

Т.С.Голуб, С.И.Семькин, Е.В.Семькина

ОСОБЕННОСТИ ЖИДКОФАЗНОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ МАРГАНЦА ПРИ КОНВЕРТЕРНОЙ ПЛАВКЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НИЗКОВОЛЬТНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА

Институт черной металлургии им. З.И.Некрасова НАН Украины

Приведены результаты опытно-аналитических исследований поведения марганца по ходу продувки при конвертерной плавке в условиях наложения на сталеплавильную ванну низковольтного электрического потенциала различной полярности в зависимости от его содержания в чугуне. Показана роль операции скачивания промежуточного шлака. Установлено, что в изученных условиях применение положительной полярности на фурме в целом обеспечивает наименьший уровень окисления марганца из металла за плавку.

Ключевые слова: конвертерное производство стали, низковольтный электрический потенциал, поведение марганца

Состояние вопроса и постановка задачи. В настоящее время конвертерное производство в большинстве стран мира является основным способом выплавки стали, что обуславливает необходимость его постоянного развития и совершенствования, особенно в условиях ухудшения сырьевых и энергетических ресурсов. В связи с этим повышается актуальность работ по развитию теоретических положений конвертерной плавки, которые можно использовать как основу для разработок новых ресурсосберегающих технологий выплавки металла. Одним из направлений достижения этой цели является разрабатываемое в ИЧМ НАНУ направление применения электрических воздействий малой удельной мощности, в частности, наложение низковольтного электрического потенциала на систему металл – шлак в процессе кислородно-конвертерной плавки [1].

Как известно [2], в сталеплавильном производстве марганец в металл поступает с чугуном, в котором его содержание в среднем находится в пределах 0,3 - 1,0 %, и в небольших количествах с металлическим ломом, содержащем до 1,0 % марганца, однако в последнее время все чаще на переработку поступают низкомарганцовистые чугуны. Большая часть марганца, поступившего из чугуна, при конвертерной плавке окисляется и безвозвратно теряется со шлаком, особенно при наличии операции его промежуточного скачивания.

Цель данной работы – изучение особенностей поведения марганца в металлическом расплаве по ходу продувки в условиях наложения на конвертерную ванну низковольтного электрического потенциала в зависимости от содержания других компонентов в расплаве, в частности от содержания марганца в чугуне и уровня содержания углерода в металле на выпуске, в том числе в зависимости от наличия операции скачивания промежуточного шлака. Публикация содержит результаты исследований,

выполненных при грантовой поддержке Государственного фонда фундаментальных исследований по конкурсному проекту (GP/F56/171).

Основные результаты. Анализ выполнен по данным опытно-промышленных плавки, проведенных в условиях 60-т промышленного конвертера, оборудованного системой наложения низковольтного электрического потенциала по вариантам: вариант 1 – без воздействий; вариант 2 – на фурме отрицательная полярность потенциала в течение всей продувки плавки; вариант 3 – на фурме положительная полярность потенциала в течение всей продувки плавки; по двум технологическим схемам ведения плавки: А - без скачиванием промежуточного шлака и Б - со скачиванием промежуточного шлака.

Известно, что уровень марганца в металле к концу продувки тем выше, чем выше его начальный уровень в чугуна, и тем ниже, чем меньше величина конечного содержания углерода в расплаве [2]. В связи с этим для анализа общий массив опытных плавки был разделен по исходному содержанию марганца в чугуна на три группы: группа «[Mn] 0,1-0,3» - с содержанием марганца в чугуна 0,1 – 0,3 % масс., «[Mn] 0,3-0,6» - с содержанием марганца в чугуна 0,3 – 0,6 % масс. и «[Mn] 0,6-0,9» - с содержанием марганца в чугуна 0,6 – 0,9 % масс. Были получены следующие диаграммы зависимостей содержания оксида марганца в шлаке от уровня содержания марганца в чугуна (рис. 1-3).

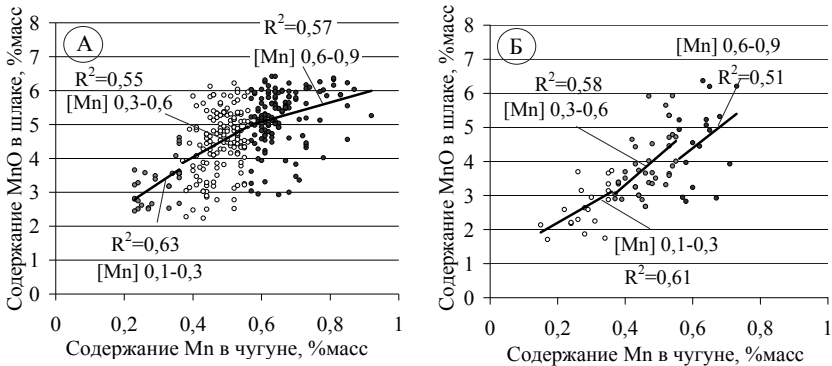


Рисунок 1 – Изменение уровня содержания оксида марганца в шлаке в зависимости от содержания марганца в чугуна для варианта без электрических воздействий с разделением по исходному содержанию марганца в чугуна на три группы: «[Mn] 0,1-0,3», «[Mn] 0,3-0,6» и «[Mn] 0,6-0,9»: (А) без скачивания шлака; (Б) со скачиванием шлака

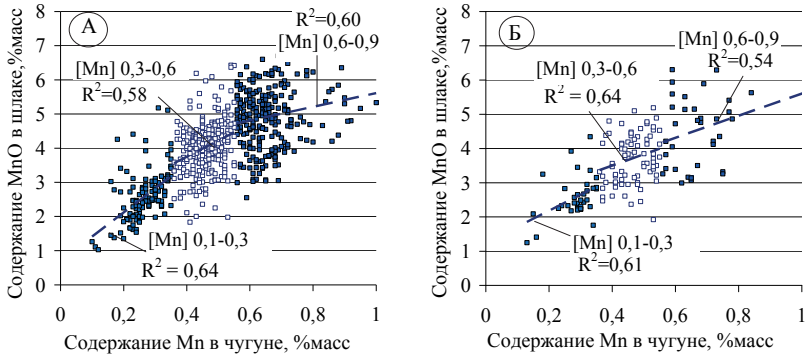


Рисунок 2 – Изменение уровня содержания оксида марганца в шлаке в зависимости от содержания марганца в чугуна для варианта с наложением отрицательной полярности потенциала с разделением по исходному содержанию марганца в чугуна на три группы: «[Mn] 0,1-0,3», «[Mn] 0,3-0,6» и «[Mn] 0,6-0,9»: (А) без скачивания шлака; (Б) со скачиванием шлака

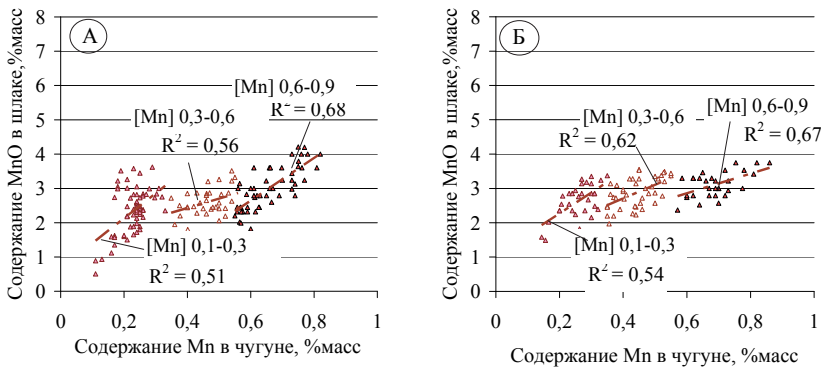


Рисунок 3 – Изменение уровня содержания оксида марганца в шлаке в зависимости от содержания марганца в чугуна для варианта с наложением положительной полярности потенциала с разделением по исходному содержанию марганца в чугуна на три группы: «[Mn] 0,1-0,3», «[Mn] 0,3-0,6» и «[Mn] 0,6-0,9»: (А) без скачивания шлака; (Б) со скачиванием шлака

Анализ массива плавков по влиянию содержания марганца в чугуна на конечный уровень содержания оксида марганца в шлаке по вариантам для условий проведения плавки без скачивания промежуточного шлака показал, что для опытных вариантов наблюдаются известные из литературы зависимости [2]. Однако в случае применения электрических воздействий по варианту 3 при сопоставимом с другими вариантами уровне начального содержания марганца в чугуна ошлакование марганца ниже, о чем свидетельствует более низкий уровень значений содержания оксида марганца в шлаке: при содержании марганца в чугуна от 0,1 до 1,0 % масс. содержание оксида марганца в шлаке изменяется от 2,5 до 6,5 %масс. в

варианте 1 и от 1,0 до 7,0 % масс. в варианте 2, а для варианта 3 этот диапазон – 1,0–4,0 % масс. Также выявлено, что на плавках при начальном содержании марганца в чугуна 0,3 до 0,9 % масс. содержание оксида марганца в шлаке примерно близкая величина, а при более низких содержаниях марганца – содержание оксида марганца в шлаке понижается. В то время как для вариантов без воздействий и с отрицательной полярностью на фурме, во всем проанализированном диапазоне начального содержания марганца в чугуна при его уменьшении, содержание оксида марганца уменьшается.

Анализ влияния начального содержания марганца в чугуна на конечный уровень содержания оксида марганца в шлаке, выполненный по полученному массиву плавков для условий проведения плавки со скачиванием промежуточного шлака выявил аналогичный характер тенденций по опытным вариантам. При этом отмечено, что уровень содержания оксида марганца в шлаке для вариантов 1 и 2 в среднем ниже, чем для плавков, проведенных без скачивания промежуточного шлака для одинакового начального уровня содержания марганца в чугуна. Это связано с тем, что марганец в определенной степени окисляется до момента проведения операции скачивания шлака и часть оксида марганца теряется при выполнении данной операции. Для варианта 3, в отличие от вариантов 1 и 2, отмечен близкий уровень содержания оксидов марганца в шлаке как на плавках, проводимых без скачивания шлака, так и на плавках, проводимых со скачиванием с доминированием более низких значений содержания оксида марганца в шлаке: при начальном содержании марганца в чугуна 0,1 – 0,8 % масс. уровень содержания оксида марганца в шлаке 1,5 – 6,5 % масс. для варианта 1, 1,0 – 6,5 % масс. для варианта 2 и 1,5 – 4,0 для варианта 3.

Затем каждая из групп в соответствии с вариантами была разделена по содержанию углерода в металле на выпуске, т.е. к окончанию продувки плавки: «[C] < 0,25» - содержание углерода до 0,25 %масс. (выплавка низкоуглеродистых марок стали) и «[C] > 0,25» - содержание углерода в металле более 0,25 %масс. (выплавка среднеуглеродистых марок стали). Значения степени удаления марганца по вариантам опытных плавков по группам представлены на рисунках 4-6. Для всех опытных вариантов отмечено, как и следовало ожидать [2]: чем ниже уровень конечного содержания углерода в металле, тем выше степень окисления марганца. К тому же, на плавках, проведенных со скачиванием шлака, уровень степени окисления марганца выше, чем на плавках, выполненных без такой операции.

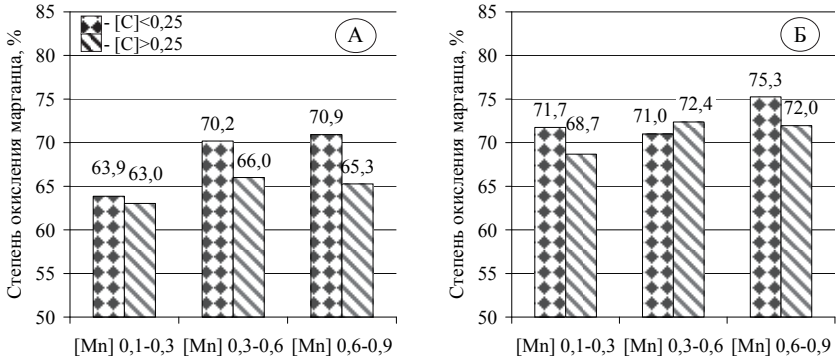


Рисунок 4 – Величина степени удаления марганца на плавках, проведенных без электрических воздействий, в зависимости от его содержания в чугуна при двух уровнях углерода в металле на выпуске: (А) без скачивания шлака; (Б) со скачиванием шлака

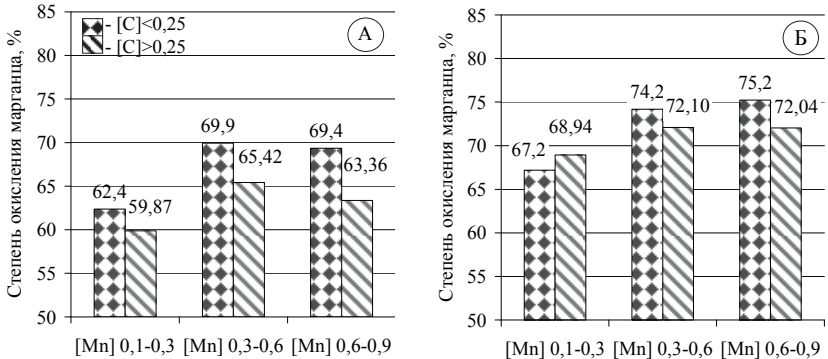


Рисунок 5 – Величина степени удаления марганца на плавках, проведенных с наложением отрицательной полярности потенциала, в зависимости от его содержания в чугуна при двух уровнях углерода в металле на выпуске: (А) без скачивания шлака; (Б) со скачиванием шлака

Для плавков, проведенных без скачивания шлака, следует отметить, что, не зависимо от конечного содержания углерода в металле, наибольший уровень степеней удаления марганца из металла наблюдается при начальном его содержании в чугуна 0,3 – 0,6 %масс. Для плавков, проведенных со скачиванием, отмечена тенденция по повышению величин степени окисления марганца с увеличением его содержания в чугуна.

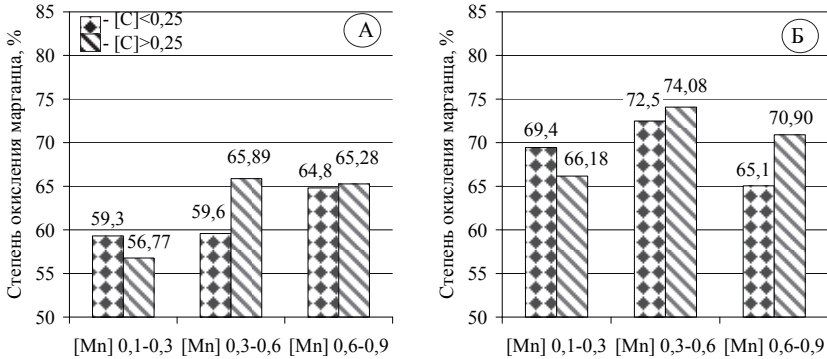


Рисунок 6 – Величина степени удаления марганца на плавках, проведенных с наложением положительной полярности, в зависимости от его содержания в чугуне при двух уровнях углерода в металле на выпуске: (А) без скачивания шлака; (Б) со скачиванием шлака

Для плавков, проведенных с использованием электрического воздействия (варианты 2 и 3), отмечено следующее (см. рис.4-6).

На плавках, проведенных по варианту 2, уровень степени окисления марганца по группам плавков близкий к величинам, полученным по варианту 1, при различном содержании углерода в металле как на плавках со скачиванием промежуточного шлака, так и на плавках без скачивания (при конечном уровне содержания углерода в металле менее 0,25 % масс. на плавках без скачивания, проведенных по варианту 1, диапазон степеней окисления марганца 63,9-70,9 %, а по варианту 2 - 62,4-69,4 %; на плавках, проведенных со скачиванием, для варианта 1 – 71,7-75,3 %, а для варианта 2 – 67,2-75,2 %; при конечном содержании углерода в металле более 0,25 % масс. на плавках без скачивания уровень степени окисления марганца для плавков, проведенных по варианту 1 - 63,0-65,3 %, а по варианту 2- 59,87-63,36 %; на плавках, проведенных со скачиванием, для варианта 1 – 68,7 - 70,2 %, для варианта 2 – 68,94 - 72,04 %).

Следует подчеркнуть, что для плавков, проведенных по варианту 3, отмечены наиболее низкие значения уровней степеней окисления марганца по анализируемым группам как для случая проведения плавков до более высокого содержания углерода в металле, так и для марок сталей с более низким конечным содержанием углерода в металле (на плавках, проведенных без скачивания промежуточного шлака, при конечном содержании углерода в металле менее 0,25 % масс.- 59,6 - 66,9 %, а при содержании углерода в металле более 0,25 % масс. – 56,82 - 61,24 %; на плавках, проведенных со скачиванием шлака при конечном содержании углерода в металле менее 0,25 % масс. – 64,4 - 71,8 %, при содержании углерода в металле более 0,25 % масс. – 63,85 - 70,82 %).

Также известно [2], что поведение марганца в металле зависит от характера шлакообразования (в частности уровня содержания кремния в чугуне), и от окисленности шлака (содержания оксида железа в шлаке). В связи с этим в анализируемых группах плавов, разделенных по содержанию марганца в чугуне, были оценены зависимости содержания окислов железа в шлаке от содержания кремния в чугуне (рис.7). Из диаграмм видно, что полученные зависимости для всех опытных вариантов в целом соответствуют известным представлениям об изменении уровня содержания оксида железа в шлаке от уровня содержания кремния в чугуне.

Анализ зависимостей, представленных на рис.7 позволил выявить, что в случае вариантов плавов с применением низковольтного электрического воздействия (варианты 2 и 3) на зависимость содержания оксида железа в шлаке от содержания кремния в чугуне в целом не оказывает воздействие начальный уровень содержания марганца в чугуне. В то же время для варианта 1 напротив начальный уровень содержания марганца в чугуне оказывает влияние: повышение содержания марганца в чугуне отражается в более низком расположении линии тренда для данной зависимости.

В связи с этим особого внимания заслуживает анализ окислительной способности оксидных шлаковых систем, определяющей возможность, полноту и скорость протекания окислительно-восстановительных процессов в шлако-металлической системе, которая была рассчитана по методу Меджибожского М.Я. [3]. Средние величины результатов расчета по анализируемым группам по вариантам представлены на рис.8. Анализ диаграмм свидетельствует о том, что уровень активностей оксида железа в шлаке коррелируется с величиной его содержания. Отмечено, что на уровень величины активности окислов железа в шлаке практически не оказывает влияние наличие операции скачивания промежуточного шлака.

При этом окислительная способность шлака, представленная активностью оксида железа в шлаке, увеличивается при снижении содержания марганца в чугуне для всех анализируемых вариантов. Исключение составляет случай проведения плавов со скачиванием шлака при конечном содержании углерода более 0,25 %масс.

Следует также отметить, что наименьшая окислительная способность шлака по всем анализируемым группам плавов соответствует варианту 3.

Заключение. Проведенные экспериментально-аналитические исследования показали наличие некоторых закономерностей благоприятного влияния низковольтного электрического потенциала положительной полярности на снижение степени окисления марганца металла по технологии без скачивания шлака и со скачиванием шлака.

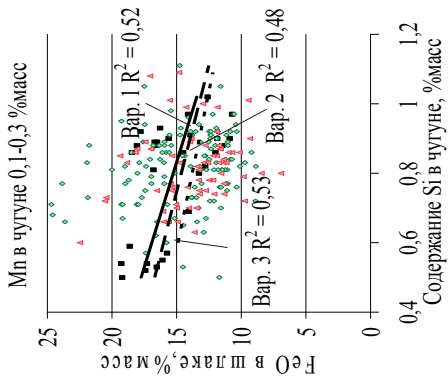
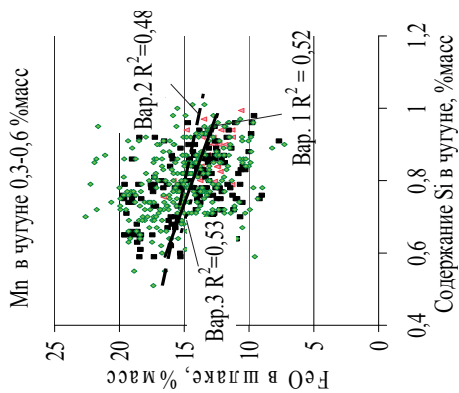
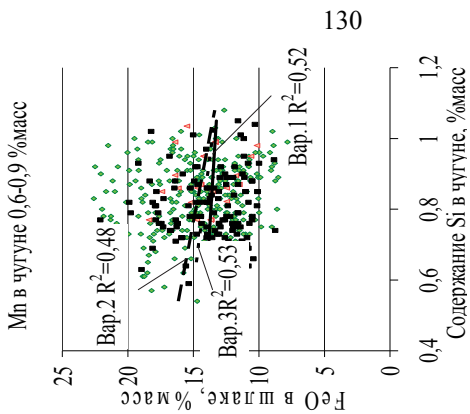
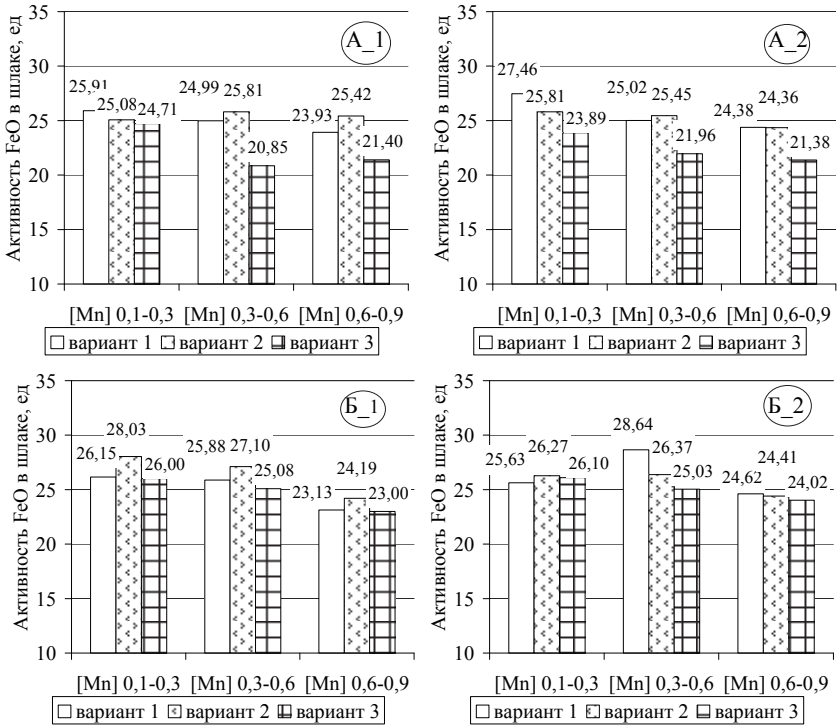


Рисунок 7 – Зависимость содержания оксида железа в шлаке от содержания кремния в чугуне по трем группам плавок, разделенных в зависимости от уровня содержания марганца в чугуне, при условии проведения плавок без промежуточного скачивания шлака: вариант 1 – без воздействий, 2 – с наложением отрицательной полярности потенциала, 3 – с наложением положительной полярности потенциала



вариант 1 – без воздействий,

варианты 2 и 3 – с наложением низковольтного электрического потенциала отрицательной и положительной полярности соответственно

Рисунок 8 – Средние по опытным вариантам значения активности окислов железа в шлаке при различных уровнях содержания марганца в чугуна: «[Mn] 0,1-0,3», «[Mn] 0,3-0,6» и «[Mn] 0,6-0,9», и конечных уровнях углерода в металле (1–содержание углерода в металле на повалке до 0,25 %масс. 2 – содержание углерода в металле на повалке более 0,25 %масс.) для плавки без скачивания шлака- А, для плавки со скачиванием шлака - Б

Установлено, что при положительной полярности на фурме практически не зависимо от наличия операции скачивания шлака и уровня начального содержания марганца в чугуна характерен наименьший уровень степени окисления марганца к концу продувки плавки.

Выявлено, что при положительной полярности потенциала при начальном содержании марганца в чугуна 0,3 - 0,9 %масс. содержание оксида марганца в шлаке близкая величина, а при более низких содержаниях марганца – содержание оксида марганца в шлаке понижается. В то время как для вариантов без воздействий и с отрицательной полярностью на фурме, во всем проанализированном диапазоне

начального содержания марганца в чугуна при его уменьшении содержание оксида марганца уменьшается.

Отмечено, что в случае проведения плавок с наложением низковольтного потенциала уровень содержания марганца в чугуна практически не влияет на содержание окислов железа в шлаке.

На основании выявленных закономерностей, ближайшей задачей является разработка и опробование усовершенствованного варианта воздействия низковольтного электрического потенциала, обеспечивающего экономии марганецсодержащих материалов, что особенно важно при производстве низкоуглеродистой стали.

1. *Опыт* развития и освоения технологии применения низковольтных потенциалов при конвертерной плавке в условиях 60-т конвертеров ПАО «Евраз ДМЗ им. Петровского» / В.Ф. Поляков, С.И. Семькин, А.Д. Зражевский [и др.] // *Новости науки Приднепровья. Инженерные дисциплины.* – 2012. - №3-4. – С. 48-52
2. *Бойченко Б. М.* Конвертерное производство стали / Б. М. Бойченко, В. Б. Охотский, П. С. Харлашин - РИА «Днепр-ВАЛ». - 2006. - 455 с.
3. *Меджибожський М.Я.* Основи термодинаміки і кінетики сталеплавильних процесів: Підручник / М. Я. Меджибожський, П. С. Харлашин. – Київ: Вища школа.- 1994. – 327с.

*Статья поступила в редакцию сборника 17.02.2017
и прошла внутреннее и внешнее рецензирование*

Т.С.Голуб, С.І.Семькин, О.В.Семькина

Особливості рідкофазного відновлення марганцю при конвертерній плаві з використанням низковольтного електричного потенціалу

Наведено результати експериментально-аналітичних досліджень поведінки марганцю під час продування при конвертерній плаві в умовах накладання на сталеплавильну ванну низковольтного електричного потенціалу різної полярності залежно від рівня вмісту марганця в чавуні. Встановлено, що у вивчених умовах використання позитивної полярності на фурмі в цілому забезпечує найменший рівень ступеня окислення марганцю з металу за плавку.

Ключові слова: конвертерне виробництво сталі, низковольтний електричний потенціал, ступінь окислення марганцю

T.S.Golub, S.I.Semykin, E.V.Semykina

The features of manganese liquid-phase reduction in the converter process with low-voltage electric potential

The article reports on the results of the experimental and analytical studies of the manganese behavior when blowing the converter heat under conditions of applying low-voltage electric potentials of various polarities for the steel bath. The role of intermediate deslagging operation is shown. The research has revealed that under studied conditions the use of positive polarity on a lance in general permits us to have the smallest level of manganese oxidation in the metal during the heat.

Keywords: steel converter production, low-voltage electrical potential, the behavior of manganese