

**Н. И. ЗАХАРОВ, А. И. ТРОЦАН\***

Национальный технический университет, Донецк

\*Приазовский технический университет, Мариуполь

## УЧЕТ ФАКТОРА ВОЗДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО ПОЛЯ НА ДВИЖУЩИЙСЯ МЕТАЛЛ ПО ЗАКОНУ СИВЕРТСА

*Предложена математическая формулировка, обобщающая закон Сивертса. Обобщение реализовано путем учета электростатического поля, действующего на движущийся металл в процессе вакуумирования. Используются новые данные по воздействию электростатического поля на движущийся металл.*

*Запропоновано математичне формулювання, узагальнююче закон Сівертса. Узагальнення реалізовано шляхом урахування електростатичного поля, що діє в процесі вакуумування на метал, який рухається. Використані нові дані щодо дії електростатичного поля на метал, який рухається.*

*Mathematical formulation, which generalizes the Siverts's law, was proposed. Generalizes was realized using consideration electrostatic field, which acting on the moving metal for process of vacuuming. New data for acting the electrostatic field on moving metal were used.*

**Ключевые слова:** электростатическое поле, движущийся расплав, дегазация, качество металла.

Известно, что наиболее перспективными методами дегазации металла являются выпечные продувки инертным газом, связанные с воздействием на расплав вакуума, и электростатического поля [1-3].

Влияние вакуума на технологический процесс сводится к снижению концентрации газа, удаляемого из металла, на межфазной границе. Это создает градиент концентрации как движущую силу процесса диффузии.

При одновременной сосредоточенной продувке расплава аргонном (например, через пористую пробку в днище ковша) снижается толщина диффузионного пограничного слоя на этой поверхности, что приводит к интенсификации технологического процесса [4].

Электрическое поле влияет на процессы дегазации, главным образом, за счет изменения текущей концентрации удаляемого газа на рассматриваемой границе “металл-вакуум”, которое входит в расчетные формулы как диффузионной, так и адсорбционно-кинетических составляющих потока массы этого газа [5].

Если электрическое поле отрицательного потенциала при значительной, выше критического ( $E_{кр} = (3-18) \cdot 10^{+5}$  В/м по данным работы [2]), значения напряженности поля срывает ионы удаляемого газа (водорода) с зеркала металла, то при  $E \ll E_{кр}$ , напротив, интенсификация технологического процесса не происходит, но решаются вопросы энергосбережения при выпечной дегазации стали [3].

Поле умеренных напряженностей лишь перераспределяет ионы удаляемого газа по межфазной границе [6].

Характер этого распределения зависит от текущих значений напряженности внешнего поля (зависящих от заряда и формы электрода, а также расстояния до зеркала металла) и, в общем случае, от скорости движения расплава на межфазной границе

$$C_n = C_n(P_{N_2}, E, v). \quad (1)$$

Соотношение (1) обобщает “закон квадратного корня” Сивертса для условий термодинамического равновесия и сводится к нему при  $E = 0$

$$C_n = K_N \cdot \sqrt{P_{N_2}}, \quad (2)$$

где  $C_n$  – текущая концентрация удаляемого газа (например, азота) на межфазной границе;  $K_N$  – постоянная Сивертса для этого газа;  $P_{N_2}$  – его парциальное давление в полости вакууматора;  $E, v$  – текущие значения напряженности электрического поля и скорости

жидкого металла на межфазной границе (нормальной и касательной составляющих к этой границе, соответственно).

При нахождении зависимости (1) воспользуемся закономерностями явления “электродинамической индукции” [7] в соответствии с его теоретической моделью [8].

Формула (1) в рассматриваемом приближении допускает разделение переменных

$$C_n = K_E \cdot K_v \cdot K_N \cdot \sqrt{P_{N_2}} \quad (3)$$

Безразмерные коэффициенты  $K_E$  и  $K_v$  вводятся таким образом, чтобы при  $E = 0$  и  $v = 0$  зависимость (1) вырождалась в закон Сивертса.

Коэффициент  $K_v$ , зависящий от  $v$ , разложим в ряд Тейлора по малым степеням  $(v/c)$ , в котором оставим два первых члена разложения

$$K_v(v) = K_v(0) + K_v^1(0) \cdot (v/c), \quad (4)$$

где  $c$  - скорость света;  $K_v^1(0)$  определяется экспериментальным либо расчетно-теоретическим путем.

В условиях электродинамического равновесия

$$K_v(0) = 1; \quad K_v^1(0) = 0; \quad K_E = \tilde{C}_n,$$

где  $\tilde{C}_n$  - распределение безразмерных значений  $C_n$ , определяемых по методике работы [6].

Количественная зависимость (3) работает в области термо- и электродинамического равновесия и умеренных значений напряженности электростатического поля.

Описанный характер электропереноса на межфазной границе, очевидно, существенно влияет на интенсивность массообменных процессов как в объеме жидкой ванны, так и на рассматриваемой границе.

Учет этого влияния достигается постановкой граничного условия для уравнения конвективной диффузии в форме соотношения (3), в котором безразмерный параметр  $K_E$  в каждом конкретном варианте технологии рассчитывается индивидуально [6].

Приложение изложенных результатов к теоретическому исследованию технологии внепечной дегазации стали с использованием электростатического поля [9] позволило вскрыть резервы интенсификации массообменных процессов, а также повышения качества стали.



### Список литературы

1. Баканов К. П., Бармотин И. П., Власов Н. Н. Рафинирование стали инертным газом. - М.: Металлургия, 1975. - 229 с.
2. Кайбичев А. В., Лепинских Б. М. Рафинирование жидких металлов и сплавов в электрическом поле. - М.: Наука, 1983. - 120 с.
3. Дюдкин Д. А., Захаров Н. И. К вопросу энергосбережения при дегазации металла // Металл и литье Украины. - 1996. - № 3. - С. 17.
4. Явойский А. В., Явойский В. И., Терзиян С. П. Кинетические особенности удаления водорода из расплавов на основе железа // Изв. вузов. Чер. металлургия. - 1981. - № 7. - С. 5.
5. Захаров Н. И. Процессы массопереноса при внепечной дегазации металла // Процессы литья. - 2000. - № 2. - С. 3.
6. Дюдкин Д. А., Захаров Н. И. “Электродинамическая индукция” и ее приложение к внепечной дегазации металла // Там же. - 2003. - № 1. - С. 3.
7. Дюдкин Д. А., Комаров А. А. Явление возбуждения электрического тока в проводнике, движущемся в электростатическом поле // Научное открытие. - 2000. - № 149. - С. 18-19.
8. Дюдкин Д. А., Захаров Н. И. “Электродинамическая индукция” тока в металле и проблема ее приложения к процессам с движением металла в электростатическом поле // Металлургия и металлургия XXI века. - М.: МГИСиС, 2001. - 500 с.
9. Захаров Н. И., Троцан А. И., Овдиенко А. А. Об использовании электростатического поля в технологии внепечной дегазации стали // Процессы литья. - 2009. - № 1. - С. 8-11.

Поступила 19.01.2009