

ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА FLOWVISION ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ОПТИМИЗАЦИИ СИСТЕМ ОХЛАЖДЕНИЯ ДУТЬЕВЫХ УСТРОЙСТВ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ АГРЕГАТОВ

Сущенко А.В., к.т.н., доцент, Балаба А.П., аспирант
Приазовский государственный технический университет,
г. Мариуполь, Украина

Для продувки расплава в сталеплавильных агрегатах применяются водохлаждаемые кислородные фурмы, которые работают в весьма сложных условиях и являются при этом ответственным инструментом управления технологическим процессом. От их стойкости зависят как качество выплавляемой стали и ее себестоимость, так и надежность работы агрегатов. Течение охлаждающей воды в наконечниках фурм характеризуется сложной пространственной формой обтекаемых поверхностей, высокой вероятностью возникновения застойных зон охладителя, большими температурными напорами, возможным кипением и другими осложняющими факторами. Решение задач совершенствования существующих и разработки новых эффективных систем охлаждения дутьевых устройств может осуществляться на основе сложного комплекса дорогостоящих натурных экспериментов, либо путем аналитических исследований. Проведение последних на высоком уровне стало возможным благодаря развитию вычислительной техники и созданию таких программных пакетов как [FlowVision](#), ANSYS CFX, Fluent и др.

В работе рассмотрены примеры использования результатов, полученных с помощью программного комплекса FlowVision, для проведения сравнительного анализа эффективности существующих систем охлаждения дутьевых устройств металлургических агрегатов и разработки теоретических основ для их совершенствования. Учитывая большое число переменных факторов (конструктивных и режимных параметров), оказывающих влияние на гидродинамику охладителя в наконечнике фурмы, моделирование проводилось с использованием метода планирования численного эксперимента. При этом были разработаны специальные алгоритмы определения эффективности гидродинамической работы конкретных систем охлаждения кислородных фурм.

Так для кислородных фурм LD-конвертеров был выбраны следующие критерии оптимизации [1]: скорость воды вблизи от внутренней поверхности наиболее теплонапряженной торцевой части наконечника в характерных точках 1-8 (рис. 1, а); доля охладителя (от общего его расхода), циркулирующего через центральное межсоловое пространство головки; потери давления воды в наконечнике; общая макрокартина пространственного течения охладителя (наличие и структура застойных зон, характер циркуляции потоков и т.п.).

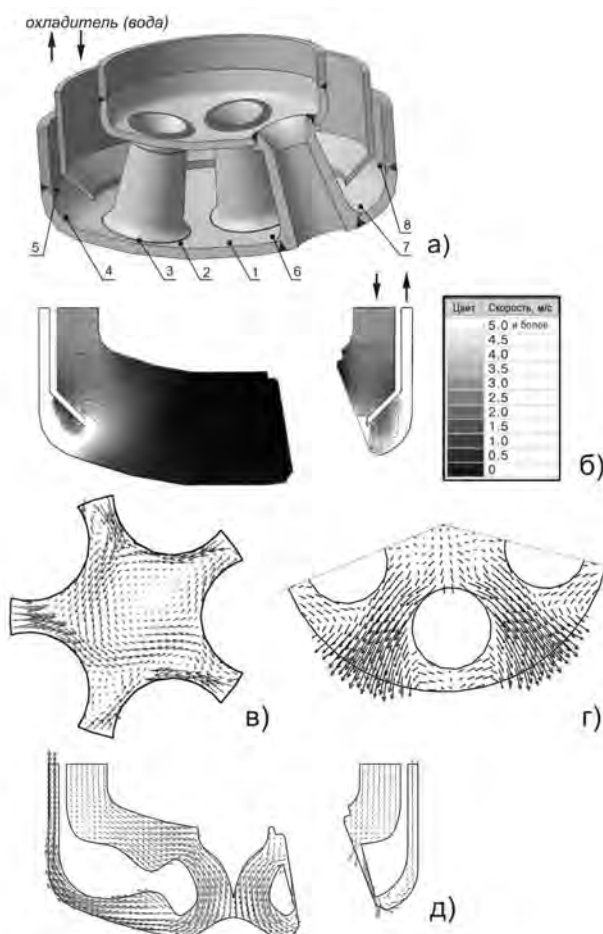


Рисунок 1 – Общий вид (а) и примеры результатов моделирования течения воды в системах охлаждения (б-д) наконечников фурм кислородных конвертеров

Получено, что в наконечниках кислородных фурм с центральным подводом кислорода и упрощенной системой охлаждения (роль разделителя воды выполняет концевая часть промежуточной трубы ствола фурмы, телескопический фиксатор и т.п.) – рис. 1а, течение охладителя, независимо от количества сопел и расположения промежуточной трубы, является неустойчивым, плохо организованным и не позволяет обеспечить надежное эффективное охлаждение центральной части головки (рис. 1б). Основной поток охлаждающей воды, не заходя в межсопловую область, перетекает с высокой скоростью из подводящего тракта фурмы в отводящий непосредственно под разделительной трубой. В остальной части наконечника формируется сложное течение, состоящее из трех-четырех последовательно расположенных циркуляционных контуров (вихрей); от периферийной к центральной части наконечника течение ослабевает и непосредственно в центральной межсопловой области скорость воды минимальна – порядка 0,5 м/с. Полученная картина течения в целом носит несимметричный характер (рис. 1, в); потоки воды между различными соплами отличаются как по величине скорости, так и по направлению циркуляции течения, так что корень основного потока прецессирует от одного сопла к другому. Это связано с гидродинамической неустойчивостью, присущей турбулентным течениям [2].

Для конструкций фурм с центральным подводом воды к головке имеет место близкая к оптимальной картина течения охладителя, особенно с вогнутой нижней тарелкой наконечника. Однако проблемным вопросом остается наличие зон с ухудшенной циркуляцией воды за соплами (рис. 1г).

При наиболее распространенном центральном подводе кислорода использование профилированных разделителей воды (листового и особенно объемного типов) и оптимальной организации ее перетока за соплами позволяет достигнуть хороших показателей гидродинамики течения охладителя в головке при сравнительно невысоких потерях его давления [3]. При этом использование вогнутой нижней тарелки позволяет дополнительно улучшить охлаждение центральной части наконечника (рис. 1д).

При нечетном числе основных продувочных сопел имеет место несимметричность течения воды в центральной части наконечника. При четном числе сопел – картина течения близка к симметричной с образованием верхней и нижней центральных зон со слабой циркуляцией охладителя. Уменьшить негативное влияние этих зон на теплообмен в системе возможно путем применения специальных конических вставок.

С целью уменьшения количества наиболее ответственных сварных швов сопел с нижней чашей наконечника (при его сварной конструкции) применяют блочное расположение сопел. Показано, что эффективность охлаждения сопловых блоков с использованием каналов для прохода воды между соплами существенно зависит от диаметра этих каналов, а при центральном подводе кислорода и от организации течения перетекающей воды за соплами.

При сравнительном анализе конструкций сводовых кислородных фурм мартеновских печей [4] рассматривалась картина течения охладителя в трех характерных сечениях наконечника горизонтальными плоскостями α , β , γ , проходящими соответственно через: нижние точки входных сечений водяных перепускных каналов наконечника, верхние точки выходных сечений последних и наружный боковой сварной шов на стыке "медь-сталь" (рис. 2 а, б). При этом в качестве параметров оптимизации были приняты геометрические размеры областей (участков) системы охлаждения со скоростью воды менее 3 м/с (рис. 2 в, г).

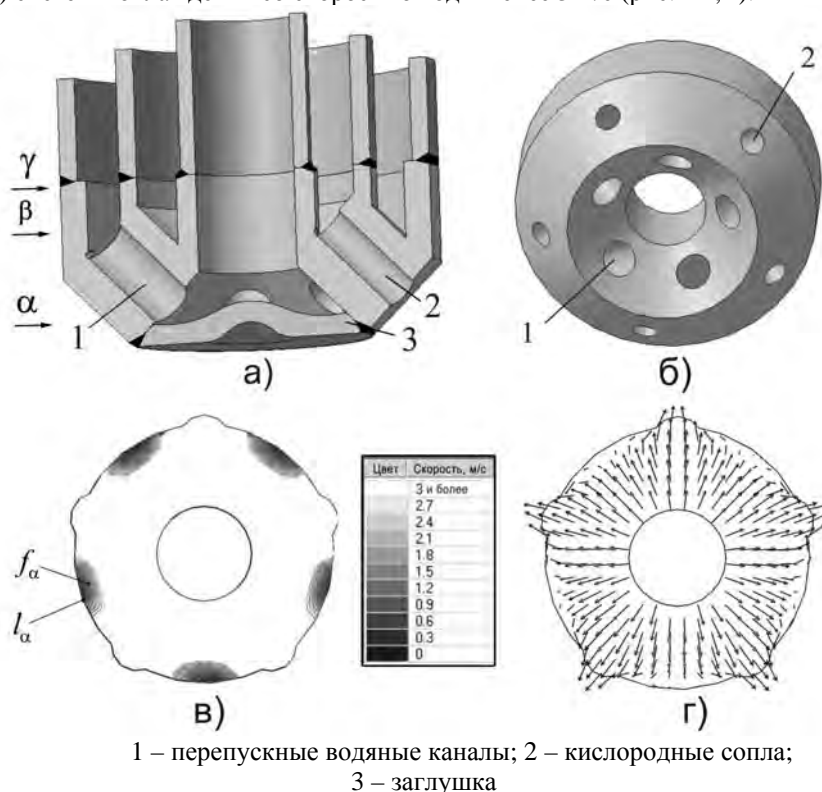


Рисунок 2 – Общий вид (а-б) и примеры результатов моделирования течения воды в системе охлаждения (в-г) наконечника сводовой кислородной фурмы мартеновской печи

В результате численного моделирования было установлено следующее: 1) при обычно используемом на практике числе перепускных водяных каналов в наконечнике кислородной фурмы, равным 4-7 шт., оптимизация формы этих каналов оказывает большее влияние на гидродинамику течения охладителя по сравнению с изменением их количества; 2) выполнение систем охлаждения наконечников фурм с перепускными водяными каналами, тангенциально ориентированными к водяным трактам фурмы, является более рациональным по сравнению с традиционно используемыми конструкциями как при прямой, так и обратной подаче охладителя (при подводе или отводе воды через центральный канал фурмы).

Применение тангенциально ориентированных к водяным трактам фурмы перепускных каналов в наконечнике позволяет использовать следующие преимущества вихревых потоков [5, 6]: 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.

Перечень ссылок

1. Сущенко А.В. / Анализ эффективности систем охлаждения наконечников фурм кислородных конвертеров. Сообщение 1 / А.В. Сущенко, А.П. Балаба // Изв. вузов. Черная металлургия. – 2009. – № 1 – С. 6-9.
2. Струминский В.В. Введение // Проблемы турбулентных течений. – М.: Наука, 1987. – С. 3-8.
3. 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.
4. Балаба А.П. Аналитическое исследование гидродинамики охлаждающей воды в сводовых кислородных фурмах мартеновских печей / А.П. Балаба, А.В. Сущенко // Вісник Приазов. держ. техн. ун-ту: Зб. наук. пр. – Маріуполь, 2007. – Вип. 17. – С. 170-173.
5. Щукин В.К. Теплообмен и гидродинамика внутренних потоков в полях массовых сил / В.К. Щукин. – М.: Машиностроение, 1970. – 332 с.
6. Халатов А.А. Теория и практика закрученных потоков / Халатов А.А. – К.: Наукова думка, 1989. – 192 с.