

УДК 669.184.244.66.012.1

УПРАВЛЕНИЕ ДОВОДКОЙ КОНВЕРТЕРНОЙ ПЛАВКИ
CONTROL OF THE FINISHING OF THE CONVERTER MELTING

В.С.Богушевский, д.т.н, профессор, В.Ю.Сухенко, К.А.Сергеева,
аспиранты, НТУУ “Киевский политехнический институт”

Bogushevsky V. S., Suhenko V.U, Sergeeva K.A.
(044)238-73-67, (044)576-41-58, (050)443-19-82

Рассмотрен прямой метод контроля параметров конвертерной плавки с помощью погружного зонда. Создана модель управления режимом доводки.

The direct method of control of parameters of the converter melting is considered by a dipping probe. The model of control of heat finishing is created.

Розглянутий прямий метод контролю параметрів конвертерної плавки за допомогою занурювального зонду. Створена модель керування режимом доведення.

Ключевые слова: конвертер, параметры плавки, погружной зонд, управляющие воздействия.

Keywords: converter, parameters of melting, immersed probe, control actions.

Ключові слова: конвертер, параметри плавки, занурювальний зонд, керуючі діяння.

Вступление

Конвертерный процесс – основной способ производства стали. В мировом производстве доля конвертерной стали составляет приблизительно 60 %. При высоких скоростях продувки металла в конвертере, оператор физически не успевает переработать большой объем информации, выбрать наилучший режим и оперативно вмешаться в ход плавки. В результате при ручном управлении значительная часть плавков требует корректировок после прекращения продувки, и хотя в последнее время жесткие требования по

получению заданного химического состава металла и температуры после повалки уменьшились в связи повсеместным вводом в конвертерных цехах установок внепечной обработки металла, проблема особенно по температуре остается. Автоматизация конвертерного процесса позволяет существенно повысить его эффективность и качество выплавляемой стали.

В настоящее время почти все отечественные и зарубежные конвертерные цеха оснащаются системами автоматизации. В структуре систем можно выделить:

- 1) прогнозирующие статические (расчет шихты, расчет рекомендаций по доводке плавки с учетом результатов промежуточных измерений в процессе продувки и после повалки конвертера, расчет раскислителей);
- 2) контроля выходных параметров плавки;
- 3) управление плавкой (скоростью выгорания углерода, температурой, шлаковым режимом и уровнем ванны).

Известны статические системы управления плавкой [1, 2]. Несмотря на некоторые различия подходов к составлению моделей, реализуемых системами, они на 15...20 % увеличивают точность достижения заданных конечных параметров процесса по сравнению с ручным управлением (в качестве критерия точности управления принято число плавов, сливаемых без коррекции).

Величина управляющих воздействий, определяемых в результате расчетов по статической модели, представляются массой шихтовых материалов (сыпучие при этом представляются общей массой и режимом подачи их в конвертер) и средними значениями параметров дутьевого режима [3,8].

Однако реальный ход процесса зачастую отличается от прогноза, что требует изменения параметров дутьевого режима и приводит к нарушению статических расчетов. В этом случае необходимо контролировать температуру и химический состав металла и шлака по ходу продувки, что в условиях конвертерной плавки представляет огромные трудности (высокая

температура, агрессивная среда). Выполняются косвенные измерения (состав отходящих газов, их температура, акустические характеристики продувки и др.), которые достаточно дорогостоящие и не всегда однозначно связаны с ходом процесса [4, 5].

Перспективным для управления является использование прямого контроля массовой доли углерода в ванне, ее температуры и уровня измерительным погружным зондом. Применение только этой установки позволяет увеличить число плавов, выпускаемых без коррекции на 15...20 % [6]. Однако многократные попытки оснастить такими установками отечественные конвертерные цеха не привели к успеху в основном из-за трудности решения вопроса проектирования и монтажа установки на действующем оборудовании и отсутствия модели доводки плавки по результатам измерений.

Постановка задачи

Цель настоящей работы – разработка технического решения по установке погружного зонда в конвертерном цехе и создание модели управления режимом доводки по результатам измерения содержания углерода и температуры ванны конвертера без прерывания продувки.

Контроль параметров конвертерной плавки

Для контроля параметров ванны предложено использовать зонд Quik-Tap разработки фирмы Electro-Nite, сбрасываемый в конвертер без прекращения продувки и предназначенный для измерения температуры и окисленности конвертерной ванны.

Сбрасываемый зонд Quik-Tap при падении в ванну конвертера пробивает слой жидкого шлака и попадает в металл. Он включает жаростойкий кабель, плотно намотанный на опорной картонной гильзе. В торце последней смонтирована стальная головка с чувствительными элементами (платино-родиевыми термопарами) (рис. 1). Кабель (длиной 35 м) является связующим звеном, соединяющим чувствительные элементы зонда с манипулятором.

Один из основных элементов измерительного зонда – сменный блок, который представляет собой датчик одноразового использования. Сменный блок содержит картонную гильзу 4 и измерительную головку, в огнеупорной полости 7 которой находятся пробоотборная 6 и кристаллизационная 8 камеры. Канал 2 служит для затекания металла, каналы 5 – для выхода воздуха и газов из полости при заполнении ее жидким металлом. В обе камеры в качестве раскислителя вводится алюминий 1. Один из термоэлектродов 9 в кристаллизационной камере 8 служит для определения температуры солидус металла, а другой для измерения температуры жидкого металла. Свободные концы термопар выведены в диэлектрическую вставку 3, которая вместе с гнездовой контактной частью наконечника образует надежный контактный узел. Торец головки сменного блока защищен металлическими колпачками 10 и 11, которые проплавляются при погружении зонда в металл.

Сменные блоки заменяют с помощью манипулятора, который размещен на специальной платформе. В состав манипулятора входит отделяющее устройство, которое дисковой пилой отделяет головку сменного блока с пробой металла для транспортирования ее в экспресс-лабораторию.

Точность измерения содержания углерода 0,02...0,04 % в диапазоне содержаний 0,15...1,10 % (в зависимости от содержания углерода) и температуры ± 8 °С.

Зонд работает в комплекте с прибором Multi-Lab (рис. 2), программное обеспечение которого позволяет адаптировать прибор к конкретным условиям плавки (в него можно ввести три расчётных формулы для различных диапазонов содержаний углерода). Информация, касающаяся результатов измерения и выводится на жидкокристаллический экран и через последовательный интерфейс в вычислительную машину управления плавкой.

Первоначально для ввода зонда в конвертер пытались использовать тракт загрузки сыпучих материалов. Однако исследования показали, что при

таким вводе зонд не падал чисто вертикально, и наконечник зачастую не пробивал слой шлака. Поэтому принято решение о монтаже установки, как показано на рис. 3.

Модель управления режимом доводки

Модель предусматривает определение управляющих воздействий по „образцовым” плавкам [7]. Диапазоны изменения параметров представлены в таблице.

Таблица – Диапазоны изменения параметров при формировании базы данных “образцовых” плавков доводок

Наименование параметра	Обозначение	Проверяемые диапазоны	
		границы диапазонов	кол
Масса садки, т	$m_{ч}+m_{л}$	< 370; 370 – 380 > 380	3
Изменение содержания углерода в металле, при доводке, %	ΔC	< 0,10; 0,10 – 0,20; > 0,20	3
Изменение температуры металла при доводке, °С	Δt	<10; 10 – 20; 21 – 30; 31 – 40; 41 – 50; >50	6
Заданная температура стали, °С	$t_{зд}$	<1670; 1670 – 1685; 1671 – 1685; 1686 – 1700; 1701 – 1715; >1715	6
Заданное минимальное содержание углерода в стали, %	$C_{зд}$	< 0,05; 0,05 – 0,06; 0,07 – 0,10; 0,11 – 0,15; > 0,15	5

Расчет охлаждающего материала (известняка) и суммарного расхода кислорода на доводку плавки при определении содержания углерода в металле в последней фазе продувки с помощью зонда C_3

$$m_{из}^p = m_{из}^o - k_1(\Delta t^o - \Delta t^p) - k_2(\Delta C^o - \Delta C^p); \quad (1)$$

$$\Delta V^p = \Delta V^o - [\phi(C_M^o) - \phi(C_M)] - k_3(m_{из}^p - m_{из}^o), \quad (2)$$

где $m_{из}^o$ – масса известняка на охлаждение, т; ΔV^o – суммарный объем кислорода, м³; k_1, k_2, k_3 – условно-постоянные коэффициенты; $\Delta t^o, \Delta t^p$ –

требуемое изменение температуры, °С; ΔC^o , ΔC^p – требуемое изменение содержания углерода в металле, %; C_M^o , C_M – соответственно содержание углерода в металле на „образцовой” доводке и фактическое: измеренное зондом $C_M = C_3$, %; „^o”, „^p” – соответственно индекс образцовой и текущей плавки.

Здесь

$$\phi(C) = \begin{cases} k_4 \cdot C & \text{при } C \leq 0,1\%; \\ k_5 - k_6 \cdot C & \text{при } C > 0,1\% \end{cases} \quad (3)$$

где k_4 , k_5 , k_6 – условно-постоянные коэффициенты.

Положение фурмы и интенсивность подачи кислорода на доводку устанавливаются равными их значениям при „образцовой” доводке $H^p = H^o$, $v^p = v^o$.

При $m_{из}^p \leq 0$ рассчитывается изменение положения фурмы ΔH^p , м, эквивалентное добавке известняка, продолжительность корректировочного нагрева при доводке $\Delta \tau^p$, мин, и суммарный расход кислорода на нагрев ΔV_H^p , м³, по формулам:

$$\Delta H^p = \Delta H^o - k_7(m_{из}^p - m_{из}^o); \quad (4)$$

$$\Delta \tau^p = \Delta \tau^o - k_8(m_{из}^p - m_{из}^o); \quad (5)$$

$$\Delta V_H^p = \Delta V_H^o + k_9(\Delta \tau^p - \Delta \tau^o), \quad (6)$$

где k_7 , k_8 , k_9 – условно-постоянные коэффициенты.

Расчет охлаждающего материала и суммарного расхода кислорода на доводку плавки при определении содержания углерода в металле в последней фазе продувки с помощью зонда C_3 и при отсутствии в массиве „образцовой” доводки описываются уравнениями:

$$m_{из}^p = k_1 \cdot \Delta t^{pd} + k_2 \cdot \Delta C^p; \quad (7)$$

$$\Delta V^p = \phi(C_M) - k_3 m_{из}^p. \quad (8)$$

Положение фурмы и расход кислорода на доводку устанавливаются равными значениям положения фурмы и расхода кислорода на последних минутах продувки предыдущей плавки.

При $m_{\text{из}}^p \leq 0$

$$\Delta H^p = -k_7 \cdot m_{\text{из}}^p; \quad (9)$$

$$\Delta \tau^{\text{пл}} = -k_8 \cdot m_{\text{из}}^p; \quad (10)$$

$$\Delta V_{\text{н}}^p = k_9 \cdot \Delta \tau^p. \quad (11)$$

Расчет охлаждающего материала и суммарного расхода кислорода на доводку плавки при отсутствии информации о содержании углерода в металле в последней фазе продувки и при наличии „образцовой” продувки описываются уравнениями:

$$m_{\text{из}}^p = k_1 \cdot \Delta t^p + k_{10} \cdot \frac{V^p - V}{v^{\text{сп}}}; \quad (12)$$

$$\Delta V^p = (V^p - V) - k_3 m_{\text{из}}^p, \quad (13)$$

где V^p , V – соответственно рассчитанный суммарный расход кислорода на плавку и текущий суммарный расход кислорода в момент замера температуры металла с помощью зонда, м^3 ; $v^{\text{сп}}$ – средняя интенсивность подачи кислорода в конце продувки, $\text{м}^3/\text{мин}$; k_{10} – условно-постоянный коэффициент.

Положение фурмы и интенсивность подачи кислорода на доводку устанавливаются равными их значениям на последних минутах „образцовой” продувки.

При $m_{\text{из}}^p \leq 0$ ΔH^p , $\Delta \tau^p$, $\Delta V_{\text{н}}^p$ рассчитываются по формулам (9) – (11).

Техническое решение по установке измерительного зонда и модель управления доводкой плавки переданы ОАО «Металлургический комбинат „Азовсталь”».

Выводы

Предложено решение по установке измерительного зонда в действующих конвертерных цехах. Приведена модель управления доводкой конвертерной плавки по результатам промежуточных измерений параметров ванны. Модель разработана для конвертерного цеха ОАО «Металлургический комбинат „Азовсталь”».

ЛИТЕРАТУРА

1. Математические модели и системы управления конвертерной плавкой / В.С.Богушевский, Л.Ф.Литвинов, Н.А.Рюмшин, В.В.Сорокин. – К.: НПК „Киевский институт автоматики”, 1998. – 304 с.
2. Богушевський В.С., Сухенко В.Ю. Керування режимом дуття конвертерної плавки // Наукові вісті НТУУ „КПІ”. – 2009. – № 1. – С. 58 – 64.
3. Богушевский В.С., Сухенко В.Ю. Критерий управления конвертерной плавкой // Новости науки Приднепровья. – 2008. – № 3-4. – С. 104 – 106.
4. А.В.Мокринский, Е.В.Протопов, А.Г.Чернятевич. Гидродинамические режимы взаимодействия кислородных струй с конвертерной ванной // Изв. вузов. Черная металлургия. – 2005. – № 4. – С. 11 – 17.
5. Основи металургійного виробництва металів і сплавів: Підручник / Д.Ф.Чернега, В.С.Богушевський, Ю.Я.Готвянський та ін.; За ред. Д.Ф.Чернеги, Ю.Я.Готвянського. – К.: Вища школа, 2006. – 503 с.
6. Бойченко Б.М., Охотський В.Б., Харлашин П.С. Конвертерне виробництво сталі: теорія, технологія, якість сталі, конструкції агрегатів, рециркуляція матеріалів і екологія: Підручник. – Дніпропетровськ: РВА "Дніпро-ВАЛ", 2004. – 454 с.;
7. Компьютерная модель расчета шихтовки и продувки конвертерной плавки / В.С.Богушевский, Г.Г.Грабовский, В.М.Михайлов и др. // Сталь. – 2006. – № 1. – С. 18 – 21.

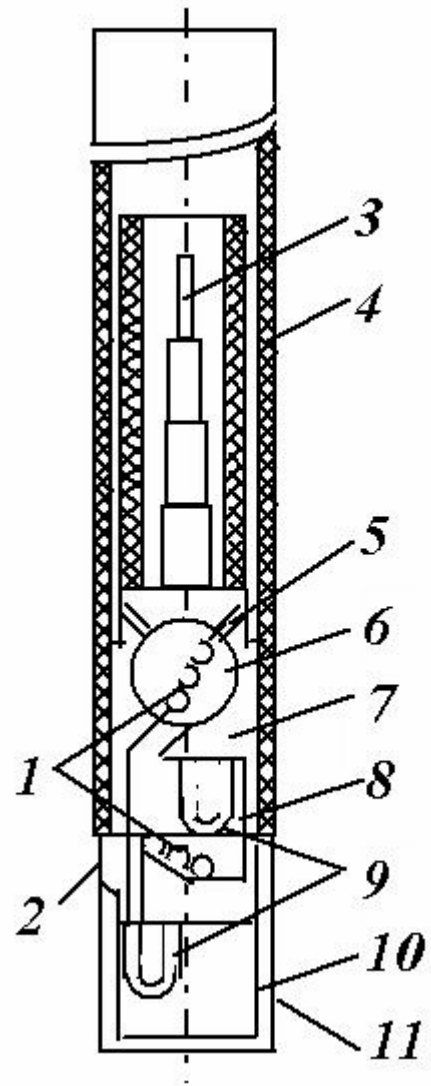
8. Э.Э. Меркер, Г.А. Карпенко, А.А. Кожухов. Энергосберегающий режим продувки конвертерной ванны кислородом // Чёрная металлургия: Бюллетень ОАО «Черметинформация». – 2007.- №6.- С. 82-84.

Список подрисуночных надписей

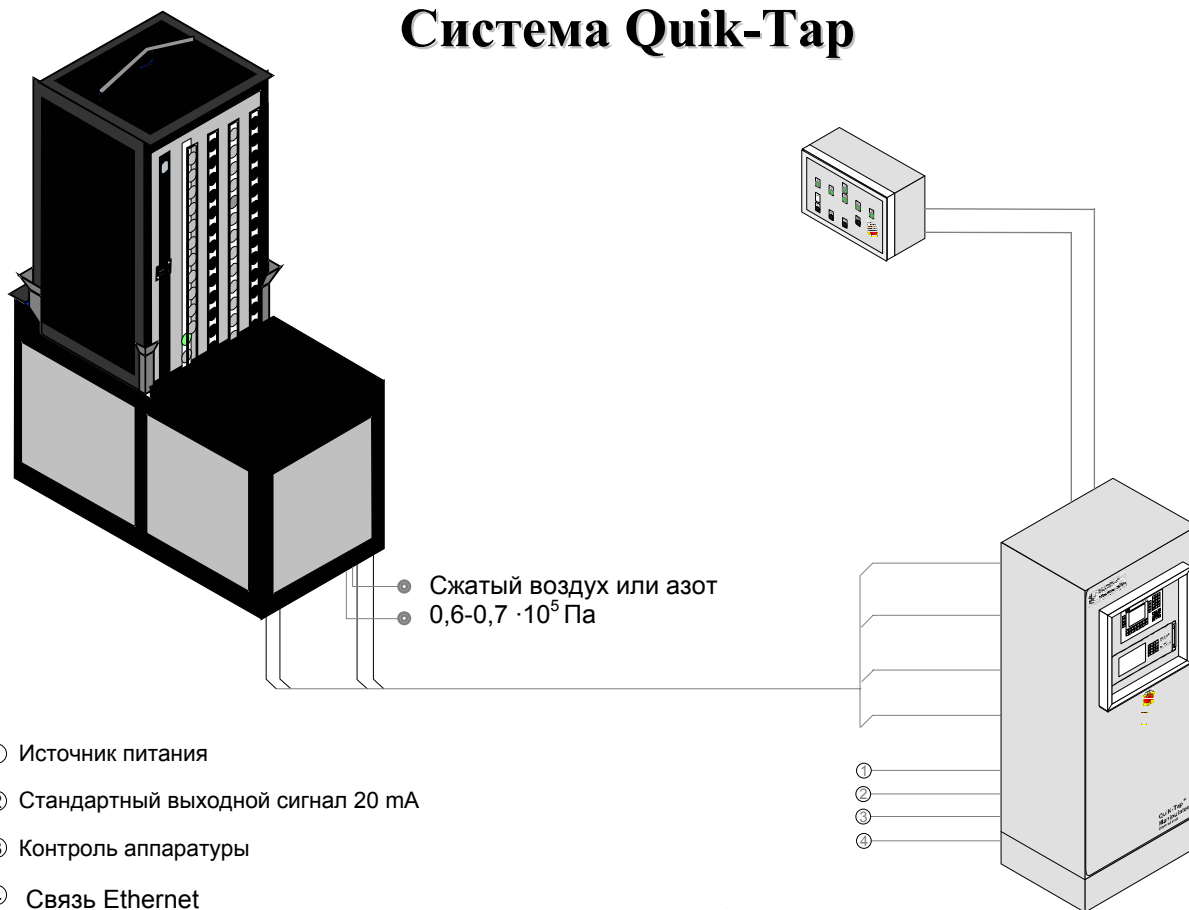
Рис. 1. Сменный блок измерительного зонда.

Рис. 2. Структурная схема прибора Multi-Lab.

Рис. 3. Монтаж установки измерительного зонда.



Система Quik-Tap



31,5 M

