

С.А.Дудченко, С.И.Семыкин, В.Ф.Поляков,
В.В.Вакульчук, Т.С.Кияшко

ИССЛЕДОВАНИЕ С ПОМОЩЬЮ ФИЗИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ ГАЗОВОЙ СТРУИ НА ВЫХОДЕ ИЗ СОПЛА

Целью данной работы являлось выявление основных дутьевых факторов, влияющих на граничные размеры струи на выходе из сопла продувочной фурмы и на распределение температурных полей газовой струи в кислородном конвертере. Приведены эпюры распределения температурных полей по сечению и длине струи пара с определением её границы распространения. Выявлены различия в характере взаимодействия струи газа с ванной при различных комбинациях подвода дутья к ванне и различных уровнях расположения продувочной фурмы.

кислородный конвертер, продувочная фурма, сопло, дутьевые факторы, температурные поля

Состояние вопроса. От условий продувки конвертерной ванны зависят технико-экономические показатели процесса. Правильный выбор конструкции фурмы гарантирует раннее шлакообразование, а также отсутствие выбросов. Дополнительной функцией кислородной фурмы может также являться повышение эффективности дожигания СО до СО₂.

Изменяя расстояние фурмы от поверхности ванны, можно управлять величиной поверхности контакта окислительной газовой струи со шлаком и глубиной её проникновения в жидкую ванну. По мере удаления фурмы от поверхности ванны уменьшается количество кислорода, поглощаемого металлом в единицу времени, и соответственно увеличивается количество его, переходящее в шлак в составе закиси железа. Изменяя положение кислородной фурмы над ванной, можно, таким образом, регулировать содержание закиси железа в шлаке и этим влиять на ход формирования шлака.

Огромное значение для кинетики процессов окисления примесей металла в кислородном конвертере имеет перемешивание металла кислородной струей, которая состоит из следующих составляющих:

1. Работа адиабатического расширения газового потока внутри расплавленного металла, которая может быть различной в зависимости от расположения фурмы. Она максимальна в том случае, когда фурма контактирует с расплавленным металлом или погружена в металл.

Однако, для процессов быстрого шлакообразования или, например, дожигания СО фурму следует удерживать на определенном расстоянии над поверхностью металла.

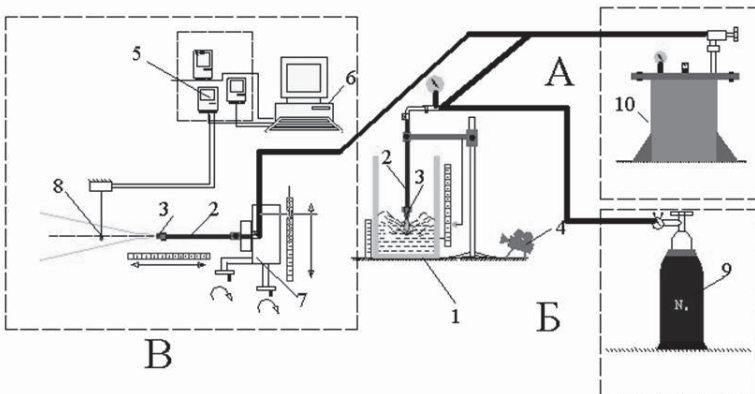
2. Работа проталкивания металла струей газа. Это так называемое проталкивание струей газа в толщу металла частиц жидкости

При рассмотрении струй согласно представлениям многих авторов и

сравнивая уравнения переноса вещества и переноса тепла, сохраняются постоянными не только количества движения, но и теплосодержание. Таким образом, энергия струи является основополагающей в гидродинамике сталеплавильной ванны, а эпюры тепловых потоков струи можно качественно рассматривать для оценки гидродинамических процессов, происходящих во время продувки. Таким образом, изучение работы газовой струи имеет большой интерес для практики конвертирования.

Целью данной работы являлось выявление основных дутьевых факторов, влияющих на граничные размеры струи на выходе из сопла продувочной фурмы и на распределение температурных полей газовой струи в кислородном конвертере.

Методика исследований. Для выполнения работы по исследованию распределения температурных полей газовой струи на выходе из сопла был разработан и дооснащен лабораторный стенд, моделирующий условия истечения струи газа из сопла (рис. 1).



А - продувка перегретым паром жидкости, Б - продувка азотом жидкости, В - моделирование температурного поля струи пара истекающего в воздух
1 - стеклянный сосуд; 2 - продувочная фурма; 3 - сменная головка фурмы; 4 - видеокамера; 5 - регистрирующие приборы; 6 - компьютер; 7 - механизм продольного и поперечного перемещения фурмы; 8 - термопара; 9 - баллон с азотом; 10 - парогенератор .

Рис.1. Схема стенда для исследования распределения температурных полей газовой струи на выходе из сопла.

Исследования проводились при использовании односопловой цилиндрической фурмы (3) с диаметром сопла 2,5 мм при истечении перегретого пара в воздух и различными давлениями перед соплом. С помощью механизма продольного и поперечного перемещения фурмы (7) её располагали относительно спая термопары (8). Показания термопары после обработки наносили на координатную сетку для построения эпюры тепловых потоков по сечению струи.

Основные результаты исследований. Согласно многим авторам [1,2] предполагается, что в начальном или выходном сечении струи вели-

чина и направление скорости постоянны по всему сечению (рис.2,(А)). Далее по потоку струи скорость убывает, а с краев образуется область заторможенного потока. Эту область называют пограничным слоем струи. Участок от начального сечения до окончания ядра струи называется начальным участком. За переходным сечением идёт основной участок, в котором область постоянных скоростей отсутствует и пограничный слой занимает всё поперечное сечение.

Следует отметить, что в данных исследованиях изучен диапазон высокоскоростных потоков и непосредственно высокоскоростное ядро струи. (примерно 5 – 70 калибров)

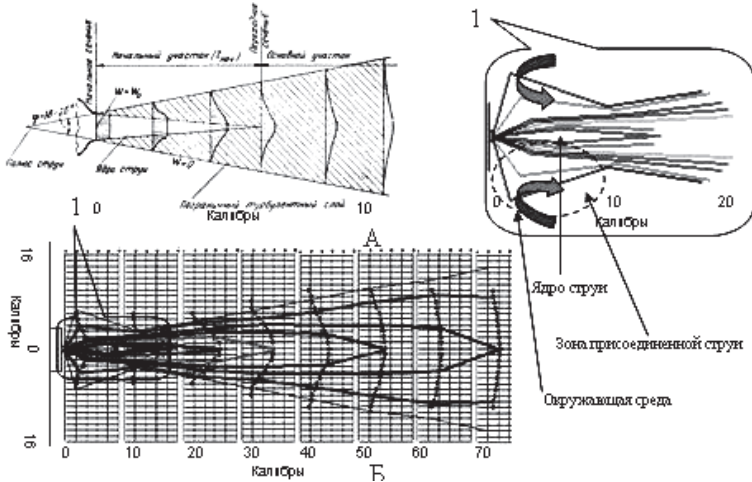


Рис.2. Типичная схема скоростного напора, согласно литературным данным (А) и эпюра тепловых потоков (Б) струи газа при истечении из сопла по данным эксперимента

С помощью разработанного стенда была зафиксирована картина формирования струи перегретого пара от начала выхода из сопла до момента её затухания. Нужно сказать, что в предыдущих исследованиях не рассматривался граничный участок струи. Однако, как известно, этот участок несет огромный вклад в процесс формирования струи и в саму гидродинамику ванны в целом. В начальной области так называемой присоединенной струи (рис.2), благодаря большим скоростям потока в основной части, происходит инжектирование окружающего пространства преобладающими в данной области турбулентными потоками непосредственно в саму струю, что в свою очередь приводит к её утяжелению и изменению режима истечения при продувке. Важно также то, что окружающая среда в зоне присоединенной струи может быть различной в зависимости от хода и нужд продувки: 1) она может находиться в газовой фазе (при высоком расположении фурмы); 2) в газо–шлаковой фазе; 3) в шлако–

металлической фазе; в металлической фазе. Каждая из этих фаз имеет свои физико-химические свойства и, поэтому, важно знать характер истечения струи.

В данной работе приводятся результаты исследования для режима затопленной струи. На (рис.3) представлен общий вид струи ассимилируемого и не ассимилируемого газа, а также эпюра тепловых потоков пара. При вдувании газа в жидкость мы можем наблюдать как раз область высокоскоростных потоков газа.

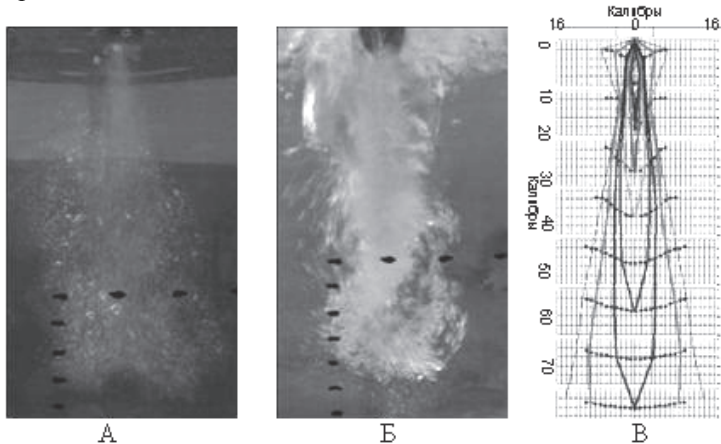


Рис.3. Общий вид струи при продувке перегретым паром воды (А), продувке азотом воды (Б) и эпюра тепловых полей при истечении пара в окружающую атмосферу (В).

Ниже основного участка, по мере насыщения жидкости пузырьками газа, просматриваются также низкоскоростные турбулентные области движения газа и жидкости, которые просматриваются более четко при продувке не ассимилированным газом. Однако при рассмотрении эпюры тепловых потоков можно увидеть также невидимую на фотографиях область распространения струи. Видно, что на расстоянии около одного калибра по оси струя резко расширяется уже на 10 – 12 калибров, далее при удалении по оси на 10 калибров она сужается до 8 – ми калибров и потом снова начинает расширяться с некоторыми переходными моментами. Также видно, что температурное поле в месте расширения струи до 12 калибров близко по значению к температурным полям на расстоянии 10 калибров по оси, где присутствуют высокоскоростные потоки. Это свидетельствует о том, что в подфурменной зоне происходит сильная инжекция окружающей среды, участвующая в формировании струи. Нужно заметить, что этот эффект нужно учитывать при проектировании многоспловых фурм во избежание слияния струй и повышения рассредоточения дутья.

На рис.4, в качестве примера, представлен общий вид взаимодействия ассимилируемого и не ассимилируемого газа при разных давлениях. Можно увидеть, что при увеличении давления на входе в сопло струя газа заметно глубже внедряется в ванну в режиме заглубленной струи.

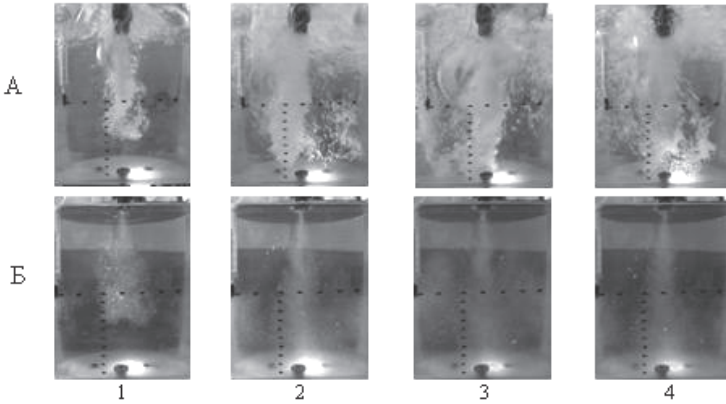


Рис.4. Общий вид взаимодействия струи азота (А) и струи пара (Б) при различных давлениях перед соплом в условиях заглубленной струи. (1 – 0,5 ати; 2 – 1,0 ати; 3 – 1,5 ати; 4 – 2,0 ати.)

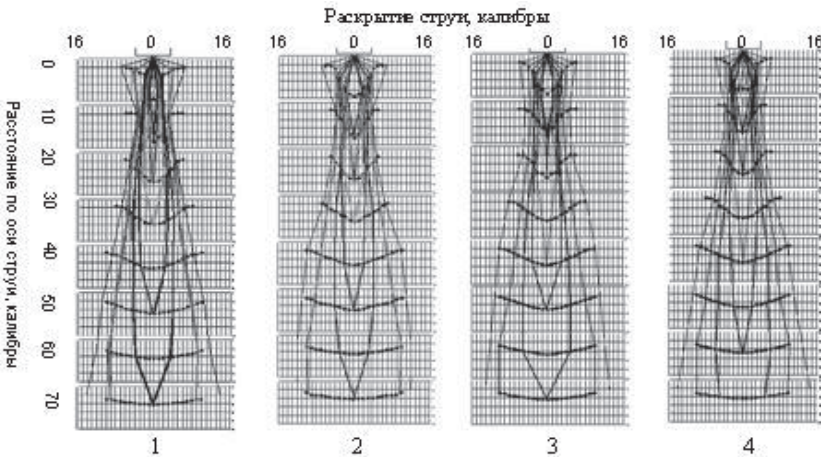


Рис.5. Эпюры температурных полей струи пара при истечении в воздух для разных вариантов давления перед соплом. (1 – 0,5 ати; 2 – 1,0 ати; 3 – 1,5 ати; 4 – 2,0 ати.)

При рассмотрении тепловых эпюр с давлениями перед соплом 0,5 – 2 ати (рис.6) видно, что ядро струи практически не удлиняется по оси при

данных давлениях, что также может являться подтверждением роли присоединенной струи в формировании потока. Объясняется это тем, что по мере увеличения давления и соответственно расхода газа, увеличивается объём турбулентных потоков в пограничной области, которые в свою очередь втягиваются высокоскоростным ядром, приводя к утяжелению струи и соответственно увеличивают её дальность.

Таким образом, изменение давления от 0,5 до 2 ати мало влияет на изменение температурного поля ядра струи, а расстояние до сопла имеет значительное влияние на распределение температурного на основном и пограничном участках. На рис.6 приведен график раскрытия струи в зависимости от расстояния по оси при разных давлениях. Видно, что при исследуемых вариантах существуют схожие участки истечения струи: 0 – 10 калибров, 10 – 20 калибров, 20 – 40 калибров и выше 40 калибров.

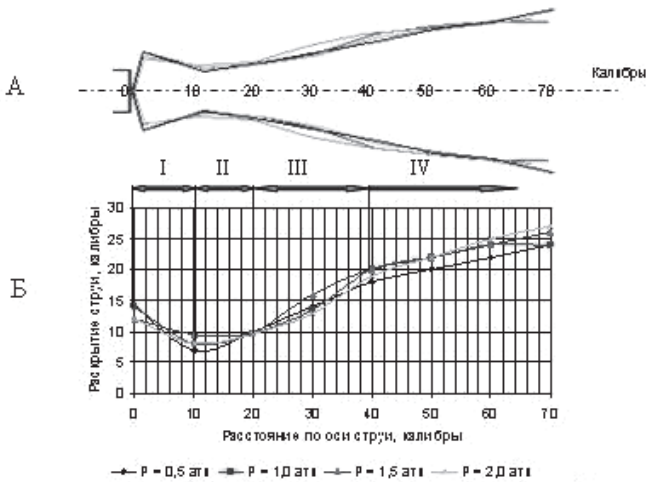


Рис. 6. Эпюра температурного поля контура присоединенной струи (А) и график раскрытия струи пара в зависимости от расстояния по оси фурмы при разных давлениях перед соплом (Б)

Выводы:

С использованием разработанной методики получены эпюры распределения температурных полей по сечению и длине струи пара с определением её границы распространения.

Выявлены различия в характере взаимодействия струи газа с ванной при различных комбинациях подвода дутья к ванне и различных уровнях расположения продувочной фурмы.

Определены параметры струи газа, внедренной в жидкость в зависимости от давления продувки, а также вида подводимого газа и окружающей среды.

Выявлена начальная граничная зона присоединенной струи, которая в несколько раз превышает размеры газового ядра, определенного с помощью классической схемы расчета скоростных потоков газовой струи.

Показано влияние присоединенной струи на истечение основной струи и характер гидродинамики ванны при продувке.

Показана роль учета присоединенной струи при проектировании кислородных фурм и определении дутьевого режима

1. *Баттизманский В.И.* Теория кислородно–конвертерного процесса. – М.:Металлургия, 1975. – 376 с.
2. *Явойский В.И., Дорофеев Г.А., Повх И.Л.* Теория продувки сталеплавильной ванны. – М.: Металлургия, 1974. – 496 с.

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

***С.А.Дудченко, С.І.Семикін, В.Ф.Поляков, В.В.Вакульчук,
Т.С.Кіяшко***

Дослідження за допомогою фізичного моделювання розподілу температурних полів газового струменя на виході з сопла

Метою роботи є виявлення основних дутєвих факторів, що впливають на граничні розміри струменя на виході з сопла продувної фурми і на розподіл температурних полів газового струменя в кисневому конвертері. Наведено епюри розподілу температурних полів за перетином і довжиною струменя пари з визначенням межі його розповсюдження. Виявлено відмінності в характері взаємодії струменя газу з ванною при різних комбінаціях підведення дуття до ванни та різних рівнях розташування продувної фурми.