

УДК 669.18.046.5

Казачков Е.А.¹, Климанчук В.В.²

ОКИСЛЕННОСТЬ КОНВЕРТЕРНОЙ ВАННЫ В КОНЦЕ ПЛАВКИ НИЗКОУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ

С помощью электрохимического метода определена активность кислорода $a_{[O]}$ в низкоуглеродистой стали в конце плавки в 160-т кислородном конвертере. Установлена зависимость $a_{[O]}$ от содержания углерода и температуры металла на выпуске из конвертера. Увеличение температуры на выпуске сопровождается ростом избыточного кислорода $\Delta[O]$ по сравнению с равновесием с углеродом.

В последние годы повышаются требования по снижению содержания неметаллических включений (НВ) в штрипсовых сталях, идущих на изготовление труб большого диаметра для магистральных газопроводов [1]. На степень загрязненности НВ низкоуглеродистых сталей класса прочности Х60, Х70 и Х80, выплавляемых в кислородных конвертерах, в числе других факторов, влияет окисленность металла на выпуске из конвертера [2 – 4]. В связи с промышленным производством зондов-активометров, в сталеплавильных цехах были проведены серии опытов по непосредственному определению активности кислорода в кислородно-конвертерных сталях [5 – 7 и др.]. Однако, в этих работах не рассматривалось влияние технологических факторов кислородно-конвертерной плавки на окисленность металла.

Цель данной работы: установить количественную связь между основными технологическими факторами плавки и активностью кислорода в конвертерной ванне в конце плавки низкоуглеродистой стали.

В связи с решением задачи получения минимального содержания НВ в толстых листах штрипсовой стали, значительное внимание было уделено окисленности металла на выпуске из кислородного конвертера. НВ оксидного характера являются продуктами раскисления стали. Чем выше содержание кислорода в стали на выпуске из конвертера, тем больше образуется продуктов раскисления в процессе взаимодействия кислорода, растворенного в жидкой стали, с вводимыми в металл элементами-раскислителями, главным образом, с алюминием. Эти продукты раскисления в значительной мере удаляются из стали в процессе выдержки металла в ковше и в результате обработки стали на АДС. Но часть продуктов раскисления остается в стали и фиксируются как НВ в готовом прокате.

Обработка данных опытных плавков показала определенную связь загрязненности толстых листов штрипсовых сталей категории Х60 – Х70 НВ с окисленностью стали в конце плавки в конвертере.

Измерение окисленности конвертерной ванны производили при выпуске плавки из 160-т конвертера, используя электрохимический метод определения активности растворенного в стали кислорода. Для этой цели использовали прибор Celox с измерительным устройством Multi-Lab. Последний представляет собой программируемый, основанный на микрокомпьютере, прибор с широкими измерительными возможностями.

Исследования окисленности конвертерной ванны в конце плавки проводили в условиях ККЦ ММК им. Ильича при выплавке штрипсовых марок сталей, которые используются для производства труб большого диаметра, предназначенных для магистральных трубопроводов.

¹ПГТУ, д-р техн. наук, проф.

²ОАО «ММК им. Ильича», канд. техн. наук

На рис. 1 показаны фактические результаты замеров окисленности конвертерной ванны в зависимости от содержания углерода в металле. На этом же графике нанесена равновесная кривая, отвечающая условиям равновесия реакции:

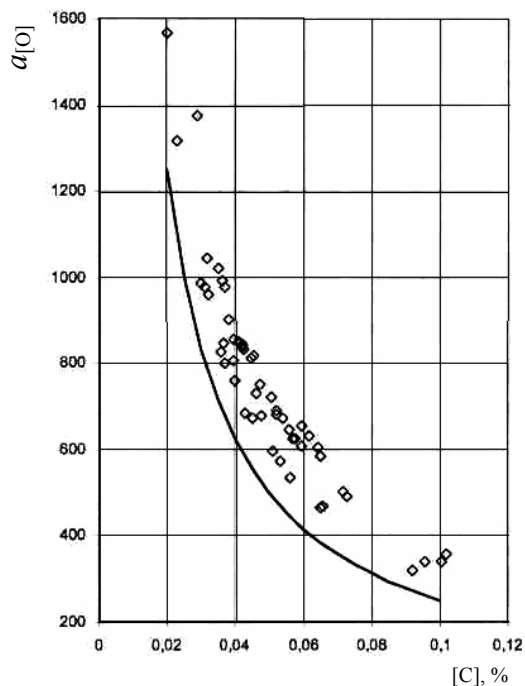


Рис. 1 – Фактическая активность и равновесное содержание кислорода при разном содержании углерода в конвертерной ванне в конце плавки:

- ◇ – экспериментальные данные об активности кислорода в стали;
- – равновесная кривая $[O]$
 $\text{ppm} = 25/[\%C]$



при $P_{CO} = 1$ атм и $T = 1650 - 1750^{\circ}C$. Как следует из графика рис. 1, во всем диапазоне характерных для конца конвертерной плавки концентраций углерода 0,02 – 0,10 %, имеет место избыточное значение активности растворенного кислорода по сравнению с равновесным значением.

Температура стали в конце плавки должна быть выше на 100 – 120 $^{\circ}C$ по сравнению с необходимой для разливки в связи с тем, что необходимо компенсировать потери тепла, связанные с внепечной обработкой (ТШС в ковше, продувка аргоном, обработка на АДС) и ковшевым легированием стали. Для этого необходимо «передувать» плавки до более низкого содержания углерода. Связь между содержанием углерода на повалке и температурой стали показана на рис. 2.

Получение более низкого содержания углерода (ниже 0,08 % C) приводит к значительному переокислению ванны (рис. 3). При этом избыток кислорода по сравнению с равновесным значением $\Delta[O] = a_{[O]} - [O]_{\text{равн}}$ растет с увеличением температуры (рис. 4).

Увеличение избытка кислорода по сравнению с равновесием с углеродом связано, вероятно, также с тем, что в конце плавки в кислородном конвертере существенно возрастает содержание FeO в конвертерном шлаке. Известно [8], что при низком содержании углерода в металле система металл – шлак приближается к равновесию со шлаком.

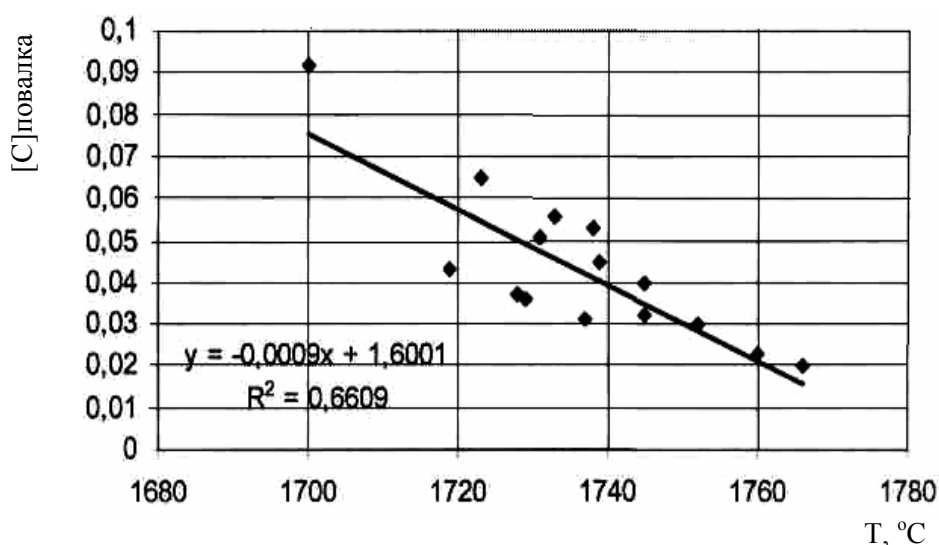


Рис. 2 – Связь между содержанием углерода на повалке и температурой стали

Высокое содержание кислорода в металле на выпуске из конвертера вызывает дополнительный угар раскислителей и приводит к росту загрязненности стали НВ.

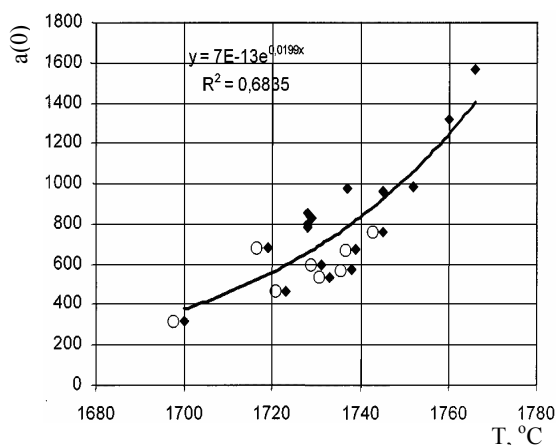


Рис. 3 – Зависимость активности кислорода в стали от температуры металла на выпуске из конвертера (содержание углерода: \circ – 0,02 – 0,04 %; \blacklozenge – 0,04 – 0,09 %).

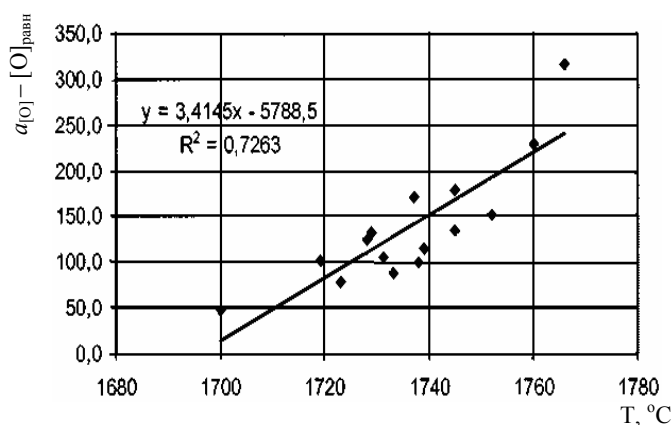


Рис. 4 – Влияние температуры на содержание в стали избыточного кислорода
 $\Delta[O] = a_{[O]} - [O]_{\text{равн}}$
 (содержание углерода 0,02 – 0,09 %)

Поэтому, для снижения загрязненности стали ответственного назначения НВ необходимо обеспечивать минимально необходимый перегрев стали перед выпуском ее из конвертера. Температура стали на повалке при выплавке низкоуглеродистых сталей (09Г2ФБ, 06Г2Б, 09Г2С, 10Г2ФБ, Х70, К60 и др.) должна быть в пределах 1710 – 1740 °С.

Выводы

1. На активность кислорода в металле в конце плавки низколегированной стали в кислородном конвертере, кроме содержания углерода, существенно влияет температура стали.
2. Увеличение температуры металла на выпуске плавки сопровождается ростом избыточного содержания кислорода по сравнению с равновесным с углеродом.
3. Для снижения содержания неметаллических включений в толстолистовом прокате необходимо избегать передуга металла в конвертере.

Перечень ссылок

1. Сталь для магистральных газопроводов / Ю.И. Матросов, Д.А. Литвиненко, С.А. Голованенко. – М.: Металлургия. – 1988. – 288 с.
2. Неметаллические включения в низколегированной трубной стали / О.Ф. Азбоола, Т.В. Морозова, С.В. Гошкодера и др. // Электromеталлургия. – 2004. – № 11. – С. 36 – 43.
3. Новые металлургические процессы и проблема неметаллических включений в стали / Е.Х. Шахпазов, А.И. Зайцев, С.Д. Зинченко и др. // Сталь. – 2005. – № 11. – С. 137 – 142.
4. Zhang I. State of the Art in Evaluation and Control of Steel Cleanliness / I. Zhang, B.G. Thomas // ISIJ International. – 2003. – № 3. – Vol. 43. – P. 271 – 291.
5. Плюшек В. Применение зондов-активаторов в сталеплавильных цехах / В. Плюшек // Черные металлы. – 1979. – № 8. – С. 17 – 24.
6. Использование кислородных зондов для контроля окисленности и процесса раскисления малоуглеродистой стали / А.Г. Свяжин, В.В. Рябов, Д.А. Романович и др. // Сталь. – 1996. – № 2. – С. 12 – 16.
7. Исследование окисленности стали в 350-т конвертерах / Г.С. Гальперин, А.К. Бученков, А.И. Александров, В.В. Болотников // Сталь. – 1996. – № 1. – С. 28 – 29.
8. Казачков Е.А. Окисленность металла при низком содержании углерода в ванне мартеновской печи / Е.А. Казачков // Физико-химические основы производства стали. – М.: Наука. – 1971. – С. 334 – 336.

Рецензент: Л.И. Тарасюк
 канд. техн. наук, доц., ПГТУ

Статья поступила 10.04.2008