

является следствием протекания реакции окисления углерода за счет кислорода в шлаке, а образующиеся пузырьки газа очень малы, обладают малой кинетической энергией и «застревают» в шлаке.

Установлено, что объем переходной зоны является функцией критерия перемешивания (обезуглероживания) ванны и уровня расположения фронта начала газовой выделения (размера пузырей газа) в жидкости. При этом, чем больше размер переходной зоны шлак-металл, тем выше уровень тепло- и массообмена в системе металл-шлак-дуга способствующий ускорению процессов плавления ЖМО и нагрева металлической ванны, а, следовательно, ускорению процесса электроплавки в целом.

Отсюда следует важный вывод о том, что в случае применения режима нагрева ванны при соответствующих длинах дуг и ступенях напряжения и обеспечение требуемого уровня вспенивания шлака (размера переходной зоны в системе шлак-металл) достигаются наилучшие условия по интенсификации процесса теплообмена от поверхности дуг к шлаку и массообмену в системе шлак – окатыши – металл.

Таким образом, для реальных условий электроплавки стали в ДСП ускорение процесса обезуглероживания металла приводит к повышению размеров переходной зоны шлак – металл и интенсификации процессов плавления ЖМО, т.е. к заметному возрастанию производительности агрегата.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шевцов Е.К., Кочо В.С., Ерошенко В.А. и др. Механизм образования переходной зоны шлак-металл в мартеновской ванне. Известия ВУЗов «Черная металлургия» №1, 1974, с.42-50.
2. Кочо В.С., Ерошенко В.А.—«Вестник Киевского Политехнического института». Изд-во КГУ, 1967, №3, с. 50-57.
3. Боженко Ю.Е., Коршиков С.П., Потапов И.П. и др. // Сталь, №7, 2000. с. 26-28.
4. Григорян В.Н., Белянчиков Л.Н., Стомахин А.Я. Теоретические основы электросталеплавильных процессов. – М.:Металлургия, 1979 - 272с.
5. Охотский В.Б. Вспенивание сталеплавильных шлаков Известия ВУЗов «Черная металлургия» №6, 1998, с.2-10.
6. Тихомиров В.К. Пенны. Теория и практика их получения и разрушения. М: Химия, 1983.–263с.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ШЛАКОВОГО РЕЖИМА ВНЕПЕЧНОЙ ОБРАБОТКИ СТАЛИ

Харламов Д.А., Черноусов С.Г., Серкин М.А.

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

С целью введения максимальной мощности в течение всего периода внепечной обработки в АКП и снижения расхода огнеупоров необходимо экранировать электрические дуги при помощи шлака [1,2]. Кроме того, для некоторых марок стали (ШХ15) необходимо уделять особое внимание процессу десульфурации, т.к. конечное содержание серы должно быть

$\leq 0,01\%$. Поэтому на основе экспериментальных исследований в ЭСПЦ «ОЭМК» разработан алгоритм [3] для расчета оптимального шлакового режима внепечной обработки в АКОС.

Функционирование алгоритма осуществляется следующим образом: при установлении ковша в рабочее положение вводятся исходные данные, описывающие актуальные технологические параметры конкретной плавки, такие как масса металла и толщина шлака, химсостав шлака, температура металла, которые были измерены на установке вакуумирования или установке продувки аргоном, а также начальное и необходимое (конечное) содержание серы в металле.

После этого, по ходу нагрева металла в АКОС осуществляется непрерывный расчет текущей толщины шлака, с использованием зависимости

$$H_{\text{шл}} = -0,5 \cdot \Delta I^2 - 1,04 \cdot \Delta I + 23,17, (R=0,93) \quad (1)$$

где уровень флуктуаций фазовых токов (ΔI), находили по формуле стандартного отклонения разности между номинальным (I_n) и n - измеренными значениями силы тока дуг (I_{di}) по ходу нагрева металла:

$$\Delta I = \left[\sum_{i=1}^n \left(\sum_{i=1}^n ((I_n - I_{di})/n) - (I_n - I_{di}) \right) / (n-1) \right]^{0,5}. \quad (2)$$

При этом происходит сравнение величины $H_{\text{шл}}$ и длины электрических дуг, которые рассчитываются по формуле:

$$L_d = (U_d - U_{a-k}) / \beta \quad (3)$$

где β - градиент напряжения в дуге, $\beta = 1000$ В/м, U_d - напряжение на дуге, $U_d = \sqrt{U_{2\phi}^2 - (I_d X)^2} - I_d (R + R_{эд})$, В, X - индуктивное сопротивление токопровода АКОС, Ом, $R_{эд}$ - сопротивление электрода, Ом, $U_{2\phi}$ - вторичное фазовое напряжение агрегата, В, $\phi_{d-\phi}$, $\phi_{d-св}$ - угловые коэффициенты излучения дуг на футеровку ковша и водоохлаждаемый свод.

Если $L_d > H_{\text{шл}}$, необходимо экранировать дуги при помощи шлака, путем добавки извести. Необходимая добавка извести рассчитывается по формуле

$$\Delta H_{\text{шл}} = 0,0035 \cdot G_{\text{изв}} \quad (4)$$

где $G_{\text{изв}}$ - количество введенной извести, кг.

После этого заново проверяется условие экранирования. Если $L_d > H_{\text{шл}}$, проверяется условие достижения заданной конечной концентрации серы с металле. При этом учитывают необходимое значение $[S]_{\text{кон}}$ для каждой марки.

Если текущая концентрация серы $[S]_{\tau} > [S]_{\text{кон}}$, то необходимо принять меры для ее удаления, путем обеспечения заданной величины основности и толщины шлака.

Для анализа эффективности применения предлагаемого алгоритма управления шлаковым режимом в АКОС проводили исследования удельного расхода электроэнергии в зависимости от толщины слоя шлака в ковше. Т.к. для одной и той же марки стали температурный режим обработки примерно одинаков, удельный расход электроэнергии ($Q_{уд}$, кВт·ч/т) будет зависеть от вводимого количества ферросплавов и шлакообразующих (т.к. они обладают охлаждающим эффектом), времени обработки на АКОС ($\tau_{об}$), с уче-

том средней скорости охлаждения расплава без подогрева - примерно 0,5 °С/мин. Для обеспечения равных условий во всех исследуемых плавках и учета вышеуказанных факторов расход электроэнергии определяли по формуле

$$Q_{уд} = Q_{уд}^{\phi} - Q_{лег} - Q_{охл}, \quad (5)$$

где $Q_{уд}^{\phi}$ - фактический удельный расход электроэнергии, определяемый согласно паспортным данным внепечной обработки стали, кВт·ч/т;

$Q_{лег}$ - охлаждающий эффект вводимых добавок, определяемый как

$$Q_{лег} = \Delta T_{лег} \cdot G_{ме} \cdot C_{ме}, \quad (6)$$

где $\Delta T_{лег}$ - охлаждающий эффект вводимой добавки,

$C_{ме}$ - теплоемкость жидкой стали, равная 0,189 кВт·ч/(т·град),

$Q_{охл}$ - охлаждение расплава за время продувки его аргоном (без подогрева),

$$Q_{охл} = V_{охл} \cdot C_{ме} \cdot \tau_{об}, \quad (7)$$

где $V_{охл}$ - средняя скорость охлаждения расплава во время продувки его аргоном.

Анализ полученных уравнений регрессии [3] показывает, что имеется достоверная зависимость между расходом электроэнергии и толщиной шлака в ковше. С увеличением величины $H_{шл}$ удельный расход электроэнергии уменьшается, что связано с уменьшением величины открытой части электрических дуг и уменьшением тепловых потерь с отходящими газами и охлаждающей водой. Линии регрессии для стали 45 и ШХ15 имеют незначительные отличия друг от друга, что свидетельствует о том, что приведенные зависимости идентичны для любой марки стали.

Таким образом, оптимальной толщиной шлака следует считать величину 13÷15 см для стали 45 и 13÷17 см для стали ШХ15. При этом полностью экранируются электрические дуги, уменьшается расход электроэнергии, коэффициент усвоения ферросплавов находится на максимальном уровне и достигается экономия извести.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Егоров А.В. Электроплавильные печи черной металлургии. М.: Металлургия, 1985.-280с.
2. Морозов А.Н. Современное производство стали в дуговых печах. - Челябинск: Металлургия, 1987. - 175 с.
3. Харламов Д.А., Меркер Э.Э. Труды международной научной конференции «Образование, наука, производство и управление в XXI веке», Ст. Оскол: ООО «ТНТ», 2004. Т.2., с. 238-241.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАГРЯЗНЕННОСТИ СТАЛИ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИМИ ВКЛЮЧЕНИЯМИ ПРИ РАЗЛИВКЕ НА МНЛЗ

Харламов Д.А., Дрозд А.В., Меньшиков П.В.

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

Для определения влияния футеровки промковшей на загрязненность стали неметаллическими включениями проведено исследование проката ст.20, разлитой и промежуточные ковши с различной футеровкой в условиях ЭСПЦ ОАО «ОЭМК» [1].

Установлено [2], что наибольшая загрязненность стали сульфидами S наблюдается у стали, не подвергнутой вакуумированию и разлитой с использованием торкрет - массы «МПТ-2». При этом в стали, обработанной вакуумом и разлитой через промковш с такой же торкрет-массой, содержание сульфидов примерно на 30 % меньше, что свидетельствует о заметном влиянии режима внепечной обработки на качество стали. Наименьшая загрязненность стали наблюдается при разливке с использованием торкрет-массы "Lafarg" - 35,2 % шлифов максимальным баллом ≥ 3 .

Анализ показывает, что наибольший процент силикатов хрупких содержится в стали, разлитой с использованием торкрет - масс «МПТ-2» и «SMZ» - 19,4 % и 15,2 % соответственно. У плавков, подвергнутых вакуумированию, силикаты хрупкие полностью отсутствуют в прокате.

Уровень содержания силикатов недеформирующихся примерно одинаков во всех исследуемых микрошлифах стали, не подвергавшихся вакуумированию, поэтому можно сделать вывод о том, что на их содержание тип футеровки промковша влияния не оказывает. Для стали, подвергнутой обработке вакуумом, содержание СН на 25 - 40 % меньше.

Величина среднего балла оксидов точечных примерно одинакова для всех типов футеровки, за исключением торкрет - массы "Lafarg" (для плавков с вакуумированием). Максимальный балл наблюдается у плавков, разлитых с использованием торкрет массы «МПТ-2». Одинаковое значение величины От для плавков с вакуумированием и без вакуумирования для данного типа футеровки можно объяснить малым количеством микрошлифов для вакуумированных плавков (6 шт.).

Обобщенный анализ полученных данных [2] показывает, что по сравнению с кирпичной футеровкой промковша несколько повышенное содержание сульфидов и силикатов наблюдается при использовании торкрет - массы «МПТ-2». Наилучшие результаты по содержанию включений наблюдаются при разливке стали с использованием торкрет - массы "Lafarg".

Наибольшая загрязненность стали наблюдается по содержанию сульфидов и силикатов недеформирующихся. Однако, как показали исследования, включения типа оксидов строчечных Ос и силикатов пластичных Сп полностью отсутствуют в прокате всех исследованных плавков.

Кислородные включения высокого балла, которые не связаны с материалом футеровки промковшей,