

ВИМІРЮВАННЯ ТЕПЛОПРОВІДНОСТІ ВИСОКОТЕПЛОПРОВІДНИХ ЛИСТОВИХ МАТЕРІАЛІВ

© Пістун Є. П., Васильківський І. С., Юсик Я. П., 2000
 Національний університет "Львівська політехніка"

Розглянуто новий метод вимірювання теплопровідності високотеплопровідних листових матеріалів, за допомогою якого можна реалізувати вимірювання в діапазоні від 20 до 400 Вт/(м·К). Приводиться опис принципової схеми приладу, розробленого на основі цього методу.

Вимірювання теплопровідності листових матеріалів в діапазоні середніх значень теплопровідності від 0,2 до 10 Вт/(м·К) для сучасного теплофізичного приладобудування не становить особливої проблеми і може реалізовуватися за допомогою відомих методів [1]. Для вимірювання теплопровідності високотеплопровідних листових матеріалів таких методів не існує, хоча потреба в проведенні даних вимірювань надзвичайно велика, особливо при проектуванні та експлуатації радіоелектронної апаратури (відвід тепла від потужних випромінювачів і радіоелементів), зокрема, в галузі космонавтики тощо.

Метою даного дослідження є створення на базі розроблених методологічних підходів [2] нового методу вимірювання теплопровідності високотеплопровідних листових матеріалів, реалізація на базі цього методу приладу для вимірювання теплопровідності високотеплопровідних листових матеріалів

Для вирішення цієї задачі запропонована нова мостова зрівноважена теплова вимірювальна схема (ТВС) із зрівноваженням теплових потоків, що проходять через стандартні (еталонні) зразки [3]. Побудова приладу на основі такої схеми усуває необхідність вимірювань абсолютних значень температур і величин теплових потоків, що проходять через зразки, зменшує вплив коливань температури джерела та приймача тепла, контактних теплових опорів між елементами теплопровідного кола та інших збурень на результат вимірювання. Це в свою чергу дає можливість значно підвищити точність вимірювання, розширити діапазон вимірювання, а також, внаслідок спрощення вимірювальної схеми, значно підвищити надійність і зменшити собівартість приладу.

Мостова ТВС, яка лежить в основі побудови такого приладу, показана на рис. 1.

Для даної схеми можна записати наступну систему рівнянь:

$$\begin{aligned} F_1 &= \frac{T_1 - T_a}{R_{x1} + R_{e1}} = \frac{T_a - T_2}{R}; \\ F_2 &= \frac{T_1 - T_b}{R_{x2} + R_{e2}} = \frac{T_b - T_2}{R}, \end{aligned} \quad (1)$$

де T_1 - температура джерела тепла; T_2 - температура приймачів тепла; T_a, T_b - температури в вимірювальній діагоналі; R_{x1}, R_{x2} - теплові опори частин досліджуваного зразка; R_{e1}, R_{e2} - теплові опори першого та другого еталонного зразка, відповідно; R - тепловий опір тепломірних елементів.

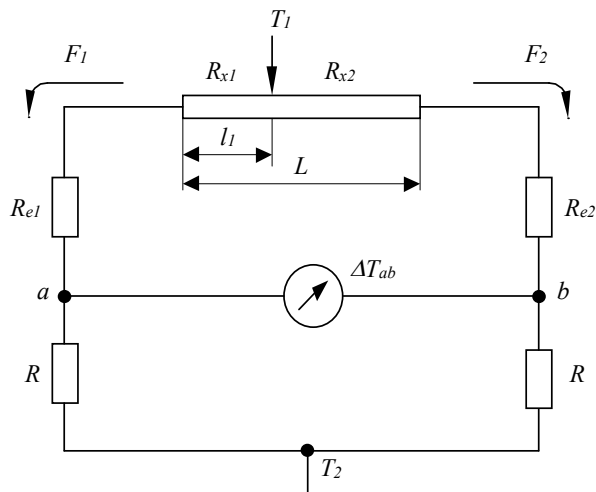


Рис. 1. Схема з'єднання теплових опорів та розподілу теплових потоків і температур в зрівноваженій мостовій ТВС.

Умову рівності теплових потоків ($F_1 = F_2$), що проходять через еталонні зразки, досягають шляхом дії теплового потоку на обмежену зону досліджуваного зразка і переміщення місця дії (підведення) цього теплового потоку на досліджуваний зразок. Очевидно, що з врахуванням ідентичності тепломірних елементів, виконання умови рівності теплових потоків, які проходять по різних теплопровідних колах, отримуємо при $\Delta T_{ab} = T_a - T_b = 0$. Із системи рівнянь (1), враховуючи, що $F_1 = F_2$ і $\Delta T_{ab} = 0$, запишемо рівняння рівноваги:

$$R_{x1} + R_{e1} = R_{x2} + R_{e2}, \quad (2)$$

звідки, визначивши значення теплових опорів елементів ТВС через їх геометричні розміри та теплопровідність [3], отримуємо таку формулу для визначення коефіцієнта теплопровідності досліджуваного

зразка:

$$\lambda_x = \frac{L - 2l_1}{S_x \left(\frac{l_{e1}}{\lambda_{e1} \cdot S_{e1}} - \frac{l_{e2}}{\lambda_{e2} \cdot S_{e2}} \right)}, \quad (3)$$

де $\lambda_x, \lambda_{e1}, \lambda_{e2}$ - коефіцієнти теплопровідності досліджуваного, першого і другого еталонного зразків; L - відстань між еталонними зразками; l_1 - відстань від середини місця дії теплового потоку до одного із еталонних зразків; l_{e1}, l_{e2} - товщина першого та другого еталонного зразків; S_x, S_{e1}, S_{e2} - площа поперечного перерізу досліджуваного, першого та другого еталонних зразків.

Після нескладних перетворень отримаємо, що

$$\lambda_x = A - B \cdot l_1, \quad (4)$$

де A і B - константи приладу, які знаходяться при градуванні:

$$A = \frac{L}{S_x \left(\frac{l_{e1}}{\lambda_{e1} \cdot S_{e1}} - \frac{l_{e2}}{\lambda_{e2} \cdot S_{e2}} \right)},$$

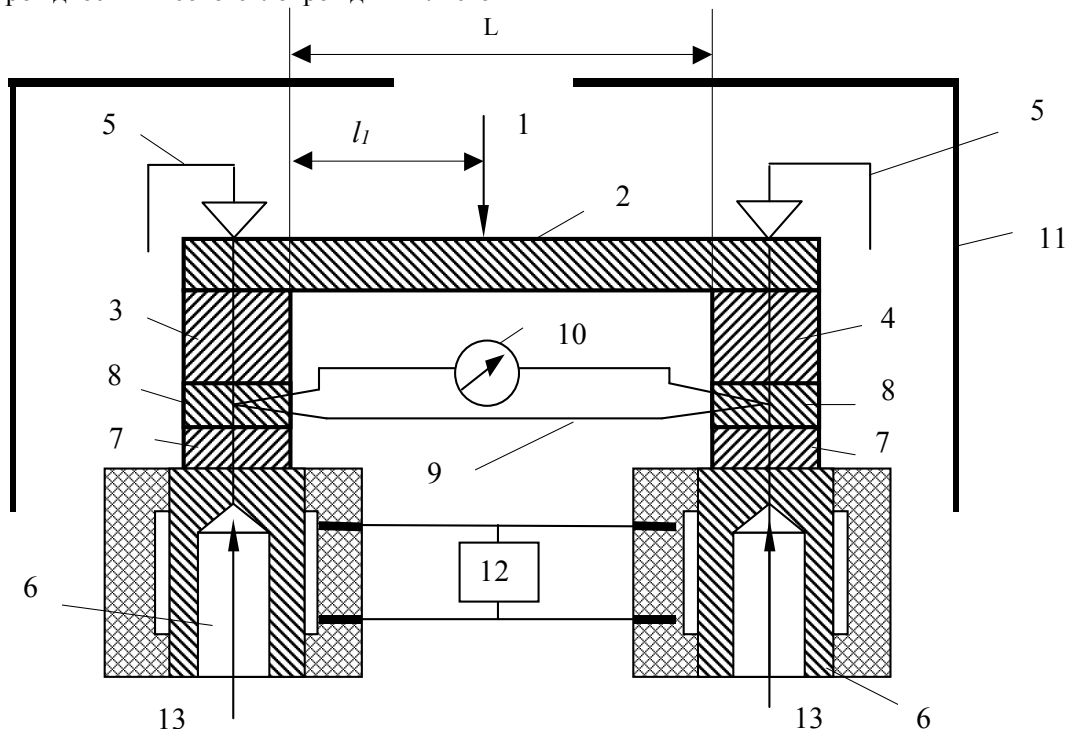
$$B = \frac{2}{S_x \left(\frac{l_{e1}}{\lambda_{e1} \cdot S_{e1}} - \frac{l_{e2}}{\lambda_{e2} \cdot S_{e2}} \right)}.$$

Принципова схема приладу для вимірювання теплопровідності високотеплопровідних листових

матеріалів показана на рис. 2.

Вузкоспрямований на досліджуваний зразок 2 тепловий потік задається спеціальним джерелом тепла 1, яке виконане з можливістю переміщення цього потоку вздовж осі досліджуваного зразка. Зразок 2 притискається до стандартних (еталонних) зразків 3 і 4 затисками 5, які зафіксують усі елементи теплопровідних кіл. На поверхні приймачів тепла 6 приклеєні тепломірні елементи 7 з однаковими тепловими опорами і температуровирівнюючі пластини 8 з вмонтованими в них спаями диференційної термопари 9. Рівність температур пластин контролюється нуль - індикатором 10. Бокові поверхні елементів теплопровідного кола захищені від теплообміну з навколишнім середовищем теплоізоляційним корпусом 11. Приймачі тепла 6 омиваються рідиною із термостату 12 і встановлені на упорах 13.

Тепловий потік джерела тепла 1 переміщують вздовж осі досліджуваного зразка таким чином, щоб в стаціонарному тепловому режимі сигнал диференційної термопари 9 був рівний нулю. В результаті за положенням місця дії цього теплового потоку відносно еталонних зразків 3 і 4 визначають шуканий коефіцієнт теплопровідності.



1 - джерело тепла, 2 - досліджуваний зразок, 3 і 4 - стандартні (еталонні) зразки, 5 - затиски, 6 - приймачі тепла, 7 - тепломірні елементи, 8 - температуровирівнюючі пластини, 9 - диференційна термопара, 10 - нуль-індикатор, 11 - теплоізоляційний корпус, 12 - термостат, 13 - упори

Рис. 2. Принципова схема приладу для вимірювання теплопровідності пластин та листових матеріалів.

Вимірювання коефіцієнта теплопровідності досліджуваного зразка здійснюють в стаціонарному тепловому режимі, коли теплові потоки, що проходять через еталонні зразки 3 і 4, рівні між собою. Теплові потоки, що проходять через еталонні зразки 3 і 4 вимірюються з допомогою двох однакових за тепловим опором тепломірних елементів 7, які контактують з однієї сторони з поверхнею приймача тепла 6, а з іншої - з температуровирівнюючими пластинами 8. За температурними перепадами на тепломірних елементах 7 судять про контрольовані теплові потоки. Рівність цих теплових потоків фіксують за сигналом диференційної термопари 9 по його рівності нулю (± 1 мкВ) в стаціонарному тепловому режимі. Вважається, що стаціонарний тепловий режим настає тоді, коли сигнал диференційної термопари 9 у вказаних межах не змінюється протягом 20 хвилин.

Як джерело тепла використано лінійне джерело інфрачервоного випромінювання з вузькою щільною, яка спрямовує потік випромінювання на обмежену зону досліджуваного зразка. Тепломірні елементи для вимірювання рівності теплових потоків в різних гілках теплопровідного кола виконані із одного матеріалу і однакових розмірів. В температуровирівнюючі мідні пластини вмонтовано спаї диференційної хромель-копелевої термопари, яка підключена до нуля-індикатора з мінімальною ціною поділки шкали 0,1 мкВ. Еталонні зразки у вигляді дисків (або квадратів) з різною товщиною виготовлені з одного матеріалу, теплопровідність якого прогнозована з достатньо високою точністю [4, 5].

За допомогою вказаного приладу були проведені дослідження теплопровідності пластин, виготовлених з алюмінію, алюмінієвих сплавів, різних ма-

рок латуні, бронзи, сталі. Для градування приладу використовувались стандартні зразки [4, 5] з міді, низьковуглецевої і нержавіючої сталей та сплаву ВТ-6. Проведені дослідження показали, що розроблений прилад дозволяє проводити вимірювання коефіцієнта теплопровідності високотеплопровідних листових матеріалів в діапазоні від 20 до 400 Вт/(м·К), причому верхня межа діапазону вимірювання теплопровідності обмежена лише відсутністю стандартних зразків. Гранична допустима похибка вимірювання у всьому діапазоні не перевищує 10 %, що вдалось досягнути за рахунок виключення похибок від впливу контактних теплових опорів та інших неінформативних впливів на результат вимірювання.

1. *Теплофизические измерения и приборы / Под ред. Е. С. Платунова. - Л.: Машиностроение, 1986. - 256 с.* 2. *Пистун Е. П., Рогоцкий Я. Т., Васильковский И. С. Повышение точности измерения теплопроводности на основе принципа инвариантности // Контрольно - измерительная техника. - Львів.: Вища школа. - 1989. - Вып. 45. - С. 29-32.* 3. *А.С. 1681216 /СССР/. Способ измерения теплопроводности материалов // Пистун Е. П., Рогоцкий Я. Т., Васильковский И. С., Юсык Я. П. - Оpubл. 1991, № 36.* 4. *ДСТУ 2568- 94. Метрологія. Державна служба стандартних довідкових даних України. Основні положення. К.: Держстандарт України, 1994.* 5. *ДСТУ 3232-95. Метрологія. Стандартні зразки. Основні положення, порядок розроблення, атестації, реєстрації, затвердження. - К.: Держстандарт України, 1995.*