

Paweł JURCZAK*, Anna WALICKA*, Edward WALICKI*, Dariusz MICHALSKI*

*Instytut Budowy i Eksploatacji Maszyn

Uniwersytet Zielonogórski

ROZKŁAD CIŚNIENIA W SZCZELINIE ŁOŻYSKA POROWATEGO Z WYCISKANYM FILMEM PŁYNU Z NAPRĘŻENIAMI MOMENTOWYMI

WPROWADZENIE

Intensywne prace nad rozwojem środków smarnych spowodowały, pojawienie się nowych środków smarnych, mineralnych i syntetycznych. Oleje mineralne i syntetyczne uszlachetniane są różnymi dodatkami. Pojawienie się wtrąceń w cieczy macierzystej powoduje powstanie mikrostruktury w cieczy macierzystej.

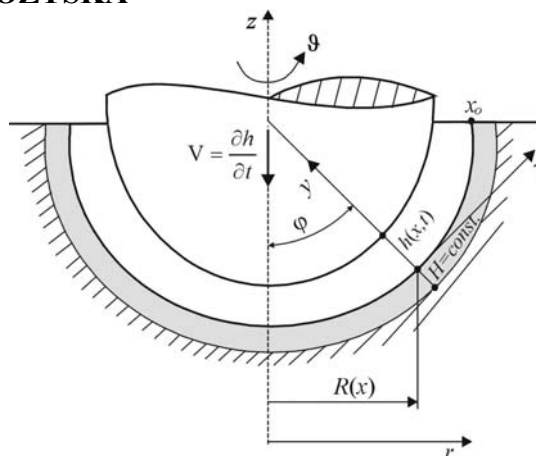
Do matematycznego opisu płynów z mikrostrukturą wykorzystuje się często model płynu z naprężeniami momentowymi zaproponowany przez Stokesa [3].

Celem tej pracy jest analiza teoretyczna krzywopowierzchniowego łożyska ślizgowego z wkładką porowatą, smarowanego płynem z naprężeniami momentowymi. Łożysko modelowane jest dwiema krzywoliniowymi powierzchniami o wspólnej osi symetrii. Dolna powierzchnia połączona jest z wkładką porowatą, opisaną modelem Darcy'ego. Równania Poissona i Reynoldsa rozwiązane zostaną przy wykorzystaniu przybliżenia Morgana-Cameron'a [2]

RÓWNANIA RUCHU W SZCZELINIE ŁOŻYSKA

Rozważmy przepływ płynu z naprężeniami momentowymi w szczelinie wzdłużnego łożyska o krzywoliniowym zarysie powierzchni roboczych. Łożysko przedstawiono na rysunku 1.

Równania nieustalonego osiowo-symetrycznego ruchu płynu z naprężeniami momentowymi można przedstawić w następującej postaci [1, 4, 5]:



Rys.1. Konfiguracja wyciskanego przepływu z jedną ścianką porowatą.

$$\frac{1}{R} \frac{\partial(Rv_x)}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} = 0, \quad (1)$$

$$\rho \left[\frac{\partial v_x}{\partial t} + \left(\frac{R'}{R} + \frac{\partial}{\partial x} \right) v_x^2 + \frac{\partial}{\partial y} (v_x v_y) \right] = -\frac{dp}{dx} + \mu \frac{\partial^2 v_x}{\partial y^2} - \eta \frac{\partial^4 v_x}{\partial y^4}. \quad (2)$$

Warunki brzegowe dla składowych prędkości i ciśnienia dane są następująco [1, 4, 5]:

$$v_x = 0, \quad v_y = V_H, \quad \frac{\partial^2 v_x}{\partial y^2} = 0 \quad \text{dla} \quad y = 0, \quad (3)$$

$$v_x = 0, \quad v_y = \frac{\partial h}{\partial t} = \dot{h}, \quad \frac{\partial^2 v_x}{\partial y^2} = 0 \quad \text{dla} \quad y = h, \quad (4)$$

$$\left. \frac{\partial p}{\partial x} \right|_{x=0} = 0, \quad p(x_0) = p_0. \quad (5)$$

Rozwiązując równanie (2) metodą uśrednionej bezwładności [4, 5] otrzymamy:

$$\frac{\partial^2 v_x}{\partial y^2} - l^2 \frac{\partial^4 v_x}{\partial y^4} = F(x, t), \quad \text{gdzie} \quad l^2 = \frac{\eta}{\mu} \quad (6)$$

Rozwiązanie równania (5) przyjmuje postać:

$$v_x = \frac{F}{2} \left[y^2 - hy + 2l^2 \left(l - \operatorname{ch} \frac{y}{l} - \frac{l - \operatorname{ch} \frac{h}{l}}{\operatorname{sh} \frac{h}{l}} \operatorname{sh} \frac{y}{l} \right) \right]. \quad (7)$$

Podstawiając wyrażenie (7) do równania (1) i wykonując jego całkowanie w poprzek szczeliny otrzymamy:

$$\frac{l}{R} \frac{\partial}{\partial x} (Rh^3 Ff) = 12 \left(\frac{\partial h}{\partial t} - V_H \right). \quad (8)$$

gdzie:

$$f(l, h) = 1 - 12 \left(\frac{l}{h} \right)^2 + 24 \left(\frac{l}{h} \right)^3 \operatorname{th} \left(\frac{h}{2l} \right). \quad (9)$$

W pierwszym przybliżeniu przepływ płynu z naprężeniami momentowymi w porowatej matrycy jest przepływem newtonowskim [1, 4, 5]; a więc jest określony prawem Darcy'ego [4, 5]; zatem:

$$\frac{l}{R} \frac{\partial}{\partial x} (Rh^3 Ff) = 12 \left[\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\Phi}{\mu} \left(\frac{\partial \bar{p}}{\partial y} \right) \right]_{y=0}, \quad (10)$$

gdzie \bar{p} jest ciśnieniem w porowatej matrycy.

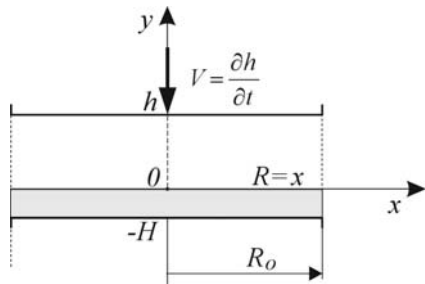
Stosując przybliżenie Morgana-Cameron dla przepływu w warstwie porowatej [1, 4, 5] wyznaczmy zmodyfikowane równanie Reynoldsa:

$$\frac{l}{R} \frac{\partial}{\partial x} (Rh^3 Ff) = 12 \left[\frac{\partial h}{\partial t} - \frac{\Phi H}{R} \frac{\partial}{\partial x} (RF) \right]. \quad (11)$$

Wynikiem rozwiązania równania Reynoldsa jest formuła na rozkład ciśnienia.

PRZYKŁAD ZASTOSOWANIA

Rozważmy łożysko płytkowe z wyciskaniem filmu przedstawione na rysunku 2. Wprowadzając następujące bezwymiarowe parametry :



$$\tilde{x} = \frac{x}{R_o}, \quad \tilde{R} = \frac{R}{R_o}, \quad \tilde{h} = E(t) = \frac{h}{h_o},$$

$$E(t) = 1 - \varepsilon(t), \quad K = \left(\frac{12\Phi H}{h_o^3} \right)^{\frac{1}{3}}, \quad (12)$$

Rys.2. Łożysko płytkowe.

$$\text{Re} = \frac{\rho h_o^2 \dot{\varepsilon}}{\mu}, \quad A = \frac{\ddot{\varepsilon} E}{\dot{\varepsilon}^2}, \quad l^* = \frac{l}{h_o},$$

gdzie

$$\dot{\varepsilon} = \frac{d\varepsilon}{dt}, \quad \ddot{\varepsilon} = \frac{d^2\varepsilon}{dt^2}, \quad f(l, h) = f(l^*) \approx 1 - 12l^{*2} \quad (\text{dla } l^{*2} \leq 0,2),$$

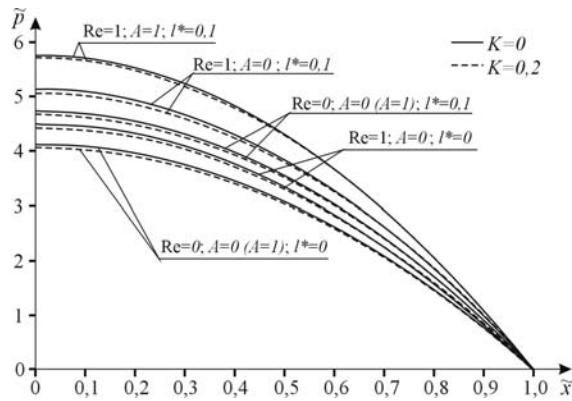
a h_o jest początkową wartością h , zaś l^* zdolnością do przeniesienia naprężeń momentowych. Można przedstawić zależność na rozkład ciśnienia w szczelinie łożyska:

$$\tilde{p} = \frac{p - p_o}{\mu \dot{\varepsilon}} \left(\frac{h_o}{x_o} \right)^2 = \left\{ \frac{3}{E^3} \left[1 + 12 \left(\frac{l^*}{E} \right)^2 - \left(\frac{K}{E} \right)^3 \right] + \frac{\text{Re}}{2E^2} \left[A + (3 + A) \left(\frac{K}{E} \right)^3 + \right. \right.$$

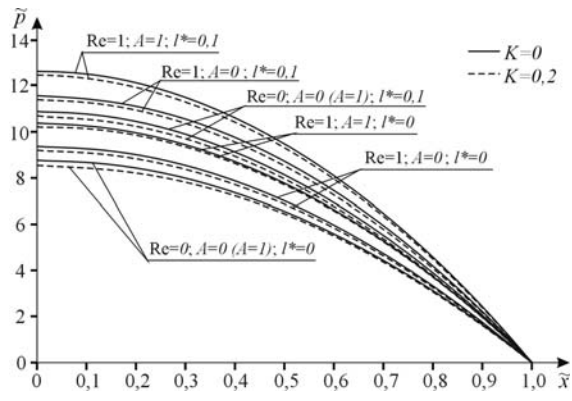
$$\left. + 72(4 + A) \left(\frac{l^*}{E} \right)^4 - 6(5 + A) \frac{l^{*2} K^3}{E^5} \right] + \frac{3\text{Re}}{10E^2} \left[1 + 4 \left(\frac{l^*}{E} \right)^2 - 2 \left(\frac{K}{E} \right)^3 - 336 \left(\frac{l^*}{E} \right)^4 + \right. \right.$$

$$\left. \left. + \left(\frac{K}{E} \right)^6 + 16 \frac{l^{*2} K^3}{E^5} - 2880 \left(\frac{l^*}{E} \right)^6 - 20 \frac{l^{*2} K^6}{E^8} + 480 \frac{l^{*4} K^3}{E^7} \right] \right\} (1 - \tilde{x}^2), \quad (13)$$

Bezwymiarowy rozkład ciśnienia w szczelinie łożyska przedstawiono na rysunkach 3-4; sporządzono je dla różnych etapów wyciskania filmu smarnego.



Rys.3. Rozkład ciśnienia w szczelinie łożyska płytkowego dla $\varepsilon = 0,1$ smarowanego płynem z naprężeniami momentowymi.



Rys.4. Rozkład ciśnienia w szczelinie łożyska płytkowego dla $\varepsilon = 0,3$ smarowanego płynem z naprężeniami momentowymi.

WNIOSKI

Z wykresów bezwymiarowego ciśnienia można wyciągnąć następujące wnioski:

- wzrost l^* prowadzi do znacznego wzrostu ciśnienia w szczelinie łożyska, w porównaniu z płynem newtonowskim ($l^* = 0$),
- efekty bezwładnościowe ($Re \neq 0, A \neq 0$) powodują niewielki wzrost ciśnienia,
- porowatość wkładki ($K \neq 0$) powoduje spadki ciśnienia,
- spadek względnej wysokości szczeliny E w łożysku powoduje wzrost ciśnienia.

LITERATURA

- [1] Jurczak P.: *Wpływ rodzaju medium smarnego na parametry mechaniczne wzdłużnego łożyska ślizgowego z porowatymi wkładkami*. Rozprawa doktorska, Uniwersytet Zielonogórski, Zielona Góra 2004, 1-240.
- [2] Morgan V.T., Cameron A.: *Mechanismus of lubrication in porous metal bearing*. Proc. Conf. on Lubrication and Wear, Inst. Mech. Eng., London 1957, 151-157.
- [3] Stokes V.K.: *Couple-stresses in fluids*. Phys. Fluids, 1966, v.9, no.9, 1709-1715.
- [4] Walicka A.: *Reodynamika przepływu płynów nienewtonowskich w kanałach prostych i zakrzywionych*. Red. Wyd. Nauk.-Techn. Uniwersytet Zielonogórski, Zielona Góra 2002, s.307
- [5] Валицка А.: *Ротационные течения реологически сложных сред в узких кольцевых каналах*, Red. Wyd. Nauk.-Techn. Uniwersytet Zielonogórski, Zielona Góra 2002, s.385.

PRESSURE DISTRIBUTION IN THE POROUS BEARING CLEARANCE WITH A SQUEEZED FILM OF A FLUID WITH COUPLE-STRESS

Summary: In the paper, the authors consider The flow of a couple-stress fluid in the clearance of a curvilinear thrust bearing with a porous pad. The bearing is modeled by two curvilinear surfaces and the porous pad is adhered to the curved non-porous surface. Using the Morgan-Cameron approximation for the flow in porous layer one may obtain the modified Reynolds equation and next the formulae for pressure distribution. As an example of application a thrust bearing modeled by two plane surfaces with one porous pad is discussed.