

(19)



URZĄD  
PATENTOWY  
RZECZYPOSPOLITEJ  
POLSKIEJ

(10) **PL 242871 B1**

(12)

## Opis patentowy

(21) Numer zgłoszenia: **422258**

(22) Data zgłoszenia: **2017.07.18**

(43) Data publikacji o zgłoszeniu: **2019.01.28 BUP 03/2019**

(45) Data publikacji o udzieleniu patentu: **2023.05.08 WUP 19/2023**

(51) MKP:

**G01N 25/20** (2006.01)

(73) Uprawniony z patentu:  
**POLITECHNIKA ŚLĄSKA, Gliwice, PL**

(72) Twórca(-y) wynalazku:  
**SEBASTIAN PAWLAK, Katowice, PL**  
**WOJCIECH ADAMCZYK, Mikołów, PL**

(74) Pełnomocnik:  
**Katarzyna Borkowy, Gliwice, PL**

(54) Tytuł:

**Sposób i stanowisko do pomiaru dyfuzyjności cieplnej materiałów polimerowych**

**PL 242871 B1**

## Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest sposób i stanowisko do pomiaru dyfuzyjności cieplnej materiałów polimerowych metodą termografii aktywnej.

Z polskiego opisu patentowego PL219752 znany jest sposób wyznaczania dyfuzyjności cieplnej materiałów zwłaszcza termoizolacyjnych, charakteryzujących się małą wartością współczynnika przewodzenia ciepła, gdzie badaną próbkę w postaci prostopadłościanu lub walca, umieszcza się na grzejniku, a następnie jej podstawę ogrzewa się i chłodzi w celu uzyskania wymuszenia temperaturowego o charakterze harmonicznym, jednocześnie dokonuje się bezstykowego pomiaru zmian temperatury w czasie w co najmniej dwóch punktach pomiarowych umieszczonych na wybranej powierzchni bocznej, po czym zarejestrowane wartości czasu przemieszczenia się fali cieplnej oraz różnicy amplitudy fali cieplnej pomiędzy punktami pomiarowymi przesyła się do układu obliczeniowego, który oblicza dyfuzyjność cieplną materiału.

Z amerykańskiego opisu US6517238 (B2) znane jest rozwiązanie przedstawiające ogólną zasadę pomiaru dyfuzyjności cieplnej metodą termografii aktywnej na podstawie znanej klasycznej metody impulsu cieplnego pomiaru dyfuzyjności cieplnej, opisanej po raz pierwszy przez Parkera i współpracowników w 1961 roku (W.J. Parker, R.J. Jenkins, C.P. Butler, G.L. Abbott: "Flash Method of Determining Thermal Diffusivity, Heat Capacity and Thermal Conductivity", Journal of Applied Physics, 32, 9, 1961), przy czym różnica tych podejść sprowadza się do zastosowania w patencie US6517238 (B2) kamery termowizyjnej do pomiaru temperatury na powierzchni próbki. W dokumencie US6517238 (B2) na Fig. 1 przedstawiono układ pomiarowy składający się z kamery termowizyjnej (50), próbki (20), źródła ciepła (40), które stanowi lampa błyskowa, a zaznaczona strzałka od źródła ciepła, zwrócona w stronę próbki, wskazuje kierunek przepływu ciepła (42). Ponadto w US6517238 (B2) nie wymienia się innych źródeł ciepła poza lampą błyskową. Ze względu na metodę nagrzewania próbki sposób ten można zastosować do badania materiałów metalowych i kompozytów ceramicznych, co zamieszczono w opisie („5. The method according to claim 2, wherein said material sample is selected from a group consisting of metal alloys and continuous fiber ceramic composites.”).

Pomiar dyfuzyjności cieplnej izolacyjnych materiałów polimerowych na podstawie patentu US6517238 (B2) nie jest możliwy. W wyznaczaniu dyfuzyjności cieplnej w US6517238 (B2) bezpośredni wpływ na uzyskany wynik stanowi skoordynowanie chwili rozpoczęcia nagrzewania czołowej powierzchni próbki z chwilą rozpoczęcia rejestracji temperatury na powierzchni próbki przeciwległej do nagrzewanej, dzięki zastosowaniu np. lampy błyskowej lub innego źródła ciepła opartego o technikę nagrzewania falą elektromagnetyczną z zakresu podczerwieni.

Ponadto znany i powszechnie stosowany jest sposób pomiaru dyfuzyjności cieplnej materiałów inżynierskich metodą impulsu laserowego, który rekomendowany jest m.in. w amerykańskiej normie E1461-01 ASTM. W oparciu o zasadę tej metody stosuje się typowo aparaturę pomiarową, znaną pod nazwą skrótową LFA (ang. Laser Flash Apparatus), wykorzystującą do nagrzewania próbki wiązkę lasera (np. aparatura typu Netzsch LFA 457 MicroFlash, Niemcy).

Niedogodnością opisaną powyżej metody – głównie w przypadku badań materiałów polimerowych, które są transparentne dla promienia laserowego – jest konieczność odpowiedniego przygotowania powierzchni próbki nagrzewanej laserem poprzez napylenie cienkiej warstwy złota, na którą nakłada się kolejno absorbującą warstwę grafitową, co zostało opisane m.in. w literaturze źródłowej (W.N. dos Santos, P. Mummery, A. Wallwork: Thermal diffusivity of polymers by the laser flash technique, Polymer Testing 24, 2005, 628–634). Stosowanie tego typu dodatkowych warstw, których jakość zależy od czynnika ludzkiego, wpływa na uzyskiwaną wartość wielkości mierzonej, co jednocześnie może uniemożliwić prowadzenie analiz porównawczych. Podczas wymuszenia cieplnego laserowego, ze względu na wysoką temperaturę uzyskiwaną na nagrzewanej powierzchni próbki, często występuje niekorzystne zjawisko nadtopienia warstwy wierzchniej termoplastycznego materiału polimerowego. Konieczność nanoszenia absorbującej warstwy grafitowej występuje również w przypadku badań materiałów metalowych, których powierzchnia (gdy nie jest matowa) silnie odbija wiązkę światła laserowego, pogarszając znacząco efektywność nagrzewania.

Celem wynalazku jest opracowanie sposobu i stanowiska umożliwiających wyznaczenie jak najbardziej dokładniejszej wartości dyfuzyjności cieplnej materiałów polimerowych w możliwie krótkim czasie, jednocześnie bez dodatkowego przygotowania nagrzewanej powierzchni badanej próbki.

Zaletą rozwiązania według wynalazku jest: niski koszt budowy aparatury pomiarowej w porównaniu do aparatury wykorzystującej laser do wymuszenia cieplnego, brak jakiegokolwiek przygotowywania

nagrzewanej powierzchni próbki poprzez nanoszenie dodatkowych warstw (takich jak złoto, grafit jak w przypadku metody wykorzystującej do nagrzewania laser), możliwość badania dyfuzyjności cieplnej innych materiałów inżynierskich niż materiały polimerowe. Podczas realizacji sposobu według wynalazku uzyskuje się dużą efektywność nagrzewania próbki badanej przy jednoczesnej eliminacji możliwości nadtopienia warstwy wierzchniej tworzywa termoplastycznego.

Sposób pomiaru dyfuzyjności cieplnej materiałów polimerowych metodą termografii aktywnej, w którym nagrzewa się jedną powierzchnię próbki w postaci bryły prostopadłościowej lub walcowej i jednocześnie rejestruje się bezstykowo zmiany temperatury w czasie na powierzchni przeciwległej do powierzchni nagrzewanej i na podstawie uzyskanego wykresu zmian temperatury w czasie i znanej grubości próbki wyznacza się dyfuzyjność cieplną materiału polega na tym, że jedną z powierzchni badanej próbki nagrzewa się strumieniem gorącej pary wodnej pod ciśnieniem, który ukierunkowany jest za pomocą dyszy wylotowej na nagrzewaną powierzchnię próbki dla uzyskania wymuszenia temperaturowego o charakterze impulsowym i jednocześnie dokonuje się bezstykowej rejestracji zmian temperatury w czasie na powierzchni próbki przeciwległej do jej powierzchni nagrzewanej i na podstawie uzyskanego wykresu zmian temperatury w czasie wyznacza się dyfuzyjność cieplną materiału stosując znaną zależność, przy czym rozpoczęcie rejestracji zmian temperatury w czasie na powierzchni badanej próbki przeciwległej do jej powierzchni nagrzewanej skoordynowane jest z chwilą otwarcia przyston ruchomych, które zasłaniają powierzchnię nagrzewaną próbki do momentu ustabilizowania się strumienia gorącej pary wodnej wylatującej z dyszy wylotowej.

Stanowisko do pomiaru dyfuzyjności cieplnej materiałów polimerowych metodą termografii aktywnej, składające się z układu mocowania próbki, układu nagrzewania i kamery termowizyjnej **charakteryzuje się tym**, że zbudowane jest z urządzenia wytwarzającego gorącą parę wodną pod ciśnieniem w zakresie od 2 do 20 bar, korzystnie w zakresie od 5 do 15 bar, połączonego z zaworem regulowanym za pomocą modułu wykonawczego, korzystnie silnika elektrycznego, oraz z dyszą wylotową gorącej pary wodnej, przy czym pomiędzy dyszą wylotową, a uchwytem badanej próbki usytuowane są symetrycznie dwie przystony ruchome, które przemieszczane są za pomocą modułu wykonawczego korzystnie napędu liniowego.

Przedmiot wynalazku w przykładzie wykonania ilustruje rysunek przedstawiający schemat ideowy stanowiska pomiarowego do realizacji sposobu będącego przedmiotem wynalazku.

Badaną próbkę (9) z tworzywa termoplastycznego w kształcie walca o średnicy 12,7 mm i grubości 3,0 mm mocuje się w uchwycie (8) przysłaniającym krawędzie badanej próbki (9). Odległość końca dyszy wylotowej (3) od nagrzewanej powierzchni badanej próbki (9) wynosi 15 mm. Po uzyskaniu pożądanego ciśnienia w urządzeniu (1) wytwarzającym gorącą parę wodną (V) rozpoczyna się procedura pomiarowa. Sterownik (7) przesyła sygnał do modułu wykonawczego (5) celem otwarcia zaworu (2) i następuje wylot gorącej pary wodnej (V) pod ciśnieniem przez dyszę wylotową (3) po czym, po ustabilizowaniu się jej strumienia, sterownik (7) przesyła sygnał do modułu wykonawczego (6) celem otwarcia przyston ruchomych (4) czasowo zasłaniających nagrzewaną powierzchnię badanej próbki (9), następuje ich równoczesne przeciwsobne przemieszczenie pokazane symbolicznie na rysunku jako dwa wektory,  $-F$  i  $F$ , o przeciwnych zwrotach, zaczepione w punktach początkowych odpowiadających pozycji zamkniętej przyston. Przemieszczenie przyston ruchomych (4) daje w danej chwili sygnał zwrotny do sterownika (7), który przesyła sygnał do komputera PC (10) i następuje jednoczesne (wraz z odsłonięciem powierzchni nagrzewanej przez obie przystony) rozpoczęcie rejestracji obrazów termograficznych kamerą termowizyjną (11), która połączona jest z komputerem PC (10) stanowiącym układ do gromadzenia danych pomiarowych i obliczeń. Koordynacja chwili rozpoczęcia nagrzewania powierzchni badanej próbki (9) z chwilą rozpoczęcia rejestracji obrazów termograficznych, umożliwi uzyskanie wykresów zmian temperatury w czasie, których początek w punkcie zero na osi czasu odpowiada chwili rozpoczęcia nagrzewania. Na podstawie zarejestrowanych sekwencji obrazów termograficznych tworzy się wykres zmian temperatury w czasie w wybranym punkcie na powierzchni badanej próbki i na podstawie tego wykresu oraz zmierzonej grubości próbki wyznacza się dyfuzyjność cieplną stosując znaną zależność.

Stanowisko do pomiaru dyfuzyjności cieplnej według wynalazku zbudowane jest z urządzenia (1) wytwarzającego gorącą parę wodną (V) pod ciśnieniem w zakresie od 2 do 20 bar, korzystnie w zakresie od 5 do 15 bar, połączonego z zaworem (2) regulowanym za pomocą modułu wykonawczego (5), korzystnie silnika elektrycznego, oraz z dyszą wylotową (3) gorącej pary wodnej (V). Pomiedzy dyszą wylotową (3), a uchwytem (8) badanej próbki (9) usytuowane są symetrycznie dwie przystony ruchome (4), które przemieszczane są równocześnie i przeciwsobnie poprzez przyłożenie dwóch sił,  $-F$  i  $F$ ,

o przeciwnych zwrotach, co realizowane jest za pomocą modułu wykonawczego (6) korzystnie napędu liniowego. Moduły wykonawcze (5) i (6) połączone są ze sterownikiem (7) programowalnym typu PLC. Stanowisko wyposażone jest w kamerę termowizyjną (11), połączoną z komputerem PC (10), która usytuowana jest tak, aby rejestrować sekwencje obrazów termograficznych na powierzchni próbki (9) przeciwległej do jej powierzchni nagrzewanej.

### Zastrzeżenia patentowe

1. Sposób pomiaru dyfuzyjności cieplnej materiałów polimerowych metodą termografii aktywnej, w którym nagrzewa się jedną powierzchnię próbki w postaci bryły prostopadłościowej lub walcowej i jednocześnie rejestruje się bezstykowo zmiany temperatury w czasie na powierzchni przeciwległej do powierzchni nagrzewanej i na podstawie uzyskanego wykresu zmian temperatury w czasie i znanej grubości próbki wyznacza się dyfuzyjność cieplną materiału **znamienny tym**, że jedną z powierzchni badanej próbki (9) nagrzewa się strumieniem gorącej pary wodnej (V) pod ciśnieniem, który ukierunkowany jest za pomocą dyszy wylotowej (3) na nagrzewaną powierzchnię próbki (9) dla uzyskania wymuszenia temperaturowego o charakterze impulsowym i jednocześnie dokonuje się bezstykowej rejestracji zmian temperatury w czasie na powierzchni próbki (9) przeciwległej do jej powierzchni nagrzewanej i na podstawie uzyskanego wykresu zmian temperatury w czasie wyznacza się dyfuzyjność cieplną materiału stosując znaną zależność, przy czym rozpoczęcie rejestracji zmian temperatury w czasie na powierzchni badanej próbki (9) przeciwległej do jej powierzchni nagrzewanej skoordynowane jest z chwilą otwarcia przysłon ruchomych (4), które zasłaniają powierzchnię nagrzewaną próbki (9) do momentu ustabilizowania się strumienia gorącej pary wodnej (V) wylatującej z dyszy wylotowej (3).
2. Stanowisko do pomiaru dyfuzyjności cieplnej materiałów polimerowych metodą termografii aktywnej, składające się z układu mocowania próbki, układu nagrzewania i kamery termowizyjnej **znamiennie tym**, że zbudowane jest z urządzenia (1) wytwarzającego gorącą parę wodną (V) pod ciśnieniem w zakresie od 2 do 20 bar, korzystnie w zakresie od 5 do 15 bar, połączonego z zaworem (2) regulowanym za pomocą modułu wykonawczego (5), korzystnie silnika elektrycznego, oraz z dyszą wylotową (3) gorącej pary wodnej (V), przy czym pomiędzy dyszą wylotową (3), a uchwytem (8) badanej próbki (9) usytuowane są symetrycznie dwie przysłony ruchome (4), które przemieszczane są za pomocą modułu wykonawczego (6) korzystnie napędu liniowego.

