

PROBLEMY NIEKONWENCJONALNYCH UKŁADÓW ŁOŻYSKOWYCH

Łódź, 12 – 14 maja 1999 r.

Karol Krzemiński
Politechnika Warszawska

DWUCZĘŚCIOWE ŁOŻYSKO POROWATE

SŁOWA KLUCZOWE:

łożysko ślizgowe, tuleja porowata, przepuszczalność globalna, rozkłady przepuszczalności

STRESZCZENIE

W pracy przedstawiono teoretyczną analizę wpływu rozkładu przepuszczalności w tulei porowatej w kierunku osiowym na parametry pracy łożyska porowatego. Na podstawie uzyskanych wyników stwierdzono, że korzystniejsze własności użytkowe daje łożysko z dwuczęściową tuleją porowatą składającą się z dwu połówek tulei prasowanych jednostronnie.

WSTĘP

Budowa wewnętrzna tulei porowatej, głównie jej porowatość i przepuszczalność, mają istotny wpływ na charakterystyki pracy łożyska. Tuleja porowata ze względu na technologię jej produkcji uzyskuje anizotropowy rozkład porowatości i przepuszczalności zarówno w kierunku osiowym jak i wzdłuż grubości ścianki. W wyniku dwustronnego prasowania największy zgniot występuje na czołach tulei, a maleje w kierunku środka tulei. Daje to w efekcie największą przepuszczalność w środku długości tulei, która maleje w kierunku obu czoł. Z kolei zmienną przepuszczalność wzdłuż grubości ścianki uzyskuje tuleja w wyniku operacji kalibrowania.

Anizotropowa budowa tulei porowatej wpływa korzystnie na warunki pracy łożyska, zwiększa jego nośność, zmniejsza współczynnik tarcia w łożysku, a także ma istotny wpływ na cyrkulację oleju w łożysku, zwłaszcza pracującym w warunkach samosmarowania. Malejąca w kierunku obu czoł przepuszczalność powoduje zmniejszenie wpływów bocznych w łożysku, co w sposób zdecydowany przedłuża trwałość łożyska. Obszerną analizę głównych kierunków anizotropii w produkowanych tulejach porowatych oraz wpływu tej anizotropii na charakterystyki pracy łożyska porowatego przedstawiono w pracach [1,4].

W niniejszym opracowaniu ograniczono analizę do anizotropii osiowej w tulei porowatej, a w szczególności do poszukiwania optymalnych jej rozkładów, dla których łożysko porowate osiąga najlepsze własności użytkowe. Z przeprowadzonej analizy wynika, że lepsze własności użytkowe przy tych samych gabarytach i tej samej przepuszczalności globalnej uzyskuje łożysko dwuczęściowe, składające się z dwóch tulei prasowanych jednostronnie.

ROZKŁADY PRZEPUSZCZALNOŚCI W PRODUKOWANYCH TULEJACH POROWATYCH

Jednocześnie tuleje porowate stosowane dotychczas w łożyskach ślizgowych są dwustronnie prasowane, co powoduje, że mają anizotropowy rozkład przepuszczalności w kierunku osiowym. Rozkład przepuszczalności w kierunku osiowym w zależności od warunków prasowania oraz od długości tulei może być liniowo zapisany w postaci:

$$\phi_z = A(1-z)$$

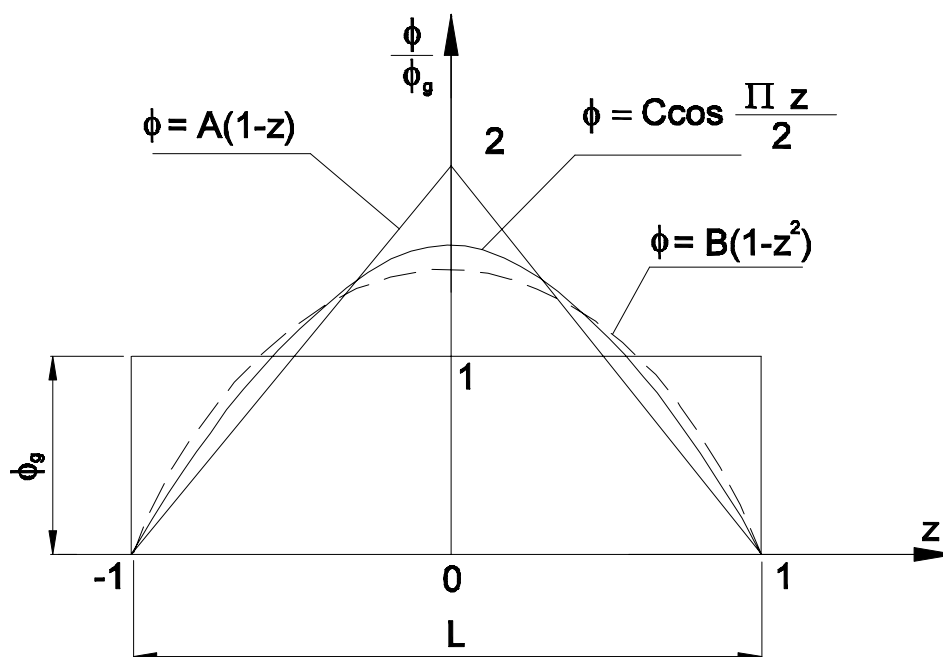
lub paraboliczny

$$\phi_z = B(1-z^2),$$

czy trygonometryczny

$$\phi_z = c \cos \frac{\Pi z}{2},$$

gdzie A, B, C amplitudy przepuszczalności (rys.1).



Rys. 1. Rozkłady przepuszczalności w kierunku osiowym dla stałego, liniowego, parabolicznego i trygonometrycznego rozkładu

Rozkłady te pokrywają się w zasadzie z wynikami badań eksperymentalnych przeprowadzonych przez autora [2]. Dla ułatwienia analizy przyjęto, że pory na czołach tulei zostały całkowicie zakryte. Amplitudy przepuszczalności A, B, C oblicza się przy założeniu, że przepuszczalność globalna dla wszystkich przypadków jest jednakowa i równa się ϕ_g .

Aby określić wpływ anizotropowego rozkładu przepuszczalności na nośność i rozkład ciśnienia w łożysku należy rozwiązać równania ruchu w szczelinie smarnej i tulei porowatej (rys.2). Przyjmując, że przepływ jest laminarny, izotermiczny, newtonowski, ciecz jest nieściśliwa o stałej lepkości, ruch cieczy w szczelinie smarnej można opisać równaniem Reynoldsa, a w tulei porowatej równaniem Laplace'a.

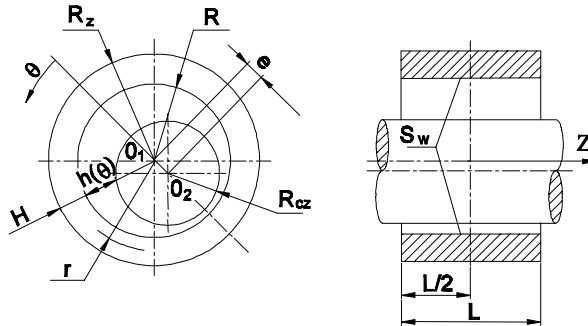
$$\frac{1}{R^2} \frac{\partial}{\partial \theta} \left(\frac{h^3}{12\eta} \frac{\partial p}{\partial \theta} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{h^3}{12\eta} \frac{\partial p}{\partial z} \right) = \frac{1}{2} U \frac{dh}{Rd\theta} - w_o \quad (1)$$

$$\frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial \theta} \left(k_\theta \frac{\partial p^x}{\partial \theta} \right) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(k_r \cdot r \frac{\partial p^x}{\partial r} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k_z \frac{\partial p^x}{\partial z} \right) = 0 \quad (2)$$

gdzie:

$$h = c(1 + \varepsilon \cos\theta)$$

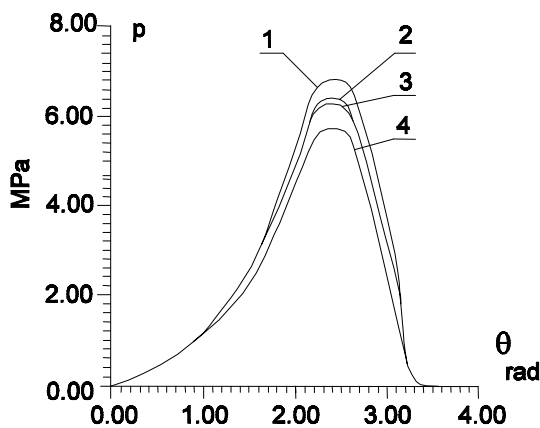
k_θ, k_r, k_z – lokalne współczynniki przepuszczalności ($k_i = \phi_i / \eta$)



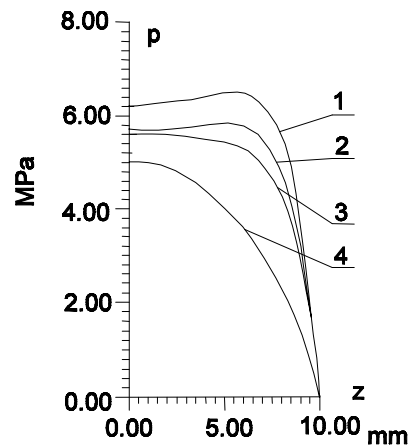
Rys.2. Schemat łożyska porowatego

Rozwiązując układ równań (1) i (2) otrzymuje się rozkłady ciśnień w filmie smarnym, z których można obliczyć nośność i współczynnik tarcia w łożysku. Szczegółowy opis rozwiązania metodą elementów skończonych wraz z warunkami brzegowymi podano w pracy [3]. Otrzymane z rozwiązań równań (1) i (2) rozkłady ciśnień w filmie smarnym dla tulei o stałej przepuszczalności $\phi_z = \phi_g$, zmiennej liniowo $\phi_z = A(1-z)$, parabolicznie $\phi_z = B(1-z^2)$ oraz trygonometrycznie $\phi_z = c \cos \frac{\pi z}{L}$ pokazano na rys. 3 i 4. Obliczenia przeprowadzono dla tulei o wymiarach $\phi 25/\phi 36 \times 20 \text{ mm}$, przepuszczalności globalnej $\phi_g = 1 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2$, pracującej przy prędkości obwodowej $v = 2 \text{ m/s}$, dla $\varepsilon = 0,98$ i dla oleju o lepkości $\eta = 0,1 \frac{\text{N} \cdot \text{s}}{\text{m}^2}$.

Z przedstawionych wykresów wynika, że najniższe ciśnienie w filmie smarnym, a zatem i najniższą nośność uzyskiwano dla tulei izotropowych, natomiast najwyższą nośność otrzymano dla tulei o liniowym rozkładzie przepuszczalności.



Rys. 3. Rozkłady ciśnień w filmie smarnym dla tulei o zmiennym rozkładzie przepuszczalności w kierunku osiowym



Rys. 4. Rozkład ciśnienia w kierunku osiowym. Oznaczenia jak na rys. 3

$$1 - \phi_1(z) = A(1 - z),$$

$$2 - \phi_z(z) = B(1 - z^2),$$

$$3 - \phi_3(z) = C \cos \frac{\Pi z}{L}, \quad 4 - \phi_z = \phi_g$$

OKREŚLENIE OPTIMALNYCH ROZKŁADÓW PRZEPUSZCZALNOŚCI W KIERUNKU OSIOWYM

W poszukiwaniu optymalnych rozkładów przepuszczalności przyjęto założenie, że przepuszczalność globalna nie ulega zmianie $\phi = \phi_g$, natomiast jej rozkład w kierunku osiowym powinien zapewnić maksymalną nośność i minimalny współczynnik tarcia w łożysku. Optymalnych rozkładów poszukiwano w postaci wielomianów opisanych przez funkcję $\phi_z = A(1 - z^m)^n$. W tym przypadku rozkład przepuszczalności można przedstawić w postaci:

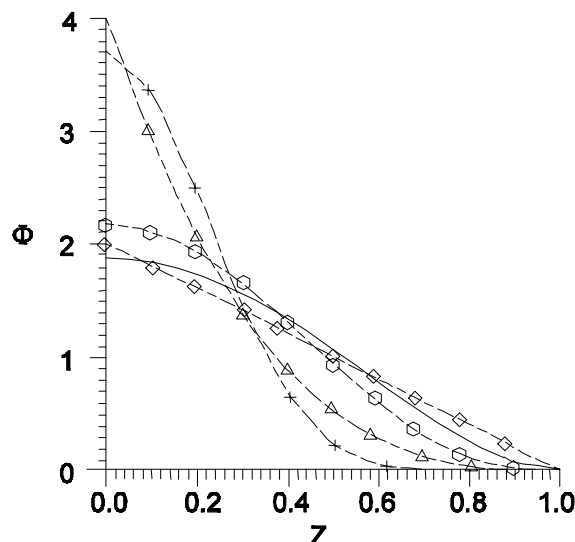
$$\phi(z, m, n) = A(m, n)(1 - z^m)^n \quad (3)$$

$$\langle \phi(z, m, n) \rangle > \phi_g \quad m, n \in R$$

gdzie

$$A(m, n) = \frac{m\Gamma(1 + n + m^{-1})}{\Gamma(1 - n)\Gamma(m^{-2})} \phi_g \quad (4)$$

Na rys. 5 pokazano przykładowo jak zmienia się przepuszczalność w kierunku z dla różnych wartości wykładników n i m .

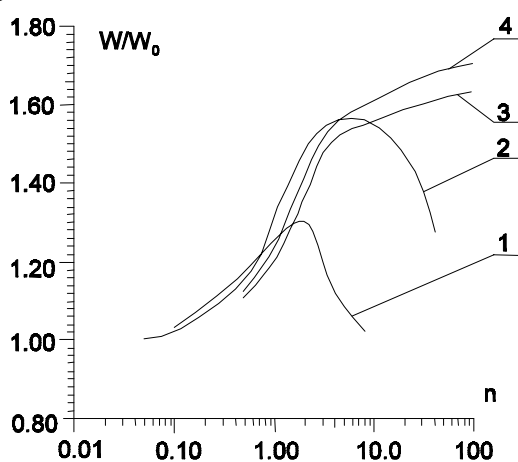


Rys. 5. Rozkład przepuszczalności w kierunku osiowym dla różnych wartości wykładników m i n , □ - $m = 1, n = 1$, ○ - $m = 2, n = 1$, * - $m = 2, n = 3$, + - $m = 2, n = 10$, ▽ - $m = 1, n = 3$

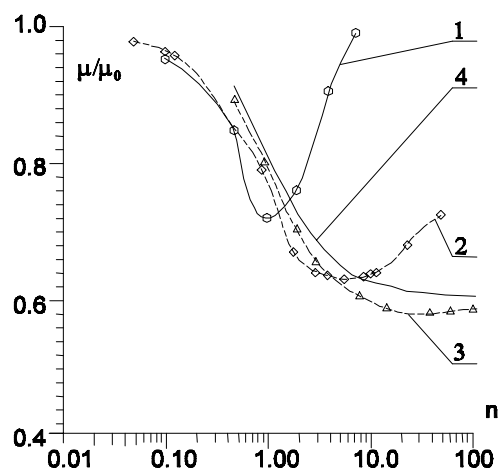
Rozwiązując z kolei układy równań (1) i (2) przyjmując różne rozkłady przepuszczalności w kierunku osiowym opisane równaniem (3) można obliczyć nośność i współczynniki tarcia dla różnych wykładników m i n w równaniu (3). Na rys. 6 i 7 pokazano jak zmienia się nośność łożyska i współczynnik tarcia w przypadku gdy wartości m zmieniają się w zakresie

$m = 1/8 - 3$ natomiast $n = 0,01 - 100$. Przez W_o oznaczono nośność łożyska z tuleją izotropową $\phi = const = \phi_g$, a przez W z tuleją anizotropową. Dla wykładników $m = 1/8$ i $m = 1$ przebiegi W/W_o mają maximum, natomiast dla $m \geq 2$ wartość W/W_o stale rośnie wraz ze wzrostem n .

Jak wynika z przedstawionych wykresów dla wykładników $m \geq 2$ nośność wzrasta około 1,7 razy wraz ze wzrostem n . Jednakże osiągnięcie tak dużych amplitud przepuszczalności ($\phi_{max} > 5$) w środku długości tulei prasowanej dwustronnie jest trudne technologicznie, zwłaszcza dla tulei krótkich. Znacznie łatwiej uzyskać takie rozkłady przepuszczalności dla tulei prasowanych jednostronnie. Wówczas zamiast jednej tulei można stosować dwie jednakowe połówki tulei prasowanych jednostronnie, zetkniętych ze sobą czołami o największej przepuszczalności. Wymiary łożyska jak i przepuszczalność globalna w obu rozwiązaniach pozostają takie same.



Rys. 6. Przyrost nośności dla różnych wartości wykładników m . 1 – $m = 1/8$, 2 – $m = 1$, 3 – $m = 2$, 4 – $m = 3$ jak na rys. 6.



Rys. 7. Zmiana współczynnika tarcia dla różnych wartości wykładników m . Oznaczenia jak na rys. 6.

Stosowanie dwuczęściowej tulei porowatej pozwala dla tych samych gabarytów łożyska uzyskać większe nośności, zmniejszyć znacznie współczynnik tarcia w łożysku oraz wpływa korzystnie na warunki cyrkulacji oleju w łożysku.

LITERATURA

1. Cieśllicki K., Krzemiński K.: Influence of the geometrical structure of porous on some tribological parameters of porous bearings. XXI Symposium on Tribology 6-9 Sept. 1994.
2. Krzemiński K.: Rozkłady przepuszczalności w porowatych tulejach łożyskowych opiekanych z proszków żelaza. Metalurgia Proszków 3/1983.
3. Krzemiński K.: Wykorzystanie metody elementów skończonych w problematyce hydrodynamicznego smarowania łożysk porowatych. Rozprawy Inżynierskie 1/1980.
4. Krzemiński K.: Globalna i lokalna przepuszczalność tulei porowatej i ich wpływ na własności ruchowe łożyska. Tribologia 6/1995.

TWO-PART POROUS BEARING

ABSTRACT

The paper presents a theoretical analysis of the influence of permeability distribution in axial direction in a porous sleeve on the parameters of a porous bearing work. The results indicate that a porous bearing with a two-part porous sleeve has better operational parameters when compared with a porous bearing with a double-sided pressing sleeve.

Recenzent: Jan Burcan