

Konstrukcja i sterowanie nagrzewacza laboratoryjnego do wyznaczania współczynnika emisyjności

The design of the heater and control laboratory for determining emissivity

KAROL GROCHALSKI *

DOI: 10.17814/mechanik.2016.11.524

Nagrzewacz laboratoryjny ma zapewniać utrzymanie zadanej temperatury w próbkach stykających się z akumulacyjnym rdzeniem. Sterowanie odbywa się za pomocą mikrokontrolera ATmega 16 z regulatorem PID. Urządzenie jest przeznaczone do pracy w temperaturze do 250 °C.

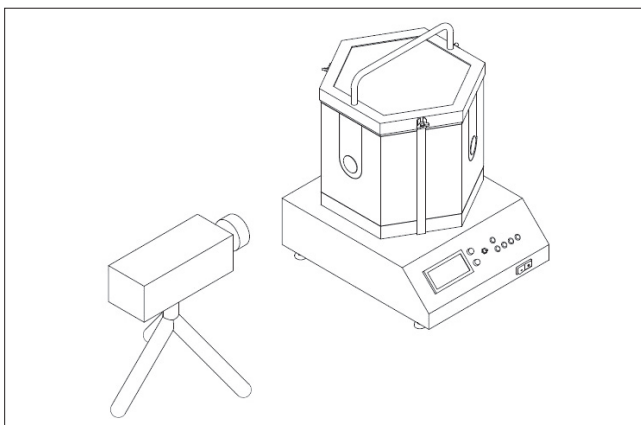
SŁOWA KLUCZOWE: współczynnik emisyjności, regulator PID, pomiar temperatury

Heater is designed for laboratory stable maintain the desired temperature of the samples being in contact with the accumulator core. Device control is via ATmega 16 microcontroller with implemented PID controller. The device is intended for operation in a temperature range to 250 °C.

KEYWORDS: emissivity, PID controller, temperature measurement

Emisyjność jest trudnym do określenia parametrem opisującym właściwości radiacyjne obiektu. Właściwości emisyjne są determinowane przez wiele czynników, takich jak: rodzaj materiału, z jakiego wykonano obiekt, stan warstwy wierzchniej, struktura powierzchni emitującej, kąt radiacji, długość fali czy temperatura [1–3]. Emisyjność metali rośnie wraz ze wzrostem temperatury, a w przypadku niemetali – maleje. Emisyjność w funkcji temperatury ma charakter nieliniowy monotoniczny. Znajomość wartości efektywnej emisyjności badanego obiektu jest warunkiem koniecznym do dokonania prawidłowego pomiaru temperatury z wykorzystaniem kamery termowizyjnej.

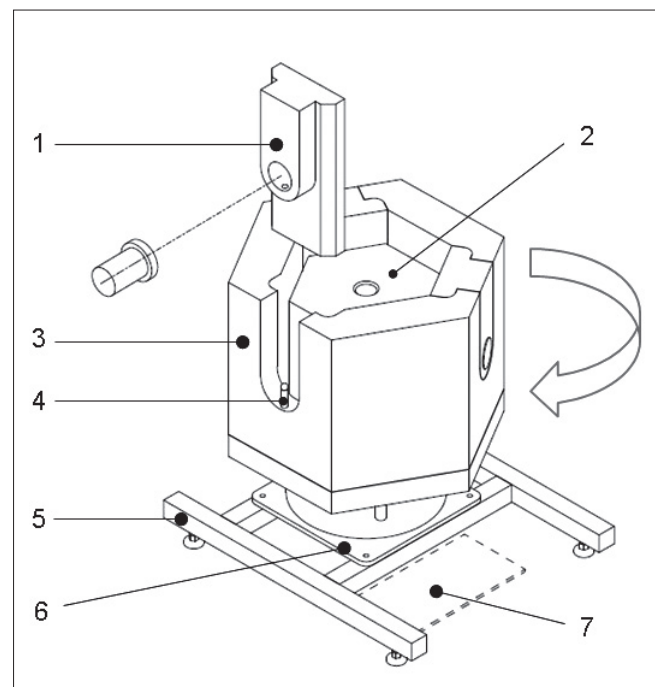
Nagrzewacz laboratoryjny jest stosowany do pomiarów współczynnika emisyjności ϵ obiektu w zależności od chropowatości badanej powierzchni lub rodzaju tworzywa, z jakiego ten obiekt wykonano. Zadaniem urządzenia jest nagrzanie i utrzymanie zadanej temperatury próbek o określonych właściwościach fizycznych lub parametrze topografii powierzchni, aby następnie za pomocą kamery termowizyjnej przeprowadzić pomiar współczynnika emisyjności w funkcji temperatury (rys. 1).



Rys. 1. Widok ogólny nagrzewacza laboratoryjnego i sposób badania współczynnika emisyjności

Konstrukcja nagrzewacza laboratoryjnego

Schemat konstrukcji nagrzewacza laboratoryjnego, w tym jego najważniejsze elementy, przedstawiono na rys. 2. Izolacja termiczna, która osłania rdzeń akumulujący ciepło z umieszczonymi w jego wnętrzu trzema grzałkami patronowymi o łącznej mocy wynoszącej 2400 W, jest zamocowana na obrotowej podstawie. Za stosowanie ruchomego korpusu umożliwia zmianę położenia poszczególnych próbek względem obserwatora, bez konieczności ich wymiany po zakończeniu badania. W nagrzewaczu mogą być umieszczone trzy cylindryczne próbki mocowane we wkładach zapewniających łatwość ich wymiany. Kształt wkładów eliminuje powstawanie mostków termicznych w miejscu połączenia z okładziną termoizolacyjną rdzenia.



Rys. 2. Najważniejsze elementy nagrzewacza laboratoryjnego: 1 – wkład termoizolacyjny mocujący próbkę, 2 – rdzeń akumulacyjny, 3 – okładzina rdzenia, 4 – czujnik temperatury, 5 – rama nośna, 6 – podstawa obrotowa, 7 – sterownik

Rdzeń akumulacyjny wykonano ze stopu aluminium PA6. Zadaniem tego elementu jest magazynowanie i utrzymywanie ciepła, aby wyeliminować oscylacje temperatury próbek. Materiał izolacji termicznej i wkładów mocujących ma współczynnik przenikalności cieplnej $U = 0,14 \text{ W/m}^2\text{K}$. W celu polepszenia parametrów izolacyjnych rdzeń akumulacyjny jest oddzielony od okładziny termicznej szczeliną powietrzną, natomiast okładzina jest dodatkowo pokryta od wewnętrznej strony ekranem odbijającym promieniowanie ciepłe [4, 5].

* Mgr inż. Karol Grochalski (grochalski.karol@gmail.com) – Politechnika Poznańska

Układ sterujący nagrzewacza laboratoryjnego

Układ sterujący nagrzewacza laboratoryjnego wykorzystuje regulator PID zapewniający płynną pracę grzałek – tak aby na powierzchni badanego obiektu nie występowały fluktuacje temperatury typowe dla sterowania przekąźnikowego. Sterowanie mocą grzałek odbywa się poprzez zmianę zasilającego je napięcia w zależności od przyrostów temperatury na powierzchni badanej próbki w czasie. Sterownik jest również wyposażony w wyświetlacz LCD informujący użytkownika o aktualnym stanie urządzenia, zadanej temperaturze, mocy grzania i temperaturze próbek [6]. W układzie sterowania zastosowano mikrokontroler ATmega 16 firmy ATMEL [7] z wbudowanym 10-bitowym przetwornikiem analogowo-cyfrowym, umożliwiającym podłączenie ośmiu napięciowych sygnałów analogowych w zakresie od 0 do 5 V. Aby optymalnie wykorzystać zakres przetwornika ADC mikrokontrolera, czujnik PT1000 [8, 9] połączono w układ mostka Wheatstone'a, dzięki czemu przez odpowiedni dobór rezystancji można było ustawić dowolny punkt początkowy zakresu pomiarowego. Sygnał analogowy jest wzmacniany przez wzmacniacze operacyjne.

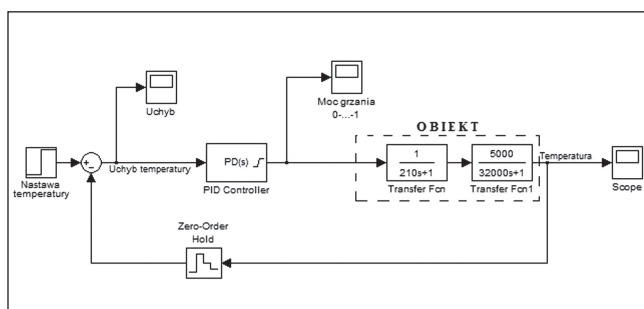
Dla każdego z czterech obwodów pomiarowych wyznaczono charakterystykę i przeprowadzono programowo kalibrację układu pomiarowego. Niepewność zmierzonej temperatury wynosi $\pm 0,1^\circ\text{C}$. Wartość zmierzona porównano ze wskazaniami: układów pomiarowych firmy National Instruments z oprogramowaniem LabVIEW, wykorzystujących termoelement typu K (NiCr-NiAl), oraz przyrządu do pomiaru temperatury firmy TESTO.

Czujnik temperatury umieszczony wewnątrz rdzenia akumulacyjnego odpowiada za pracę regulatora PID kontrolera. Najprostszą postacią programową regulatora PID jest zależność:

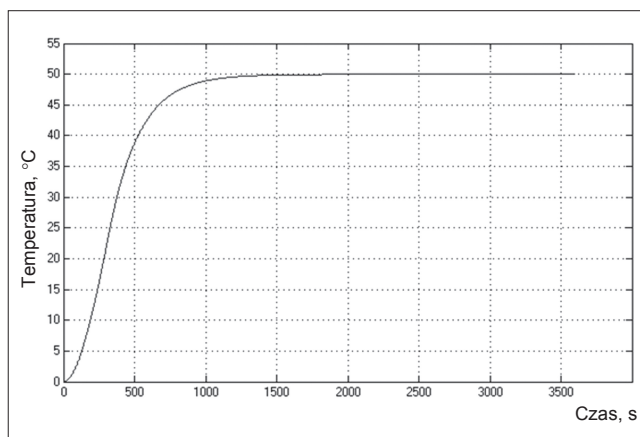
$$ster = K_p \cdot X_b + \left[\frac{X_p + X_b}{T_i} + T_d \cdot (X_b - X_p) \right]$$

gdzie: K_p – współczynnik wzmocnienia, T_d – stała czasowa różniczkowania, T_i – stała czasowa całkowania, X_b – uchyb regulacji w czasie t , X_p – uchyb regulacji w czasie $(t - 1)$.

Wartości parametrów sterujących regulatora PID wyznaczono w programie Matlab Simulink [10]. Model układu sterowania, który posłużył do przeprowadzenia symulacji, określenia transmitancji operatorowej obiektu i odpowiedniego dobrania wartości parametrów sterujących regulator, przedstawiono na rys. 3. Odpowiedź układu pokazano na wykresie (rys. 4). Parametry sterujące zamodelowanego regulatora PID zastosowano w rzeczywistym regula-



Rys. 3. Model symulacyjny układu sterowania w programie Matlab Simulink



Rys. 4. Teoretyczny przebieg temperatury w czasie dla zadanych parametrów regulatora PID

torze mikrokontrolera, a wartość wyjściowa odpowiadała współczynnikowi wypełnienia sygnału PWM sterującego grzałką nagrzewacza.

Pozostałe termorezystancyjne czujniki temperatury PT1000 umieszczone są w metalowych próbkach pod ich powierzchnią. Informacje o aktualnej temperaturze każdej próbki oraz temperaturze zadanej są widoczne na wyświetlaczu LCD. Wyświetlana jest także procentowa wartość sygnału sterującego grzałką w trakcie jej pracy. Nagrzewacz dodatkowo wyposażono w diody LED, sygnalizujące osiągnięcie przez rdzeń akumulacyjny oraz badane próbki zadanej temperatury.

Podsumowanie

Nagrzewacz laboratoryjny cechuje się prostą konstrukcją, stabilnym utrzymywaniem ustawionej temperatury (dzięki regulatorowi PID) oraz dokładnością pomiaru temperatury próbek. Urządzenie wykorzystuje się do pomiarów i wyznaczania emisyjności powierzchni metodami termowizyjnymi. Emisyjność, która zależy od wielu czynników (m.in. chropowatości powierzchni, rodzaju materiału czy temperatury badanego obiektu), jest kluczowym parametrem w przypadku wyznaczania temperatury metodami radiacyjnymi. Przed przystąpieniem do zasadniczych pomiarów temperatury z wykorzystaniem kamery termowizyjnej konieczna jest znajomość emisyjności, ponieważ stanowi ona jedno z głównych źródeł błędów w tego typu pomiarach.

LITERATURA

- Więcek B., De Mey G. „Termowizja w podczerwieni. Podstawy i zastosowania”. Wydawnictwo PAK, 2011.
- Maldague X. „Theory and Practice of Infrared Technology for Non-destructive Testing”. John Wiley & Sons, Inc., ISBN 0-471-18190-0, 2001.
- Chrzanowski K. „Non-contact thermometry. Measurement errors”. SPIE PL, Research and Development Treaties, Warsaw, 2000.
- Kostkowski E. „Przepływy ciepła”. Gliwice: Politechnika Śląska, 1986.
- Wiśniewski S., Wiśniewski T.S., Wymiana ciepła. Warszawa: WNT, 1997.
- Horowitz P., Hill W. „The Art of Electronics. The Art”. 2nd edition, 1989.
- www.atmel.com/devices/atmega16.aspx (dostęp: 10/07/2016).
- PN-EN 60584-1 – Termoelementy znormalizowane i ich charakterystyki przetwarzania.
- PN-EN 60584-2 – Tolerancje poszczególnych termoelementów.
- www.mathworks.com/products/simulink/ (dostęp: 10/07/2016).