

Т.С.Кияшко, С.И.Семыкин, Е.В.Семыкина

ВЕРОЯТНАЯ ПРИРОДА УДАЛЕНИЯ АЗОТА ПРИ КОНВЕРТЕРНОЙ ВЫПЛАВКЕ МЕТАЛЛА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НИЗКОВОЛЬТНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА

Подтверждена возможность снижения содержания азота в стали за счет влияния низковольтного потенциала и предложена возможная природа протекания процесса его удаления при воздействии потенциала.

Введение. В отделе физико–технических проблем производства стали Института черной металлургии НАН Украины проводятся исследования по изучению эффективности применения низковольтного электрического потенциала при выплавке металла в конвертере, направленные на получение ряда важных технологических эффектов. В частности, в лабораторных условиях была выявлена тенденция по снижению уровня содержания азота в металле к концу продувки плавки [1].

Изложение основных материалов исследования. Для установления возможности получения аналогичного эффекта в промышленных условиях и изучения его природы в 2008 году были проведены технологические исследования при выплавке металла в условиях 160–т конвертера «АрселорМиттал Кривой Рог» по следующим опытным вариантам: без электрических воздействий («б/п») и с подведением к фурме низковольтного потенциала отрицательной («м») или положительной («п») полярности. Для аналитических исследований по определению влияния потенциала на изменение химического состава металла, в том числе на содержание в нем азота, и шлака на свойства и состав, во время двух функциональных повалок конвертера (на контрольном отборе проб и в конце плавки после додувки на температуру или углерод) специально отбирали экспериментальные пробы с определенного участка пробоотборника. Было отобрано по 8 – 12 проб каждого из опытных вариантов. Содержание элементов в металле и шлаке определялось спектральным методом, а содержание азота – химическим. Обобщение результатов химического состава металла после их усреднения по опытным вариантам приведены в табл. 1.

Таблица 1. Усредненный по опытным вариантам химический состав металла, отобранного на функциональных повалках (числитель – первая повалка, знаменатель – после додувки)

| Параметры | Вариант процесса | | |
|--|------------------|-------------|-------------|
| | «м» | «п» | «б/п» |
| Содержание углерода в стали, %масс | <u>0,15</u> | <u>0,13</u> | <u>0,16</u> |
| | 0,06 | 0,09 | 0,05 |
| Содержание азота в стали, $\times 10^{-3}$ %масс | <u>5,03</u> | <u>6,03</u> | <u>6,86</u> |
| | 5,33 | 6,07 | 7,17 |

Анализ полученных результатов показал, что на изучаемых этапах продувки при сопоставимом содержании углерода в металле в вариантах подведения низковольтного потенциала содержание азота в металле как к моменту технологической повалки, так и после додувки было ниже, чем на обычных плавках, что для наглядности показано на рис.1 в виде гистограмм. Как видно из этого рисунка в большей мере этот эффект проявился при подведении потенциала отрицательной полярности (данные, отмеченные маркером «м» на рис.1), что подтверждает ранее полученный результат в лабораторных условиях на малых конвертерах (0,3 и 1,5 т).

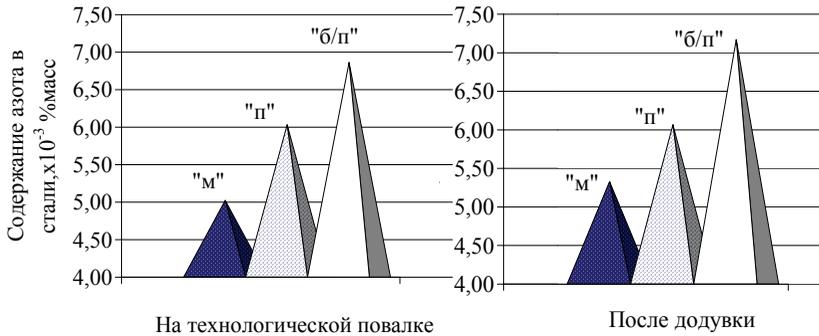


Рис.1 Содержание азота в стали по технологическим периодам продувки плавки (обозначения в тексте)

Качественные и аналитические исследования отобранных образцов шлака показали их существенные различия. К ним относятся, отличия как во внешнем виде застывших образцов шлака (рис.2), так и в их химических составах, представленных в табл.2. Все это в комплексе отражает характерные отличительные условия их формирования под воздействием той или иной полярности потенциала.

Таблица 2. Усредненные по опытными вариантам содержания основных компонентов шлакового расплава по периодам: числитель – первая повалка конвертера, знаменатель – после додувки плавки

| Вариант процесса | Содержание компонентов, % | | | Основность шлака, ед |
|------------------|---------------------------|------------------|---------------------|----------------------|
| | CaO | SiO ₂ | Fe _{общее} | |
| «м» | <u>54,93</u> | <u>14,08</u> | <u>15,41</u> | <u>3,91</u> |
| | 51,73 | 12,21 | 17,60 | 4,24 |
| «п» | <u>49,35</u> | <u>14,71</u> | <u>14,79</u> | <u>3,46</u> |
| | 49,48 | 14,58 | 16,31 | 3,49 |
| «б/п» | <u>49,28</u> | <u>16,63</u> | <u>16,25</u> | <u>3,03</u> |
| | 50,73 | 13,53 | 18,10 | 3,74 |

| Период | «м» | «п» | «б/п» |
|---------------|--|---|---|
| На повалке |  |  |  |
| После додувки |  |  |  |

Рис. 2. Внешний вид застывших образцов шлака по исследуемым вариантам (обозначения в тексте)

Для определения вероятной природы удаления азота из металла в условиях наложения низковольтного потенциала, кроме химического и спектрального анализа состава, было выполнено количественное изучение физических параметров застывших образцов шлака (пористость и толщина намерзшего на пробоотборник слоя), а также проведена оценка с помощью физико-химического моделирования основных прогнозных свойств жидкого шлака. Результаты такого исследования приведены в табл.3.

Таблица 3 Усредненные физические свойства образцов шлака по исследуемым вариантам, полученные по периодам: числитель – первая повалка конвертера, знаменатель – после додувки плавки

| Параметры | Вариант процесса | | |
|---|------------------|----------------|----------------|
| | «М» | «П» | «Б/П» |
| Температура ванны, °С | <u>1598</u> | <u>1605</u> | <u>1559</u> |
| | 1618 | 1618 | 1616 |
| Расчетный вес шлака, т | <u>16,7</u> | <u>14,9</u> | <u>15,4</u> |
| | 19,4 | 14,2 | 17,5 |
| Расчетная вязкость шлака, (при 1500 °С) Па х с | <u>0,0508</u> | <u>0,0530</u> | <u>0,0595</u> |
| | 0,0478 | 0,0533 | 0,0500 |
| Расчетное поверхностное натяже- ние шлака, мН/м ² | <u>368,7</u> | <u>361,8</u> | <u>359,3</u> |
| | 362,2 | 361,1 | 357,5 |
| Расчетная плотность шлака, т/м ³ | <u>3,97</u> | <u>3,94</u> | <u>3,99</u> |
| | 4,02 | 3,97 | 4,02 |
| Пористость застывших образцов шлака, % | <u>40,6</u> | <u>16,4</u> | <u>4,4</u> |
| | 7,2 | 0,2 | 1,0 |
| Фактическая толщина образцов шлака, мм | <u>2,5–3,0</u> | <u>2,0–2,5</u> | <u>3,0–3,5</u> |
| | 1,5–2,5 | 1,0–1,5 | 2,5–2,8 |

Сопоставимое количество сформированного шлакового расплава (близость расчетных весов) с более высокой основностью и более низким уровнем содержания окислов железа на опытных плавках с подведением потенциала (см. табл.2) свидетельствует о более интенсивном усвоении шлаковых добавок по ходу продувки, что является результатом электрофизического и теплового воздействия подводимых полей. Улучшение тепловой работы конвертера подтверждается более высоким уровнем фактических значений температур сталеплавильной ванны, измеренных на первой контрольной функциональной повалке конвертера.

Как следует из табл.3, каждому виду воздействия соответствует свой характерный уровень изменения исследуемых расчетных физических параметров. Так, в частности, установлено, что расчетные значения вязкости шлакового расплава на опытных плавках снижаются, а величина поверхностного натяжения повышается при подведении низковольтного потенциала по отношению к сравнительным плавкам. Подобные тенденции

практически не отразилась на величине расчетной плотности шлаковой фазы.

Следует обратить внимание на установленные значительные различия, которые выявлены в изменении фактической пористости и толщины намороженного на пробоотборник шлакового слоя. Как видно из данных табл.3, на первой повалке величина пористости на плавках с положительной полярностью в 4 раза выше, а для отрицательной – 10 раз выше, чем на обычных плавках. После додувки пористость шлаков снижается, однако, при отрицательной полярности эти различия сохраняются, но, правда, в несколько меньшем количестве (в 7 раз). Этот установленный факт послужил первопричиной для разработки вероятного механизма влияния электрических воздействий на изменение содержания азота в металлическом расплаве под воздействием той или иной полярности.

Известно, что как при обычном процессе конвертирования, так и в условиях дополнительного наложения внешних электрических воздействий основной газообмен по азоту представляет собой два конкурирующих разнонаправленных процесса [2]. Первый заключается в насыщении азотом металлического расплава, поступающего либо в результате соприкосновения его с газовой атмосферой агрегата (в случае неполного покрытия шлаком поверхности металла), либо поступлением его через слой шлака. Второй – удаление азота из металла, что, в большей мере, происходит вместе с пузырьками СО при объемном или поверхностном кипении сталеплавильной ванны, интенсивность которого изменяется по ходу плавки. Для обычного процесса характерно существенное повышение содержания азота в металле при снижении содержания углерода ниже 0,2%. К концу основной продувки (это период первой повалки), особенно при низком содержании углерода в металле кипение ванны, а, следовательно, и количество всплывающих пузырей СО уменьшается настолько, что процесс перехода азота из атмосферы агрегата в металл превалирует над его удалением. В результате этого в данный период наблюдается накопление азота в металле. Во время додувки плавки происходит последующее дополнительное насыщение метала азотом вследствие осаждения уровня шлака при операции наклона конвертера за счет повторного захвата азота кислородной струей из атмосферы агрегата.

Результаты исследования. Установленное в работе изменение содержания азота под воздействием электрического потенциала может быть описано следующим образом. Электрические воздействия могут изменять сам процесс формирования пузырьков СО и их всплывание. Кроме того, электрическое поле оказывает влияние на перенос ионов между реагирующими фазами, а согласно литературным источникам азот несет положительный заряд [3]. В связи с этим, подведение электрического потенциала той или иной полярности может оказывать влияние на его перемещение в поле действия электрических сил и, таким образом, может спо-

способствовать дополнительному перераспределению азота между реагирующими фазами.

Так, при подведении положительной полярности низковольтного потенциала к продувочной фурме в силу совпадения полярности заряда ионов азота, растворенного в металле, и заряда, формируемого на шлаковом расплаве, должно бы происходить замедление процесса удаления азота через шлаковый расплав под действием внешнего электрического воздействия. Однако, как установлено на практике, формирование на этих плавках сопоставимого по сравнению с обычными продувками количества шлакового расплава с определенными физическими свойствами способствуют покрытию зеркала металла, что значительно снижает приход азота в металл. Кроме того, более высокая жидкоподвижность шлака, о чем свидетельствуют небольшая его толщина застывших образцов, и характерные изменения его физических характеристик: расчетной вязкости и плотности, полученные за счет некоторого разогрева расплава и изменения его химического состава, создают термодинамические условия по активному переходу азота из металла через шлак в газовую фазу. Некоторое повышение поверхностного натяжения на границе раздела шлак–атмосфера агрегата дополнительно затрудняет проникновение газа (содержащего азот) сквозь шлак из внешней среды агрегата. Эти условия в комплексе с активным приповерхностным кипением ванны, которое характерно для данного типа электрического воздействия (об этом свидетельствует мелкая и довольно развитая внутренняя пористость пробы застывшего шлака, см. рис.2), способствуют удалению поверхностноактивного азота и обеспечивают более низкое по сравнению с обычными плавками его содержание в металле даже при положительной полярности потенциала.

В случае подведения к продувочной фурме потенциала отрицательной полярности существенное снижение содержания азота в металле связано с однонаправленным благоприятным воздействием электрического поля на ряд параллельно протекающих процессов. Во–первых, влияние электрического поля на положительный ион азота. Во–вторых, под действием данной полярности происходит активизация процесса окисления углерода по поверхности соприкосновения металлического расплава с футеровкой с образованием большого количества перемешивающих ванну всплывающих на поверхность пузырьков CO, внутрь которых проникают атомы азота. Далее переходу этих пузырьков через шлак способствует самая низкая из рассмотренных вариантов его вязкость. При этом процессу поглощения газа из атмосферы агрегата препятствует формирующийся по ходу продувки при отрицательном потенциале самый большой по сравнению с другими вариантами объем вспененного шлака с более высоким поверхностным натяжением на границе с газовой фазой. Об этом также свидетельствует фактически установленная существенно развитая пористость застывших образцов шлака с выделяющимися и сливающимися в крупные полости закрытыми порами (см. рис.2).

Заключение. Таким образом, в промышленных условиях была подтверждена выявленная ранее в лабораторных условиях ИЧМ возможность заметного снижения уровня содержания азота в стали при конвертировании за счет подвода низковольтного потенциала к фурме и расплаву при проведении окислительного рафинирования на различных этапах продувки плавки. Экспериментально – аналитическими исследованиями определена наиболее вероятная природа зафиксированного эффекта.

1. *Семыкин С.И., Поляков В.Ф., Семыкина Е.В.* Снижение газонасыщенности конвертерного металла при воздействии на расплав электрического тока // Теория и практика металлургии. – №1(21).–2001.–С.26–29.
2. *Явойский В.Я.* Теория процессов производства стали. – М.:Металлургиздат, 1963. – 820 с.
3. *Лакомский В.И.* Плазменнодуговой переплав. – К.: Техника, 1974. – 335 с.

Статья рекомендована к печати докт.техн.наук, проф. В.Ф.Поляковым