел к оси блока, равном 6°.

Работоспособность отработанных конструкций 9-ти (рис.3,г) и 6-ти сопловых (рис.3,в) головок была подтверждена 7-ми летним сроком их применения с момента пуска цеха при переделе чугуна (4,21-4,38 % С, 0,08-0,15 % Mn, 0,82-0,98 % Si, 0,028-0,049 % S, 0,044-0,057% P), имеющего температуру заливки в конвертер 1280-1332°C, с использованием в качестве дополнительного теплоносителя кускового угля в количестве 2,06-5,68 кг/т стали. Доля лома в металлозавалке изменялась в этот период от 23 до 28 %.

При интенсивности продувки кислородом 1000-1350 м³/мин, рабочей высоте фурм над ванной с 5-ти, 6-ти и 9-ти сопловыми головками соответственно 1,7-2,0; 1,5-1,7; 1,0- 1,3 м стойкость последних составила в среднем 96, 158 и 76 плавков. При одинаковом расходе охлаждающей воды 350 м³/час уменьшение числа сварных швов в случае блочного расположения сопел способствовало существенному увеличению стойкости головки фурмы. Заметалливание наружной трубы фурмы с 9-ти сопловой головкой не происходило. Фурмы с 5-ти и 6-ти головками снимались для обрезки металлических настывлей соответственно на 12-14 и 20-24 плавках.

Применение 9-ти сопловой фурмы по сравнению с 5-ти сопловой при одинаковом расходе углеродсодержащего теплоносителя позволило снизить расходы чугуна, извести и плавикового шпата соответственно на 17,0; 8,0 и 3,6 кг/т стали. Выход годного металла возрос на 0,43 % и улучшились условия удаления вредных примесей. Эта фурма обеспечивала при интенсивной продувке оптимальные условия перемешивания ванны и более «мягкий» характер воздействия дутья на расплав, улучшала процесс шлакообразования, а также тепловой баланс плавков за счет более полного сжигания углерода угля и дожигания в полости конвертера оксида углерода. При выплавке рельсовых марок стали с остановкой продувки на заданном содержании углерода не было проблем в попадании в пределы химического состава по содержанию фосфора, в то время как при продувке 5-ти сопловой фурмой возникали такие осложнения. Вместе с тем, практикой работы цеха было установлено целесообразным, использовать 9-ти сопловую фурму только в случае окончания продувки при содержании углерода в металле не ниже 0,15%. В противном случае, особенно при додувках, возрастает окисленность шлака, что сказывается на выходе годного, расходе раскислителей и стойкости футеровки конвертера.

В условиях работы конвертеров с «передувом» плавков по содержанию углерода 0,06 % и менее предпочтительным являлся разработанный дутьевой и шлаковый режимы с использованием 6-ти сопловой фурмы, которая по сравнению с 5-ти сопловой обеспечивала экономию чугуна, извести, плавикового шпата и увеличение выхода годных слитков соответственно на 7,0; 8,2; 1,48 кг/т и 0,5 %.

Разработанные конструкции фурм и головок (рис.3) были задействованы также при отработке комбинированных способов продувки на 250-т конвертерах с подачей кислорода сверху и снизу [9,11]. Путем подачи сверху 658 м³/мин кислорода через фурму с 12-ти сопловой головкой при соответствующей ориентации 4-х сопловых блоков относительно расположенных в днище 4-х фурм типа «труба в трубе» ($d_{\text{н}} = 27$ мм, кольцевая щель 2 мм), расходе снизу 125 м³/мин кислорода в кольцевой оболочке 12 м³/мин природного газа, обеспечивалось встречное перекрытие внедряемых струй с образованием 4-х объединенных реакционных зон грибообразной формы [11,12]. На базовых плавках по

технологии ИЧМ [9] такое перекрытие не создавалось при размещении в днище 4-х и 6-ти фурм вышеописанной конструкции и подаче кислорода сверху через фурмы с 5-ти, 6-ти и 9-ти головками (рис. 3). Отработанный режим комбинированной продувки конвертерной ванны встречными струями [11] обеспечил более спокойный с отсутствием выбросов и выноса ход продувки, повышение усредненного показателя дожигания оксида углерода $CO_2^* = 100CO_2 / (CO + CO_2)$ с 32,5 до 44,8 %, что привело к увеличению выхода годного на 1,9-3,5 %, снижению расхода чугуна и плавикового шпата на 13,7-27,2 и 1,0-1,5 кг/т стали соответственно.

В дальнейшей работе конвертерного цеха (1988-1992 гг.) в силу сложившегося увеличения доли лома в металлозавалке до 32-33 % при присадке 10-12 кг/т стали угля, перехода на «передув» плавов по углероду с 0,06 до 0,04 % пришлось первоначально отказаться от использования 9-ти, а затем в ограниченном количестве использовать 6-ти сопловые головки, обеспечивающие более высокую окисленность конечного шлака, особенно при додувках, по сравнению с 5-ти сопловой фурмой.

Чтобы избежать возникших отрицательных последствий верхней кислородной продувки конвертерной ванны с повышенной до 32-33 % переработкой металлического лома при вводе углеродсодержащих теплоносителей, когда экономия чугуна, надлежащие химический состав (прежде всего, по сере) и температура на выпуске конечного железоуглеродистого полупродукта обеспечиваются повышенным сжиганием железа в результате «передува» и додувок плавов, в 1986 г. модернизировали систему подвода технологических газов к верхней фурме по предложенной схеме (рис.1) и разработали новую конструкцию двухконтурной фурмы (рис.4), дутьевой и шлаковый режимы ведения плавов с ее использованием. Двухконтурная фурма имела центральное охлаждение головки при блочном размещении в ней 9-ти сопел с независимым регулируемым подводом к ним потоков кислорода на продувку ванны (основного), шлакообразование и дожигание отходящих газов (дополнительного), а также с возможностью замещения дополнительного кислорода на азот в нужные периоды операции. Компенсация температурных напряжений в фурме осуществляется путем отработанного варианта установки двух металлошланговых рукавов и телескопического сочленения труб, разделяющих потоки основного и дополнительного кислорода. Три сопловых блока размещены в головке фурмы с образованием центральной группы 3-х сопел Лавалья ($d_{кр.} = 46$ мм), расположенных под углом (α_1) 15° к вертикали, и периферийной группы из 6-ти цилиндрических сопел ($d_{ц.} = 27$ мм) с углом $\alpha_2 = 23^\circ$. Фурма рассчитана на расход основного кислорода через сопла Лавалья в количестве 900-1200 м³/мин и дополнительного 50-250 м³/мин через цилиндрические сопла.

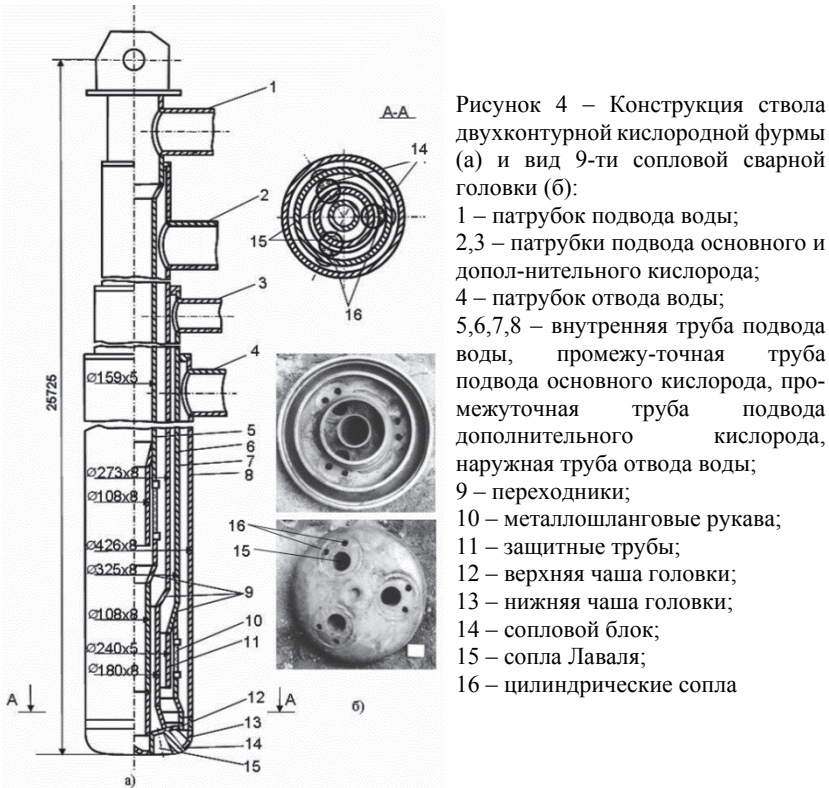


Рисунок 4 – Конструкция ствола двухконтурной кислородной фурмы (а) и вид 9-ти сопловой сварной головки (б):

- 1 – патрубок подвода воды;
- 2,3 – патрубки подвода основного и дополнительного кислорода;
- 4 – патрубок отвода воды;
- 5,6,7,8 – внутренняя труба подвода воды, промежуточная труба подвода основного кислорода, промежуточная труба подвода дополнительного кислорода, наружная труба отвода воды;
- 9 – переходники;
- 10 – металлошланговые рукава;
- 11 – защитные трубы;
- 12 – верхняя чаша головки;
- 13 – нижняя чаша головки;
- 14 – сопловой блок;
- 15 – сопла Лавала;
- 16 – цилиндрические сопла

Разработанная технология дутьевого и шлакового режимов ведения плавки на 250-т конвертерах ДМК с использованием двухконтурной фурмы с 9-ти сопловой головкой (рис.4) имела следующие особенности. Первая порция извести (30-40 % от общего количества) загружается на лом перед заливкой чугуна. Уголь в количестве 1-2 т присаживается в конвертер после заливки чугуна. При входе фурмы в горловину конвертера расход основного кислорода устанавливается 800-900 м³/мин, а дополнительного – 100-120 м³/мин. После устойчивого «зажигания» плавки в течение первых 3-4 минут продувки производится плавное опускание фурмы с начальной 2,3-2,5 м до рабочей высоты 1,3-1,5 м. Остальная часть извести присаживается со 2-й по 5-ю мин продувки. Добавки плавикового шпата вводятся в зависимости от хода шлакообразования и поведения ванны при продувке.

Перед началом падения факела над горловиной конвертера, что происходит при достижении содержания углерода в металле 0,12-0,15 %, производится замещение дополнительного кислорода на азот с расходом 15-20 м³/мин с целью предотвращения переокисления металла и шлака при

глубоком «передуве» ванны. Одновременно повышается расход основного кислорода на 100-120 м³/мин.

По сравнению с использованием для продувки ванны штатной 5-ти сопловой кислородной фурмы применение двухконтурной позволило достичь экономии чугуна на 8,2-14,4, извести 6,0-6,8 и плавикового шпата 0,4-1,9 кг/т стали, уменьшения степени «передува» плавок и увеличения выхода жидкой стали. Благодаря более эффективному дожиганию отходящих газов (CO_2 больше на 8-15 %) при практически равных расходах угля на плавку достигнуто повышение температуры металла на повалке на 13-27°C при меньшей окисленности шлака и температуре заливаемого чугуна.

Кроме представленной фурмы (рис.4) по договору с Восточным филиалом Института черной металлургии (ВостФИЧМ, г. Новокузнецк) для условий работы 350-т конвертеров ЗСМК сотрудниками ДГТУ была разработана упрощенная конструкция двухконтурной фурмы (рис.5,а) с головкой (рис.5,б-г) для продувки конвертерной ванны кислородом с подачей порошкообразного угля. Фурма (рис.5,а) состоит из 4-х концентрично расположенных труб, образующих тракты для подачи порошкообразного угля с расходом 500-600 кг/мин в потоке 20-30 м³/мин азота, подвода воды с расходом 350 м³/час, кислорода и отвода воды, а также имеет 6-ти сопловую головку с центральным сопловым блоком (рис.5,б-г). Компенсация температурных напряжений в фурме обеспечивается двумя сальниковыми компенсаторами, установленными на центральной (непосредственно перед головкой) и второй промежуточной трубах и металлошланговым компенсатором с защитной металлической вставкой.

Между верхней и нижней чашами головки фурмы размещены по кругу под углом 20° к вертикали 5 разборных сопел Лавалья ($d_{кр.}=49$ мм), обеспечивающих стабильную работу фурмы без износа кромок сопел в диапазоне расходов кислорода 935-1250 м³/мин и состоящих из двух частей. Верхней стальной частью соплового блока можно пользоваться многократно, что обеспечивает экономию меди и снижает трудоемкость изготовления головок фурм. Центральный медный сопловой блок включает цилиндрическое сопло диаметром 71 мм для подачи в потоке азота порошкообразного угля на удалении 40 мм от торца которого расположены выходные отверстия 3-х цилиндрических каналов диаметром 10 мм, расположенных равномерно по кругу, и сообщающихся с трактом подвода кислорода. Через эти каналы производится дополнительный подвод кислорода с расходом 30 м³/мин, обеспечивающий внедрение кислородных струй в азотно-порошковую струю для интенсификации зажигания и горения угля, а также предотвращение забивания центрального сопла брызгами металла и шлака по окончании подачи азота и порошкообразного угля. Проход охлаждающей воды в межсопловое пространство головки осуществляется по межканальным щелевым проточкам.

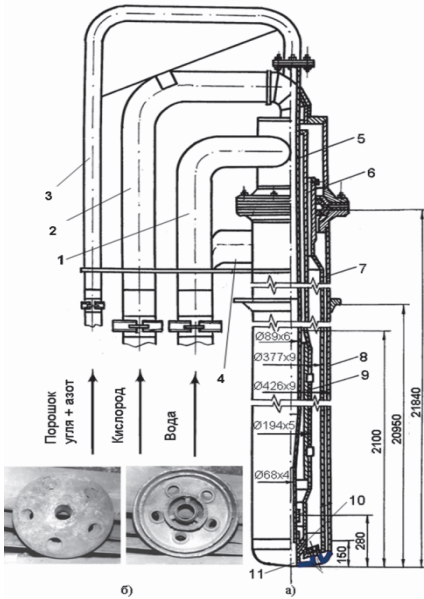


Рисунок 5 – Конструкция фурмы для вдувания кислорода и порошкообразного угля в конвертер (а) и вид 6-ти сопловой двух-контурной головки (б):

- 1,2,3 – патрубки подвода порошкообразного угля, кислорода, во-ды;
- 4 – патрубок отвода воды;
- 5,6,7 – трубы подвода порошкообразного угля, воды, кисло-рода;
- 8 – труба отвода воды;
- 9 – металлошланговый рукав;
- 10 – цилиндрические каналы для прохода кислорода;
- 11 – 6-ти сопловая головка.

К сожалению, из-за начавшегося ухудшения экономической ситуации в металлургической отрасли начиная с 1990 г. исследования по освоению технологий как верхней продувки конвертерной ванны с использованием двухконтурной фурмы (рис.5), так и комбинированной [9-11] прекратились. В повседневной работе цеха с 1993 г. начали в основном использоваться 5-ти сопловые фурмы и лишь только в случаях необходимости улучшения хода шлакообразования и теплового баланса конвертерных плавок кратковременно возвращались к применению 6-ти сопловых головок [13,14].

В настоящее время при изменившихся в худшую сторону сырьевых условиях работы конвертерного цеха ДМКД, характеризующихся нестабильными условиями шихтовки плавки из-за колебаний состава и температуры заливаемого низкомарганцовистого чугуна, в котором возросло содержание фосфора до 0,085-0,098 %, нехватки привозного металлического лома, превышающего по цене выплаваемый в доменных печах с вдуванием пылеугольного топлива чугун, дефицита плавикового шпата и магнезиальных шлакообразующих материалов, для повышения технологических и технико-экономических показателей плавок, по мнению автора, целесообразно:

- на первом этапе, не требующем значительных финансовых затрат, модернизировать конструкцию ствола кислородной фурмы (рис.3,а), а также 6-ти (рис.3,в) и 9-ти (рис.3,г) сопловых головок к ней путем перехода на современную систему компенсации температурных напряжений ствола кислородной фурмы с использованием кольцевых скользящих уплотнений

с резиновыми кольцами на внутренней и промежуточной вставках головок [1]. Это позволит упростить конструкцию ствола кислородной фурмы, отказаться от дорогостоящих металлошланговых компенсаторов, значительно снизить трудозатраты на участке обслуживания фурм. Заменить сварные конструкции головок (рис.3,в,г) на ковано-сварные или литейно-сварные [1], что существенно скажется на увеличении их стойкости благодаря отсутствию сварных швов на торце головки.

С учетом переработки в конвертере предварительно обессеренного чугуна (запущена в эксплуатацию установка фирмы «ThissenKrupp Polisius» [15] десульфурации чугуна в 230-т заливочных ковшах вдуванием порошкообразной смеси флюидизированной извести и магнея) со значительно уменьшенной долей загружаемого лома, организовать верхнюю продувку конвертерной ванны кислородом в два периода, последовательно через размещенные в каретке фурмы с 9-ти и 6-ти сопловыми головками. В первом периоде продувки с использованием 9-ти сопловой фурмы осуществляется полное удаление кремния и преобладающей части фосфора из расплава в условиях пониженных температур (менее 1380 °С) и основности шлака ($\text{CaO/SiO}_2 = 1,9-2,1$). Применяемая 9-ти сопловая фурма и режим продувки конвертерной ванны с присадкой извести и сыпучих охладителей (агломерата, железной руды, окатышей), в отсутствие добавок плавикового шпата, обеспечивают ускоренное растворение кусковой извести с формированием вспененного жидкоподвижного основного окислительного шлака, необходимого для успешной дефосфорации расплава при повышенном содержании в нем углерода.

После промежуточного скачивания шлака во втором периоде продувка конвертерной ванны продолжается по малошлаковой технологии с использованием 6-ти сопловой фурмы при присадке извести, магниезальных шлакообразующих материалов, а при необходимости и плавикового шпата. При этом производится дальнейшая дефосфорация и обезуглероживание расплава с обеспечением требуемого состава и температуры железоуглеродистого полупродукта перед выпуском в сталеразливочный ковш с ликвидацией глубокого «передува» ванны. По окончании выпуска железоуглеродистого полупродукта из конвертера осуществляется нанесение шлакового гарнисажа на футеровку последнего посредством раздува подготовленного конечного шлака с повышенным до 10-12 % содержанием оксида магнея азотными струями помощью 6-ти сопловой фурмы. Часть, а то и весь неиспользованный на ошлакование футеровки шлак, оставляется в конвертере, при необходимости загущается добавкой извести, и используется в последующей плавке.

Предложенный технологический режим ведения конвертерной плавки позволит обеспечить повышение выхода жидкого железоуглеродистого полупродукта, снижение расхода шлакообразующих материалов, науглероживателей и раскислителей на плавку при сливе в сталеразливочный ковш и последующей обработке на установке ковш-

печь, а также улучшить качество стали по содержанию неметаллических включений перед разливкой на МНЛЗ;

- на втором этапе, который требует повышенных финансовых затрат, для дальнейшего улучшения технологии продувки желательнее вернуться к оснащению 250-т конвертеров двухконтурными (рис.4) или двухъярусными верхними фурмами повышенной стойкости и усовершенствованными по сравнению с раннее используемыми (рис.1) системами подвода к ним двух регулируемых потоков основного и дополнительного кислорода с возможностью полной замены их на азот [1]. Это позволит в условиях верхней продувки увеличить число управляющих воздействий на ход конвертерной плавки [1] с достижением более высоких технологических и технико-экономических показателей.

Выводы. Отражены этапы разработок и результаты эксплуатации новых конструкций обычных и двухконтурных кислородных фурм с центральным охлаждением головок и блочным вариантом размещения сопел для верхней и комбинированной продувки ванны 250-т конвертеров ПАО «ДМКД». Применительно к существующим на сегодняшний день сырьевым условиям ведения плавки предложены направления дальнейших работ по модернизации конструкций фурм и совершенствованию дутьевого и шлакового режимов передела низкомарганцовистого чугуна в 250-т конвертерах при верхней кислородной продувке.

1. *Направления совершенствования конструкций кислородных фурм в конвертерных цехах Украины* / А.Г.Чернятевич, А.В.Сущенко, В.В.Вакульчук, П.О.Юшкевич // *Черная металлургия: Бюл. ин-та «Черметинформация».* – 2015.– № 3. – С. 52-64.
2. *Интенсификация процесса продувки в 350-т конвертерах* / Ю.Н.Борисов, Е.Я.Зарвин, В.И.Баптизманский и др. // *Черная металлургия. Бюл. НТИ.* – 1979. – № 11. – С. 32-34.
3. *А.с. 1116072 СССР, МКИ С 21с 5/48. Многооспловая фурма для продувки металла.* А.Г.Чернятевич, В.И.Баптизманский, К.Г.Носов и др.- № 3575336/22-02; Заявл. 07.04.83; Опубл. 30.09.84. Бюл. № 36.
4. *Эксплуатация модернизированных кислородных фурм на конвертерах* / А.Г.Чернятевич, К.Г.Носов, Ю.И.Шиш и др. // *Черная металлургия. Бюл. НТИ.* – 1986. – № 24.- – С.15-16.
5. *Новые кислородные фурмы для 250-т конвертеров* / А.Г.Чернятевич, К.Г.Носов, Ю.Н.Борисов и др. // *Черная металлургия. Бюл. НТИ.* – 1986. – №19. – С. 51-53.
6. *Фурмы для 250-т конвертеров* / А.Г.Чернятевич, В.В.Несвет, А.Д.Зражевский, А.А.Ситало // *Сталь.* – 1989. – №2. – С.32-35.
7. *Разработка и совершенствование дутьевого режима плавки при переделе низкомарганцовистого чугуна в 250-т конвертерах* / А.Г.Чернятевич, К.Г.Носов, Ю.Н.Борисов и др. // *Черная металлургия. Бюл. НТИ.* – 1987. – № 2. – С.47-49.
8. *Повышение эффективности верхней продувки в 250-т конвертерных агрегатах* / А.Г.Чернятевич, С.П.Пантейков, Л.М.Учитель и др. // *Бюллетень «Черная металлургия».* – 2000. – № 1-2. – С.41-45.
9. *Комбинированная продувка металла кислородом в большегрузных конвертерах* / Я.А.Шнееров, К.Г.Носов, Ю.Н.Борисов и др. // *Сталь.* – 1986. – №1. – С.21-24.

10. *А.с. 931754 СССР*, МКИ С 21с 5/28. Способ передела чугуна в конвертере. А.Г.Чернятевич, Ю.И.Шиш, Ю.А.Коржавин и др.- № 2934422/22-02; Заявл. 04.06.80; Опубл. 30.05.82. Бюл. № 20.
11. *Повышение* эффективности комбинированной продувки ванны 250-т конвертеров / А.Г.Чернятевич, К.Г.Носов, А.С.Бродский и др. // Черная металлургия. Бюл. НТИ. – 1989. – № 7. – С.56-58.
12. *О некоторых особенностях* продувки конвертерной ванны встречными струями. Сообщение 2 / А.Г.Чернятевич, Ю.И. Шиш, А.С.Бродский, А.П.Наливайко // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. – 1986. – № 10. – С.25-29.
13. *Повышение* ресурсосберегающей эффективности при верхней продувке 250-тонной конвертерной ванны / С.П.Пантейков, А.Г.Чернятевич, В.В.Несвет и др. // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 2003. – № 4. – С.66-71.
14. *Усовершенствование* системы охлаждения сварных конструкций фурменных головок для 250-т конвертеров / С.П.Пантейков, А.Г.Чернятевич, Л.М.Учитель и др. // ОАО «Черметинформация». Бюл.«Черная металлургия». – 2008. – № 12. – С.32-39.
15. *Бычков С.В., Довгач В.Ю., Чёрный А.Ф.* Внедоменная обработка чугуна для выплавки стали в ПАО «Днепропетровский меткомбинат» // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2014. – №1. – С. 14-16.

*Статья поступила в редакцию сборника 15.02.2017
и прошла внутреннее и внешнее рецензирование*

А.Г.Чернятевич

Досвід розробки кисневих фурм з центральним охолодженням головок

Викладені етапи розробок та результати застосування для верхньої і комбінованої продувки ванни 250-т конвертерів ПАО «Дніпровський металургійний комбінат ім. Дзержинського» (ПАО «ДМКД») нових конструкцій звичайних і двоконтурних кисневих фурм з центральним охолодженням головок та блочним варіантом розміщення сопел. Для існуючих на сьогодні сировинних умов ведення конвертерної плавки запропоновані напрямки подальшої модернізації конструкцій фурм та удосконалення дугтьового і шлакового режимів переробки низькомарганцевистого чавуну при верхній кисневій продувці.

Ключові слова: конвертер, продувка ванни, киснева фурма, конструкція головки, дугтьові режими

A.G.Cherniatevich

Experience in developing the oxygen lance with tip central cooling

In this publication, we describe the development stages and the results achieved with the application of the new designs of the conventional and double-oxygen lances with tip central cooling and nozzle placement as blocks. This equipment is designed for upper combined blowing into 250-ton converter baths. For the currently existing conditions of converter melting, we have found the new ways for further modernization and improvement for lances as well as slag and top oxygen blowing regimes for the melt (with the low contents of manganese and lead).

Keywords: converter, bath blowing, oxygen lance, tip design, blowing regimes