

УДК 669.184.142

ЭТАПЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПЯТИСОПЛОВЫХ ФУРМЕННЫХ ГОЛОВОК В КОНВЕРТЕРНОМ ЦЕХЕ ПАО «ДНЕПРОВСКИЙ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЙ КОМБИНАТ»

Пантейков С.П., к.т.н., доцент кафедры металлургии черных металлов (ser_pant_in@ukr.net)

Днепропетровский государственный технический университет
(51918, Украина, Днепропетровская обл., Каменское, Днепропетровская ул., 2)

Аннотация. Для верхних дутьевых фурм 250-т кислородных конвертеров ПАО «Днепропетровский металлургический комбинат» предложен ряд сварных конструкций пятисопловых фурменных головок с повышенной стойкостью. Проведенный комплекс промышленных исследований их работы позволил установить, что наибольшей стойкостью обладают устройства, в которых предусмотрено охлаждение зон засоплового пространства наконечника. Достаточно действенными также оказались меры по повышению значений средних скоростей охладителя в сварных конструкциях фурменных головок и увеличению их жесткости. Перенос сварочных швов из меди, удерживающих сопловые вкладыши в медном наконечнике, с его наружной поверхности на внутреннюю оказался неэффективным с точки зрения повышения стойкости фурменной головки. Средняя стойкость головок увеличилась всего на семь плавок – с 78 до 85. Это позволяет утверждать о необходимости полного устранения в головке сварочных швов из меди (как наружных, подвергающихся высокотемпературному и механическому воздействию, так и внутренних), удерживающих сопловые вкладыши в отверстиях сварных наконечника и коллектора фурменной головки. Таким образом, все проведенные мероприятия (перенос сварочных швов с наружной поверхности наконечника на его внутреннюю поверхность, улучшение охлаждения наконечника и его засопловых зон, в которые попадают также участки медных сварочных швов вокруг сопел, а также повышение жесткости сварной конструкции дутьевой головки) привели хоть и к положительным, но сравнительно невысоким результатам. Полученные данные свидетельствуют о том, что сварочные швы, выполненные из меди вокруг сопловых вкладышей, которые удерживаются за счет этого в наконечнике (также и в коллекторе) головки, являются тем лимитирующим звеном, которое не дает значительно поднять стойкость сварных фурменных головок, от использования которых необходимо срочно отказаться.

Ключевые слова: фурменная головка, стойкость, верхняя фурма, сопловый вкладыш, наконечник, коллектор, сварочный шов.

DOI: 10.17073/0368-0797-2020-10-815-822

ВВЕДЕНИЕ

Конвертерное производство стали в мире характеризуется внедрением ресурсосберегающих методов продувки железуглеродистого расплава и использованием современных конструкций верхних фурм [1 – 24]. Все ведущие металлургические страны мира в конвертерном производстве стали давно применяют [1 – 8] ковано-штампованные наконечники для производства головок к верхним кислородным фурмам и/или используют полностью цельнолитые конструкции фурменных головок [9 – 24]. Однако, несмотря на это, в конвертерных цехах (КЦ) Украины продолжают применять значительно устаревшие сварные конструкции головок фурм (рис. 1, а), особенно в цехах с большегрузными (от 250 т и выше) агрегатами. Для изготовления сварочных конструкций фурменных головок применяется дуговая сварка в среде аргона, которая выполняется полуавтоматом, при 30 В, 300 А, используется флюс К-13 и медная проволока БрКМц3-1, медные изделия разогреваются до температуры 200 – 300 °С. Сопловые вкладыши и наконечники фурменных головок выполняются из меди марки М0 или М1, стальные детали – из конструкционной углеродистой стали обыкновенного качества марки Ст3 или ВСтЗсп.

АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИЙ ФУРМЕННЫХ ГОЛОВОК

Сварочные швы вокруг сопел, выполненные из меди, являются самым слабым местом любой сварной фурменной головки в результате их меньшей толщины по сравнению с толщинами соединяемых между собой составных частей головки и низкой плотности меди в получаемых сварочных швах. При этом наружные швы подвергаются агрессивному воздействию со стороны высокотемпературной среды в полости конвертера. Медь сварочных швов не очень прочно скрепляет друг с другом составные части головки, особенно если они выполнены из разнородных металлов, например, из стали и меди. Это имеет место при обваривании медных сопловых вкладышей, вставленных в отверстия, выполненных из стали коллектора (верхней чаши), а так же при сварке стального наружного переходного кольца (соединительного патрубка фурменной головки для стыковки ее с наружной трубой верхней фурмы) с выполненным из меди наконечником (нижней чашей).

Жесткость сварных конструкций головок фурм также очень низкая, так как в них присутствует значительное количество низкопрочных медных сварочных швов (наружных и внутренних швов вокруг сопловых вкладышей; наружного шва, соединяющего наружное

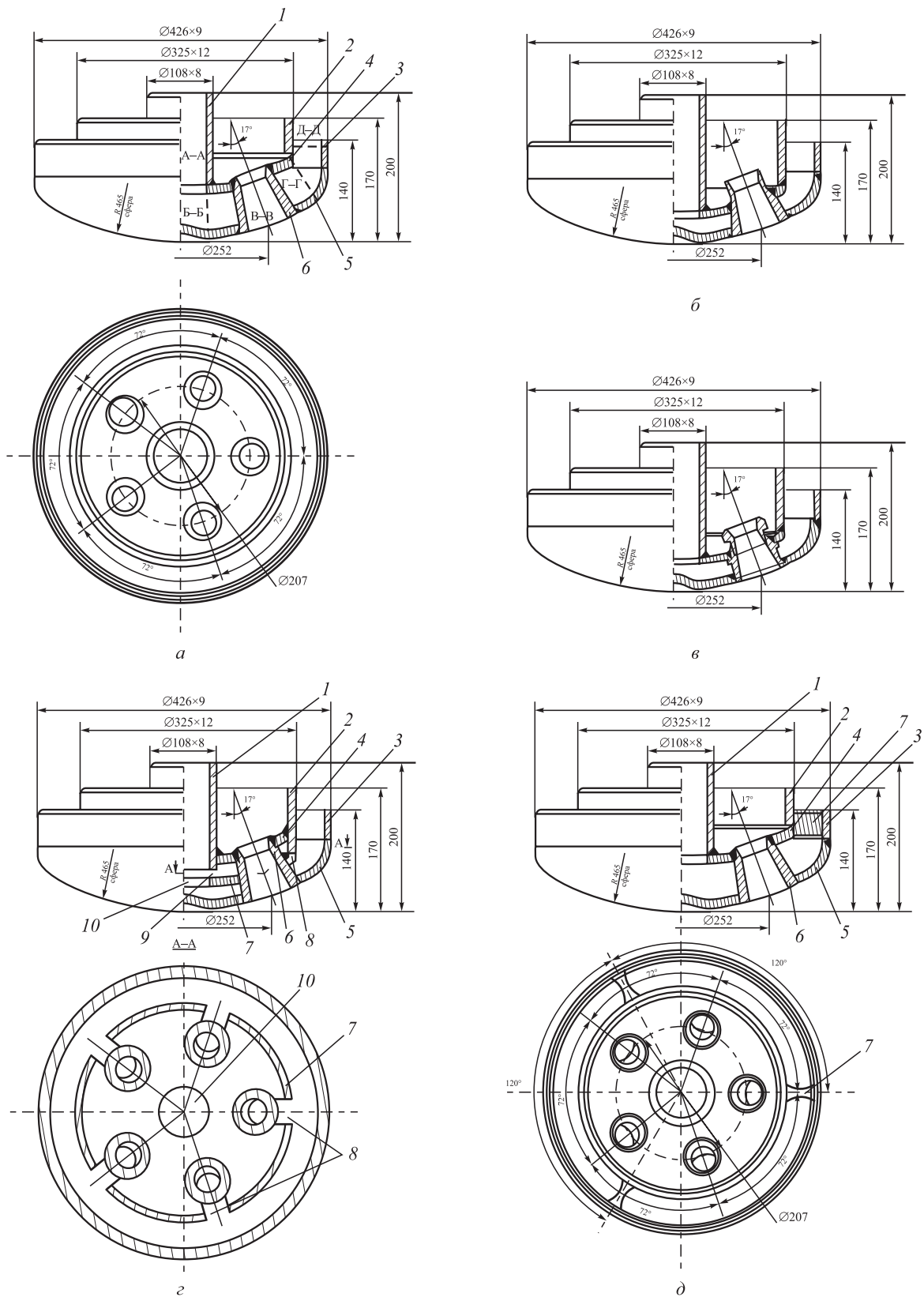


Рис. 1. Сварные конструкции пятисопловых фурменных головок:

a – д – названия конструкций см. в тексте; 1, 2, 3 – патрубки подачи воды, кислорода и отвода воды; 4, 5 – верхняя и нижняя чаши; б – сопловый вкладыш; 7 – ребро жесткости (на рис. 1, д – разделитель потоков воды); 8 – отверстия для прохода охладителя; 9 – кольцевой зазор; 10 – центральное отверстие

Fig. 1. Welded structures of 5-nozzle lance heads:

a – d – names of structures see in the text; 1, 2, 3 – pipes for water supply, oxygen and water drainage; 4, 5 – upper and lower bowls; 6 – nozzle insert; 7 – stiffener plate (in Fig. 1, d – separator of water flows); 8 – holes for the cooler passage; 9 – annular clearance; 10 – central hole

соединительное кольцо с наконечником), что приводит к крайне низкой стойкости сварных конструкций фурменных головок. Именно поэтому уже давно не используются сварные конструкции фурменных головок, а применяются головки [1 – 24], в конструкциях которых присутствует исключительно один наружный сварочный шов из меди, соединяющий наружное переходное кольцо с наконечником¹. Причем в данных конструкциях головок [1 – 24] с целью сохранения на протяжении максимально возможного времени целостности указанного сварочного шва (выполненного к тому же за счет более качественной печной сварки) предусмотрена его разгрузка от возникающих в головке при ее работе термомеханических напряжений. Это значительно увеличит срок эксплуатации фурменной головки, также повышая при этом безопасность работы конструкции верхней фурмы.

С целью повышения стойкости штатных пятищелевых сварных конструкций фурменных головок

(рис. 1, а), используемых в КЦ ПАО «Днепропетровский металлургический комбинат» (ДМК), осуществлена оптимизация их конструкция. Было уменьшено проходное сечение водоохлаждающего тракта фурменной головки за счет снижения расстояния между верхней и нижней чашами дутьевого устройства с 59 до 25 мм (рис. 1, б). Это значительно улучшило охлаждение наконечника в результате увеличения средних скоростей охладителя в различных сечениях (см. рис. 1, а) водоохлаждающего тракта продувочной головки при неизменных расходах воды.

На рис. 2 приведены графические зависимости расчетных средних скоростей воды в различных сечениях (указанных на рис. 1, а) водоохлаждающих трактов штатной (см. рис. 1, а) и разработанной (см. рис. 1, б) конструкций фурменных головок при расходах охладителя в диапазоне 300 – 500 м³/ч.

Как видно из рис. 2, при расходах охлаждающей воды, принятых в цехе в пределах 320 – 340 м³/ч, рас-

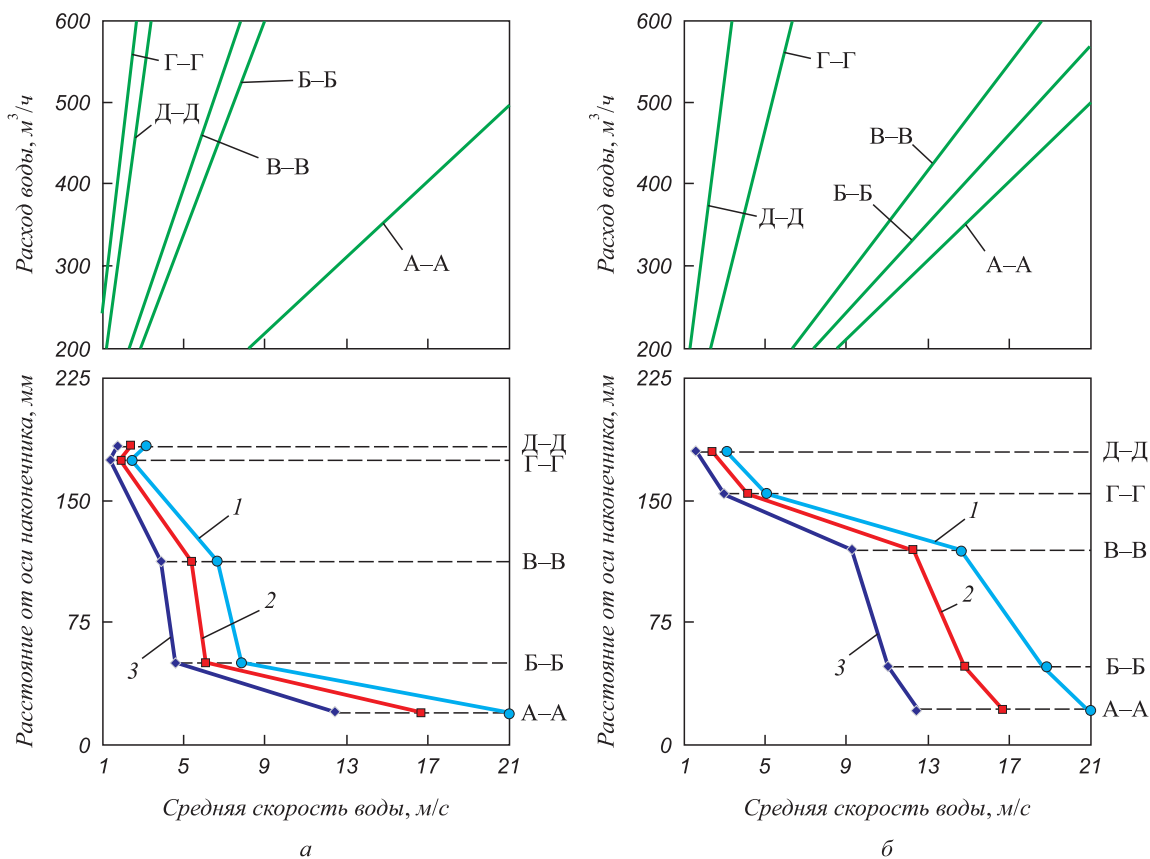


Рис. 2. Зависимости расчетной средней скорости охладителя от его расхода U_B в различных сечениях пятищелевых фурменных головок – штатной (а) и с усовершенствованной системой охлаждения (б):
 1 – $U_B = 500 \text{ м}^3/\text{ч}$; 2 – $U_B = 400 \text{ м}^3/\text{ч}$; 3 – $U_B = 300 \text{ м}^3/\text{ч}$

Fig. 2. Dependences of the calculated average cooler speed on its consumption U_B in various sections of 5-nozzle lance heads – standard (a) and with an improved cooling system (б):
 1 – $U_B = 500 \text{ м}^3/\text{hour}$; 2 – $U_B = 400 \text{ м}^3/\text{hour}$; 3 – $U_B = 300 \text{ м}^3/\text{hour}$

¹ В конструкциях фурменных головок с ковано-штампованными наконечниками присутствуют также внутренние сварочные швы из меди, соединяющие верхние и нижние части сопел, которые являются цельными изделиями с медными коллектором и наконечником соответственно. Указанные сварочные швы выполняются способом печной сварки (пайки), интенсивно охлаждаются, поэтому имеют высокое качество и прочность.

четные средние скорости охладителя увеличились следующим образом:

- в центральной части фурменной головки (на входе в водоохлаждающий тракт головки, сечение Б–Б) с 4,9 – 5,2 м/с (рис. 2, а) до 11,9 – 12,7 м/с (рис. 2, б);

- в межсопловом пространстве фурменной головки (между сопловыми вкладышами, сечение В–В) с 4,2 – 4,5 м/с (рис. 2, а) до 10,1 – 10,7 м/с (рис. 2, б);

- на периферии фурменной головки (на выходе из водоохлаждающего тракта головки, сечение Г–Г) с 1,4 – 1,5 м/с (рис. 2, а) до 3,4 – 3,6 м/с (рис. 2, б).

Расчетные средние скорости воды в подводящем (перед водоохлаждающим трактом головки, сечение А–А) и в отводящем (за водоохлаждающим трактом головки, сечение Д–Д) трактах верхней фурмы остались неизменными и составляли соответственно 13,4 – 14,2 м/с и 1,9 – 2,0 м/с (рис. 2).

Средняя стойкость фурменных головок с уменьшенным расстоянием между чашами (см. рис. 1, б) составила 78 плавков, т. е. увеличилась² в 1,39 раз по сравнению со средней стойкостью штатных головок (см. рис. 1, а), которая составляла 41 плавку [25].

Для дальнейшего повышения стойкости сварных конструкций фурменных головок с пятью соплами были устранены с наружного торца медных наконечников сварочные швы вокруг сопловых вкладышей за счет приваривания их к внутренней поверхности наконечника (рис. 1, в). Сопловые вкладыши выполнялись из двух частей (верхняя часть изготовлена в виде гайки, свободно выкручивалась и использовалась на последующих головках), что на 40 % уменьшало расход меди на их изготовление. Расстояние между чашами фурменной головки без сварочных швов снаружи наконечника (см. рис. 1, в) выполнялось таким же, как и в предыдущем разработанном варианте конструкции (см. рис. 1, б). Поэтому расчетные средние скорости охлаждающей воды в аналогичных сечениях (см. рис. 1, а) фурменной головки без наружных сварочных швов вокруг сопел (см. рис. 1, в) не изменились (см. рис. 2, б). Средняя стойкость сварных конструкций фурменных головок со сварочными швами на внутренней поверхности наконечника (см. рис. 1, в) составила 85 плавков, т. е. увеличилась³ в 1,51 раза по сравнению со штатными головками (см. рис. 1, а), средняя стойкость которых находилась на уровне 41 плавки [25].

При этом средние скорости воды в зонах засоплового пространства наконечника (непосредственно за соплами) в обеих разработанных конструкциях фурменной головки (см. рис. 1, б, в) практически равнялись нулю из-за расположения сопловых вкладышей на пути движения охладителя и образования застойных зон.

Поэтому дальнейшее совершенствование пятисопловых сварных конструкций фурменных головок

² Исследования проводились под руководством д.т.н., проф. Чернятевича А.Г.

³ Исследования проводились под руководством автора работы.

осуществлялось за счет разработки новой конструкции [26], в которой предусматривалось охлаждение зон засоплового пространства наконечника. Для обеспечения сохранения в новой разработанной конструкции [26] фурменной головки (рис. 1, з) значений средних скоростей воды на прежнем уровне при неизменных расходах охладителя (см. рис. 2, б), как и в предыдущих конструкциях головок (см. рис. 1, б, в), расстояние между верхней и нижней чашами было уменьшено до 23 мм. Это связано с тем, что часть охладителя (~10 %) уходила через кольцевой зазор 9 (см. рис. 1, з) в верхнюю часть водоохлаждающего тракта головки, отделенную от его нижней части разделителем потоков воды 7. Из верхней части водоохлаждающего тракта головки этот поток воды поступал через отверстия 8 (см. рис. 1, з) на охлаждение засопловых зон наконечника, что позволило, путем такого распределения воды в головке фурмы [26], повысить ее стойкость. Этот показатель значительно вырос (средняя стойкость фурменных головок с охлаждением засопловых зон наконечника (см. рис. 1, з) составила 172 плавки [27]) в сравнении с пятисопловыми конструкциями головок без охлаждения засопловых зон наконечника, имеющими наружные сварочные швы вокруг сопел (см. рис. 1, а, б):

- в 4,195 раза по сравнению с пятисопловыми штатными головками (см. рис. 1, а), средняя стойкость которых составила 41 плавку [25];

- в 2,205 раза по сравнению с пятисопловыми головками без охлаждения засопловых зон наконечника и с уменьшенной высотой охлаждающего тракта (расстояние между чашами дутьевого устройства составляло 25 мм) фурменной головки (см. рис. 1, б), средняя стойкость которых составила 78 плавков [25].

Расчетная средняя скорость охладителя в засопловых зонах наконечника при этом составляла 10,0 – 10,5 м/с при неизменном общем расходе воды на охлаждение дутьевых устройств в пределах 320 – 340 м³/ч.

С целью увеличения жесткости сварной конструкции пятисопловой фурменной головки, что было продиктовано повышением ее стойкости, была разработана новая «жесткая» конструкция дутьевого устройства [28], в которой выполнялось дополнительное скрепление ребрами жесткости составных частей фурменной головки между собой, уменьшая таким образом нагрузку на все сварочные швы конструкции. Были изготовлены два варианта такой «жесткой» конструкции пятисопловой головки [28], которые имели по три ребра жесткости толщинами 3 и 5 мм (рис. 1, д) соответственно. «Жесткие» сварные конструкции пятисопловой фурменной головки (см. рис. 1, д) показали увеличение средней стойкости в сравнении со штатными головками (см. рис. 1, а): в первой партии (с ребрами жесткости 3 мм) – в 1,63 раза, а во второй (с ребрами жесткости 5 мм) – в 1,75 раза, что составило соответственно 108,4 и 120,2 плавков. Средние стойкости штатных головок

на момент проведения исследований составляли 66,4 и 68,8 плавок соответственно [29].

Значения средней стойкости штатной и всех разработанных (и перечисленных выше) сварных конструкций пятисопловых фурменных головок к верхним дутьевым устройствам для 250-т конвертеров КЦ ПАО «ДМК» приведены на рис. 3 для их анализа и последующих выводов и рекомендаций.

Проведенный комплекс промышленных исследований работы сварных конструкций пятисопловых фурменных головок на большегрузных 250-т агрегатах КЦ ПАО «ДМК» позволил установить, что наибольшей стойкостью обладают устройства, в которых предусмотрено охлаждение зон засоплового пространства наконечника (см. рис. 3)⁴.

Достаточно действенными также оказались меры по повышению значений средних скоростей охладителя в сварных конструкциях фурменных головок и увеличению их жесткости (см. рис. 3). При этом средние скорости воды в отводящем тракте верхней фурмы (за водоохлаждающим трактом головки, сечение Д–Д, см. рис. 1, а), в том числе и в предложенных конструкциях дутьевых устройств с повышенной стойкостью (см. рис. 1, б–д), являются крайне недостаточными (1,9–2,0 м/с при расходах воды 320–340 м³/ч, см. рис. 2) для осуществления надлежащего охлаждения боковой поверхности наконечников и наружной трубы фурмы в области их стыковки друг с другом и выше. Также в разработанных пятисопловых сварочных конструкциях фурменных головок с уменьшенным проходным сечением их водоохлаждающего тракта (см. рис. 1, б–г) были

недостаточны и средние скорости охладителя на периферии наконечника (на выходе из водоохлаждающего тракта головки, сечение Г–Г), которые увеличились с 1,4–1,5 м/с (штатная и разработанная «жесткая» конструкции, см. рис. 1, а, д) до 3,4–3,6 м/с (разработанные конструкции с уменьшенными расстояниями между чашами головки, см. рис. 1, б–г). Однако при этом они также не могли обеспечить эффективное охлаждение наконечников при указанных невысоких средних скоростях воды, расход которой составлял 320–340 м³/ч.

Перенос сварочных швов из меди, удерживающих сопловые вкладыши в медном наконечнике, с его наружной поверхности (см. рис. 1, б) на внутреннюю (см. рис. 1, в) оказался неэффективным с точки зрения повышения стойкости фурменной головки. Средняя стойкость головок увеличилась всего на семь плавок – с 78 до 85 плавок (см. рис. 3). Это позволяет утверждать о необходимости полного устранения в головке сварочных швов из меди (как наружных, подвергающихся высокотемпературному и механическому воздействию, так и внутренних, испытывающих напряжения), удерживающих сопловые вкладыши в отверстиях сварных наконечника и коллектора фурменной головки.

Таким образом, все проведенные мероприятия:

- перенос сварочных швов с наружной поверхности наконечника на его внутреннюю поверхность (см. рис. 1, в);
- улучшение охлаждения наконечника (см. рис. 1, б–г) и его засопловых зон (см. рис. 1, г), в которые попадают также участки наружных медных сварочных швов вокруг сопел;

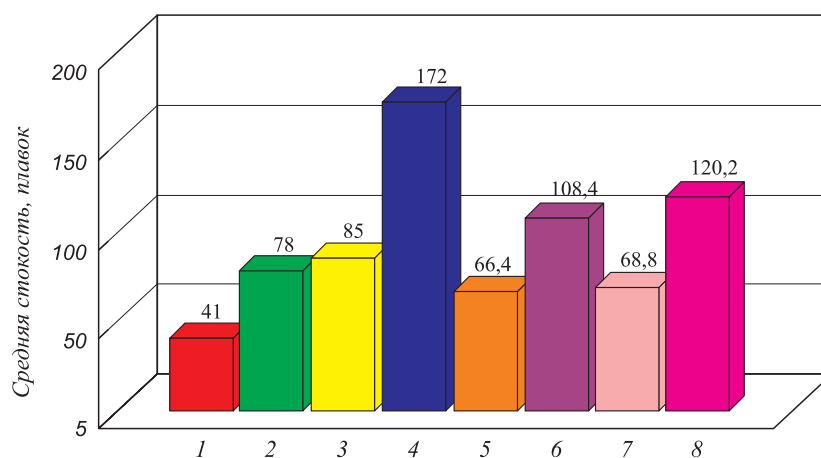


Рис. 3. Средняя стойкость сварных конструкций пятисопловых фурменных головок:

1, 5, 7 – штатной (различные периоды); 2, 3 – с уменьшенным расстоянием между чашами; 3 – без сварочных швов снаружи головки; 4 – с охлаждением засопловых зон; 6, 8 – «жестких» (ребра жесткости 3 и 5 мм соответственно)

Fig. 3. Average resistance of welded structures of 5-nozzle lance heads:

1, 5, 7 – standard (various periods); 2, 3 – with a reduced distance between the bowls; 3 – without welds outside the head; 4 – with cooling of the back from the nozzle zones; 6, 8 – “rigid” (stiffener plates – 3 and 5 mm, respectively)

⁴ В исследованиях на разных стадиях принимали участие: Несвет В.В., Учитель Л.М., Родь А.Г., Ивко В.В., Махлай Ю.П., Гребенюк Б.Ю., Кузьминых Б.Л., Мазай В.Г., Несвет К.В., Ситало А.А., Мощный В.В., Дерипаско В.А., Жидков А.П., Усенко О.Г., Волок В.А., Харченко Ю.И., Олияр В.Е., Сидорин Д.В., Кадацкий Л.В., Белошевский В.М., Соколов А.Н., Лосева Т.И., Женилов В.В., Галаганов А.С., Хрисанфов А.Н., Чаленко Ю.А.

– повышение жесткости сварной конструкции дутьевой головки (см. рис. 1, д) привели хоть и к положительным, но сравнительно невысоким результатам.

ПРЕДЛОЖЕНИЯ И РЕКОМЕНДАЦИИ

Полученные данные свидетельствуют о том, что сварочные швы, выполненные из меди вокруг сопловых вкладышей, которые удерживаются за счет этого в наконечнике (а также и в коллекторе) головки, являются тем лимитирующим звеном, которое не дает значительно поднять стойкость сварных конструкций фурменных устройств, от использования которых необходимо срочно отказаться.

Переход к использованию ковано-штампованных наконечников (вместе с ковано-штампованными коллекторами) в конструкциях фурменных головок или их цельнолитых конструкций [1 – 24] и применение описанных выше способов улучшения охлаждения и повышения «жесткости конструкции фурменной головки» позволит достичь более высокой стойкости таких головок к верхним продувочным фурмам, обладающих и так значительной стойкостью. При этом наружный сварочный шов из меди, соединяющий между собой стальное наружное переходное кольцо и медную нижнюю чашу (наконечник), необходимо будет разгружать от возникающих в конструкции фурменной головки при ее эксплуатации напряжений. Для этого используется дополнительное скрепление наконечника с наружным патрубком головки несколькими стальными штифтами [30].

Выводы

Поднять стойкость современных конструкций фурменных головок с ковано-штампованными наконечниками или цельнолитых конструкций фурменных головок [1 – 24], применяющихся в развитых металлургических странах мира, позволит совершенствование их систем охлаждения и увеличение «жесткости» конструкций по аналогии с разработанными [26, 28] и описанными в данной работе сварными конструкциями фурменных головок.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Ming L. Rong Z. Research on coherent jet oxygen lance in BOF steelmaking process // Metallurgical Research & Technology. 2019. Vol. 116. No. 5. Article 502.
- Garajau F.S., Guerra M.de S.L., Maia B.T., Cetlin P.R. Effects of post combustion temperature on the wear of the supersonic nozzles in BOF lance tip // Engineering Failure Analysis. 2019. Vol. 96. P. 175 – 185.
- Maia B.T., Ribeiro A.R., Santos B.O. de A. etc. Continuous developments at the Steel Plant 1 Usiminas Ipatinga through slagless technology // Iron and Steel Technology. 2016. Vol. 13. No. 4. P. 61 – 64.
- Maia B.T., Imagawa R.K., Petrucelli A.C., Tavares R.P. Effect of blow parameters in the jet penetration by physical model of BOF converter // Journal of Materials Research and Technology. 2014. Vol. 3. No. 3. P. 244 – 256.
- Schlueter J., Kempken J., Odenthal H.-J. etc. Application of computational fluid dynamics to steelmaking processes // Revue de Métallurgie. 2008. Vol. 128. No. 10. P. 505 – 512.
- Garajau F.S., Cetlin P.R., Guerra M.de S.L. etc. Estudo de caso: desgaste nos bocais supersônicos do bico de lança da aciaria BOF. URL: file:///D:/Мои%20документы/Downloads/ESTUDO_DE_CASO_DESGASTE_NOS_BOCAIS_SUPERSONICOS_DO.pdf (дата обращения: 20.01.2020).
- Maia B.T., Garajau F.S., Barros J-E. M., Guerra M. de S.L. Desgastembocais de lança – simulações CFD e condições reais. URL: https://pdfs.semanticscholar.org/c40a/8aa2d6667b32d340285c94a079c7d64e1859.pdf (дата обращения: 20.01.2020).
- Oxygen Blowing Lance and Lance Tips in Converter Steel Making. URL: https://www.ispatguru.com/oxygen-blowing-lance-and-lance-tips-in-converter-steel-making/ (дата обращения: 13.01.2020).
- SAAR METALL Gruppe. URL: http://saarmetallgruppe.com/?page_id=50&lang=en (дата обращения: 13.01.2020).
- Impact GmbH. URL: http://www.impact-moers.de/product.htm (дата обращения: 20.01.2020).
- BOF – Basic Oxygen Furnace. URL: http://www.soudobeam.be/product/basic-oxygen-furnace/ (дата обращения: 13.01.2020).
- BOF. URL: http://tallmantechologies.ca/bof.php (дата обращения: 13.01.2020).
- Lance Tips & Burners. URL: http://www.nu-core.com/ltb.html (дата обращения: 10.02.2020).
- Lance Tips for Water-Cooled Oxygen Lance. URL: http://www.nagpalengineering.com/products/lance-tips-for-water-cooled-oxygen-lance/ (дата обращения: 13.01.2020).
- Made-in-China. Oxygen Lance and Lance Nozzle. URL: https://www.made-in-china.com/showroom/chongsheng/product-detaildoensbfVnEpS/China-Oxygen-Lance-And-Lance-Nozzle.html (дата обращения: 13.01.2020).
- Shandong Chongsheng Metallurgical Oxygen Lance Co., Ltd. URL: https://www.ecvv.com/product/4756904.html (дата обращения: 13.01.2020).
- AMK Metallurgical Machinery Group Co., Ltd. URL: https://amkgroup.en.ecplaza.net/products/oxygen-lance-tip_4431922 (дата обращения: 13.01.2020).
- Build Industrial Pakistan. URL: http://buildindustrialpakistan.blogspot.com/2014/01/water-cooled-oxygen-blowing-lance-vital.html (дата обращения: 13.01.2020).
- Calibration System for Oxygen-Blowing Lances. Available at URL: http://www.sms-siemag.com/download/H2_203E_Calibration_system_for_oxygen-blowing_lances_ES.pdf (дата обращения: 10.02.2020).
- Lance Tips and Sublances for Basic Oxygen Furnace (BOF), LD converters and other types. URL: http://fundicaoecusinagem.com/high-conductivity-copper-cooled-components-for-steel-industry/lance-tips-and-sublances-for-basic-oxygen-furnance-bof-ld-converters/ (дата обращения: 13.01.2020).
- Oxygen Lance Nozzle Assembly, used in Basic Oxygen Steel-Making, 1970. URL: https://www.sspprints.com/image/83273/oxygen-lance-nozzle-assembly-used-in-basic-oxygen-steel-making-c-1970 (дата обращения: 13.01.2020).
- TradeKOREA. All Categories. URL: https://www.tradekorea.com/product/detail/P636834/Good-quality-Converter-Oxygen-Lance-Nozzle-for-water-cooled-.html (дата обращения: 13.01.2020).
- Oxygen Lance. URL: https://www.pinterest.com/lucysmail507/oxygen-lance/ (дата обращения: 20.01.2020).
- Soudotip. URL: http://www.soudobeam.be/en/product/basic-oxygen-furnace/soudotip/ (дата обращения: 20.01.2020).
- Чернятевич А.Г., Пантейков С.П., Учитель Л.М., Ивко В.В. Усовершенствование конструкций верхних фурм для большегрузных конвертеров // Сталь. 2000. № 2. С. 14 – 16.

26. Пат. 40296 UA, МПК7 С 21 С 5/48. Головка к верхней кислородной фурме с центральным подводом воды / С.П. Пантейков, В.В. Несвет, Л.М. Учитель и др.; заявл. 23.11.2000; опубл. 16.07.2001. Бюл. № 6.
27. Пантейков С.П., Несвет В.В., Учитель Л.М. и др. Совершенствование системы охлаждения фурменных головок конвертера // Сталь. 2013. № 8. С. 53 – 58.
28. Пат. 38980 UA, МПК7 С 21 С 5/48. Фурменная головка повышенной жесткости / С.П. Пантейков, Л.М. Учитель, В.В. Ивко и др.; заявл. 18.12.2000; опубл. 15.05.2001. Бюл. № 4.
29. Пантейков С.П., Учитель Л.М., Ивко В.В. и др. Повышение стойкости сварных фурменных головок 250-т конвертеров // Черная металлургия. Бюл. ин-та «Черметинформация». 2003. № 6 (1242). С. 38 – 40.
30. Пантейков С.П., Махлай Ю.П., Пантейкова Е.С. и др. Разработка безопасных конструкций фурменных головок // Сталь. 2015. № 9. С. 15 – 17.

Поступила в редакцию 22 января 2020 г.
После доработки 12 февраля 2020 г.
Принята к публикации 16 октября 2020 г.

IZVESTIYA VUZOV. CHERNAYA METALLURGIYA = IZVESTIYA. FERROUS METALLURGY. 2020. Vol. 63. No. 10, pp. 815–822.

DEVELOPMENT OF WELDED STRUCTURE OF 5-NOZZLE LANCE HEADS IN CONVERTER SHOP OF PJSC “DNEPROVSKY METALLURGICAL COMBINE”

S.P. Panteikov

Dniprovsk State Technical University, Kamenskoe, Dnipropetrovsk Region, Ukraine

Abstract. For the upper blasting lances of 250-tons oxygen converters at PJSC «DMC» (Kamenskoe, Ukraine) the author has proposed a number of welded structures of 5-nozzle lance heads with increased resistance. A set of industrial studies of their operation made it possible to establish that the devices which provide cooling of the areas back from the nozzle zone of the tip have the highest resistance. Measures to increase the values of the average cooler speeds in welded structures of the lance heads and their rigidity also turned out to be quite effective. The transfer of copper welds holding the nozzle inserts in the copper tip from its outer surface to the inner proved to be ineffective from the point of increasing resistance of the lance head (the average resistance of the heads increased by only 7 heats – from 78 to 85 heats). This allows us to assert the need for complete elimination of copper welds in the head (both external, exposed to high-temperature and mechanical stresses, and internal) that hold nozzle inserts in the holes of the welded tip and lance head collector. Thus, in spite of all the measures taken to transfer the welds from the outer surface of the tip to its inner surface, to improve cooling of the tip and its back from the nozzle zones, which also include sections of copper welds around the nozzles, as well as to increase the rigidity of the blast welded structure heads, this led, although to positive, but still to relatively low results. The data obtained indicate that welds made of copper around the nozzle inserts, which are held by this in the tip (also in the collector) of the head, are the limiting link that does not significantly increase the resistance of welded lance heads, and it is urgently necessary to back off its use.

Keywords: lance head, resistance, top lance, nozzle insert, tip, collector, weld.

DOI: 10.17073/0368-0797-2020-10-815-822

REFERENCES

- Ming L. Rong Z. Research on coherent jet oxygen lance in BOF steelmaking process. *Metallurgical Research & Technology*. 2019, vol. 116, no. 5, article 502.
- Garajau F.S., Guerra M. de S. L., Maia B.T., Cetlin P.R. Effects of post combustion temperature on the wear of the supersonic nozzles in BOF lance tip. *Engineering Failure Analysis*. 2019, vol. 96, pp. 175-185.
- Maia B.T., Ribeiro A.R., Santos B.O. de A. etc. Continuous developments at the Steel Plant 1 Usiminas Ipatinga through slagless technology. *Iron and Steel Technology*. 2016, vol. 13, no. 4, pp. 61–64.
- Maia B.T., Imagawa R.K., Petrucelli A.C., Tavares R.P. Effect of blow parameters in the jet penetration by physical model of BOF converter. *Journal of Materials Research and Technology*. 2014, vol. 3, no. 3, pp. 244–256.
- Schlueter J., Kempken J., Odenthal H.-J. etc. Application of computational fluid dynamics to steelmaking processes. *Revue de Métallurgie*. 2008, vol. 128, no. 10, pp. 505–512.
- Garajau F.S., Cetlin P.R., Guerra M. de S.L. etc. *Estudo de caso: desgaste nos bocais supersônicos do bico de lança da aciaria BOF*. Available at URL: file:///D:/Мои%20документы/Downloads/ESTUDO_DE_CASO_DESGASTE_NOS_BOCAIS_SUPERSONICOS_DO.pdf (Accessed 20.01.2020). (In Port.).
- Maia B.T., Garajau F.S., Barros J-E. M., Guerra M. de S.L. *Desgaste em bocais de lança – simulações CFD e condições reais*. Available at URL: <https://pdfs.semanticscholar.org/c40a/8aa2d6667b32d340285c94a079c7d64e1859.pdf> (Accessed 20.01.2020). (In Port.).
- Oxygen Blowing Lance and Lance Tips in Converter Steel Making*. Available at URL: <https://www.ispatguru.com/oxygen-blowing-lance-and-lance-tips-in-converter-steel-making/> (Accessed 13.01.2020).
- SAAR METALL Gruppe*. Available at URL: http://saarmetallgruppe.com/?page_id=50&lang=en (Accessed 13.01.2020).
- Impact GmbH*. Available at URL: <http://www.impact-moers.de/product.htm> (Accessed 20.01.2020).
- BOF – Basic Oxygen Furnace*. Available at URL: <http://www.sou-dobeam.be/product/basic-oxygen-furnace/> (Accessed 13.01.2020).
- BOF*. Available at URL: <http://tallmantechologies.ca/bof.php> (Accessed 13.01.2020).
- Lance Tips & Burners*. Available at URL: <http://www.nu-core.com/ltb.html> (Accessed 10.02.2020).
- Lance Tips for Water-Cooled Oxygen Lance*. Available at URL: <http://www.nagpalengineering.com/products/lance-tips-for-water-cooled-oxygen-lance/> (Accessed 13.01.2020).
- Made-in-China. Oxygen Lance and Lance Nozzle*. Available at URL: <https://www.made-in-china.com/showroom/chongsheng/product-detaildoensbfVnEps/China-Oxygen-Lance-And-Lance-Nozzle.html> (Accessed 13.01.2020).
- Shandong Chongsheng Metallurgical Oxygen Lance Co., Ltd*. Available at URL: <https://www.ecvv.com/product/4756904.html> (Accessed 13.01.2020).
- AMK Metallurgical Machinery Group Co., Ltd*. Available at URL: https://amkgroup.en.ecplaza.net/products/oxygen-lance-tip_4431922 (Accessed 13.01.2020).
- Build Industrial Pakistan*. Available at URL: <http://buildindustrialpakistan.blogspot.com/2014/01/water-cooled-oxygen-blowing-lance-vital.html> (Accessed 13.01.2020).
- Calibration System for Oxygen-Blowing Lances*. Available at URL: http://www.sms-siemag.com/download/H2_203E_Calibration_system_for_oxygen-blowing_lances_ES.pdf (Accessed 10.02.2020).
- Lance Tips and Sublances for Basic Oxygen Furnace (BOF), LD converters and other types*. Available at URL: [821](http://fundicaoousin-

</div>
<div data-bbox=)

- agem.com/high-conductivity-copper-cooled-components-for-steel-industry/lance-tips-and-sublances-for-basic-oxygen-furnance-bof-ld-converters/ (Accessed 13.01.2020).
21. *Oxygen Lance Nozzle Assembly, used in Basic Oxygen Steel-Making, 1970*. Available at URL: <https://www.ssplprints.com/image/83273/oxygen-lance-nozzle-assembly-used-in-basic-oxygen-steel-making-c-1970> (Accessed 13.01.2020).
 22. *TradeKOREA. All Categories*. Available at URL: <https://www.tradekorea.com/product/detail/P636834/Good-quality-Converter-Oxygen-Lance-Nozzle-for-water-cooled.html> (Accessed 13.01.2020).
 23. *Oxygen Lance*. Available at URL: <https://www.pinterest.com/lucysmail507/oxygen-lance/> (Accessed 20.01.2020).
 24. *Soudotip*. Available at URL: <http://www.soudobeam.be/en/product/basic-oxygen-furnace/soudotip/> (Accessed 20.01.2020).
 25. Chernyatevich A.G., Panteikov S.P., Uchitel' L.M., Ivko V.V. Improving the design of upper lances for high-capacity converters. *Stal'*. 2000, no. 2, pp. 14–16. (In Russ.).
 26. Panteikov S.P., Nesvet V.V., Uchitel' L.M. etc. *Golovka k verkhnei kislorodnoi furme s tsentral'nyim podvodom vody* [Head to the top oxygen lance with a central water supply]. Patent UA no. 40296. MPK7 C21C 5/48. *Bulleten' izobretenii*. 2001, no. 6. (In Ukr.).
 27. Panteikov S.P., Nesvet V.V., Uchitel' L.M. etc. Improving cooling system of lance heads of converter. *Stal'*. 2013, no. 8, pp. 53–58. (In Russ.).
 28. Panteikov S.P., Uchitel' L.M., Ivko V.V. etc. *Furmennaya golovka povyshennoi zhestkosti* [High rigidity lance head]. Patent UA no. 38980. MPK7 C21C 5/48. *Bulleten' izobretenii*. 2001, no. 4. (In Ukr.).
 29. Panteikov S.P., Uchitel' L.M., Ivko V.V. etc. Increased durability of welded lance heads of 250-t converters. *Chernaya metallurgiya. Byul. in-ta "Chermetinformatsiya"*. 2003, no. 6 (1242), pp. 38–40. (In Russ.).
 30. Panteikov S.P. Makhilai Yu.P., Panteikova E.S., Kadatskii L.V. Development of safe structures for lance heads. *Stal'*. 2015, no. 9, pp. 15–17. (In Russ.).

Information about the author:

S.P. Panteikov, *Cand. Sci. (Eng.), Assist. Professor of the Chair of Ferrous Metallurgy* (ser_pant_in@ukr.net)

Received January 22, 2020

Revised February 12, 2020

Accepted October 16, 2020