

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИКИ ОХЛАДИТЕЛЯ В НАКОНЕЧНИКАХ КИСЛОРОДНЫХ ФУРМ СТАЛЕПЛАВИЛЬНЫХ АГРЕГАТОВ

А.В.Сущенко, А.П.Балаба (ЛГТУ, г. Мариуполь)

В работе показаны преимущества использования закрутки потока воды в системах охлаждения наконечников кислородных фурм различных сталеплавильных агрегатов, как при периферийной, так и центральной подаче охладителя в наконечник. При выборе оптимальных конструктивных и режимных параметров систем охлаждения фурм использовались специальные прикладные программы вычислительной гидродинамики

Медные наконечники водоохлаждаемых кислородных фурм конвертеров, мартеновских и электросталеплавильных печей работают в тяжелых производственных условиях (подвержены значительным тепловым потокам, знакопеременным температурным и механическим напряжениям, эрозионному износу продуктами рафинирования металлического расплава), вследствие чего имеют недостаточную стойкость. В связи с этим к системам охлаждения кислородных фурм и их наконечников в частности выдвигают особые требования [1 и др.].

Неоптимальное распределение потока охлаждающего агента в наконечнике является одним из распространенных недостатков систем охлаждения эксплуатируемых кислородных фурм, который может привести к значительному снижению скорости воды в наиболее теплонапряженных областях наконечника и формированию «застойных» зон охладителя. Причем, если для ствола кислородной фурмы в первую очередь важен расход охлаждающего агента, поддерживающий нагрев последнего в фурме в допустимых пределах ($15\div 20$ °С), то для наконечника, с учетом его значительно меньшей площади теплообмена, более важен высокий коэффициент теплоотдачи к охлаждающей воде для исключения прогара наконечника при пиковых тепловых нагрузках.

Оптимизации профиля скорости охладителя в наконечниках кислородных фурм посвящено значительное количество работ [1-3 и др.]. При этом наиболее эффективными техническими решениями принято считать: центральный подвод охладителя к наконечнику, применение профилированных вставок-распределителей (рассекателей) воды при периферийном ее подводе, совершенствование геометрии каналов в межсопловой области и др. Однако реализация центрального подвода воды требует существен-

ной реконструкции ствола фурмы, а применение вставок-распределителей требуемой конфигурации не всегда возможно, например, при литой конструкции.

В настоящей работе рассмотрены вопросы, связанные с использованием вихревых (закрученных) течений охлаждающего агента для оптимизации его профиля скорости и повышения эффективности теплообмена в медных наконечниках кислородных фурм сталеплавильных агрегатов.

Использование закрученного потока охлаждающей воды имеет ряд преимуществ по сравнению с обычной организацией ее течения [4, 5]:

1) закрутка потока способствует увеличению пристеночных скоростей охладителя, а, следовательно, и коэффициента конвективной теплоотдачи;

2) вторичные течения, возникающие под действием центробежных сил, интенсифицируют теплообмен между относительно холодным ядром потока и пограничным слоем, контактирующим с теплонапряженной поверхностью;

3) организация упорядоченного макровихревого течения является эффективным методом борьбы с «застойными» зонами охладителя.

Особенности организации закрутки потока охлаждающей воды для фурм с центральным и периферийным подводом кислорода рассмотрены на конкретных примерах наконечников кислородных фурм конвертерного и мартеновского цехов ОАО «ММК им. Ильича».

Анализ гидродинамической работы систем охлаждения наконечников фурм различных конструкций и разработка технических мероприятий по их совершенствованию проводились с использованием программного комплекса FlowVision, основанного на численном решении уравнений Навье-Стокса, энергии и неразрывности течения с соответствующими начальными и граничными условиями на базе стандартной $k-\epsilon$ модели турбулентности.

1. В конвертерном цехе ОАО «ММК им. Ильича» для продувки 160-т конвертеров используется фурма с центральным подводом кислорода и пятиопловым наконечником литой конструкции (рисунок 1а), не имеющим профилированного распределителя для направления потока охлаждающей воды в центральную часть наконечника.

Полученные распределения абсолютного значения скорости воды в наконечнике при ее расходе через фурму $100 \text{ м}^3/\text{ч}$ для двух плоскостей (рисунки 1,б, 1,в) указывают на низкую эффективность охлаждения центральной части наконечника базовой конструкции. Практически все межопловое пространство охвачено областью с недопустимо низкими скоростями охладителя (менее 1 м/с), тогда как основной поток воды направляется непосредственно в отводящий кольцевой канал ствола фурмы. При этом на

ряде наконечников после эксплуатации было обнаружено наличие слоя накипи в межсопловой области, что свидетельствует о перегреве пристеночных слоев охлаждающей воды и возможности существования поверхностного кипения (при недогреве основного потока жидкости относительно температуры насыщения).

С целью устранению указанных выше недостатков разработана новая конструкция наконечника кислородной фурмы, в которой каналы для подвода и отвода охлаждающего агента в сплошном сопловом блоке выполнены сверловкой в два ряда по высоте таким образом, чтобы обеспечивался взаимосогласованный тангенциальный подвод и отвод охлаждающей воды из центральной межсопловой области (рисунок 2, а). Для исключения значительного перетока охладителя непосредственно в отводящий кольцевой канал ствола фурмы предусмотрен специальный бортик, в котором имеются проточки для эффективного охлаждения периферийных участков продувочных кислородных сопел. Распределение абсолютного значения скорости воды в наконечнике при ее расходе через фурму $100 \text{ м}^3/\text{ч}$ для плоскости, проходящей через ось фурмы, показано на рисунке 2,б. Векторная картина для горизонтальной плоскости, расположенной в непосредственной близости от внутренней поверхности лобовины наконечника (рисунок 2,в), подтверждает наличие упорядоченного вихревого течения охладителя без формирования «застойных» зон последнего.

2. В мартеновском цехе ОАО «ММК им. Ильича» для продувки кислородом 650-т и 900-т мартеновских печей используются сводовые водоохлаждаемые пятисопловые фурмы с центральным подводом охладителя к наконечнику точено-сварной конструкции (рисунок 3,а). Как следует из данных результатов расчета (см. рисунки 3,б, 3,в, при расходе воды на фурму $30 \text{ м}^3/\text{ч}$), основным недостатком указанной конструкции наконечника является наличие «застойных» зон охладителя между перепускными водяными каналами в наконечнике в непосредственной близости к торцевому сварному шву головки с центральной заглушкой. Также имеет место недостаточно эффективное охлаждение выходных участков продувочных сопел и сварного шва на стыке «медь-сталь».

Для уменьшения негативного влияния «застойных» зон охладителя предложено выполнять водяные перепускные каналы тангенциальными к центральной полости в наконечнике (рисунок 4,а).

При этом в отличие от рассмотренного выше периферийного подвода охлаждающей воды к наконечнику, для ее закрутки необходимо применение специального закручивающего устройства одной из известных конструкций в подводящей трубе. В рассмотренном примере использован ленточный завихритель (рисунок 4,б). При этом было установлено, что для получения более рационального профиля скорости охлаждающей воды,

штампованную заглушку целесообразно выполнять плоской.

Распределение абсолютного значения скорости воды в наконечнике при ее расходе через фурму $30 \text{ м}^3/\text{ч}$ для плоскости, проходящей через ось фурмы, показано на рисунке 4,в. Векторная картина для горизонтальной плоскости, расположенной в непосредственной близости от внутренней поверхности заглушки в центральной части наконечника (рисунок 4,г), подтверждает наличие упорядоченного вихревого течения охладителя с уменьшением существующих «застойных» зон последнего.

При использовании закрученных потоков для совершенствования систем охлаждения наконечников кислородных фурм сталеплавильных агрегатов следует отметить некоторые характерные особенности. В связи с влиянием вязкости жидкости и быстрым ослабеванием закрутки вниз по потоку, установку завихрителей при центральном подводе охлаждающей воды необходимо осуществлять в непосредственной близости от наконечника, но не ближе $1,5 \div 2$ диаметров подводящего патрубка до теплоотдающей поверхности (с целью исключения влияния сложных течений за завихрителем на эффективность теплообмена [4, 5]).

Необходимо также учитывать увеличение гидродинамического сопротивления системы охлаждения при применении закрутки потока воды.

Данную работу планируется продолжить в направлении увязки расчетных моделей гидродинамической и тепловой работы наконечников фурм с целью дальнейшего совершенствования их конструкций.

Литература

1. Повышение стойкости наконечников фурм для 350-т конвертеров / А.В. Сущенко, А.А. Курдюков, И.Д. Буга и др. // Сталь. – 1996. – № 5.– С. 14 - 17.
2. Усовершенствование конструкции наконечника кислородной фурмы для конвертерного производства / А.Г. Величко, В.С. Гришин, В. А. Грядунов и др. // Металл и литье Украины. – 2002. – № 3-4.– С. 32 - 33.
3. Упорядоченное течение охладителя в многосопловой головке кислородной фурмы // Н.Н. Иванов, А.Н. Иванов, С.П. Горшков и др. // Сталь. – 2006.– № 1.– С. 24 - 26.
4. Шукин В.К. Теплообмен и гидродинамика внутренних потоков в полях массовых сил.– М.: Машиностроение, 1970. – 332 с.
5. Халатов А.А. Теория и практика закрученных потоков.– К.: Наукова думка, 1989.– 192 с.

© Сущенко А.В., Балаба А.П. 2007

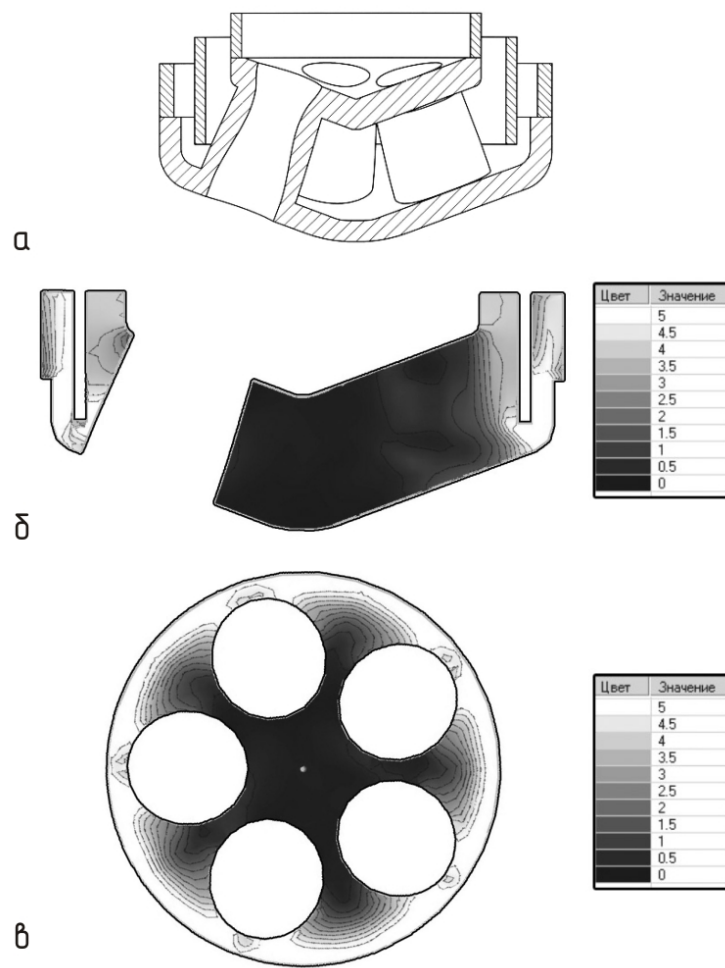
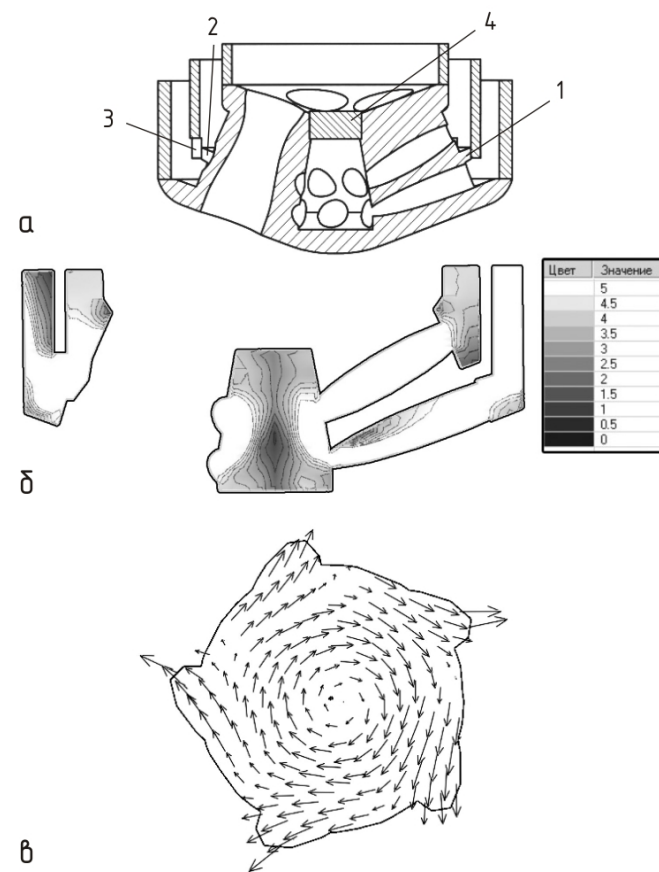


Рисунок 1 – Наконечник кислородно-конвертерной фурмы базовой конструкции (а) и профиль скорости охлаждающей воды в нем (б, в)



1 – бортик для разделения потоков охлаждающей воды; 2, 3 – проточки для подачи части потока охладителя вдоль периферийной части продувочных сопел; 4 – заглушка;

Рисунок 2 – Наконечник кислородно-конвертерной фурмы новой конструкции (а) и профиль скорости охлаждающей воды в нем (б, в)

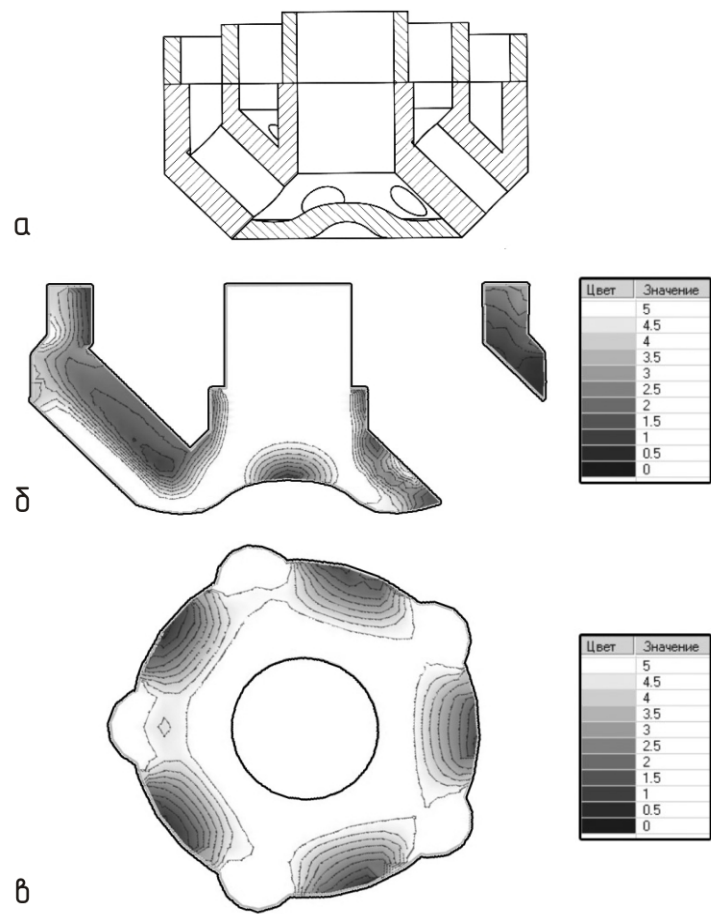


Рисунок 3 – Наконечник кислородной мартеновской фурмы базовой конструкции (а) и профиль скорости охлаждающей воды в нем (б, в)

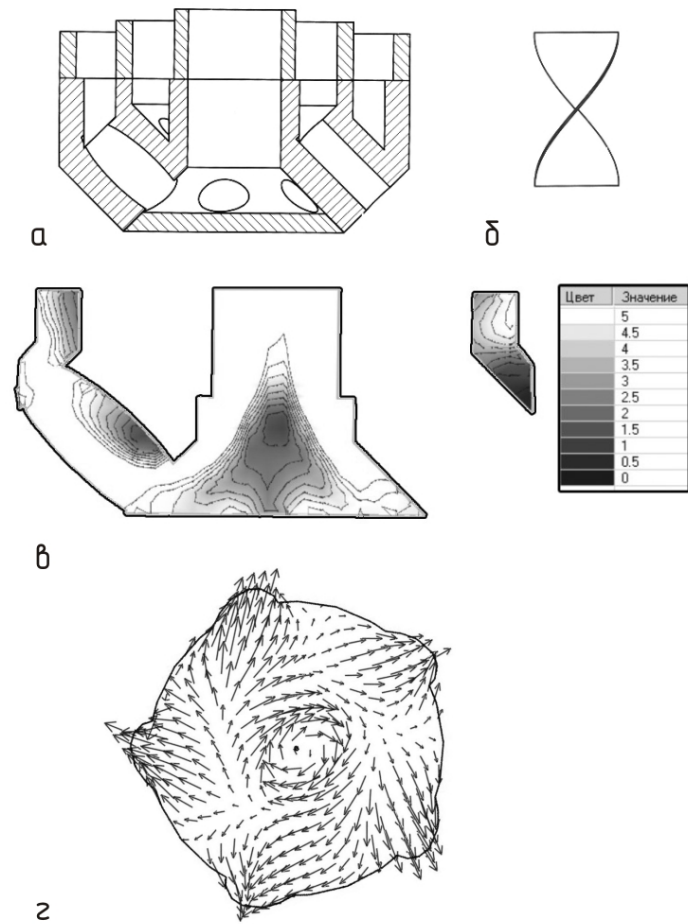


Рисунок 4 – Наконечник кислородной мартеновской фурмы новой конструкции (а), ленточный завихритель (б), профиль скорости охлаждающей воды в наконечнике (в, г)