ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1973

Seria: Energetyka z. 48 Nr kol. 375

Jerzy Tomeczek
Instytut Energetyki Gazowej

Jan Nadziakiewicz
Instytut Techniki Cieplnej

STATYSTYCZNA ANALIZA DZIAŁANIA PIECA MARTENOWSKIEGO OPALANEGO GAZEM ZIEMNYM Z SAMOKARBURYZACJĄ

Streszczenie. W pracy przeanalizowano wpływ dziesięciu parametrów na działanie pieca martenowskiego opalanego gazem ziemnym. Metodą regresji wieloparametrowej ustalono wpływ tych parametrów na wydajność pieca oraz czas trwania wytopu. Wyniki obliczeń wykonanych na maszynie cyfrowej przedstawiono w postaci równań oraz w postaci wykresów.

Wstęp

Prawidłowe prowadzenie wytopów w piecu martenowskim wymaga znajomości wpływu wszystkich czynników na przebieg procesu. Problem ten jest również bardzo istotny przy modernizacjach pieców martenowskich związanych z przejściem na inny rodzaj paliwa.

Na przebieg procesu martenowskiego wpływają czynniki związane z konstrukcją pieca, czynniki eksploatacyjne oraz bardzo trudne do określenia czynniki organizacyjne. Celem niniejszej pracy było ustalenie wpływu czynników eksploatacyjnych na działanie pieca.

Poważnym problemem wynikającym przy opalaniu pieca martenowskiego gazem ziemnym jest mała emisyjność płomienia. Jako rozwiązanie stosuje się tak zwaną karburyzację polegającą na doprowadzeniu do rozkładu paliwa na węgiel w postaci sadzy i wodór. Efekt ten osiąga się przez użycie dodatkowego karburyzatora (np. mazut) lub przez termiczny rozkład części metanu na skutek wstępnego podgrzania (tzw. samokarburyzacja). [1,2,3] . Analizowany piec martenowski opalany jest gazem ziemnym z samokarburyzacją. Część gazu palnego kierowana jest do palnika niskiego ciśnienia i spala się przy niedomiarze tlenu ulegając przy tym rozkładowi. Pozostała część gazu dopływa do palnika wysokiego ciśnienia i po zmieszaniu się z produktami spalania palnika niskiego ciśnienia spala się w komorze pieca. Powstaje więc ważny problem rozdziału gazu na palniki wysokiego i niskiego ciśnienia i jego wpływu na przebieg procesu martenowskiego.

Czas rewersji ma bezpośredni wpływ na temperaturę powietrza dostarczanego do spalania, a więc i na szybkość zachodzenia procesów cieplnych. Wpływ ten również był badany.

Istotny wpływ na przebieg procesu wytapiania stali ma masa i skład wsadu przy założeniu, że analizowane są jedynie wytopy o tym samym gatunku stali. Głównym czynnikiem jest tu rodzaj surówki oraz jej udział w całkowitej masie wsadu.

Dla znalezienia wpływu tak wielu czynników na przebieg procesu martenowskiego zastosowano statystyczną analizę metodą regresji wieloparametrowej [4,5].

Przedmiotem badań był piec o wydajności nominalnej 50 ton. Charakteryzował się on jedną komorą regeneratora w związku z czym nie posiadał możliwości regulacji stosunku powietrza pierwotnego do wtórnego. Piec ładowany był złomem i surówką w stanie stałym. Podczas pomiarów znajdował się on w normalnym cyklu produkcyjnym, co ograniczało możliwości zmiany parametrów procesu. Z tego powodu analizowane wytopy są tylko częściowo sterowane w celu zwiększenia zakresu zmian parametrów.

WYKAZ OZNACZEŃ

a - współczynnik w szukanym modelu,

c_k - zawartość węgla w kąpieli w momencie ostatniej analizy,

c_r - zawartość węgla w kąpieli po roztopieniu,

m_s - masa stali,

m_{sur} - masa surówki stałej,

m_{ws} - masa wsadu,

n - ilość zmiennych niezależnych,

$\dot{V}_i$ - całkowity strumień gazu doprowadzonego do pieca w okresie i (i=1 - okres ładowania, i=2 - okres topnienia, i=3 - okres wyrabiania).

$(\frac{W}{N})_i$ - stosunek strumienia gazu wysokiego ciśnienia do niskiego ciśnienia w okresie i,

x_i - zmienne niezależne,

λ - stosunek nadmiaru powietrza,

τ - czas wytopu liczony od początku ładowania do ostatniej analizy,

τ_r - czas rewersji.

1. Metoda analizy

Analizą objęto wytopy przeprowadzone w czasie 2 miesięcy. Wstępna selekcja danych spowodowała odrzucenie wytopów nietrafionych bądź też przetrzymanych ze względów organizacyjnych. Ostatecznie do analizy statystycznej zakwalifikowano 74 wytopy przeprowadzone dla tego samego gatunku stali.

Oprócz danych normalnie umieszczonych na kartach wytopów, dla analizowanych wytopów rejestrowano szereg dodatkowych wielkości. W ten sposób do analizy mogą być wykorzystane następujące wielkości:

strumień gazów wysokiego i niskiego ciśnienia,
stosunek nadmiaru powietrza,
zawartość węgla w kąpieli,
czas rewersji,
masa wsadu i skład wsadu,
masa otrzymanej stali,
czasy trwania etapów wytopu.

Podczas dokonywania eksperymentu tak prowadzono piec, aby uzyskać duży zakres zmienności badanych wielkości.

Całkowity czas trwania wytopu podzielono na trzy etapy umowne: ładowanie, roztapianie oraz wyrabianie. Dokładne ustalenie granicy pomiędzy tymi etapami jest niemożliwe, nie jest to jednak konieczne dla celów niniejszej pracy. Wielkości ulegające zmianie w czasie (np. strumienie gazów) były mierzone przez cały czas wytopu, a do analizy wzięto ich uśrednione wartości dla każdego etapu wytopu. W sumie dane obejmowały 16 wielkości dla 74 wytopów. Poszukiwano zależności wydajności pieca $\dot{m}_s$ (stosunek masy otrzymanej stali do czasu trwania wytopu), od wymienionych wielkości oraz zależności całkowitego czasu wytopu od tych samych wielkości.

Analizę przeprowadzono metodą regresji wieloparametrowej. Poszukiwane zależności nie mają charakteru liniowego. Przyjęto zatem model w postaci wielomianu drugiego stopnia:

$$y = a_o + \sum_{i=1}^{n} (a_i x_i + a_{i+n} x_i^2). \tag{1}$$

Model taki jest łatwy do dopasowania do rzeczywistych przebiegów, umożliwia wystąpienie lokalnych ekstremów oraz może być sprowadzony do modelu liniowego przez potraktowanie kwadratów jako zmiennych niezależnych. Upraszcza to znacznie analizę oraz umożliwia zastosowanie programu bibliotecznego maszyny ZAM-41 opracowanego w PROSYNCHEMIE w Gliwicach [6].

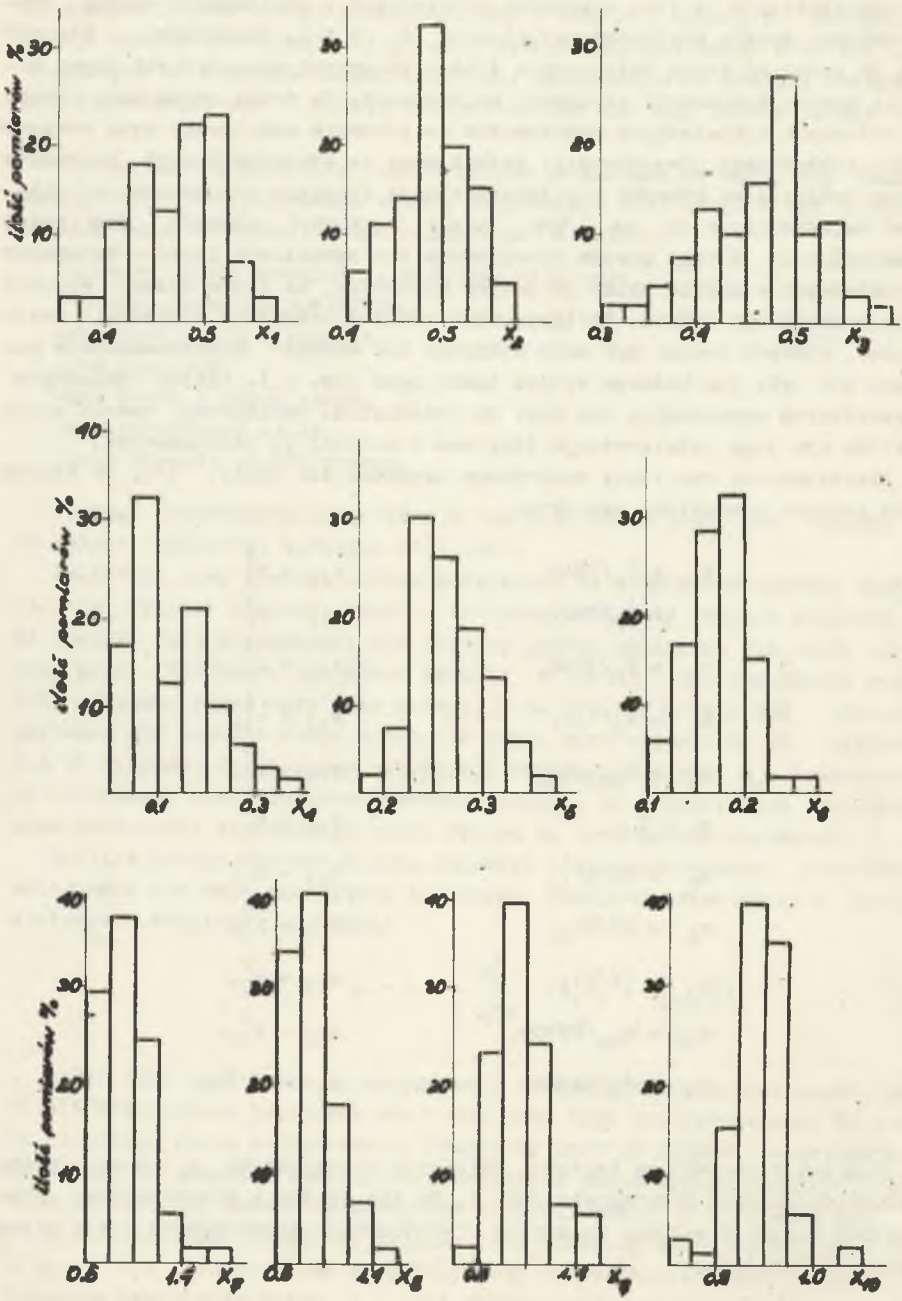
Najtrudniejszym elementem analizy jest właściwy dobór zmiennych niezależnych x_i. Postanowiono sprawdzić, czy wprowadzenie nowych zmiennych będących kombinacją kilku x_i jest korzystne dla wyników analizy. Poszukiwania szły w kierunku jak najdokładniejszego odwzorowania zależnoś-

ci rzeczywistych (a więc zgodności zmierzonych i obliczonych według proponowanego modelu wielkości wyjściowych $\dot{m}_s$ i τ). Początkowo starano się to osiągnąć drogą zwiększenia ilości zmiennych niezależnych przez dodanie nowych kombinacji wielkości wejściowych. Tą drogą osiągnięto prawie 20 zmiennych niezależnych wchodzących do równania modelowego przy wzrastającej dokładności odwzorowania. Jednak wraz ze wzrostem ilości zmiennych coraz trudniejsza stawała się interpretacja fizyczna otrzymanch z obliczeń zależności, a co za tym idzie wnioski stawały się mniej jednoznaczne. Z tego powodu zdecydowano się ograniczyć ilość zmiennych niezależnych w modelu tylko do takich wielkości, na które można wpływać przy prowadzeniu wytopu. Wyeliminowano również wszystkie wielkości wejściowe, których pomiar był mało dokładny lub warunki przeprowadzenia pomiaru nie były dla każdego wytopu takie same (np. c_r). Liczba zmiennych niezależnych ograniczyła się więc do dziasięciu. Dokładność modelu nieco zmalała ale jego interpretacja fizyczna i wnioski są jednoznaczne.

Przedstawione rezultaty numeryczne uzyskano dla modelu (1), w którym jako zmienne niezależne przyjęto:

$$x_1 = \dot{V}_1/3840, \qquad x_{11} = x_1^2,$$
$$x_2 = \dot{V}_2/3840, \qquad x_{12} = x_2^2,$$
$$x_3 = \dot{V}_3/3840, \qquad x_{13} = x_3^2,$$
$$x_4 = c_k/1,5, \qquad x_{14} = x_4^2,$$
$$x_5 = m_{sur}/m_{ws}, \qquad x_{15} = x_5^2,$$
$$x_6 = \tau_r, \qquad x_{16} = x_6^2,$$
$$x_7 = (W/N)_1, \qquad x_{17} = x_7^2,$$
$$x_8 = (W/N)_2, \qquad x_{18} = x_8^2,$$
$$x_9 = (W/N)_3, \qquad x_{19} = x_9^2,$$
$$x_{10} = m_{ws}/83700, \qquad x_{20} = x_{10}^2,$$
$$\dot{y}_1 = \dot{m}_s/12000, \qquad y_2 = \tau/10,$$

Rozrzut statystyczny wartości zmiennych niezależnych x_1 do x_{10} przyjętych do analizy przedstawia rys. 1. Na osi rzędnych przedstawiono procentowy udział w całości zmiennych o wartościach mieszczących się w zaznaczonym przedziale,



Rys. 1. Rozrzut statystyczny wartości zmiennych niezależnych x_1 do x_{10}

2. Wyniki analizy

W wyniku obliczeń na maszynie cyfrowej ZAM 41 otrzymano wartości współczynników dla zależności $\dot{m}_s$ i τ jako funkcji podanych uprzednio zmiennych niezależnych. Program dokonał również porównania wartości zmiennych $\dot{m}_s$ i τ zmierzonych z wartościami obliczonymi według proponowanych modeli. Równania opisujące wpływ różnych czynników na wydajność pieca $\dot{m}_s$ i czas trwania wytopu mają postać wyrażenia (1):

$$\dot{m}_s = -0{,}0935x_1 + 0{,}103x_{11} + 3{,}11x_2 - 3{,}05x_{12} + 0{,}130x_3 - 0{,}158x_{13} + 0{,}230x_4 - 0{,}484x_{14} - 0{,}958x_5 + 0{,}426x_{15} - 0{,}405x_6 - 0{,}044x_{16} - 0{,}067x_7 - 0{,}0097x_{17} + 0{,}142x_8 + 0{,}041x_{18} - 0{,}528x_9 + 0{,}218x_{19} - 3{,}515x_{10} + 1{,}449x_{20},$$

$$\tau = -2{,}39x_1 + 2{,}35x_{11} - 0{,}547x_2 + 0{,}491x_{12} + 0{,}331x_3 - 0{,}271\,x_{13} + 0{,}112x_4 - 0{,}278x_{14} + 1{,}80x_5 - 2{,}00x_{15} + 1{,}32x_6 - 2{,}49x_{16} + 0{,}19x_7 - 0{,}088x_{17} + 0{,}303x_8 - 0{,}184x_{18} + 0{,}164x_9 - 0{,}063x_{19} + 12{,}18x_{10} - 5{,}92x_{20}.$$

Oszacowanie przeciętnego błędu pomiaru oblicza się następująco [4]:

$$S^2 = \frac{1}{m - n - 1} \sum_{i=1}^{m} (Y_i - Y_i')^2,$$

gdzie

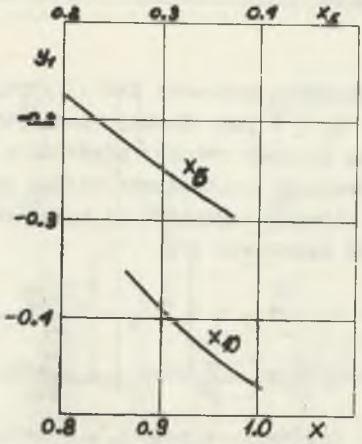
m - liczba pomiarów,
Y_i - wartości zmierzone zmiennej zależnej,
Y_i' - wartości zmiennej zależnej obliczone wg modelu.

Dla badanego przypadku m = 74 zaś n = 10.

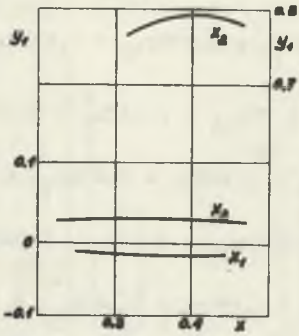
Oszacowanie przeciętnego błędu dokonane przez maszynę wynosi:

model $\dot{m}_s$ - S = 0,0645,
model τ - S = 0,0550.

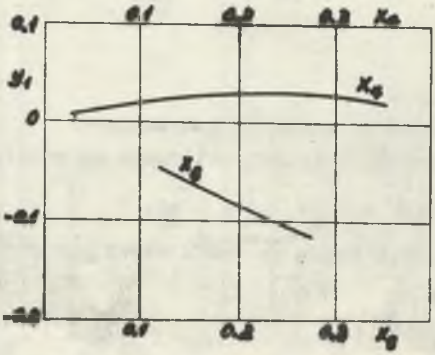
Uwzględniając unormowanie wielkości $\dot{m}_s$ i τ otrzymuje się oszacowanie przeciętnego błędu wydajności i czasu trwania wytopu $\Delta\dot{m}_s$ = 0,774 t/h $\Delta\tau$ = = 0,55 h.



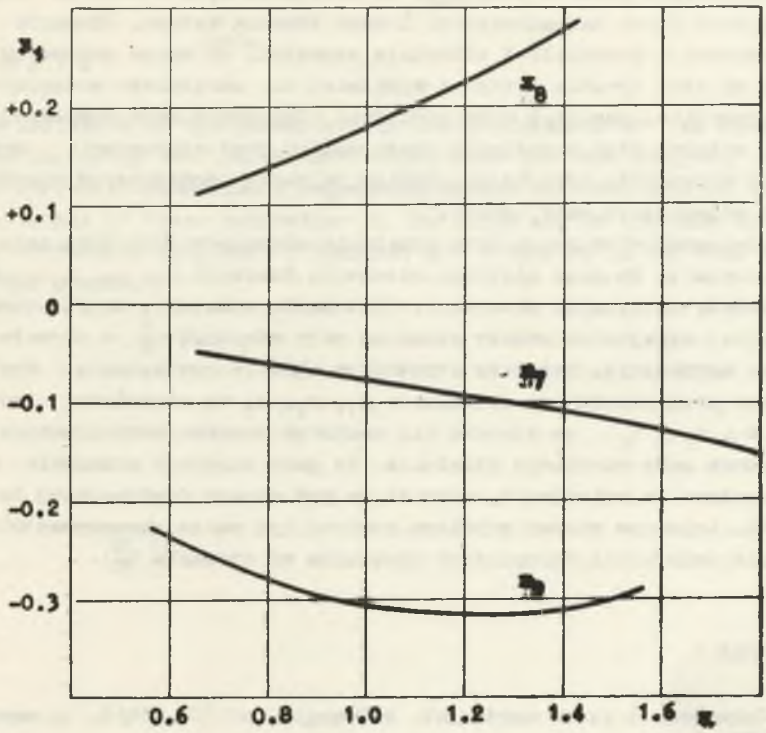
Rys. 2. Zależność wydajności y_1 pieca od x_5 udziału surówki we wsadzie i od x_{10} masy wsadu



Rys. 3. Zależność y_1 wydajności pieca od x_1, x_2, x_3 średniego strumienia gazu w poszczególnych etapach wytopu



Rys. 4. Zależność wydajności y_1 pieca od końcowej zawartości węgla x_4 w kąpieli i od x_6 czasu [illegible]ji



Rys. 5. Zależność wydajności y_1 pieca od x_7, x_8, x_9 stosunku strumienia gazu wysokiego ciśnienia do strumienia gazu niskiego ciśnienia w poszczególnych etapach wytopu

Ponieważ przeciętna wartość wydajności pieca wyniosła m_s = 8,8 t/h, zaś przeciętny czas trwania wytopu τ = 7,63 h, zatem przeciętny błąd obliczenia jest równy

$$\text{dla } \dot{m}_s \; - \; \pm 8{,}8\%,$$

$$\text{dla } \tau \; - \; \pm 7{,}22\%.$$

Zważywszy, że błąd danych pomiarowych z wytopu często przekracza ± 5% otrzymane błędy nie są duże.

Zależności wydajności pieca od każdej zmiennej niezależnej, przy pozostałych zmiennych ustalonych, przedstawiają załączone wykresy (Rys.2-5). Na osi rzędnych odmierzono wartości $\dot{m}_s$ każdorazowo w tej samej skali. Porównując zmianę tej wielkości z jej wartością średnią (8,8t/h), można ocenić ilościowo wpływ poszczególnych czynników.

. Wnioski

Przedstawiona analiza zmierzała do ustalenia wpływu szeregu czynników na wydajność pieca martenowskiego i czas trwania wytopu. Równania numeryczne podane w rozdziale 3 pozwalają zauważyć, że wpływ zmiennych niezależnych na czas trwania wytopu i wydajność są zasadniczo przeciwne, co jest zrozumiałe, ponieważ wydajność jest stosunkiem masy uzyskanej stali i czasu wytopu. Błąd określenia czasu wytopu jest nieznacznie mniejszy, niż błąd określenia wydajności głównie na skutek dodatkowych niedokładności przy wyznaczaniu masy stali.

Zasadniczym celem pracy było ustalenie właściwego stosunku gazu wysokiego ciśnienia do gazu niskiego ciśnienia (zmienne x_7, x_8, x_9), gdyż od niego zależy emisyjność płomienia. Obliczenia wykazały, że dla otrzymania maksymalnej wydajności należy stosować mały stosunek ($\frac{W}{N}$) w okresie ładowania oraz wyrabiania, zaś duży stosunek w okresie roztapiania. Wynik ten otrzymano przy założeniu, że zmienne x_1, x_2, x_3 są niezależne od zmiennych x_6, x_7 i x_8 co starano się zachować podczas eksperymentów.

Stosunek gazu wysokiego ciśnienia do gazu niskiego ciśnienia wpływa, oprócz wpływu na emisyjność, również na pęd strugi dopływającej do komory pieca. Kolejnym etapem problemu powinno być zatem eksperymentalne określenie zależności emisyjności płomienia od stosunku ($\frac{W}{N}$).

LITERATURA

1. L. Kałmuczak i in. - Gosp. Pal. i Energią, nr 171, 1968, 6, zeszyt specjalny.
2. N.G. Gabrilenko - Stal, 8, 1968, 748.
3. N.A. Glinkow, W.A. Kriwangin - Stal, 8, 1970, 748.
4. W.Volk - Statystyka stosowana dla inżynierów, WNT, Warszawa 1965.
5. St.Rataj - Archiwum Hutnictwa, nr 3, 1972.
6. Instrukcja eksploatacyjna programu EML - 803, Prosynchem, Gliwice 1971.
7. F.Olszak i in. - Praca i obliczenia cieplne pieców martenowskich, Śląsk - Katowice 1964.

СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ РАБОТЫ МАРТЕНОВСКОЙ ПЕЧИ, ОТАПЛИВАЕМОЙ ПРИРОДНЫМ ГАЗОМ С ОБЛОСКАРЕЙРАЦИЕЙ

Р е з ю м е

В статье дан анализ влияния десяти параметров на работу мартеновской печи, отапливаемой природным газом. Методом многопараметровой регрессии определено влияние этих параметров на производительность печи, а также продолжительность плавки. Результаты вычислений, выполненных с использованием ЭВМ, представлены в виде уравнений и диграмм.

STATISTICAL ANALYSIS OF AN OPEN-HEARTH FURNACE ACTIVITY HEATED BY SELF-CARBURISED NATURAL GAS

S u m m a r y

The influence of ten parameters on the performance of an open-hearth furnace heated by self-carburised natural gas has been analysed in this paper. The multi-dimensional regression method has been applied to obtain the influence of these parameters on the yield and on the time of melt. Numerical results obtained by computer are presented in the form of equations and graphs.