

Определение окисленности полуспокойной конвертерной стали на различных этапах её производства*

Приведены сведения о результатах замеров окисленности стали при выплавке, раскислении и разливке. Ил. 13. Табл. 1. Библиогр.: 3 назв.

Ключевые слова: окисленность, кислородный конвертер, сталь, раскисление, разливка

Information is given on the results of measurements of oxidation of steel in the melting, casting and deoxidation.

Keywords: oxidation, oxygen converter steel deoxidation, casting

На заводе им. Петровского полуспокойную сталь выплавляют с 1961 г. В последние 10 лет она составляет 90 % сортамента кислородно-конвертерного цеха, причём подавляющее большинство составляет сталь марки Зпс. Сталь раскисляется в ковше силикомарганцем и ферромарганцем, с подрактилением чушковым алюминием.

После проведения исследований с июня 2011 г. началось широкомасштабное использование технологии частичного закупоривания слитков стали Зпс гранулированным алюминием в ходе разливки с расходом около 0,02 кг/т, при этом содержание кремния в стали поддерживали на уровне 0,05 % [1].

Основным критерием оптимальной раскисленности стали является её поведение в изложнице во время и после разливки. Металл при разливке должен не подкипать, а искрить после её окончания в течение 10-15 с с образованием ровной или слегка выпуклой поверхности.

Тем не менее, при выполнении всех условий, предусмотренных технологической инструкцией, в первом полугодии 2013 г. около 12 % плавок имели бугристую или рослую поверхность слитков. Очевидно, это связано с различным содержанием в стали остаточного кислорода, зависящим от многих факторов. Известно, что в полуспокойной стали оно должно изменяться в очень узких пределах, и быть близким к равновесному содержанию с углеродом [2].

Поскольку при прокатке на блюминге слитков с бугристой или рослой поверхностью имеет место повышенная сверхнормативная обрезь (СНО) необходимо было определить оптимальное содержание кислорода в стали, при котором этот недостаток сводится к минимуму.

В то время как кипящая сталь содержит сравнительно много кислорода (200 и более ppm), а спокойная мене 50 ppm, то в полуспокойной стали содержание кислорода должно находиться между этими значениями и быть оптимальным [3].

Измерения проводились с использованием измерительной системы «Селох», содержащей: датчик Селох; погружной зонд с внутренним компенсационным кабелем; внешний кабель, соединяющий зонд с прибором Multi-Lab; прибор Multi-Lab III Celox.

* В работе принимали участие: Васильев Д.П., Горбенко Ю.Г., Шпак В.И., Кравченко В.Е., Воронин Д.В., Вышинский С.В.

В первом полугодии 2013 г. было проведено 4 серии замеров активности a_o кислорода в стали на различных этапах её производства: 68 замеров - в конвертере, 58 замеров - в ковше после подачи раскислителей и 17 - в изложнице. Результаты замеров показаны на рисунках 1-13. Приведенные данные относятся к стали ЗПС и S235JR (аналог ЗПС). Датчики активности кислорода в жидкой стали позволяют определять содержание свободного несвязанного (активного) кислорода.

На рис. 1-3 показаны зависимости a_o от содержания углерода и марганца на повалке перед выпуском стали из конвертера и её температуры в этот момент. Видно, что с понижением содержаний углерода и марганца в стали, а также с повышением её температуры активность кислорода растёт, что соответствует другим работам [2].

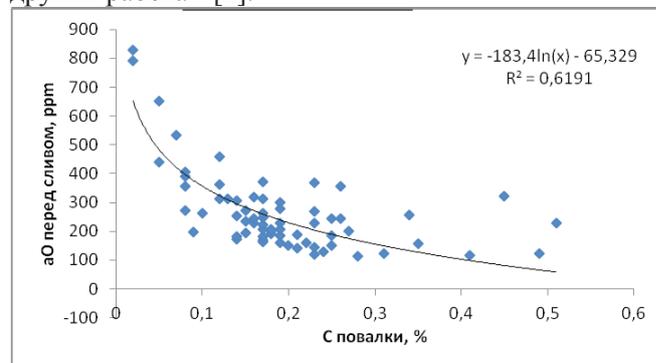


Рис. 1. Зависимость активности кислорода в стали от содержания углерода на повалке

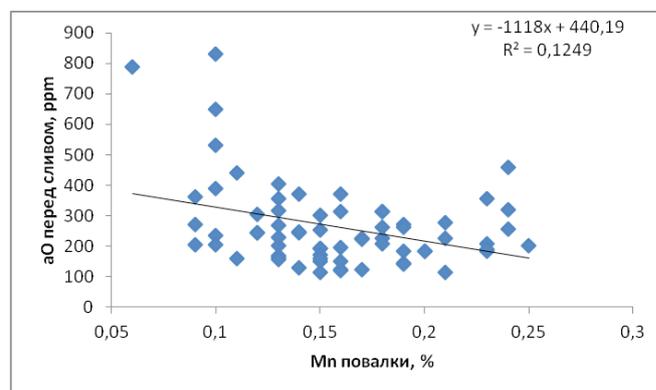


Рис. 2. Зависимость активности кислорода в стали от содержания марганца на повалке

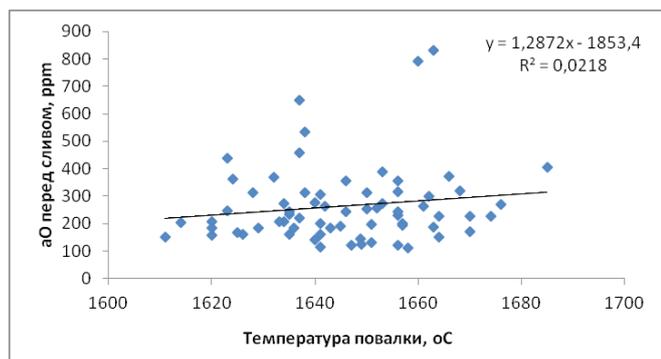


Рис. 3. Зависимость активности кислорода в стали от её температуры на повалке

В соответствии с реакцией $[C] + [O] \rightarrow \{CO\}$; (1)

$$K_{c-o} = \frac{P_{CO}}{a_c a_o} \quad (2)$$

зависимость на рис. 1 должна иметь вид

$$a_o = p_{CO} / K_{c-o} * a_c \approx p_{CO} / K_{c-o} [C]; \quad (3)$$

$$\text{или } \ln a_o = \ln p_{CO} - \ln K_{c-o} - \ln [C]. \quad (4)$$

Другой характер зависимости выбран авторами из условия максимально возможной тесноты связи между значениями параметров, указанных на осях рисунка.

Для рис. 2 изменение a_o с изменением содержания [Mn] вызвано реакцией



константа равновесия которой

$$K_{Mn-o} = \frac{a_{MnO}}{a_{Mn} a_o}, \quad (6)$$

откуда

$$a_o = \frac{a_{MnO}}{K_{Mn-o} a_{Mn}}. \quad (7)$$

На такой характер зависимости, в частности, указывают и выпадения точек значений a_o при [Mn] 0,1 %.

Так как для реакции (1)

$$\lg K_{c-o} = \frac{1160}{T} + 2,0, \quad (8)$$

то с ростом температуры стали K_{c-o} уменьшается и, следовательно, a_o должна расти, что и наблюдается на рис. 3.

На рис. 4-7 показано влияние различных факторов на a_o в стали после присадки в ковш раскислителей.

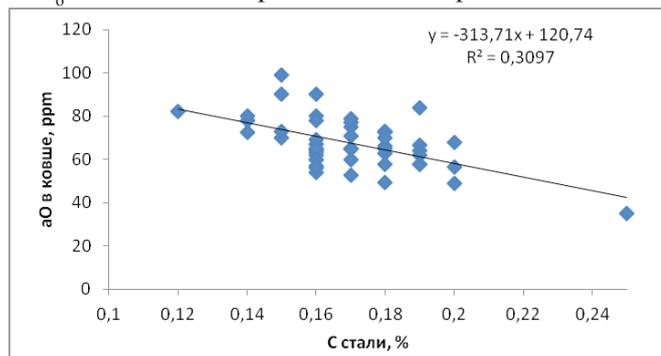


Рис. 4. Зависимость активности кислорода от содержания углерода в раскисленной стали

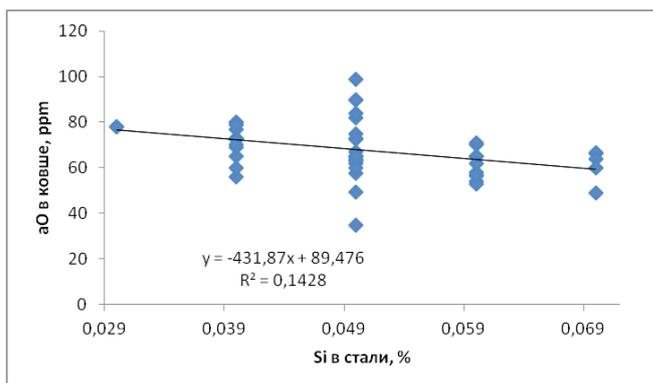


Рис. 5. Зависимость активности кислорода от содержания кремния в раскисленной стали

Алюминий чушковый присаживается в ковш, как правило, по окончанию ввода других раскислителей. Обычно усвоение алюминия сталью при такой технологии составляет около 50 %, что соответствует степени его влияния на a_o (рис. 6).

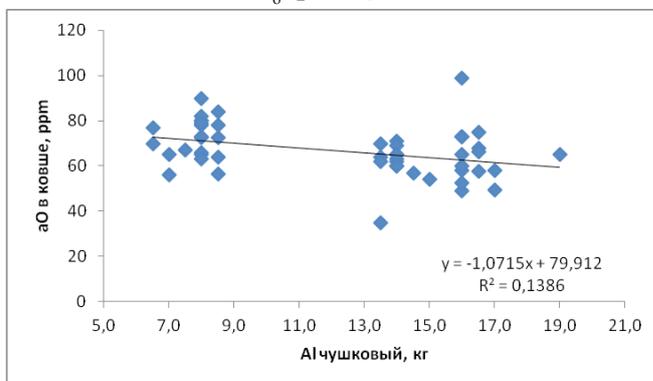


Рис. 6. Зависимость активности кислорода в стали от массы присаженного в ковш алюминия чушкового

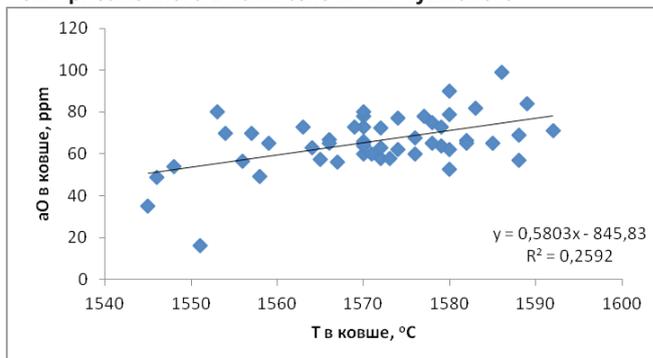


Рис. 7. Зависимость активности кислорода в стали от её температуры в ковше

На рис. 8-12 показано влияние некоторых факторов на окисленность стали во время её разливки в изложницы сверху и сифоном. Из-за небольшого количества замеров (17) эти данные носят ориентировочный характер, тем не менее, они дают основание для следующих предположений. Уменьшение содержания углерода в стали приводит к повышению её окисленности при обоих способах разливки (рис. 8). Если при разливке стали сверху влияние на a_o содержание кремния (рис. 9), марганца (рис. 10) и температуры (рис. 11) объяснимо, то при разливке сифоном эти же факторы оказывают противоположное влияние. Воз-

можно, это связано с различиями технологии присадок гранулированного алюминия: при разливке сифоном – в центровую, при разливке сверху в изложницу.

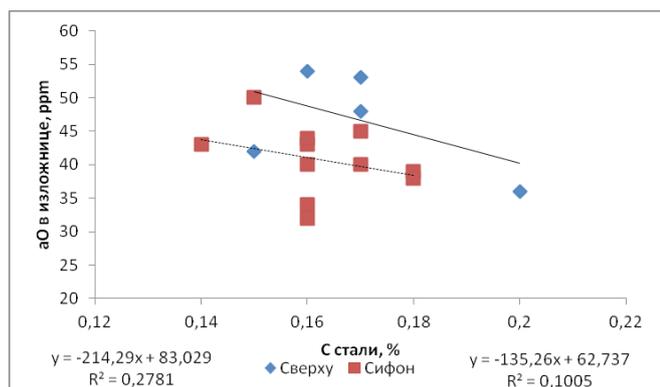


Рис. 8. Зависимость активности кислорода в стали в изложнице от содержания углерода

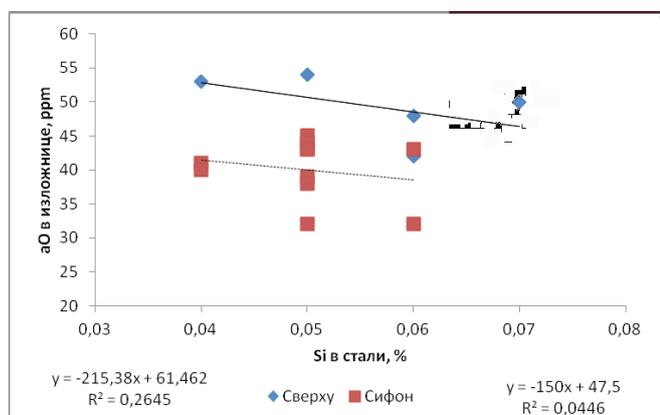


Рис. 9. Зависимость активности кислорода в стали в изложнице от содержания кремния

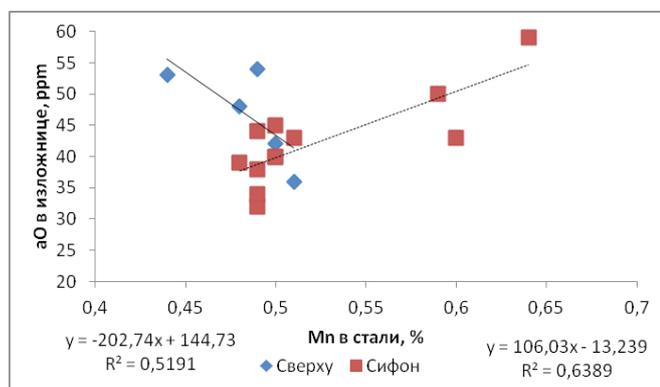


Рис. 10. Зависимость активности кислорода в стали в изложнице от содержания марганца

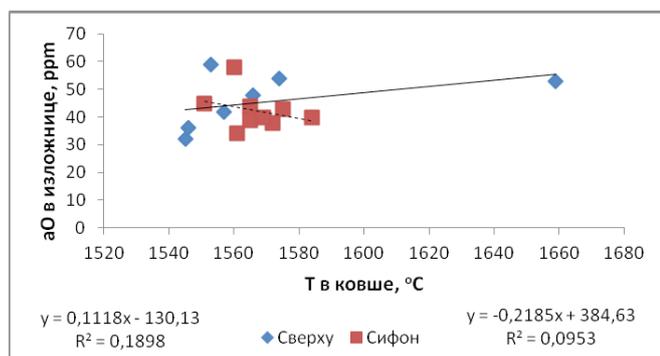


Рис. 11. Зависимость окисленности стали в изложнице от температуры в ковше

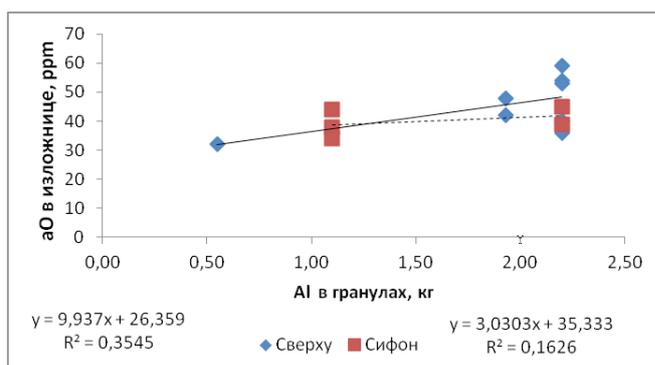
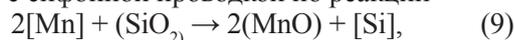


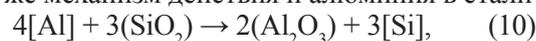
Рис. 12. Зависимость окисленности стали в изложнице от массы присаженного алюминия гранулированного

При сифонной разливке также идёт взаимодействие стали с сифонной проводкой по реакции



усиливающееся с ростом температуры, а образующийся оксид марганца ошлаковывает огнеупор с образованием неметаллических включений (НВ), являющихся источником кислорода.

Такой же механизм действия и алюминия в стали



чем и объясняется зависимость, представленная на рис. 12.

Наибольшее влияние на окисленность стали оказывает содержание углерода (рис. 4) и кремния (рис. 5). Алюминий принято считать сильным раскислителем, однако в данном случае он слабее снижает окисленность стали, чем следовало ожидать (рис. 6). Это может быть только в том случае, когда источником окисления алюминия является не только растворенный в металле кислород, но кислород атмосферы и НВ. По этой причине рис. 6 и 12 следует рассматривать совместно. Данный факт требует уточнения, прежде всего, с точки зрения момента и места присадки алюминия в ковш при выпуске стали.

Увеличение температуры стали в ковше так же, как и на повалке, способствует росту a_o (рис. 8).

Замечено, что в некоторых случаях во время выдержки стали перед разливкой в ковше на стенде величина a_o уменьшается, что может быть связано со снижением температуры (см. выше).

Средняя величина a_o в изложнице примерно в 1,4 раза меньше чем в ковше. Установить динамику её изменения в ходе разливки не удалось, тогда как, при выдержке в ковше она уменьшалась со скоростью около 1,3 ppm/мин.

Можно предположить, что окисленность стали от ковша к изложнице снижается из-за продолжающегося усвоения ферросплавов, однако отборы проб стали в начале, середине и конце разливки с последующим анализом их химического состава показали полную идентичность последнего, что позволяет говорить об усвоении ферросплавов до начала разливки. Причина снижения окисленности, очевидно, в том, что при более медленной сифонной разливке увеличивается количество всплывших НВ, что уменьшает a_o , то же самое происходит и при выдержке стали в ковше. Всплывание НВ сдвигает процесс $\text{Э}_x \text{O}_y \leftrightarrow x\text{Э} + y\text{O}$

СТАЛЕПЛАВИЛЬНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

влево (Э – Mn, Si, Al...), за счёт чего наблюдается тенденция к снижению брака (рис. 13).

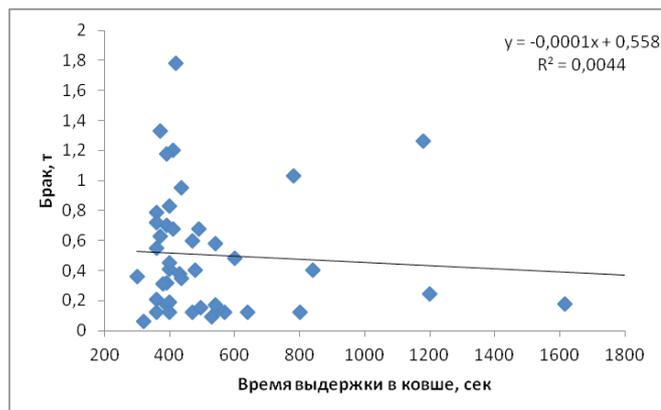


Рис. 13. Влияние продолжительности выдержки стали в ковше на СНО и брак 1-го передела

После прокатки 58 плавков, на которых была измерена активность кислорода в жидкой стали в ковше перед разливкой, была сделана выборка данных о сверхнормативной обрезе на ПГН блюминга, результаты которой представлены в таблице.

Таблица. Зависимость между активностью кислорода в стали и величиной сверхнормативной обрезе в прокате

Показатели \ a_o , ppm	≤ 50	51-80	> 80
Количество плавков, шт.	8	46	4
Доля от общего количества плавков, %	13,8	79,3	6,9
Показатели СНО, т/пл. (%)	0,35 (0,59)	0,22 (0,37)	0,45 (0,76)
В том числе:			
Рванина, т/пл. (%);	0,35 (0,59)	0,19 (0,32)	0,36 (0,61)
Расслой, т/пл. (%);	-	0,01 (0,02)	0,09 (0,15)
Усадка, т/пл. (%)	-	0,02 (0,03)	-

Повышение СНО на плавках с $a_o \leq 50$ ppm, очевидно, связано с перераскисленностью стали, а при $a_o \geq 90$ ppm с её недораскисленностью. Таким образом, существует оптимальная окисленность стали 50-80 ppm с минимизацией брака, что обычно характерно для полуспокойной стали. Использование исследованного метода контроля её окисленности позволит в дальнейшем регулировать степень раскисленности, поддерживая её величину на оптимальном уровне.

Результаты замеров окисленности стали могут дать наибольший эффект при продувке металла в ковше аргоном или азотом.

Выводы

1. В условиях ККЦ завода им. Петровского наиболее сильное влияние на окисленность стали типа ЗПС оказывают содержания в ней углерода и температура.
2. Усвоение ферросплавов в ковше к моменту начала разливки полностью завершается.
3. Для условий ККЦ оптимальной окисленностью стали в ковше после дачи ферросплавов можно считать 50-80 ppm.

Библиографический список

1. Заспенко А.С., Онацкий С.М., Шибко А.В. и др. Частичное закупоривание полуспокойной конвертерной стали // *Металлург. и горноруд. пром-сть.* – 2011. - № 6 – С. 6-7.
2. Явойский В.И., Лузгин В.П., Вишкарёв А.Ф. Окисленность стали и методы её контроля. – М.: *Металлургия*, 1970. – 288 с.
3. Меджибожский М.Я. Основы термодинамики и кинетики сталеплавильных процессов. – К.-Донецк: *Вища школа*, 1986. – 280 с.

Поступила 25.09.2013

**В РЕДАКЦИИ МОЖНО ЗАКАЗАТЬ ЭЛЕКТРОННУЮ
ВЕРСИЮ ЖУРНАЛА**

**стоимость электронного варианта - 288 грн.,
стоимость печатного варианта - 430 грн.**

контактный телефон, факс 0562-46-12-95