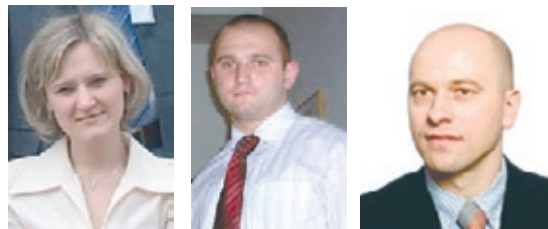
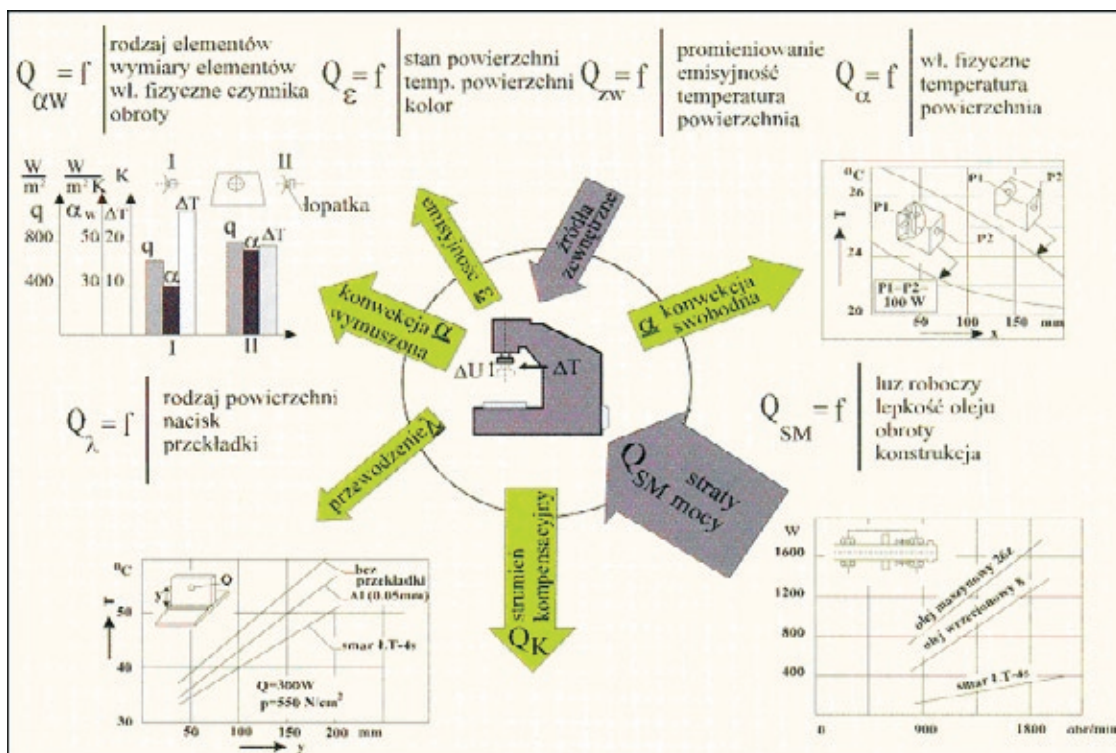


STRESZCZENIE: W pracy przedstawiono procedury postępowania podczas oceny stanu cieplnego wrzeciennika tokarki uniwersalnej. Przedstawiono wyniki badań termograficznych, na podstawie których oparto proces wnioskowania. Wskazano możliwe przyczyny niestabilności termicznej obrabiarki oraz metody jej minimalizacji.

OCENA STANU CIEPLNEGO WRZECIENNIKA TOKARKI UNIWERSALNEJ



**Jerzy JÓZWIK,
Robert MADEJ
Renata WÓJCIK**
Politechnika
Lubelska
Wydział
Mechaniczny



Rys. 1. Bilans strumieni ciepła działających na obrabiarkę: strumień Q_{SM} - wynikający ze strat mocy, strumień $Q_{\alpha w}$ - wynikający z konwekcji wymuszonej, strumień Q_{α} - wynikający z konwekcji swobodnej, strumień Q_{ϵ} - wynikający z emisji ciepła, strumień Q_{λ} - będący efektem przewodzenia do podłoża

Nauka z bliska

1. WPROWADZENIE

W wyniku oddziaływania strumieni ciepła wytwarzanych w obrębie obrabiarki i odprowadzanych do otoczenia (przenoszonych na drodze konwekcji, promieniowania i przewodzenia) wytwarzany jest określony stan cieplny maszyny. Stan cieplny obrabiarki określany jest rozkładami temperatury na powierzchniach korpusów. W odniesieniu do obrabiarek skrawających do metali, wewnętrznymi źródłami ciepła (wynikającymi ze strat mocy Q_{SM}) są np.: silniki, węzły łożyskowe, sprzęgła, przekładnie kinematyczne (pasowe, zębate, itp.), połączenia tarciove (prowadnice, sannie, itp.), pompy, układy elektryczne i elektroniczne. Zewnętrzными źródłami ciepła mogą być np.: źródła ciepła towarzyszące realizowanemu procesowi skrawania (strefa skrawania), inne źródła ciepła znajdujące się w pobliżu obrabiarki, promieniowanie, itp. Rozkład temperatury opisujący stan cieplny obrabiarki oraz jej wartość zależą

od położenia i wydajności źródeł ciepła oraz intensywności strumieni odbieranych przez otoczenie. Z bilansu strumieni ciepła działających na obrabiarkę (Rys. 1) wynika, że największy udział w przekazywaniu ciepła ma konwekcja wymuszona ($Q_{\alpha w}$) i swobodna (Q_{α}), emisja (Q_{ϵ}) oraz przewodzenie do podłoża (Q_{λ}).

Z uwagi na nierównomierny rozkład źródeł ciepła i ich intensywności, poziom nagrzewania się korpusów jest również nierównomierny. Zatem stabilność termiczna obrabiarki jest także zróżnicowana. W głównej mierze zależy ona od poziomu nagrzania obrabiarki, ale również warunków konwekcji wymuszonej, warunków smarowania, emisyjności lakierów użytych do zabezpieczenia powierzchni korpusów, sposobu łączenia poszczególnych elementów korpusu, występowania uźebrowań ścianek korpusów oraz występowaniem nadlewów.

2. TERMOGRAFICZNA DIAGNOSTYKA MASZYN

Rozwój systemów termograficznych i ich dostępność na rynku sprzyja poszerzeniu obszarów zastosowań tej niezwykle istotnej - z punktu widzenia szeregu jej zalet - techniki pomiaru. Jedną z nich jest bezkontaktowy pomiar wartości temperatury, co w większości zastosowań jest podstawowym kryterium. Coraz częściej technikę termograficzną aplikuje się w obszarze diagnostyki maszyn i urządzeń. Jako przykład praktycznej aplikacji termografii w systemach diagnostycznych maszyn technologicznych oraz maszyn i urządzeń pomiarowych należy przytoczyć prace zespołu badawczego: Poloszyk S., Rózański L., Staniek R., Chajda J. [1-4]. Wnikliwa analiza zjawisk cieplnych w obrabiarkach, gruntownie przeprowadzony bilans strat energetycznych napędu obrabiarki oraz bilans strumieni ciepła działających na obrabiarkę daje podstawę do właściwego opracowania procedur diagnostycznych podczas badań. W pracy [1] zaprezentowano przykładowy sposób podejścia podczas analiz termograficznych maszyn technologicznych. Opracowane procedury dia

1. WPROWADZENIE

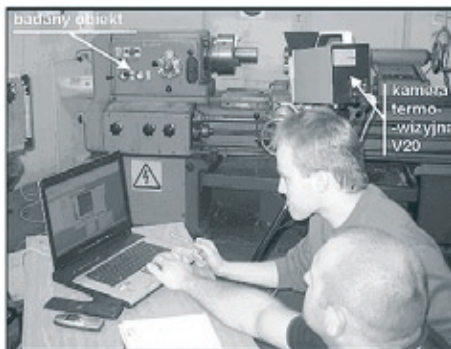
W wyniku oddziaływania strumieni ciepła wytwarzanych w obrębie obrabiarki i odprowadzanych do otoczenia (przenoszonych na drodze konwekcji promieniowania

3. METODYKA BADAŃ

3.1. Stanowisko badawcze

W pracy dokonano oceny stanu cieplnego wrzeciennika tokarki uniwersalnej CS401 (Rys. 2). Pomiary prowadzono z wykorzystaniem kamery termograficznej V20 firmy Vigo System S.A. Czas uzyskania przez tokarkę warunków ustalonych określono doświadczalnie. Rejestrację obrazów termalnych prowadzono w stanie cieplnym ustalonym bez obciążenia (bieg luzem, czas ustalania - 150 min, przy $n_{\max}=2000\text{obr/min}$).

Uśrednioną emisyjność obiektu wyznaczono doświadczalnie metodą pośrednią. W tym celu zastosowano kontaktową metodę pomiaru z wykorzystaniem termorezystorów PT100 oraz system akwizycji danych MRT-06-02 firmy Vectron. Rezystancyjne czujnik temperatury PT100 nakleiono w pobliżu źródeł ciepła.



Rys. 2. Badany obiekt oraz system pomiarowy

Pomiar wartości temperatury w celu określenia emisyjności powierzchni badanego obiektu prowadzono dobierając nastawę emisyjności dla kamery w taki sposób, aby wskazywana wartość temperatury przez kamerę V20 (w punktach odniesienia znajdujących się w najbliższym sąsiedztwie naklejonych czujników PT100) i rejestratora MRT-06-02 były takie same. Oznaczenia emisyjności dokonywano w czterech różnych temperaturach (20°C, 30°C, 40°C, 50°C).

3.2. Badanie stanu cieplnego

W ramach prac przygotowawczych, zgodnie z algorytmem zaproponowanym w pracy [2], badanie stanu cieplnego tokarki obejmowało:

- wybór powierzchni korpusów i miejsc istotnych z punktu widzenia rozmieszczenia źródeł ciepła dla oceny stopnia ich na-

grzania,

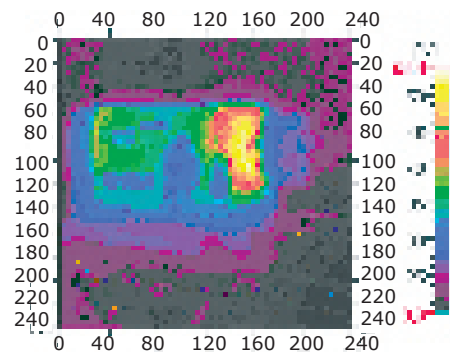
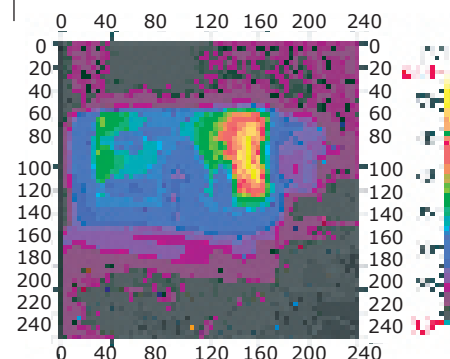
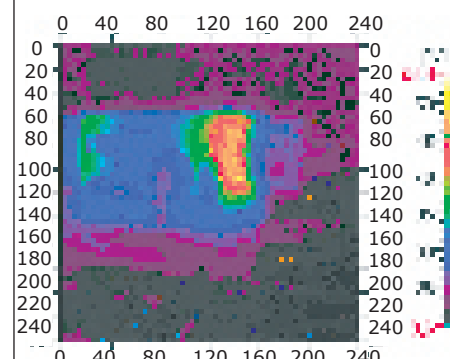
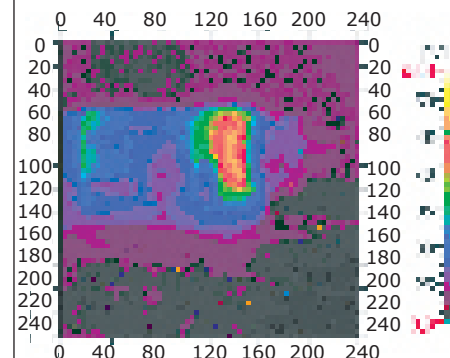
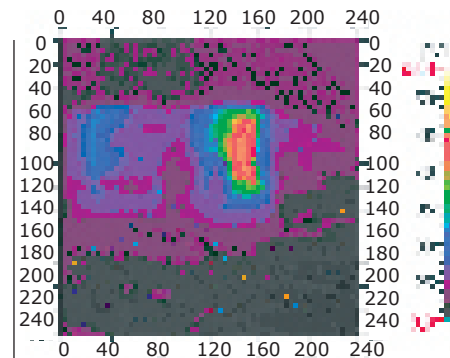
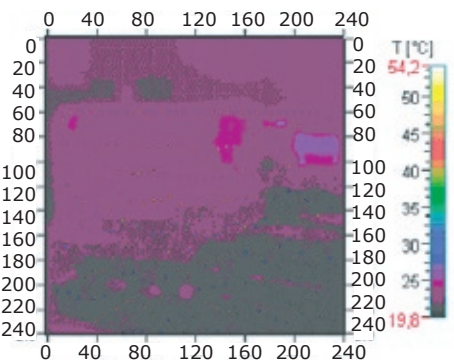
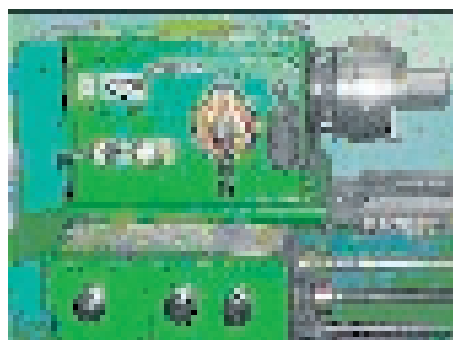
- wybór wskaźnika oceny stopnia nagrzania (wartości średniej, maksymalnej, rozkładu temperatury w otoczeniu źródła ciepła).

W zakresie procesu oceny diagnostycznej, wykonano następujące prace:

- rejestrację zobrażeń termalnych wybranych powierzchni wrzeciennika podczas nagrzewania się zespołów funkcjonalnych tokarki (co 30min, aż do osiągnięcia stanu ustalonego, przy $n_{\max}=2000\text{obr/min}$),
- rejestrację obrazów termalnych wybranych powierzchni w stanie cieplnym ustalonym (po czasie $t=150\text{min}$, przy $n_{\max}=2000\text{obr/min}$),
- wielokrotne ($i=20$) powtarzanie pomiarów dla tych samych - ustalonych warunków pomiaru.

Zgodnie z zaleceniami przedstawionymi w pracy [2] proces wnioskowania polegał na ocenie stabilności źródeł ciepła badanej tokarki, przyjmując jako kryterium stabilności różnicę powtarzalności stanów cieplnych nie większą niż 5% (max). Istotna niepowtarzalność (przekraczająca 5% dopuszczalnego poziomu różnic pomiędzy kolejnymi stanami cieplnymi) mogłaby świadczyć o niewłaściwych warunkach pracy par kinematycznych (przekładni zębatych, węzłów łożyskowych, węzłów tarciovych - prowadnic itp.) lub innych źródeł ciepła.

Ciąg dalszy na stronie 20



Rys. 3. Termogramy wrzeciennika tokarki uniwersalnej rejestrowane podczas biegu luzem (bez obciążenia) dla $n=n_{\max}=2000\text{obr/min}$: a) widok ogólny obiektu badań, b) termogram obiektu w chwili początkowej $t=0\text{min}$, c) termogram obiektu po czasie $t=30\text{min}$, d) termogram obiektu po czasie $t=60\text{min}$, e) termogram obiektu po czasie $t=90\text{min}$, f) termogram obiektu po czasie $t=120\text{min}$, g) termogram obiektu po czasie $t=150\text{min}$

OCENA STANU CIEPLNEGO WRZECIENNIKA TOKARKI UNIWERSALNEJ

Dokończenie ze str. 19

Poszukiwanie przyczyn niestabilności powinno być wówczas przeprowadzane w oparciu o dokumentację konstrukcyjną oraz techniczno - ruchową tokarki. Wybrane wyniki pomiarów przedstawiono na rys. 3.

Wynika z nich jednoznacznie, że stan termiczny obrabiarki oraz stabilizacja wartości temperatury ściśle zależą od czasu ekspozycji. Dla biegu luzem, przy maksymalnej nastawie prędkości obrotowej $n=n_{max}=2000\text{obr./min}$, czas ustania wyniósł 150min. Z zaprezentowanych na rys. 3 zobrazowań źródłem ciepła jest węzeł łożyskowy przedniej końcówki wrzeciona. Temperatura w tej części wrzecionnika przyjmuje najwyższą wartość. Z analizy termogramów wynika również, że łożysko tylnej końcówki wrzeciona generuje nieco mniejszą ilość ciepła, co przy sprzyjających warunkach jego odprowadzania z tej strefy (wirujące przekładnie zębate w tylnej części wrzecionnika – napęd ruchu głównego) skutkuje niższą wartością temperatury na ściankach zewnętrznych wrzecionnika. Różnice w rozkładach wartości tem-

peratury w kolejnych próbach świadczą o niewłaściwej pracy par kinematycznych. Okazuje się również, że istotnym czynnikiem warunkującym termalną mapę rozkładu temperatury wrzecionnika tokarki ma jego obciążenie siłami pochodzącymi od realizowanego procesu skrawania (wyniki nie zamieszczone w pracy).

4. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Ocena stanu cieplnego maszyny technologicznej i jej stabilności jest jednym z podstawowych zadań dotyczących maksymalizacji dokładności obróbki. Ponadto, stan cieplny obrabiarki oraz stabilność termiczna mogą świadczyć o zachodzących procesach destrukcyjnych w węzłach kinematycznych maszyny.

Ocena stanu cieplnego maszyny technologicznej może być dokonywana na podstawie analizy rozkładu wartości temperatury w strategicznych miejscach w obrębie obrabiarki lub w oparciu dynamikę przyrostów temperatury. Dokładność i wiarygodność oceny stanu cieplnego obrabiarki zależy między innymi od zastosowanych narzędzi pomiarowych. Wykorzystanie bezkontaktowej metody pomiaru, opartej na termografii, zwiększa

wiarygodność uzyskiwanych rezultatów badań oraz umożliwia pełną wizualizację rozkładu temperatury na ich powierzchni. Poprzez zastosowanie systemu termograficznego w diagnostyce termalnej maszyn technologicznych, można istotnie ograniczyć konieczność stosowania kosztownych i czasochłonnych procedur diagnostycznych, opartych na pomiarach punktowych.

Uzyskane na podstawie przeprowadzonych pomiarów symptomy diagnostyczne w postaci termogramów, stanowią bazę do określania bieżącego stanu maszyny technologicznej. Wynika z nich jednoznacznie, w których miejscach usytuowane są źródła ciepła na obrabiarce. Pozwala to na precyzyjną identyfikację obszarów w których straty energetyczne są największe. Na podstawie przeprowadzonych badań można stwierdzić, że największym źródłem ciepła wrzecionnika tokarki uniwersalnej jest łożyskowanie przedniej końcówki wrzeciona. Wartość temperatury ścianki korpusu w tym miejscu osiąga najwyższą wartość. Efektem znacznego przyrostu temperatury korpusu wrzecionnika i jej nierównomiernego rozkładu są przemieszczenia, które w sposób istotny wpływają na dokładność kształtowanych elementów. Otrzymane na podstawie badań zobrazowania termalne, w kolejnych próbach (20) różnią się między sobą na poziomie wyższym od przyjętego 5% kryterium w około 8 przypadkach. Zaobserwowane, znaczne różnice w rozkładach pomiędzy poszczególnymi próbami świadczą o niewłaściwej pracy par kinematycznych (przekładni zębatych, węzłów łożyskowych i innych węzłów tarciowych wrzecionnika tokarki).

Jerzy JÓZWIK, Robert MADEJ, Renata WÓJCIK

**Politechnika Lubelska
Wydział Mechaniczny**

5. LITERATURA

[1] Róžański L., Poloszyk S.: Zastosowanie termowizji w diagnostyce maszyn. Praca zbiorowa pod red. Henryka Madury: Pomiary termowizyjne w praktyce. Agenda Wydawnicza Pomiary Automatyka Kontrola. Warszawa 2004, s. 75-83.
[2] Poloszyk S., Róžański L., Kształtowanie właściwości metrologicznych systemów diagnostyki ter-

mograficznej, Pomiary Automatyka Kontrola, nr 4, 2002.
[3] Chajda J., Poloszyk S., Róžański L., Próba wykorzystania obrazów termalnych do oceny stanu technicznego maszyn technologicznych, VIII Konferencja Naukowo-Techniczna "Metrologia w technikach wytwarzania części maszyn", Szczecin'99, Materiały konferencyjne, tom I, str. 463-470, Szczecin, 1999.
[4] Staniek R., Róžański L., Thermography in the Studies of

the Thermal Characteristics of Numerically Controlled Vertical Knee-type Milling Machines, Quantitative InfrRed Thermography 6, QIRT'2002, Dubrovnik, 2002

THE HEAT-BALANCE EVALUATION OF THE TURNING LATHE

Summary: the work presents the proceedings involved in the heat-balance evaluation of the headstock. It also contains the

results of the research, which form the basis for the conclusions (the possible causes of the thermal instability of the lathe as well as possible solutions to the problem).

Uwaga!
Artykuły do następnego numeru przyjmujemy do 25 czerwca br.