

ления пузырей {CO} из объема ванны, что приводит к вскипанию металла и, как следствие, уменьшению π до π_0 . При этом необходимо учитывать наличие готовых центров для зарождения газовой фазы, а величину критического радиуса зародышей можно оценить по выражению: $r_{кр} = 2m \cdot \sigma / ([C] \cdot [O]_{\Sigma})$, где m – величина, обратная константе равновесия реакции окисления углерода; σ – поверхностное натяжение металла.

Таким образом, продувка металла кислородом является важным фактором интенсификации процесса обезуглероживания ванны.

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

ФИЗИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ПРИ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ТЕПЛОВОЙ РАБОТЫ СТАЛЕПЛАВИЛЬНОЙ ВАННЫ

Карпенко Г.А.

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

В связи с современной тенденцией увеличения доли металлалома в шихте кислородных конверторов, двухваннных мартеновских печах одним из способов повышения эффективности тепловой работы агрегатов является факельный обогрев шихты через топливно – кислородные горелки и продувочные кислородные фурмы для интенсификации технологических процессов и дожигания окиси углерода над зоной продувки по ходу плавки.

Для анализа эффективности тепловой работы печей используют уравнение полного теплового баланса:

$$Q_{\Sigma} = (Q_T^x + Q_{\phi}^e + Q_{\phi}^T + Q_{\text{экз}}^p + Q_{\text{CO}}^{\text{дож}}) > Q_{\text{yx}}^e + q_{\text{пот}} \cdot \tau, \quad (1)$$

где $Q_T^x = B \cdot Q_n^p$ – тепло выделяемое при сжигании топлива, Дж; B – расход топлива, м³/с; Q_n^p – низшая теплота сгорания топлива; $Q_{\phi}^e = L_d \cdot \bar{c}_g \cdot t_g \cdot B$ – физическое тепло вносимое вентиляторным воздухом идущим на горение; L_d – действительный расход воздуха, м³/с; \bar{c}_g – теплоемкость воздуха; t_g – температура подогрева воздуха, °С; $Q_{\phi}^T = \bar{c}_T \cdot t_T \cdot B$ – физическое тепло вносимое топливом, например мазутом или природным газом; \bar{c}_T – теплоемкость топлива; t_T – температура подогрева топлива с учетом подачи пара; $Q_{\text{экз}}^p$ – тепло экзотермических реакций в ванне; $Q_{\text{CO}}^{\text{дож}}$ – тепло от дожигания CO над ванной; $Q_{\text{yx}}^e = V_d \cdot \bar{c}_d \cdot t_d$ – тепло уходящих газов; V_d – объем отходящих газов из печи; \bar{c}_d – теплоемкость дыма; t_d – температура уходящих из печи газов; $q_{\text{пот}}$ – все виды тепловых потерь в рабочем пространстве печи; τ – длительность периода плавки.

Важной характеристикой является коэффициент теплоиспользования печи:

$$\eta_{\text{КПТ}} = 1 - \left\{ (Q_{\text{yx}}^e + q_{\text{пот}} \cdot \tau) / Q_{\Sigma} \right\} = 1 - \left\{ (Q_{\text{yx}}^e + q_{\text{пот}} \cdot \tau) / (Q_{\text{ТО}}^{\Sigma} + Q_{\text{ТТ}}^{\Sigma}) \right\}, \quad (2)$$

где $Q_{\text{ТО}}^{\Sigma} = Q_T^x + Q_{\phi}^e + Q_{\phi}^T$ – суммарный приход тепла при работе агрегата в режиме печи теплообменника; $Q_{\text{ТТ}}^{\Sigma} = Q_{\text{экз}}^p + Q_{\text{CO}}^{\text{дож}}$ – суммарный приход тепла при работе агрегата в режиме печи – теплогенератора.

Из анализа выражения (2) следует, что при продувке ванны кислородом, т.е. при $Q_{\text{ТТ}} \rightarrow \max$ значение $\eta_{\text{КПТ}} \rightarrow 1$, что обеспечивается увеличением $Q_{\text{экз}}^p$ и $Q_{\text{CO}}^{\text{дож}}$ путем интенсификации режимов нагрева и обезуглероживания металла в печи.

Интенсивная продувка сталеплавильной ванны кислорода сопровождается снижением расхода топлива ($Q_T^x \rightarrow \min$) и увеличением тепла от дожигания CO $Q_{\text{CO}}^{\text{дож}} \rightarrow \max$, что способствует протеканию процесса плавки стали при экономии топлива.

При вдувании в ванну 1 м³ кислорода выделяется 2 м³ CO, следовательно, интенсивности продувки металла $I_{O_2} = 5 \text{ тыс. м}^3 / \text{час}$ выделяется 10 тыс. м³/час CO из зоны продувки печи и в результате приход тепла составит $Q_{\text{CO}}^{\text{дож}} \cong 30 \text{ млн. кДж} / \text{ч}$. Для дожигания выделившегося CO потребуются соответствующий расход кислорода в атмосферу этого газового потока.

Производительность печи ($P_n = G/\tau_{\Sigma}$) определяется временем общей продолжительности плавки:

$$\tau_{\Sigma} = Q_{\text{усв}}^{\Sigma} / (Q_{\Sigma} \cdot \eta_{\text{КПТ}})_{\text{cp}}, \quad (3)$$

где $Q_{\text{усв}}^{\Sigma}$ – необходимое тепловыделение сталеплавильной ванны за плавку, МДж; $(Q_{\Sigma} \cdot \eta_{\text{КПТ}})_{\text{cp}}$ – удельное теплоусвоение ванны в единицу времени, МДж/ч; G – емкость печи, т.

Таким образом, важным является создание максимально благоприятных условий по интенсификации тепловой работы печи.

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

СТРУКТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ЗОНЫ ПРОДУВКИ В КОНВЕРТОРНОМ АГРЕГАТЕ

Карпенко Г.А.

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

На протекание физико – химических и теплообменных процессов в кислородном конверторе значительное влияние оказывает организация режима продувки, что является тем более важным при использовании двухъярусных фурм для дожигания CO над ванной или в объеме вспененного шлака струями газодинамической системы (ГСС) из кислорода.

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 $L_{ш} = H_{ш} / \cos\alpha$, причем $H_{ш}$ - высота шлака, а α - угол наклона сопел верхнего яруса фурмы к ее оси; i - импульс струй ГСС, $H_{ш}$, $\rho_{ш}$ - плотность шлака, кг/м³; L_c - дальность струй O₂ в ГСС до встречи с металлом.

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

$$i = 0,785\rho_{г}d_0^2w_0n = \rho_{г}I_{0_2}^{дож}. \quad (2)$$

В целях устранения фактора облучения футеровки конвертора факелами дожигания окиси углерода (СО) принимаем условия, что $H_{ш} \geq L_c$, 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