

Комплексные параметры конвертерной плавки и их связь с этим процессом

Ванна кислородного конвертера как многосвязный объект управления является трёхфазной, многокомпонентной термодинамической системой, в которой на фоне турбулентного переноса проходят взаимосвязанные тепломассообменные, гидродинамические, химические и другие необратимые явления. Современный уровень развития измерительной техники не позволяет в агрессивной высокотемпературной среде проводить прямой контроль скорости прохождения физико-химических процессов, которые определяют управляемые координаты объекта – температуру и содержание углерода в металле.

Ключевые слова: модель, конвертер, кислород, металл, газ, плавка, термодинамика, кинетика, параметр, результат, фурма, многоканальная схема, коэффициент, скорость, металл

Введение. Ванна кислородного конвертера как многосвязный объект управления является трёхфазной, многокомпонентной термодинамической системой, в которой на фоне турбулентного переноса проходят взаимосвязанные тепломассообменные, гидродинамические, химические и другие необратимые явления. Современный уровень развития измерительной техники не позволяет в агрессивной высокотемпературной среде проводить прямой контроль скорости прохождения физико-химических процессов, которые определяют управляемые координаты объекта – температуру и содержание углерода в металле [1].

Основой моделей управления конвертерной плавкой является статическая часть (управление по начальным и конечным параметрам продувки). Опыт эксплуатации таких систем показывает, что отклонение расчётных параметров процесса от фактических составляет значительную величину. Этот факт объясняется двумя причинами. Во-первых, в модель входит большое количество измеренных параметров, а у каждого измерения имеется погрешность. Во-вторых, модель включает параметры процесса, контроль которых от плавки к плавке невозможен (объём кислорода, идущий на окисление CO до CO_2 в полости конвертера, количество железа, уносимого с дымом, окисление железа в дыме и др.).

Если погрешность измерения входных параметров процесса является основным фактором, определяющим точность статической модели, то повышение эффективности работы модели будет определяться дальнейшим повышением точности измерительных средств. Когда погрешности измерений не являются определяющими, точность и повышение эффективности работы модели достигается за счёт прогнозирования динамики изменения управляемых координат объекта.

Как показали исследования [2], колебания значений динамических параметров процесса от плавки к плавке приводит к погрешности определения управляющих параметров в 4 раза более высокой, чем в случае учёта значений этих параметров. Отсюда сле-

дует, что определяющими точность расчёта управляющих параметров процесса являются колебания значений динамических параметров, контроль которых не осуществляется. Поэтому повышение точности контроля входных параметров должно сопровождаться уменьшением пределов колебания значений динамических параметров, что достигается стабилизацией процесса прохождения плавки.

Известно большое количество методов контроля параметров ванны. Методы основаны на законах термодинамики [3], кинетики [4], использовании статистических зависимостей [5]. Как правило, известные методы являются достаточно сложными, характеризуются отсутствием обратной связи от хода процесса, приводят к удовлетворительным результатам только в узком диапазоне изменения начальных и конечных параметров процесса. Часто эти методы позволяют контролировать только один выходной параметр – содержание углерода в ванне [6] или её температуру [7].

Таким образом, использование известных методов приводит к ошибкам в результатах измерений и, как следствие, к неоптимальному управлению конвертерной плавкой.

Приведённые в статье исследования проводились в Национальном техническом университете Украины «КПИ» по теме «Управление конвертерной плавкой в условиях неполной информации о начальных и конечных условиях продувки», Государственный регистрационный номер 0114U005002.

Постановка задачи. Целью исследований является непрерывное получение информации о ходе конвертерного процесса по косвенным параметрам плавки.

Результаты исследований. Общую схему управления динамикой кислородно-конвертерной плавки можно представить в виде программного управления по ходу продувки и корректирующего регулирования на основе контроля выходных параметров объекта [8].

Среди косвенных измерений характера протекания продувки наиболее полно и всесторонне исследованы параметры отходящего газа, тепловой работы водоохлаждаемого оборудования, вибрационных

характеристик объекта. В общем случае эти параметры являются функцией изменения химического состава ванны и шлака, температуры металла [9].

Нами проведены исследования по выявлению связей между выходными параметрами процесса и косвенными измерениями. Так, по данным, полученным на 160-тонном конвертере, сделан вывод, что температурный перепад охлаждающей воды на кессоне Δt_k тесно связан со скоростью обезуглероживания V_c (взаимнокорреляционная функция $R_{\Delta t_k V_c}$ характеризуется коэффициентом корреляции 0,965 со временем запаздывания сигнала $\Delta \tau = 0,67$ мин), равно как и температурный перепад на фурму ($R_{\Delta t_k V_c} = 0,825; \Delta \tau = 1,3$ мин). При этом время чистого запаздывания для фурмы составляет 10 с, для кессона 30 с. Исследована связь между скоростью обезуглероживания ванны конвертера и давлением отходящего газа в переходном газоходе. Установлено, что давление газа p отражает изменение скорости обезуглероживания ванны конвертера на всем протяжении продувки ($R_{p V_c} = 0,96; \Delta \tau \approx 0$).

Получение таких обнадеживающих результатов связано, вероятно, со стабильным ходом процесса в исследованных плавках, в приближении условий протекания химических реакций к термодинамическим. На плавках с нарушением хода технологического процесса коэффициенты корреляции рассмотренных зависимостей резко уменьшались, причём каждый косвенный параметр реагировал на это нарушение индивидуально.

Возможны два подхода к определению выходных параметров: построение многоканальной системы распознавания технологических ситуаций [10] или составление системы уравнений контроля по ходу продувки с использованием нескольких параметров.

При использовании принципа двухуровневого распознавания на нижнем уровне осуществляется распознавание ситуации отдельно по каждой измеряемой переменной, а окончательное решение формируется на втором этапе с учётом общего числа обрабатываемых косвенных параметров и информативности каждого из них. Повышение надёжности достигается за счёт структурной избыточности многоканальных систем контроля и независимости выборки индивидуальных решений по всем информационным каналам. При этом могут рассматриваться как некоторые расчётные величины (средние значения, дисперсии и т. д.), так и различного рода структурные признаки (координаты характерных точек и участков кривых). Общая постановка задачи двухуровневого распознавания соответствует модельной схеме теории группового выбора [11].

Пусть имеется множество A подлежащих распознаванию ситуаций a_j ($j = 1, \dots, m$) и множество B признаков z_i ($i = 1, \dots, p$), позволяющих осуществить выбор на множестве A . Каждому признаку z_i ставится в соответствие некоторое отношение индивидуального предпочтения $R_i = R_i(z_i)$ на множестве A^m . Отношение R_i может представлять собой, например, множество парных сравнений типа $a_j > a_l$ ($j \neq l$), тогда

$$R_i \subseteq A \cdot A = m^2, \quad (1)$$

или выбор одной предпочтительной по сравнению со всеми остальными ситуации a_j , тогда

$$R_i \subseteq A', \quad (2)$$

или упорядоченную по предпочтению последовательность a_j , тогда

$$R_i \subseteq A^m. \quad (3)$$

Требуется указать групповое отношение R , в некотором смысле согласованное с R_i , то есть задать правило согласования отношений $R = F(R_1, \dots, R_p)$ и осуществить на нём окончательный групповой выбор предпочтительной ситуации.

Поставленная проблема группового выбора требует решения следующих задач:

- определения способа вычисления признаков z_i на основании текущей информации об измеренных переменных x_k ($k = 1, \dots, n$) анализируемого технологического процесса;

- выбора вида индивидуальных отношений R_i на одном из множеств A^d , $1 \leq d \leq m$, а также однозначно определения алгоритма перехода от z_i к R_i ;

- задания правила согласования отношений $R = F(R_1, \dots, R_p)$; функция F обычно выбирается в соответствии с наиболее распространённым принципом согласования – правилом большинства, которому удовлетворяет, например, операция усреднения взвешенных индивидуальных отношений R_i ;

- выбора алгоритма окончательного группового распознавания технологической ситуации a_j .

Рассмотрим вначале случай сравнения двух ситуаций a_1 и a_2 . Без потери общности предположим, что общее число признаков z_i соответствует числу измеряемых переменных x_k ($p = n$). По результатам анализа признаков z_i формируются отношения индивидуальных предпочтений, в соответствии с которыми осуществляется переход к бинарной переменной

$$y_i = \{1, -1\}, \quad (4)$$

причём $y_i = 1$, если по z_i справедлив вывод о предпочтении $a_1 > a_2$ и делается выбор a_1 или $y_i = -1$, если выбирается a_2 .

Для принятия решения обращаются к средневзвешенной величине

$$y = \sum_{i=1}^p w_i y_i = \sum_{i \in p_1} w_i - \sum_{i \in p_2} w_i, \quad (5)$$

где p_1 , p_2 – количество членов, для которых соответственно $y_i = 1$ и $y_i = -1$; w_i – весовые коэффициенты, которые можно интерпретировать как коэффициент информативности.

Первый подход был применён нами для определения момента перехода к периоду обезуглероживания ниже критических массовых долей, при которых остаточная доля углерода пропорциональна скорости его окисления. В качестве признаков z_i ($i = 1, \dots, 4$) использовали кривую изменения скорости обезуглероживания, определённую по анализу отходящего газа, поверхностные плотности теплового потока на

фурму и кессон, давление отходящего газа в переходном газоходе. В качестве ситуаций a_j ($j = 1, 2$) приняли наличие перехода к периоду обезуглероживания ниже критических массовых долей. Этот подход позволил повысить точность контроля массовой доли углерода в металле в диапазоне его содержания 0,20...0,45 на 0,015 %.

Реализация второго подхода осуществлена при определении динамических параметров плавки. Система уравнений включает четыре уравнения, составленных на основе баланса кислорода и тепловых балансов в ванне конвертера, газов на выходе из горловины конвертера и для участка переходного газохода охладителя конвертерных газов. Решая её, определим скорость изменения температуры ванны, скорости обезуглероживания металла и выгорания железа и коэффициент, характеризующий степень дожигания CO в CO₂:

$$-0,02m_{\text{ч}}v_{\text{c}} + 0,01m_{\text{ч}}v_{\text{c}}\gamma_{\text{co}} - 0,214v_{\text{Fe}} + 1,06 \cdot 10^{-3}v\gamma_1 - 0,347 \cdot 10^{-2}m_{\text{ч}} \times \exp(-\tau/2,59\text{Si}_{\text{ч}}) - 0,112 \cdot 10^{-2}m_{\text{ч}} \times \exp[-\tau/2,05(\text{Mn}_{\text{ч}} - 0,9\text{Mn}_{\text{м}})] - 0,204 \cdot 10^{-3}m_{\text{ч}}\exp[-\tau/50(\text{P}_{\text{ч}} - 0,9\text{P}_{\text{м}})] = 0;$$

$$-0,88m_{\text{ч}}v_{\text{t}} + 252m_{\text{ч}}v_{\text{c}} - 146,5m_{\text{ч}}v_{\text{c}}\gamma_{\text{co}} + 4490v_{\text{Fe}} + 100m_{\text{ч}}\exp(-\tau/2,59\text{Si}_{\text{ч}}) + 35,3m_{\text{ч}}\exp\{-\tau/[2,05(\text{Mn}_{\text{ч}} - 0,9\text{Mn}_{\text{м}})]\} + 3,95m_{\text{ч}}\exp\{-\tau/[50(\text{P}_{\text{ч}} - 0,9\text{P}_{\text{м}})]\} - 1440[1 - \beta(\psi)]/\Delta\tau_{\text{y}}(\psi) \times \exp\{-\tau/[\Delta\tau_{\text{y}}(\psi)m_{\text{л}}[1 - \beta(\psi)]]\} - \sum_{j=1}^l 5770 \exp[-(\tau - \tau_{\text{икj}})/(0,88m_{\text{икj}})] - \sum_{j=1}^m 5770 \exp[-(\tau - \tau_{\text{иij}})/(0,459m_{\text{иij}})] - \sum_{j=1}^q 5800 \exp[-(\tau - \tau_{\text{шij}})/(0,423m_{\text{шij}})] - 0,12\lambda_{\text{ф}}\Delta t^*|_{x=0} \cdot \sqrt{2\pi^3 / (60a_{\text{ф}}\bar{\tau}_{\text{пл}})} \times R_{\text{ф}}L\cos[2\pi(0,5\tau_{\text{пл}} + \tau)/\tau_{\text{пл}}] = 0; \quad (6)$$

$$0,0442m_{\text{ч}}(t_{\text{фак}} - t_{\text{r}})v_{\text{c}} - 0,0322m_{\text{ч}}(t_{\text{фак}} - t_{\text{r}})v_{\text{c}}\gamma_{\text{co}} + 1,56 \cdot 10^{-3}K_2\delta p(t_{\text{фак}} - t_{\text{r}}) - 0,251(1 + \gamma_2)v_{\text{H}_2\text{O}}\Delta t_{\text{к}} - 0,06(1 + \gamma_2)K_1\Delta l = 0;$$

$$m_{\text{ч}}[1,866 \cdot 10^{-2}p - 0,933 \cdot 10^{-2}p\gamma_{\text{co}} - 10,8(t_{\text{r}} + 273)]v_{\text{c}} + 10^{-3}pK_2\delta p = 0,$$

где $m_{\text{ч}}$, $m_{\text{л}}$ – масса чугуна и лома на плавку, т; γ_{co} – коэффициент окисления углерода до CO в полости конвертера; v_{Fe} – массовая скорость окисления железа ванны, т/мин; v – расход дутья, м³/мин; γ_1 – коэффи-

циент, характеризующий чистоту дутья; τ – продолжительность продувки, мин; $\text{Si}_{\text{ч}}$, $\text{Mn}_{\text{ч}}$, $\text{P}_{\text{ч}}$ – содержание соответственно кремния, марганца и фосфора в чугуне, %; $\text{Mn}_{\text{м}}$, $\text{P}_{\text{м}}$ – содержание марганца и фосфора в металле, %; v_{t} – скорость изменения температуры ванны, °С/мин; $\beta(\psi)$ – массовая доля лома вида ψ , расплавленного при заливке чугуна в конвертер; $\Delta\tau_{\text{y}}(\psi)$ – удельное значение постоянной времени переходного процесса проплавления лома, мин/т; $\tau_{\text{икj}}$, $\tau_{\text{иij}}$, $\tau_{\text{шij}}$ – продолжительность времени от начала продувки до момента загрузки соответственно j -ой добавки известняка, извести и плавикового шпата, мин; $m_{\text{икj}}$, $m_{\text{иij}}$, $m_{\text{шij}}$ – масса соответственно j -ой добавки известняка, извести и плавикового шпата, т; $\lambda_{\text{ф}}$ – коэффициент теплопроводности футеровки, Вт/(м · К); $\Delta t^*|_{x=0}$ – амплитуда колебаний температуры на огневой поверхности футеровки, °С; $a_{\text{ф}}$ – коэффициент температуропроводности футеровки, м²/с; $\bar{\tau}_{\text{пл}}$ – средняя продолжительность плавки, мин; $R_{\text{ф}}$ – текущий внутренний радиус футеровки, м; L – длина эквивалентной цилиндрической футеровки конвертера, м; $t_{\text{фак}}$ – температура факела пламени в подъёмном газоходе охладителя конвертерных газов, °С; t_{r} – температура газа в переходном газоходе, °С; K_1 , K_2 , γ_2 – коэффициенты; Δl – температурное линейное расширение экранных труб подъёмного газохода, мм.

Система уравнений в режиме реального времени решалась на ПЭВМ IBM PC/AT с дискретностью 10 с. На рис. 1 и 2 приведены результаты решения системы на одной из плавок в 160-тонном конвертере.

Экспериментальная проверка динамической модели показала удовлетворительное отражение системой процессов, происходящих в ванне конвертера. Модель позволяет непрерывно по ходу продувки определять скорости обезуглероживания, изменения температуры и окисления железа ванны, а также степень дожигания CO в CO₂ в полости конвертера.

Непрерывное определение выходных параметров плавки позволяет организовать оптимальное управление последней, ибо изменение управляющих параметров может приводить к различному изменению выходных параметров процесса.

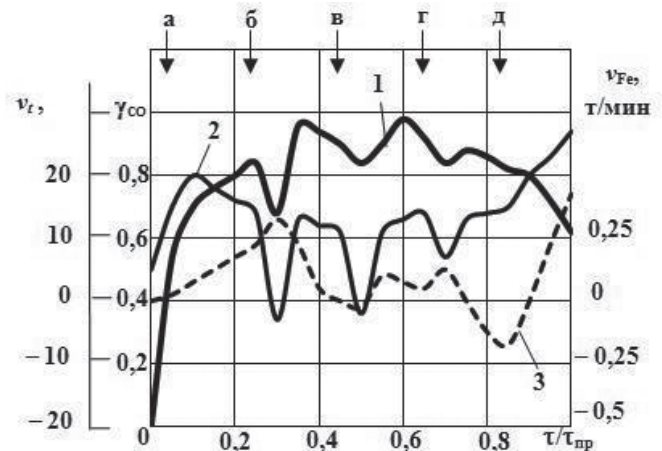


Рис. 1. Изменение доли углерода, окисляющегося до CO в полости конвертера (1), скорости изменения температуры (2) и угара железа (3) ванны по ходу продувки

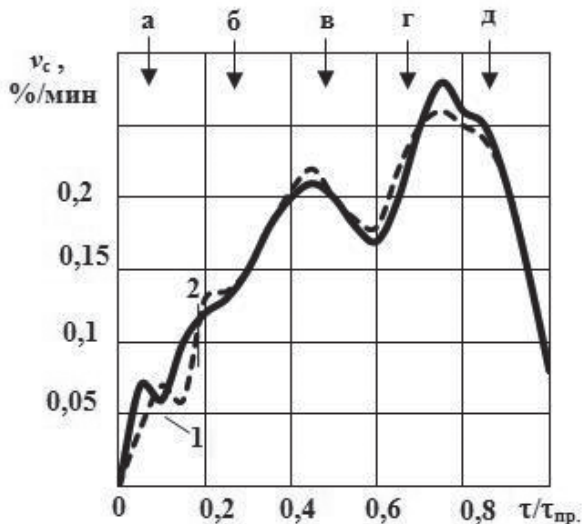


Рис. 2. Изменение скорости обезуглероживания ванны по балансу углерода (1) и рассчитанной по системе (2). Стрелки – моменты ввода добавок: а – извести 4 т; б – извести 2 т; в – извести 1,5 т; г – известняка 0,75 т; д – известняка 0,75 т.

Как показано в [12], оксиды железа образуются на поверхности контакта металл-газ площадью S_1 со скоростью v_{FeO_1} , а расходуются, в основном, на окисление углерода на поверхности металл-шлак площадью S_2 со скоростью v_{FeO_2} . Проследим, как изменяется соотношение между v_{FeO_1} и v_{FeO_2} с изменением расхода кислорода и положения фурмы над уровнем ванны при постоянных значениях параметров t , C , ΣFeO и др. При этом учтём, что при $S_1 = 0$ металл покрыт сплошным слоем шлака, а $S_2 = \pi R_{ф}^2$. При больших значениях расхода дутья величины S_1 и S_2 определяются уравнением

$$S = k(v - v_c)^n, \quad (7)$$

где k – коэффициент пропорциональности, зависящий от геометрических размеров конвертера и фурмы, а также физических свойств взаимодействующих фаз; v – расход дутья, обеспечивающий устойчивое разбрызгивание металла; n – показатель степени, меняющийся в пределах 0,5...0,7.

Изменение соотношения v_{FeO_1} и v_{FeO_2} с расходом дутья обусловлено различным влиянием последнего на S_1 и S_2 , а также на удельные скорости реакций окисления железа металла и восстановления оксидов железа шлака. При малых значениях v величины S_1 и v_{FeO_1} равны нулю. При $v > v'$ величина S_1 растёт интенсивнее v и поскольку константа скорости адсорбции кислорода велика, то при больших значениях v уравнение для v_{FeO_1} приводится к виду

$$v_{FeO_1} = v\gamma_1\beta_{Fe} \quad (8)$$

где β_{Fe} – молярная доля железа в расплаве.

Тогда зависимость v_{FeO_1} отобразится линией, асимптотически приближающейся к линии 1, соответствующей полному усвоению кислорода. Скорость расходования оксидов железа при $v < v'$ остаётся постоянной, так как практически не изменяется величина

на S_2 . Далее при $v > v'$ площадь поверхности S_2 растёт в соответствии с зависимостью (7), а значение v_{FeO_2} прямо пропорционально величине S_2 .

Приведены зависимости между скоростями v_{FeO_1} и v_{FeO_2} , при которых пересекаются кривые в точках А, В и С (при этом $v_{FeO_1} = v_{FeO_2}$, а постоянная масса шлака обуславливает постоянную в нём долю монооксида железа).

Таким образом, продувка с расходами кислорода v' , v'' и v''' позволяет поддерживать, хотя и непродолжительное время, характеристику шлакометаллической эмульсии (окисленность) постоянной. Координаты точек А, В и С непрерывно изменяются с изменением скоростей v_{FeO_1} и v_{FeO_2} . Величина v' мала и не представляет интереса для конвертерного процесса, а значения v'' и v''' могут быть использованы при разработке стратегии управления. Вблизи значений v'' и v''' можно выделить два интервала расходов Δv_I и Δv_{II} в пределах которых легко осуществить оперативное опережающее управление. Изменяя величину v в этих относительно малых пределах, легко добиться увеличения или уменьшения доли оксидов железа в шлаке. Причём в интервале Δv_I при уменьшении расхода дутья растёт доля монооксида железа в шлаке, а в интервале Δv_{II} – наоборот, то есть увеличение расхода дутья в разных интервалах приводит к противоположным результатам по эффективному усвоению кислорода ванной.

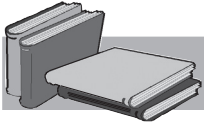
Аналогичные результаты получены при исследовании изменения расстояния от сопла фурмы до уровня спокойного металла.

Если учесть, что состояние шлакометаллической эмульсии определяется не только долями оксидов железа в шлаке, но и скоростью окисления углерода, вязкостью шлака, коэффициентами поверхностного и межфазного натяжений и т. п., то нетрудно представить сложность разработки оптимальной программы изменения расхода дутья и положения фурмы в процессе продувки. С этой точки зрения предпочтительнее предварительное определение скоростей узловых точек, вычисление выходных параметров процесса по комплексным параметрам плавки и ведение управления в экстремальном режиме.

Выводы

Возможны два подхода к определению выходных параметров: построение многоканальной системы распознавания технологических ситуаций или составление системы уравнений контроля по ходу продувки с использованием нескольких параметров. Первый подход более предпочтителен при нахождении узловых точек при определении характера изменения выходных параметров, второй – при исследовании динамики изменения взаимосвязанных параметров процесса.

Влияние управляющих параметров на ход технологического процесса может быть диаметрально противоположным в зависимости от состояния ванны.



ЛИТЕРАТУРА

1. Чернега Д. Ф. Основы металлургического производства металлов и сплавов: Пособие / Д. Ф. Чернега, В. С. Богушевский, Ю. Я. Готвянский та ін. За ред. Д. Ф. Чернеги, Ю. Я. Готвянского. – К.: Вища школа, 2006. – 503 с.
2. Жуков Н. Н. Определение погрешности работы балансовых систем расчета шихты на кислородно-конвертерный процесс / Н. Н. Жуков, Б. Н. Огороков, С. В. Коминов // Изв. вузов. Чёрная металлургия. – 1986. – № 5. – С. 29-31.
3. Богушевский В. С. Модель переноса массы и теплоты в квазигомогенном приближении / В. С. Богушевский, Е. А. Сергеева, С. В. Жук // MANTRIFLY VI MIEDZYNARODO- WEJ NAUKOWI-PRAKTYCZNEJ KONFERENCJI "NAUKOWA PRZESTRZEC EUROPY-2010", Przemysl, 7-12, 2010, Vol. 19. – С. 27-32.
4. Бойченко Б. М. Конвертерное производство стали (теория, технология, качество стали, конструкция агрегатов, рециркуляция материалов и экология) / Б. М. Бойченко, В. Б. Охотский, П. С. Харлашин – Днепропетровск: РВА «Дніпро-ВАЛ», 2004. – 454 с.
5. Богушевский В. С. Реализация модели управления конвертерной плавкой в системе принятия решений / В. С. Богушевский, В. Ю. Сухенко, Е. А. Сергеева, С. В. Жук // Автоматика. Автоматизация. Электрические комплексы та системи. – 2010. – № 1 (25). – С. 101-105.
6. Богушевский В. С. Математическая модель управления дутьевым режимом конвертерной плавки / В. С. Богушевский, В. Ю. Сухенко, Е. А. Сергеева // Изв. вузов. Чёрная металлургия. – 2011. – № 8. – С. 24-25.
7. Богушевский В. С. Контроль температурного режима конвертерной плавки / В. С. Богушевский, К. О. Сергеева // Наукові вісті НТУУ «КПІ». – 2009. – № 6. – С. 75-80.
8. Богушевский В. С. Модель доводки кислородно-конвертерной плавки стали за заданой температурой и содержанием углерода / В. С. Богушевский, К. О. Сергеева // Там же. – 2014. – № 2. – С. 39-45.
9. Богушевский В. С. Параметры отходящего газа как индикаторы массо- и теплообменных процессов в ванне конвертера / В. С. Богушевский, С. В. Жук, Е. Н. Зубова // Металл и литьё Украины. – 2012. – № 7. – С. 16-20.
10. Паринов С. П. О построении многоканальной системы распознавания технологических ситуаций / С. П. Паринов, С. А. Дубровский, В. А. Щепов и др. // Изв. вузов. Чёрная металлургия. – 1980. – № 12. – С. 105-109.
11. Миркин Б. Г. Проблемы группового выбора / Б. Г. Миркин – М.: Наука, 1974. – 256 с.
12. Богушевский В. С. Обезуглероживание стали как основной параметр оптимального управления кислородно-конвертерным процессом / В. С. Богушевский, С. Г. Мельник, С. В. Жук // Металл и литьё Украины. – 2014. – № 2. – С. 14-16.

Анотація

Егоров К. В., Богушевський В. С.

Комплексні параметри конвертерної плавки та їх зв'язок з цим процесом

Ванна кисневого конвертера як багатозв'язаний об'єкт управління є трьохфазною, багатокомпонентною термодинамічною системою, в якій на фоні турбулентного переносу проходять взаємопов'язані тепломасообмінні, гідродинамічні, хімічні та інші необоротні явища. Сучасний рівень розвитку вимірювальної техніки не дозволяє в агресивному високотемпературному середовищі проводити прямий контроль швидкості проходження фізико-хімічних процесів, які визначають керовані координати об'єкта – температуру і вміст вуглецю в металі.

Ключові слова

модель, конвертер, кисень, метал, газ, плавка, термодинаміка, кінетика, параметр, результат, фурма, багатоканальна схема, коефіцієнт, швидкість, метал

Summary

Egorov K., Bogushevskiy V.

Complex parameter converter process and their relationship with this process

Bath BOF multiply as the multi-loop controlled object is a three-phase, multi-component thermodynamic system in which on the background of turbulent transport are interrelated, hydrodynamic, chemical and other irreversible phenomena. The present level of development of the measurement technique does not allow to carry out the direct control of the velocity of the physical and chemical processes that determine the managed object's coordinates - temperature and carbon content in the metal, an aggressive high-temperature environment

Keywords

model, converter, oxygen, gas, melting, thermodynamics, kinetics, parameter, result, tuyere, multichannel chart, coefficient, speed, metal

Поступила 04.03.2015