

Stanisław CHUDZIK, Waldemar MINKINA
POLITECHNIKA CZĘSTOCHOWSKA, WYDZIAŁ ELEKTRYCZNY,
Al. Armii Krajowej 17, 42-200 Częstochowa

Metoda wyznaczania termoizolacyjności powłok malarskich

Dr inż. Stanisław CHUDZIK

Adiunkt w Zakładzie Techniki Mikroprocesorowych, Automatyki i Pomiarów Ciepłych na Wydziale Elektrycznym Politechniki Częstochowskiej. Stopień naukowy doktora uzyskał w 2003 r. na wyżej wymienionym Wydziale. Specjalizuje się w zakresie zjawisk dyfuzji ciepła, modelowania rozkładu pól temperatury, wykorzystania algorytmów numerycznych w pomiarach ciepłych, projektowania systemów pomiarowych oraz wyznaczania parametrów ciepłych materiałów.

e-mail: chudzik@el.pcz.czyst.pl



Prof. dr hab. inż. Waldemar MINKINA

Ukończył w 1977 r. Wydział Elektryczny Politechniki Częstochowskiej, doktorat w 1983 r. w Instytucie Metrologii Elektrycznej Politechniki Wrocławskiej, habilitacja w 1995 r. na Wydziale Automatyki Politechniki Lwowskiej, tytuł prof. nauk technicznych w 2006 r. na AGH w Krakowie. Jest autorem i współautorem 7 książek i monografii, ponad 140 publikacji oraz 14 patentów i zgłoszeń patentowych. Specjalizuje się w problematyce termometrii, termografii, pomiarów ciepłych, nauk komputerowych i informatycznych.

e-mail: minkina@el.pcz.czyst.pl



Streszczenie

W artykule przedstawiono koncepcję metody pomiarowej pozwalającej określić możliwości termoizolacyjne powłok malarskich. Badania wykonano w ramach pracy zleconej, której celem było określenie własności termoizolacyjnych farb Thermo-Shield. Prezentowana metoda opiera się na wykorzystaniu odpowiednio zaprojektowanych płytowych α -kalorymetrów. Przedstawiono wybrane wyniki badań eksperymentalnych. Przeprowadzone badania, nie potwierdziły dodatkowych właściwości termoizolacyjnych powłok Thermo-Shield.

Słowa kluczowe: przewodność cieplna, współczynnik przenikania ciepła, powłoki termoizolacyjne.

The method for determining thermal insulation of paint coatings

Abstract

The paper presents the concept of the measurement method allowing determining the thermal insulation paint coatings applied to surfaces of various building partitions. The described research aimed at determining the thermal insulation properties of Thermo-Shield paints and their influence on the properties of insulating building construction. The presented method is based on the use of properly designed plate α -calorimeters – Section 2. For the purpose of testing a special test stand was built – Section 3. It consist of four α -calorimeters and a special measurement system controller. The idea of the method is to supply thermal energy to the thin metal plate (α -calorimeter), coated with a layer of heat insulating coating – Fig. 1. The amount of energy consumed to keep the preset temperature for the test α -calorimeters enables comparison of the thermal insulation coatings used to determine the heat transfer coefficient U for a paint coating. To carry out the necessary measurements of the temperature profil on the α -calorimeter surface, there was used a thermal imaging camera ThermoCam PM 590. The selected results of the experimental studies are given in Section 4. The study did not confirmed additional thermal insulation properties of Thermo-Shield coatings compared to conventional emulsion paints currently used.

Keywords: thermal conductivity, heat transfer coefficient, thermal insulation coating.

1. Wstęp

Ilość znanych metod pomiarowych do wyznaczania parametrów ciepłych materiałów jest bardzo duża [1÷8] zwłaszcza, że występują liczne ich modyfikacje, niektóre dość istotne, które traktuje się zwyczajowo jako odrębne metody.

Wspomniane powyżej metody wyznaczania parametrów ciepłych dla ciał stałych są powszechnie uznane i wykorzystywane w różnorodnych badaniach. Jednak postęp techniczny, związany z udoskonalaniem właściwości materiałów niejednokrotnie wymusza opracowywanie nowych metod, bądź koncepcji stanowisk pomiarowych.

Przykładem może być wykonywana przez Zakład Techniki Mikroprocesorowych Automatyki i Pomiarów Ciepłych praca, której celem było określenie własności termoizolacyjnych farb Thermo-Shield oraz ich wpływu na własności termoizolacyjne przegrody budowlanej. Ogólnodostępne prospekty tej farby reklamują ją jako materiał termoizolacyjny, którego właściwości cieplne są podobne do styropianu. Według producenta, wynika to z faktu, że strukturę farby stanowią mikroskopijne kulki z próżnią.

Do chwili obecnej wytwórcy różnorodnych farb stosowanych w budownictwie nie próbowali przypisywać im dodatkowej funkcji termoizolacyjności. Z tego powodu nie ma uznanych metod pozwalających określić współczynnik przenikania ciepła U $W/(m^2 \cdot K)$ dla takich powłok oraz uwzględnienia ich wpływu na parametry termoizolacyjne przegrody budowlanej [2]. Poniżej przedstawiono koncepcję metody pomiarowej, opracowanej w ramach wspomnianej pracy.

2. Koncepcja metody

Idea metody polega na dostarczaniu energii cieplnej do cienkich metalowych płyt (α -kalorymetrów), pokrytych warstwą badanej powłoki termoizolacyjnej i utrzymywaniu stałej temperatury zadanej, jednakowej dla wszystkich badanych płyt, wyższej niż temperatura otoczenia. Ilość energii zużytej na utrzymanie temperatury zadanej dla badanych α -kalorymetrów pozwoli porównać właściwości termoizolacyjne użytych powłok i określić współczynnik przenikania ciepła U dla przegrody pokrytej przez daną powłokę malarską:

$$U = \frac{P}{F \cdot \Delta T} \quad (1)$$

gdzie: P – moc dostarczana do grzejnika, F – powierzchnia płyty (uwzględnia się dwie strony płyty), ΔT – różnica temperatur α -kalorymetru i otoczenia.

Idea metody wymagana skonstruowania specjalnych α -kalorymetrów, do których będzie można doprowadzać energię elektryczną podgrzewającą α -kalorymetry. Konieczny jest także pomiar temperatury α -kalorymetru. Omawiany kalorymetr powinien być wykonany z materiału zapewniającego możliwie równomierny rozkład temperatury. Z uwagi, że celem badań są powłoki termoizolacyjne, kalorymetr musi mieć stosunkowo dużą powierzchnię i małą objętość. Płyta α -kalorymetru została wykonana z aluminium, w związku z tym, przyjęto założenie, że opór cieplny stawiany przez 1 mm warstwę blachy aluminiowej jest niewielki. Przedstawiana metoda określenia termoizolacyjności powłok malarskich jest metodą porównawczą i różnicową, w której określano współczynnik przenikania ciepła dla przegrody niepokrytej oraz pokrytej termoizolacyjną powłoką malarską.

3. Stanowisko pomiarowe

Na stanowisko pomiarowe składają się cztery α -kalorymetry o wymiarach 300x300x5 mm wykonane z blach aluminiowych, powieszono na specjalnym stojaku.

Pracą grzejników umieszczonych w α -kalorymetrach steruje mikroprocesorowy system pomiarowy. Dokonuje on ponadto pomiaru temperatury otoczenia i temperatury każdego α -kalorymetru. Kalorymetry umieszczone są tak, aby oddziaływanie otaczającego je środowiska było możliwie identyczne.

Mikroprocesorowy system pomiarowy oparty jest o mikrokontroler 80C535 firmy SIEMENS. W programie mikrokontrolera zaimplementowano cztery regulatory PI, których zadaniem jest utrzymanie stałej zadanej temperatury kalorymetrów, niezależnie od zmieniających się warunków otoczenia. Mikrokontroler, za pośrednictwem przetwornika C/A typu PWM, steruje mocą doprowadzaną do grzejników. Dokonując dokładnego pomiaru napięcia zasilacza U_z i wartości współczynnika wypełnienia fali PWM, mikrokontroler dodatkowo rejestruje ilość energii doprowadzonej do każdej z czterech badanych próbek.

$$P = PWM \cdot \frac{U_z^2}{R_G} \quad (2)$$

gdzie: P – moc chwilowa doprowadzana do grzejnika, U_z – mierzone napięcie zasilacza, R_G – rezystancja grzejnika dla zadanej temperatury ustalonej, PWM – wartość współczynnika wypełnienia fali typu PWM.

W systemie istnieje możliwość przechowywania wartości współczynników korekcji dla czterech kompletów czujników temperatury oraz możliwość indywidualnego ustawienia wartości rezystancji każdego grzejnika kalorymetru. Wartość tej rezystancji jest wykorzystywana do obliczenia mocy chwilowej każdego z grzejników (2). Ponadto, w pamięci systemu można zapisać indywidualnie, dla każdego α -kalorymetru, jego pole powierzchni F .

System dokonuje pomiarów z częstotliwością próbkowania 1 Hz i każdorazowo oblicza wartość chwilową współczynnika przenikania ciepła U ze wzoru:

$$U = \frac{PWM \cdot U_z^2}{R_G \cdot F \cdot \Delta T} \quad (3)$$

Ze względu, że wartość mocy chwilowej P doprowadzanej do grzejników ulega pewnym chwilowym zmianom (działanie regulatora PI) obliczana jest wartość średnia współczynnika U za każde 5 min pomiaru. Wartość ta może być następnie zapisana w pamięci nieulotnej systemu. Ze względu na pewną inercję grzejników i fluktuacje warunków środowiskowych oddziaływających na α -kalorymetry, wskazane jest aby pomiary przeprowadzać dla dłuższych okresów czasu, a otrzymane wyniki uśrednić.

Przedstawiana metoda określenia współczynnika U jest metodą pośrednią, opisaną wzorem (3). We wzorze tym mierzone wielkości obarczone są następującymi niepewnościami: $\delta PWM \approx 0\%$ (16-to bitowa rozdzielczość), $\delta U_z < 0,5\%$, $\delta R < 0,5\%$, $\delta F < 1\%$, $\delta \Delta T < 1\%$. Opierając się na prawie propagacji błędów, niepewność wyznaczenia współczynnika przenikania ciepła wyniesie $\delta U < 4\%$. Przy czym, różnice wskazań przy metodzie porównawczej, są obarczone jeszcze mniejszą niepewnością.

Do badań termograficznych zastosowano kamerę termowizyjną ThermoCam PM 590 LW, produkcji amerykańskiej firmy FLIR, zaopatrzonej w obiektyw szerokokątny [9].

4. Wyniki badań

Jak wspomniano omawiając opis budowy α -kalorymetru, jest on zbudowany z cienkich blach aluminiowych. Po wykonaniu kompletu czterech α -kalorymetrów należało je wstępnie przete-

stować, dokonując pomiaru współczynnika oddawania ciepła dla każdego z nich. Porównanie wyników pozwoliło określić, czy budowa α -kalorymetrów jest identyczna, czy nie występują wady w ich budowie wewnętrznej. W tym celu α -kalorymetry o wypolerowanej powierzchni metalicznej (aluminium) nagrzano do temperatury zadanej $T_z=40^\circ\text{C}$.

W tabeli 1 przedstawiono wyniki wartości średniej z 24 godzinnej serii 5 minutowych pomiarów. Ze względu na mały współczynnik emisyjności aluminium nie dokonywano pomiarów termowizyjnych.

Tab. 1. Wyniki pomiarów współczynnika oddawania ciepła dla α -kalorymetrów
Tab. 1. The measurement results of the heat transfer coefficient for α -calorimeters

$T_{otoczenia}$	U_{x1}	U_{x2}	U_{x3}	U_{x4}
$^\circ\text{C}$	$\frac{W}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$	$\frac{W}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$	$\frac{W}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$	$\frac{W}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$
Kalorymetry z powierzchnią metaliczną				
23,3	5,1	5,3	4,9	4,8
Kalorymetry oklejone matowym papierem				
21,7	10,2	10,5	10,5	10,6
Kalorymetry pomalowane farbą – pierwsza seria pomiarów				
Farba:	Dekoral	INTERIEUR	EXTERIEUR	TOPSHIELD
16,1	9,7	10,0	9,6	10,2
Kalorymetry pomalowane farbą – druga seria pomiarów				
22,5	10,6	11,2	10,6	11,4
Kalorymetry pomalowane farbą – trzecia seria pomiarów				
23,0	9,9	10,2	10,0	10,9
Kalorymetry dwukrotnie pomalowane farbą – pierwsza seria				
23,8	10,4	10,7	10,3	11,3
Kalorymetry dwukrotnie pomalowane farbą – druga seria				
22,8	9,9	10,9	10,0	10,9

Kolejnym etapem w przygotowaniu α -kalorymetrów do pomiarów było naklejenie warstwy białego matowego papieru samoprzylepnego. Warstwa papieru ma zapewnić odpowiednie podłoże pod nakładaną farbę oraz umożliwić łatwe usunięcie farby bez uszkodzenia powierzchni α -kalorymetrów. W celu sprawdzenia poprawności wykonania oklejania, wykonano badania polegające na pomiarze współczynnika przenikania ciepła U czterech oklejonych α -kalorymetrów. Wyniki zamieszczono w tabeli 1. W tym celu α -kalorymetry o naklejony z naklejonym białym matowym papierem samoprzylepnym nagrzano do temperatury zadanej $T_z=35^\circ\text{C}$. Matowy papier na powierzchni α -kalorymetrów umożliwił dokonanie pomiarów kamerą termowizyjną rozkładu pola temperatury na ich powierzchni. Pomiary te umożliwiły ocenę jednorodności w rozkładzie pola temperatury na powierzchni α -kalorymetrów oraz ewentualne wykrycie wad ich wykonania (np.: rozwarstwienie płyty grzejnej, bąble powietrza) – rys. 1.

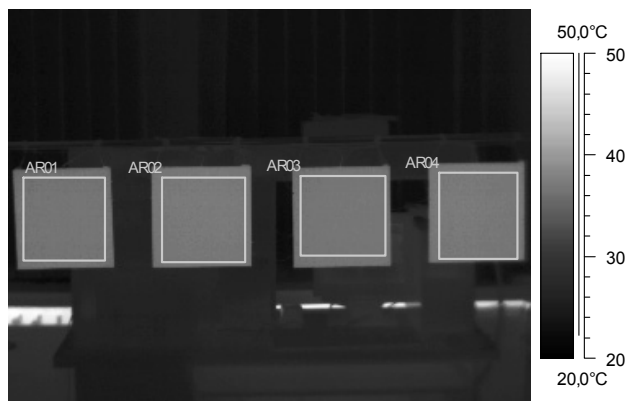
Po sprawdzeniu poprawności wykonania α -kalorymetrów, pokryto je jednokrotną warstwą następujących powłok: 1 - farba emulsyjna Dekoral, 2 - Thermo-Shield INTERIEUR, 3 - Thermo-Shield EXTERIEUR, 4 - Thermo-Shield TOPSHIELD. Po wyschnięciu wykonano serię pomiarów współczynnika U . Pierwsza seria pomiarów – tabela 1, została wykonana w laboratorium w temperaturze otoczenia 16°C , dla temperatury zadanej α -kalorymetrów $T_z=30^\circ\text{C}$.

Drugą serię pomiarów, wykonano w laboratorium w temperaturze otoczenia 22°C , dla temperatury zadanej α -kalorymetrów $T_z=35^{\circ}\text{C}$.

Trzecią serię pomiarów wykonano w laboratorium w temperaturze otoczenia 23°C , dla temperatury zadanej α -kalorymetrów $T_z=35^{\circ}\text{C}$, w późniejszym terminie niż seria druga.

Dodatkowo, kamerą termowizyjną dokonano pomiarów rozkładu pola temperatury na powierzchni α -kalorymetrów. Pomiaru te umożliwiły ocenę jednorodności w rozkładzie pola temperatury na powierzchni badanych powłok oraz ewentualne wykrycie wad pokrycia – rys. 1.

Następnym krokiem w prowadzonych badaniach było pokrycie α -kalorymetrów drugą warstwą badanych powłok. Pierwszą serię pomiarów, wykonano w laboratorium w temperaturze otoczenia 24°C , dla temperatury zadanej α -kalorymetrów $T_z=35^{\circ}\text{C}$. Płyty z naklejonym papierem dwukrotnie pokryto odpowiednimi powłokami.



Rys. 1. Termogram czterech α -kalorymetrów na stanowisku pomiarowym
Fig. 1. Thermogram of the four α -calorimeters on the test stand

Drugą serię pomiarów – tab. 1, wykonano w laboratorium w temperaturze otoczenia 22°C , dla temperatury zadanej α -kalorymetrów $T_z=35^{\circ}\text{C}$. Płyty z naklejonym papierem dwukrotnie pokryto powłokami: 1- farba emulsyjna Dekoral, 2 - ThermoShield INTERIEUR, 3 - Thermo-Shield EXTERIEUR, 4 - ThermoShield TOPSHIELD

Dodatkowo kamerą termowizyjną dokonano pomiarów rozkładu pola temperatury na powierzchni α -kalorymetrów. Pomiaru te umożliwiły ocenę jednorodności w rozkładzie pola temperatury na powierzchni badanych powłok oraz ewentualne wykrycie wad pokrycia.

5. Wnioski

Wyniki pomiarów rozkładu temperatury na powierzchni α -kalorymetrów bez żadnego dodatkowego pokrycia wykazały poprawność ich wykonania. Z uwagi na ich metaliczną powierzchnię, posiadały mały współczynnik emisyjności (rzędu 0,2), który zapewnił małą wartość współczynnika przenikania ciepła – rzędu $5 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$. Nieznaczne różnice w wartościach współczynników mogą wynikać z: niejednakowego wypolerowania powierzchni, różnic w wykonaniu oraz różnic oddziaływania środowiska na α -kalorymetry. Zauważono, że znaczący wpływ na wartość współczynnika U ma ruch powietrza w pomieszczeniu (wywołany przeciągami lub przechodzeniem osób), ustawienia przedmiotów itp.

Oklejenie α -kalorymetrów papierem spowodowało zwiększenie współczynnika emisyjności ich powierzchni – do około 0,9. To z kolei spowodowało wzrost wartości współczynnika przenikania ciepła do wartości rzędu $10 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$. Warstwa papieru nie wniosła widocznej poprawy termoizolacyjności w porównaniu z wpły-

wem rodzaju powierzchni. Znaczącą rolę odegrało tu zwiększenie wartości radiacyjnego współczynnika przejmowania ciepła na powierzchni.

Badania termowizyjne potwierdziły dobre wykonanie oklejenia papierem powierzchni α -kalorymetrów. Temperatura wskazana przez kamerę termowizyjną może różnić się nieco w stosunku do temperatury rzeczywistej α -kalorymetrów, gdyż nie jest w obliczeniach termowizyjnych dokładnie znana wartość współczynnika emisyjności badanej powierzchni.

Jednokrotne wymalowanie powierzchni badanymi powłokami nie wpłynęło na poprawę współczynnika przenikania ciepła U . Na podstawie wykonanych serii badań nie można także stwierdzić, aby warstwa badanych farb miała znaczące właściwości termoizolacyjne - dwukrotne wymalowanie powierzchni badaných nie poprawiło w sposób widoczny współczynnika przenikania ciepła.

Wyniki przeprowadzonych badań, podobnie jak w pracy [3], nie wykazały dodatkowych właściwości termoizolacyjnych powłok Thermo-Shield w porównaniu ze zwykłymi farbami emulsyjnymi stosowanymi obecnie. Prezentowana metoda może być przydatna do badań związanych z opracowaniem nowych powłok malarskich o małym współczynniku emisyjności, gdyż on ma znaczący wpływ na ich termoizolacyjność. Po odpowiedniej modyfikacji kalorymetru, metodą tą można także określać wpływ wymalowania na termoizolacyjność materiału przegrody budowlanej, także z uwzględnieniem jego odporności na warunki atmosferyczne. Szerszy opis badań i możliwości aplikacyjnych prezentowanej metody można znaleźć w monografii [10].

6. Literatura

- [1] Praca zbiorowa: Pomiary cieplne. WNT, Warszawa 1995.
- [2] Gawin D., Jabłoński M., Wojtatowicz T., Roźniakowski K.: Wyniki badań własności termicznych wybranych materiałów budowlanych. Materiały 7 Konferencji Naukowo-Technicznej: Fizyka budowli w teorii i praktyce. Łódź, 1999, 125-135.
- [3] Grzeszczyk W., Jaworski J.: Termograficzne badania własności emisyjnych specjalnych powłok malarskich. materiały IV Konferencji Krajowej Termografia i Termometria w Podczerwieni (TTP'2000), Łódź 2000, 265-269.
- [4] Zmywarczyk J., Koniorczyk P.: Estimation of the temperature-dependent thermal conductivity and specific heat for selected plastics. 7th International Symposium on Temperature and Thermal Measurements in Industry and Science, TEMPMEKO'99 – Delft 1999, 499-504.
- [5] Minkina W., Chudzik S.: Pomiary parametrów cieplnych materiałów termoizolacyjnych – przyrządy i metody. Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 2004.
- [6] Chudzik S.: Measurement of thermal parameters of a heat insulating material using infrared thermography. Infrared Physics and Technology, 55, 2012, 73-83.
- [7] Chudzik S., Minkina W.: An idea of a measurement system for determining thermal parameters of a heat insulation materials. Metrology and Measurement Systems, 18, 2011, 261-273.
- [8] Marinetti S., Bison P.G., Grinzato E., Musico A.: Thermal diffusivity measurement of stainless steel by periodic heating technique. AITA Adv. Infrared Technol. Appl. Venezia 1999, 316-321.
- [9] Minkina W., Dudzik S.: Infrared Thermography – Errors and Uncertainties. John Wiley & Sons Ltd., Chichester, 2009.
- [10] Praca zbiorowa: Wybrane problemy współczesnej termografii i termometrii w podczerwieni – monografia red. Minkina W., Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 2012.

otrzymano / received: 17.06.2013

przyjęto do druku / accepted: 01.08.2013

artykuł recenzowany / revised paper