

При многоструйной продувке конверторной ванны двухъярусным потоком кислорода реакционная зона в металле имеет форму усеченного конуса, сопряженного со сферой. Ее поверхность сильно пульсирует и представляет поток мелких раздробленных пузырьков, которые образуют запыленный газовый поток из CO и CO₂, поднимающийся в направлении шлака.

В условиях применения двухъярусной фурмы с отдувом кислород из сопел внедряется в металл, а струи ГСС из кислорода на дожигание СО перемешивают шлак и теряют свою скорость на поверхности металлической ванны. Величина необходимого импульса струй из кислорода определяется из уравнения из уравнения связи ее импульса и глубины внедрения L_ш в шлак

$$\frac{L_{ш}}{i/(\rho_{ш}g)^{1/3}} = 3,25 \exp\left[\frac{0,21L_c}{(i/\rho_{ш}g)^{0,333}}\right], \quad (1)$$

где L_ш = H_ш / cos α, причем H_ш - высота шлака, а α - угол наклона сопел верхнего яруса фурмы к ее оси; i - импульс струй ГСС, Н, ρ_ш - плотность шлака, кг/м³; L_c - дальностью струй O₂ в ГСС до встречи с металлом.

С другой стороны, импульс струй кислорода в ГСС в единицу времени равен

$$i = 0,785 \rho_{г} d_0^2 w_0 n = \rho_{г} I_{0_2}^{дож}. \quad (2)$$

В целях устранения фактора облучения футеровки конвертора факелами дожигания окиси углерода (СО) принимаем условия, что H_ш ≥ L_c, т.е. струи дожигания находятся по ходу продувки ванны преимущественно в объеме вспененного шлака. Зная при стационарном режиме продувки высоту шлака (H_ш, м) и поток импульса силы струи (i) дожигания по выражению (1) находим фактическую длину струй (L_c, м) которая должна терять свою энергию на уровне поверхности металла вне зоны продувки.

На режим дожигания СО в системе кислородных струй, подаваемых сверху на поверхность металла в зоне продувки, влияет характер взаимодействия газовых струй между собой по ходу их движения.

Исследования проводили на холодной модели, где в качестве моделирующих фаз были выбраны вода и воздух, а в ряде случаев кислород или водяной пар.

В результате измерений характеристик газовых потоков и дутьевого режима была обнаружена пространственная симметрия графиков изменения скорости струй относительно оси потока системы газового потока (оси фурмы). При этом экспериментальные точки ложатся на кривые: для наружной и непересекающихся струй и для внутренней

$$\frac{W_i}{W_m} = \begin{cases} \left[1 - \left(\frac{r_i}{r_m}\right)^{1,75}\right]^5 - \text{наружная ветвь;} \\ \left[3,5\left(\frac{r_i}{r_m\sqrt{b}}\right)^2 + 0,1\left(\frac{r_i}{r_m\sqrt{b}}\right) + 1\right]^2 - \text{внутренняя ветвь,} \end{cases} \quad (3)$$

где W_i и W_m - скорость в потоке на расстоянии r_i от оси струи и на оси струи ГСС на поверхности жидкости; r_m - радиус струи на уровне поверхности зоны

продувки, т.е. на поверхности шлак – металл; b = r_m / R_x - параметр, характеризующий пересечение струй; R_x - радиус окружности зоны продувки, равный D_{max}/2, на которой расположены оси струй на уровне ванны. Радиус R_x определяется высотой дутьевых сопел головки фурмы и углом их наклона к оси фурмы.

Из анализа вышеизложенного и соответствующих преобразований следует, что если струи на уровне ванны не пересекаются, то изменение поверхности пятна продувки пропорционально количеству сопел и тем параметрам, которые определяют радиус струи на уровне поверхности шлак – металл.

ОЦЕНКА ПЕРЕМЕШИВАНИЯ СТАЛЕПЛАВИЛЬНОЙ ВАННЫ НА ОСНОВЕ ФИЗИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Карпенко Г. А.

*Старооскольский технологический институт
(филиал) МИСиС,
Старый Оскол*

Как отмечал М.А. Глинков, гидродинамика сталеплавильной ванны, для интенсификации тепловых и технологических процессов имеет первостепенное значение. Многими исследованиями гидродинамики сталеплавильной ванны установлено, что интенсивность перемешивания расплава (металла и шлака) увеличивается при применении продувки ванны кислородом через сводовые фурмы, например, двухвальной печи, в 1,2÷1,8 раза по сравнению с беспродувочным способом выплавки стали. Большинство авторов ряда работ считают, что от барботажа ванны пузырьками оксида углерода (СО) получается большой эффект перемешивания, чем от ведения продувки ванны кислородом, который подается сверху через сводовые фурмы.

Это утверждение в определенной степени можно считать спорным, т.к. большая доля окислителя поступает в жидкий металл сверху, через шлак, и в основной в зоны взаимодействия струи газа с расплавом. Поэтому образование пузырьков СО в расплаве в известной степени является процессом вторичным, зависящим от условия введения в ванну газообразного окислителя. Доля перемешивания ванны от взаимодействия струи газа и расплава в общем перемешивании ванны существенно зависит от способа ввода и распределения окислителя.

Задача интенсификации перемешивания сталеплавильной ванны потоками кислорода является актуальной и традиционно решается методами физического моделирования. В тоже время, математическое моделирование процесса взаимодействия газовых струй с жидкой ванной базируется на данных физического моделирования.

На интенсивность и равномерность перемешивания ванны расплава газовыми струями влияет много факторов, в том числе форма ванны, количество и расположение фурм по отношению друг к другу и к осям ванны. В этой связи, представляется важным исследовать методом физического моделирования возможность энергосберегающей интенсификации

перемешивания жидкой ванны сталеплавильной печи при продувке её кислородом через три сводовые фурмы.

В качестве критерия оптимальности принимается величина средневзвешенного удельного количества движения жидкости в ванне:

$$(m \cdot \bar{u})_{y0} = \sum_{i=1}^N (m \bar{u})_i / V_v, \text{ кг} \cdot \text{м} / (\text{с} \cdot \text{м}^3), \quad (1)$$

где m – масса, кг; u – скорость, м/с; V_v – объем ванны, м^3 ; N – количество частей, на которые условно разбивается весь объем ванны.

Перспективным для двухванной печи является применение трех сводовых фурм, причем средняя фурма подает струи кислорода через головку вертикально в ванну, а две другие фурмы имеют наклонные головки под углом 45° к вертикали, что обеспечивает перемешивание шлака вокруг оси первой фурмы, т.к. эти боковые фурмы подвернуты под углом 45° к поперечной оси ванны.

Расход воздуха на модели рассчитываем из условия равенства относительно импульса струй газа (критерия Ньютона) для двухванной печи и холодной модели: $J_c / (\rho_{ж} \cdot g \cdot L_n^3) = J_m / (\rho_m \cdot g \cdot L_m^3)$, (2)

где $\rho_{ж}$ и ρ_m – плотность жидкости в ванне для печи (металл) и модели (раствор соли), $\text{кг}/\text{м}^3$; g – гравитационное ускорение, $\text{м}/\text{с}^2$; L_n и L_m – характерный размер печи и модели, м; J_c и J_m – потоки импульса газовых струй при истечении из сопел фурмы для печи и модели, Н; $J = G \cdot \bar{u}$, где G – массовый расход газа, $\text{кг}/\text{с}$.

Следует отметить, что в выражении (1) для критерия оптимальности знаменатель (объем ванны - V_v) постоянен, поэтому можно использовать в качестве критерия оптимальности только выражение в числителе, т.е. суммарное количество жидкости:

$$\sum (m \bar{u}) = \sum_{i=1}^N (m \cdot \bar{u})_i, \text{ кг} \cdot \text{м} / \text{с}. \quad (3)$$

Анализ результатов исследования показал, что все зависимости $(m \cdot \bar{u})_i$ имеют одинаковый характер и максимум при значении угла поворота фурмы 45° , т.е. в этих случаях движение боковых фурм обеспечивается повышением интенсивности перемешивания ванны примерно в 4 раза, в сравнении с подачей в ванну вертикальных потоков окислителя. Одновременно наблюдается и увеличение степени перемешивания жидкости в ванне, вне пределов взаимодействия струй газа с расплавом, т.е. в остальных частях ванны в 1,5÷2 раза.

Работа выполнена под руководством проф., д.т.н. Меркера Э.Э.

О ТЕРМИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЯХ ГОРЕНИЯ ОКСИДА УГЛЕРОДА В АТМОСФЕРЕ КОНВЕРТОРА

Карпенко Г.А.

Старооскольский технологический институт
(филиал) МИСиС,
Старый Оскол

Существенный резерв улучшения теплового баланса и снижения расхода чугуна при выплавки стали в конверторе с верхней продувкой – увеличение количества диоксида углерода (CO_2) в продуктах окисления. Повышение содержания (CO_2) в отходящих газах на 1% позволяет снизить расход чугуна на 3,5 кг/т, а следовательно увеличить расход лома на процесс и повысить производительность агрегата.

Одной из особенностей процесса горения окиси углерода (CO) в потоке кислорода (O_2) является влияние паров воды (H_2O) и ряда других соединений водорода (H_2 , OH , и др.) на его скорость. Например, Н.Н. Бекетов, Г. Диксон и другие авторы обратили внимание на плохую воспламеняемость смеси $\text{CO}+\text{O}_2$ в отсутствие влаги. Тщательное изучение (А.Р. Уббе-лоде, В. Бон и другие) этого вопроса привело к выводу о полной негорючести абсолютно сухой смеси $\text{CO}+\text{O}_2$ не содержащей водородных соединений.

Согласно Я.Б. Зельдовичу и Н.Н. Семенову скорость распространения пламени пропорционально корню квадратному из концентрации паров воды:

$$u_n \sim \sqrt{p_{\text{H}_2\text{O}}} \approx \sqrt{p_{\text{H}_2\text{O}}}$$

Перечисленные факторы позволяют считать, что вода и другие соединения водорода являются веществами, необходимыми не только для воспламенения CO , но и для дальнейшего развития процесса горения.

Исследования свидетельствуют о возможности эффективного дожигания CO в атмосфере конвертора струями O_2 , что подтверждает наличие водородных соединений в отходящих из зоны продувки газов.

Присутствие водяных паров (H_2O) в смесях $\text{CO}+\text{O}_2$ ведет к образованию активных частиц, т.е. атомов и радикалов H , O и OH , обнаруженных при горении водорода.

Исследованиями О.А. Есина и П.В. Гельда установлено, что соотношение констант скоростей реакции O с O_2 и CO составляет 40:1, свидетельствует о высоких скоростях протекания реакции: $\text{O}+\text{O}_2+\text{M}=\text{O}_3+\text{M}$ и $\text{O}+\text{CO}+\text{M}=\text{CO}_2+\text{M}$, где M – любая молекула, отводящая избыточную энергию при тройном соударении.

Так как гидроксил (OH) является одним из промежуточных продуктов процесса горения, то присутствие частиц OH вызывает активную реакцию в цепи: $\text{OH}+\text{CO}=\text{CO}_2+\text{H}$.

Поскольку все элементарные превращения при горении CO непосредственно связаны с присутствием в газе водорода или его соединений, становятся понятными не воспламеняемость сухой смеси $\text{CO}+\text{O}_2$ и тормозящее действие некоторых примесей практически необратимо связывающих H_2 .

Процесс горения CO при высоких температурах (более 1000 К) можно представить в виде следующей простейшей схемы неразветвленной цепи: