ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1989

Seria: MECHANIKA z. 92 Nr kol. 1027

XIII MIĘDZYNARODOWE KOLOKWIUM
"MODELE W PROJEKTOWANIU I KONSTRUOWANIU MASZYN"

12th INTERNATIONAL CONFERENCE ON
"MODELS IN DESIGNING AND CONSTRUCTIONS OF MACHINES"

25-28.04.1989 ZAKOPANE

Zbigniew KOWAL
Zdzisław WINIARSKI

Instytut Technologii Budowy Maszyn
Politechnika Wrocławska

MODELOWANIE TERMOSPRĘŻYSTYCH ZJAWISK W DWUWARSTWOWYCH OBUDOWACH ŁOŻYSKOWYCH

Streszczenie. Przedstawiono podstawowe zależności opisujące termosprężyste zachowanie się obudowy łożyskowej zawierającej tuleję wykonaną z materiału o dużym współczynniku rozszerzalności cieplnej. Zamieszczono wyniki obliczeniowej analizy wpływu parametrów dwuwarstwowej obudowy na przyrost temperatury, straty mocy i sztywność zespołu łożysk. Dokonano porównania cieplnych i statycznych własności omawianego węzła łożyskowego z konstrukcją tradycyjną.

1. Wprowadzenie

Wzrost wymagań dotyczących efektywności skrawania prowadzi do zwiększenia prędkości obrotowych i obciążenia elementów układów napędowych obrabiarek. W rezultacie tego obserwuje się niekorzystny wzrost strat energetycznych i odkształceń termicznych obrabiarki, które powodują zmniejszenie dokładności obróbki.

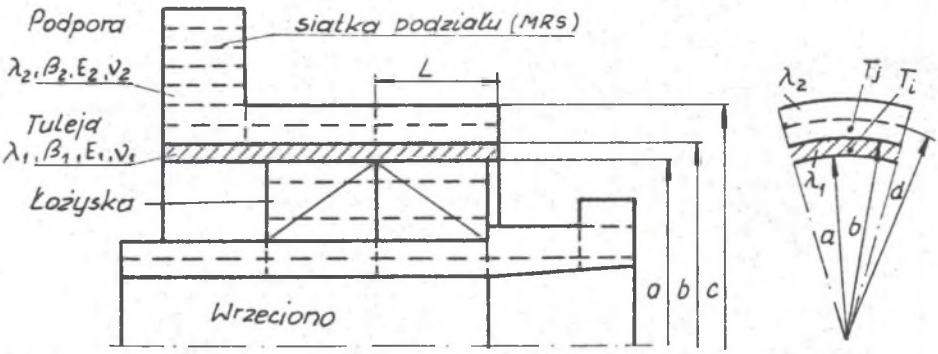
Cieplna charakterystyka obrabiarki w dużym stopniu zależy od konstrukcji węzłów łożyskowych jej wrzeciona. Projektując je, konstruktor dąży do zapewnienia dużej sztywności węzła w całym zakresie prędkości obrotowych wrzeciona. Przy tradycyjnych obudowach przyjęcie wysokiej sztywności pomontażowej węzła łożyskowego powoduje często przekroczenie dopuszczalnej temperatury łożysk podczas pracy na maksymalnych prędkościach obrotowych. To nadmierne nagrzewanie się łożysk jest spowodowane wzrostem ich napięcia w wyniku termosprężystego oddziaływania wrzeciona łożysk oraz obudowy. Aby przeciwdziałać tym niepożądanym skutkom zjawisk termosprężystych, łożyska można osadzać w obudowie za pośrednictwem tulei wykonanej z materiału o dużym współczynniku rozszerzalności cieplnej.

Celem referatu jest przedstawienie możliwości wyznaczania parametrów takich dwuwarstwowych obudów łożyskowych zapewniających osiągnięcie pożądanych własności cieplnych i statycznych wrzecionowych węzłów łożyskowych.

2. Obliczanie termosprężystego zachowania się dwuwarstwowej obudowy łożyskowej

Do przeprowadzenia obliczeniowej analizy oddziaływania różnych parametrów węzłów łożyskowych na ich straty mocy, temperaturę pracy i sztywność statyczną, służy program komputerowy BASTR [1]. Istniejący model matematyczny węzła zakłada jednolity materiał obudowy łożysk. Aby umożliwić obliczanie własności węzłów łożyskowych, w których łożyska osadzane są w obudowie za pośrednictwem tulei wykonanej z innego materiału, należy dokonać zmian w dotychczasowych modelach do obliczania rozkładu temperatury i przemieszczeń obudowy.

Rozkłady temperatury wyznaczane są w oparciu o metodę różnic skończonych [2]. Model geometryczny węzła z dwuwarstwową obudową i wymaganą siatką dyskretyzacji przedstawia rys.1.



Rys.1 Geometryczny model węzła łożyskowego z dwuwarstwową obudową łożysk

Fig.1 Geometric model of a bearing unit with the two-layer housing

Strumienie ciepła przewodzonego między elementami dyskretyzacji muszą uwzględniać różne współczynniki przewodzenia materiałów obudowy.

Przykładowo, dla kierunku promieniowego, strumień Q_{ij} /p.rys.1/ opisują zależności

$$Q_{ij} = \frac{\pi \cdot L}{R} (T_i - T_j), \tag{1}$$

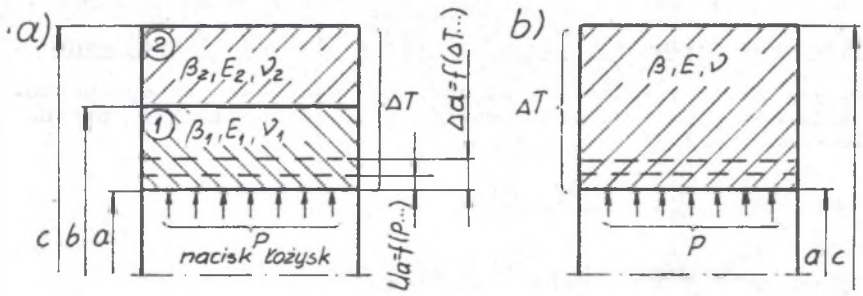
$$R = \frac{\ln \frac{b}{0,5(a+b)}}{2\lambda_1} + \frac{\ln \frac{0,5(b+d)}{b}}{2\lambda_2} \tag{2}$$

w których: T_i, T_j - temperatury elementów i oraz j,

λ_1, λ_2 - współczynniki przewodzenia ciepła pierwszej i drugiej warstwy obudowy.

Zmiana strumieni cieplnych dotyczy elementów podziału leżących w obrębie tulei lub graniczących z nimi. Strumienie te należy wprowadzić do układu równań bilansu cieplnego, a następnie wyznaczyć z niego nieznane temperatury.

Przemieszczenia obudowy łożysk zachodzące pod wpływem nacisku wywieranego przez łożyska oraz rozszerzalności cieplnej są dotychczas obliczane na podstawie zależności opisujących zagadnienie Lame'go dla jednolitej rury grubościennej /p.rys.2b/.



Rys.2 Schemat przemieszczeń obudowy łożyskowej: a/dwuwarstwowej, b/ jednolitej
Fig.2 Displacement scheme for a: /a/ two-layer, /b/ homogenous bearing housing

Do obliczania zmian średnicy wewnętrznej U_a, tulei osadzonej w obudowie bez luzu dodatniego /p.rys.2a/, pod wpływem nacisku p, należy stosować następujące zależności:

$$U_a = p \frac{a}{E_1} \left(\frac{a^2+b^2}{b^2-a^2} + \nu_1 \right) - p_s \frac{a}{E_1} \frac{2b^2}{b^2-a^2}, \tag{3}$$

$$p_s = p \frac{\frac{1}{E_1} \frac{2a^2}{b^2-a^2}}{\frac{1}{E_2} \left(\frac{b^2+c^2}{c^2-b^2} + \nu_2 \right) + \frac{1}{E_1} \left(\frac{a^2+b^2}{b^2-a^2} - \nu_1 \right)} \tag{4}$$

w których: E_1, E_2 - moduły Younga materiału 1 i 2,
ν_1, ν_2 - współczynniki Poissona materiału 1 i 2,
p - nacisk wywierany przez łożyska.

Dla obudowy dwuwarstwowej /rys.2a/ cieplną zmianę średnicy wewnętrznej Δa tulei należy wyznaczać z zależności:

$$a = \beta \cdot a \cdot \Delta T, \tag{5}$$

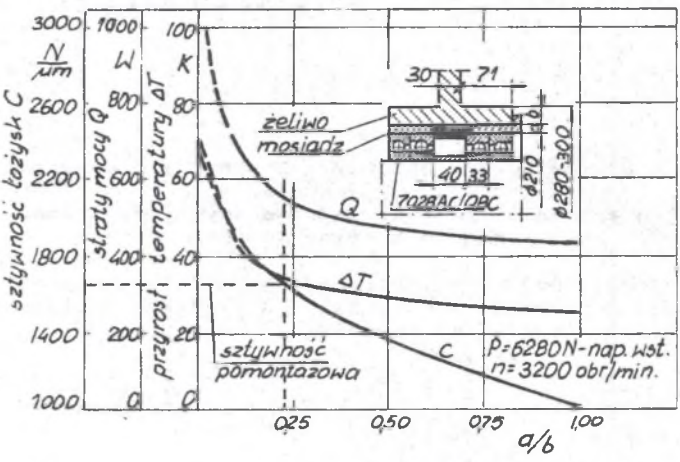
$$\beta = \beta_1 - \frac{1}{E_1}\,\frac{2b^2}{b^2-a^2}\,\frac{\beta_1-\beta_2}{\frac{1}{E_2}\left(\frac{b^2-c^2}{c^2-b^2}+\nu_2\right)+\frac{1}{E_1}\left(\frac{a^2+b^2}{b^2-a^2}-\nu_1\right)} \qquad (6)$$

w których: ΔT - średni przyrost temperatury obudowy,
β_1, β_2 - współczynniki rozszerzalności cieplnej materiału 1 i 2.

Wyprowadzone zależności opisujące U_a i Δa należy zastosować przy wyznaczaniu luzu roboczego łożysk, rezygnując z dotychczasowych.

3. Wpływ dwuwarstwowej obudowy na własności węzła łożyskowego

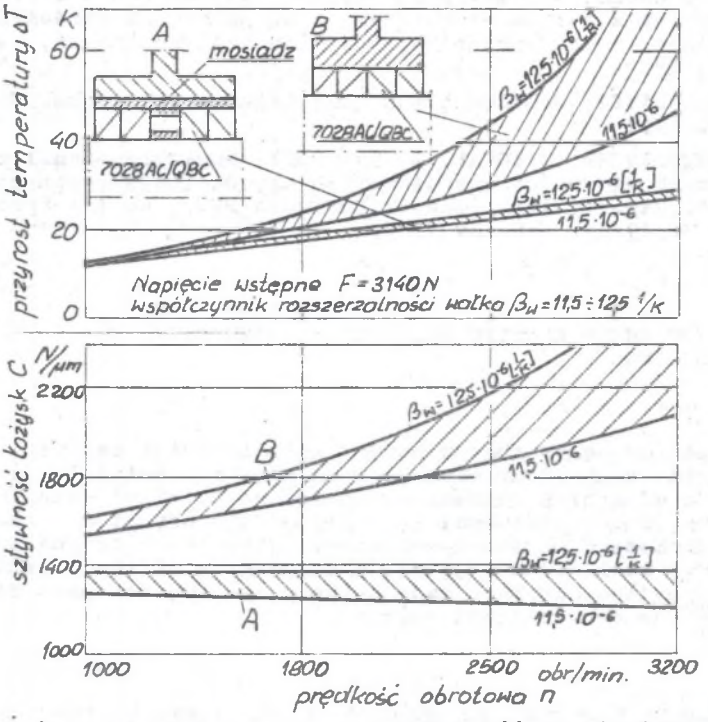
Do określenia cieplnych i statycznych własności przeprowadzono obliczenia [3] węzła łożyskowego, którego konstrukcję przedstawiono na rys.3.



Rys.3 Wpływ grubości tulei mosiężnej na własności węzła łożyskowego
Fig.3 Effect of the brass sleeve thickness on the bearing unit properties

Zespół czterech skośnych łożysk kulkowych osadzony jest w żeliwnej podporze wrzeciona, za pośrednictwem mosiężnej tulei o współczynniku rozszerzalności $\beta_1 = 21 \cdot 10^{-6}\ K^{-1}$; około dwa razy większym niż dla żeliwa. Wyniki obliczeń /p.rys.3/ wskazują, że wzrost grubości tulei, przy stałej zewnętrznej średnicy nadlewu, zmniejsza przyrosty temperatury, straty mocy i promieniową sztywność łożysk. Przyczyną jest termosprężyste oddziaływanie mosiężnej tulei na żeliwny nadlew, obniżające napięcie łożysk. Jeśli na przedstawiony wykres zostanie naniesiona sztywność łożysk dla ich napięcia pomontażowego, to można określić wymiary tulei (a/b = 0,23), przy których sztywność ta zostanie zachowana

również w czasie pracy łożysk. Dla a/b> 0,23 sztywność łożysk w czasie pracy będzie mniejsza od pomontażowej. Rozwiązania takie charakteryzują się znacznie mniejszymi stratami mocy i przyrostami temperatury pracy łożysk niż dla obudowy bez tulei a/b=0. Na rys.4 przedstawiono porównanie własności cieplnych i statycznych dla węzła łożyskowego z obudową jednolitą oraz dwuwarstwową a/b = 0,23 .



Rys.4 Przyrost temperatury i sztywność promieniowa łożysk w funkcji prędkości obrotowej dla jednolitej i dwuwarstwowej obudowy

Fig.4 Temperature rise and the radial rigidity of bearings as a function of rotational speed for homogenous and two-layer housings

Przebieg temperatury, a także sztywności, w zależności od prędkości obrotowych, jest znacznie korzystniejszy dla konstrukcji z tuleją. Ponadto konstrukcja taka jest mniej wrażliwa na zmiany parametrów takich, jak stałe materiałowe wrzeciona czy luzy pomontażowe.

4. Podsumowanie

Konstrukcja obudowy łożysk z mosiężną tuleją umożliwia osiąganie większych prędkości obrotowych wrzeciona oraz niższych temperatur pracy i strat mocy łożysk w porównaniu do konstrukcji o jednolitej obudowie żeliwnej. Przedstawiony model obliczenio-

wy daje konstruktorowi możliwość określania parametrów tulei i nadlewu zapewniających uzyskanie pożądanej termiczno-sztywnościowej charakterystyki projektowanego węzła łożyskowego.

LITERATURA

[1] Sz. STRAUCHOLD: Optymalizacja węzłów łożyskowych wrzecion obrabiarek z łożyskami tocznymi z uwagi na ich właściwości termiczne. Praca doktorska, Politechnika Wrocławska, Wrocław 1982.

[2] A.A. SAMARSKIJ: Wwiedienije w tieoriju raznostnych schem. Nauka, Moskwa 1971.

[3] J. JĘDRZEJEWSKI, Z. KOWAL, Z. WINIARSKI: Numeryczna analiza cieplnych własności wrzecionowych węzłów łożyskowych tokarki TZB. Raporty Inst. Technol. Bud. Masz. PWr., serii: Sprawozdania Nr 29/84, Wrocław 1984.

MODELLING OF THERMOELASTIC PHENOMENA IN TWO-LAYER BEARING HOUSINGS

S u m m a r y

The paper presents the principal relationships describing thermoelastic bechaviour of a bearing housing containing a sleeve made of a high thermal expansion coefficient material. The results of computational analysis of the effect of two-layer housing parameters on the temperature rise, power losses and the bearing unit rigidity are given. A comparison of the thermal and static properties has been made between the bearing unit discussed and the conventional design.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕРМОУПРУГИХ ЯВЛЕНИЙ В ДВУХСЛОЙНЫХ КОРПУСАХ ПОДШИПНИКОВ

Резюме

Представлены основные зависимости характеризующие термоупругие взаимодействия в корпусе подшипника, содержащим втулку из материала с большим коэффицентом температурного расширения. Помещены результаты расчетного анализа влияния параметров двухслоиного корпуса на приращение температуры, потери мощности и жесткость подшипникого узла. Произведено сравнение термических и статических своиств описываемого подшипникового узла и узла обыкновенной конструкции.

Recenzent: prof. dr inż. H. Jakubowicz

Wpłynęło do Redakcji 15.XII.1988 r.