ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1980

Seria: HUTNICTWO z. 20 Nr kol. 636

Marek HETMAŃCZYK, Antoni WŁOSZEK

Politechnika Śląska - Gliwice

Instytut Inżynierii Materiałowej - Katowice

WYZNACZANIE WSPÓŁCZYNNIKA PRZEWODNOŚCI CIEPLNEJ STALI WYSOKOMANGANOWYCH

Streszczenie. W pracy przedstawiono wyniki pomiarów współczynnika przewodności cieplnej 6 gatunków stali wysokomanganowych typu fermanal i ferchroman. Dla porównania wyznaczono również współczynnik przewodności cieplnej żelaza Armco. Badania prowadzono w zakresie temperatur od 350 K do 1000 K na urządzeniu skonstruowanym i wykonanym przez autorów.

Stanowi ono odmianę przyrządu służącego do badania własności cieplno-fizycznych materiałów, zaprojektowanego przez Naparina i Wdowina. Pozwala ono na wyznaczanie przewodności cieplnej, przewodności temperaturowej oraz ciepła właściwego na jednej próbce w zakresie od temperatury pokojowej do około 1000 K.

Znajomość współczynnika przewodności cieplnej λ ma istotne znaczenie dla materiałów konstrukcyjnych, stosowanych do budowy urządzeń pracujących w podwyższonych temperaturach oraz dla wielu technicznych obliczeń cieplnych.

Wszystkie znane dotychczas eksperymentalne metody pomiaru współczynnika przewodności cieplnej materiałów dzielą się na dwie zasadnicze grupy [1,2,3]:

- stacjonarne (statyczne),
- niestacjonarne (dynamiczne).

W obydwu przypadkach wykorzystuje się cząstkowe rozwiązania równania przewodności cieplnej [2]:

$$\partial T/\partial t = a \cdot \nabla^2 T + q_v/c \cdot \gamma, \qquad (1)$$

przy czym w pierwszym przypadku, przy warunku $\partial T/\partial t = 0$, natomiast w drugim - przy warunku $\partial T/\partial t \neq 0$.

W równaniu (1): $a = \lambda/c \cdot \gamma$ - współczynnik przewodności temperaturowej,

gdzie:

T - temperatura,

q_v - moc wydzielana z jednostki objętości źródła ciepła,

c - ciepło właściwe,

γ - gęstość ciała (materiału),

t - czas,

λ - współczynnik przewodności cieplnej,

∇^2 - operator Laplace'a, zapisany w odpowiednim układzie współrzędnych.

Na rysunku 1 przedstawiono schematyczny podział metod pomiaru współczynnika przewodności cieplnej.

Ju.A. Naparin i N.A. Wdowin [4,5] rozwiązali równanie przewodności cieplnej (1), proponując prosty wariant metody opartej na pomiarze temperatury w jednym punkcie cylindra, podgrzewanego od wewnętrznej powierzchni źródłem ciepła stałej mocy. Jako wynik rozwiązania równania przewodności cieplnej (1) uzyskano wyrażenie na współczynnik przewodności cieplnej λ:

$$\lambda = \frac{Q \cdot D}{\Delta T - t \cdot dT/dt}, \qquad (2)$$

gdzie:

$\Delta T = T - T_o$,

T - temperatura na zewnętrznej powierzchni cylindra,

T_o - temperatura początkowa (otoczenia),

Q - moc przypadająca na jednostkę długości cylindra,

t - czas,

D - współczynnik zależny od wymiarów cylindrycznej próbki, a dokładniej od stosunku $\rho_o = R_o/R$,

R_o,R - promienie: wewnętrzny i zewnętrzny.

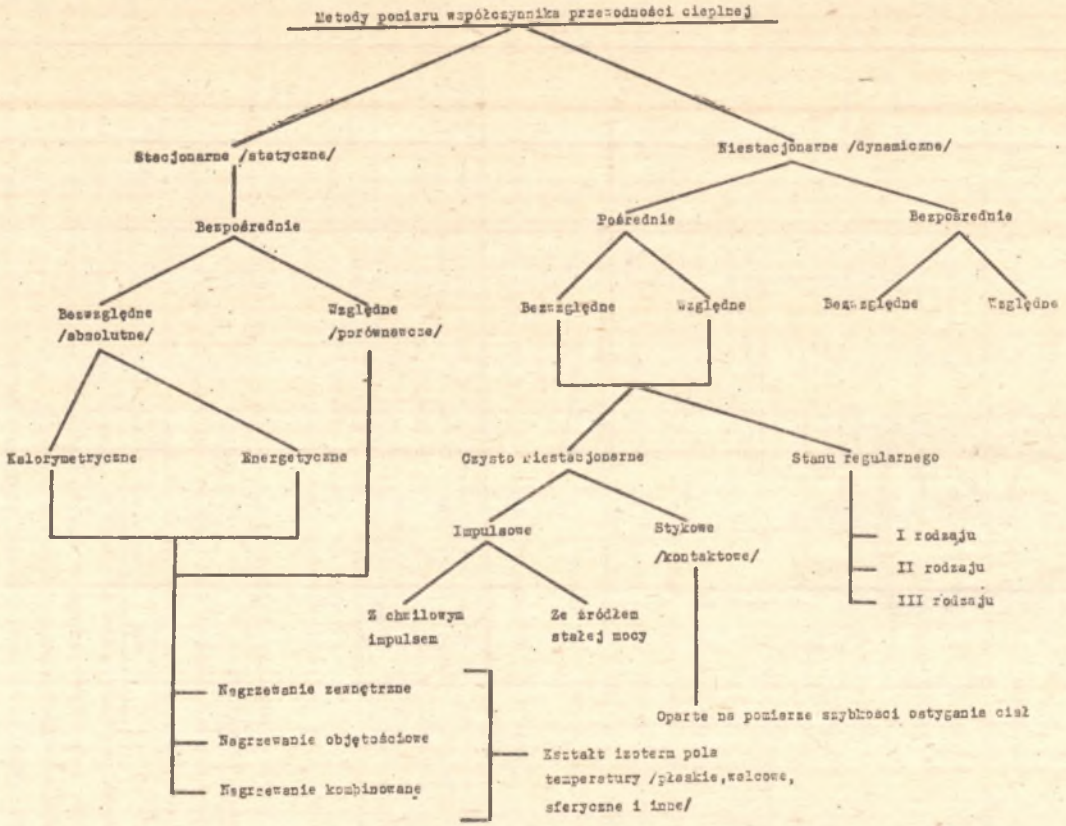
Wartość współczynnika D wyznaczono w sposób doświadczalny w oparciu o wyniki pomiarów wykonanych na próbce z żelaza Armco.

BADANIA WŁASNE

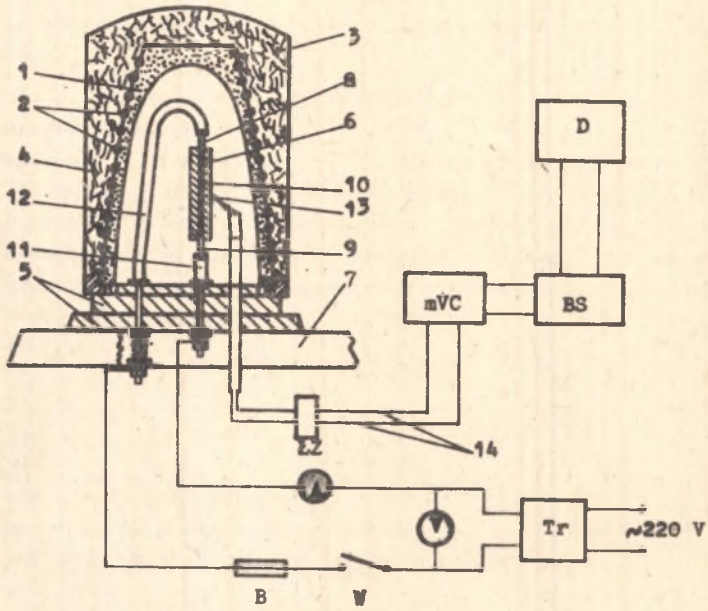
Opis stanowiska do badań

W ramach badań wykonano urządzenie do wyznaczania współczynnika przewodności cieplnej λ. Urządzenie to stanowi odmianę przyrządu, służącego do badania własności cieplno-fizycznych materiałów, zaprojektowanego i zbudowanego przez Ju.A. Naparina i N.A. Wdowina [4,5]. Pozwala ono na wyznaczanie przewodności cieplnej, przewodności temperaturowej oraz ciepła właściwego na jednej próbce w zakresie od temperatury pokojowej do około 1000 K.

Urządzenie składa się z kilku zasadniczych części: pieca z umieszczoną wewnątrz próbką, aparatury zasilającej oraz rejestrującej. Na rysunku 2 przedstawiony został schemat obrazujący zasady konstrukcji omawianego przyrządu oraz rozwiązania układów zasilania i rejestracji wyników pomiarów. Piec grzejny oporowy posiada maksymalną moc około 1 kW i jest zasilany prądem zmiennym z sieci przez autotransformator. Badana próbka 6 umieszczo-



Rys. 1. Schematyczny podział metod pomiaru współczynnika przewodności cieplnej



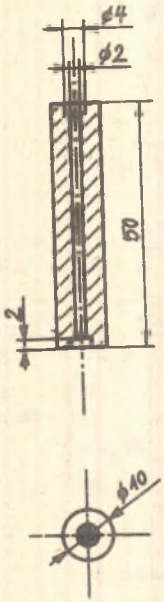
Rys. 2. Schemat urządzenia do badania przewodności cieplnej

1 - tygiel stożkowy z masy wysokoglinowej, 2 - spirala grzejna, 3 - obudowa stalowa, 4 - izolacja cieplna (wata mineralna oraz Al_2O_3), 5 - podstawa ceramiczna, 6 - badana próbka, 7 - podstawa z blachy stalowej, 8 i 9 - rureczki z Al_2O_3, 10 - "nitkowaty" element grzejny, 11 - pręt mosiężny, 12 - wspornik z mosiądzu, 13 - termopara NiCr-Ni, 14 - przewody kompensacyjne. AiV - amperomierz i woltomierz, B - bezpiecznik, W -wyłącznik ręczny, Tr - transformator, Łz - ława zaciskowa, mVC - miliwoltomierz cyfrowy, BS - blok sterujący, D - drukarka

na jest w pozycji pionowej na podstawie ceramicznej 5 za pomocą dwóch rureczek alundowych 8 i 9 oraz wsporników z mosiądzu 11 i 12. Przez otwór przewierceny wzdłuż osi próbki, której kształt i wymiary podano na rys.3, przechodzi drucik grzejny z nichromu (chromenikieliny) lub kanthalu o średnicy 0,1 ÷ 0,16 mm i oporności właściwej około 100 Ω .m. Moc elektryczna elementu grzewczego obliczana jest w oparciu o wartości napięcia i natężenia przepływającego w obwodzie prądu, mierzone przy zastosowaniu woltomierza i amperomierza (V i A na rys. 2).

Temperaturę powierzchni próbki mierzono termoelementem NiCr-Ni o średnicy termoelektrod 0,2 mm i klasie 1. Jako miernik temperatury zastosowano miliwoltomierz cyfrowy mVC - "Digital Voltmeter" typu V 534. Do rejestracji wartości siły termoelektrycznej użyto drukarkę.

METODYKA POMIARÓW



Rys. 3. Kształt i wymiary próbki do badań

W celu określenia wartości współczynnika przewodności cieplnej λ należy wyznaczyć różnicę temperatur ΔT oraz pochodną temperatury po czasie dT/dt w pewnej chwili czasowej w jakimkolwiek punkcie na zewnętrznej powierzchni cylindra. Pochodną dT/dt wyznacza się w dowolnym punkcie na liniowym odcinku zależności temperatury od czasu dla próbki podgrzewanej od powierzchni wewnętrznej.

Jeżeli próbka badana ma kształt cylindra o takich wymiarach, że stosunek $l_o/R = 5$ (l_o - długość cylindra, R - promień zewnętrzny), to jego pole temperaturowe jest równoważne polu temperaturowemu nieskończonego cylindra ze względnym błędem $\delta < 0,05$ [5]. W środkowym przekroju cylindra pola te są praktycznie takie same. Jak wykazuje doświadczenie, przy spełnieniu tych warunków nie występuje konieczność stosowania konstrukcji ochronnych, zabezpieczających adiabatyczność. Pomiary można wówczas prowadzić na nieosłoniętej próbce.

Pojedynczy pomiar trwa około 3 minut. Eksperyment trzeba powtórzyć kilkakrotnie, aby do obliczenia wartości współczynnika przewodności cieplnej w danej temperaturze wziąć średnią z kilku pomiarów. Aby wykonać pomiar, należy przeprowadzić następujące operacje:

1. Nagrzać komorę pieca wraz z umieszczoną wewnątrz próbką do założonej temperatury badania;
2. Ustalić stałą wartość temperatury przez okres kilkunastu minut;
3. Włączyć zasilanie drutu grzejnego, przechodzącego przez otwór przewiercony wzdłuż osi próbki;
4. Uruchomić drukarkę D w celu rejestrowania siły termoelektrycznej;
5. Zanotować wartości napięcia i natężenia przepływającego prądu;
6. Wyłączyć zasilanie elementu grzejnego próbki.

Na podstawie wyników uzyskanych z przeprowadzonych eksperymentów pomiarowych oblicza się wartość współczynnika przewodności cieplnej przy wykorzystaniu wzoru (2).

WYNIKI BADAŃ

Zakres pracy obejmował wyznaczenie wartości współczynnika λ dla próbki z żelaza Armco, pięciu stali wysokomanganowych typu Ferchroman oraz jed-

Tablica 1.

Składy chemiczne badanych stali oraz żelaza Armco

Rodzaj stopu	Zawartość składników stopowych w %																
	C	Mn	Cr	Si	Mo	Al	B	P	S	Nb	Nb	W	Cu	Co	V	Ti	N
Żelazo Armco	0,02	0,101	0,017	0,01	0,02	<0,01	-	0,002	0,016	-	0,014	<0,01	<0,016	0,017	<0,01	<0,01	-
Ferchroman																	
0	0,50	17,08	16,62	0,57	-	0,072	0,0014	0,035	0,0014	-	0,22	-	-	-	-	-	-
1	0,55	19,20	15,3	1,53	1,53	-	-	0,008	0,007	-	-	-	-	-	-	-	0,25
2	0,36	20,60	15,5	1,75	0,30	0,68	-	0,019	0,007	-	-	-	-	-	-	-	0,25
3	0,05	19,60	15,2	0,18	0,64	-	0,0025	0,019	0,006	0,10	-	-	-	-	-	-	0,31
4	0,04	19,10	15,4	0,30	0,86	-	0,0031	0,021	0,006	-	-	-	-	-	-	-	0,31
Fermanal	0,57	29,5	-	0,37	-	7,20	-	0,020	0,020	-	-	-	-	-	-	-	-

nej próbki ze stali typu Fermanal. Składy chemiczne wszystkich badanych stali oraz skład żelaza Armco podane zostały w tablicy 1. Pomiary wykonywane były w zakresie temperatur 350 ÷ 1000 K co 100 K.

Obliczone wartości współczynnika przewodności cieplnej λ ujęte zostały w tablicy 2.

Tablica 2

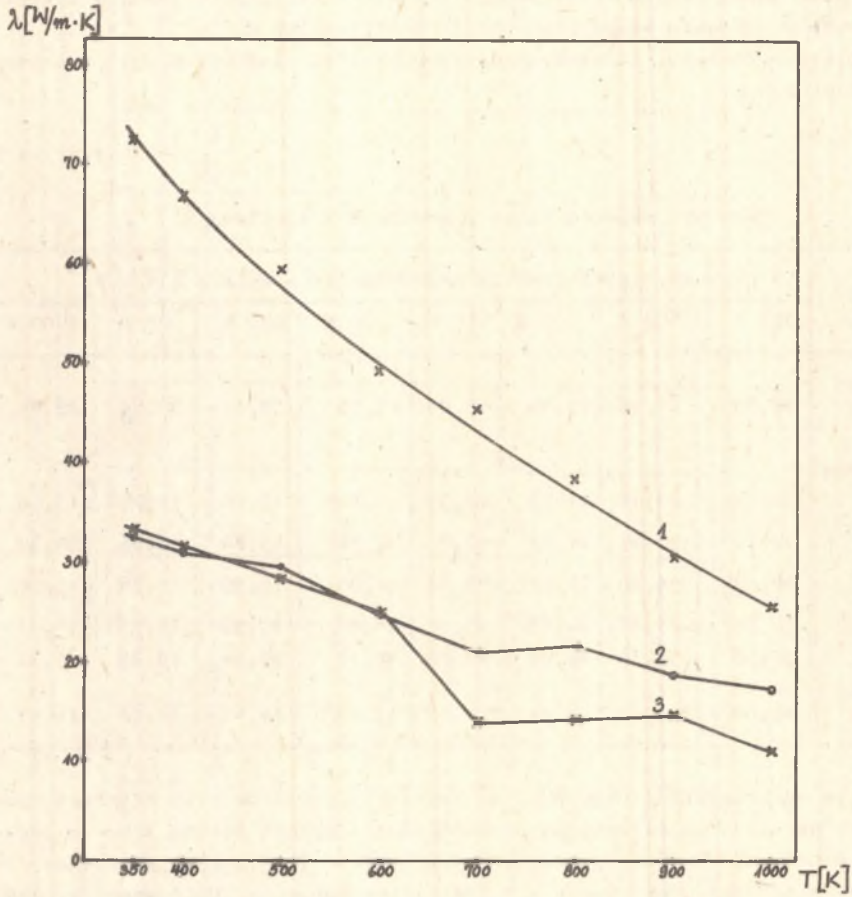
Wartości współczynnika przewodności cieplnej λ

Rodzaj stopu	Wartość współczynnika przewodności cieplnej λ [W/m.K]							
	350 K	400 K	500 K	600 K	700 K	800 K	900 K	1000 K
Żelazo Armco	72,55	67,16	59,39	49,08	45,75	38,65	30,50	25,91
Ferchroman								
0	30,38	29,48	24,13	22,35	18,21	17,16	15,94	13,66
1	34,16	39,47	21,27	17,78	22,84	15,88	18,68	20,33
2	30,88	30,60	41,51	28,86	21,81	16,36	12,90	13,52
3	34,56	29,65	24,88	25,37	18,00	21,33	18,16	11,31
4	32,56	31,14	29,75	24,79	20,99	21,96	18,88	17,51
Fermanal	33,34	31,68	28,24	25,07	13,86	14,41	14,52	11,11

Celem sprawdzenia poprawności dokonywanych pomiarów oraz obliczeń porównano wartości współczynnika przewodności cieplnej żelaza Armco z odpowiednimi danymi uzyskanymi przez innych autorów [2,4,6,7]. Stwierdzono dosyć dobrą zgodność rezultatów z danymi literaturowymi. Obliczono, że maksymalny błąd względny otrzymanych wyników mieści się w granicach 6% w temperaturze 1000 K, co zgadza się z teoretycznymi oszacowaniami błędu określania cieplno-fizycznych własności materiałów, przeprowadzonymi przez Ju. A. Naparina i N.A. Wdowina dla opracowanego przez siebie urządzenia.

Uzyskane wartości współczynnika przewodności cieplnej λ żelaza Armco są nieco wyższe od odpowiednich danych literaturowych [2,4,6,7]. Jest to prawdopodobnie spowodowane składem chemicznym posiadanego żelaza Armco (tablica 1).

Stale wysokomanganowe Ferchroman i Fermanal mają prawie dwukrotnie niższą przewodność cieplną niż żelazo Armco (tablica 2 rys. 4). Wynika to zarówno z budowy strukturalnej - badane stale wysokomanganowe posiadały struk- austenityczną - jak też przede wszystkim ze znacznej zawartości procentowej takich składników, jak: Mn, Cr i Al, które powodują wyraźne obniżenie ich przewodności cieplnej. Ponadto również obecność węgla wpływa na zmniejszenie wartości współczynnika przewodności cieplnej λ. Wzrost prze-



Rys. 4. Zależność współczynnika przewodności cieplnej λ od temperatury dla żelaza Armco oraz stali wysokomanganowych typu "Ferohroman" i "Fermanal"
1 - żelazo Armco, 2 - Ferohroman 4, 3 - Fermanal

wodności cieplnej w pewnych przedziałach temperaturowych może być związany z zachodzącymi zjawiskami odprężeniowymi oraz procesami wydzieleniowymi. Charakter zmian współczynnika przewodności cieplnej uwarunkowany jest także rodzajem obróbki cieplnej, jakiej poddane zostały badane stale wysokomanganowe. Stal Ferohroman 0 poddana została przesycaniu i starzeniu, pozostałe stale typu Ferchroman jedynie zabiegowi przesycania, natomiast Fermanal walcowano na gorąco.

Ogólnie można stwierdzić, że przewodność cieplna stali wysokomanganowych typu Ferohroman i Fermanal oraz jej zmiany temperaturowe zależą od struktury, składu chemicznego oraz rodzaju obróbki cieplnej.

WNIOSKI

Z przeprowadzonych badań wypływają następujące wnioski:

1. Wybrana metoda badawcza oraz wykonane urządzenie do wyznaczania współczynnika przewodności cieplnej odznaczają się dokładnością pomiaru, wystarczającą zarówno do badań poznawczych jak i dla celów praktycznych. Maksymalny błąd względny pojedynczego pomiaru wynosi około 6%.

2. Stale wysokomanganowe typu Ferchroman oraz Fermanal charakteryzują się prawie drukrotnie niższą przewodnością cieplną w porównaniu z żelazem Armco. Jest to spowodowane głównie składem chemicznym oraz budową strukturalną tych materiałów.

3. Wahania przewodności cieplnej i jej wzrost w pewnych przedziałach temperaturowych związane są z zachodzącymi zjawiskami odprężeniowymi oraz procesami wydzieleniowymi, co z kolei zdeterminowane jest rodzajem przeprowadzonej obróbki cieplnej.

LITERATURA

[1] Jabłoński W., Jakubowski W., Peryt W., Trykozko R. - Metaloznawstwo i obróbka cieplna, Wyd. IMP, 1974, 10, ss.16-22.

[2] Charłamow A.G. - Izmierienie tiepłoprowodnosti twierdych tieł. Atomizdat, Moskwa 1973.

[3] Mietody ispytania, kontrola i issledowania maszinostroitielnych matieriałow, tom 1: Fiziczeskije mietody issledowanija mietałłow. Izdat. "Maszinostrojeni e", Moskwa 1971, ss. 323-342 (Pod red. Tumanowa).

[4] Naparin Ju.A., Wdowin N.A. - Zawodskaja łaboratorija, 1976, t. 42, nr 3, ss. 229-301.

[5] Naparin Ju.A., Wdowin N.A. - Zawodskaja Łaboratorija, 1973, t. 39, nr 7, ss. 811-813.

[6] Olejnik B.N. - Tiepłofizika wysokich tiempieratur, 1964, t.2, nr 1, s. 109.

[7] Czirkin W.S. - Tiepłofiziczeskije swoistwa materiałow jadiernoj tiechniki. Sprawocznik "Atomizdat", Moskwa 1968.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ВЫСОКОМАРГАНЦЕВЫХ СТАЛЕЙ

Р е з ю м е

В работе представлены результаты измерений коэффициента теплопроводности 6 сортов высокомарганцевых сталей типа "Fermanal" и "Ferchroman". С целью сравнения определено также коэффициент теплопроводности железа Армко. Исследования проводили в температурном диапазоне 350 К - 1000 К на установке сконструированной и сделаной авторами.

Эта установка является разновидностью устройства, которое служит для исследования теплофизических свойств разных материалов запроектированного Напарином и Вдовином. Она позволяет определять теплопроводность, коэффициент температуропроводности и удельную теплоту при использовании одного образца в температурном диапазоне от комнатной температуры до 1000 К.

THE DETERMINATION OF THE THERMAL CONDUCTIVITY OF HIGH - MANGANESE STEELS

S u m m a r y

The results of measurments of the thermal conductivity coefficient for the six sorts of high - manganese steel type "Fermanal" and "Ferchroman", have been presented in this article. For comparison the thermal conductivity of Armco iron has been also determined. The tests were carried out in the temperature range 350 to 1000 K using an apparatus constructed and built by the authors.

The apparatus was a kind of instrument for investigations of the thermal and physical properties of some materials projected by Naparin and Wdowin. It allowed to determine thermal conductivity, coefficient of temperature conductivity and specific heat on one specimen in the temprtature range from room temperature to about 1000 K.