

ны T_b менее остальной части (вне первичной зоны) сталеплавильной ванны.

Известно, что размеры реакционной зоны при прочих равных условиях продувки определяются содержанием углерода в металле.

С учетом этих данных представляется возможным рассчитать относительные объемы реакционных зон, отраженных изотермическими поверхностями 2573К, 1973К и T_b . За единицу принимают весь объем реакционной зоны, ограниченной поверхностью температуры ванны. При этом объем первичной реакционной зоны ограничен изотермической поверхностью 1973К, а объем основного участка действия струй дутья – 2573К.

Измерения, выполненные Меркером Э.Э. с применением оптического пирометром при продувке металла струей кислорода в тигле, позволили установить, что значительный перегрев (более 500 К) над температурой ванны наблюдается только в высокотемпературной части реакционной зоны (первичной), которая занимает относительно небольшой объем – до 15% от общего объема реакционной зоны в середине продувки и до 30% на конечной стадии продувки ванны.

Тепловыделение в реакционной зоне пропорционально интенсивности продувки (IO_2 , м³/т·мин), а снижение перегрева в середине продувки связано с увеличением линейных размеров и объема реакционной зоны при содержании углерода в пределах 0,5÷3,5% и более интенсивной циркуляцией металла, в следствии высокой скорости окисления углерода в этот период плавки.

Выводы. Проанализированы вопросы интенсивности продувки конверторной ванны кислородом с позиции физико – гидродинамических и теплофизических особенностей состояния реакционной зоны. Рассмотрены условия перегрева реакционной зоны относительно периферийной части ванны и оценены градиенты температур, которые свидетельствуют о преобладающем значении конвекции в теплообмене в конверторной ванне.

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

О МЕХАНИЗМЕ ОБЕЗУГЛЕРОЖИВАНИЯ СТАЛЕПЛАВИЛЬНОЙ ВАННЫ КИСЛОРОДОМ

Карпенко Г.А.

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

Широкое использование кислорода для продувки сталеплавильной ванны внесло изменение в механизм и кинетику окислительных процессов, причем отдельные положения механизма обезуглероживания металла кислородом остаются еще не выяснены до конца. Пока нет единого мнения, например о том, какие стадии процесса обезуглероживания являются наиболее медленными.

При много стадийности режима обезуглероживания стали в зависимости от условий каждая из стадий может быть лимитирующей. Существуют различные

точки зрения о месте преимущественного протекания реакции выгорания углерода в сталеплавильной ванне.

Анализ имеющихся опытных данных показывает, что при продувке металла кислородом в зоне взаимодействия струй дутья с расплавом наблюдается существенное переокисление металла, т.е. $a_0 \cdot \Delta[O] \rightarrow \max$, где $\Delta[O] = \{[O]_f - [O]_p\}$; a_0 – активность кислорода в металле; $[O]_f$ и $[O]_p$ – фактическая и равновесная концентрации кислорода в металле, %.

Факт существования значительного переокисления объема металла в зонах продувки свидетельствует о том, что более вероятным является механизм обезуглероживания металла кислородом по двух стадийной схеме, согласно которой на поверхности раздела газовый пузырь – металл образуются в основном окислы железа с последующим восстановлением их примесями металла.

Вероятно, существенное переокисление металла вблизи воздействия струй дутья на него можно объяснить следующим образом. При встрече кислорода струи с жидким расплавом образуется, помимо основного кратера, множество мелко раздробленных капель металла, окисленной оболочкой. Скорость подвода через дрейфующий поверхностный слой не обеспечивает полного восстановления образовавшихся в ванне окислов железа. Отсутствие связи между скоростью обезуглероживания металла и концентрацией углерода (при $[C] \geq 0.2 \div 0.5\%$) в ванне и затухание процессов обезуглероживания после окончания продувки указывает на лимитирование режима окисления углерода массопереносом кислорода к фронту реагирования.

Повышение интенсивности продувки металла O_2 приводит не только к возрастанию скорости, но и к увеличению частоты пульсации величины э.д.с., характеризующая уровень активности O_2 в металле.

Установленный пульсационный характер изменения активности O_2 в ванне сталеплавильных агрегатах при продувке металла позволяет предположить, что процессы зарождения и роста газообразной фазы {CO} происходят одновременно и периодически по всему объему металла в реакционной зоне ванны. Этим очевидно и объясняется известная на практике периодичность «дыхания» конверторной ванны, а также колебательный характер выбивания отходящих из горловины конвертора газов.

Обнаруженное переокисление металла в зоне контакта струй кислорода с расплавом и в подшлаковой зоне свидетельствует о торможении процесса обезуглероживания зарождением пузырьков оксида углерода {CO}. Зарождение новой фазы возможно только при определенных значениях $\pi = [\%C] \cdot [\%O]_{\Sigma}$, превышающих среднее значение π_0 для установившегося режима обезуглероживания металла ($V_c = \text{const}$). Здесь $[O]_{\Sigma} = [O]_c - [O]_{Fe}$, где $[O]_c$ и $[O]_{Fe}$ – доли расходуемого кислорода дутья на окисление углерода и железа в ванне. При $\pi > \pi_0$ возникают условия для более интенсивного выде-

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 металлолома 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:

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

где $Q_{\text{усв}}^{\Sigma}$ – необходимое тепловыделение сталеплавильной ванны за плавку, МДж; $(Q_{\Sigma} \cdot \eta_{\text{КПТ}})_{\text{ср}}$ – 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.