

окисление углерода преимущественно развивается в сталеплавильной ванне на границе шлак – металл и в слоях металла близкой к этой границе переходной зоны.

Вопрос о месте преимущественного окисления углерода при продувке металла кислородом в сталеплавильных агрегатах не является чисто теоретическим, а имеет и практическое значение, в частности, для крупных дуговых печей, а также большегрузных кислородных конверторов с глубокой ванной. Непрерывное измерение температуры и активности кислорода в металле позволяет существенно уточнить представления о протекании реакции окисления углерода, что имеет чрезвычайно-важное значение для определения путей управления процессом.

Для выявленного неравномерного распределения кислорода по объему ванны и высокой активности кислорода в слоях металла, примыкающих к подине и откосам, потребовалось теоретическое объяснение. С этой целью определяют размеры пузырей окиси углерода в момент их зарождения и их рост от момента зарождения до выхода из металла в шлак. При этом исходят из того, что спонтанное зарождение пузырей СО в объеме металл невозможно и что эти пузыри зарождаются гетерогенно в порах подины и откосов печи не смачиваемых металлом. Предполагается, что на границе металл – пузырь условия близки к равновесию.

Зародыши газовых пузырей СО способны к росту только в том случае, если их внутренне давление p_{co} больше или по крайней мере равно внешнему

$$p_{вн}: p_{co} \geq p_{вн} = p_{ат} + p_{м} + p_{ш} + 2 \cdot 10^{-5} \sigma / r, \quad (1)$$

где $p_{ат}$, $p_{м}$, $p_{ш}$ - давление атмосферы, столбов металла и шлака, Па; p_{co} - давление окиси углерода в пузыре, Па; σ - поверхностное натяжение, Н/м; r - радиус пузыря окиси углерода, м.

Парциальное давление окиси углерода, образовавшейся в результате окисления углерода, можно определить из константы равновесия реакции $[C]+[O]=CO_{газ}$: $K = p_{co}/(a_c \cdot a_o)$, откуда $p_{co}=K \cdot a_o$

Для расчета при содержании углерода менее 1 % принимается $a_c = [\%C]$. Минимально возможный (критический) радиус зародыша пузыря окиси углерода $r_{кр}$ из соотношения (1) будет определяться поверхностным натяжением металла σ , окисленностью стали, учитываемой произведением $[C] \cdot a_o$, и глубиной зарождения пузыря (определяющей величину $p_{м}$):

$$r_{кр} = 2\sigma / (K[C] \cdot a_o - p_{ат} - p_{м} - p_{ш}) \quad (2)$$

Необходимо учитывать, что жидкий металл стремится проникнуть в поры футеровки, имеющиеся на подине. Если принять, что сумме давлений $p_{ат}+p_{м}+p_{ш}$, стремящихся «вдавить» металл в пору, противостоит только капиллярное давление, то максимальный размер пор $r_{п}^{max}$, еще не заполненных металлом, можно определить из соотношения:

$$r_{п}^{max} = 2\sigma \cdot \cos(180 - \theta) / (p_{ат} - p_{м} - p_{ш}), \quad (3)$$

где θ - угол смачивания.

Расчеты показали, что размеры критических зародышей пузырей окиси углерода $r_{кр}$, которые могут возникнуть в порах при измеренных активностях кислорода в слое металла у подины и откосов, и макси-

мальные размеры пор, которые не заполнены металлом $r_{п}^{max}$, близки по порядку величины (10^{-6} м).

Однако, при использовании модели реальное изменение скорости обезуглероживания подвержено колебаниям из-за влияния различных факторов которые не учитываются в модели. Поэтому расчетные значения $[C]$ по модели (9) тоже будут колебаться, т.е. будут не только уменьшаться, но и увеличиваться по ходу плавки, что противоречит физическому смыслу.

Структура модели позволяет настраивать параметр существенно быстрее чем в обычной регрессионной модели.

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

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РЕАКЦИОННОЙ ЗОНЫ ПРИ ПРОДУВКЕ КОНВЕРТОРНОЙ ВАННЫ КИСЛОРОДОМ

Карпенко Г.А.

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

В условиях высоко интенсивной продувки металла кислородом температура в реакционной зоне ванны агрегата и ее изменение по ходу продувки непосредственным образом определяет характер физико – химических и гидродинамических процессов конверторной плавки стали.

Структурная особенность зоны взаимодействия струй дутья из кислорода с жидким металлом свидетельствует о весьма сложной гидродинамической картине в реакционной зоне. Как показывают исследования, высокотемпературная зона локализована в относительно небольшом объеме, что обуславливает специфику теплообмена, температурного и концентрационного полей в конверторной ванне.

Агрессивная окислительная среда практически исключает возможности прямого точного анализа температуры реакционной зоны термопарами. Результаты измерения с помощью пирометров свидетельствуют о том, что температурное поле в реакционной зоне находится в широком диапазоне значений – до 3000К и выше. При этом имеют место трудности учета неоднородности реакционной зоны как по структуре и составу ванны, так и по температуре.

Результаты исследований Г.А. Чернятевича и других авторов с применением метода кинофото съемки в тиглях с прозрачной кварцевой стенкой подтверждают вывод о том, что границы первичной локальной реакционной зоны находятся в пределах доверительного интервала изотермы 1973К, а глубина распространения изотермы 2573К в ванне определяется давлением дутья и не зависит от содержания углерода в металле при постоянных условиях продувки.

Границу вторичной реакционной зоны отделяет область повышенных температур (около 1973К) от объема остальной ванны, характеризующегося относительным постоянством нагретости. Следовательно, контур вторичной реакционной зоны является изотермической поверхностью уровня температуры ван-

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-