



Patent dodatkowy
do patentu nr _____

Zgłoszono: 29.12.72 (P. 159955)

Pierwszeństwo _____

Zgłoszenie ogłoszono: 01.08.74

Opis patentowy opublikowano: 30.12.1977

MKP G01k 7/38

Int. Cl.²
G01K 7/38

CZYTELNIA

Urzędu Patentowego
PRL

Twórca wynalazku: _____

Uprawniony z patentu: Naucno — issledovatel'skij i opytno — konstruktorskij institut avtomatizacii cernoj metallurgii, Dniepropietrowsk (Związek Socjalistycznych Republik Radzieckich)

Urządzenie do pomiaru temperatury ciał ferromagnetycznych

1

Przedmiotem wynalazku jest urządzenie do pomiaru temperatury ciał ferromagnetycznych.

Znane są urządzenia do pomiaru temperatury ciał ferromagnetycznych, zawierające dwie cewki indukcyjne, przyłączone do źródła napięcia prądu przemiennego, dwa prostowniki i przyrząd pomiarowy. W polu magnetycznym jednej z cewek znajduje się ciało ferromagnetyczne, którego temperatura jest mierzona. Wartość temperatury określa się na podstawie wartości prądu przepływającego przez przyrząd pomiarowy. Prąd ten zależy od wielkości całkowitej rezystancji zastępczej ciała ferromagnetycznego na odcinku pomiarowym, a z kolei rezystancja ta zależy od temperatury.

Wadą opisanego urządzenia jest konieczność utrzymywania dokładnie stałego odstępu między cewką i ciałem, którego temperatura jest mierzona. Dalszą wadą jest to, że urządzenie mierzy lokalną temperaturę powierzchni ciała.

Celem wynalazku jest wyeliminowanie wskazanych niedogodności, natomiast zadaniem wynalazku jest zaprojektowanie takiego urządzenia do pomiaru temperatury ciał ferromagnetycznych, które mogłoby być wykorzystane do sterowania procesem termoutwardzania poprzez utrzymanie zadanej, średniej w przekroju temperatury ciał ferromagnetycznych.

Zadanie zostało rozwiązane w wyniku zaprojektowania urządzenia zawierającego dwie cewki indukcyjne, dołączone do źródła napięcia przemi-

2

nego. W polu magnetycznym jednej z cewek umieszcza się ciało ferromagnetyczne, którego temperaturę należy zmierzyć. Urządzenie zawiera poza tym dwa prostowniki i przyrząd pomiarowy. Według wynalazku, cewki indukcyjne mają takie wymiary gabarytowe i taką liczbę zwojów, przy których wytwarzane przez te cewki pole magnetyczne jest wystarczające do nasycenia ciała ferromagnetycznego umieszczonego wewnątrz jednej z cewek. Przy tym cewki indukcyjne są połączone ze sobą szeregowo, a poza tym mają uzwojenia pomiarowe podłączone do dwóch prostowników. Jedna para jednoimiennych zacisków wyjściowych prostownika jest zwarta, natomiast między jednoimiennymi zaciskami wyjściowymi drugiej pary zacisków jest załączony potencjometr, do którego jest podłączone poprzez przyrząd pomiarowy wzorcowe źródło napięcia stałego.

Przedmiot wynalazku jest przedstawiony w przykładzie wykonania na rysunku, na którym fig. 1 przedstawia schemat ideowy urządzenia do pomiaru temperatury ciał ferromagnetycznych według wynalazku, fig. 2 — zależność stosunku namagnesowania nasycenia ciała ferromagnetycznego w dowolnej temperaturze wyrażonej w °K do namagnesowania ciała ferromagnetycznego przy 0°K, od stosunku temperatury ciała wyrażonej w stopniach Kelvina do temperatury Curie wyrażonej w °K, fig. 3 — zależność wskazania przyrządu pomiarowego od średniej w przekroju tem-

peratury ciała ferromagnetycznego, fig. 4 — rozkład temperatury w przekroju poprzecznym walca wykonanego z materiału ferromagnetycznego.

Urządzenie według wynalazku zawiera dwie cewki indukcyjne 1 i 2 o jednakowych rozmiarach i równej liczbie zwojów, połączone szeregowo i dołączone do źródła napięcia przemiennego U_1 .

Cewki indukcyjne 1 i 2 wykonane są z przewodu o izolacji odznaczającej się dużą wytrzymałością termiczną. Uzwojenia pomiarowe 3 i 4 są nawinięte odpowiednio na cewkach 1 i 2 indukcyjnych. Uzwojenie pomiarowe 3 przyłączone jest do wejścia prostownika 5, a uzwojenie pomiarowe 4 do wejścia prostownika 6. Prostowniki 5 i 6 są układami mostkowymi zestawionymi odpowiednio z diod 7, 8, 9 i 10 oraz 11, 12, 13, i 14. Między stołoprądowe zaciski prostowników 5 i 6 są załączone odpowiednio rezystory 15 i 16 o jednakowej rezystancji. Zaciski ujemne prostowników 5 i 6 są ze sobą zwarte. Między zaciski dodatnie prostowników 5 i 6 włączony jest potencjometr 17. Zacisk dodatni prostownika 5 jest dołączony do ujemnego bieguna wzorcowego źródła 18 napięcia stałego U_2 . Biegun dodatni tego źródła 18 poprzez przyrząd 19 pomiarowy jest dołączony do suwaka potencjometru 17. Przyrząd 19 pomiarowy jest woltomierzem magnetoelektrycznym o dużej rezystancji wejściowej, wycechowanym w stopniach Celsjusza.

Ciało 20 ferromagnetyczne, którego temperaturę się mierzy, umieszczane jest wewnątrz cewki 2 indukcyjnej. Zmienne pole magnetyczne, wytwarzane przez cewki indukcyjne 1 i 2 jest dostateczne dla wprowadzenia tego ciała ferromagnetycznego w stan nasycenia.

Z danych praktycznych wynika, że do zapewnienia stanu nasycenia ciał ferromagnetycznych mających postać stalowych cylindrów o średnicy 10 mm potrzebne są cewki indukcyjne wytwarzające siłę magnetomotoryczną od 10^4 do $1,2 \cdot 10^4$, a dla ciał o średnicy 20 mm — cewki wytwarzające siłę magnetyczną od $1,8 \cdot 10^4$ do $2,4 \cdot 10^4$ A.

Działanie urządzenia do pomiaru temperatury ciał ferromagnetycznych przedstawia się następująco.

W przypadku braku ciała 20 ferromagnetycznego wewnątrz cewki 2 indukcyjnej, wskutek identyczności cewek indukcyjnych 1 i 2 zmienne pola magnetyczne cewek indukcyjnych 1 i 2 są sobie równe. Siły elektromotoryczne wzbudzone zmieniającymi się strumieniami magnetycznymi cewek indukcyjnych 1 i 2 w uzwojeniach pomiarowych 3 i 4 także są sobie równe. Różnica potencjałów na zaciskach potencjometru 17 jest wobec tego równa zeru. Wskazanie przyrządu pomiarowego 19 odpowiada napięciu U_2 źródła 18 wzorcowego napięcia stałego.

W przypadku wprowadzenia do wnętrza cewki 2 indukcyjnej zimnego ciała 20 ferromagnetycznego, którego temperatura ma być mierzona w stanie nagrzany, na zaciskach uzwojenia 4 pomiarowego siła elektromotoryczna wzrasta o wartość proporcjonalną do iloczynu zamagnesowania ciała 20 ferromagnetycznego i przekroju tego ciała.

Wskazanie przyrządu 19 pomiarowego będzie w

tym przypadku równe różnicy napięcia U_2 źródła 18 wzorcowego i spadku napięcia na potencjometrze 17. Przez przesuwanie suwaka potencjometru 17 sprowadza się wskazówkę przyrządu 19 pomiarowego do położenia zerowego. Przy danym przekroju nasyconego ciała 20 ferromagnetycznego 20 wskazania przyrządu 19 pomiarowego zależą więc tylko od namagnesowania w stanie nasycenia ciała 20 ferromagnetycznego, które jest jednoznacznie związane z temperaturą a także to, że ze wzrostem temperatury ciała 20 rosną wskazania przyrządu pomiarowego 19.

Jeżeli ciało 20, znajdujące się wewnątrz cewki 2 indukcyjnej, jest nagrzane, siła elektromotoryczna na zaciskach uzwojenia 4 pomiarowego ma wartość mniejszą w porównaniu z przypadkiem, gdy ciało 20 jest w stanie zimnym. Jest to uwarunkowane zależnością namagnesowania w stanie nasycenia od temperatury. Przy tym różnica potencjałów na zaciskach potencjometru 17 jest mniejsza dla przypadku, gdy ciało 20 znajduje się w stanie zimnym. Na zaciskach przyrządu 19 pomiarowego pojawi się więc napięcie różne od zera, jednoznacznie związane z temperaturą ciała 20 ferromagnetycznego.

Przedstawiony opis objaśniają poniższe wyjaśnienia. Poziom namagnesowania w stanie nasycenia ciał ferromagnetycznych jest jednoznacznie związany z ich temperaturą następującą zależnością:

$$\frac{I_1}{I_0} = \tanh \frac{I_1}{\frac{I_0}{\theta}} \quad \text{lub} \quad \frac{\tau_1}{\theta} = \frac{2 \frac{I_1}{I_0}}{\ln \frac{1 + \frac{I_1}{I_0}}{1 - \frac{I_1}{I_0}}} \quad (1)$$

gdzie: I_1 — namagnesowanie nasycenia ciała ferromagnetycznego przy temperaturze τ_1 ;

I_0 — namagnesowanie nasycenia ciała ferromagnetycznego przy 0°K ;

τ — temperatura ciała ferromagnetycznego wyrażona w $^\circ\text{K}$;

θ — temperatura Curie ciała ferromagnetycznego wyrażona w $^\circ\text{K}$.

Wykres funkcji (1) jest przedstawiony na fig. 2. Na osi odciętych są odłożone wartości stosunku temperatury ciała ferromagnetycznego wyrażonej w $^\circ\text{K}$ do temperatury Curie ciała ferromagnetycznego wyrażonej w $^\circ\text{K}$, na osi rzędnych jest odłożony stosunek namagnesowania nasycenia ciała ferromagnetycznego przy danej temperaturze τ_1 do namagnesowania nasycenia ciała ferromagnetycznego przy 0°K .

W zakresie temperatur od 0°K do 373°K namagnesowanie zmienia się nie więcej niż o 1%. Daje to podstawę do stwierdzenia, że:

$$I_0 = I_2,$$

gdzie: I_2 — namagnesowanie nasycenia ciała ferromagnetycznego w zakresie temperatur od 0°K do 373°K .

Indukcja B_1 wewnątrz cewki bez ciała ferromagnetycznego jest równa

$$B_1 = \mu_0 \cdot H,$$

gdzie H jest natężeniem pola magnetycznego wewnątrz cewki indukcyjnej, μ_0 — przenikalnością magnetyczną powietrza. Całkowity strumień Φ_1 magnetyczny cewki indukcyjnej bez ciała ferromagnetycznego wynosi

$$\Phi_1 = \mu_0 \int_{S_1} H dS,$$

S_1 — pole przekroju cewki indukcyjnej.

Indukcja B_2 wewnątrz cewki indukcyjnej z ciałem ferromagnetycznym, przy natężeniu pola magnetycznego zapewniającym nasycenie ciała ferromagnetycznego, jest równa

$$B_2 = \mu_0 (H + I_1).$$

Całkowity strumień Φ_2 magnetyczny, wytwarzany przez cewkę indukcyjną z umieszczonym w niej ciałem ferromagnetycznym, jest równy

$$\Phi_2 = \mu_0 \int_{S_1} H dS + \mu_0 \int_{S_2} I_1 dS,$$

gdzie: S_2 — przekrój poprzeczny ciała ferromagnetycznego.

Średnia wartość e_1 siły elektromotorycznej indukowanej w uzwojeniu pomiarowym, nawiniętym na cewkę indukcyjną jest równa:

$$e_1 = \frac{2}{T} w \int_{-\Phi_1}^{+\Phi_1} \frac{d\Phi}{dt} \cdot dt = 4fw\Phi_1 = 4fw\mu_0 \int_{S_1} H dS,$$

gdzie: w — liczba zwojów cewki pomiarowej,

T, f — okres i częstotliwość sygnału doprowadzanego ze źródła napięcia prądu przemiennego;

t — czas.

Średnia wartość e_2 siły elektromotorycznej, indukowanej w uzwojeniu pomiarowym, nawiniętym na cewkę indukcyjną, wewnątrz której znajduje się ciało ferromagnetyczne, jest równa

$$e_2 = 4fw\mu_0 \int_{S_1} H dS + 4fw\mu_0 \int_{S_2} I_1 dS$$

Różnica wartości średnich sił elektromotorycznych jest równa:

$$e_2 - e_1 = 4fw\mu_0 \int_{S_2} I_1 dS$$

Napięcie U między zaciskiem potencjometru przyłączonym do prostownika a suwakiem poten-

cjometru w przypadku gdy cewka jest pusta, wynosi

$$U = K4fw\mu_0 \int_{S_2} I_1 dS,$$

gdzie: K — współczynnik, zależny od położenia suwaka potencjometru.

Jeżeli ciało ferromagnetyczne jest równomiernie nagrzane i namagnesowanie I_1 nasycenia jest stałe w dowolnym punkcie jego przekroju, to

$$U = K4fw\mu_0 I_1 S_2$$

$$\frac{U}{U_2} = \frac{I_1}{I_2} = \tanh \frac{\frac{I_1}{I_2}}{\frac{\tau_1}{\theta}} \quad (1a)$$

Jeżeli przy dowolnej wartości przekroju S_2 zimnego ciała ferromagnetycznego, namagnesowanego do stanu nasycenia, ustawi się jedną i tę samą wartość $U = U_2 = \text{const}$, co osiąga się poprzez ustawienie strzałki przyrządu pomiarowego na zero przy umieszczeniu zimnego wzorca o danym przekroju do jednej z cewek indukcyjnych, to dla dowolnego przekroju ciała ferromagnetycznego mamy

$$U = U_2 \tanh \frac{\frac{I_1}{I_2}}{\frac{\tau_1}{\theta}} \quad (2)$$

Przy zwiększeniu temperatury ciała ferromagnetycznego, U zmniejsza się zgodnie z zależnością (2), a napięcie, mierzone przyrządem pomiarowym będzie się zmieniało od θ do U_2 zgodnie z wykresem, przedstawionym na fig. 3, na którym na osi odciętych jest odłożona temperatura ciała ferromagnetycznego wyrażona w $^{\circ}\text{C}$, a na osi rzędnych — stosunek napięcia na zaciskach przyrządu pomiarowego do napięcia wzorcowego źródła napięcia stałego.

Na fig. 4 jest przedstawiono rozkład temperatury w przekroju poprzecznym walca z materiału ferromagnetycznego. Na osi odciętych odłożona jest wartość promienia przekroju ciała ferromagnetycznego, a na osi rzędnych — temperatura tego przekroju. Elementarna ilość ciepła dQ zgromadzona w objętości dv pierścienia o grubości dr przy jednostkowej długości ciała ferromagnetycznego wynosi

$$dQ = c v \tau_2 dv = c v \tau_2 2\pi r dr,$$

gdzie: c — pojemność cieplna ciała,

v — gęstość,

τ_2 — lokalna temperatura w różnych punktach przekroju przy temperaturze równej 0°C ,

r — współrzędna biejąca promienia przekroju poprzecznego walca z materiału ferromagnetycznego.

Całkowita ilość ciepła Q w jednostkowej objętości ciała ferromagnetycznego równa jest

$$Q = 2\pi c v \int_0^R \tau_2 r dr,$$

7

gdzie: R — jest promieniem przekroju poprzecznego walca z materiału ferromagnetycznego.

Ilość ciepła w równomiernie zagrzany ciele ferromagnetycznym wynosi

$$Q = c\gamma\pi R^2\tau_3,$$

gdzie: τ_3 — jest wartością temperatury ciała ferromagnetycznego, jednakową we wszystkich punktach przekroju ciała ferromagnetycznego.

Stąd:

$$\tau_3 = \frac{2}{R^2} \int_0^R \tau_2 r dr$$

W wyniku linyzacji funkcji (1) funkcją

$$I_1 = I_2 (1 - a\tau_2), \quad (3)$$

gdzie: a — współczynnik kątowy funkcji liniowej, wprowadza się pewny błąd systematyczny, który jest pomijalny przy praktycznym zastosowaniu urządzenia według wynalazku.

Ze wzoru (1a) i wzoru (1) otrzymujemy:

$$U = U_2 (1 - a\tau_2).$$

Stąd otrzymujemy:

$$\begin{aligned} U &= K4fw\mu_0 I_2 S_2 - \frac{K4fw\mu_0 I_2 S_2 a}{S_2} \int_{S_2} \tau_2 dS = \\ &= K4fw\mu_0 I_2 S_2 - \frac{K4fw\mu_0 I_2 S_2 a}{\pi R^2} \int_{S_2} \tau_2 2\pi r dr = \\ &= U_2 - U_2 a \frac{2}{R^2} \int_{S_2} \tau_2 r dr. \end{aligned}$$

Ponieważ: $U_3 = U_2 - U$, a

$$\frac{2}{R^2} \int_{S_2} \tau_2 r dr = \tau_3$$

to:

$$U_3 = U_2 - U_2 + U_2 a \tau_3 = U_2 a \tau_3.$$

Jak widać z przytoczonych wyżej rozważań, w przypadku ciała ferromagnetycznego nagrzanego

8

nierównomiernie urządzenie mierzy średnią w przekroju ciała ferromagnetycznego wartość temperatury.

Warunek, aby cewki indukcyjne 1 i 2 były identyczne, nie jest warunkiem koniecznym.

Koniecznym warunkiem jest tylko zachowanie stosunku:

$$\frac{W_3}{W_4} = \frac{W_2}{W_1} \frac{G_2}{G_1}$$

gdzie W_1 — liczba zwojów pierwszej cewki indukcyjnej, W_2 — liczba zwojów drugiej cewki indukcyjnej, W_3 — liczba zwojów cewki pomiarowej, nawiniętej na pierwszej cewce indukcyjnej, W_4 — liczba zwojów cewki pomiarowej, nawiniętej na drugiej cewce indukcyjnej, G_1 — przewodność magnetyczna pierwszej cewki indukcyjnej, G_2 — przewodność magnetyczna drugiej cewki indukcyjnej.

Urządzenie według wynalazku można wykorzystać do kontroli średniej temperatury wyrobów walcowanych, a także jako czujnik średniej temperatury w układach sterowania procesami termoutwardzania wyrobów walcowanych, co zapewnia uzyskanie wymaganych stabilnych własności mechanicznych wyrobów walcowanych.

Zastrzeżenie patentowe

Urządzenie do pomiaru temperatury ciał ferromagnetycznych zawierające dwie cewki indukcyjne, przyłączone do źródła napięcia przemiennego, przy czym w polu magnetycznym jednej z nich jest umieszczone ciało ferromagnetyczne, którego temperatura jest mierzona, dwa prostowniki i przyrząd pomiarowy, **znamienny tym**, że cewki indukcyjne (1, 2) mają takie wymiary i taką liczbę zwojów, przy których wytwarzane przez te cewki pole magnetyczne jest wystarczające do nasycenia ciała (20) ferromagnetycznego, umieszczonego wewnątrz jednej z cewek (2), przy czym uzwojenie cewek indukcyjnych (1, 2) połączone ze sobą szeregowo są wyposażone w uzwojenia (3, 4) pomiarowe, które są dołączone do wejść prostowników (5, 6), których jedna z jednoimiennych par zacisków wyjściowych jest ze sobą zwarta, a do drugiej pary zacisków wyjściowych jest dołączony potencjometr (17), do którego poprzez przyrząd pomiarowy (19) jest dołączone wzorcowe źródło (18) napięcia stałego.

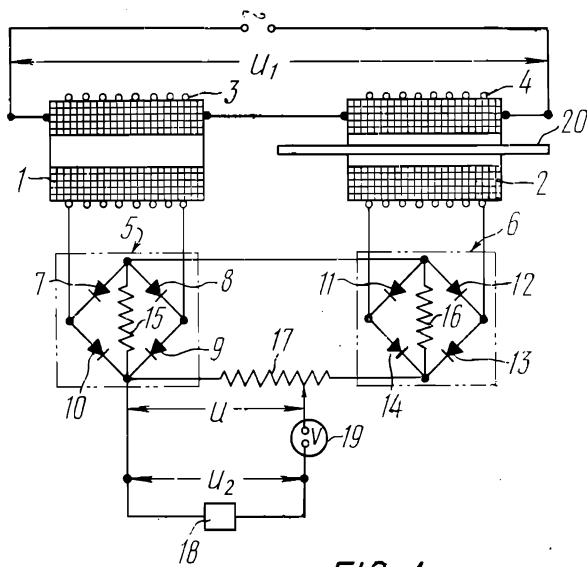


FIG. 1

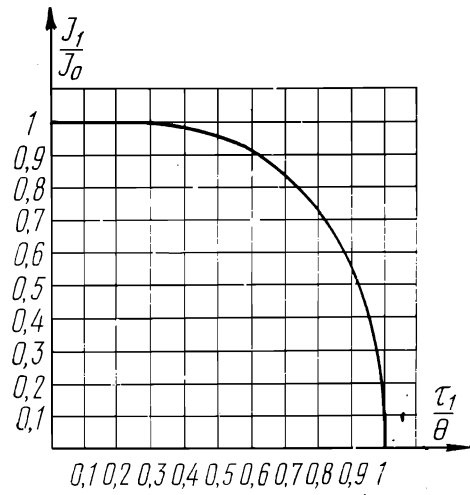


FIG. 2

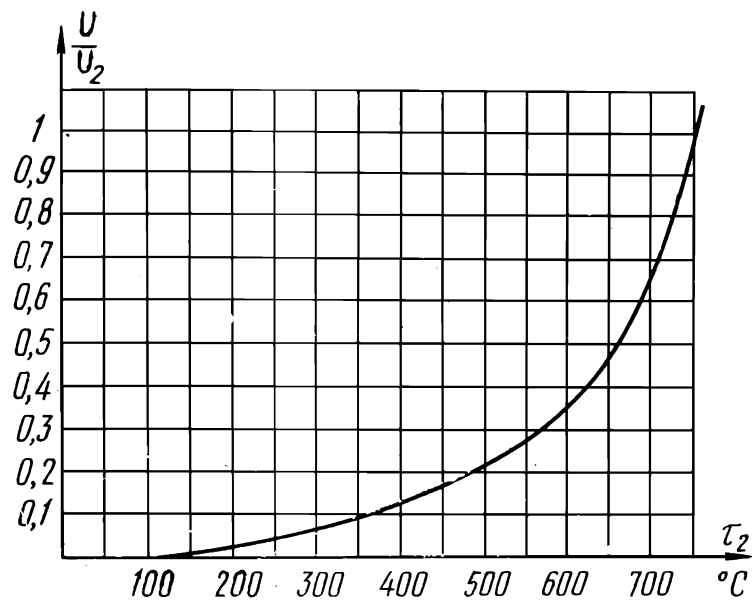


FIG. 3

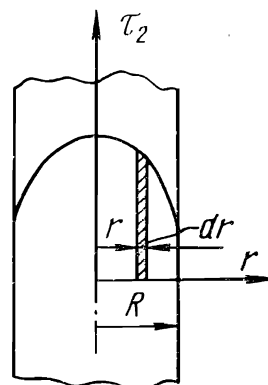


FIG. 4