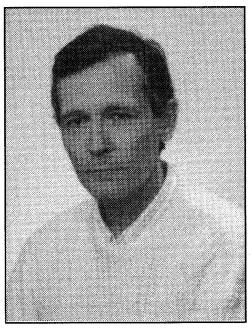
Waldemar MINKINA, Antoni SAWICKI, Ryszard SOSIŃSKI
POLITECHNIKA CZĘSTOCHOWSKA, WYDZIAŁ ELEKTRYCZNY

Wyznaczanie rozkładu temperatury narzędzi lutowniczych z wykorzystaniem termografii komputerowej
Część I: Pomiary termowizyjne rezystancyjnych narzędzi lutowniczych

Dr hab. inż. Waldemar Andrzej MINKINA

Profesor nadzwyczajny Politechniki Częstochowskiej. Stopień naukowy doktora nauk technicznych uzyskał w 1983 r. a doktora habilitowanego w 1995 r. Jest autorem i współautorem 1 monografii, około 70 publikacji oraz 6 patentów. W zakresie termografii komputerowej ściśle współpracuje z Instytutem Miernictwa Uniwersytetu w Rostocku oraz Instytutem Elektroniki Uniwersytetu w Dreznie. Jest członkiem: Sekcji Kształcenia Komitetu Metrologii i Aparatury Naukowej PAN, Rady Programowej Miesięcznika „Pomiary Automatyka Kontrola", Polskiego Towarzystwa Techniki Sensorowej, Zarządu Polskiego Towarzystwa Elektrotechniki Teoretycznej i Stosowanej (oddział w Częstochowie) oraz Stowarzyszenia Elektryków Polskich, gdzie jest rzeczoznawcą w trzech grupach.

Mgr inż. Ryszard SOSIŃSKI



W 1977 r. ukończył studia magisterskie w Instytucie Elektroenergetyki Politechniki Częstochowskiej. Specjalizował się w zakresie automatyzacji napędu elektrycznego. Od 1978 r. jest zatrudniony na Wydziale Elektrycznym Politechniki Częstochowskiej. Obecnie pracuje na stanowisku starszego wykładowcy w Samodzielnym Zakładzie Elektrotechnologii. Zajmuje się głównie zagadnieniami związanymi z badaniem i sterowaniem urządzeń łukowych i plazmowych.

Streszczenie

W artykule podano najważniejsze czynniki uzasadniające wykorzystanie termografii komputerowej do wyznaczania rozkładu temperatury narzędzi lutowniczych. Przedstawiono właściwości metrologiczne wybranych narzędzi lutowniczych rezystancyjnych. Opisano metody badań diagnostycznych z użyciem termo wizji. Zamieszczono wyniki badań wybranych lutownic małej i dużej mocy bez stabilizacji i ze stabilizacją temperatury. Porównano te rezultaty z pomiarami stykowymi za pomocą termoelementów. Sformułowano wnioski i zalecenia odnośnie wykonywania diagnostyki termograficznej narzędzi lutowniczych.

Abstract

In the article most important factors, favouring use of computer termography in determination of temperature distribution in soldering tools are given. Measuring proprieties of chosen electro-soldering tools are presented. Methods of diagnostic investigations with the use of thermovision are described. Results of investigations with chosen low and high power soldering irons (with and without temperature stabilization) are given. These results are compared with results of measurements availing of thermocouples. Conclusions and recommendations for diagnosing electro-soldering tools with termography are formulated. method is instanced.

Dr hab. inż. Antoni SAWICKI

Profesor nadzwyczajny Politechniki Częstochowskiej. W 1988 r. obronił pracę doktorską, a w 2000 r. obronił pracę habilitacyjną w Moskiewskim Instytucie Energetycznym. W 2001 r. został mianowany na stanowisko profesora. Jest autorem i współautorem ponad 130 publikacji w czasopismach naukowych i materiałach konferencyjnych polskich i zagranicznych, 2 skryptów, 3 monografii. Jego dorobek obejmuje prace z zakresu elektrotechniki teoretycznej, metrologii elektrycznej, elektrotechnologii spawalniczej, elektrotermicznej i elektrochemicznej, elektrometalurgii i elektroekologii. Jest członkiem SEP, od 1998 r. członkiem Prezydium Polskiego Komitetu Elektrotermii.

Wstęp

Procesy lutowania z użyciem rezystancyjnych narzędzi lutowniczych są powszechnie wykorzystywane w rzemiośle i przemyśle elektronicznym. Pomimo coraz szerszego stosowania robotów i złożonych automatów lutowniczych, ręczne narzędzia lutownicze o stosunkowo prostej konstrukcji i łatwej obsłudze pozostają nadal powszechnie używanymi przyrządami w produkcji małoseryjnej, w naprawach i remontach zarówno prostych jak i skomplikowanych układów elektronicznych i energoelektronicznych.

Stosunkowo wysokie temperatury (ponad 250°C), potrzebne do realizacji procesów lutowania z użyciem lutów miękkich (stopów głównie cyny i ołowiu), powodują, że narzędzia lutownicze podlegają silnemu oddziaływaniu termicznemu. Choć realizowana technologia wymaga stosunkowo dużej koncentracji ciepła w obszarze spoiny, to stosowana metoda grzania rezystancyjnego i konstrukcje współczesnych narzędzi powodują jego intensywne rozpraszanie do otoczenia. Skutkami tego są nie tylko często niska sprawność energetyczna narzędzi lutowniczych, ale i ich szkodliwe oddziaływania termiczne na spajane elementy elektroniczne. Wykonanie badań diagnostycznych narzędzi lutowniczych z wykorzystaniem termografii komputerowej umożliwia kompleksową i precyzyjną diagnostykę ich stanu technicznego, właściwości technologicznych, a także ocenę oddziaływania na otoczenie.

1. Właściwości wybranych lutownic

Lutownice rezystancyjne składają się zazwyczaj z miedzianego grotu, głowicy wraz z elementem grzejnym rezystancyjnym, uchwytu z drewna lub tworzywa sztucznego oraz przewodu z wtyczką. W zależności od usytuowania grotu rozróżnia się lutownice proste (grot jest ustawiony wzdłuż osi trzonu) i kątowe (z ukośnym lub prostopadłym ustawieniem grotu względem trzonu). Stosuje się różne kształty grotów [6]. Wybór zależy przede wszystkim od przeznaczenia lutownicy. Powinien on w maksymalnym stopniu ułatwić proces lutowania.

W zależności od rodzaju pracy, wyróżnia się lutownice do pracy ciągłej i dorywczej. W warunkach normalnego użytkowania, minimalna żywotność lutownic zwykłych do pracy ciągłej powinna wynosić 500 h, a do pracy dorywczej i transformatorowych 250 h.

Wymagania pod względem jakości narzędzi lutowniczych obejmują szereg cech. Do nich można zaliczyć:

1) osiąganie zadanej temperatury grotu w jak najkrótszym czasie,
2) stabilizacja temperatury grotu w podczas realizacji operacji technologicznych,
3) wysoka sprawność energetyczna,
4) małe gabaryty i masa.

Współcześnie eksploatowane są narzędzia lutownicze o różnej mocy i konstrukcji. Do ich budowy wykorzystuje się różne materiały (metale, ceramiki, tworzywa sztuczne, włókna sztuczne i naturalne oraz drewno). Stosunkowo złożony kształt, użycie wielu różnych materiałów i wymuszona koncentracja ciepła w grocie powodują silnie niejednorodny rozkład temperatury w obszarze lutownic. Rozkład ten może ulegać zmianom na skutek realizacji procesów technologicznych w różnych warunkach otoczenia. Mogą na niego wpływać procesy starzenia materiałów, uszkodzenia wewnętrzne elementów, zmiany parametrów układów zasilania energią elektryczną, a nawet sposoby posługiwania się nimi przez operatorów.

Badanie narzędzi lutowniczych może obejmować:
1) badania mechaniczne wytrzymałości konstrukcji,
2) badania elektryczne poprawności działania układów zasilania i sterowania,
3) badania cieplne grotów, obudów i uchwytów.

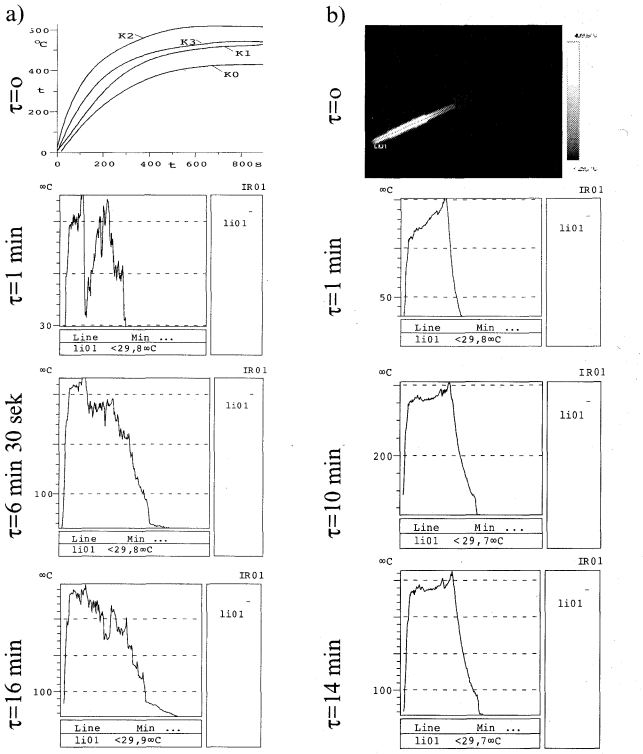
Termografię komputerową można uznać za najkorzystniejszą w diagnostyce narzędzi lutowniczych. Jest ona stosunkowo łatwa, szybka, bezpieczna i dokładna. Umożliwia zdalną i bezinwazyjną diagnostykę cieplną w podczerwonym paśmie promieniowania ciał [1-5, 7]. W przypadku lutownic obejmują one warstwy powierzchniowe nieprzezroczystych ciał stałych (obudowy, grotu i rękojeści). Właściwie nie jest możliwa bezinwazyjna diagnostyka termowizyjna elementów wewnętrznych, na przykład elementu grzejnego. Jednakże duża zwartość konstrukcji lutownic, a także ich działanie na zasadzie przewodnictwa cieplnego umożliwiają wykonanie stosunkowo pełnej diagnostyki. Korzystną cechą większości lutownic jest ich kształt osiowo-symetryczny. Wystarczy więc obserwacja połowy badanego obszaru.

Niedokładności pomiarów termowizyjnych są szczególnie zauważalne w określaniu rozkładu pól temperatury obiektów składających się z elementów o różnej emisyjności. Ponieważ do budowy narzędzi lutowniczych wykorzystuje się różne materiały, to efekt ten należy eliminować, określając indywidualnie wartości emisyjności każdego jej elementu składowego. Badany obszar można pokryć cienką warstwą farby o znanej emisyjności, którą później można pozostawić bez wielkiej utraty estetyki lub zwyczajnie usunąć. Znacznym ułatwieniem diagnostyki może być utworzenie specyficznych tablic wartości emisyjności materiałów używanych do budowy lutownic. Pomocne może być także opracowanie standardów przygotowania powierzchni lutownic do badań termowizyjnych. Dotyczy to zwłaszcza tych części, które najłatwiej ulegają zabrudzeniu i korozji na skutek wysokiej temperatury i obecności tlenu w powietrzu. Odpowiednią trwałość powłoki i stabilność właściwości emisyjnych mogą zapewnić specjalne farby o znanych współczynniku emisyjności w różnych temperaturach.

2. Opis badań diagnostycznych z użyciem termowizji

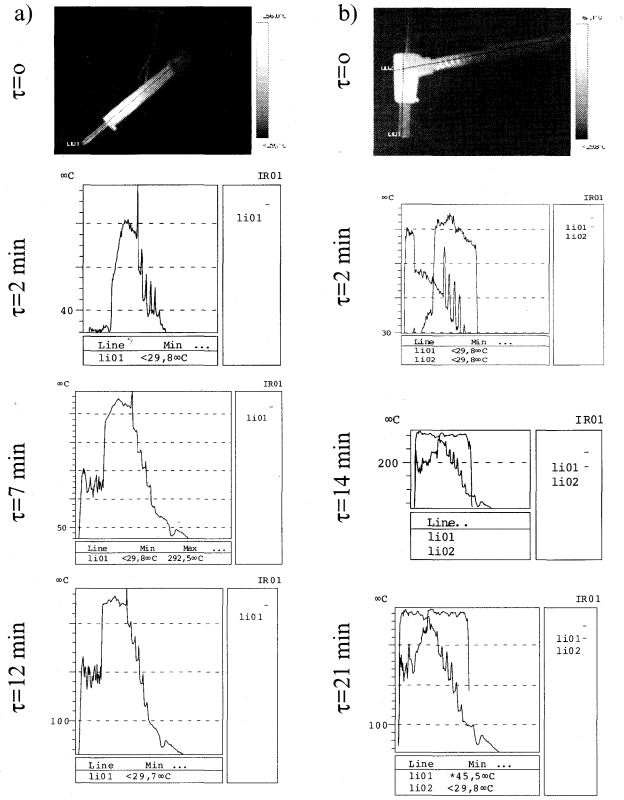
Badania narzędzi obejmowały następujące wybrane proste lutownice rezystancyjne: LUT2 (24 V, 50 W), LU25B (220 V, 25 W), LEH10 (220 V, 100 W), LEH25 (220 V, 200 W) i lutownicę ze stabilizacją SOLOMON SL-10. Na pierwszym etapie boczną powierzchnię lutownic pokryto cienką warstwą czarnej farby o znanej emisyjności. Założono jej znikomy wpływ na wymianę ciepła z otoczeniem i na rozkład temperatury w samych lutownicach. Umożliwiło to założenie jednakowego współczynnika emisyjności całej obserwowanej powierzchni lutownic. Pozostawienie powierzchni jako nie pomalowanej wymagałoby uwzględnienia różnych współczynników emisyjności każdego elementu składowego. Lutownice zawieszono w pozycjach typowych, jak do realizacji procesów technologicznych. Na tak przygotowane lutownice skierowano obiektyw kamery termowizyjnej typu ThermaCAM PM 595 z niechłodzoną matrycą detektorów mikrobolometrycznych i standardową optyką 24° firmy FLIR (dawna AGEMA). Jednocześnie dokonywano rejestracji komputerowej temperatury wybranych punktów na powierzchni zewnętrznej i wewnątrz narzędzi metodą stykową z użyciem termoelementów typu K. Ponieważ w praktyce przemysłowej lutownice eksploatuje się w różnych warunkach, najczęściej bez stosowania kosztownych wyłączników czasowych, to w badaniach pominięto rozpatrywanie normowanych cykli nagrzewania i studzenia [6]. Stosunkowo mała pojemność cieplna tych narzędzi umożliwiła badanie ich podczas krótkotrwałego procesu cieplnego.

Na rys. 1, 2 i 3 zamieszczono wyznaczone rozkłady temperatury pięciu narzędzi lutowniczych z wykorzystaniem termografii komputerowej. Linią ciągłą na fotografiach zaznaczono osie analizowanego rozkładu temperaturowego. Na podstawie tych rozkładów można stwierdzić, że temperatura uchwytów pozostaje niska, a więc nie wywołuje szkodliwego oddziaływania na ręce operatorów. Rozkład temperatury w trzonie i grocie jest silnie nierównomierny i zależy od czasu nagrzewania. Ponadto jej ekstrema lokalne osiągają wysokie wartości. Obecność otworów w trzonach lutownic stanowi ochronę uchwytu przed przegrzaniem, ale i także wyraźne ułatwienie dla silnego promieniowania elementu grzejnego. Można także zauważyć różną zdolność przekazywania ciepła z elementu grzejnego do grotu. W lutownicach dużej mocy jest ona bardzo niska, a więc cechuje je niska sprawność energetyczna. Pod tym względem najlepsze właściwości mają lutownice małej mocy, zwłaszcza ze stabilizacją elektroniczną temperatury.

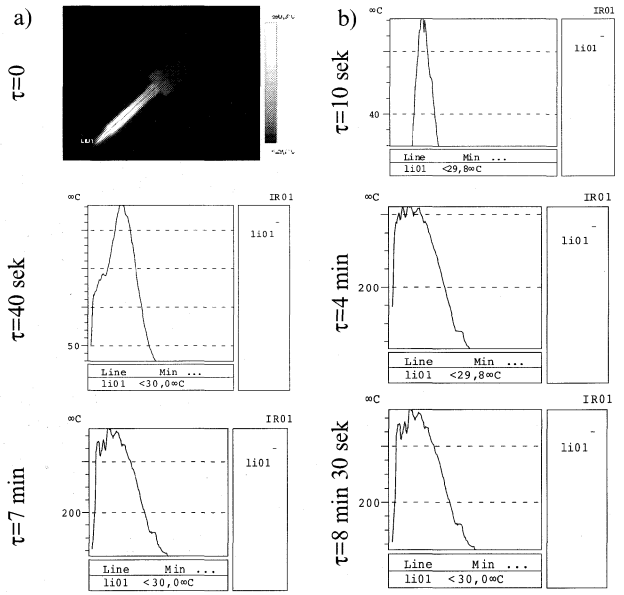


Rys. 1. Obrazy termowizyjne i sekwencje czasowe rozkładów temperaturowych lutownic małej mocy: a) LUT2; b) LU2B; w nawiasie obok podano czas rejestracji (min., sek.)

Badania diagnostyczne lutownic wykonano zarówno w stanach jałowych jak i podczas normalnej pracy. Tylko małe lutownice ze stabilizacją temperatury lub duże, o znacznej bezwładności cieplnej, są zdolne zachować stały poziom temperatury grotu podczas wykonywania operacji technologicznych.



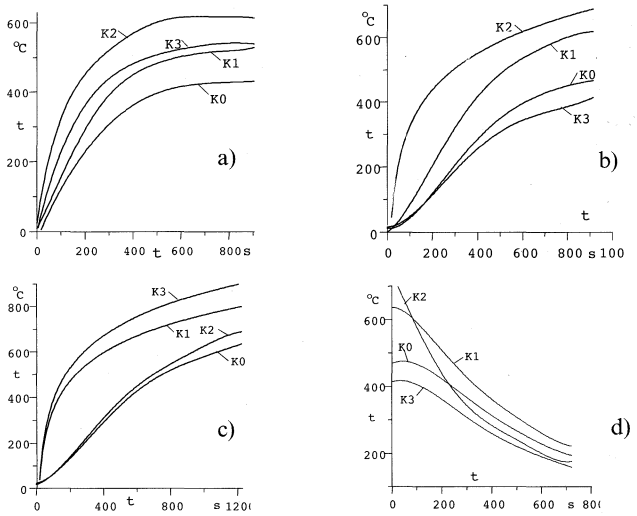
Rys. 2. Obrazy termowizyjne i sekwencje czasowe rozkładów temperaturowych lutownic średniej mocy: a) LE10; b) LEH25.



Rys. 3. Obrazy termowizyjne i sekwencje czasowe rozkładów temperaturowych lutownicy stabilizowanej małej mocy SOLOMON

W celu porównania wyników, dokonano jednoczesnego pomiaru temperatury w kilku punktach na powierzchni i wewnątrz lutownic metodą stykową. Niektóre z przebiegów pokazano na rys. 4. W ten sposób uzyskano wskazówki odnośnie dokładnego doboru emisyjności materiałów, zwłaszcza w wysokich temperaturach. W większości przypadków wyniki pomiarów termowizyjnych w wysokim stopniu odpowiadały wynikom pomiarów z użyciem termoelementów.

Współczesne narzędzia lutownicze mają stosunkowo złożoną budowę. Przyczynami są zarówno duża różnorodność użytych materiałów o różnych współczynnikach przewodzenia ciepła i różnej emisyjności, jak i różnorodność kształtów geometrycznych po-



Rys. 4. Przebiegi czasowe temperatur w wybranych punktach podczas nagrzewania lutownic: a) LUT2; b) LEH10; c) LEH25; i studzenia d) LEH10 (K0-K3 – numery kanałów karty pomiarowej)

szczególnych elementów konstrukcyjnych. To powoduje, że zarówno w obszarze wewnętrznym lutownicy jak i na zewnątrz występują różne postacie i różne intensywności wymiany ciepła.

Równania bilansu energetycznego powinny uwzględniać wszystkie składowe strumieni cieplnych. Na zewnątrz lutownic, w stanie jałowym, występuje wymiana ciepła głównie przez konwekcję i promieniowanie. Tylko niewielka część ciepła jest odprowadzana przez podpórki lub wieszaki, czy przewód zasilający. Dopiero w stanie pracy pojawia się duże obciążenie przewodnictwem cieplnym w elementy spajane i spoinę. Wewnątrz lutownic przeważa wymiana ciepła przez przewodzenie między elementem grzejnym a grotem. Po założeniu stałej wartości współczynnika przewodzenia ciepła i braku wewnętrznych źródeł ciepła, w stanie nieustalonym opisuje ją równanie różniczkowe Fouriera:

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = a\nabla^2 T \tag{1}$$

gdzie: T - temperatura, K;τ - czas, s.

W taki sam sposób przejmują ciepło obudowy w lutownicach LU25B i SOLOMON. W pozostałych lutownicach LUT2, LEH10 i LEH25 ciepło z elementu grzejnego jest przekazywane poprzez promieniowanie i konwekcję swobodną. Do opisu tego procesu stosuje się wzór na natężenie promieniowania ciała czarnego o postaci:

$$M_0 = C_0\left(\frac{T}{100}\right)^4 \tag{2}$$

gdzie: C_0=5,67 W/ (m^2·K^4) jest techniczną stałą promieniowania ciała czarnego. Stosunek natężenia promieniowania M w pełnym zakresie promieniowania rzeczywistej powierzchni lutownicy do natężenia promieniowania M_0 powierzchni doskonale czarnej, znajdującej się w tej samej temperaturze, jest nazywany emisyjnością:

$$\varepsilon = \frac{M}{M_0} \tag{3}$$

Tą wielkość należy właśnie wprowadzić do kamery w pomiarach termowizyjnych. Ruch gazu wokół lutownicy, przez otwory wentylacyjne trzonu i w wolnych obszarach pomiędzy elementem grzejnym a obudową, wywołuje konwekcyjną wymianę ciepła, której strumień opisuje równanie Newtona:

$$q = \alpha \cdot (T_L - T_g) \tag{4}$$

gdzie: α- współczynnik przejmowania ciepła, W/ (m^2·K),
T_L – temperatura powierzchni elementu lutownicy,
T_g – temperatura gazu.

Te zależności stanowią podstawę utworzenia modelu matematycznego lutownic i obliczania stacjonarnych i niestacjonarnych procesów wymiany ciepła. Rezultaty badań modelowych, przy zastosowaniu do tworzenia modelu równań (1-4), zostaną przedstawione w kolejnych częściach.

3. Wnioski

Z przeprowadzonych badań i obserwacji można wysnuć następujące wnioski:

- zastosowanie termografii komputerowej umożliwia stosunkowo łatwe i szybkie wyznaczanie rozkładu temperatury powierzchni narzędzi lutowniczych,
- przed pomiarami termowizyjnymi rezystancyjnych narzędzi lutowniczych korzystne jest wykonanie kilku prostych czynności przygotowawczych, polegających na oczyszczeniu i pomalowaniu powierzchni farbą o znanym współczynniku emisyjności,
- opracowanie tablic z właściwościami emisyjnymi materiałów, stosowanych do budowy lutownic, znacznie ułatwi i przyspieszy wykonywanie ich diagnostyki termowizyjnej.

Literatura

[1] W. Minkina, P. Rutkowski, W. Wild: „Podstawy pomiarów termowizyjnych, część I – istota termowizji i historia jej rozwoju" Pomiary Automatyka Kontrola 46 (2000) Nr 1, str. 7-10.

[2] W. Minkina, P. Rutkowski, W. Wild: „Podstawy pomiarów termowizyjnych, część II – współczesne rozwiązania systemów termowizyjnych, błędy metody" Pomiary Automatyka Kontrola 46 (2000) Nr 1, str. 11-14.

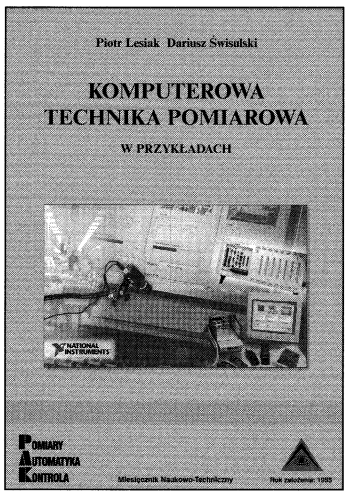
[3] W. Minkina: „Podstawy pomiarów termowizyjnych, część III – problemy metrologiczne, interpretacja wyników" Pomiary Automatyka Kontrola 47 (2001) Nr 11, str. 5-8.

[5] S. Poloszyk, L. Różański: „Termowizyjna diagnostyka maszyn technologicznych" Pomiary Automatyka Kontrola 46 (2000) Nr 1, str. 15-18.

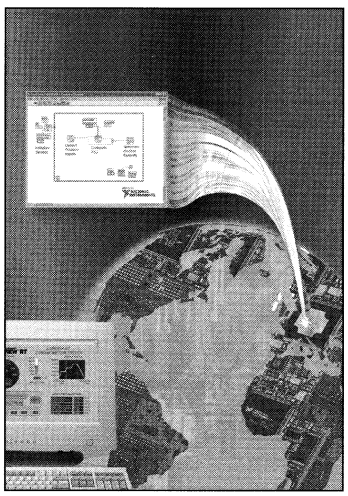
[6] T. Radomski, A. Ciszewski: „Lutowanie" WNT, Warszawa 1979.

[7] Technisches Messen, 66 (1999) Nr 3 oraz Nr 9, monotematyczne zeszyty pod redakcją G. Gerlacha, w całości poświęcone tematyce pomiarów termowizyjnych.

Książka pt. Komputerowa Technika Pomiarowa
wydana przez AGENDĘ PAK
POMIARY AUTOMATYKA KONTROLA



Książka przeznaczona jest dla użytkowników laboratoryjnej i przemysłowej aparatury pomiarowej, inżynierów i techników różnych dziedzin przemysłu, pracowników naukowych i pracowników laboratoriów badawczych. Przedstawiono w niej wykorzystanie nowoczesnych technologii w pomiarach wspomaganych komputerem. **Książka jest bogato ilustrowana przykładami sprzętu i oprogramowania firmy National Instruments.**



Wydawca: **Agenda Wydawnicza**
Redakcja Pomiary-Automatyka-Kontrola
00-050 Warszawa, ul. Świętokrzyska 14a
tel/fax: (0-22) 8272540, e-mail: pak@data.pl
dorpak@data.pl

Zamówienia prosimy składać na adres redakcji:
tel/fax: (0-22) 8272540
e-mail: dorpak@data.pl

CENA 27 zł