

Изобретение относится к контролю и управлению агрегатами черной металлургии, конкретнее к управлению кислородными конвертерами, и может быть использовано в конвертерных и других сталеплавильных цехах.

Известен способ контроля уровня ванны в конвертере по углу наклона отраженного светового потока к образующей конвертера [1]. Над конвертером устанавливают источник излучения света и элемент, воспринимающий отраженный поток, и по изменению угла наклона отраженного светового потока судят об изменении уровня ванны в конвертере. Использование этого способа не эффективно вследствие экранирующего влияния факела конвертера на прохождение светового потока.

Известен способ контроля уровня ванны в конвертере путем измерения резонансной частоты свободного объема конвертера [2]. В первом приближении конвертер можно считать простым гармоническим осциллятором Гельмгольца, резонансная частота которого связана с его свободным объемом. Значение уровня ванны в конвертере получают путем деления газо-шлако-металлической эмульсии на площадь поперечного сечения конвертера. Этот способ не позволяет с достаточной точностью контролировать уровень ванны в конвертере, так как значительную погрешность вносят неконтролируемые значения скорости звука в рабочем пространстве конвертера и износа его футеровки, оказывающие влияние на резонансную частоту свободного объема рабочего пространства конвертера.

Наиболее близким по технической сущности к заявляемому изобретению является способ контроля шлакообразования в конвертере (уровня газо-шлако-металлической эмульсии) путем измерения положения фурмы относительно неподвижных конструкций конвертера, расхода кислорода, реакции опор фурмы в процессе продувки с учетом выталкивающей силы [3]. Использование этого способа приводит к погрешности, связанной с тем, что не учитывается изменение массы фурмы вследствие наслоения в процессе продувки на нее шлако-металлической эмульсии. Кроме того, способ не учитывает силу реактивной тяги кислорода, вытекающего из сопел фурменного наконечника.

В основу изобретения поставлена задача создания способа контроля уровня ванны в конвертере, в котором путем введения новых операций обеспечивают учет изменения массы фурмы вследствие наслоения в процессе продувки на нее шлако-металлической эмульсии, а также учет реактивной тяги кислорода, вытекающего из сопел фурменного наконечника и рассчитывают уровень ванны в конвертере из баланса сил, действующих на фурму.

В процессе продувки конвертерной ванны на фурму действуют силы тяжести, реакция опор фурмы, сила реактивной тяги истекающего из фурменного наконечника кислорода, архимедова сила и сила аэродинамического воздействия потока отходящего газа

$$G - F_{\text{рт}} - F_a - F_{\text{аэр}} = 0, \quad (1)$$

где G - сила тяжести фурмы, Н;

F - реакция опор фурмы, Н;

$F_{\text{рт}}$ - сила реактивной тяги, Н;

F_a - архимедова выталкивающая сила, Н;

$F_{\text{аэр}}$ - сила аэродинамического воздействия потока отходящего газа, Н.

Сила тяжести фурмы определяется согласно выражению

$$G = (m_{\text{ф}} + m_{\text{в}} + m_{\text{н}}) g, \quad (2)$$

где $m_{\text{ф}}$ - масса конструкции фурмы, кг;

$m_{\text{в}}$ - масса воды, заполняющей фурму, кг;

$m_{\text{н}}$ - масса наслоения на поверхности фурмы, кг;

g - ускорение свободного падения, равное $9,81 \text{ м/с}^2$.

Здесь

$$m_{\text{н}} = \alpha_1 \cdot (\Delta \tau - \Delta \tau_0) = \alpha_1 \cdot \delta \tau, \quad (3)$$

где α_1 - коэффициент пропорциональности, численно равный $9,2 \text{ кг/с}$;

$\Delta \tau$, $\Delta \tau_0$ - время запаздывания изменения температуры воды, охлаждающей фурму, при резком изменении температурного режима в рабочем пространстве конвертера соответственно текущее и в начале работы с новой фурмой, с;

$\delta \tau$ - приращение времени запаздывания изменения температуры воды, охлаждающей фурму, при резком изменении температурного режима по сравнению с начальным, с.

Сила реактивной тяги вследствие истечения кислорода из фурменного наконечника выражается формулой

$$F_{\text{рт}} = mW + (P_{\text{вых}} - P_{\text{ср}}) S_{\text{вых}} n, \quad (4)$$

где $m = \frac{1}{60} \rho V$ - массовый расход кислорода, кг/с;

ρ - плотность кислорода при нормальных условиях, равная $1,43 \text{ кг/м}^3$;

V - объемный расход кислорода при нормальных условиях, $\text{м}^3/\text{мин}$;

W - скорость истечения кислорода из сопла, м/с;

$P_{\text{вых}}$ - давление кислорода в выходном сечении сопла, Па;

$S_{\text{вых}}$ - выходное сечение сопла, м^2 ;

n - число сопел в фурменном наконечнике.

Для сопла Лаваля значение $P_{\text{вых}} - P_{\text{ср}} \approx 0$, поэтому вторым слагаемым можно пренебречь.

Считая, что потери на трение о стенки и завихрение при истечении кислорода из сопел Лаваля можно компенсировать эффектом неполного его расширения, расчет величины W можно произвести по формуле для обычных сопел с учетом критических параметров рабочего тела

$$W = \sqrt{\frac{2K}{K+1} \cdot \gamma_1 P_1} = \sqrt{\frac{2K}{K+1} \cdot R_m T_1}, \quad (5)$$

где γ_1 - удельный объем кислорода при входе в сопло, $\text{м}^3/\text{кг}$;

P_1 - давление кислорода при входе в сопло, Па;

K - показатель адиабаты, равный для двухатомного газа $1,4$;

R_m - удельная газовая постоянная для кислорода, равная 260 Дж/(кг К);

T_1 - температура кислорода при входе в сопло, К.

Так как измерение удельного объема и давления кислорода при входе в сопло затруднено, можно измерить эти параметры перед фурмой и выразить W в виде

$$W = \sqrt{\alpha_2 \cdot \gamma P} \quad (6)$$

где α_2 - коэффициент;

γ - удельный объем кислорода перед фурмой, м³/кг;

P - давление кислорода перед фурмой, Па.

Коэффициент α_2 определяют тарировкой фурмы при продувке в свободном пространстве (окружающую среду), принимая температуру кислородного дутья равной температуре воды, охлаждающей фурму, с учетом соотношений (5), (6)

$$\alpha_2 = \frac{2 K \cdot R_m T_{1cb}}{(K+1) \cdot \gamma_{cb} \cdot P_{cb}}, \quad (7)$$

где T_{1cb} - температура кислорода при входе в сопло, равная температуре воды, охлаждающей фурму, К;

γ_{cb} - удельный объем кислорода перед фурмой, измеренный при продувке в свободном пространстве, м³/кг;

P_{cb} - давление кислорода перед фурмой, измеренное при продувке в свободном пространстве, Па.

Архимедова выталкивающая сила выражается формулой

$$F_a = \rho_3 \cdot g \frac{\pi d^2}{4} \cdot H_n, \quad (8)$$

где ρ_3 - плотность газшлакометаллической эмульсии, кг/м³;

d - наружный диаметр фурмы, м;

H_n - глубина погружения фурмы в эмульсию, м.

Учитывая то, что можно принять

$$\rho_3 = \frac{\rho h_c'}{h_b} = \frac{\alpha_3}{h_b} \quad (9)$$

и

$$H_n = h_b - h_c - H_\phi \quad (10)$$

где ρ - плотность газшлакометаллической эмульсии перед продувкой в середине кампании футеровки, кг/м³;

h_c' - уровень ванны в спокойном состоянии при средней массе садки в середине кампании футеровки, м;

α_3 - коэффициент пропорциональности, значение которого определяется по геометрическим данным рабочего пространства конвертера в середине кампании по футеровке при средней массе садки, кг/м²;

h_b - уровень ванны в конвертере, отсчитываемый от внутренней поверхности днища, м;

h_c - уровень ванны в спокойном состоянии, м;

H_ϕ - положение фурменного наконечника относительно уровня спокойного металла, м, получим

$$F_a = \alpha_3 g \frac{\pi d^2}{4} \left(1 - \frac{h_c + H_\phi}{h_b} \right) \quad (11)$$

Учитывая, что в рассматриваемом случае дозвуковой области числа Маха (M), представляющие собой отношение скорости газа к скорости звука в данной среде, $M \ll 1$. общее сопротивление набегающему потоку близко к нулю, величиной силы аэродинамического воздействия потока отходящего газа на фурму F_{aep} можно пренебречь.

Решая совместно уравнения (1)-(6) и (11) относительно h_b , получим:

$$h_b = \frac{h_c + H_\phi}{1 - \frac{(m_\phi + m_b + \alpha_1 \delta \tau) g - F - \frac{1}{60} V \rho \sqrt{\alpha_2 \gamma P}}{\alpha_3 g \frac{\pi d^2}{4}}} \quad (12)$$

Таким образом, сила тяжести фурмы с водой компенсируется реакцией ее опор, а в процессе продувки - также архимедовой выталкивающей силой и силой реактивной тяги кислорода, вытекающего из сопел фурменного наконечника. В то же время в процессе продувки изменяется сила тяжести фурмы вследствие наложения на ее поверхности шлакометаллической эмульсии. Измерение времени запаздывания изменения температуры воды, охлаждающей фурму, при резком изменении температурного режима в рабочем пространстве конвертера позволяет в конечном итоге определить толщину налипшего слоя и учесть его массу в дальнейших расчетах. Для учета влияния на результаты расчета силы реактивной тяги кислорода, истекающего из сопел фурменного наконечника, измеряют давление и удельный объем кислорода перед фурмой. Учет дополнительных параметров позволяет определять уровень ванны в конвертере с более высокой точностью по сравнению с известным способом.

Пример. Измеренные на 10-й минуте продувки значения параметров составили: $H_\phi = 1,1$ м; $V = 400$ м³/мин; $F = 139202$ Н; $\delta \tau = 25$ с; $P = 12 \cdot 10^5$ Па; $\gamma = 0,058$ м³/кг. Параметры фурмы (для конвертера емкостью 160 т): $m_\phi = 13,78 \cdot 10^3$ кг; $m_b = 400$ кг; $d = 0,2$ м; $\alpha_1 = 9,2$ кг/с; $\alpha_3 = 14,1 \cdot 10^3$ кг/м². Измеренные параметры при тарировке фурмы при продувке в свободное пространство равны: $T_{1cb} = 308$ К, $\gamma_{cb} = 0,060$ м³/кг; $P_{cb} = 11,7 \cdot 10^5$ Па. Найденное для середины кампании по футеровке при средней массе садки значение α_2 равно 1,28. После

подстановки данных в формулу (12) для ванны с $h_c = 1,5$ м получим $h_b = 4,79$ м.

Уровень ванны в спокойном состоянии измеряют, например, с помощью измерительного щупа, приваренного к фурме, перед началом продувки после заливки чугуна или рассчитывают по массе металлозавалки с учетом износа футеровки.

В качестве технических средств могут быть использованы, например, следующие приборы: для измерения расстояния фурменного наконечника до уровня спокойной ванны - преобразователь угол поворота - код, связанный с приводом фурмы, для измерения времени запаздывания изменения температуры воды, охлаждающей фурму, при резком изменении температурного режима в рабочем пространстве конвертера (ввод присадок, изменение расхода кислорода) - таймер, запускаемый в момент резкого изменения температурного режима и останавливаемый в момент соответствующего изменения температуры охлаждающей воды, для измерения реакции опор фурмы - датчик типа ДСТБ-С-060, установленный в месте подвеса фурмы, для измерения давления кислорода перед фурмой - датчик типа ДМ, для определения уровня ванны в конвертере - УВКСМ-1810.

Объемный расход кислорода при нормальных условиях измеряют, например, по перепаду давления на местном сопротивлении с коррекцией по давлению, температуре и влажности кислородного дутья, а удельный объем кислорода перед фурмой - по отношению величин расхода кислорода, измеренного при параметрах продувки, и расхода кислорода при нормальных условиях.

Испытание макета, реализующего изобретение, показало, что использование способа контроля уровня ванны в конвертере позволяет осуществлять контроль процесса с более высокой точностью (количество плавов, находящихся в заданных пределах с первой повалки, возрастает на 5%), что снижает себестоимость стали и повышает ее качество.

Экономическая эффективность обеспечивается за счет повышения производительности конвертера на 1,1%, сокращения расхода огнеупорных материалов на 2%.