

DAMIAN PRZESTACKI, PIOTR MAZUR

WZORCOWANIE TERMOMETRÓW BEZKONTAKTOWYCH

W artykule zamieszczono wyniki badań współczynnika emisyjności: stali 100Cr6 i Inconelu 718, kompozytu aluminiowo-ceramicznego AlSi7Mg (+20% Al₂O₃) oraz twardej ceramiki technicznej Si₃N₄, wykorzystywanego w bezkontaktowych pomiarach temperatury opartych na detekcji promieniowania podczerwonego. Współczynnik emisyjności badanych materiałów wyznaczono dla termometrów o różnym zakresie widmowym detekcji.

Słowa kluczowe: pomiar temperatury, emisyjność

1. WPROWADZENIE

Nowoczesne materiały konstrukcyjne, takie jak ceramika, kompozyty metalowo-ceramiczne, superstopy, otwierają nowe możliwości ich stosowania na części maszyn i urządzeń. Jednakże obróbka elementów wykonanych z tych materiałów stwarza dużo problemów zarówno technologicznych, jak i ekonomicznych.

Poprawa skrawalności tych materiałów wiąże się z chwilową lub stałą zmianą ich właściwości za pomocą energii cieplnej promienia laserowego [1, 3–4, 7, 9–11]. Identyfikacja temperatury w takich procesach jest kluczowym zagadnieniem zarówno z poznawczego, jak i utylitarnego punktu widzenia. Poszukuje się zatem teoretycznych modeli opisujących przepływ ciepła w nagrzewanym laserowo przedmiocie obrabianym [10–11] lub prowadzi badania eksperymentalne w tym zakresie [3–4, 7, 9–11].

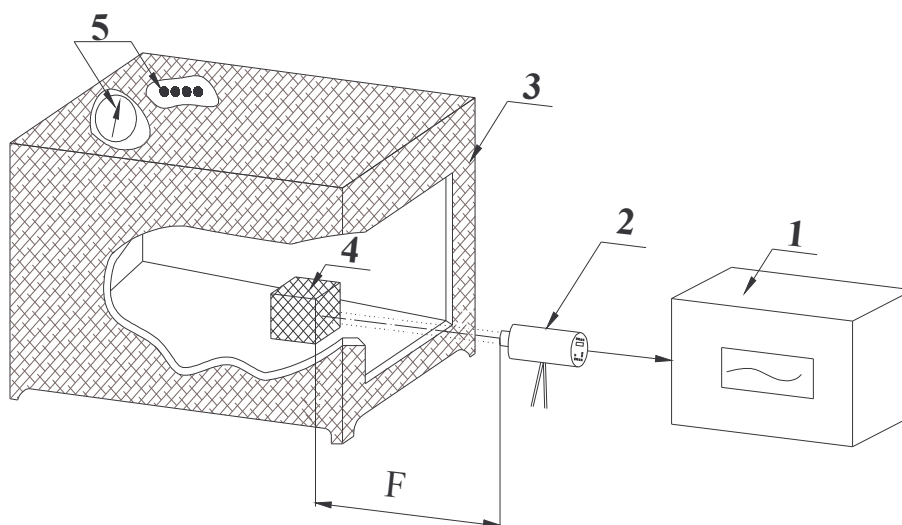
Pomiary temperatury w procesach laserowego wspomaganie obróbki prowadzi się z wykorzystaniem termometrów bezkontaktowych, wymagających wzorcowania (wyznaczenia współczynnika emisyjności) przy każdorazowej zmianie nagrzewanego materiału, stanu jego powierzchni lub zmiany pasma spektralnego termometru [2, 5–6, 8]. Podważa to wiarygodność pomiarów. Wyznaczenie współczynnika emisyjności wpływa na wartości wskazań termometrów, a tym samym na prawidłowe określenie temperatury badanego przedmiotu.

2. ZAKRES, WARUNKI I METODYKA BADAŃ

Podjęto próbę wyznaczenia współczynnika emisyjności stali 100Cr6, ceramiki konstrukcyjnej Si_3N_4 , inconelu 718 oraz kompozytu aluminiowego AlSi7Mg zbrojonego cząstkami Al_2O_3 (20%).

Celem wzorcowania pirometrów bezstykowych było wyznaczenie dla poszczególnych badanych materiałów obrabianych takiej stałej wartości współczynnika emisyjności ε , dla której w badanym zakresie temperatury wskazania pirometru obarczone są najmniejszym błędem. Temperaturę powierzchni mierzono trzema termometrami bezkontaktowymi firmy RAYTEK (USA) (tabl. 1) działającymi na zasadzie detekcji promieniowania podczerwonego.

W celu określenia współczynnika emisyjności badanych materiałów wykorzystano stanowisko badawcze (rys. 1) [3] wyposażone w termometry bezkontaktowe firmy RAYTEK oraz piec indukcyjny KO14 z termoparą PtRh10-Pt (produkcji VEM Niemcy) o mocy 4 kW i temperaturą maksymalną 1350°C.



Rys. 1. Schemat stanowiska pomiarowego do wyznaczenia współczynnika emisyjności badanych materiałów; 1 – miernik Thermalert T5, 2 – głowica pomiarowa (pirometr), 3 – piec indukcyjny typu KO14, 4 – badany materiał, 5 – termopara PtRh10-Pt ze wskaźnikiem

Fig. 1. Scheme of measurement stand to determine an emission coefficient of investigated materials; 1 – measur Thermalert T5, 2 – pyrometer, 3 – furnace type KO14, 4 – sample, 5 – thermo PtRh10-Pt with indicator

Próbki badanych materiałów były stopniowo podgrzewane w piecu, a następnie wygrzewane w zadanej temperaturze. Powyższy proces pozwolił osiągnąć zadaną temperaturę w całej próbce i uniknąć nagrzewania powierzchniowego.

Próbki przed umieszczeniem w piecu odłuszczone. Temperaturę mierzono z zachowaniem jednakowych warunków ustawienia osi termometrów względem walcowych próbek umieszczonych w piecu. Zasada wzorcowania opierała się na pomiarze temperatury pirometrem i równoczesnym odczytaniem jej ze wskaźnika na piecu. Temperaturę zmierzoną pirometrem korygowano za pomocą współczynnika emisyjności, aż do uzyskania jednakowych wskazań na obu przyrządach.

Tablica 1

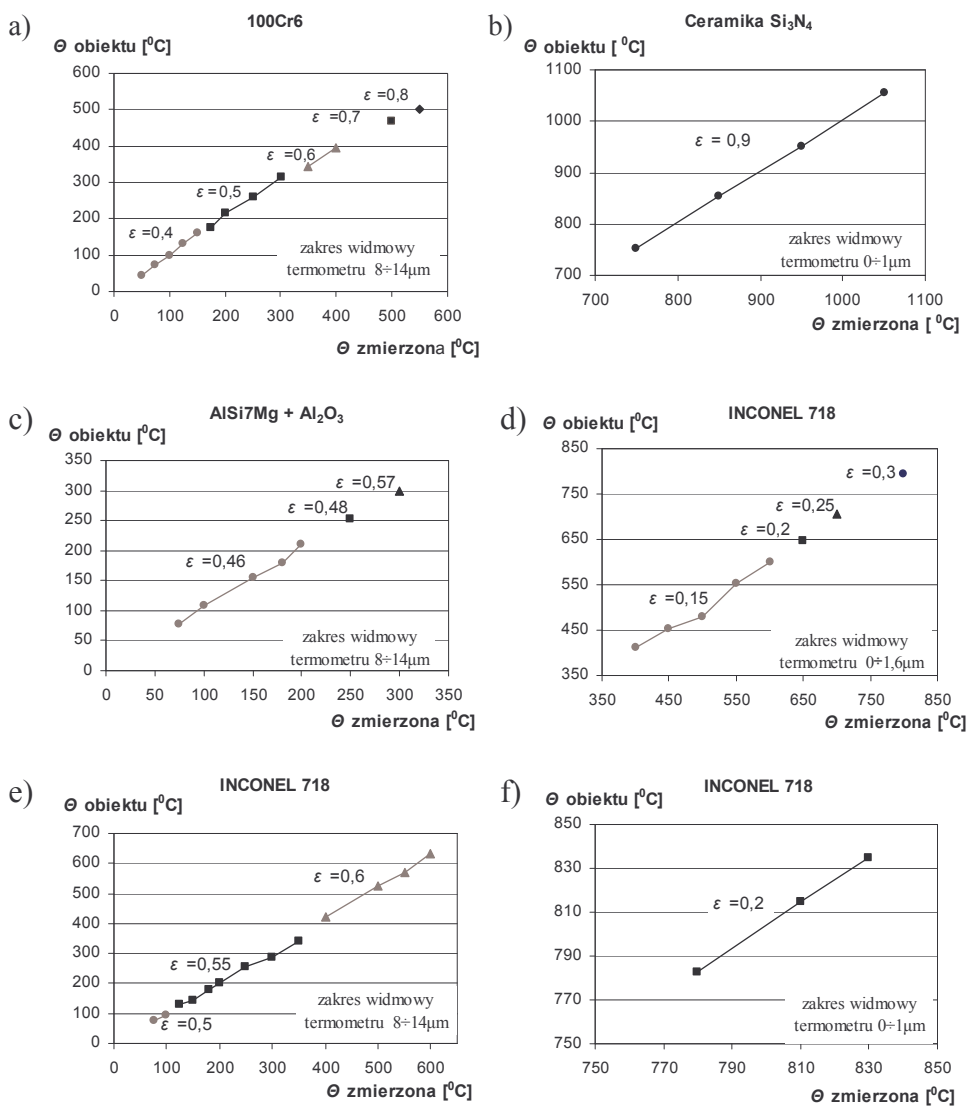
Parametry pirometrów firmy RAYTEK użytych w badaniach
Parameters of RAYTEK pyrometers used in research

Model termometru	MA1SC (termometr nr1)	MA2SC (termometr nr 2)	S5XLT (termometr nr 4)
Rozdzielczość optyczna	300:1		32:1
Zakres pomiarowy temp. [°C]	750÷3000	350÷2000	-20÷870
Zakres widmowy [μm]	0÷1	0÷1,6	8÷14
Powtarzalność pomiaru	±{0,01% wartości mierzonej+0,1°C}		±{0,5% wartości mierzonej+0,1°C}
Czas odpowiedzi [ms]	1		400
Emisyjność	0,10–1,00		

3. WYNIKI BADAŃ I ICH ANALIZA

Wartość współczynnika emisyjności zmienia się w obrębie jednego materiału w zależności od temperatury, stanu powierzchni próbki oraz zakresu widmowego termometru. W trakcie badań zauważono, że wraz ze wzrostem temperatury podgrzewana powierzchnia próbek metalowych ulegała matowieniu. Zmiana stanu powierzchni próbki z inconelu 718 powoduje wyraźną zmianę współczynnika emisyjności ε , który wynosił 0,15 w temperaturze 400–600°C i 0,3 w temperaturze 800°C (rys. 2d) przy pomiarze termometrem RAYTEK MA2SC (termometr nr 2). Stan powierzchni ceramiki Si_3N_4 w przedziale od 750°C do 1000°C nie zmieniał się, dlatego współczynnik emisyjności ma wartość stałą i wynosi 0,9 przy pomiarze termometrem RAYTEK MA1SC (termometr nr 1). Natomiast współczynnik emisyjności ε stali 100Cr6 zmieniał się od $\varepsilon = 0,4$ do $\varepsilon = 0,8$ (rys. 2a), kompozytu od $\varepsilon = 0,46$ do $\varepsilon = 0,57$ (rys. 2c) oraz dla inconelu 718 od $\varepsilon = 0,5$ do $\varepsilon = 0,6$ (rys. 2e) przy wykorzystaniu termometru niskotemperaturowego (termometr nr 4). Wyraźny wpływ na zmianę wartości współczynnika

emisyjności tych materiałów miało pojawienie się tlenków na powierzchni badanych próbek, a przez to zmiana barwy na powierzchni próbki.



Rys. 2. Wyznaczanie współczynnika emisyjności różnych materiałów: a) stal 100Cr6, termometr nr 4, b) ceramika Si₃N₄, termometr nr 1, c) kompozyt aluminiowy (AlSi7Mg + Al₂O₃), termometr nr 4, d) inconel 718, termometr nr 2, e) inconel 718, termometr nr 4, f) inconel 718, termometr nr 1

Fig. 2. Determine emission coefficient for different materials a) steel 100Cr6 thermometer no. 4, b) ceramic Si₃N₄, thermometer no. 1, c) aluminium composite (AlSi7Mg + Al₂O₃), thermometer no. 4, d) inconel 718, thermometer no. 2, e) inconel 718, thermometer no. 4, f) inconel 718, thermometer no. 1

Przeprowadzone doświadczenia wykazały, że wartość współczynnika emisyjności w obrębie jednego materiału w tym przypadku inconelu 718, zależy od przedziału temperatury mierzonej (rys. 2d, 2e) oraz zakresu widmowego używanych termometrów. Rozpatrując np. temperaturę $\approx 500^{\circ}\text{C}$ dla inconelu 718, widzimy, że przy pomiarze pirometrem MA2SC (termometr nr 2), który ma zakres widmowy $1,6\ \mu\text{m}$, współczynnik emisyjności $\varepsilon = 0,15$ (rys.2d), natomiast pirometr S5XLT (termometr nr 4) rejestrujący w innym zakresie widmowym promieniowania ($8\div 14\ \mu\text{m}$) wskazuje poprawną temperaturę dla współczynnika emisyjności $\varepsilon = 0,6$ (rys. 2e).

Opracowana metodyka wyznaczania współczynników emisyjności z wykorzystaniem bezkontaktowych termometrów i pieca indukcyjnego z termoparą w ograniczonym stopniu może być wykorzystana do praktycznego określania tego współczynnika dla różnych materiałów. Piec indukcyjny, którym dysponowano podczas wzorcowania pirometrów, nie chronił nagrzewanych próbek przed dostępem tlenu z otoczenia. Tworzywa metalowe w wyższej temperaturze zaczęły się utleniać, tlenki znacznie łatwiej absorbują ciepło niż powierzchnie nieutlenione, a zatem wartość współczynnika emisyjności rosła ze wzrostem temperatury. Powoduje to utrudnienia w precyzyjnym określeniu temperatury badanego obiektu.

4. PODSUMOWANIE

Współczynnik emisyjności nagrzanego ciała zależy od składu chemicznego badanego obiektu, stanu jego powierzchni, temperatury oraz zakresu widmowego użytego termometru. Wzorcownie tworzyw metalowych według opracowanej metodyki (brak gazów ochronnych) jest mało dokładne. Należy dlatego wyraźnie określić warunki wzorcowania termometrów w celu prowadzenia poprawnych pomiarów temperatury.

LITERATURA

- [1] **Burakowski T., Wierzchoń T.**, Inżynieria powierzchni metali, Warszawa, WNT 1995.
- [2] Internet: www.raytek.com
- [3] **Jankowiak M.**, Laserowe wspomaganie toczenia twardej ceramiki Si_3N_4 , in: Wybrane zagadnienia obróbek skoncentrowaną wiązką energii, red. M. Styp-Rekowski, BTN Bydgoszcz 2003, s. 184÷192.
- [4] **Jankowiak M.**, Machinability of the Si_3N_4 hard ceramics during laser assisted turning, in: Book of abstract 8th International Conference TECHNOLOGY 2003, Slovak Technical University, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Materials and Technologies, 9.–10. September 2003, Bratislava, p. 75.

- [5] **Kosmol J., Labus T.**, Zagadnienia współczynnika emisyjności w pomiarach pirometrycznych temperatury w procesie skrawania, *Prace Naukowe Katedry Budowy Maszyn Politechniki Śląskiej w Gliwicach*, 2003, nr 1, s. 11–180.
- [6] **Król G., Jankowiak M.**, Próba zastosowania termometru bezkontaktowego na podczerwień do pomiaru temperatury powierzchni toczonych zahartowanych stali, *Archiwum Technologii Maszyn i Automatykacji*, 1996, vol. 16, nr 2, s. 41–49.
- [7] **Lei S., Shin Y.C., Incropera F.P.**, Experimental investigation of thermo-mechanical characteristics in laser-assisted machining of silicon nitride ceramics, *ASME J. Manuf. Sci. Eng.* 2001, vol. 123, s. 639–646.
- [8] **Lis K.**, Wykorzystanie metod pirometrycznych do pomiaru temperatury podczas procesu wiercenia, *Prace Naukowe Katedry Budowy Maszyn Politechniki Śląskiej w Gliwicach*, 2004, nr 1, s. 111–130.
- [9] **Rebro O.A., Shin J.C., Incropera F.A.**, Laser-assisted machining of reaction sintered multilayered ceramics, *ASME J. Manuf. Sci. Eng.*, 2002, vol. 124, s. 875–885.
- [10] **Rozzi J., Pfefferkon F., Shin Y.**, Transient, three-dimensional heat model for the laser assisted machining of silicon nitride: I. Comparison of predictions with measured surface temperature histories, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 2000, 43, s. 1409–1424.
- [11] **Rozzi J., Pfefferkon F., Shin Y.**, Transient, three-dimensional heat model for the laser assisted machining of silicon nitride. II. Assessment of parametric effects, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 2000, 43, s. 1425–1437.

Recenzent: dr hab inż. Maciej Kupczyk, prof. PP

NON-CONTACT CALIBRATION OF THE PYROMETERS

S u m m a r y

The aim of this investigation has been to enhance the knowledge about the determine emission coefficient for different constructional materials: 100Cr6 steel, 718 Inconel, aluminium matrix composite of AlSi7Mg alloy reinforced with 20 vol% Al₂O₃ and Si₃N₄ technical ceramic during non-contact temperature measurements by pyrometer. Emission coefficient of investigated materials were set for thermometers of different range of spectral detection.

Key words: temperature measurement, emission

mgr inż. Damian Przystacki

Politechnika Poznańska, Instytut Technologii Mechanicznej, ul. Piotrowo 3, 60-965 Poznań
tel. (061) 6652723, e-mail: damian.przystacki@interia.pl

mgr inż. Piotr Mazur

Politechnika Poznańska, Instytut Technologii Mechanicznej, ul. Piotrowo 3, 60-965 Poznań
tel. (061) 6652723