

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

**ИЗУЧЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК, СНИМАЕМЫХ В
КОНВЕРТЕРЕ С УЧАСТКА «ФУРМА – ВАННА», НА ХОЛОДНОЙ
МОДЕЛИ ПРОДУВКИ МЕТАЛЛА СВЕРХУ**

Целью исследования являлось установление основных зависимостей, связывающих электрические и газодинамические параметры продувки в кислородном конвертере. С использованием методов холодного моделирования рассмотрены основные дутьевые факторы, связывающие электрические сигналы, снимаемые с участка фурма – ванна, и гидродинамические процессы, происходящие в ванне при продувке сверху. Показано, что характер изменения электрических сигналов, регистрируемых на участке фурма – ванна, отражает гидродинамические режимы продувки, всплески, волнообразование и пульсацию ванны.

**кислородный конвертер, электрические и газодинамические параметры
продувки, холодное моделирование, режимы продувки**

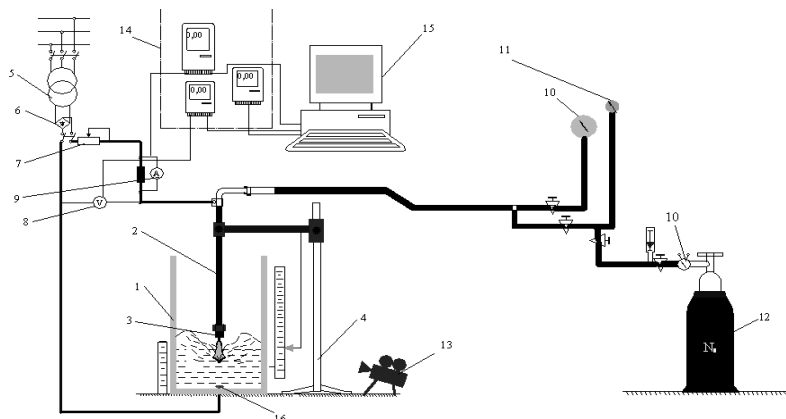
Металлургов давно интересуют вопросы общей гидродинамики ванны и взаимодействия дутья с металлом. При продувке сверху взаимодействие струи газа с жидкостью может быть различным в зависимости от величины динамического напора в осевой части струи на границе газ – ванна, которое определяется давлением дутья, высотой подъёма фурмы над ванной, а также другими факторами [1]. Однако, как известно, контроль и рациональное управление указанными факторами во время продувки представляется сложным, т. к. не всегда удаётся точно определить или спрогнозировать процессы, происходящие в ванне конвертера. В данной работе сделана попытка оценки влияния дутьевых факторов продувки с помощью холодного моделирования процесса продувки металла в конвертере сверху на электрическое состояние ванны.

Цели работы:

- установление основных зависимостей, связывающих электрические и газодинамические параметры продувки;
- выявление основных дутьевых факторов, влияющих на изменение электрических сигналов, снимаемых на участке фурма – ванна;
- определение принципиальной возможности применения низковольтных потенциалов для контроля положения фурмы в конвертере с использованием методов холодного моделирования.

Методы исследований. Для решения вышеизложенных задач была изготовлена модель, имитирующая верхнюю продувку ванны с возможностью подвода электрического потенциала к жидкой ванне. В нашем случае для качественного моделирования применяли продувку водных растворов солей азотом. В данной работе приводятся варианты опробования двух фурм: односопловая (сравнительная) $d_{\text{сопла}} = 2,5$ мм и пятисопловая с $d_{\text{сопла}} = 1,1$ мм и углом раскрытия сопел 20 градусов. Последняя рассчиты-

валась исходя из условий работы реального 160 –т конвертера ОАО «АрселорМиттал Кривой Рог». Промышленная фурма работает в расчётном режиме, обеспечивает расход газа $380 \text{ м}^3/\text{мин}$ и интенсивность продувки $2,5 \text{ м}^3/\text{т} \cdot \text{мин}$. Принципиальная схема разработанного стенда для исследования связи электрических сигналов, снимаемых на участке фурма – ванна, с дутьевыми параметрами продувки представлена на рис.1.



1 - стеклянный сосуд; 2 - продувочная фурма; 3 - сменная головка фурмы; 4 - держатель фурмы; 5 - трансформатор тока; 6 - диодный мост; 7 - реостат; 8 - вольтметр; 9 - амперметр; 10 - манометры; 11 - расходомер; 12 - баллон с газом; 13 - видекамера; 14 - регистрирующие приборы; 15 - компьютер; 16 - донный электрод.

Рис.1. Принципиальная схема стенда холодного моделирования продувки сверху с наложением на ванну электрических потенциалов.

Результаты исследований. Основной целью данной работы являлось определение принципиальной возможности использования разработанного ранее способа наложения на ванну низковольтных электрических потенциалов для контроля положения фурмы. Суть метода заключается в том, что, по нашему представлению, электрические сигналы, снимаемые с участка фурма – ванна, могут отражать характер процесса при продувке [2]. При проведении экспериментов на холодной модели зависимость подтвердилась. Общий вид характерных диаграмм представлен на рис.2.

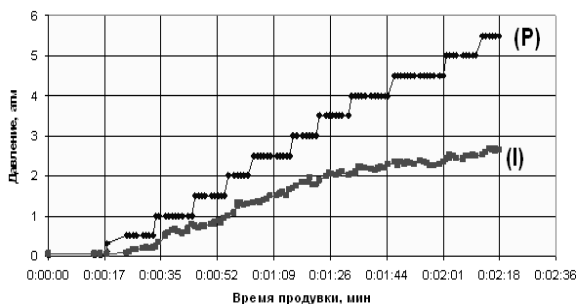


Рис.2. Общий вид диаграммы изменения значений силы тока при изменении давления азота.

Видно, что характер изменения значений силы тока (I) на участке фурма–ванна отражает характер изменения давления (P) перед соплом.

На рис.3 представлен анализ полученных характеристик, подтверждающий связь значений силы тока от подводимого давления азота.

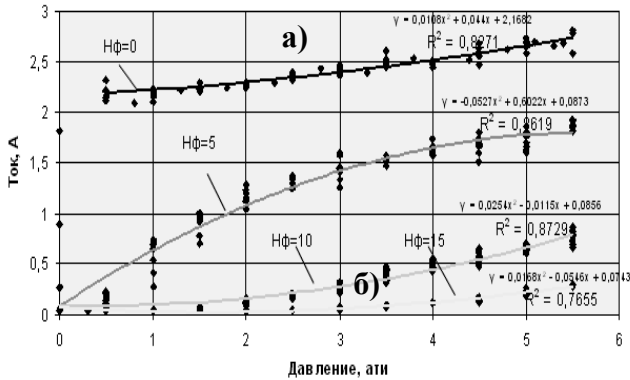


Рис.3. Зависимость силы тока от давления при различном положении продувочной фурмы: а) односопловая фурма, б) пятисопловая фурма. $Hф = Hф/d_{сопла}$ – высота расположения фурмы над ванной в калибрах.

Из приведенного рис.3 видно, что для двух вариантов исследуемых фурм прослеживается чёткая связь значений силы тока от подводимого давления с коэффициентом сходимости (R) не ниже 0,76. Однако, можно заметить, что величина фиксируемых прибором значений тока в цепи в огромной степени определяется высотой расположения фурмы над уровнем ванны. Так, при $Hф = 15$ калибров значения измеряемой величины силы тока на порядок ниже, чем при $Hф = 0$ калибров. Для более детальной оценки проведены дополнительные расчёты по определению степени влияния высоты размещения фурмы над уровнем ванны на фиксируемые электрические сигналы.

На рис.4 представлены зависимости силы тока от положения продувочной фурмы при различных фиксированных давлениях. Видно, что характер линий носит степенной характер, т.е. изменение параметра высоты расположения фурмы существенно влияет на изменение значения силы тока в цепи фурма – ванна. Например, изменение положения пятисопловой фурмы на 1 калибр (~1 мм) изменяет значение силы тока на ~0,5А, что составляет ~15% от максимально полученного значения силы тока. Таким образом, подтверждается возможность определения высоты размещения продувочной фурмы в ванне конвертера данным методом с точностью определения не менее чем 1 калибр.

В работе сделана попытка оценить природу регистрируемых сигналов, выявить их связь с гидродинамическими процессами, происходящими в ванне конвертера при продувке сверху и тем самым подтвердить правомерность использования электрических характеристик для контроля

основных дутьевых параметров и, как следствие, гидродинамики ванны. На рис.5–6 в качестве примера приводятся фотографии состояния ванны при продувке сверху при различных давлениях для двух исследуемых фурм.

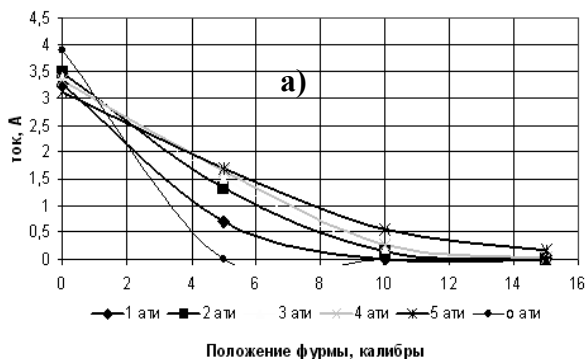
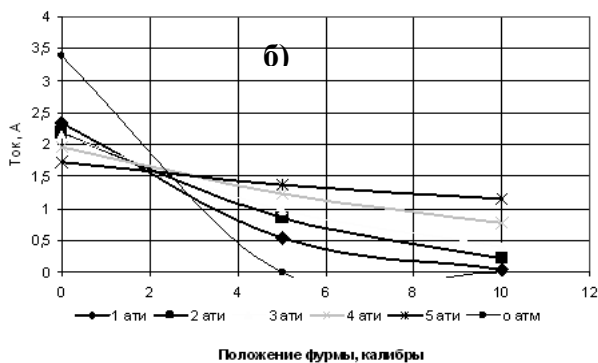


Рис.4. Зависимость изменения силы тока от положения фурмы при различном давлении: а) односплошная фурма, б) пятисплошная фурма.



Видно, что при малых давлениях, в месте встречи струи газа с жидкостью образуется лунка, которая по мере увеличения последнего внедряется в неё и при дальнейшем повышении давления глубоко проникает

в жидкость, образуя кратер. Как известно, при больших давлениях дутья, обычных для практики, резкое расширение сжатой струи за соплом сопровождается возникновением по оси струи значительного разрежения. В дальнейшем струя испытывает чередующиеся во времени и пространстве разрежения и сжатия. Эта пульсация струи передаётся ванне, способствуя возникновению всплесков, газовыделению, движению в ванне. В процессе движения струи происходит также её перемешивание и взаимодействие со встречным потоком. Характер этих взаимодействий носит сложную природу и определяется многими параметрами, в частности, давлением дутья, положением фурмы, конструкцией фурмы и т.д. В исследованиях выявлено несколько зон циркуляции:

сравнительно небольшая зона струи вблизи фурмы с быстро движущимся вниз двухфазным потоком в центральной части;

окружающая её довольно широкая зона, в которой жидкость движется вверх, увлекаемая всплывающими пузырями; периферийная зона с нисходящими потоками.

В верхней части ванны при продувке наблюдаются также замкнутые контуры жидкости. В случае применения пятисопловой фурмы вместо одной зоны циркуляции в районе струи возникает несколько таких зон. Рассредоточение дутья и увеличенный угол расхождения сопел в пятисопловой фурме существенно изменяет картину всплескообразования и пульсации ванны в прилегающей к фурме области.

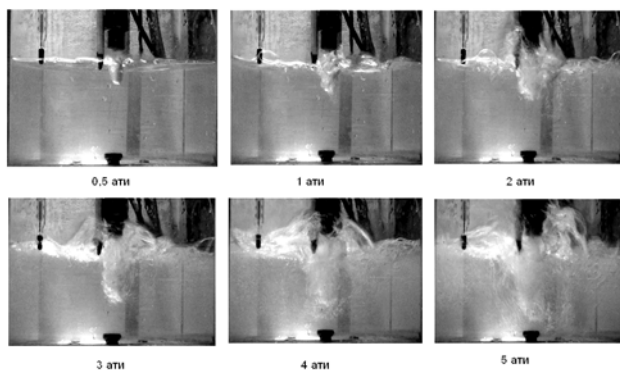


Рис.5. Вид ванны при продувке азотом сверху (односопловая фурма) для различных давлений дутья ($H\phi/d_{\text{сопла}} = 5$ калибров)

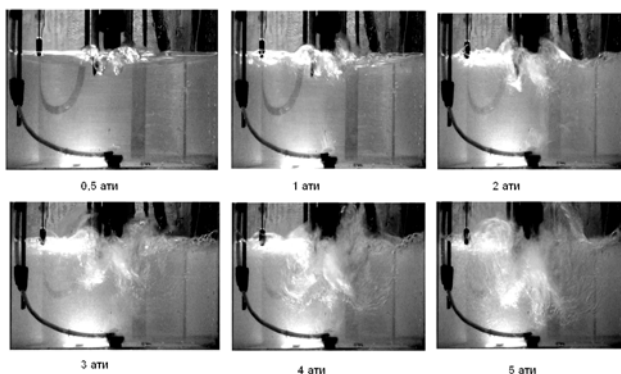


Рис.6. Вид ванны при продувке азотом сверху (пятисопловая фурма) для различных давлений дутья ($H\phi/d_{\text{сопла}} = 5$ калибров)

Исходя из приведенных данных и полученных эмпирических зависимостей, можно предположить, что характер изменения электрических сигналов, регистрируемых на участке фурма – ванна, отражает гидродинамические режимы продувки, а в частности, всплески, волнообразование и пульсацию ванны, что хорошо согласуется с фотографиями процесса для одно- и пяти- сопловой фурмы (рис.5–6) и с графиками изменения значений силы тока в зависимости от давления и высоты расположения фурмы над ванной (рис.3–4).

Заключення. Таким образом, можно сделать следующие выводы:

1. С использованием методов холодного моделирования установлено, что снимаемые с помощью системы наложения электрических потенциалов сигналы отражают изменение основных показателей дутьевого режима плавки.

2. Выявлены зависимости, с высокой степенью достоверности показывающие связь электрических сигналов с параметрами дутьевого режима плавки: давления дутья, высоты расположения фурмы над ванной, гидродинамики ванны при продувке.

3. С помощью полученных зависимостей определена степень влияния основных параметров продувки на гидродинамику ванны при продувке и показаны наиболее значимые из них.

1. *Баптизманский В.И.* Теория кислородно–конвертерного процесса. – М.:Металлургия, 1975. – 376 с.
2. *Семькин С.И., Дудченко С.А.* Использование системы низковольтных потенциалов для определения рационального режима изменения положения кислородной фурмы при выплавке стали в конвертере // *Фундаментальные и прикладные проблемы чёрной металлургии. Сб.научн.тр.ИЧМ.* – Вып. №4. – 2007. – С.140–144.

*Статья рекомендована к печати:
заместитель ответственного редактора
раздела «Сталеплавильное производство»
докт.техн.наук, проф. Э.В.Приходько
рецензент канд.техн.наук В.П.Корченко*

С.І.Семикін, В.Ф.Поляков, С.О.Дудченко, В.В.Вакульчук

Вивчення електричних характеристик, що знімаються у конвертері з ділянки «фурма – ванна», на холодній моделі продування металу зверху

Метою дослідження було встановлення основних залежностей, що зв'язують електричні і газодинамічні параметри продування в кисневому конвертері. З використанням методів холодного моделювання розглянуто основні параметри дуття, що зв'язують електричні сигнали та гідродинамічні процеси, які відбуваються у ванні при продуванні зверху. Показано, що характер зміни електричних сигналів, реєстрованих на ділянці фурма – ванна, відображає гідродинамічні режими продування, сплески, хвилеутворення та пульсацію ванни.