

Анализ приведенных данных показывает, что компоненты шихты оказывают заметное влияние на полноту восстановления оксида хрома и выход металлической основы из шлака. Так, при плавке шлака в жидком чугунае наблюдается достаточно высокая степень восстановления хрома, составляющая 93,0–98,6 %. При этом имеет место достаточно высокий выход металлической основы. Его значение превышает 30 %. Это свидетельствует о полноте протекания реакции восстановления хрома.

Несколько иную картину мы наблюдаем при плавке шлака без наведения жидкого “болота” чугуна. Так, степень восстановления хрома колеблется в довольно узких пределах и не превышает 84,3 %, а выход металлической основы составляет 26,1–29,6 %. Это говорит о том, что при такой шихте восстановительные процессы протекают не в полной мере. Повидимому, это можно объяснить различием температурных условий в зоне интенсивного теплообмена (область горения дуги) при плавке на жидком “болоте” и без него.

При плавке на жидком “болоте” более высокий температурный уровень процесса в зоне интенсивного теплообмена увеличивает скорость протекания реакций восстановления оксида хрома углеродом и обеспечивает достаточно высокую степень его восстановления.

Таким образом, выполненные исследования позволили установить влияние компонентов шихты на характер протекания восстановительных процессов при плавке хромо-содержащего сталеплавильного шлака.

Список литературы

1. Гасик М. И., Лякишев Н. П., Емлин Б. И. Теория и технология производства ферросплавов. - М.: Металлургия, 1988. - 724 с.
2. Дуррер Р., Фолькерт Г. Металлургия ферросплавов. - М.: Металлургия, 1976. - 480 с.
3. Роменец В. А., Вегман Е. Р., Сакир Н. Ф. // Изв. вузов. Чер. металлургия. - 1983. - № 7. - С. 9-19.
4. Костяков В. Н., Полетаев Е. Б., Помарин Ю. М. и др. // Процессы литья. - 1999. - № 4. - С. 70-76.
5. Бондаренко Б. И., Шаповалов В. А., Гармаш Н. И. Теория и технология бескоксовой металлургии. - Киев: Наук. думка, 2003. - 508 с.
6. Костяков В. Н., Полетаев Е. Б., Медведь С. Н. и др. // Электрометаллургия. - 2005. - № 11. - С. 28-32.
7. Костяков В. Н., Полетаев Е. Б., Медведь С. Н. и др. // Процессы литья. - 2007. - № 1-2. - С. 8-19.

Поступила 27.12.2007

УДК 669.187.25

Н. И. Захаров, А. И. Троцан*, А. А. Овдиенко

Донецкий национальный технический университет

*Институт проблем материаловедения НАН Украины, Киев

ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО ПОЛЯ В ТЕХНОЛОГИИ ВНЕПЕЧНОЙ ДЕГАЗАЦИИ СТАЛИ

Приведены обзор существующих способов внепечной дегазации стали с использованием электростатического поля и теоретическое обоснование нового способа дегазации металла. Показано, что применение этого поля при малых концентрациях азота, растворенного в расплаве, усиливает кинетическое звено массопереноса и способствует повышению эффективности процесса.

Наведено огляд існуючих способів позапічної дегазації сталі з використанням електростатичного поля та теоретичне обґрунтування нового способу дегазації металу. Показано, що застосування цього поля при малих концентраціях азоту, розчиненого в розплаві підсилює кінетичну ланку масопереносу і сприяє підвищенню ефективності процесу.

It is given review existing ways degassing out of furnace with is-use of the electrostatic field and theoretical motivation of the new way for degassing of the metal. It is shown that using of this field under small concentration dissolved in melt nitrogen intensifies the kinetic part of mass transfer and promotes increasing to efficiency of the process.

Ключевые слова: сталь, дегазация, азот, вакуум, электростатическое поле, теория, механизм, совершенствование.

Проблема внепечной дегазации стали, связанная с повышением ее качества, на сегодняшний день остается актуальной.

Авторы работы [1] подчеркивают перспективность использования электростатического поля для переноса ионов удаляемого газа из расплава стали в вакуум.

Известно, что силы взаимодействия этих ионов с поверхностью металла могут быть значительные. Вместе с тем, объединение ионов в нейтральные молекулы облегчает их десорбцию в вакуумное пространство, так как силы, ответственные за связь нейтральных молекул с зеркалом металла (силы В-Д-Ваальса), сравнительно невелики [1].

Возможны несколько вариантов использования вакуума с электростатическим полем в технологии внепечной дегазации стали от растворенных в ней водорода и азота. В первом из них [1, 2] создаются напряженности E этого поля, превышающие критическое значение $E_{кр}$, при котором положительным ионам удаляемого газа на зеркале металла с помощью рассматриваемого поля сообщается энергия, которая превышает энергию связи ионов с металлом. Происходит срыв частиц с межфазной границы неподвижного расплава и интенсификация процесса дегазации. По данным Э. Мюллера [2] это происходит при напряжениях 5-30 кВ при величине межэлектродного промежутка 1,7 см. Величина $E_{кр}$, как известно, зависит от строения поверхностного слоя (толщины, степени его заполнения поверхностно-активными элементами), а также от характера межчастичных связей.

Во втором варианте [3, 4], в котором ($E \ll E_{кр}$) при дегазации от водорода раскисленной стали порционным вакуумированием электрический потенциал отрицательного знака подавался на электрод подогрева вакуум-камеры. Малые напряженности электростатического поля не привели к интенсификации процесса дегазации. Вместе с тем, электрический ток водородной эмиссии, протекающий в полости вакууматора, является индикатором относительной завершенности процесса дегазации. В этом случае отказ от дальнейшего продолжения этого процесса по достижении величиной тока определенного малого значения (по сравнению с исходной его величиной) экономит энергоресурсы.

И, наконец, третий возможный вариант использования электростатического поля при вакуумировании стали в ковше учитывает известный факт перехода диффузионно-адсорбционного лимитирования процесса дегазации металла в кинетический по достижении некоторой концентрации удаляемого газа в расплаве. При этом, если производится дегазация от растворенного азота, атомы которого испытывают известные энергетические трудности объединения в молекулы на межфазной границе, то достаточно малые концентрации этих атомов на границе «вакуум-металл» могут затруднить процесс дегазации [5, 6]. Для интенсификации деазотации расплава перспективным на этом этапе является подключение источника электростатического поля отрицательного потенциала и соответствующей напряженности. Источник, по аналогии с работой [4], должен быть локализован в вакуум-камере. Внешнее поле перераспределяет ионы удаляемого азота по зеркалу металла, образуя области сгустков ионов за счет уменьшения поверхностной концентрации ионов азота другой области [7]. Благодаря наличию сгустков ионов увеличивается вероятность их молизации в сгустках и десорбции сформированных молекул в полость вакууматора. При этом процесс деазотации стали может быть интенсифицирован.

На первом этапе исследований в порядке теоретической проработки вопроса построена математическая модель диффузионного процесса в неподвижном раскисленном расплаве стали при воздействии на него вакуума с электростатическим полем по способу вакуумирования в ковше.

Диффузию в цилиндрической системе координат определяют по уравнению

$$\frac{\partial c}{\partial \tau} = D \left[\frac{\partial^2 c}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial}{\partial r} \cdot \left(r \frac{\partial c}{\partial r} \right) + \frac{\partial^2 c}{\partial z^2} \right], \quad (1)$$

где $C(r, z, \tau)$ - концентрация растворенного азота в расплаве; τ - время; D - коэффициент диффузии азота в металле.

Начальное условие

$$C(r, z, 0) = C_0. \quad (2)$$

Граничные условия на твердых поверхностях и вертикальной оси симметрии системы сводятся к равенству нулю диффузионных потоков. На границе «металл-вакуум»

$$C(r, H, \tau) = K_E \cdot K_v \cdot K_N \cdot \sqrt{P_{N_2}}, \quad (3)$$

где C_0 - начальная концентрация азота в расплаве; H - глубина жидкой ванны; K_N - постоянная Сиверта для азота; P_{N_2} - его парциальное давление в полости вакуум-камеры. Безразмерные коэффициенты K_E и K_v рассчитывались по методике работы [8], в которой для неподвижного расплава $K_v = 1$.

При моделировании диффузионного процесса на ПЭВМ базовые значения параметров принимались следующими: длительность вакуумирования - 600 с; давление в вакуум-камере - $1,0 \cdot 10^{+2}$ Па; температура стали - 1600 °С; напряженность электростатического поля - $1,0 \cdot 10^{+5}$ В/м; начальная концентрация азота в металле - 0,05 %.

Как следует из расчетов, значительного снижения концентрации азота за время обработки металла не происходит по причине неподвижности расплава. Кроме того, отключение источника электрического напряжения приводит к тем же суммарным результатам диффузии, как и при наличии электростатического поля. Последнее можно объяснить следующим: распределение концентрации удаляемого из металла азота на межфазной границе имеет области повышенного и пониженного значений этой характеристики в сравнении с вариантом $E = 0$ [8]. Следовательно, ускорение диффузии во второй области, в которой градиент концентрации выше, компенсируется замедлением процесса в первой области. Поэтому имеют место усиление электростатическим полем локальных характеристик кинетического звена массопереноса и отсутствие влияния на интегральные характеристики диффузионного звена.

Если дегазация металла от растворенного азота была затруднена слабым кинетическим лимитирующим звеном (при малых концентрациях этого газа в расплаве [5, 6]), то благодаря перераспределению ионов по межфазной границе с помощью электростатического поля возникают локальные очаги более активной молизации частиц и десорбции образванных молекул в вакуум-камеру. Дегазация при этом может быть интенсифицирована.

Это положение согласуется с выводами проф. В. И. Явойского, согласно которым, если дегазация лимитируется кинетическим звеном, то есть химическим актом объединения атомов удаляемого газа в молекулы на межфазной границе, то это звено массопереноса усиливается с возрастанием локальной концентрации этих атомов на этой границе.

Выводы

Даны характеристики известных способов внепечной дегазации расплавов с использованием электростатического поля и теоретическое обоснование нового способа для интенсификации деазотации стали.

Список литературы

1. Кайбичев А. В., Лепинских Б. М. Рафинирование жидких металлов и сплавов в электрическом поле. - М.: Наука, 1983. - 120 с.
2. Muller E., Ervin W. Hydrogen promotion on field ionization and rearrangement of surface charge // Surface Sci. - 1967. - V. 7, № 3. - P. 462-473.
3. Дюдкин Д. А., Захаров Н. И. К вопросу энергосбережения при дегазации металла // Металл и литье Украины. - 1996. - № 3. - С. 17-18.