

5. Rymarchyk N. Post combustion lances in Basic Oxygen Furnace (BOF) operations / N.Rymarchyk // Steelmaking Conference Proceedings. – 1998. – P.445-449.
6. Некоторые вопросы теории кислородно-конвертерного процесса / Т.Коотц, К.Беренс, Г.Маас, П.Баумгартен // Черные металлы. – 1965. – № 15. – С.42-52.
7. Чернятевич А.Г. К вопросу о размерах реакционной зоны при продувке металла кислородом / А.Г.Чернятевич, Б.И.Шишов // Производство стали в кислородно-конвертерных и мартеновских цехах: тематич. отрасл. сб. ИЧМ МЧМ СССР. – М.: Металлургия. – 1981. – №9. – С.8-12.
8. Чернятевич А.Г. Гидрогазодинамические закономерности нанесения шлакового гарнисажа на футеровку конвертера / А.Г.Чернятевич, Е.Н.Сигарев, Е.А.Чубина // Металл и литье Украины. – 2005. – № 3-4. – С.45-47.
9. Чернятевич А.Г. Инновационная технология формирования огнеупорного гарнисажа на футеровке конвертера / А.Г.Чернятевич, Е.Н.Сигарев, Е.А.Чубина // Збірник наукових праць Дніпродзержинського технічного університету: (технічні науки) / Дніпродзержинськ: ДДТУ. – 2006. – С.3-9.

Поступила в редколлегию 11.06.2013.

УДК 669.184

ОГУРЦОВ А.П., д.т.н., профессор
КУЛИК А.Д., к.т.н., доцент
КАЩЕЕВ М.А., к.т.н., доцент
ПОХВАЛИТЫЙ А.А., ассистент
СОТНИЧЕНКО С.С., студент

Днепродзержинский государственный технический университет

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИИ
ВЫПУСКА МЕТАЛЛА ИЗ КОНВЕРТЕРА.
СООБЩЕНИЕ 1. МОДЕЛЬ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СТРУИ С ГАЗОМ
В ПОЛОСТИ ЛЕТКИ**

Введение. Выпускной канал любого сталеплавильного (СП) агрегата является очень важным его узлом, от состояния и геометрических параметров которого во многом зависят результаты производства стали. Выпускной канал конвертера является его самым простым и надежным в эксплуатации узлом, функции которого в последние десятилетия расширены в связи с проблемой отсечки печных шлаков. Вместе с тем, для конвертерной технологии обостряется проблема увеличения рафинировочного потенциала – назрели проблемы снижения окисленности (на выпуске $\Delta[O] \geq 800-1200$ ppm), десульфурации и дегазации металла. Эти показатели уже на стадии выпуска определяют и качество, и экономику технологии.

В работе [1] показано, что имеет место недооценка рафинировочного потенциала летки конвертера. Практически конвертер имеет удлинённый мини-реактор, в котором в течение 5-10 мин с большой скоростью движется высокотемпературная струя недорафинированного полупродукта. На рис.1 представлены схемы различного исполнения узлов летки 250-т конвертера с длиной канала 2000 мм и диаметром 150 мм.

Постановка задачи. В основу работы поставлена цель: изложить методику определения параметров модели выпускной летки для последующего изучения особенностей взаимодействия в ней металла с газом.

Результаты работы. Для создания модели использован метод анализа размерностей [2].

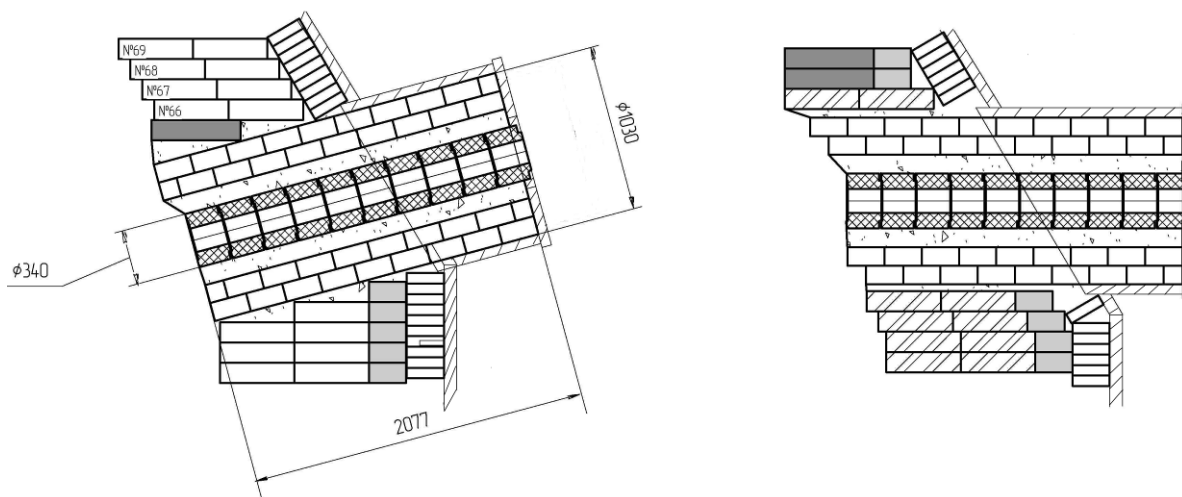


Рисунок 1 – Разновидности исполнения леток

С учетом реальной схемы истечения металла (рис.2) составили перечень наиболее значимых переменных, исключив из рассмотрения вязкость металла и высоту шла-

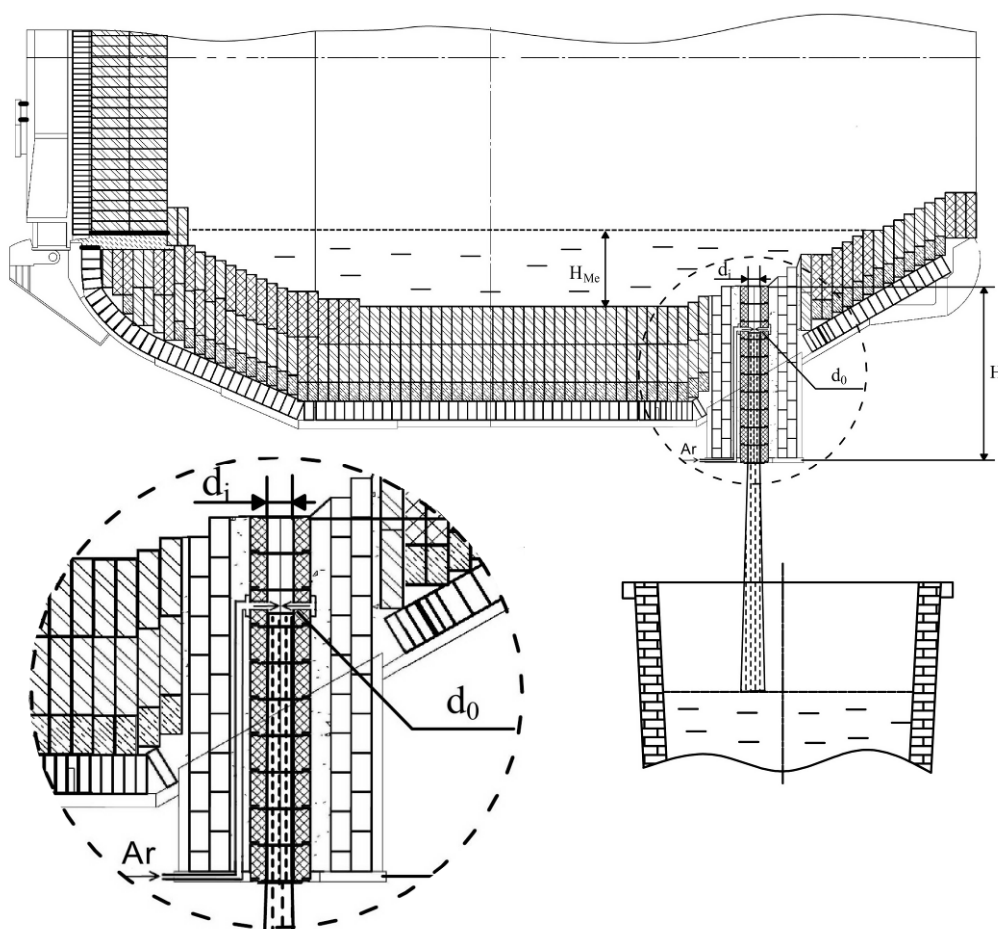


Рисунок 2 – Схема выпускного канала и его ведущие параметры

кового слоя. Переменной, косвенно определяющей эффект торможения струи газовой средой, приняли время истечения металла из конвертера ($\tau_{\text{вып.}}$); получили уравнение:

$$\tau_{вып} = c \cdot d_0^n \cdot d_i^a \cdot h_{Me}^c \cdot g^p \cdot W_2^t \cdot W_{Me}^B \cdot \delta_{Me}^K \cdot \rho_2^s \cdot \rho_{Me}^d, \quad (1)$$

где c – безразмерный коэффициент пропорциональности;

d_i – диаметр летки, м; d_0 – диаметр газового сопла, м;

h_{Me} – высота столба металла, м; g – ускорение свободного падения, м/с²;

W_2 – скорость истечения газа из сопла, м/с;

W_{Me} – скорость движения металла в летке, м/с;

δ_{Me} – поверхностное натяжение металла, Н/м;

ρ_2, ρ_{Me} – плотность газа и металла соответственно, кг/м³;

$n, a, c, p, t, B, K, s, d$ – неизвестные показатели степени.

После соответствующих преобразований получили уравнение

$$\frac{\tau_{вып} \cdot W_{Me}}{d_i} = c \left(\frac{d_i \cdot g}{W_{Me}} \right)^p \cdot \left(\frac{h_{Me}}{d_i} \right)^c \cdot \left(\frac{\delta_{Me}}{d_i \cdot \rho_{Me} \cdot W_{Me}^2} \right)^k \cdot \left(\frac{W_2}{W_{Me}} \right)^t \cdot \left(\frac{\rho_2}{\rho_{Me}} \right)^s \cdot \left(\frac{d_0}{d_i} \right)^n \quad (2)$$

с соответствующими симплексами и критериями подобия:

$$\varepsilon = \frac{\tau_{вып} \cdot W_{Me}}{d_i} \text{ – безразмерное время истечения металла;}$$

$$K_W = \left(\frac{W_2}{W_{Me}} \right) \text{ – симплекс необходимости соблюдения начальных условий, то есть}$$

отношение скорости истечения газа из сопла к скорости движения металла в летке;

$$K_c = \frac{h_{Me}}{d_i} \text{ – симплекс, указывающий на необходимость соблюдения геометрическо-}$$

го подобия при выборе диаметра летки;

$$K_\rho = \frac{\rho_2}{\rho_{Me}} \text{ – симплекс плотностей, характеризующий физическое подобие;}$$

$$K_d = \left(\frac{d_0}{d_i} \right) \text{ – симплекс, указывающий на необходимость соблюдения геометрическо-}$$

ского подобия при определении диаметра сопел;

$$\frac{l}{Fr} = \frac{d_i \cdot g}{W_{Me}^2} \text{ или } Fr = \frac{W_{Me}^2}{d_i \cdot g} \text{ – критерий Фруда, характеризующий динамическое по-}$$

добие системы, находящейся под действием сил инерции и тяжести.

В качестве базового, с помощью которого оценивали масштабный коэффициент, приняли критерий Вебера, характеризующий соотношение свободных образований в жидкости (пузырей, капель и т.д.) и линейных размеров канала летки

$$W_e = \frac{\delta_{Me}}{d_i \cdot \rho_{Me} \cdot W_{Me}^2} = \frac{\delta_{Me}}{d_i^2 \cdot \rho_{Me} \cdot g}$$

Учитывая, что для реального объекта и модели справедливо равенство

$$W_e = \frac{\delta_{Me}}{d_i^2 \cdot \rho_{Me} \cdot g} = \frac{\delta_{M'}}{d_{M'}^2 \cdot \rho_{M'} \cdot g}, \quad \text{нашли} \quad \frac{d_{M'}^2}{d_i^2} = \frac{\delta_{M'} \cdot \rho_{Me}}{\rho_{M'} \cdot \delta_{Me}}, \quad (3)$$

где переменные со штрихом означают параметры модели, а $d_{M'}$ – диаметр выпускного канала модели.

Металл при 1600°C моделировали водой при 20°C, а аргон – воздухом со свойствами:

$$\rho_{Me} \approx 7000 \text{ кг/м}^3; \quad \delta_{Me} \approx 1,865 \text{ Н/м}; \quad \rho'_{воды} = 1000 \text{ кг/м}^3; \quad \delta'_{воды} = 0,073 \text{ Н/м}.$$

Масштабный коэффициент, рассчитанный с учетом ρ_{Me} и $\rho'_{воды}$, оказался малопримемлемым для использования $\frac{d'_{M_1}}{d_i} = \sqrt{\frac{\delta'_{воды} \cdot \rho_{Me}}{\delta_{Me} \cdot \rho'_{воды}}} = 0,523 \approx 0,5$.

В связи с этим взяли критерий Вебера с другим сочетанием переменных: вместо ρ_{Me} (плотность металла) использовали параметр ρ_2 (плотность газа):

$$W_e = \frac{\delta_{Me}}{d_i^2 \cdot \rho_2 \cdot g} = \frac{\delta'_{воды}}{d_{M_2}'^2 \cdot \rho_2' \cdot g}, \quad \text{откуда} \quad \frac{d_{M_2}'^2}{d_i^2} = \frac{\rho_2 \cdot \delta'_{воды}}{\rho_{Me} \cdot \rho_2'}, \quad (4)$$

где d'_{M_1} и d'_{M_2} – диаметры модели летки, рассчитанные по критерию Вебера по жидкости и по газу соответственно.

Учитывая, что ρ_2 (аргон) = 1,78 кг/м³ и для воздуха $\rho_2' = 1,29$ кг/м³, получили

$$\frac{d'_{M_2}}{d_i} = \sqrt{\frac{\rho_2 \cdot \delta'_{воды}}{\delta_{Me} \cdot \rho_2'}} = 0,23 \approx 0,2. \quad (5)$$

Таким образом, масштабный коэффициент для модели можно принимать в пределах $d'_{M_2} / d_i = 0,2 \dots 0,5$. Ограничились значением $d'_{M_2} / d_i = 0,2$. С учетом диаметра летки 240-т конвертера ($d_i = 150$ мм) диаметр модели составит $d'_{M_2} = 0,2 \cdot 150 = 30$ мм.

Расчет расхода газа через сопла модели выполнили с учетом масштабного коэффициента 0,2.

1. Для расчета массового расхода воздуха на модели учли безразмерный М-критерий [2]

$$M = \frac{M_{Ar}}{\frac{1}{\rho_{Ar}} \cdot g^{\frac{5}{2}} \cdot d_i^2} = \frac{M'_{возд}}{\frac{1}{\rho'_{возд}} \cdot g^{\frac{5}{2}} \cdot d_{M_2}'^2}, \quad (6)$$

где M_{Ar} и $M'_{возд}$ – расход газа, подаваемого в полость летки (аргон) и в канал модели (воздух) соответственно, кг/с.

Из уравнения (6) с учетом $\frac{d'_{M_2}}{d_i} = 0,2 = \frac{1}{5}$ и, следовательно, $d_i = 5d'_{M_2}$ получим

$$M'_{\text{возд}} = \frac{M_{Ar} \cdot \rho'_{\text{возд}}}{\rho_{Ar} \cdot 5 \left(\frac{5}{2}\right)}. \quad (7)$$

2. Задаем удельным расходом аргона от 0,1 до 1,0 м³/т (для 240-т конвертера). Тогда при общем расходе аргона 24...240 м³/плавку и при максимальном времени выпуска металла 10 минут объемный расход аргона составит 2,4...24 м³/мин. или массовый расход – (2,4...24)·1,78 = 4,27...42,72 кг/мин. = 0,071...0,712 кг/с.

3. Принимаем общее число сопел в летке конвертера 8. Тогда на одно сопло $M_{Ar} = (0,071...0,712)/8 = 0,0089...0,089$ кг/с.

4. Минимальный расход воздуха на модели на одно сопло в случае расхода аргона 1 м³/т металла

$$M'_{\text{возд}} = \frac{M_{Ar} \cdot \rho'_{\text{возд}}}{\rho_{Ar} \cdot 5 \left(\frac{5}{2}\right)} = \frac{0,089 \cdot 1,29}{1,78 \cdot 55,95} = 0,001154 \text{ кг/с.}$$

Минимальный объемный минутный расход воздуха на 1 сопло модели

$$M'_{\text{min.возд}} = 0,001154/1,29 \cdot 60 = 0,054 \text{ м}^3/\text{мин.}$$

5. Верхний предел расхода газа на модели оценим с помощью того же уравнения (7), исходя из суммарного на все 8 сопел летки конвертера расхода аргона, составляет 0,712 кг/с (при удельном расходе аргона равном 1 м³/т).

$$M'_{\text{возд}} = \frac{0,712 \cdot 1,29}{1,78 \cdot 55,95} = 0,0092 \text{ кг/с.}$$

Максимальный объемный минутный расход воздуха на модели на одно или больше сопел

$$M'_{\text{max.возд}} = 0,0092/1,29 \cdot 60 = 0,428 \text{ м}^3/\text{мин.}$$

Таким образом, минимальный расход $M'_{\text{min.возд}} = 0,054$ м³/мин на одно сопло и максимальный расход $M'_{\text{max.возд}} = 0,428$ м³/мин на все сопла модели при удельном расходе аргона 1 м³/т на реальном конвертере. Т.е. для лабораторных условий необходимо иметь газовый расходомер с пределами измерений расхода воздуха 0,054... 0,428 м³/мин. Однако в распоряжении кафедры имеется расходомер газа типа ротаметр РС-9, позволяющий контролировать расход газа в пределах 0,1...0,8 м³/мин., с завышенным в 2 раза нижним уровнем расхода. При моделировании использовали расходы в пределах 0,11...0,86 м³/мин.

С целью визуальной оценки процессов, происходящих в выпускном канале для жидкости, было признано необходимым изготовить прозрачную модель летки с расположением на разных уровнях двух сопел для подачи газа в полость летки (рис.3).

С учетом последнего обстоятельства (два сопла, расположенных один против другого на прозрачной модели) приняли необходимым изучать процессы, протекающие в полости летки при взаимодействии газа с истекающей жидкостью, начиная с минимального расхода сжатого воздуха (на модели)

$$M'_{\text{min}} = 0,054 \cdot 2 = 0,108 \approx 0,11 \text{ м}^3/\text{мин.}$$

Верхний предел расхода сжатого воздуха

$$M'_{\text{max}} = 0,428 \cdot 2 = 0,856 \approx 0,86 \text{ м}^3/\text{мин.}$$

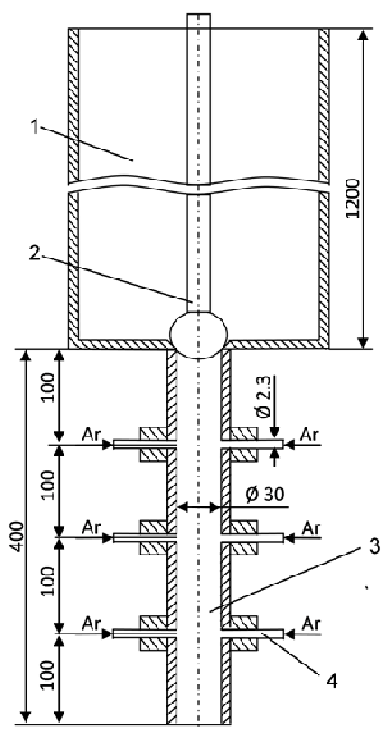
Выводы. Для изучения особенностей формирования газо-металлического потока в процессе выпуска плавки из конвертера разработана физическая модель и создана лабораторная установка. С её помощью планируется определять оптимальные режимы подачи газа в полость летки для получения хорошо организованного газо-металлического потока. Это позволит перенести часть рафинировочных процессов из ковша в летку, что даст возможность снизить расход раскислителей и улучшить технико-экономические показатели конвертерной плавки.

Результаты работы представлены в сообщении 2.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кулик А.Д. Совершенствование выпуска стали из конвертера / А.Д.Кулик, М.А.Кащеев, А.А.Похвалитый // *Металлургическая и горно-рудная промышленность.* – 2013. – №1. – С.18-20.
2. Марков Б.Л. Физическое моделирование в металлургии / Б.Л.Марков, А.А.Кирсанов. – М.: Металлургия, 1984. – 119с.

Поступила в редколлегию 27.06.2013.



- 1 – емкость, моделирующая конвертер;
2 – стопор; 3 – модель летки;
4 – сопло

Рисунок 3 – Схема устройства модели летки, закрепленной на емкости

УДК 669.184

ОГУРЦОВ А.П., д.т.н., профессор
КУЛИК А.Д., к.т.н., доцент
КАЩЕЕВ М.А., к.т.н., доцент
ПОХВАЛИТЫЙ А.А., ассистент
СОТНИЧЕНКО В.С., студент

Днепродзержинский государственный технический университет

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ВЫПУСКА МЕТАЛЛА ИЗ КОНВЕРТЕРА. СООБЩЕНИЕ 2. РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА

Введение. В работе [1] показана актуальность проблемы повышения рафинировочного потенциала конвертерной технологии, полная оценка которого пока отсутствует. В работе [2] предложено решать эту задачу за счет расширения функций выпускного канала конвертера. Струю металла, попавшую в летку, предлагается подвергнуть воздействию газа требуемого состава и давления и преобразовать ее в однородный газо-металлический поток с высокой удельной поверхностью раздела. Это позволит, в случае подачи инертного газа, обеспечить протекание процессов обезуглероживания –