

Koncepcja termicznej metody wspomaganie identyfikacji ciał stałych i ich parametrów cieplnych

PAWEŁ LIGEŻA

Instytut Mechaniki Górotworu PAN; ul. Reymonta 27, 30-059 Kraków

Streszczenie

Przedstawiona koncepcja nowej metody badawczej dotyczy opracowania struktur systemów i algorytmów pomiarowych termicznej metody wspomaganie identyfikacji ciał stałych oraz ich parametrów cieplnych. Generalnie proces identyfikacji substancji polega na pomiarze i interpretacji wybranych, mierzalnych parametrów fizycznych, przy czym może to być proces pasywny, lub aktywny – związany z zastosowaniem sztucznie wprowadzonych oddziaływań zewnętrznych. Znaczna grupa z dotychczas stosowanych metod wymaga pobrania próbki substancji do wyznaczenia jej parametrów i identyfikacji. Ponadto w celu prawidłowej identyfikacji substancji korzystne jest zastosowanie kilku uzupełniających się metod. Autor proponuje nową koncepcję metody wspomaganie identyfikacji ciał stałych oraz ich parametrów cieplnych. Idea proponowanej metody pomiarowej polega na tym, że głowica pomiarowa zawierająca nagrzewany prądem elektrycznym rezystancyjny przetwornik temperatury utrzymywana jest w stabilnym kontakcie termicznym z badaną substancją, a poziom temperatury rezystancyjnego przetwornika temperatury zadawany jest poprzez sterowany układ stałotemperaturowy. Na podstawie pomiaru strumienia ciepła odbieranego z głowicy w różnych stanach nagrzania wyznaczane są parametry charakterystyczne układu głowica – substancja. Parametry te porównywane są z parametrami uzyskanymi dla różnych substancji w procesie wzorcowania układu, co pozwala na określenie korelacji parametrów wzorcowych i mierzonych, a tym samym na zaklasyfikowanie badanej substancji do danej klasy materiałów.

Słowa kluczowe: metrologia, identyfikacja, parametry cieplne, ciało stałe, algorytmy pomiarowe, termodynamika

1. Wprowadzenie

Przedstawiona w artykule idea dotyczy opracowania struktur systemów i algorytmów pomiarowych nowatorskiej termicznej metody wspomaganie identyfikacji ciał stałych oraz ich parametrów cieplnych. Problem identyfikacji substancji oraz pomiaru ich parametrów fizycznych jest jednym z podstawowych zagadnień metrologicznych, obejmujących wiele dziedzin nauk podstawowych i technicznych. Stosowane metody badawcze wykorzystują różnorodne zjawiska fizyczne, których przebieg pozwala na identyfikację parametrów charakterystycznych dla badanej substancji. Generalnie proces badawczy polega na pomiarze i interpretacji wybranych, mierzalnych parametrów fizycznych, przy czym może to być proces pasywny, lub aktywny – związany z zastosowaniem sztucznie wprowadzonych oddziaływań zewnętrznych.

Jedną z podstawowych metod analitycznych identyfikacji substancji jest spektrometria, polegająca na generowaniu i analizie widma, przy czym wykorzystuje się tu promieniowanie elektromagnetyczne, fale mechaniczne oraz oddziaływania na poziomie cząsteczek i cząstek elementarnych [1]. Dużą klasę metod analitycznych identyfikacji substancji stanowią metody chemiczne wykorzystujące charakterystyczne reakcje [2]. Stosowanych jest również szereg metod identyfikacji substancji poprzez pomiar ich właściwości fizycznych takich jak właściwości mechaniczne, właściwości elektryczne, właściwości magnetyczne, właściwości optyczne i inne parametry fizyczne [3]. Do tej grupy metod można zaliczyć metody termiczne pozwalające na identyfikację substancji poprzez pomiar jej właściwości cieplnych takich jak przewodnictwo cieplne lub ciepło właściwe [4].

Znaczna grupa z przedstawionych metod wymaga pobrania próbki substancji do wyznaczenia jej parametrów i identyfikacji. Niektóre z metod wymagają zastosowania złożonej aparatury pomiarowej, co

uniemożliwia ich stosowanie w warunkach pozalaboratoryjnych. Ponadto w celu prawidłowej identyfikacji substancji korzystne jest zastosowanie kilku uzupełniających się metod. Opracowanie i doskonalenie nowych metod jest więc istotnym zagadnieniem badań podstawowych.

2. Geneza i idea proponowanej metody

Autor proponuje nową koncepcję metody wspomagania identyfikacji ciał stałych oraz ich parametrów cieplnych. Koncepcja ta oparta jest o ideę implementacji metod i rozwiązań metrologicznych znanych z termooanemometrii, w zastosowaniach do wspomagania identyfikacji termicznej ciał stałych. Termooanemometria jest metodą pomiarową szeroko stosowaną w metrologii przepływów [5]. Polega ona na wprowadzeniu do przepływu nagrzewanej sondy pomiarowej i wyznaczeniu parametrów przepływu na podstawie analizy strumienia ciepła odbieranego przez przepływ. Wielkości mierzone w tej metodzie to przede wszystkim prędkość przepływu oraz jej wielkości pochodne związane z analizą czasową i przestrzenną, ale także temperatura, skład medium czy ciśnienia. Podobna metodyka i aparatura pomiarowa stosowana jest również w innych dziedzinach metrologii, na przykład w bolometrii, pomiarze stężeń gazów czy pomiarach w złożu fluidalnym [6]. Idea proponowanej metody pomiarowej polega na tym, że głowica pomiarowa zawierająca nagrzewany prądem elektrycznym rezystancyjny przetwornik temperatury utrzymywana jest w stabilnym kontakcie termicznym z badaną substancją, a poziom temperatury rezystancyjnego przetwornika temperatury zadawany jest poprzez sterowany układ stałotemperaturowy [7]. Na podstawie pomiaru strumienia ciepła odbieranego z głowicy w różnych stanach nagrzania wyznaczone są parametry charakterystyczne układu głowica – substancja. Parametry te porównywane są z parametrami uzyskanymi dla różnych substancji w procesie wzorcowania układu, co pozwala na określenie korelacji parametrów wzorcowych i mierzonych, a tym samym na zaklasyfikowanie badanej substancji do danej klasy materiałów. W rozbudowanych rozwiązaniach możliwe jest zastosowanie w głowicy większej ilości rezystancyjnych przetworników temperatury, zarówno pasywnych jak i aktywnych, stosowanie matrycy głowic, zastosowanie złożonych algorytmów wymuszeń termicznych i interpretacji sygnałów mierzonych czy badanie propagacji fal termicznych w badanej substancji.

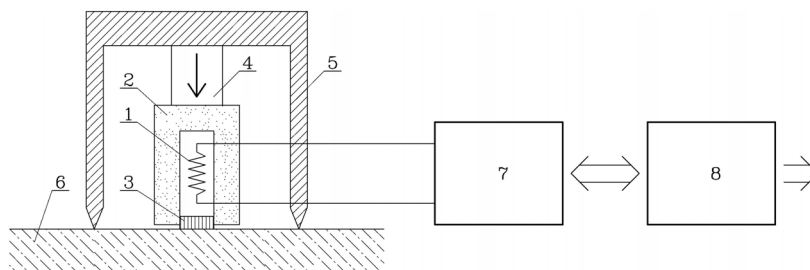
Przedstawiona koncepcja oparta o ideę implementacji metod i rozwiązań metrologicznych znanych z termooanemometrii w zastosowaniach do wspomagania identyfikacji termicznej ciał stałych jest koncepcją nowatorską. Metoda termooanemometryczna posiada bogatą, nieustannie powiększającą się literaturę. W zakresie podstawowych i specjalizowanych technik badawczych powstało szereg monografii [5,9]. Publikowane są wyniki nowych badań, dotyczących doskonalenia metod pomiarowych, zastosowania nowych mikro- i nanotechnologii [10] oraz algorytmów pomiarowych opartych na metodach sztucznej inteligencji [11]. W zaproponowanej metodzie mogą zostać wykorzystane oryginalne rozwiązania opracowane w IMG PAN takie jak:

- sterowany bezmostkowy układ stałotemperaturowy [7],
- metody kompensacji i korekcji temperaturowej [12],
- termooanemometr dwustanowy [13],
- termooanemometr z przełączanym poziomem nagrzania [14],
- zastosowanie algorytmów sztucznej inteligencji [11]
- metody fal temperaturowych [15].

Literatura dotycząca metod wyznaczania parametrów cieplnych substancji umożliwiających ich identyfikację jest również bogata. Poza standardowymi metodami wyznaczania przewodnictwa cieplnego, ciepła właściwego czy pomiaru strumienia ciepła [4] można tu wymienić specjalizowane złożone systemy pomiarowe, takie jak skaningowy kalorymetr różnicowy (DSC) [16] czy termiczny mikroskop skaningowy (TSM) [17]. W szczególności to ostatnie rozwiązanie jest przykładem zastosowania metod i systemów pomiarowych znanych z termooanemometrii w nowatorskiej technice pomiarowej. Świadczy to o światowej tendencji do stałego rozwijania metod badawczych, co jest możliwe w szczególności dzięki postępowi w zakresie mikro- i nanotechnologii [18] oraz rozwojowi technik informatycznych.

3. Struktura systemu pomiarowego oraz algorytm identyfikacji ciał stałych

Proponowana idea termicznej metody wspomaganie identyfikacji ciał stałych oraz ich parametrów cieplnych oraz hipoteza badawcza zostanie przedstawiona na podstawie opisu podstawowego rozwiązania przedstawionego na rysunku 1. Rozwiązanie to stanowi przedmiot zgłoszenia patentowego autorów projektu [8].



Rys. 1. System wspomaganie identyfikacji ciał stałych oraz ich parametrów cieplnych

System wspomaganie identyfikacji ciał stałych zbudowane jest z głowicy pomiarowej zawierającej rezystancyjny przetwornik temperatury 1, izolowany termicznie za pomocą osłony 2. Kontakt termiczny rezystancyjnego przetwornika temperatury 1 z badaną substancją 6 realizowany jest poprzez warstwę kontaktową 3 wykonaną z materiału dobrze przewodzącego ciepło. Stabilny kontakt termiczny z badaną substancją zapewnia układ dociskowy 4 wraz z obudową głowicy 5 opartą o powierzchnię badanej substancji. W przypadku identyfikacji substancji sypkich korzystne jest wprowadzenie rezystancyjnego przetwornika temperatury w głąb badanej substancji. Rezystancyjny przetwornik temperatury 1 połączony jest elektrycznie linią dwu- lub czteroprzewodową ze sterowanym układem stałotemperaturowym 7. Układ ten zasila rezystancyjny przetwornik temperatury 1 prądem o takiej wartości, aby jego temperatura niezależnie od warunków odbierania ciepła była utrzymywana na zadanej wartości, wyższej od temperatury badanej substancji. Proces pomiarowy sterowany jest z systemu przetwarzania danych 8, którego zadaniem jest wymuszenie temperatury przetwornika, pomiar jego prądu i wyznaczenie strumienia ciepła, przechowywanie danych wzorcowych oraz realizacja algorytmu pomiarowego.

Uproszczony opis metody wspomaganie identyfikacji ciał stałych oparty jest na następującym algorytmie pomiarowym. W stanie ustalonym proces wymiany ciepła między głowicą, a badana substancją można opisać przybliżonym równaniem:

$$I^2 R = kA(T - T_0) \quad (1)$$

gdzie:

- I – prąd nagrzewający rezystancyjny przetwornik temperatury, parametr mierzony,
- R – rezystancja nagrzanego przetwornika, parametr zadany,
- k – parametr czujnika, parametr stały,
- A – parametr identyfikacyjny badanej substancji, parametr wyznaczany,
- T – temperatura nagrzanego przetwornika, parametr zadany,
- T_0 – temperatura badanej substancji, parametr eliminowany.

Stosując dwa poziomy nagrzania przetwornika T_1 oraz T_2 otrzymujemy w stanach ustalonych związki:

$$I_1^2 R_1 = kA(T_1 - T_0) \quad (2)$$

$$I_2^2 R_2 = kA(T_2 - T_0) \quad (3)$$

Odejmując te równania stronami i wyznaczając A otrzymujemy parametr identyfikacyjny badanej substancji, przy czym następuje eliminacja temperatury substancji T_0 :

$$A = \frac{I_2^2 R_2 - I_1^2 R_1}{k(T_2 - T_1)} \quad (4)$$

Porównując wyznaczoną w procesie pomiarowym wartość parametru identyfikacji substancji A z wartościami uzyskanymi dla substancji wzorcowych w procesie wzorcowania możliwe jest zaklasyfikowanie badanej substancji do danej klasy materiałów. W złożonych algorytmach pomiarowych możliwe jest zastosowanie wielu poziomów nagrzania przetwornika oraz rejestracja zmiany strumienia ciepła w czasie, a tym samym wyznaczenie większej ilości parametrów identyfikacyjnych. Do porównania tych parametrów z bazą wzorcową można zastosować metody sztucznej inteligencji, na przykład metody logiki rozmytej.

4. Konkluzje

W przekonaniu autora proponowana metoda pomiarowa pozwoli na uzupełnienie istniejących metod badawczych o nowe narzędzie wspomagające identyfikację ciał stałych oraz ich parametrów cieplnych. Narzędzie takie może znaleźć zastosowanie w wielu dziedzinach nauki i techniki, w szczególności jako wspomagający czujnik w robotyce (termiczny palec robota), w autonomicznych sondach pomiarowych, automatyce, diagnostyce, defektoskopii, identyfikacji niebezpiecznych materiałów, w procesach technologicznych i produkcyjnych, eksploatacji i przetwórstwie surowców, archeologii, a także w eksploracji obiektów Układu Słonecznego. Koncepcja rozszerzenia zakresu stosowania metod opracowanych dla potrzeb term-anemometrii na nowe obszary badawcze jest rozwiązaniem nowatorskim, wymaga jednak przeprowadzenia szeregu badań o charakterze podstawowym. Dopiero w wyniku tych badań możliwa będzie ocena przydatności nowej metody i obszaru jej aplikacji. W procesie prowadzenia badań mogą ujawnić się zarówno nowe problemy technologiczne i metrologiczne związane z metodą, jak i nowe koncepcje rozwojowe dotyczące struktury i konstrukcji systemu pomiarowego oraz zastosowanych algorytmów interpretacji pomiarów. Przedstawione w opisie proponowanej metody rozwiązanie podstawowe ma charakter wstępny, oparte jest na bardzo uproszczonym modelu zjawiska fizycznego. Natomiast dalsze badania powinny umożliwić poznanie szczegółowych właściwości i parametrów metody oraz jej potencjału metrologicznego. Stworzy to możliwość implementacji metody w określonej klasie zagadnień badawczych mając wpływ na rozwój zarówno nauki jak i postęp technologiczny.

Praca została wykonana w roku 2015 w ramach prac statutowych realizowanych w IMG PAN w Krakowie, finansowanych przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

Literatura

- [1] Banwell C.N.: *Fundamentals of Molecular Spectroscopy* (Book); McGraw-Hill, 1994.
- [2] Doraiswamy L.K., Uner D.: *Chemical Reaction Engineering: Beyond the Fundamentals* (Book); CRC Press, 2014.
- [3] Czichos H., Saito T., Smith L.R.: *Springer handbook of materials measurement methods* (Book); Springer, 2006.
- [4] Ventura G., Perfetti M.: *Thermal Properties of Solids at Room and Cryogenic* (Book), Springer, 2014.
- [5] Bruun H.H.: *Hot-wire Anemometry. Principles and Signal Analysis* (Book); University Press, Oxford, 1995.
- [6] Boerefijn R., Poletto M., Salatino P.: *Analysis of the dynamics of heat transfer between a hot wire probe and gas fluidized beds*; Powder Technology 102, 1, 1999.
- [7] Ligęza P.: *A four-point constant-current/temperature controlled circuit for anemometric applications*; Review of Scientific Instruments 71, 1, 2000.
- [8] Ligęza P.: *Urządzenie i sposób wspomagania identyfikacji ciał stałych*; Zgłoszenie patentowe do UPRP, 2015.
- [9] Elsner J.W., Drobnik S.: *Metrologia turbulencji przepływów* (Book); Zakł. Nar. im. Ossolińskich, 1995.
- [10] Liu H-B., Lin N., Pan S-S., Miao J., Norford L.K.: *High Sensitivity, Miniature, Full 2-D Anemometer Based on MEMS Hot-Film Sensors*; Sensors Journal, IEEE, 13, 5, 2013.
- [11] Ligęza P., Socha K.: *Optimization of an algorithm for measurements of velocity vector components using a three-wire sensor*; Review of Scientific Instruments 78, 2007.
- [12] Ligęza P.: *Advanced Temperature Compensation and Correction Techniques in Thermal Anemometry*; Instrumentation Science and Technology 43, 2015.
- [13] Ligęza P.: *Simultaneous velocity and temperature measurements in transient gas flows* (Book); SRMI PAS, 2009.
- [14] Ligęza P.: *Compendium of Two-State Hot-Wire Anemometer Measurement Method* (Book); SMRI PAS, 2012.
- [15] Ligęza P., Kęsek D.: *Employment of temperature waves superposition in method of absolute measurement of gas flow velocities down to the sub 1 m/s range*; Sensors and Actuators A Physical 228, 2015.

- [16] Gill P., Moghadam T.T., Ranjbar B.: *Differential Scanning Calorimetry Techniques: Applications in Biology and Nanoscience*; Journal of Biomolecular Techniques 21, 4, 2010.
- [17] Assy A., Gomès S.: *Heat transfer at nanoscale contacts investigated with scanning thermal microscopy*; Applied Physics Letters 107, 2015.
- [18] Pandya H.J., Park K., Desai J.P.: *Design and fabrication of a flexible MEMS-based electro-mechanical sensor array for breast cancer diagnosis*; Journal of Micromechanics and Microengineering 25, 7, 2015.

Idea of thermal method for supporting the identification of solids and their thermal parameters

Abstract

The presented idea of new method concerns the development of structures of systems and measurement algorithms of new thermal method for supporting the identification of solids and their thermal parameters. In general, the research process of identification of materials is based on measurement and interpretation of selected measurable physical parameters. This process can either be passive or an active one, associated with employment of artificially introduced external influences. A large group of the methods of identification require a sample of the substance to be collected in order to determine its parameters and perform the identification. Finally, in order to correctly identify the substances it is preferable to use several mutually complementary methods. The authors of this project propose a concept of new method for supporting the identification of solids and their thermal parameters. The idea of the method is based on the fact that measuring head of the probe, comprising a resistance temperature converter heated by electric current, is continuously maintained in a stable thermal contact with the tested substance, while the temperature of the resistance temperature converter is controlled by the constant-current/temperature controlled system. The parameters characteristic of the head – substance system are determined based on measurement of the flux of heat transferred from the head in its various states of heating. These parameters are compared to parameters obtained for different substances used as standards during the system calibration process, which allows for a measured parameters to be correlated with calibration ones, classifying ultimately the tested substance into specific class of materials.

Keywords: metrology, identification, thermal parameters, solids, measurement algorithms, thermodynamics