

Контроль шлакообразования при продувке кислородно-конвертерной плавки

Рассмотрены методы повышения качества управления конвертерной плавкой за счёт выбора рационального критерия шлакообразования. Контроль процесса формирования шлака влияет на ошибки в статических системах. Процесс шлакообразования важен также для управления процессами десульфурации, дефосфорации и для предотвращения выбросов металла и шлака из конвертера. Представлена блок-схема преобразующего фильтра, с которого берётся сигнал и с помощью алгоритма осуществляется контроль шлакообразования. Выявлена связь между амплитудно-частотной информацией о пульсации давления продуктов горения углерода и характером шлакообразования в ванне по ходу продувки. Установлено, что по уменьшению амплитуды можно определить период вспенивания шлака.

Ключевые слова: кислородный конвертер, шлакообразование, основность, отходящие газы, положение фурмы

Введение. Основной задачей управления кислородно-конвертерной плавкой является получение стали заданного состава и температуры при минимальном количестве повалок конвертера. Эта цель достигается с помощью так называемых статических систем управления, которые до начала продувки решают уравнения теплового и материального баланса, связывающие входные и выходные параметры плавки с управляющими воздействиями. Для более эффективного управления желательно также иметь информацию о ходе процесса. Особенно важно контролировать процессы формирования шлака в конвертере, поскольку ошибки «статических» систем связаны с различным распределением вдуваемого кислорода между металлом, шлаком и газом. Контроль процесса шлакообразования важен также с точки зрения управления процессами десульфурации, дефосфорации и для предотвращения выбросов металла и шлака из конвертера [1].

Давление отходящих газов в качестве источника информации о ходе технологического процесса использовалось в системе управления [2] для определения содержания углерода в ванне и контроля скорости обезуглероживания. Последняя изменяется по ходу продувки с пульсациями, характер которых зависит от состава, количества, вязкости шлака и его температуры, уровня ванны и других факторов. При контроле скорости обезуглероживания с помощью газоанализаторов, которые имеют сравнительно большую инерционность, пульсации скорости обезуглероживания почти полностью сглаживаются. Устройства контроля давления отходящих газов имеют более высокое быстродействие, и поэтому данный параметр может быть использован для исследования характера пульсаций.

Постановка задачи. Целью исследований является повышение качества управления плавкой за счёт выбора рационального критерия шлакообразования.

Результаты исследований. Анализ приведённых на рис. 1 автокорреляционных функций $R_{xx}(\tau)$ флуктуаций давления отходящих газов в разные периоды плавки показывает, что в начале продувки пульсации

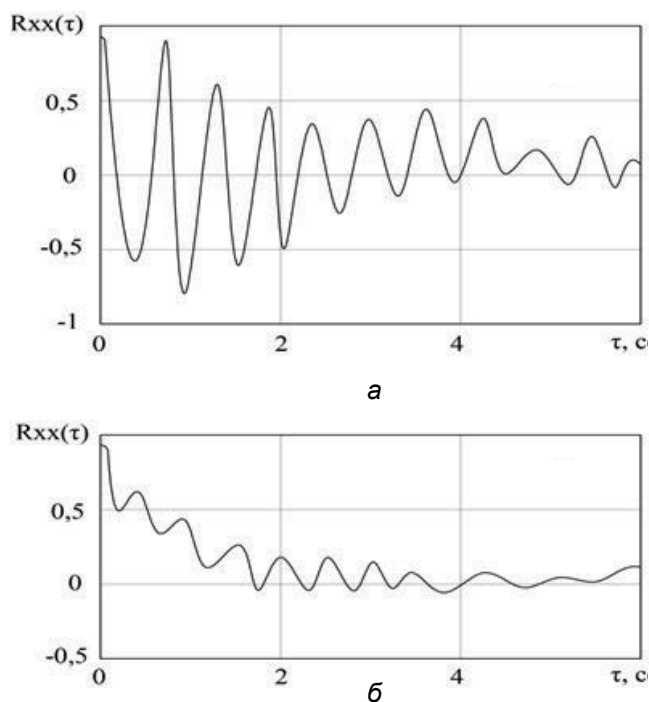


Рис. 1. Автокорреляционные функции $R_{xx}(\tau)$ флуктуаций давления отходящих газов в первом (а) и втором (б) периодах плавки

давления имеют ярко выраженную периодическую составляющую с периодом $T_0 = 0,6$ с. Начиная со второго периода плавки характер пульсаций резко изменяется, амплитуда составляющей с периодом колебаний T_0 значительно уменьшается. В этот же период происходит вспенивание шлака, о чём можно судить по уменьшению разбрызгивания металла и изменению характера интенсивности шума. Для выделения из общего сигнала о давлении отходящих газов полезной составляющей в виде периодической функции с частотой $\omega_0 = 2\pi/T_0$ неизвестной амплитуды и фазы разработано устройство фильтрации (рис. 2).

Входной сигнал устройства можно представить в виде суммы полезного сигнала и шума

$$x_{\text{вх}} = A_1 \sin \omega_0 \tau + A_2 \cos \omega_0 \tau + x_{\text{ш}}(\tau), \quad (1)$$

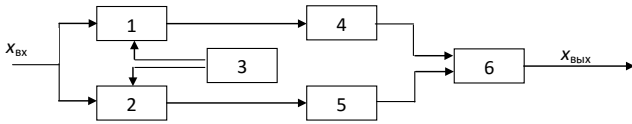


Рис. 2. Блок-схема преобразующего фильтра: 1, 2 – блоки умножения; 3 – генератор периодического сигнала; 4, 5 – частотные дифференциальные интеграторы; 6 – функциональный блок

причём амплитуда полезной составляющей находится из выражения

$$A = \sqrt{A_1^2 + A_2^2}. \quad (2)$$

Если выражение (1) умножить на $x_1 = \sin \omega_0 \tau$, а затем проинтегрировать по времени, то при достаточном времени интегрирования второе и третье слагаемое дадут значение интегралов, близкое к 0, так как подынтегральные выражения являются знакопеременными функциями, тогда как первое слагаемое не меняет знака. Аналогичным образом при умножении входного сигнала на $x_2 = \cos \omega_0 \tau$, полезную составляющую даст при интегрировании второе слагаемое.

Таким образом, выходной сигнал фильтра пропорционален интегралу от изменения амплитуды пульсаций давления отходящих газов с частотой ω_0 . Выходной сигнал фильтра градуируется в относительных единицах так, что значение параметра фильтра изменяется в пределах от 0 до 1.

На рис. 3 показан график зависимости между основностью конечного шлака и значением выходного параметра преобразующего фильтра в конце продувки $\beta \cdot 10^4 \text{ м}^{-3}$. Если допустить, что уменьшение амплитуды пульсаций с частотой ω_0 связано с моментом вспенивания шлака, то величина β будет тем меньше, чем больше относительная продолжительность вспенивания, с которой, в свою очередь, связана основность конечного шлака B (коэффициент корреляции 0,82, среднеквадратическое отклонение 0,1, достоверность коэффициента корреляции выше 0,99). Зависимость (рис. 3) согласуется с данными о влиянии продолжительности вспенивания на различные технологические факторы, исследованные в работе [3].

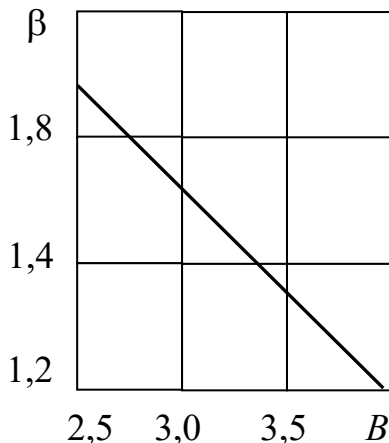


Рис. 3. Зависимость между основностью конечного шлака и значением выходного параметра преобразующего фильтра

Итоговое уравнение может быть представлено следующим образом

$$B(\tau) = 1,42 + 0,00224I, \quad (3)$$

$$(r = 0,76, s = 0,41, P^s \geq 0,95),$$

где $B(\tau)$ – основность шлака по ходу продувки; $I = \int_{\tau_H}^{\tau_K} \Delta p d\tau$ – интеграл амплитуды колебаний давления отходящего газа, Па·мин; τ_H, τ_K – отсчитываемое от момента подачи кислорода время начала и конца вспенивания шлака, мин; τ – текущее время продувки, мин.

Полученные результаты могут быть использованы для управления процессами шлакообразования в ходе конвертерной плавки. Кроме того, введение в систему определения содержания углерода в ванне [4] параметра β в качестве корректирующего фактора позволило увеличить с 76 до 85 % количество плавков с ошибкой, не превышающей 0,04 % абсолютных углерода, и тем самым повысить точность управления.

Управление процессом шлакообразования производим, изменяя параметры дутьевого режима, следующим образом. Из условий нормального шлакообразования и исключения переокисления ванны при переходе к периоду интенсивного обезуглероживания определяется максимально возможная интенсивность продувки в первый период по информации о физической и химической теплоте чугуна, а также количестве теплоты, отбираемой на плавление лома:

$$v_H = v_H^0 + 115 \lg t_c / t_c^0 + 216 \lg Si_c / Si_c^0 + \gamma_1 - \gamma_1^0, \quad (4)$$

где v_H – начальное значение расхода кислорода, м³/мин; t_c – температура чугуна, °C; Si_c – содержание кремния в чугуне, %; γ_1 – коэффициент, определяемый насыпной плотностью лома и равный 0 для тяжелого лома, – 25 для средней плотности и – 50 для легковесного лома, м³/мин; ⁰ – индекс принадлежности параметра к образцовой плавке [5].

Дальнейшее управление расходом кислорода осуществляется по скорости обезуглероживания. Расход кислорода в период интенсивного обезуглероживания контролируют по температурному линейному расширению экранных труб газохода ОКГ:

$$v = v^0 + 982(v_C^0 - v_C) + 39,4(\Delta l^0 - \Delta l), \quad (5)$$

где v_C – скорость обезуглероживания, %/мин; Δl – температурное линейное расширение экранных труб подъемного газохода ОКГ, мм.

В первом периоде продувки расстояние торца фурмы над уровнем спокойной ванны определяется в зависимости от массы оставленного шлака, насыпной плотности лома и расхода кислорода

$$H_H = H_H^0 - 0,85(m_{шл} - m_{шл}^0) + (\gamma_2 - \gamma_2^0) + 0,89(\sqrt{v_H} - \sqrt{v_H^0}) + \Delta H', \quad (6)$$

где H_H – начальное положение торца фурмы относительно уровня спокойной ванны, калибр; $m_{шл}$ – масса оставленного шлака в конвертере после предыдущей

плавки, τ ; γ_2 – коэффициент, определяемый насыпной плотностью лома и равный 3 в случае легковесного лома, 0 – при средней насыпной плотности лома и – 0,75 для тяжеловесного лома, калибр; $\Delta H'$ – поправка в положение фурмы, калибр.

При ускоренном шлакообразовании наведение шлака оканчивается при значениях объёма кислорода (времени продувки)

$$V < (0,15V^* - 135m_{y,шл}), \quad (7)$$

где V , V^* – соответственно текущий и расчётный на продувку объём кислорода, м³; $m_{y,шл}$ – удельная масса оставленного шлака после предыдущей плавки, т/т стали.

Поправка $\Delta H'$ на следующую плавку при этом устанавливается равной на 0,75 калибров ниже, чем в предыдущей.

Нормальный процесс шлакообразования протекает при

$$(0,15V^* - 135m_{y,шл}) \leq V \leq (0,25V^* - 135m_{y,шл}) \quad (8)$$

Поправка $\Delta H'$ на следующую плавку не меняется. Если при продувке объёма кислорода

$$V = 0,25V^* - 135m_{y,шл} \quad (9)$$

шлак не наведён, принимают искусственные меры по его наведению путём ввода плавикового шпата, удельную массу которого определяют по формуле

$$m_{y,ш} = 0,0025 - 0,072m_{y,шл}, \quad (10)$$

где $m_{y,ш}$ – удельная масса шпата, т/т стали.

В этом случае поправка $\Delta H'$ на следующую плавку устанавливается на 0,75 калибров выше, чем в предыдущей.

Во втором периоде расстояние торца фурмы относительно уровня спокойной ванны устанавливается равным значению на образцовой плавке $H=H^0$. В случае отклонения режима шлакообразования при сопоставлении с образцовой плавкой корректируется положение фурмы

$$\Delta H = 3,6(B(\tau) - B(\tau)^0), \quad (11)$$

где ΔH – коррекция положения фурмы, калибр.

При отклонениях режима шлакообразования от заданного в пределах

$$-0,75 < \Delta H < (0,75 + 0,25m_{y,ш}) \quad (12)$$

поддерживается значение положения фурмы такое же, как на образцовой плавке.

При отклонениях режима шлакообразования от заданного в пределах

$$-1,5 < \Delta H < -0,75 \quad (13)$$

или

$$(0,75 + 0,25m_{y,ш}) < \Delta H < 2(0,75 + 0,25m_{y,ш}) \quad (14)$$

устанавливается значение положения фурмы

$$H = H^0 + \Delta H. \quad (15)$$

Если $H < (-1,5)$ (чрезмерно жидкий шлак), то вместе с понижением положения фурмы, вводится добавка извести удельной массы

$$m_{y,и} = 0,0025 + 0,165m_{y,шл} \quad (16)$$

и повышается расход кислорода

$$v = 1,15v^0, \quad (17)$$

где $m_{y,и}$ – удельная масса извести, т/т стали.

Если $\Delta H > 2$ ($0,75 + 0,25m_{y,шл}$) (чрезмерно густой шлак), то вместе с повышением положения фурмы вводится добавка плавикового шпата

$$m_{y,ш} = 0,0025 - 0,072m_{y,шл}. \quad (18)$$

Конечное значение положения торца фурмы относительно уровня спокойной ванны устанавливается при

$$V > (0,85V^* - 135m_{y,шл}) \quad (19)$$

на уровне образцовой плавки.

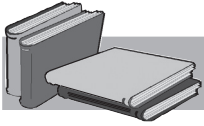
Расчётную массу оставленного в конвертере шлака определяем по формуле

$$m_{шл} = 0,0523 \left(\int_{\tau_{III}}^{\tau_{пр}} B(\tau) d\tau - \int_{\tau_{III}}^{\tau_{пр}} B(\tau)^0 d\tau \right) + m_{шл}^0, \quad (18)$$

где $m_{шл}$ – рекомендуемая удельная масса шлака для оставления в конвертере на последующую плавку, т/т стали; τ_{III} – начало последнего (третьего) периода продувки текущей плавки, мин; $\tau_{пр}$ – продолжительность продувки, мин.

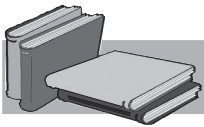
Выводы

Авторами выявлена связь между амплитудно-частотной информацией о пульсации давления продуктов горения углерода и характером шлакообразования в ванной по ходу продувки. На начальной стадии до вспенивания ванны пульсации давления имеют ярко выраженную гармоничную составляющую. По мере вспенивания шлака характер пульсации давления газа меняется с постепенным уменьшением размаха колебания. Таким образом, по уменьшению амплитуды можно определить период вспенивания шлака.



ЛИТЕРАТУРА

1. Бойченко Б.М. Конвертерне виробництво сталі (теорія, технологія, якість сталі, конструкція агрегатів, рециркуляція матеріалів і екологія): Підручник / Б. М. Бойченко, В. Б. Охотський, П. С. Харлашин. – Дніпропетровськ: РВА «Дніпро-ВАЛ», 2004. – 454 с.
2. Bogyshevskiy V. System for the BOF Process Control / V. Bogyshevskiy, M. Sharbatian, V. Sukhenko // The advanced Science open access Journal. – V. 5. – 2013. – P. 23-27.
3. Охотский В. Б. Инфразвук в шуме продувки в конвертере / В. Б. Охотский, В. В. Рубан // Известия вузов. Чёр. металлургия. – 1990. – № 6. – С. 24-26.
4. Богушевський В. С. Математичне моделювання конвертерного процесу за енергозберігаючою технологією / В. С. Богушевський, К. М. Зубова // Технологічні комплекси. – 2013. – № 2 (8). – С. 32-38.
5. Богушевський В. С. Модель доводки киснево-конвертерної плавки сталі за заданою температурою і вмістом вуглецю / В. С. Богушевський, К. О. Сергєєва // Наукові вісті НТУУ «КПІ». – 2014. – № 2. – С. 39-45.



REFERENCES

1. Boychenko B. M., Ohots'kyi V. B., Kharlashyn P. S. (2004). Konverterne vyrobnytstvo stali (teoriya, tekhnolohiya, yakist' stali, konstruktsiya ahrehativ, retsyrukulyatsiya materialiv i ekolohiya) [BOF production of steel (theory, technology, quality steel, construction of aggregates, recycling of materials and ecology)]. Dnipropetrovs'k: RVA «Dnipro-VAL». [in Ukraine].
2. Bogyshevskiy V., Sharbatian M., Sukhenko V. (2013). System for the BOF Process Control. The advanced Science open access Journal, 5, 23-27. [in Russian].
3. Ohotskiy V. B., Ruban V. V. (1990). Infrazvuk v shume produvki v konvertere [The infrasound in noise blowing of BOF]. Novokuznetsk: Izvestiya vuzov. Cher. Metallurgiya. [in Russian].
4. Bohushevskiy V. S., Zubova K. M. (2013). Matematychnye modelyuvannya konverternoho protsesu za enerhozberihayuchoyu tekhnolohiyeyu [Mathematical modeling of the converter process for energy-saving technologies]. Technological Complexes, 2, 32-38. [in Ukrainian].
5. Bohushevskiy V. S., Serheyeva K. O. (2014). Model' dovodky kysnevo-konverternoyi plavky stali za zadanoyu temperaturoyu i vmistom vuhletsyu [Model of Bof Lapping with Setted Temperature and Carbon Content]. Naukovi visti NTUU «KPI», 2, 39-45. [in Russian].

Анотація

Богушевський В. С., Скачок О. Е.

Контроль шлакоутворення під час продування киснево-конвертерної плавки

Розглянуто методи підвищення якості управління конвертерною плавкою за рахунок вибору раціонального критерію шлакоутворення. Контроль процесу формування шлаку впливає на похибки в «статичних» системах. Так само процес шлакоутворення важливий для управління процесами десульфурзації, дефосфорації і для запобігання викидів металу і шлаку з конвертера. Представлено блок-схему перетворюючого фільтра, з якого береться сигнал і за допомогою алгоритму здійснюється контроль шлакоутворення. Виявлено зв'язок між амплітудно-частотною інформацією про пульсації тиску продуктів горіння вуглецю і характером шлакоутворення у ванні по ходу продувки. Встановлено, що за зменшення амплітуди можна визначити період спінювання шлаку.

Ключові слова

кисневий конвертер, шлакоутворення, основність, відхідні гази, положення фурми

This article discusses methods of the quality control improving for converter melting due to the choice of a rational criterion of slag formation. The control of the slag formation process affects on errors in the "static" systems. The process of slag formation also is important for the management processes of desulfurization, dephosphorization, and to prevent the emission of metal and slag from the converter. The article presents a transforming filter block diagram from which the signal is taken and via control algorithm implemented slagging. The authors found an association between the amplitude and frequency information on the pressure pulsations carbon combustion products and the nature of slag in the bath during blowing. It is established that the reduction of the amplitude can be determined during the slag foaming.

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, 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.