

Регулирование окончания продувки в кислородно-конвертерном процессе

Исследовано повышение производительности кислородного конвертера за счёт определения количества содержания углерода в металле без его повалки и взятия проб. Большой процент плавов после первой повалки требует дополнительной повалки для определения содержания углерода. Это значительно снижает производительность конвертера и качество получаемого металла. За основу было поставлено определение содержания углерода по спектру факела отходящих газов. Разработана блок-схема для определения содержания углерода. Использование данной схемы управления конвертерной плавкой позволяет сократить количество дополнительных повалок конвертера на 12 %, что приводит к повышению производительности конвертера.

Ключевые слова: кислородный конвертер, повалка, содержание углерода, отходящие газы, продувка, додувка, сталь

Введение. Существующие методы контроля содержания углерода [1-4] не обеспечивают попадание плавки с первой повалки в заданные пределы, обусловленные выплавляемой маркой стали. Около 20-40 % плавов требуют после первой повалки додувки [5]. Иногда таких корректирующих операций производится несколько в течение плавки. Особенно часто корректирующие операции требуется произвести при выплавке марок сталей с высоким содержанием углерода. Учитывая то, что каждая такая операция требует повалки конвертера, взятия пробы металла, её анализа, производительность конвертера снижается, что также сказывается на качестве выплавляемого металла [6].

В бессемеровских конвертерах содержание углерода определяли по спектру пламени [7]. Однако при переходе на продувку кислородом наблюдение за линией и полосой в спектре излучения отходящих газов было затруднено из-за сильного сплошного фона, приближающего излучение факела к излучению абсолютно чёрного тела.

Нами проводились исследования в направлении возможности использования информации о спектре пламени для контроля кислородно-конвертерного процесса.

Исследования, представленные в статье, проводились в Национальном техническом университете Украины «Киевский политехнический институт» по темам «Принципы создания математической модели системы управления кислородным конвертером» и «Математические модели и алгоритмы системы управления кислородным конвертером», Государственные регистрационные номера 0109U001838 и 0110U002880.

Постановка задачи. Целью исследований является изучение поведения отходящих газов в газоходе с целью нахождения зависимости параметров отходящих газов в газоходе и содержания углерода в ванне конвертера в момент прекращения продувки.

Результаты исследований. Решение задачи основано на контроле входных и выходных параметров плавки, включая спектр излучения, по которым опре-

деляют длительность продувки, необходимую для получения заданного содержания углерода с использованием балансовых и балансово-статистических методов. Спектр излучения газов, выходящих из горловины конвертера, контролируют после прекращения продувки и при получении спектра, характерного для содержания углерода, превышающего заданное значение, производят додувку, длительность которой рассчитывают от минимального содержания углерода, соответствующего данному виду спектра.

После прекращения продувки, как известно, процесс обезуглероживания некоторое время происходит за счёт шлака и кислорода, растворённого в металле. Из горловины конвертера выделяется газ, содержание пыли в котором на 1,5-2,0 порядка ниже, чем во время продувки. Уменьшение содержания пыли в факеле, наблюдающееся при отсутствии кислородной струи, и следовательно, высокотемпературной реакционной зоны, происходит из-за того, что как испарение металла, так и вынос механических частиц пыли в этих условиях незначительны по сравнению с условиями, существующими во время продувки. Поэтому пламя, выделяющееся после прекращения продувки, имеет более чёткий линейчатый спектр, вид которого связан с содержанием углерода в металле.

Решение поставленной задачи основано на использовании полученных закономерностей. При таком решении контролируют спектр, имеющий более слабый сплошной фон, на котором точнее и надежнее и полосы, ввиду того, что увеличивается отношение полезного сигнала (интенсивность линий и полос) – шум (интенсивность сплошного фона). Так как вид линейчатого спектра связан с содержанием углерода, то увеличивается точность контроля процесса обезуглероживания. Это позволяет исключить из цикла плавки время на отбор и анализ пробы в основном для средне- и низкоуглеродистых марок сталей.

Так как кислород, запасённый ванной, при прекращении продувки быстро расходуется, количество газов, выходящих из горловины конвертера, уменьшается, спектр слабеет, контроль спектра необходимо

осуществлять непосредственно после прекращения подачи кислорода в ванну.

Плавку ведут следующим образом: измеряют входные и выходные параметры процесса, на основании которых по балансово-статистическому методу вычисляют скорость обезуглероживания по формуле

$$v_c = \alpha_1 \frac{CO + CO_2}{m_{ч} + m_{л}} v_r + \alpha_2 v + \alpha_3 t_{фак} + \alpha_4 \Delta t_{ф} + \alpha_5 H, \quad (1)$$

где v_c – скорость обезуглероживания, %/мин; CO , CO_2 – содержание окиси и двуокиси углерода в отходящих газах соответственно, %; $m_{ч}$, $m_{л}$ – масса чугуна и лома соответственно, т; v_r – расход отходящих газов, $nm^3/мин$; v – расход дутья, $nm^3/мин$; $t_{фак}$ – температура отходящих газов, °C; $\Delta t_{ф}$ – перепад температуры воды на входе и выходе фурмы, °C; H – расстояние от сопла фурмы до уровня спокойной ванны, м; $\alpha_1, \dots, \alpha_5$ – статистические коэффициенты, определяемые конструкцией конвертера и фурмы, садкой конвертера, интенсивностью продувки, технологическим режимом.

Для условий 160-тонного конвертера, четырехсопловой фурмы с углом наклона сопел к вертикали 15°, интенсивности продувки 2,25...2,75 $m^3/(т \cdot мин)$ коэффициенты равны $\alpha_1 = 0,00123 т/м^3$; $\alpha_2 = 0,000267 \%/ (м^3 \cdot мин)$; $\alpha_3 = -0,0000138 \%/ (°C \cdot мин)$; $\alpha_4 = -0,00239 \%/ (°C \cdot мин)$; $\alpha_5 = -0,049 \%/ (м \cdot мин)$.

Составляя уравнение материального баланса для углерода, находят его значение для каждого момента времени, вводя статистическую поправку

$$C_{pi} = C_{ч} - \int_0^{\tau} v_c dt + \Delta C, \quad (2)$$

где C_{pi} – расчётное содержание углерода для i -той плавки, %; $C_{ч}$ – содержание углерода в чугуне, %; ΔC – статистическая поправка к расчёту, учитывающая опыт предыдущих плавки, %.

$$\Delta C = 0,25 \text{sign}(C_{ф(i-1)} - C_{p(i-1)}) \sqrt{C_{ф(i-1)} - C_{p(i-1)}}, \quad (3)$$

где $(C_{ф(i-1)} - C_{p(i-1)})$ – разность между фактическим и расчётным содержанием углерода для $(i-1)$ -й плавки.

При достижении заданного содержания углерода, найденного расчётным путём по формулам (1) и (2), продувку прекращают, и контролируют спектр излучения газов, выходящих из горловины после прекращения продувки и при получении спектра, характерного для содержания углерода, превышающего заданное, производят додувку без отбора пробы. При этом из цикла продувки исключается время, необходимое для отбора пробы и её анализ, что способствует повышению производительности конвертера. Продолжительность додувки определяют по балансу кислорода, подсчитываемого от минимального содержания углерода, характерного для данного вида спектра. Так для 160-тонных конвертеров, если в спектре из-

лучения газов, выходящих из горловины после прекращения продувки, присутствуют синие линии, то количество кислорода на додувку рассчитывают от содержания углерода 0,25 % по выражению

$$v = \begin{cases} 450 - 1800 C_3, & \text{при } C_3 > 0,1\% \\ 630 - 3600 C_3, & \text{при } C_3 \leq 0,1\%, \end{cases} \quad (4)$$

где V – расход кислорода на додувку, nm^3 ; C_3 – заданное содержание углерода.

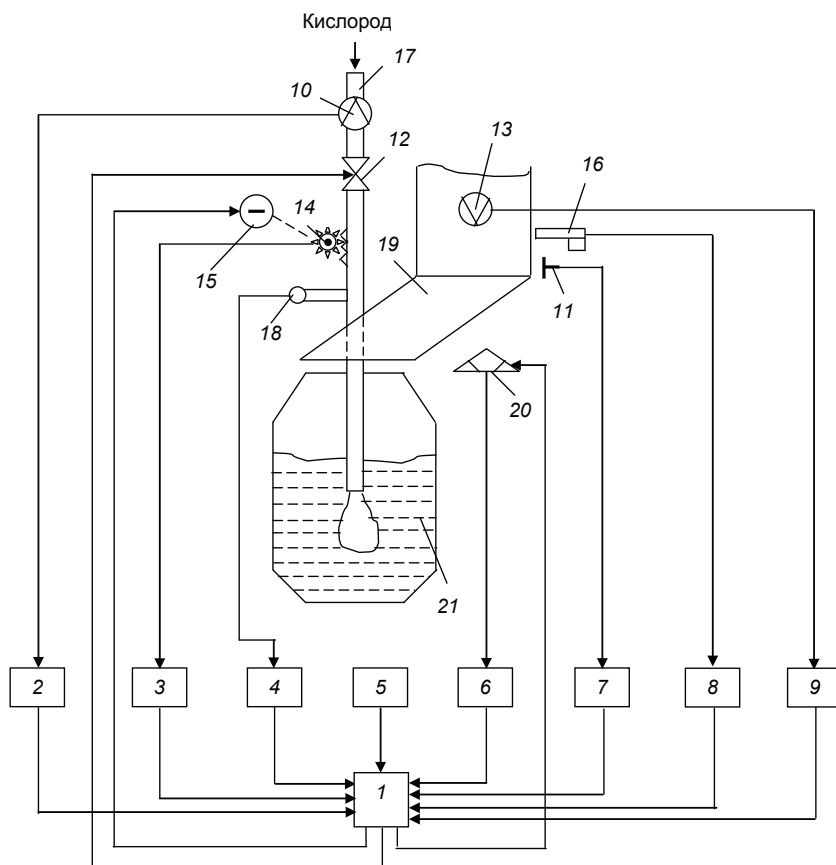
После проведения додувки операцию по контролю спектра отходящих газов повторяют. При отсутствии синих линий в указанной выше области спектра производят повалку конвертера и отбирают пробу металла для анализа.

Устройство регулирования окончания продувки (рисунок) содержит вычислительно-управляющий блок 1, измеритель 2 расхода дутья, измеритель 3 расстояния от сопла фурмы до уровня спокойной ванны, измеритель 4 перепада температуры воды на входе и выходе фурмы, блок 5 ввода начальных условий, анализатор спектра 6, измеритель 7 содержания CO и CO_2 в отходящих газах, измеритель 8 температуры отходящих газов, измеритель 9 расхода отходящих газов, датчик 10 расхода дутья, газоотборное устройство 11, регулирующий клапан 12, датчик 13 расхода отходящих газов, датчик 14 расстояния от сопла фурмы до уровня спокойной ванны, исполнительный механизм 15, датчик 16 температуры отходящих газов, фурму 17, датчик 18 перепада температуры воды на входе и выходе фурмы, газоход 19, спектральный прибор 20, конвертер 21.

Перед продувкой в блоке 5 устанавливают значение массы чугуна и лома на плавку и заданное конечное содержание углерода, определяемое маркой стали. В процессе продувки измеряют расход отходящих газов датчиком 13 и измерителем 9, содержание CO и CO_2 отборным устройством 11 и измерителем 7, расход дутья датчиком 10 и измерителем 2, расстояние от сопла фурмы до уровня спокойной ванны датчиком 14 и измерителем 8, перепад температуры воды на входе и выходе фурмы датчиком 18 и измерителем 2.

По результатам измерений по формулам (1) и (2) в вычислительно-управляющем блоке 1 непрерывно вычисляют содержание углерода. При достижении заданного расчётного содержания углерода прекращают продувку, подавая сигнал на закрытие клапана 12 и поднятие фурмы исполнительным механизмом 15. Одновременно подают сигнал на контроль спектра излучения прибором 20 и анализатором спектра 9. Сигнал обрабатывают в блоке 1, и при наличии характерных спектральных линий производят додувку без взятия пробы. Продолжительность додувки определяют в блоке 1 по формуле (4). После проведения додувки операции по контролю спектра повторяют, и в случае отсутствия характерных линий производят повалку конвертера, отбирают пробу на анализ. Результаты анализа вводят в блок 1, после чего рассчитывают поправку к расчёту на следующую плавку.

Испытание макета, реализующего предлагаемое техническое решение, показало, что использование



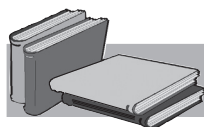
Блок-схема устройства

предлагаемого способа контроля и регулирования кислородно-конвертерного процесса позволяет сократить количество промежуточных повалок преимущественно для низко- и среднеуглеродистых марок сталей на 12 %, что позволило увеличить производительность конвертера.

Выводы

Контроль спектра излучения отходящих газов в момент прекращения продувки позволяют определить содержание углерода в ванне конвертера без его повалки и взятия пробы, что существенно повышает производительность конвертера.

Дальнейшие исследования будут проводиться в направлении включения предлагаемого решения в АСУ ТП конвертерной плавки.



ЛИТЕРАТУРА

1. Богушевський В. С. АСУТП производства стали в конвертерах / В. С. Богушевский, Н. А. Рюмшин, Н. А. Сорокин. – К.: «Техніка», 1991. – 180 с.
2. Бойченко Б. М Конвертерне виробництво сталі (теорія, технологія, якість сталі, конструкція агрегатів, рециркуляція матеріалів і екологія) / Б. М. Бойченко, В. Б. Охотський, П. С. Харлашин. Підручник. – Дніпропетровськ: РВА «Дніпро-ВАЛ», 2004. – 454 с.
3. Богушевський В. С. Контроль динаміки ванни по ходу продувки як складова системи керування конвертерною плавкою / В. С. Богушевський, К. В. Єгоров // Наукові вісті НТУУ «КПІ». – 2013. – № 1. – С. 51-56.
4. Богушевський В. С. Обезуглероживание стали как основной параметр оптимального управления ККП / В. С. Богушевский, С. Г. Мельник, С. В. Жук // Металл и литьё Украины. – 2014. – № 2. – С. 14-16.
5. Богушевський В. С. Математическая модель АСУ конвертерной плавкой / В. С. Богушевский, Ю. В. Оробцев, Н. А. Рюмшин, Н. А. Сорокин. – К.: НПК «Киевский институт автоматизации», 1996. – 212 с.
6. Вплив параметрів устаткування конвертера на собівартість сталі / Богушевський В.С., Сухенко В.Ю., Кадигроб С.В., Шульга А.О. // Наукові вісті НТУУ «КПІ». – 2014. – № 1. – С. 42-46.
7. Чернега Д. Ф. 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.

Анотація

Богушевський В. С., Скачок О. Е.

Регулювання кінця продувки в киснево-конвертерному процесі

Стаття присвячена підвищенню продуктивності кисневого конвертера за рахунок визначення кількості вмісту вуглецю в металі без його повалки і взяття проб. Великий відсоток плавки після першої повалки вимагає додаткові повалки для визначення вмісту вуглецю, це значно знижує продуктивність конвертера і якість металу, що отримують. За основу було взято визначення вмісту вуглецю за спектром факела відхідних газів. У ході роботи була розроблена блок-схема для визначення вмісту вуглецю. Використання даної схеми управління конверторною плавкою дозволяє скоротити кількість додаткових повалок конвертера на 12%, що призводить до підвищення продуктивності конвертера.

Ключові слова

кисневий конвертор, повалка, вміст вуглецю, відхідні гази, продувка, додувка, сталь

The Article is dedicated to increasing productivity BOF (basic oxygen furnace) by determining the amount of carbon in the metal without turndown of converter and sampling. A large percentage of heats require additional turndown of converter to determine the carbon content after the first turndown of converter. This greatly reduces the performance of the converter and the quality of the metal. The determination of the carbon content in the spectrum of the torch off-gas was supplied as a basis. Flowchart for determining the carbon content was developed during experiment. Using this control scheme of converter melting reduces the number of additional turndown of converter on 12%. The result leads to higher performance of the converter.

ВНИМАНИЮ АВТОРОВ И ПОДПИСЧИКОВ!

Порядок приёма статей в редакцию журнала

«Металл и литьё Украины»

В журнале «Металл и литьё Украины» публикуются результаты исследований, которые ранее не издавались и законченные экспериментальные работы, оформленные в виде статей.

Статьи публикуются на русском языке.

Комплект документов, необходимых для регистрации статьи:

- один экземпляр рукописи (включая: УДК; организацию; ФИО авторов, резюме и ключевые слова (не меньше 6-ти) на 3-х языках – русском, украинском и английском; таблицы; рисунки и подписи к ним, а также список литературы), пронумерованной с первой до последней страницы и подписанной на последней странице текста всеми авторами, а также электронный вариант статьи;
- соглашение о передаче авторских прав, подписанное всеми авторами и рецензия на статью
- сведения об авторах (ФИО – полностью)

В электронном виде по e-mail: mlu@ptima.kiev.ua предоставляются:

- рукопись, идентичная бумажной версии (просьба называть файл по фамилии первого автора статьи, например, *sidorov.doc* или *Сидоров.doc*);
- все иллюстрации в чёрно-белом варианте в одном из стандартных графических форматов «tif» или «jpeg»;
- информация об авторах: фамилии, имена и отчества всех авторов, выделив одного из них, с кем следует вести переписку, факс и номер телефона (с кодом), а также названия учреждений, в которых выполнена работа.