

УДК 669. 184. 135

©Бондарь В.И.¹, Костыря И.Н.², Малов М.М.³**ИССЛЕДОВАНИЕ ОКИСЛЕННОСТИ РАСПЛАВА В КИСЛОРОДНЫХ КОНВЕРТЕРАХ С ЦЕЛЮ КОНТРОЛЯ ЕГО СОСТАВА И МОМЕНТА ОКОНЧАНИЯ ПРОДУВКИ**

Приведены результаты исследования окисленности расплава в условиях его кислородного конвертирования в 350 т кислородных конвертерах с верхней и в 300 т конвертере с комбинированной продувкой и ее связи с химическим составом расплава.

Ключевые слова: сталь, конвертер, кислородный зонд, активность кислорода, химический состав, статистическая модель.

Бондар В.І., Костиря І.М., Малов М.М. Дослідження окисненості розплаву в кисневих конвертерах з ціллю встановлення його складу та моменту завершення продувки. Наведено результати дослідження окисненості розплаву в умовах його кисневої конвертації в 350 т кисневих конвертерах з верхньою і в 300 т конвертері з комбінованим продуванням і її зв'язку з хімічним складом розплаву.

Ключові слова: сталь, конвертер, кисневий зонд, активність кисню, хімічний склад, статистична модель.

V.I. Bondar, I.M. Kostyria, M.M. Malov. Research of oxidation of the melt in oxygen converters with the purpose of established of his composition and moment of completion of blowing out. Results of investigating the oxidation of the melt in the conditions of oxygen to convert to 350 tones of oxygen converters with the upper and 300 tons of Converter with combined blowing, and her relationship with the chemical composition of the melt.

Keywords: steel, converter, oxygen probe, activity of oxygen, chemical composition, statistical model.

Постановка проблемы. В связи с трудностями определения окончания процесса продувки на среднеуглеродистый металл в последнее время широкое распространение получила технология продувки конвертерной ванны до низких содержаний углерода с последующим науглероживанием металла в ковше.

Применяемые методы химического анализа проб металла на содержание основных элементов обладают рядом существенных недостатков, среди которых: большая длительность анализа; использование в ряде случаев сложного и дорогостоящего оборудования; плохая сопоставимость результатов анализов, выполненных различными методами и др. Основным недостатком является длительность определения химического состава, и в результате – невозможность использования получаемых данных для оперативного вмешательства в технологический процесс с целью проведения его по оптимальному варианту в режиме реального времени.

В условиях кислородно-конвертерного цеха ПАО «ММК «Азовсталь» отбор пробы и измерение температуры термопарой совместно с ожиданием результата спектрального анализа требует до 10 мин. времени. Для исключения таких временных затрат необходим эффективный контроль состава и температуры расплава, а также методика определения момента окончания продувки при требуемом содержании углерода. В этой связи большие перспективы для контроля и управления металлургическими процессами предоставляет метод электродвижущих сил (ЭДС), реализованный в виде высокотемпературных концентрационных кислородных элементов (ККЭ). Преимуществами применения кислородных зондов, в основе которых лежат ККЭ является возможность определения активности кислорода (a_O). В этой связи практический

¹ канд. техн. наук, доцент, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

² инженер, ИТЦ, ПАО «ММК «Азовсталь», г. Мариуполь

³ инженер, ПАО «ММК «Азовсталь», г. Мариуполь

интерес вызывает оценка возможности использования сведений об окисленности расплава для контроля его состава и температуры с целью определения момента завершения процесса кислородного конвертирования.

Анализ последних исследований и публикаций. Кислород является основным элементом, определяющим термодинамику процессов, протекающих при производстве стали, начиная от её выплавки и заканчивая превращениями, протекающими в твердом металле. Большинство сведений об изменении окисленности металла и шлака были получены по результатам анализа проб, отобранных на промежуточных повалках. Это вносит определенные изменения в ход процесса и нарушает реальную картину. В последние годы в периодической зарубежной литературе неоднократно сообщалось об определении содержания углерода [C] в кислородных конвертерах на повалке при помощи кислородных зондов [1-4]. Проведенные на Западно-Сибирском металлургическом комбинате исследования окисленности стали, выплавляемой в конвертерах, с помощью УКОС-1 [1] показали, что широкий сортамент выплавляемого металла, применение различных типов теплоносителей, предопределяют значительные колебания активности кислорода от плавки к плавке.

Было установлено, что амплитуда колебаний ЭДС активометра зависит от содержания углерода в металле на повалке и закиси железа в конвертерном шлаке. При этом с увеличением концентрации углерода амплитуда пульсации ЭДС значительно повышается и слабо зависит от окисленности шлака. Наиболее стабильные значения окисленности металла были получены при $< 0,06$ % (масс.) * углерода. Поэтому при расчете активности кислорода в металле принимали наибольшее значение ЭДС активометра.

Авторы работы [2] утверждают, что нашли применение кислородным зондам при управлении процессом легирования коррозионностойкой стали титаном. Для определения окисленности металла по ходу плавки, внепечной обработки и разливки стали были использованы датчики УКОС-1.

Результаты исследований показали возможность улучшения технологии легирования стали. При этом перед выпуском металла из печи определяют содержание углерода в металле, измеряют активность кислорода, температуру. С учетом фактического состава металла рассчитывают необходимое содержание титана и массу присадок титаносодержащих материалов.

Отклонения расчетных значений степени усвоения титана, определяемой по окисленности расплава от фактических, не превышают 3 %; при этом получают металл с заданным содержанием титана $[Ti]_{\phi} - [Ti]_{p} = \pm (0,01-0,03)$ %.

Контроль окисленности металла с помощью датчиков УКОС-1 в процессе производства титаносодержащей стали позволил определить причины непостоянства потерь титана. Использование этой дополнительной информации и предложенное на ее основе усовершенствование способа защиты металла от взаимодействия с атмосферой в процессе непрерывной разливки позволяют получать коррозионностойкую сталь достаточно стабильного химического состава при улучшении состояния поверхности литых заготовок.

Авторы [3] для изучения динамики окисленности металла провели опытные плавки стали 08Ю и 08пс. При этом контролировали температуру расплава, активность кислорода и состав расплава и шлака в ковше в период раскисления, внепечной обработки и разливки. Окисленность металла измеряли зондами УКОС-1.

Содержание растворенного в металле кислорода определяли по результатам измерения его активности и расчета коэффициента активности с использованием аппарата параметров взаимодействия. Количество кислорода, связанного в неметаллические включения, определяли по разности между общим его содержанием (данным химического анализа) и содержанием в растворе (результатам измерения активности). В результате, использование кислородных зондов позволило контролировать окисленность малоуглеродистой стали, управлять процессом раскисления, экономить раскислители, давать информацию о глубине рафинирования стали от неметаллических включений.

Авторы [4] провели исследования по улучшению качества кипящей и полуспокойной стали, которая из-за значительного брака в прокатном переделе – наиболее проблемная в сортаменте конвертерного цеха ОАО «Мечел». Основная причина возникновения дефектов заклю-

* Здесь и далее проценты массовые.

чается в нестабильной окисленности и вследствие этого – в больших колебаниях активности кислорода в металле. При прокатке недостаточно раскисленного металла на поверхности образуются грубые дефекты в виде рванин, а деформация слитков перераскисленной стали сопровождается расслоением заготовок. Для улучшения качества стали, стабилизации ее окисленности опробовали присадки алюминия и продувку металла в ковше нейтральным газом. Исследование проводили на сталях Св-08А, Ст1кп, Ст3кп, Ст3пс и Ст5пс. После выпуска металла из конвертера измеряли его окисленность и температуру в ковше с помощью сменного блока БС-4-1200 УКОС-ТЗ и регистрирующего прибора «Сталь-4», а также отбирали пробы для химического анализа. Установив по данным отбраковки оптимальные пределы активности кислорода, в дальнейшем перед разливкой металла корректировали окисленность, доводя ее до требуемого уровня присадкой алюминиевой проволоки, а также продувкой инертным газом.

Представленная информация послужила основанием выбора направления исследования – изучение возможности управления процессом кислородного конвертирования на базе сведений об окисленности металлического расплава, полученных с использованием ККЭ.

Цель статьи – Установление количественной связи между активностью кислорода, определяемой с помощью ККЭ, составом расплава и его температурой; определение момента окончания продувки в кислородных конвертерах с комбинированной и верхней продувкой на основе установленных взаимосвязей.

Изложение основного материала. В предлагаемой работе приводятся результаты исследований, выполненных в условиях ККЦ ПАТ «ММК «Азовсталь» и связанных с установлением взаимосвязи активности кислорода в металлическом расплаве, с его химическим составом и температурой.

Для проведения исследования на наличие статистических зависимостей между составом, температурой расплава и активностью растворенного в нем кислорода были отобраны три массива исходных данных, полученных при помощи кислородных зондов. Первый массив данных, представленный авторами работы [5], относится к 300-т кислородному конвертеру завода «КрупнШталь» в Рейнхаузене (Германия) с донной продувкой и представляет собой результаты замера активности кислорода и анализ отобранных при помощи фурмы зонда проб на 51 опытной плавке.

В сортамент выплавляемых сталей завода «КрупнШталь» входят динамные стали, стали для глубокой вытяжки, нелегированные конструкционные, улучшаемые, микролегированные и рельсовые стали. На опытных плавках в конвертере выплавляли полупродукт, состав которого приведен в таблице.

Таблица

Состав расплава опытных плавках завода «КрупнШталь»

[C], %	[Mn], %	[P], %	[S], %
0,039 – 0,68	0,09 – 0,42	0,008 – 0,083	0,012 – 0,039

Второй и третий массивы данных относились к первому и второму 350-т кислородным конвертерам ПАО «ММК «Азовсталь» (Украина) с верхней продувкой и представляют собой результаты замера температуры расплава термопарой, активности кислорода зондом «Celox» и состава расплава, полученный спектральным анализом на 172 и 113 промышленных плавках соответственно. В исходных массивах представлены несколько марок малоуглеродистых низколегированных сталей. Химический состав чугуна, используемый для конвертирования во всех случаях, соответствовал, %: кремний от 0,60 до 0,90; марганец, от 0,40 до 0,70; сера, не более 0,02; фосфор, не более 0,08.

На заводе «КрупнШталь» было проведено 51 измерение с использованием двух фурм-зондов, различных по конструкции – фурмы-зонда ТСП типа I для измерения температуры и отбора пробы на содержание углерода путем измерения активности кислорода («Кольб-ферротрон») и фурмы-зонда ТР для измерения температуры и отбора пробы («Ферротрон»).

В зондах обоих типов использована одна и та же измерительная ячейка (ZrO_2 , MgO стабилизированная эталонной смесью Cr/Cr_2O_3). Контакт с ванной осуществляется при помощи молибденового кермета или молибденового штифта.

Измерение активности кислорода и одновременный отбор пробы в процессе продувки конвертера проводились в первых опытах в тот момент, когда было продуту 90 % всего вдуваемого кислорода. Удельное количество вдуваемого кислорода было уменьшено до 500 м³/мин по сравнению с обычным ходом плавки за 25 с до момента погружения фурмы-зонда, время погружения которой составило 6 с. Сигналы измерительной ячейки зонда оценивались с помощью микропроцессорной техники. Проба, отобранная фурмой-зондом, анализировалась на содержание С, Mn, P и S.

При помощи фурм-зондов ТСП и ТР было проведено 60 замеров, 51 из которых (85 %) дал положительные результаты. Ошибочными были 5 результатов, в четырех случаях зонды были неправильно вмонтированы в фурмы. Результаты измерений, выполненных зондами обоих типов, были практически одинаковыми. В 53 опытах (88 %) была проведена автоматическая оценка результатов измерений. Быстродействие измерительного элемента (6 с) оказалось вполне удовлетворительным.

Окисленность расплава в условиях ПАТ «ММК «Азовсталь» измерялась датчиком прибора «Celox», состоящего из 2-х частей: электрохимического элемента для измерения ЭДС и Pt–Rh термопары для измерения температуры. В качестве вторичного прибора применяется программируемый, основанный на микрокомпьютере, прибор «Multi–Lab».

Расчетные формулы:

$$\lg a_{O} = 1,34 + 0,0059 \cdot [E + 0,54 \cdot (t - 1550) + 0,0002 \cdot E(t - 1550)], \quad (1)$$

где a_{O} – активность кислорода в стали, ppm;
 E – электродвижущая сила элемента, мВ;
 t – температура жидкой стали, °С.

$$\lg [C] = 2,236 - \frac{1303}{t} - \lg a_{O}, \quad (2)$$

где $[C]$ – содержание углерода, %;
 t – температура, °С;
 a_{O} – активность кислорода в жидкой стали, ppm.

Формулы (1) и (2) являются стандартными для прибора «Multi–Lab», однако некоторая неточность числовых коэффициентов вместе с несовершенством существующей на ПАО «ММК «Азовсталь» технологией замера окисленности приводит к существенному колебанию расчетных значений a_{O} , $[C]$ и количества алюминия для раскисления.

На первой повалке конвертера производилось измерение температуры термопарой погружения и отбор пробы металла для спектрального анализа. Измерение температуры и отбор пробы совместно с ожиданием результата анализа требуют около 10 минут времени.

Измерение датчиком прибора «Celox» производилось на последней повалке конвертера, что давало возможность пересчитать измеренную активность кислорода расплава к моменту выпуска на содержание углерода и рекомендуемый расход алюминия на раскисление и легирование.

Анализ массивов исходных данных проводился при помощи программного обеспечения StatSoft STATISTICA v.6.0. Все элементы массива – $[C]$, $[Mn]$, $[P]$, $[S]$, $[N]$ и температура расплава рассматривались как переменные, относительно активности кислорода a_{O} в расплаве.

Целью анализа массивов данных является нахождение регрессионных уравнений для пар переменных, корреляция между которыми будет значима при общепринятом уровне значимости $p = 0,05$.

Интерес для исследования представляют следующие взаимосвязи:

$$[C] = f(\lg a_{O}), \quad [Mn] = f(\lg a_{O}), \quad [P] = f(\lg a_{O}), \quad [S] = f(\lg a_{O}).$$

Зависимость между температурой расплава в конце продувки (90%) и другими переменными, вопреки теоретическим предположениям, незначительна. Уравнение прямой регрессии, которая описывает зависимость $[C] = f(\lg a_{O})$ имеет вид:

$$[C] = 1,5122 - 0,5512 \cdot \lg a_{O}; \quad r = -0,9239. \quad (3)$$

Коэффициент парной корреляции для этой зависимости значим при $p < 0,05$ и весьма высок. Его отрицательное значение говорит о том, что активность растворенного в металле кислорода обратно пропорциональна содержанию в нем углерода.

Коэффициент детерминации для этого уравнения равен $R^2_{[C]} = 0,8536$, что говорит о тес-

ноте связи $[C] = f(lga_o)$, достаточной для того, чтобы применять уравнение (3) для расчета содержания углерода в расплаве по его окисленности, с незначительной долей погрешности.

При статистическом анализе зависимости $[Mn] = f(lga_o)$ в расплаве при донной продувке для имеющейся выборки было получено следующее уравнение линейной регрессии:

$$[Mn] = 0,3895 - 0,0758 \cdot lga_o. \quad r = -0,4110. \quad (4)$$

Коэффициент парной корреляции для этой зависимости значим при $p < 0,05$, однако, является достаточно низким, что может привести к значительным погрешностям в расчетах $[Mn]$ в конце продувки по этому уравнению. Еще более низкий коэффициент детерминации ($R^2_{[Mn]} = 0,1689$) говорит о слабой связи $[Mn] = f(lga_o)$.

Зависимость $[P] = f(lga_o)$ описывает уравнение линейной регрессии (5).

$$[P] = 0,1135 - 0,0356 \cdot lga_o. \quad r = -0,6177. \quad (5)$$

Коэффициент парной корреляции для этой зависимости значим при $p < 0,05$ и является относительно высоким, что можно объяснить наличием благоприятных условий в конвертере с донной продувкой для протекания реакции дефосфорации, а именно – интенсивного перемешивания ванны. Коэффициент детерминации равен $R^2_{[P]} = 0,3815$.

Конвертерный цех ПАО «ММК «Азовсталь» имеет в своем составе два конвертера емкостью 350 тонн каждый. Для каждого конвертера рассматривался массив данных объемом 172 промышленных плавки для конвертера №1 и 113 для конвертера №2. При этом, кроме собственно анализа статистических зависимостей между содержанием элементов и активностью кислорода (окисленностью) расплава определенным интерес представляет отклонение полученных результатов для первого и второго конвертера. Методика анализа данных аналогична вышеизложенной. Связь между температурой и содержанием элементов в расплаве практически отсутствует. Взаимосвязь $[N] = f(lga_o)$ практически отсутствует, вследствие применения высококислородного дутья и минимального диапазона изменений содержания азота в обоих массивах.

Для конвертера №1 были получены следующие уравнения регрессии:

$$[C] = 0,2931 + 0,0848 \cdot lga_o; \quad r = -0,8328; \quad R^2 = 0,6935; \quad (6)$$

$$[Mn] = 0,6190 + 0,1669 \cdot lga_o; \quad r = -0,8328; \quad R^2 = 0,2586; \quad (7)$$

$$[P] = 0,0124 - 0,0017 \cdot lga_o; \quad r = -0,1180; \quad R^2 = 0,0139; \quad (8)$$

$$[S] = 0,0040 - 0,0048 \cdot lga_o; \quad r = 0,0820; \quad R^2 = 0,0067; \quad (9)$$

$$[N] = -0,0176 - 0,0084 \cdot lga_o; \quad r = 0,1361; \quad R^2 = 0,0185. \quad (10)$$

Уравнения регрессии для конвертера №2:

$$[C] = 0,2949 + 0,0867 \cdot lga_o; \quad r = -0,8111; \quad R^2 = 0,6578; \quad (11)$$

$$[Mn] = 0,7496 + 0,2143 \cdot lga_o; \quad r = -0,6414; \quad R^2 = 0,4114; \quad (12)$$

$$[P] = 0,0012 - 0,0022 \cdot lga_o; \quad r = 0,1373; \quad R^2 = 0,0188; \quad (13)$$

$$[S] = -0,0379 - 0,0190 \cdot lga_o; \quad r = 0,3201; \quad R^2 = 0,1024; \quad (14)$$

$$[N] = -0,0041 - 0,0007 \cdot lga_o; \quad r = 0,0641; \quad R^2 = 0,0041. \quad (15)$$

Характерным для этих уравнений является практически полное отсутствие зависимостей $[P]=f(lga_o)$, $[S]=f(lga_o)$ и $[N]=f(lga_o)$ по сравнению с конвертером с донной продувкой. Для конвертера №1 значимыми оказались только коэффициенты уравнений (6, 7) то есть достаточно тесная связь с активностью кислорода наблюдается только для углерода и марганца. Для конвертера №2 значимы коэффициенты уравнений (11, 12, 14). Наблюдается относительная теснота связи серы с активностью кислорода, но коэффициент детерминации ($R^2 = 0,0139$) низкий, что говорит о наличии неучтенных факторов и ставит под сомнение возможность применения данного уравнения для расчетов $[S]$.

О наличии дополнительных, неучтенных факторов также свидетельствует различия в соответствующих уравнениях регрессии для первого и второго конвертеров.

По имеющимся данным есть возможность оценить взаимосвязь показаний Celox и термпары с целью оценки эффективности определения температуры комбинированным зондом.

Уравнения регрессии имеют следующий вид для 1 и 2 конвертера соответственно:

$$T_{EN} = 263,16 + 0,8457 \cdot T_{Clx}, \quad r = 0,8762, \quad (16)$$

$$T_{EN} = 209,37 + 0,8760 \cdot T_{Clx}, \quad r = 0,8305, \quad (17)$$

где T_{EN} – показания термопары; T_{Clx} – показания Celox.

С учетом поправок, (16) и (17) имеют вид:

$$T_{EN} = 263,16 + 0,8457 \cdot T_{Clx} \pm 5,1769; \quad E[T] = 0,30\%, \quad (18)$$

$$T_{EN} = 209,37 + 0,8760 \cdot T_{Clx} \pm 4,9902; \quad E[T] = 0,29\%, \quad (19)$$

где $E[T]$ – относительная погрешность измерений.

Полученная относительная погрешность сопоставима с погрешностью, указанной в инструкции Celox (± 4 К) [6].

Как уже отмечалось, в заключительный период продувки стали в конвертере окисленность расплава зависит только от содержания углерода. В условиях выплавки стали в конвертере, основным критерием, влияющим на определение момента окончания продувки, является содержание углерода в расплаве. Кривая содержания углерода по ходу продувки (рис. 1) от 65% времени продувки до момента ее прекращения имеет практически прямолинейный характер, поэтому зависимость между конечным содержанием углерода и временем продувки можно представить следующим образом:

$$[C] = [C]_{90} - \alpha \cdot \tau_p, \quad (20)$$

где $[C]_{90}$ – значение содержания углерода, рассчитанное по измеренной окисленности расплава, %;
 τ_p – продолжительность продувки, %;
 α – коэффициент.



Рис. 1 – Содержание углерода в расплаве по ходу продувки

Из формулы (20) время продувки определяется содержанием углерода $[C]_{90}$, рассчитанным по окисленности с помощью регрессионных уравнений (6, 11):

$$\tau_p = \frac{[C]_{90} - [C]}{\alpha}, \quad (21)$$

Угловой коэффициент α в координатах $[C] - \tau_p$, можно определить из (22):

$$\tau_p = \frac{[C]_{90} - [C]}{\alpha}. \quad (22)$$

В формуле (22) для расчета α нужны данные о содержании углерода по ходу плавки, что требует проведения отдельных экспериментов с применением фурм-зондов или аналогичных приспособлений, позволяющих представить кинетику окисления примесей, в частности углерода, по ходу плавки.

Формула (21) позволяет рассчитать время продувки в относительных единицах. Для перехода к минутам вводится дополнительный коэффициент β :

$$\beta = \frac{\tau_p^m}{100}, \quad (23)$$

где τ_p^m – среднее время продувки по массиву данных, мин.

Коэффициент α рассчитывается по данным, приняв, что кривая содержания углерода от 65% времени продувки до момента прекращения продувки имеет прямолинейный характер.

В результате расчета, для конвертера №1 по массиву объемом 172 плавки τ_p^m определяется как:

$$\tau_p = 0,1287 \cdot \frac{[C]_{90} - [C]}{0,0230}. \quad (24)$$

Для конвертера №2 по массиву объемом 113 плавок:

$$\tau_p = 0,1287 \cdot \frac{[C]_{90} - [C]}{0,0235}. \quad (25)$$

С помощью полученных зависимостей (24, 25) построена номограмма (рис. 2) для определения времени продувки по требуемой разнице в содержании углерода $\Delta[C]$ от исходного его содержания в шихте.

На рис. 2 пунктиром обозначена часть прямой, обозначающая некоторое отклонение зависимости «время – содержание углерода» от линейного характера, что обусловлено более плавным снижением содержания углерода в первые 40% продувки (рис. 2).

Успешное применение выведенных формул требует практических наработок в области расчета $[C]_{90}$ по данным об окисленности, а также наличия опытных замеров $[C]_{65}$ для уточнения значения углового коэффициента α .

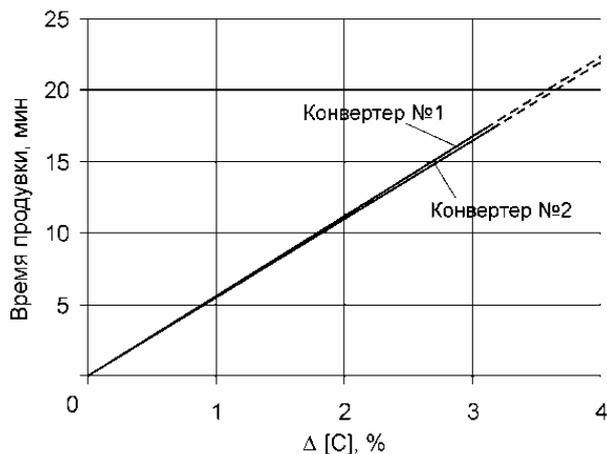


Рис. 2 – Номограмма для определения времени продувки конвертера до требуемого содержанию углерода

Выводы

1. Статистическая обработка результатов химического анализа и замера окисленности расплава фурмой-зондом в 300-т конвертере с донной продувкой, указывает на высокую тесноту связи содержания углерода и марганца с окисленностью расплава. Для связи «углерод – lga_O » коэффициент детерминации равен $R^2_{[C]} = 0,8536$, а для связи «марганец – lga_O », $R^2_{[Mn]} = 0,1689$. Теснота связи «фосфор – lga_O » характеризуется достаточно высоким значением: $R^2_{[P]} = 0,3815$.

2. Статистической обработкой массивов данных по двум 350-т конвертерам ОАО «МК «Азовсталь» установлена высокая теснота связи пар переменных

«углерод – lga_O » ($R^2_{[C]} = 0,6578-0,6935$) и «марганец – lga_O » ($R^2_{[Mn]} = 0,2586-0,4114$). Значения коэффициентов корреляции для взаимосвязей «фосфор – lga_O », «сера – lga_O », «азот – lga_O » оказались незначимыми, что вызвано узким интервалом колебания значений содержания фосфора, серы и азота в металле, а также наличием дополнительных, неучтенных факторов.

3. Расчет содержания углерода и марганца по полученным регрессионным уравнениям для 350-т конвертеров ПАО «ММК «Азовсталь» относительно результатов химического анализа расплава спектральным методом, дал погрешность ниже предельно допустимой по ГОСТ 18895, что позволяет применять полученные уравнения для расчета содержания углерода и марганца по замерам окисленности расплава.
4. Установлено, что теснота связи температуры расплава, измеренной термопарой и зондом Celox высока и характеризуется коэффициентом корреляции $r = 0,83 - 0,88$. Относительная погрешность сопоставима с погрешностью, указанной в инструкции Celox (± 4 К).
5. Измерение температуры термопарой и отбор пробы совместно с ожиданием результата анализа требуют около 10 мин времени цикла конвертерной плавки. При замене анализа проб спектральным методом, определением содержания химического состава расплава по окисленности, цикл плавки снижается примерно на 25%, что повышает производительность кислородно-конвертерного передела.
6. Предложено уравнение, устанавливающее зависимость между временем продувки и требуемым содержанием углерода. Оно позволяет прогнозировать момент окончания продувки по величине окисленности расплава, измеренной кислородными зондами.

Список использованных источников:

1. Гальперин Г.С. 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.
2. Нечкин Ю.М. Использование датчиков УКОС-1 для управления процессом легирования коррозионно-стойкой стали титаном / Ю.М. Нечкин, С.Б. Куберский, Н.Н. Перевалов,

- О.И. Зубрев // Сталь. – 1996. – №1. – С. 30-32.
3. Свяжин А.Г. Использование кислородных зондов для контроля окисленности и процесса раскисления малоуглеродистой стали / А.Г. Свяжин, В. В. Рябов, Д.А. Романович, В.Д. Сальников, В.Н. Хребин // Сталь. – 1996. – №2. – С. 12-16.
 4. Кузькина Н.Н. Улучшение качества кипящей и полуспокойной стали корректировкой ее окисленности / Н.Н. Кузькина, Ю.В. Кофман, И.Ю. Морозова, Г.В. Целых // Сталь. – 2003. – № 3. – С. 21-22.
 5. Фиге Л. Измерения в ходе продувки конвертера при помощи фурмы–зонда / Л. Фиге, Н.Р. Кайзер, И. Мах // Черные металлы. – 1984. – №1. – С. 14-17.
 6. Зинковский И.В. Определение характеристик устройств УКОС в металлургических агрегатах / И.В. Зинковский, В.М. Скосырев // Сталь. – 1992. – № 12. – С. 24-25.

Bibliography

1. Galperin G.S. Research of oxidation became in 350-t converters / G.S. Galperin, A.K. Buchenkov, A.I. Alexandrov, V.V. Bolotnicov // Stal. – 1996. – № 1. – P. 28-29. (Rus.)
2. Nechkin U.M. The use of sensors is HAY-CROP-1 for a management by the process of alloying of corrosive-proof steel titan / U.M. Nechkin, S.B. Kuberskiy, N.N. Perevalov, O.I. Zubarev // Stal. – 1996. № 1. – P. 30-32. (Rus.)
3. Svyazhin A.G. Use of oxygen probes for control of oxidation and process of desoxydating of low-carbon steel / A.G. Svyazhin, V.V. Raybov, D.A. Romanovich, V.D. Salnikov, V.N. Hrebin // Stal. – 1996. – № 2. – P. 12-16. (Rus.)
4. Kuzkina N.N. Improvement of quality of and semiquiet rimmer by adjustment of her oxidation / N.N. Kuzkina, U.V. Kofman, I.U. Morozova, G.V. Tselyih // Stal. – 2003. – P. 21-22. (Rus.)
5. Fige L. Measuring during blowing out of converter through a tuyer – probe / L. Fige, H.P. Kayzer, I. Mah / Chernyie metallyi. – 1984. – № 1. – P. 14-17. (Nem.)
6. Zinkovskiy I.V. Determination of descriptions of devices HAY-CROP in metallurgical aggregates / I.V. Zinkovskiy, V.M. Skosyirev // Stal. – 1992. – № 11. – P. 24-25. (Rus.)

Рецензент: С.Л. Макуров
д-р техн. наук, проф. ГВУЗ «ПГТУ»

Статья поступила 30.10.2012

УДК 669.15-194.2: 620.193

©Бондарь В.И.¹, Харлашин П.С.²

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МЫШЬЯКА НА КОРРОЗИОННУЮ СТОЙКОСТЬ СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ ЖЕЛЕЗА В МОРСКОЙ ВОДЕ

Приведены результаты исследования влияния мышьяка на коррозионную устойчивость сплавов на основе армко-железа и ряда малоуглеродистых низколегированных сталей в виде сварных соединений в морской воде в условиях ускоренных и натуральных испытаний.

Ключевые слова: армко-железо, сталь, мышьяк, морская вода.

Бондарь В.И., Харлашин П.С. Дослідження впливу миш'яку на корозійну стійкість сплавів на основі заліза в морській воді. Наведено результати дослідження впливу миш'яку на корозійну стійкість сплавів на основі заліза та ряду мало вуглецевих низколегированих сталей в морській воді в умовах прискорених та натурних випробувань.

Ключові слова: армко-залізо, сталь, миш'як, морська вода.

¹ канд. техн. наук, доцент, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

² д-р техн. наук, профессор, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь