

ИССЛЕДОВАНИЕ В 1,5–Т КОНВЕРТЕРЕ ХАРАКТЕРА ОКИСЛЕНИЯ ПРИМЕСИ ЧУГУНА ПРИ ПОДВЕДЕНИИ К СТАЛЕПЛАВИЛЬНОЙ ВАННЕ НИЗКОВОЛЬТНОГО ПОТЕНЦИАЛА

Изучена динамика окисления примеси чугуна по ходу продувки сверху кислородом через одно и трех сопловый наконечник фурмы опытных плавков в 1,5–т конвертере как по традиционной технологии, так и при наложении на ванну низковольтных потенциалов отрицательной и положительной полярности.

Анализ состояния проблемы.

Совершенствование имеющихся и внедрение новых высоко–температурных процессов возможно на базе знаний о природе и механизмах окислительно–восстановительных реакций, сопровождающих выплавку металла. Ранее выполненные исследования академического и прикладного характера по разработке и оценке эффективности нового способа конвертерной плавки с применением низковольтных электрических воздействий на жидкую ванну однозначно свидетельствуют о возможности улучшения ряда технологических показателей плавки и позволяют решать актуальные задачи энерго– и ресурсосбережения [1,2]. Заводские исследования в основном базировались на изучении и анализе итоговых, то есть конечных значений показателей процесса выплавки металла.

Постановка задачи.

В данной работе представлены результаты опытов по изучению динамики окисления примеси в металлическом расплаве на плавках, проведенных в 1,5т конвертере при сопоставимых условиях как по составу чугуна, так по дутьевому, шлаковому и электрическому режимам. Анализ изменения параметров процесса выплавки металла по ходу его продувки в лабораторном конвертере выполнен на основе поминутного отбора проб металла и шлака и замеров температуры ванны с интервалом 3 минуты в течение всего времени продувки плавки. Эксперименты проведены с использованием одно сопловой (обычно используемой для модельных исследований в силу малых размеров агрегата) и трех сопловой фурмы (вариант, приближенный к промышленным условиям). Следует отметить, что в опытах с использованием трех соплового наконечника без использования электрического тока плавки отличались сложностью в управлении процессом из–за чрезмерно мягкого (рассредоточенного) дутьевого режима.

Изложение основных материалов исследования.

На рис.1– 3 приведены изменение состава металла и шлака по ходу продувки опытных плавков, выполненных с использованием одно сопловой фурмы (диаметр сопла 8,3 мм) при подаче кислорода с интенсивностью $4,5\text{ м}^3/\text{мин}$ при размещении фурмы на высоте 50–ти калибров над

зеркалом спокойного металла (410 мм). При поплавочном анализе установлен общий характер изменения содержания ряда элементов в металлическом и шлаковом расплавах по ходу продувки (например, типичный вид развития процесса обезуглероживания, окисления и восстановления марганца с соответствующим накоплением или восстановлением его из шлака), так и различие в периодах протяженности и степени развития этих процессов в течение плавки.

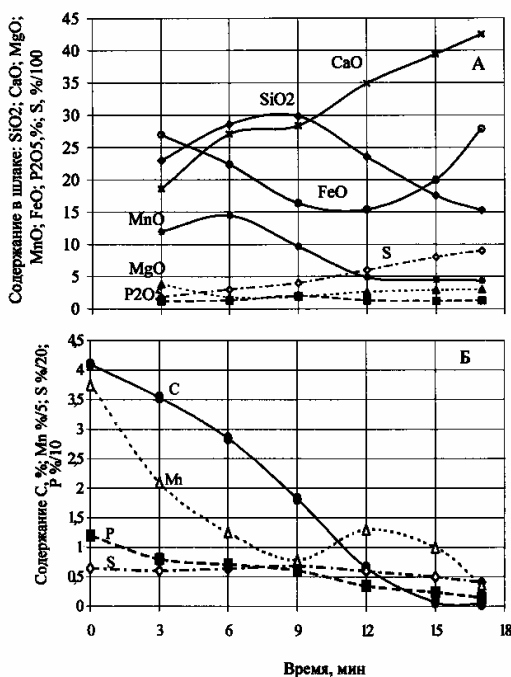


Рис.1. Изменение содержания элементов в шлаке (А) и в металле (Б) по ходу продувки плавки с использованием одно сопловой фурмы в 1,5т конвертере без электрических воздействий.

Например, процесс окисления марганца при положительной полярности тока завершается на 6-й минуте с остаточным содержанием 0,2 %, при отрицательной полярности – на 9-й минуте с аналогичной величиной остаточного содержания его в металле, а на плавках без тока также на 9-й минуте, но с остаточным содержанием на уровне 0,14 %. Процесс его восстановления при положительной полярности потенциала начинается с 6-й минуты и продолжается в течение 6 минут, в то время как при отрицательной полярности и на обычных плавках он начинается с 9-й минуты и длится только 3 минуты. Следует отметить, что для ряда элементов наблюдается противоположный характер поведения при использовании различных полярностей электрических воздействий.

Аналогичный анализ выполнен по плавкам, проведенным с использованием трех соплового наконечника фурмы. На рис.4–6 приведены данные по изменению состава металла и шлака по ходу продувки опытных плавков с использованием трех соплового наконечника (диаметр сопла 6,0 мм) при подаче кислорода с интенсивностью 4,5 м³/мин при размещении фурмы на высоте 50–ти калибров над зеркалом спокойного металла (300 мм), что выполнялось для соблюдения адекватности дутьевого режима

Аналогичный анализ выполнен по плавкам, проведенным с использованием трех соплового наконечника фурмы. На рис.4–6 приведены данные по изменению состава металла и шлака по ходу продувки опытных плавков с использованием трех соплового наконечника (диаметр сопла 6,0 мм) при подаче кислорода с интенсивностью 4,5 м³/мин при размещении фурмы на высоте 50–ти калибров над зеркалом спокойного металла (300 мм), что выполнялось для соблюдения адекватности дутьевого режима

работы двух изучаемых типов фурм. Как уже отмечалось, работа трех сопловой фурмы характеризовалась предельно мягким режимом наведения шлака. Подтверждением этому является довольно высокое содержание окислов железа в шлаке (на уровне 32–40 %) на протяжении всей продувки плавки, что было присуще всем изученным вариантам.

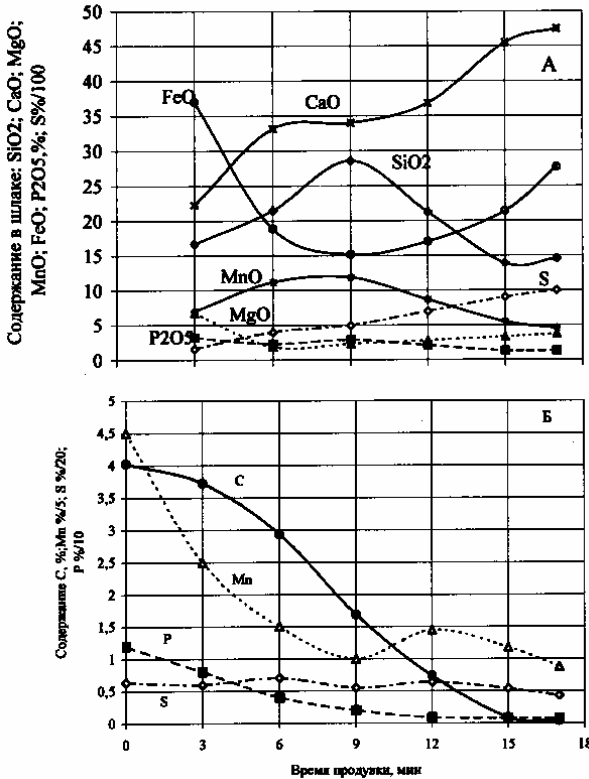


Рис.2. Изменение содержания элементов в шлаке (А) и в металле (Б) по ходу продувки плавки с использованием одно сопловой фурмы в 1,5т конвертере с отрицательной полярностью потенциала.

Известно, что при конвертерном процессе подаваемый кислород расходуется на окисление примесей расплава и самого железа, причем по ходу плавки происходит перераспределение долей расходуемого кислорода между

понтентами. В опытах установлено, что начало продувки характеризуется отставанием процесса окисления углерода с накоплением окислов железа в шлаке как для одно сопловой фурмы, так и для фурмы, имеющей три сопла. Начиная с 6-минуты продувки характер их работы различается. Рассредоточенная продувка, обеспечиваемая трех сопловой фурмой, поддерживает постоянный высокий уровень накопления окислов железа в шлаке и тормозит развитие процесса обезуглероживания, сохраняя содержание углерода в металле на более высоком уровне по сравнению с работой на одно сопловой фурме, при которой в этот период продувки наблюдается резкое снижение окислов железа в шлаке и ускорение процесса обезуглероживания. Так, например, на 12 и 15 минутах продувки концен-

трация углерода в расплаве была на уровне 1,2 и 0,6 % для работы трех сопловой фурмы и 0,6 и 0,1 % – для одно сопловой, то есть по периодам продувки различие увеличилось с 2-х до 6 раз.

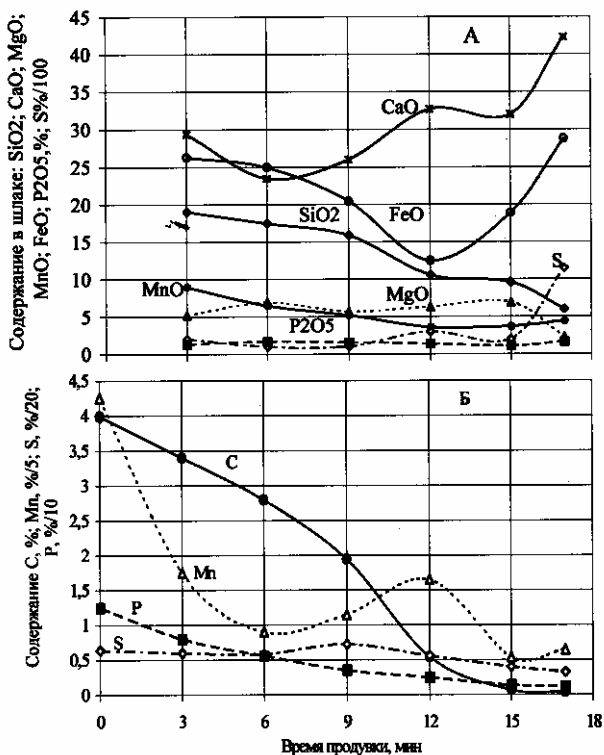


Рис.3. Изменение содержания элементов в шлаке (А) и в металле (Б) по ходу продувки плавки с использованием одно сопловой фурмы в 1,5т конвертере с положительной полярностью потенциала.

Энергичное движение фаз под воздействием кинетической энергии кислородной струи, истекающей через одно сопловую фурму, способствует подводу новых порций расплава с большой

концентрацией углерода к фронту взаимодействия струи с расплавом, тем самым снижая долю кислорода, расходуемую на окисление железа. Так как, с термодинамических позиций в условиях конвертирования наиболее предпочтительным является процесс окисления углерода [3], то мягкая продувка, не способная развить объемное перемешивание масс, особенно в подфурменной области и отличающаяся отставанием в скорости окисления углерода по сравнению с более жесткой – одно сопловой, менее приемлема. Поведение других растворенных элементов, таких как кремний, марганец, сера и фосфор при обычной продувке (без тока) не имеет существенных различий для обоих типов фурмы. Это поясняется тем, что кремний и марганец относятся к разряду шлакообразующих элементов и имеют приоритет в очередности окисления, а после 6–7-й минуты процесс их перехода в шлак замедляется в связи с практически полным выгоранием кремния и оттоком кислорода на окисление углерода.

Следует отметить, что изменение жесткости дутья не влияет на время начала (8–9 мин) и максимального уровня развития процесса восстановления марганца из шлака в металл (12 минута), что на графиках (см. рис.1, 4) описывается характерным марганцовистым «горбом».

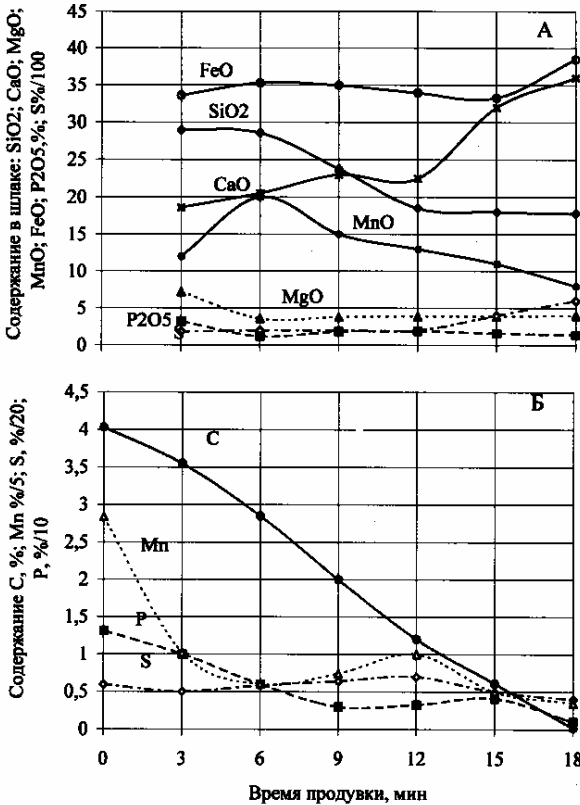


Рис.4. Изменение содержания элементов в шлаке (А) и в металле (Б) по ходу продувки плавки с использованием 3-х сопловой фурмы в 1,5-т конвертере без электрических воздействий.

Следует сказать, что положительная полярность характеризовалась большим уровнем восстановления марганца в металл при содержании углерода, соответственно для средне- и высокоуглеродистых марок стали.

Изменение

содержания марганца в металле по ходу продувки плавки по трем исследованным вариантам подтверждает большую силу воздействия электрического тока при увеличении электрической проводимости формируемого шлака, что характерно для отрицательной полярности на фурме.

При электрических воздействиях состав конвертерного шлака по ходу продувки существенно различался по вариантам опытных плавки. Содержание окислов железа в шлаке, уровень которых характеризует баланс кислорода между реагирующими фазами, носило переменный характер по периодам продувки. Положительная полярность на фурме приводила к снижению уровня содержания окислов железа в шлаке, понижая его жидкоподвижность, как бы осушивая шлак. В последнем случае некоторая

доля окислов железа, вероятно, восстанавливается в соответствии с электрохимической реакцией [4]:

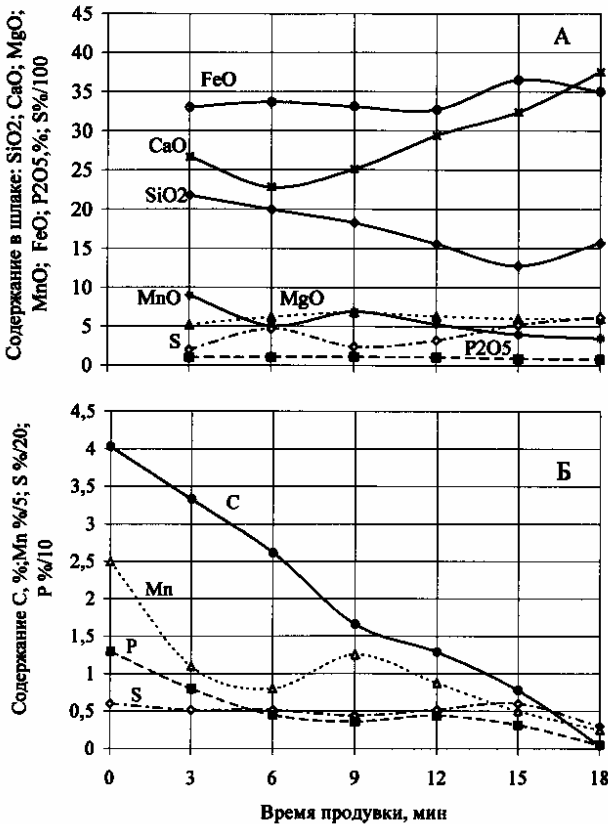
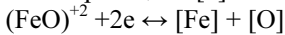


Рис.5. Изменение содержания элементов в шлаке (А) и в металле (Б) по ходу продувки плавки с использованием 3-х сопловых фурмы в 1,5-т конвертере с отрицательной полярностью потенциала.

Следовательно, можно предположить, что в вариантах с подводом положительной полярности потенциала к фурме можно ожидать смещение реакции в правую сторону со снижением окислительного потенциала шлака, а в случае подвода отрицательной полярности – в левую сторону, способствуя повышению концентрации FeO в шлаке при низком содержании кислорода в металле, что и было установлено в ходе проводимых экспериментов. Кроме этого, как следует из анализа кинетики процесса обезуглероживания и накопления в шлаке окислов железа по вариантам, отрицательная полярность потенциала тормозила процесс окисления углерода в начале продувки, что приводило к большему выносу окислов железа в шлаковый покров. В аналогичный период подвод положительной полярности тока ускорял процесс обезуглероживания, заметно понижая уровень поступления оксидов железа в шлак.

Заслуживает внимания рассмотрение поведения окислов кальция как показателя рафинировочной способности шлака, окислов кремния как элемента, определяющего стойкость футеровки и стабильность процесса и окислов железа, отражающих многие ведущие показатели процесса конвертирования металла.

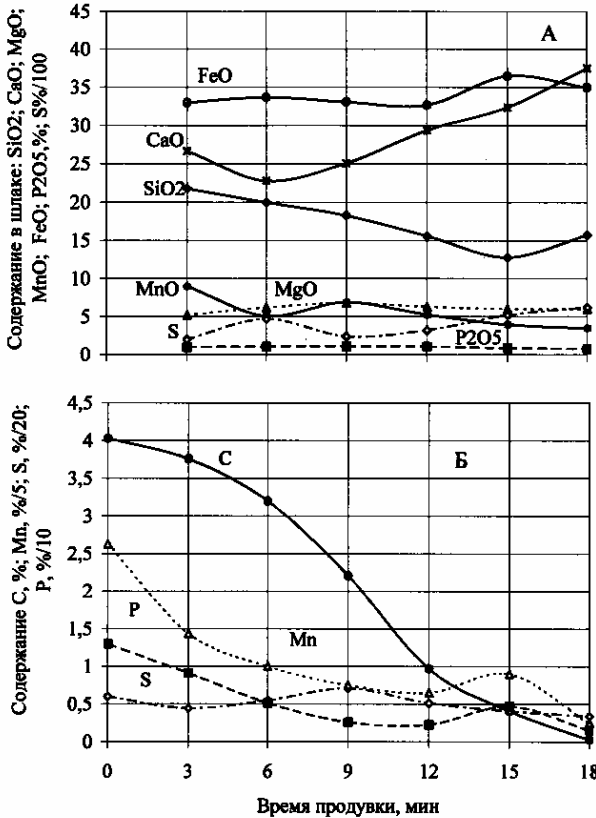


Рис.6. Изменение содержания элементов в шлаке (А) и в металле (Б) по ходу продувки плавки с использованием 3-х сопловой фурмы в 1,5-т конвертере с положительной полярностью потенциала.

При положительной полярности на начальном этапе продувки происходило быстрое наведение шлака с более высоким содержанием окислов кальция (порядка 30 % на 3-й мин продувки против 22 и 18 % на плавках с отрицательной полярностью и

соответственно), но к середине продувки наблюдалось обугливание шлака со снижением процентного содержания в нем CaO (порядка 24–25 % на 9-й минуте против 35 и 28 % на плавках с отрицательной полярностью и без тока соответственно). Изменение содержания окислов кремния в шлаке имело экстремальный характер с максимумом приблизительно на 9-й минуте на плавках с отрицательной полярностью и без тока, в то время как при положительной полярности прослеживалось снижение его содержания на всем протяжении плавки. Появление указанного максимума связа-

но с резким снижением содержания в шлаке окислов железа. При использовании положительной полярности в этом интервале не наблюдалось резких изменений по содержанию окислов железа и кремния, однако происходила перегруппировка между окислами кальция и магния, что, вероятно, было следствием перехода шлака из гомогенного в гетерогенное состояние.

Следует отметить, что противоположный характер в поведении отдельной окисляемой примеси при использовании электрических воздействий различной полярности присущ и процессу накопления окислов магния в шлаке. Например, содержание MgO в шлаке в интервале от 0 до 6 минуты при использовании отрицательной полярности снижалось, а на плавках с положительной полярностью отмечалось некоторое накопление его в шлаке с сохранением достигнутого уровня в течение достаточно большого периода плавки.

Что касается удаления серы, то установлено, что положительная полярность потенциала углубляет процессы очистки металла от нежелательной примеси в начале и в конце продувки плавки, а отрицательная – в середине продувки.

Влияние полярности потенциала на характер удаления фосфора из металла противоположен. Полученный эффект отражает помимо собственно электрической стороны протекающих процессов роль окислительного потенциала шлакового расплава в развитии процессов дефосфорации и десульфурации металла, для полноты протекания которых необходим либо высокий (в первом случае), реализуемый при отрицательной полярности, либо низкий (во втором случае), реализуемый при положительной полярности, уровень содержания окислов железа в покровном шлаке. При этом электрическое воздействие, способствующее снижению уровня накопления оксидов железа в шлаке по периодам плавки, приводило к более низким конечным значениям по содержанию серы в металле, и соответственно реакция сталеплавильной ванны на электрические воздействия, сопровождающаяся повышением уровня выносимых окислов железа в шлак, улучшала процесс удаления фосфора из металла.

Выводы.

Таким образом, в ходе исследований, проведенных в условиях 1,5–т конвертера, изучены основные закономерности влияния полярности подводимого низковольтного потенциала на динамику окисления примеси в течение плавки (поведение углерода, марганца, серы, фосфора, процесса накопления шлакообразующих окислов). Выявлено, что подведение к конвертерной ванне электрических воздействий определенным образом отразилось на перераспределении примесей между шлаком и металлом по ходу продувки. Результаты исследований хорошо коррелируют с данными, полученными в опытах на индукционной печи ИПС – 400 [5] по изучению ведущего процесса, сопровождающего выплавку металла – обезуглероживания и поведения выше указанных примесей в условиях

чередования полярностей подводимого тока. Подтвержден противоположный характер воздействия на направление окислительных реакций той или иной полярности потенциала при различном содержании углерода в металле.

1. *Разработка* и исследование технологии конвертерной плавки с применением электрических воздействий малой мощности / С.И.Семыкин, В.Ф. Поляков, Е.В. Семькина, А.Д.Зражевский, Ю.И. Коркодола, В.И. Пищида, Г.С. Свищев, В.Г. Резун, Г.Н. Штефан // Труды III конгресса сталеплавильщиков АО «Черметинформация», М:1996.–С.89–92.
2. *Промышленные* исследования применения электрической энергии малой мощности в конвертерах комбината «Криворожсталь»/ С.И. Семыкин, А.В. Кекух, В.И. Макаренко, А.Д. Сапсай, В.И. Хотюн // *Металлургическая и горнорудная промышленность*.–2004, № 6.– С.29–31.
3. *Эллиот Д.Ф., Глейзер М., Рамакришна В.* Термохимия сталепла-вильных процессов.–М.: Металлургия, 1969.
4. *Кудрин В.А.* *Металлургия стали.* Учебник для Вузов 2–е изд., перераб. и доп. – М.: Металлургия, 1989 – 560 с.
5. *Семыкин С.И., Поляков В.Ф., Семькина Е.В.* Исследование на лабораторной установке с двухсекционным тиглем особенностей поведения примесей в железоуглеродистых расплавах при чередовании полярности электрических воздействий // «Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии». – Киев: Наукова думка, 2003. – Вып. 6.– С.136–142.

Статья рекомендована к печати д.т.н., проф. В.Ф.Поляковым