



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 4388

(13) U

(51) 7 G01N25/20

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІОПИС
ДО ДЕКЛАРАЦІЙНОГО ПАТЕНТУ
НА КОРИСНУ МОДЕЛЬвидається під
відповідальність
власника
патенту

(54) СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ ТЕПЛОПРОВІДНОСТІ МАТЕРІАЛІВ

1

2

(21) 2004042646

(22) 08 04 2004

(24) 17 01 2005

(46) 17 01 2005, Бюл. № 1, 2005 р.

(72) Скрипник Юрій Олексійович, Курко Володимир Романович

(73) КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ТЕХНОЛОГІЙ ТА ДИЗАЙНУ

(57) Спосіб визначення теплопровідності матеріалів, який полягає в тому, що приводять робочий кінець термоелектричного зонда в тепловий контакт із поверхнею досліджуваного матеріалу, підвищують температуру робочого кінця термоелектричного зонда пропусканням через нього змінного струму, вимірюють термоелектрорушійну силу (термоЕРС) на вільних кінцях термоелектричного зонда і потужність змінного струму, що розсіюється в термоелектричному зонді, і обчислюють теплопровідність матеріалу за формулою, який відрізняється тим, що після виміру потужності змінного струму, встановлюють другий термоелектричний зонд, робочий кінець якого приводять у тепловий контакт з протилежного боку досліджуваного матеріалу, вимірюють термоЕРС на його вільних кінцях і визначають температуру його робочого кінця, пропускають через нього постійний струм у напрямку, при якому виникає його термоелектричне охолодження, збільшують силу постійного струму до одержання максимального охолодження, про

яке судять по досягненню мінімального значення термоЕРС на вільних кінцях першого термоелектричного зонда, збільшують змінний струм через робочий кінець першого термоелектричного зонда до відновлення первісної термоЕРС на його вільних кінцях, вимірюють знову потужність змінного струму, вимикають постійний струм через робочий кінець другого термоелектричного зонда, вимірюють термоЕРС на його вільних кінцях і визначають температуру його робочого кінця, а теплопровідність χ обчислюють за формулою

$$\chi = \frac{W_H'' - W_H' d}{T_2 - T_2^S}, \text{ де}$$

W_H' і W_H'' - потужність змінного струму, що розсіюється в першому термоелектричному зонді, до і після термоелектричного охолодження другого термоелектричного зонда і сталості термоЕРС першого термоелектричного зонда,

T_2, T_2^S - температура робочого кінця другого термоелектричного зонда до і після його термоелектричного охолодження і сталості термоЕРС першого термоелектричного зонда,

d - товщина досліджуваного матеріалу,

S - площа торця термоелектричних зондів

Корисна модель відноситься до області теплофізичних вимірів і може бути використана для визначення теплопровідності листових і рулонних матеріалів за допомогою термоелектричних зондів

Теплопровідність матеріалу оцінюється кількістю теплоти, що проходить через шар матеріалу одиничної товщини й одиничного перетину при різниці температур в один градус. Тому для визначення теплопровідності є необхідним вимірювання кількості виділюваної в нагрівачі теплоти та різниці температур, що виникає в матеріалі

Відомий спосіб визначення теплопровідності матеріалів (див Харламов А.Т. Измерение теплопроводности твердых тел - М. Атомиздат, 1973, С. 46-49), при якому досліджуваний взірець довжиною l і площиною перетину S розміщується

між нагрівачем і теплоприймачем. Тепловий потік від нагрівача, проходячи через взірець, створює різницю температур ΔT між нагрівачем і теплоприймачем, що вимірюється термопарами по значенню термоелектрорушійної сили (термоЕРС). Якщо зневажити втратами тепла від нагрівача і взірця в навколишнє середовище, то теплопровідність χ визначається співвідношенням

$$\chi = \frac{W_H}{\Delta T} \frac{l}{S} [\text{Вт/(м К)}],$$

де W_H - потужність нагрівача

Джерелом похибки у визначенні теплопровідності є теплові втрати, що неминучі і спотворюють результати вимірювання різниці температур

Для виключення теплових втрат вимірювання теплопровідності проводять у вакуумі або засто-

(13) U

(11) 4388

(19) UA

совують спеціальні методи компенсації при обліку цих втрат (див. Коротков П.А., Лондон Г.Е. Динамические контактные измерения тепловых величин - Л. Машиностроение Ленинград отделение, 1974 С.138-142)

Однак, ці методи є досить складними і не завжди забезпечують високу точність вимірювань, особливо при використанні динамічних режимів нагрівання

Відомий також спосіб визначення теплопровідності матеріалів (патент України №50533 А, МПК G01N25/20, бюл. №10, 2002р.), який полягає в тому, що приводять робочий кінець термоелектричного зонда в тепловий контакт із поверхнею досліджуваного матеріалу, підвищують температуру робочого кінця термоелектричного зонда пропусканням через нього змінного струму, вимірюють термоЕРС на вільних кінцях термоелектричного зонда і потужність змінного струму, що розсіюється в термоелектричному зонді, і обчислюють теплопровідність матеріалу за формулою

Крім того, відомий спосіб включає операцію зміни полярності струму охолодження на протилежну, вимірювання трьох значень термоЕРС термоелектричного зонда на його вільних кінцях та визначення теплопровідності χ за формулою

$$\chi = \frac{(E_3 - E_2)(E_{3K} + E_{2K} - 2E_{1K})^2 d}{(E_{3K} - E_{2K})(E_3 + E_2 - 2E_1)^2 d_K} \chi_K,$$

де E_{1K} , E_{2K} і E_{3K} - термоЕРС, що вимірюються в процесі калібрування зонда при оптимальній силі струму охолодження,

d і d_K - товщини досліджуваного й еталонного матеріалів,

χ_K - теплопровідність еталонного матеріалу

У відомому способі тепловий потік від нагрітого термоелектричного зонда проходить не тільки через досліджуваний матеріал, але й розсіюється в середовищі, що оточує робочий кінець і електроди зонда. Втрати тепла в навколишнє середовище при низькій теплопровідності досліджуваного матеріалу є порівнюваними з кількістю теплоти, що розсіюється в самому матеріалі. Тому точність способу при однобічному доступі до досліджуваного матеріалу, особливо з низькою теплопровідністю (тканини, шкіра, картон і т.п.) виходить низькою

В основу корисної моделі покладена задача створити такий спосіб визначення теплопровідності матеріалів, в якому введення нових операцій забезпечило б підвищення точності визначення теплопровідності

Поставлена задача вирішується тим, що в способі визначення теплопровідності матеріалів, який полягає в тому, що приводять робочий кінець термоелектричного зонда в тепловий контакт із поверхнею досліджуваного матеріалу, підвищують температуру робочого кінця термоелектричного зонда пропусканням через нього змінного струму, вимірюють термоЕРС на вільних кінцях термоелектричного зонда і потужність змінного струму, що розсіюється в термоелектричному зонді, і обчислюють теплопровідність матеріалу за формулою, згідно з корисною

моделлю, після виміру потужності змінного струму, встановлюють другий термоелектричний зонд, робочий кінець якого приводять у тепловий контакт з протилежного боку досліджуваного матеріалу, вимірюють термоЕРС на його вільних кінцях і визначають температуру його робочого кінця, пропускають через нього постійний струм у напрямку, при якому виникає його термоелектричне охолодження, збільшують силу постійного струму до одержання максимального охолодження, про яке судять по досягненню мінімального значення термоЕРС на вільних кінцях першого термоелектричного зонда, збільшують змінний струм через робочий кінець першого термоелектричного зонда до відновлення первісної термоЕРС на його вільних кінцях, вимірюють знову потужність змінного струму, виникають постійний струм через робочий кінець другого термоелектричного зонда, вимірюють термоЕРС на його вільних кінцях і визначають температуру його робочого кінця, а теплопровідність χ обчислюють за формулою

$$\chi = \frac{W_H}{T_2} \frac{W_H d}{T_2 S},$$

де W_H і W_H^* - потужність змінного струму, що розсіюється в першому термоелектричному зонді, до і після термоелектричного охолодження другого термоелектричного зонда і сталості термоЕРС першого термоелектричного зонда,

T_2 і T_2^* - температура робочого кінця другого термоелектричного зонда до і після його термоелектричного охолодження і сталості термоЕРС першого термоелектричного зонда,

d - товщина досліджуваного матеріалу,

S - площа торця термоелектричних зондів

Використання другого термоелектричного зонда з протилежного боку досліджуваного матеріалу для прийому теплового потоку від першого термоелектричного зонда, визначення температури робочого кінця другого термоелектричного зонда при вимірюванні потужності нагрівання першого термоелектричного зонда, термоелектричне охолодження робочого кінця другого термоелектричного зонда пропусканням оптимального постійного струму через його робочий кінець, збільшення потужності нагрівання першого термоелектричного зонда до відновлення термоЕРС на його вільних кінцях, визначення температури робочого кінця другого термоелектричного зонда після відключення охолоджуючого струму, визначення теплопровідності матеріалу за різницею потужностей нагрівання першого термоелектричного зонда та різницею температур робочого кінця другого термоелектричного зонда до і після термоелектричного охолодження виключає вплив теплових втрат термоелектричних зондів на точність визначення теплопровідності досліджуваного матеріалу

На кресленні представлена схема визначення теплопровідності матеріалів за допомогою двох термоелектричних зондів, що працює за запропонованим способом, де 1 і 2 - робочі кінці

термоелектричних зондів, розміщених у металевих корпусах 3 і 4, 5 - досліджуваний матеріал, 6 - джерело змінної напруги, 7 - змінний резистор (реостат), 8 - вимірювач потужності (ватметр), 9 - мілівольтметр постійного струму, 10 - фільтр нижніх частот, 11 - мілівольтметр постійного струму, градуйований в одиницях температури, 12 - двополісний перемикач, 13 - джерело постійної напруги, 14 - другий змінний резистор (реостат), 15 - міліамперметр постійного струму

Досліджуваний матеріал 5 має товщину d , а площі торців корпусів 3 і 4 термоелектричних зондів однакові і дорівнюють S

Робочий кінець 1 одного термоелектричного зонда підключений до джерела змінної напруги 6. Робочий кінець 2 другого термоелектричного зонда підключається через двополісний перемикач 12 до джерела постійної напруги 13. Мілівольтметри постійного струму 9 і 11 підключені до вільних кінців термоелектричних зондів з робочими кінцями 1 і 2. Корпуси 3 і 4 термоелектричних зондів розташовують з протилежних боків перпендикулярно досліджуваному матеріалу 5.

Спосіб визначення теплопровідності матеріалів здійснюється наступним чином

Робочі кінці 1 і 2 термоелектричних зондів, розміщених у корпусах 3 і 4, приводять у тепловий контакт з досліджуванним матеріалом 5. Через робочий кінець 1 пропускають змінний струм від джерела 6 через змінний резистор 7 і струмову обмотку ватметра 8. За рахунок теплоти Джоуля, що виділяється в робочому кінці 1 й електродах термоелектричного зонда, відбувається нагрівання корпусу 3 і прилягаючої поверхні досліджуваного матеріалу 5. Температуру нагрівання термоелектричного зонда контролюють мілівольтметром постійного струму 9, що підключений до вільних кінців цього термоелектричного зонда через фільтр 10 нижніх частот, що пропускає тільки постійну складову термоЕРС робочого кінця 1.

Температура нагрівання термоелектричного зонда пропорційна потужності змінного струму, що розсіюється у вигляді тепла в досліджуваному матеріалі і оточуючому зонд середовищі. Фіксують сталу температуру нагрівання робочого кінця 1 термоелектричного зонда мілівольтметром постійного струму 9 і вимірюють підведену до нього електричну потужність ватметром 8.

Від нагрітого корпусу 3 термоелектричного зонду відбувається нагрівання корпусу 4 другого термоелектричного зонду за рахунок теплового потоку, що проходить через досліджуваний матеріал 5. У результаті нагрівається робочий кінець 2 другого термоелектричного зонда. Температура нагрівання другого зонда вимірюється мілівольтметром постійного струму 11, що з'єднаний з вільними кінцями цього зонда через двополісний перемикач 12.

Рівняння теплового балансу нагрітого термоелектричного зонда з робочим кінцем 1 можна представити у вигляді

$$W_H = \frac{\chi S}{d} (T_1 - T_2) + K_T (T_1 - T_0) \quad (1)$$

де W_H - електрична потужність нагрівання, вимірювана ватметром 8,

χ - теплопровідність досліджуваного матеріалу 5,

S - площа перетину торців корпусів 3 і 4 термоелектричних зондів,

d - товщина досліджуваного матеріалу 5,

T_1 - температура робочого кінця 1 термоелектричного зонда,

T_2 - температура робочого кінця 2 другого термоелектричного зонда,

K_T - коефіцієнт теплопередачі між корпусом 3 термоелектричного зонда і навколишнім середовищем,

T_0 - температура навколишнього середовища

Вимірюють потужність W_H ватметром 8 і те-

мпературу T_2 мілівольтметром постійного струму 11, який градуйований в одиницях температури

Далі двополісний перемикач 12 переводять у протилежне положення і через робочий кінець 2 другого термоелектричного зонда пропускають постійний струм від джерела постійної напруги 13 у напрямку, при якому відбувається його термоелектричне охолодження за рахунок поглинання теплоти Пельтьє в контактному шарі робочого кінця. Другим змінним резистором 14 збільшують струм до оптимального значення, при якому досягається максимальне охолодження робочого кінця 2 другого термоелектричного зонда. Електрична потужність, що розсіюється в робочому кінці 2 термоелектричного зонда визначається співвідношенням

$$W_{OX} = \Pi - kI^2 R, \quad (2)$$

де Π - коефіцієнт Пельтьє електродів термоелектричного зонда,

R - опір електродів термоелектричного зонда,

I - електричний струм через робочий кінець 2,

k - коефіцієнт, що враховує частку теплоти Джоуля, яка надходить у робочий кінець 2 з електродів термоелектричного зонда

Оптимальний охолоджуючий струм I_0 можна визначити з рівняння (2) його диференціюванням

$$\frac{dW_{OX}}{dI} = 2kIR = 0 \quad (3)$$

Вирішуючи рівняння (3) відносно струму I_0 , одержуємо значення оптимального струму охолодження

$$I_0 = \frac{\Pi}{2kR} \quad (4)$$

Оптимальний струм встановлюють експериментально за мінімальним показанням мілівольтметра постійного струму 11 при його підключенні двополісним перемикачем 12. Силу оптимального струму фіксують за міліамперметром постійного струму 15.

При термоелектричному охолодженні робочого кінця 2 спостерігається і зниження температури робочого кінця 1 першого термозонда з причини зрослого теплового потоку між термоелектричними зондами через досліджуваний матеріал 5. Зниження температури робочого кінця 1 фіксується й по зменшенню показання мілівольметра постійного струму 9. Тому оптимальний струм охолодження I_0 можна встановити за мінімальним показанням мілівольметра постійного струму 9, не розриваючи ланцюг термоелектричного охолодження робочого кінця 2 двополюсним перемикачем 12.

Рівняння теплового балансу нагрітого робочого кінця 1 у випадку термоелектричного охолодження робочого кінця 2 приймає вигляд

$$\dot{W}_H = \frac{\chi S}{d} (T_1' - T_2') + K_T (T_1' - T_0), \quad (5)$$

де T_1' - знижена температура робочого кінця 1,

T_2' - знижена температура робочого кінця термодари 2.

Зменшенням опору змінного резистора 7 збільшують потужність нагрівання робочого кінця 1 термоелектричного зонда до відновлення первісної термоЕРС, яку контролюють мілівольтметром постійного струму 9. При цьому знову зростає температура робочого кінця 2 другого термоелектричного зонда за рахунок зрослого теплового потоку через досліджуваний матеріал 5. У момент досягнення мілівольтметром постійного струму 9 первісного показання, що відповідає температурі T_1' , двополюсним перемикачем 12 вмикають постійний струм через робочий кінець 2 другого термоелектричного зонда та підключають до нього мілівольтметр постійного струму 11.

Вимірюють зрослу температуру T_2'' робочого кінця 2 другого термоелектричного зонда.

Рівняння теплового балансу робочого кінця 1 термоелектричного зонда при зрослій потужності і усталеному значенні теплового потоку через досліджуваний матеріал 5 представимо як

$$\dot{W}_H = \frac{\chi S}{d} (T_1' - T_2'') + K_T (T_1' - T_0), \quad (6)$$

де T_2'' - усталена температура робочого кінця 2 термозонда при наявності його термоелектрично-

го охолодження і відновленні первісної температури

T_1' робочого кінця 1,

\dot{W}_H - зросле значення електричної потужності, що розсіюється в робочому кінці 1.

Вимірюють зросле значення електричної потужності \dot{W}_H ватметром 8. З рівнянь (1) і (6) видно, що при відновленні первісної температури T_1' робочого кінця 1 термоелектричного зонда втра-ти в навколишнє середовище $K_T (T_1' - T_0)$ стають такими ж як і первісні.

Тому рівняння (1) і (6) можна привести до одного рівняння

$$\dot{W}_H \frac{\chi S}{d} (T_1' - T_2) - \dot{W}_H - \frac{\chi S}{d} (T_1' - T_2) \quad (7)$$

Вирішивши перетворене рівняння (7) відносно коефіцієнта теплопровідності, одержимо його значення

$$\chi = \frac{\dot{W}_H - \dot{W}_H'}{T_2 - T_2'} \frac{d}{S} \quad (8)$$

З отриманого виразу (8) видно, що значення теплопровідності матеріалу χ не залежить від

рівня теплових втрат $K_T (T_1' - T_0)$ у навколишнє середовище і температури T_1' робочого кінця 1 термоелектричного зонда.

Точність визначення теплопровідності χ залежить тільки від похибки ватметра 8, мілівольтметра постійного струму 11, а також точності визначення геометричних розмірів d і S .

Використання електродинамічного ватметра класу 0,5 і пірометричного мілівольтметра, що працює в комплекті з термодарами і має шкалу, проградуировану в $^{\circ}\text{C}$ з похибкою не більш як $0,2^{\circ}\text{C}$, дозволяє вимірювати теплопровідність текстильних матеріалів у діапазоні значень - $(40 - 300) \cdot 10^{-3} \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ при температурі $36-38^{\circ}\text{C}$ з відносною похибкою не більш як 1-1,5%. Як зонди використовувалися хромель-копелеві термоелектроди діаметром 0,5 мм, робочі кінці яких приварені до металевих захисних корпусів зондів діаметром 10 мм і висотою 25 мм.

