

Stanisław Kopeć, Jerzy Widenka, Wiesław Smulski

IDENTYFIKACJA PIECÓW DO CYNKOWANIA DRUTÓW Z GÓRNYM NAGRZEWEM

Streszczenie. W artykule przedstawiono niektóre problemy dotyczące procesu wymiany ciepła w piecu cynkowniczym z górnym nagrzewem. Podano matematyczne zależności pomiędzy wartością współczynnika wnikania ciepła od spalin do kąpieli cynkowej i grubości warstwy zanieczyszczeń znajdujących się na powierzchni kąpieli.

1. Wstęp

W artykule przedstawiono niektóre zagadnienia związane z problemem identyfikacji pieca do cynkowania drutów z górnym nagrzewem.

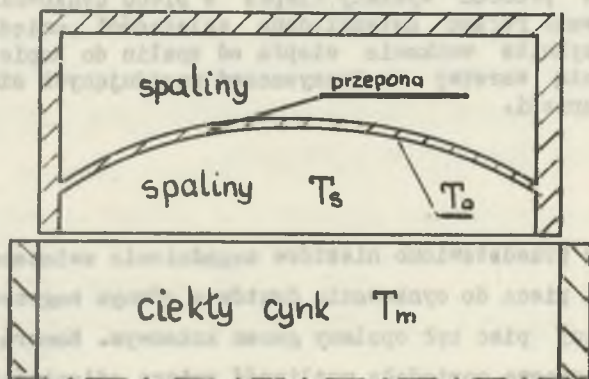
Rozpatrywany piec był opalany gazem koksowym. Komora wyposażona w trzy palniki gazowe posiadała możliwość zmiany odległości od kąpieli cynkowej. Wanna z kąpielą o wymiarach 4070 x 2000 zawierała około 27000 kg ciekłego cynku.

Odpowiednio przygotowane druty były przeciągane przez kąpiel ciekłego cynku ze stałą prędkością. Podstawowym czynnikiem decydującym o pracy pieca i przebiegu cynkowania jest proces wymiany ciepła w piecu i on jest przedmiotem dalszych rozważań.

W artykule przedstawiono przebieg procesu wymiany ciepła w piecu oraz wpływ na wymianę ciepła tworzących się na powierzchni kąpieli zanieczyszczeń. Podano również zasadę działania wraz z opisem i szkicem przyrządu do pomiaru radiacyjnego strumienia cieplnego. Przyrząd ten był zastosowany w czasie badań przeprowadzonych na piecu do cynkowania drutów.

2. Określenie radiacyjnej składowej współczynnika wnikania ciepła

Przebieg procesu nagrzewania kąpieli cynkowej w piecu przedstawiono na rys. 1. Spaliny przepływają nad przeponą, po czym są zawracane do przestrzeni między przeponą a kapielą. Część spalin uchodzących do przewodu kominowego jest zasysana z powrotem do obiegu przez strumień gazów wypływających z palników.

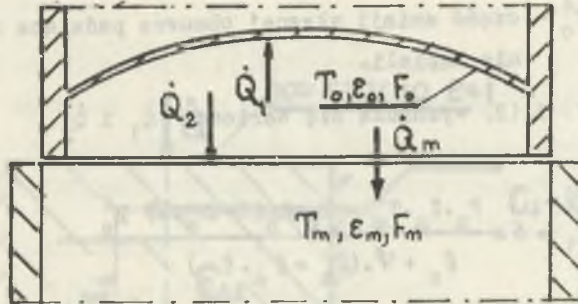


Rys. 1. Schemat procesu nagrzewania kąpieli cynkowej w piecu

Proces wymiany ciepła w przestrzeni grzewczej odbywa się drogą promieniowania i konwekcji. Ze względu na stosunkowo wysokie temperatury radiacyjna wymiana ciepła w piecu odgrywa zasadniczą rolę. Ze względu na niedużą emisyjność spalin pomija się w rozważaniach udział spalin pomiędzy przeponą a kapielą w radiacyjnej wymianie ciepła. Zakłada się że źródłem ciepła dla nagrzewanej kąpieli jest przepona ogrzewana przez spaliny. W ten sposób model wymiany ciepła upraszcza się i jest przedstawiony na rys. 2.

Ilość ciepła \dot{Q}_1 padająca na powierzchnię obmurza określona jest równaniem:

$$\dot{Q}_1 = \sigma \cdot F_m \cdot \varepsilon_m \cdot T_m^4 + \dot{Q}_2 (1 - \varepsilon_m) + \left[\sigma \cdot F_o \cdot \varepsilon_o \cdot T_o^4 + \dot{Q}_1 (1 - \varepsilon_o) \right] (1 - \varphi) \quad (1)$$



Rys. 2. Uproszczony model wymiany ciepła w piecu

gdzie

- $\sigma \cdot F_m \cdot \epsilon_m \cdot T_m^4$ - emisja własna powierzchni kąpieli,
- F_m - powierzchnia kąpieli cynku,
- ϵ_m - emisyjność powierzchni cynku,
- T_m - temperatura powierzchni cynku,
- σ - stała promieniowania,
- $\dot{Q}_2 (1 - \epsilon_m)$ - odbita część ciepła Q_2 padającego na powierzchnię kąpieli cynku,
- $(1 - \psi) \cdot \dot{Q}_1 (1 - \epsilon_o)$ - część strumienia cieplnego Q_1 odbita od powierzchni obmurza i padająca z powrotem na obmurze,
- ϵ_o - emisyjność powierzchni obmurza,
- $\psi = \frac{F_m}{F_o}$ - współczynnik konfiguracji,
- $\sigma \cdot F_o \cdot \epsilon_o (1 - \psi) T_o^4$ - emisja własna powierzchni obmurza padająca z powrotem na obmurze,
- F_o - powierzchnia obmurza.

Ilość ciepła Q_2 padająca na powierzchnię kąpieli cynkowej określona jest zależnością:

$$\dot{Q}_2 = \left[\dot{Q}_1 (1 - \epsilon_o) + \sigma \cdot F_o \cdot \epsilon_o \cdot T_o^4 \right] \cdot \psi \quad (2)$$

gdzie

$\dot{Q}_1(1-\varepsilon_0)\varphi$ - część ciepła \dot{Q}_1 odbita od obmurza i padająca na powierzchnię kąpieli,

$\sigma \cdot \varepsilon_0 \cdot F_0 \cdot \varphi \cdot T_0^4$ - część emisji własnej obmurza padająca na powierzchnię kąpieli.

Z równań (1) i (2), wyznaczają się wartości \dot{Q}_1 i \dot{Q}_2 :

$$\dot{Q}_1 = \sigma \cdot \frac{F_m \cdot \varepsilon_m \cdot T_m^4 + F_0 \cdot \varepsilon_0 (1 - \varepsilon_m \cdot \varphi) T_0^4}{\varepsilon_0 + \varphi \cdot (\varepsilon_m - \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_m)} \quad (3)$$

$$\dot{Q}_2 = \sigma \cdot \frac{F_m \cdot \varphi \cdot (1 - \varepsilon_0) \cdot \varepsilon_m \cdot T_m^4 + F_0 \cdot \varepsilon_0 \cdot \varphi \cdot T_0^4}{\varepsilon_0 + \varphi (\varepsilon_m - \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_m)} \quad (4)$$

Ilość ciepła przejmowanego przez kapiel cynkową określa równanie:

$$\dot{Q}_m = \dot{Q}_2 \cdot \varepsilon_m - \sigma \cdot F_m \cdot \varepsilon_m \cdot T_m^4 \quad (5)$$

Po wykorzystaniu zależności (3) i (4) otrzymuje się

$$\dot{Q}_m = \sigma \cdot F_m \cdot \varepsilon_z (T_0^4 - T_m^4) \quad (6)$$

gdzie

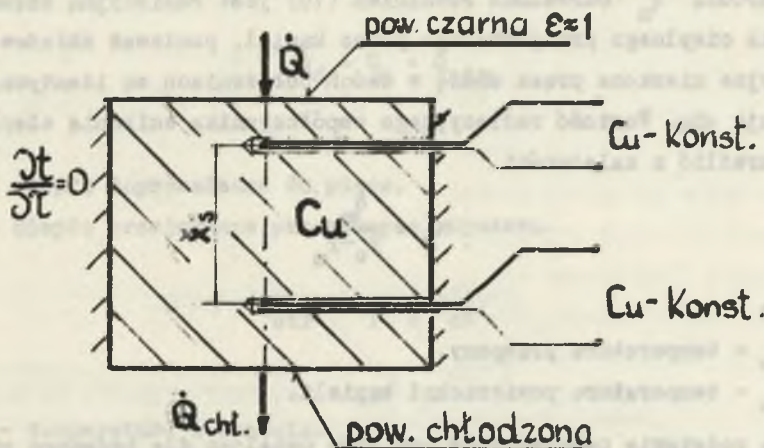
$$\varepsilon_z = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_m} + \varphi \left(\frac{1}{\varepsilon_0} - 1 \right)} \quad (7)$$

ε_z - określa tzw. emisyjność zastępczą komory pieca.

Jednostkowy strumień ciepły \dot{q}_m przejmowany przez kapiel cynkową określony jest równaniem (8):

$$\dot{q}_m = \frac{\dot{Q}_m}{F_m} \quad (8)$$

Wartość strumienia \dot{q}_m zmierzono przy pomocy sondy, której zasadę działania przedstawiono na rys. 3.



Rys. 3. Zasada działania sondy do pomiaru strumienia ciepłego

Przy intensywnie chłodzonej dolnej powierzchni czujnika temperatura jego górnej powierzchni jest niska; pozwala to straktować emisję własną górnej powierzchni czujnika w stosunku do strumienia padającego \dot{q} jako pomijalnie małą. Przez poczernienie górnej powierzchni czujnika jej emisyjność będzie bliska jedności, a wartość odbitego strumienia bardzo małą w porównaniu ze strumieniem padającym \dot{q} . Dzięki temu sonda będzie mierzyć strumień padający na jej powierzchnię. Ustawiając sondę górną powierzchnią czujnika w kierunku sklepienia pieca, a następnie obracając ją w stronę powierzchni kąpieli mierzy się odpowiednio:

strumień ciepły padający na powierzchnię kąpieli \dot{q}_2 oraz strumień ciepły \dot{q}_3 .

Strumień ciepły \dot{q}_3 jest sumą emisji własnej powierzchni cynku oraz odbitego od niej strumienia \dot{q}_2

$$\dot{q}_3 = \sigma \cdot \epsilon_m \cdot T_m^4 + \dot{q}_2(1 - \epsilon_m) \quad (9)$$

Strumień \dot{q}_m jest równy różnicy \dot{q}_2 i \dot{q}_3

$$\dot{q}_m = \dot{q}_2 - \dot{q}_3 \quad (10)$$

Wartość \dot{q}_m określona równaniem (10) jest radiacyjną częścią strumienia cieplnego przejmowanego przez kąpiel, ponieważ składowe konwekcyjne mierzone przez sondę w dwóch położeniach są identyczne i odejmują się. Wartość radiacyjnego współczynnika wnikania ciepła α_r można określić z zależności

$$\alpha_r = \frac{\dot{q}_m}{T_o - T_m} \quad (11)$$

gdzie

T_o - temperatura przepływu,

T_m - temperatura powierzchni kąpiel.

Na podstawie parokrotnych pomiarów ustalono dla badanego pieca następujące wartości:

$$\dot{q}_m = 23500 \text{ kJ/m}^2 \text{ h}$$

$$T_o = 940 \text{ }^\circ\text{K}$$

$$T_{mo} = 760 \text{ }^\circ\text{K}$$

Stąd:

$$\alpha_r = \frac{\dot{q}_m}{T_o - T_{mo}} = \frac{23500}{940 - 760} = 130 \text{ kJ/m}^2 \text{ h deg}$$

Powyższe wyniki otrzymano przy grubości warstwy zanieczyszczeń na powierzchni kąpiel $x = 3 \text{ cm}$.

3. Wpływ grubości warstwy zanieczyszczeń na wartość α_r

Dla ustalenia wpływu grubości warstwy zanieczyszczeń na powierzchnię kąpiel na wartość współczynnika wnikania ciepła α_r przyjęto następujące założenia:

- a) ilość doprowadzonego do palników gazu, a więc również ilość doprowadzonego do pieca ciepła jest ustalona;
- b) straty ciepła do otoczenia \dot{Q}_{str} są proporcjonalne do temperatury wymurówki pieca T_o .

Równanie bilansu cieplnego pieca ma postać:

$$\dot{Q}_d = \dot{Q}_m + \dot{Q}_{str} \quad (12)$$

gdzie

\dot{Q}_d - ciepło doprowadzone do pieca,

\dot{Q}_m - ciepło przejmowane przez kapiel cynkową.

$$\dot{Q}_{str} = k_1(T_o - T_{ot}) \quad (13)$$

gdzie

T_{ot} - temperatura otoczenia.

Wartość strumienia cieplnego \dot{Q}_m transportowanego przez warstwę zanieczyszczeń do płynnego cynku określona jest równaniem:

$$\dot{Q}_m = F_m \frac{T_m - T_{mo}}{R_c} \quad (14)$$

gdzie

T_m - temperatura górnej powierzchni warstwy zanieczyszczeń,

T_{mo} - temperatura na styku kąpieli cynkowej i warstwy zanieczyszczeń

R_c - opór cieplny warstwy zanieczyszczeń określony zależnością

$$R_c = \frac{x}{\lambda} \quad (15)$$

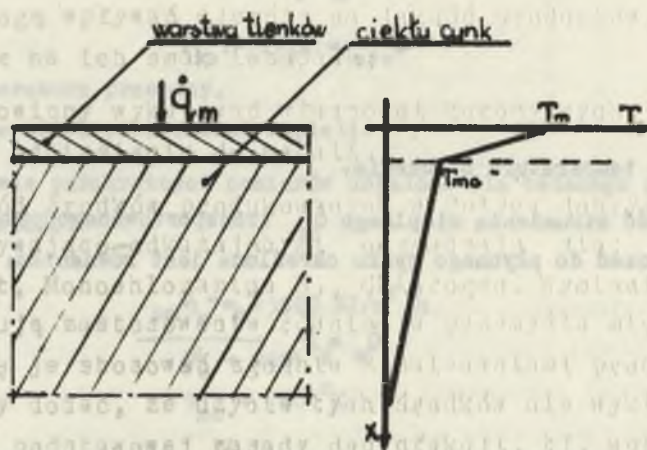
gdzie

x - grubość warstwy zanieczyszczeń,

λ - współczynnik przewodzenia ciepła warstwy zanieczyszczeń.

Na rys. 4 przedstawiono rozkład temperatur w kąpieli cynkowej oraz w warstwie zanieczyszczeń. Wartości α_r i \dot{q}_m zależą od temperatury powierzchni kąpieli T_m i będą ulegały zmianom wraz ze wzrostem grubości warstwy zanieczyszczeń na powierzchni kąpieli. Korzystając z równań (13) i (14) można równanie (12) przedstawić w następującej postaci:

$$\dot{q}_d = k_1(T_o - T_{ot}) + \frac{F}{R_c}(T_m - T_{mo}) \quad (16)$$



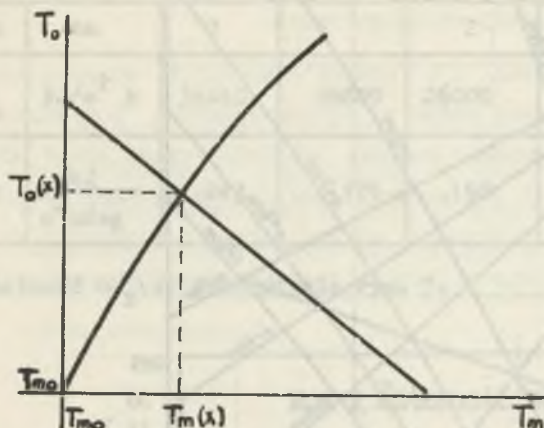
Rys. 4. Rozkład temperatur w kąpieli cynkowej i w warstwie zanieczyszczeń

Równanie to w układzie współrzędnych T_o, T_m przedstawia prostą (rys. 5).

Na podstawie równań (6) i (14) między temperaturami T_o i T_m zachodzi związek:

$$\sigma \cdot \epsilon_z (T_o^4 - T_m^4) = \frac{T_m - T_{mo}}{R_c} \quad (17)$$

Równanie (17) przedstawia na rys. 5 krzywą wychodzącą z punktu o współrzędnych $(T_o = T_{mo}, T_m = T_{mo})$. Punkt przecięcia prostej i krzy-



Rys. 5. Graficzna metoda wyznaczania temperatur obmurza i powierzchni metalu jako funkcji grubości warstwy zanieczyszczeń na powierzchni ciekłego metalu

wej określa temperaturę przepływu $T_0(x)$ oraz powierzchni warstwy $T_m(x)$ dla określonej grubości warstwy x . Na podstawie obliczonych wartości $T_0(x)$ oraz $T_m(x)$ można obliczyć wartość strumienia \dot{q}_m z równania (6), natomiast wartość $\alpha(x)$ wg wzoru (11). Opisaną metodę zastosowano do opisanego powyżej pieca cynkowniczego. Na podstawie pomiarów ustalono następujące dane:

$$\dot{Q}_d = 687\,000 \text{ kJ/h}$$

$$\dot{Q}_{\text{str}} \quad x=0 = 572\,600 \text{ kJ/h}$$

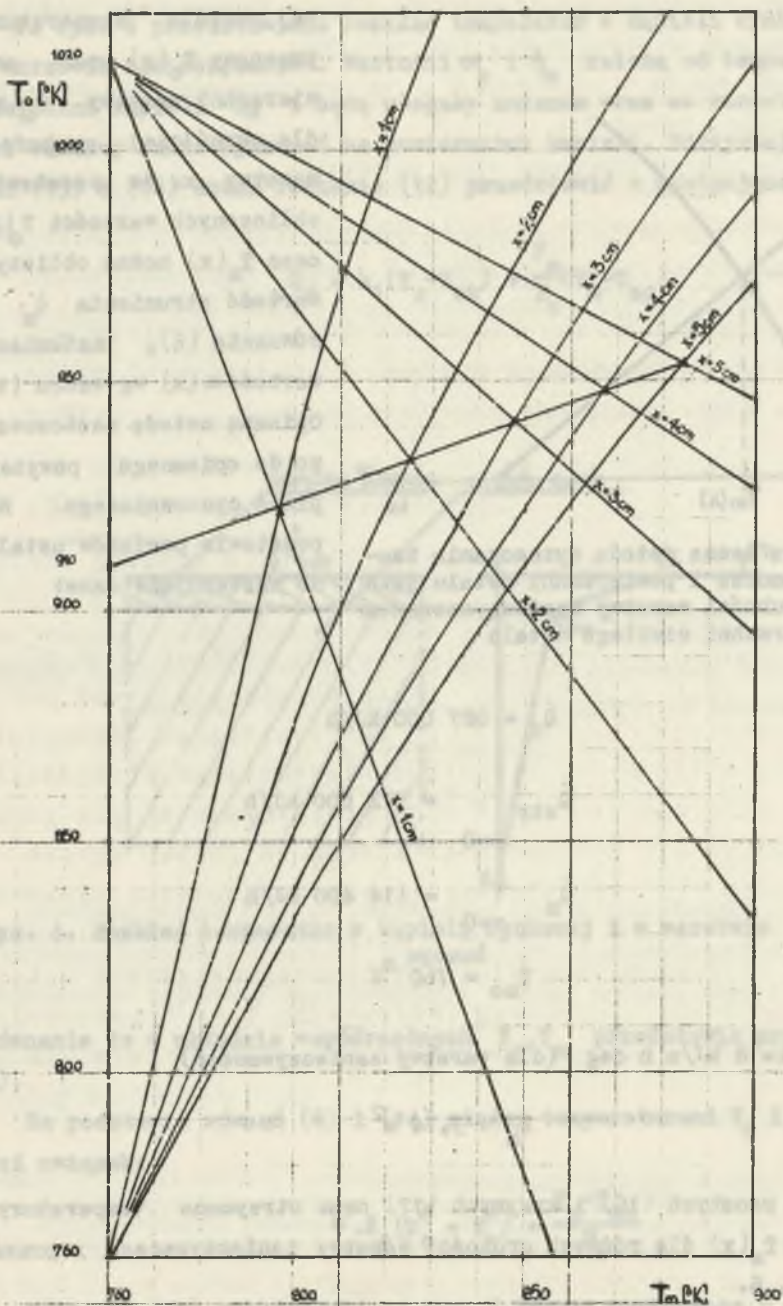
$$\dot{Q}_m \quad x=0 = 114\,400 \text{ kJ/h}$$

$$T_{m0} = 760 \text{ }^\circ\text{K}$$

$$\lambda = 8 \text{ kJ/m h deg (dla warstwy zanieczyszczeń)}$$

$$F_m = 3,14 \text{ m}^2$$

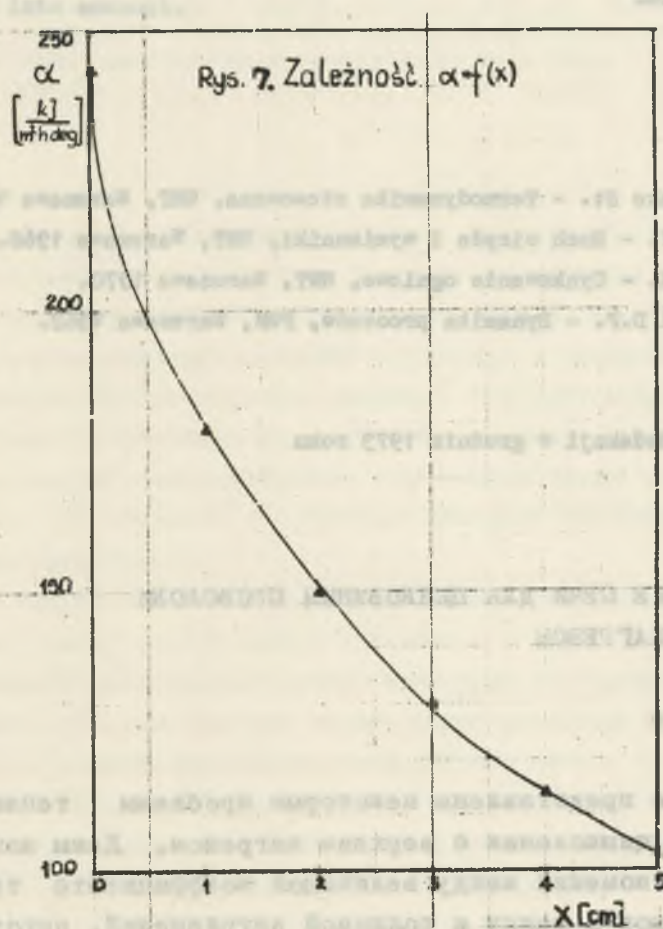
Rodzina prostych (16) i krzywych (17) oraz otrzymane temperatury $T_0(x)$ oraz $T_m(x)$ dla różnych grubości warstwy zanieczyszczeń x przedstawia rys. 6.

Rys. 6. Wykres $T_0(x)$ oraz $T_m(x)$

Obliczone na tej podstawie wartości strumienia ciepłego $\dot{q}_m(x)$ oraz $\alpha(x)$ podaje tabelka:

x	cm	0	1	2	3	4	5
\dot{q}_m	$\text{kJ/m}^2 \text{ h}$	36440	28800	26000	23496	21400	19840
α_r	$\frac{\text{kJ}}{\text{m}^2 \text{ h deg}}$	243	179	150	130	114	103

Zależność $\alpha_r(x)$ przedstawia rys. 7.



Rys. 7. Zależność $\alpha = f(x)$

4. Wnioski

1. Ze wzrostem warstwy zanieczyszczeń bardzo silnie spada współczynnik wnikania ciepła do kąpieli ciekłego cynku.
2. W oparciu o dane literaturowe i o własne obserwacje stwierdzono istnienie optymalnej grubości warstwy zanieczyszczeń powierzchni kąpieli. Zwiększenie grubości warstwy powoduje wzrost strat ciepła, zmniejszenie natomiast tej warstwy prowadzi do silnego utleniania ciekłego cynku na powierzchni zwierciadła. Na podstawie obserwacji pracy pieca ustalono optymalną grubość zanieczyszczeń między 2-3 cm.

LITERATURA

- [1] Ochęduszko St. - Termodynamika stosowana, WNT, Warszawa 1970.
- [2] Hobler T. - Ruch ciepła i wymienniki, WNT, Warszawa 1968.
- [3] Kurski K. - Cynkowanie ogniowe, WNT, Warszawa 1970.
- [4] Campbell D.P. - Dynamika procesów, PWN, Warszawa 1962.

Wpłynęło do Redakcji w grudniu 1973 roku

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕЧИ ДЛЯ ЦИНКОВАНИЯ ПРСВОЛОМИ С ВЕРХНИМ НАГРЕВОМ

Р е з ю м е

В статье представлены некоторые проблемы теплообмена в печи для цинкования с верхним нагревом. Даны математические соотношения между величиной коэффициента теплоотдачи от дымов в ванну и толщиной загрязнений, находящихся на поверхности ванны.

AN IDENTIFICATION OF THE WIRE ZINC PLATING FURNACE WITH THE UPPER HEATING

Summary

There have been presented in this paper some problems concerning heat transfer in zinc plating furnace with the upper heating. The mathematical dependence between a value of the heat penetration coefficient from furnace gases to the zinc bath has been given. An effect of the bath surface impurity layer on a value of the coefficient was taken into account.

WSTĘP

Podczas pracy nad problemem identyfikacji pieców do cynkowania drutu z grzaniem od góry, w literaturze technologicznej, znalazłem bardzo mało informacji na temat matematycznej zależności między współczynnikiem przenikania ciepła z gazów pieca do kąpieli cynkowej a wartościami parametrów technologicznych. W tym celu wykonałem badania doświadczalne i wyznaczyłem zależność matematyczną między tymi wielkościami. W niniejszym artykule przedstawiam wyniki tych badań i podaję wzór matematyczny, który umożliwia wyznaczenie współczynnika przenikania ciepła z gazów pieca do kąpieli cynkowej w zależności od wartości parametrów technologicznych.

W literaturze technologicznej i inżynierskiej znalazłem bardzo mało informacji na temat matematycznej zależności między współczynnikiem przenikania ciepła z gazów pieca do kąpieli cynkowej a wartościami parametrów technologicznych. W tym celu wykonałem badania doświadczalne i wyznaczyłem zależność matematyczną między tymi wielkościami. W niniejszym artykule przedstawiam wyniki tych badań i podaję wzór matematyczny, który umożliwia wyznaczenie współczynnika przenikania ciepła z gazów pieca do kąpieli cynkowej w zależności od wartości parametrów technologicznych.