

- ontent&view=article&id=62:2010-10-14-13-06-06&catid=2:misc&Itemid=3.
6. James W. Cooper. Introduction to design patterns in C#. IBM TJ Watson Research Center. 2002. — 424 p.

7. Design Patterns in C# / Jean Paul V.A. Publisher: Addison-Wesley. 2012. — 95 p

пост.01.04.14

Математична модель теплового стану доменної плавки без інформації про склад колошникового газу

Б. П. ДОВГАЛЮК., Р. В. ВОЛОШИН

Дніпродзержинський державний технічний університет

Сучасне ефективне автоматичне керування технологічними процесами плавки можливе при високій точності інформації про склад колошникового газу. Розробка математичної моделі алгоритму керування без інформації про склад колошникового газу, є актуальною. Авторами розроблено математичну модель алгоритму керування технологічними процесами доменної плавки без інформації про склад колошникового газу, яка базується на інформації про кількість і склад комбінованого дуття, кількість і хімічний склад шихтових матеріалів, палива та продуктів плавки, температуру фурменних вогнищ.

Современное эффективное автоматическое управление технологическими процессами доменной плавки возможно при высокой точности информации про состав колошникового газа. Авторами разработана математическая модель алгоритма управления технологическими процессами доменной плавки без информации про состав колошникового газа, которая базируется на информации про количество и состав комбинированного дутья, количество и химический состав в шихтовых материалах, топлива и продукту плавки, температуры фурменных очагов.

Modern effective automatic control by the technological processes of the domain melting at high exactness of information about composition of top gas. Authors are work out the mathematical model of management algorithm by the technological processes of the domain melting without about composition of top gas, that is based on information about an amount and composition of the combined blowing, amount and chemical husbanding materials, fuel and products of melting, temperature of tuyere hearths.

Постановка проблеми. Ефективне використання сучасних АСКТП доменної плавки можливе при високій точності інформації про склад колошникового газу, яку досягнути не вдається. Тому актуальною є розробка математичної моделі алгоритму керування без інформації про склад колошникового газу.

Мета роботи. Розробка математичної моделі алгоритму керування технологічними процесами доменної плавки без інформації про склад колошникового газу.

Результати роботи. Основою математичної моделі є комплексні показники технологічного процесу, які визначаються за інформацією про комбіноване дуття, шихтові матеріали і паливо, продукти плавки, температуру фурменних вогнищ.

Комбіноване дуття характеризують параметрами [1]: кількість ($V_{кд}$), вміст у ньому кисню (ω) та природного газу (δ), кількість горнового газу, що утворюється із m^3 комбінованого дуття ($V_{пр}$), тепломісткість комбінованого дуття ($W_{кд}$), теоретична температура горіння (t_m).

Вміст кисню у дутті (частка одиниці об'єму) розраховують:

$$\omega = \frac{(V - V_o / 60) \times 0,21 + V_o / 60 \times \omega'}{V} = 0,21 + 0,0166 V_o / V \times (\omega' - 0,21)$$

де V_o – кількість кисню, що вдувається у піч, m^3/g ; V_d – кількість дуття з киснем, $m^3/xв$; ω' – частка кисню у

технологічному кисні; 0,21 – частка кисню у атмосферному повітрі. Кількість комбінованого дуття та вміст у ньому природного газу:

$$V_{кд} = V_d + V_{пр} \cdot 60, m^3/xв., \quad (2)$$

$$\delta = V_{пр} / 60 V_{кд}, \text{ частка одиниці об'єму} \quad (3)$$

де $V_{пр}$ – кількість природного газу, який подається у піч, m^3/g . Тепломісткість комбінованого дуття:

$$W_{кд} = C_d(t_d - \Delta t_\lambda \times \lambda)(1 - \delta) - Q\delta + v_{пвп}(C_{пвп} t_{пвп} - 13,4W^p - 21,4S^p), \quad (4)$$

де t_d – температура нагрітого дуття, $^{\circ}C$; $t_{пвп}$ – температура пилувугільного палива, $^{\circ}C$; C_d – теплоємність нагрітого дуття, $кДж/(m^3 \cdot \text{град.})$; $C_{пвп}$ – теплоємність пилувугільного палива, $кДж/(g \cdot \text{град.})$; λ – вологість дуття, g/m^3 ; W^p , S^p – вміст у пилувугільному паливі води та сірки, частка одиниці маси, $v_{пвп}$ – витрати пилувугільного палива, g/m^3 ; Q – теплота розкладання природного газу, $кДж/m^3$; Δt_λ – зниження температури дуття, еквівалентне витраті тепла на розкладання в горні печі 1 g води. Його значення для температури дуття 1000, 1100, 1200 та 1300 $^{\circ}C$ відповідно дорівнює: 9,55; 9,45; 9,35; 9,31 $^{\circ}C$ [1]. Кількість кисню в m^3 комбінованого дуття:

$$\omega = 0,21 + 0,000622 W^p + 0,000622 S^p + 0,00070 v_{пвп} \quad (5)$$

де O^P - вміст кисню у пиловугільному паливі, частка одиниці маси. Кількість оксиду вуглецю у горновому газі:

$$CO_r = 2O_d, \text{ м}^3/\text{м}^3 \text{ комбінованого дуття (к.д.)} \quad (6)$$

Кількість азоту у м^3 комбінованого дуття:

$$N_d = (1-\omega)(1-0,001244\lambda)(1-\delta) + 0,0008 \cdot v_{\text{внп}} N^P, \text{ м}^3 \quad (7)$$

де N^P - вміст азоту у пиловугільному паливі, частка одиниці маси. Кількість водню у м^3 комбінованого дуття:

$$H_d = 0,001244\lambda(1-\delta) + \mu \cdot \delta + (CO_r - \gamma \cdot \delta) / \psi + v_{\text{внп}}(0,0112H^P + 0,001244 \cdot W^P), \quad (8)$$

де μ, γ - кількість водню та вуглецю, які утворюються в горні від розкладання м^3 природного газу, $\text{м}^3/\text{м}^3$; ψ - об'ємне відношення газифікованого вуглецю до водню - у коксі (для коксу із донбаського вугілля $\psi = 25$). Кількість горнового газу, який утворюється із м^3 комбінованого дуття:

$$V_{\text{г}} = CO_r + N_d + H_d, \quad (9)$$

Теоретична температура горіння один із найважливіших комплексних показників доменного процесу. Розроблено формули для її розрахунку [1-6] та номограми для її оперативного визначення [3, 7, 10]. Теоретичну температуру розраховують за формулою автора: [1]

$$t_{\text{г}} = \frac{5250CO_r + W_{\text{кд}} + h'_c}{C_{\text{co}} \cdot CO_r + C_{\text{H}} \cdot H_d + C_{\text{N}} \cdot N_d}, \text{ } ^\circ\text{C} \quad (10)$$

де $C_{\text{co}}, C_{\text{H}}, C_{\text{N}}$ - теплоємності відповідних складових горнового газу, $\text{кДж}/(\text{м}^3 \cdot \text{град.})$; h'_c - тепломісткість вуглецю коксу, який горить на фурмах, $\text{кДж}/\text{м}^3$ к.д. Тепломісткість 1 кг вуглецю, який горить на фурмах, визначається за формулою Гумца: [3]

$$h_c = 1,976t_c - 466,83, \text{ кДж/кг C}, \quad (11)$$

де t_c - температура вуглецю коксу. Згідно з припущенням О.Н Рамма [6] $t_c = 0,75 t_{\text{г}}$, тоді:

$$h_c = 1,482 t_{\text{г}} - 466,83, \text{ кДж/кг C}. \quad (12)$$

Враховуючи те, що при вдуванні м^3 комбінованого дуття на фурмах згорить:

$$0,536 (CO_r - \gamma \cdot \delta - 0,0018667 v_{\text{внп}} C^P) \text{ кг вуглецю коксу, то:} \\ h'_c = 0,536 (CO_r - \gamma \cdot \delta - 0,0018667 v_{\text{внп}} C^P) (1,482 t_{\text{г}} - 466,83), \\ \text{кДж}/\text{м}^3 \text{ к.д.}, \quad (13)$$

Теплоємності складових горнового газу у границях 1500-2400 $^\circ\text{C}$ визначаються за даними Юсті [8]:

$$C_{\text{co}} = 1,49 + (t_{\text{г}} - 1800) 0,712 \cdot 10^{-4}$$

$$C_{\text{H}} = 1,39 + (t_{\text{г}} - 1800) 0,837 \cdot 10^{-4}$$

$$C_{\text{N}} = 1,47 + (t_{\text{г}} - 1800) 0,712 \cdot 10^{-4}$$

Підставляючи в (12) значення відповідних величин, отримуємо:

$$t_{\text{г}} = \frac{-\kappa + \sqrt{\kappa^2 + 4n \cdot g}}{2n}, \text{ } ^\circ\text{C} \quad (14)$$

Де $\kappa = 1,49CO_r + 1,39H_d + 1,47N_d - 0,18(0,712CO_r + 0,837H_d + 0,712N_d) - 0,536 \cdot 1,482 (CO_r - \gamma \cdot \delta - 0,0018667 v_{\text{внп}} C^P)$; $n = (0,712 CO_r + 0,837 H_d + 0,712 N_d) 10^{-4}$; $g = 5250 CO_r + W_{\text{кд}} - 466,83 - 0,536 (CO_r - \gamma \cdot \delta - 0,0018667 v_{\text{внп}} C^P)$.

Параметри шихтових матеріалів. Окисненість шихти:

$$O_{\text{ч}} = O_{\text{шп}}/C, \text{ кг O}_2/\text{кг чавуну}, \quad (15)$$

де $O_{\text{шп}}$ - кількість газифікованого кисню із шихти однієї подачі, кг; C - кількість чавуну, який виплавляється із шихти однієї подачі, кг. Їх значення визначають:

$$O_{\text{шп}} = 0,222A_r \cdot FeO + 0,43(A_r \cdot Fe - 0,778A_r \cdot FeO) + 0,43K \cdot Ж \cdot Fe_{\text{ж}} + 1,14[Si] +$$

$$0,291[Mn] + 1,291[P] + 0,5(0,85K \cdot S_{\text{к}}[S]) + 0,727I \cdot CO_{2\text{кр}} - 0,43\Pi \cdot Fe_{\text{п}}; \quad (16)$$

$$C = (A_r \cdot Fe + K \cdot Ж \cdot Fe_{\text{ж}} + D \cdot Fe_{\text{д}} - \Pi \cdot Fe_{\text{п}}) / Fe_{\text{ч}}, \quad (17)$$

де A_r - маса рудної частини шихти у подачі, кг; K - маса коксу у подачі, кг; Π - внос колошникового пилу, кг/подачу; I - маса вапняку у подачі, кг; D - маса металобрухту у подачі, кг; $Ж$ - вміст золи у коксі, частка одиниці маси; Fe, FeO - вміст заліза та його оксиду у рудній частині шихти, частка одиниці маси; $Fe_{\text{ч}}, Fe_{\text{д}}, Fe_{\text{п}}, Fe_{\text{ж}}$ - вміст заліза, відповідно, у чавуні, металобрухті, колошниковому пилу та у золі коксу, частка одиниці маси; $CO_{2\text{кр}}$ - вміст вуглекислоти у вапняку, частка одиниці маси; $[Si], [S], [Mn], [P]$ - вміст у чавуні, відповідно, кремнію, сірки, марганцю та фосфору, частка одиниці маси; $S_{\text{к}}$ - вміст сірки у коксі, частка одиниці маси; $0,222$ - частка кисню у FeO ; $0,778$ - частка заліза у FeO ; $0,727$ - частка кисню у CO_2 ; $0,43$ - відношення маси кисню до маси заліза у Fe_2O_3 ; $1,14$ - відношення маси кисню до маси кремнію у SiO_2 ; $0,291$ - відношення маси кисню до маси марганцю у MnO ; $1,291$ - відношення маси кисню до маси фосфору у P_2O_5 ; $0,85$ - частка сірки коксу, яка переходить у шлак та чавун; $0,5$ - частка маси газифікованого кисню від маси сірки при її ошлакуванні за реакцією: $FeS + CaO = Fe + CaS + 0,5O_2$.

Окисненість заліза рудної частини шихти ($\text{м}^3 O_2/\text{кг Fe}$):

$$O_{\text{Fe}} = \left(0,3 - 0,0778 \times \frac{FeO}{Fe} \right) \quad (18)$$

Продуктивність печі визначають за інформацією про кількість чавуну, що виплавляється із шихти однієї подачі, кількість завантажених подач за годину:

$$P_{\text{м}} = C \times N \sum_{i=1}^N t_{\text{п},i}, \text{ кг/хв} \quad (19)$$

де N - кількість подач шихти, які завантажені у піч за календарну годину; $t_{\text{п},i}$ - час сходу шихти i -ї подачі, хв.

Професор В.А.Сорокін пропонував визначати хвилину продуктивності печі, виходячи з наявності вільного тепла та його затрат на виплавку чавуну заданого складу [9]. Проте в такому методі не враховується коливання складу чавуну та тепломісткості продуктів плавки. Кількість вуглецю, що витрачається на фурмах:

$$\tilde{N}_{\text{в}} = \frac{0,000536 \tilde{N}_{\text{а}} V_{\text{в}}}{D_i}, \text{ кг/кг чавуну} \quad (20)$$

Прихід тепла в нижню частину печі (кДж/кг чавуну):

$$\theta = \frac{(5250 \tilde{N}_{\text{а}} + W_{\text{в}}) V_{\text{в}}}{D_i}, \quad (21)$$

Прихід тепла з нагрітим дуттям:

$$W = W_{\text{кд}} \cdot V_{\text{кд}} / P_{\text{м}}. \quad (22)$$

За останніми трьома показниками можна контролювати тепловий стан плавки.

Контроль коливання процесу окиснення елементів чавуну на фурмах. З усередненої інформації за 10 хв визначають: температуру кожного фурменого вогнища $t_{\text{ф},i}$ та всієї фурменної зони $t_{\text{ф}}$; теоретичну температуру горіння $t_{\text{г}}$; різницю між теоретичною температурою горіння і температурою фурменних вогнищ:

$$\Delta t = t_{\text{г}} - t_{\text{ф}}; \quad (23)$$

Через 20 хв. за кожні 10 хв. визначають приріст Δt :

$$\Delta = \Delta t(t) - \Delta t(t-1) \quad (24)$$

Якщо $\Delta < -30^\circ\text{C}$, то вважають, що збільшилось окиснення елементів чавуну на фурмах. Якщо $\Delta > 30^\circ\text{C}$, то вважають, що зменшилось окиснення елементів чавуну на фурмах. Міру зміни окиснення заліза Δz (в %) визначають за формулою:

$$\Delta z = -0,75\Delta \quad (25)$$

Наведені операції виконуються також за усередненою інформацією за кожні 20, 30, 60 хв та за час між випусками чавуну. Створюють ковзний масив усередненої інформації за кожні 20, 30, 60 хв. тривалістю 48 годин і визначають ковзні взаємно-кореляційні функції (ВКФ) залежності вмісту кремнію, сірки в чавуні та температури чавуну від Δz . Наявність двох екстремумів ВКФ (перший в області прогнозу складу чавуну та температури чавуну за 40 – 120 хвилин із зворотною залежністю теплового стану печі від Δz , а другий в області прогнозу складу чавуну та температури чавуну за 400 – 560 хвилин із прямою залежністю теплового стану печі від Δz) буде підтверджувати коливання окиснення елементів чавуну на фурмах.

Кожної години, якщо екстремальні значення коефіцієнтів парної кореляції по модулю перевищують величину $|0,6|$, визначають ковзні рівняння регресії залежності зміни складу чавуну та температури чавуну від Δz через 40- 120 хв (τ_1)

$$\begin{aligned} \Delta Si(t+\tau_1) &= a + b\Delta z(t) \\ \Delta S(t+\tau_1) &= a_1 + b_1\Delta z(t) \\ \Delta t_a(t+\tau_1) &= a_2 + b_2\Delta z(t) \end{aligned} \quad (26)$$

та через 400 – 560 хвилин (τ_2)

$$\begin{aligned} \Delta Si(t+\tau_2) &= a_3 + b_3\Delta z(t) \\ \Delta S(t+\tau_2) &= a_4 + b_4\Delta z(t) \\ \Delta t_a(t+\tau_2) &= a_5 + b_5\Delta z(t) \end{aligned} \quad (27)$$

За рівняннями (23) розраховують прогнозну зміну відповідних параметрів якості чавуну через 40 - 120 хв., а за рівняннями (24) розраховують прогнозну зміну відповідних параметрів якості чавуну через 400 – 560 хв. Прогнозні зміни параметрів якості чавуну передаються в автоматизовану систему керування тепловим станом плавки для остаточного визначення ефективних керуючих діянь.

Висновки

Розроблено математичну модель алгоритму керування технологічними процесами доменної плавки

без інформації про склад колошникового газу, яка базується на інформації про кількість і склад комбінованого дуття, кількість і хімічний склад шихтових матеріалів, палива та продуктів плавки, температуру фурмених вогнищ. Основні комплексні показники теплового стану плавки: кількість горнового, газу, який утворюється із m^3 комбінованого дуття; тепломісткість комбінованого дуття; кількість оксиду вуглецю у горновому газі; теоретична температура горіння; кількість газифікованого кисню шихти однієї подачі; кількість чавуну, який виплавляється із шихти однієї подачі; продуктивність печі; кількість вуглецю, що витрачається на фурмах; прихід тепла в нижню частину печі; міра зміни окиснення заліза на фурмах; прогнозні зміни параметрів якості чавуну.

ЛІТЕРАТУРА

1. Довгалюк Б. П. АСУ ТП доменної печі. Дніпродзержинськ : ДДТУ, 1998. 170 с.
2. Рамм А. Н. Применение комбинированного дутья в доменной плавке. // Бюллетень ЦИИИ ЧМ. — 1958. — №8. — С. 9—22.
3. Борисов Ю. С. Расчет теоретической температуры горения при комбинированном дутье в доменных печах. // Сталь. — 1965. — №10. — С.884—890.
4. Касьян В. В. Теоретическая температура горения как параметр комбинированного дутья. // Сталь. 1975. — №8. — С.684—687.
5. Рамм А. Н. Определение технических показателей доменной плавки. — Л. : ЛПИИБ 1971. — 110 с.
6. Рамм А. Н. Применение дутья в доменной плавке. // Современные проблемы металлургии. — М. : АН СССР, 1958. — С.61—95.
7. Хомич В. Н. Влияние температуры горновых газов на работу доменной печи. // Автореферат кандидатской диссертации. — Днепропетровск. : ДМетИ, 1969. 17 с.
8. Линчевский В. П. Топливо и его сжигание. — М. : Металлургия, 1959. — 398 с.
9. Сорокин В. А. Комплексная автоматизация доменных печей. — М. : Металлургия, 1963. — 279 с.
10. Довгалюк Б. П. Основные номограммы доменного процесса. — К. : Техніка, 1985. — 56 с.