

Jerzy SAWICKI
Katedra Mechaniki Stosowanej
Akademia Techniczno-Rolnicza w Bydgoszczy

WPLYW POLA MAGNETYCZNEGO NA EFEKT WYCISKANIA
CIECZY FERROMAGNETYCZNEJ W ŁOŻYSKU
HYDROSTATYCZNYM

Streszczenie. Praca przedstawia analizę wpływu pola magnetycznego na efekt wyciskania cieczy ferromagnetycznej w szczelinie łożyska hydrostatycznego.

INFLUENCE MAGNETIC FIELDS ON EFFECTS SQUEESE
FERROMAGNETICFLUIDS IN HYDROSTATIC BEARINGS

Summary. The paper presents analysis influence magnetic fields on effect squeeze ferromagnetic fluid in a slot hydrostatic bearings.

ВЛИЯНИЕ МАГНИТНОВО ПОЛЯ НА ЭФФЕКТ
ВЫДАВЛИВАНИЯФЕРРОМАГНИТНОЙ ЖИДКОСТИ В
ГИДРОСТАТИЧЕСКОМ ПОДШИПНИКУ

Резюме. Работа представляет ахализу влияния магнитного поля на эффект выдавливания ферромагнитной жидкости в щели гидростатического подшипника.

1. WPROWADZENIE

Laminarne przepływy cieczy lepkiej ferromagnetycznej w szczelinach płaskich i krzywoliniowych w obecności zewnętrznego pola magnetycznego odgrywają coraz bardziej istotną rolę w technice. Dlatego też badania w tej dziedzinie z uwagi na liczne zastosowania (łożyska ślizgowe, uszczelnienia, sprzęgła) budzą duże zainteresowanie [4].

Jednym z istotnych zjawisk występujących w zagadnieniach smarowania jest efekt wyciskania filmu olejowego. Klasyczną teorię wyciskania filmu olejowego między płaskimi i kołowymi powierzchniami przedstawiono w pracy [1].

W pracy [2] analizowano problem wyciskania cieczy nienewtonowskiej, natomiast praca [3] omawia zagadnienie wyciskania cieczy przewodzącej elektrycznie w obecności zewnętrznego pola magnetycznego.

Celem pracy jest zbadanie wpływu pola magnetycznego na efekt wyciskania cieczy ferromagnetycznej w płaskim łożysku hydrostatycznym.

2. RÓWNIANIA RUCHU CIECZY FERROMAGNETYCZNEJ

Rozpatrywany przepływ odbywa się w obecności zewnętrznego, stacjonarnego, niejednorodnego pola magnetycznego $H_x = r_z H_0 / r$. Ponadto zakłada się, że ciecz ferromagnetyczna jest nieprzewodząca elektrycznie, a wektory natężenia pola magnetycznego H i namagnesowania M są równoległe [rys.1].

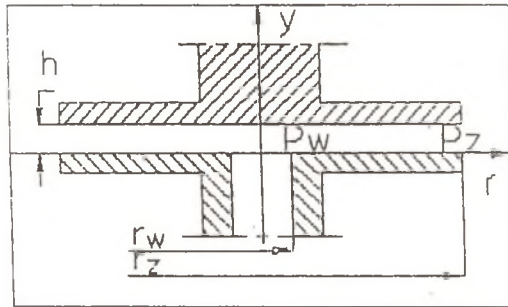
W oparciu o zasady zachowania masy i pędu, równania ruchu przyjmują postać:

$$\nabla \nabla = 0 \quad (1)$$

$$\rho (\nabla \nabla) \nabla = -\nabla p + \mu \Delta \nabla + \mu_0 (\nabla \nabla) H \quad (2)$$

gdzie: V - wektor prędkości,

ρ, p, μ - gęstość, ciśnienie, współ. lepkości dynamicznej.



Rys. 1.

Fig.1.

Równania (1) i (2) wymagają do ich zamknięcia dodatkowych równań opisujących pole magnetyczne:

$$\nabla \times H = 0, 7$$

$$\nabla B = 0, \quad (3)$$

$$B = \mu_0 (H + M),$$

gdzie: B -wektor indukcji magnetycznej
 μ_0 - współprzenikalności magnetycznej próżni.

Dokonując w równaniach (1)-(3) oszacowań charakterystycznych dla tzw. cienkich warstw ($h < r$) oraz biorąc pod uwagę założenia dotyczące konfiguracji pola magnetycznego równania ruchu można przedstawić następująco:

$$\frac{1}{r} \frac{\partial (r v_x)}{\partial r} + \frac{\partial v_y}{\partial y} = 0, \quad (4)$$

$$-\frac{v_\theta}{r} = -\frac{\partial p}{\partial r} + \mu \frac{\partial^2 v_x}{\partial y^2} + \mu_0 M_x \frac{\partial H_x}{\partial x}, \quad (5)$$

$$0 = \frac{\partial^2 v_\theta}{\partial y^2}, \quad (6)$$

$$0 = \frac{\partial p}{\partial y}, \quad (7)$$

$$M_x = M_0; \quad H_x = \frac{r_z}{r} H_0, \quad (8)$$

Rozwiązania układu równań (4)-(8) powinny spełniać warunki brzegowe:

$$v_x = 0 \quad \text{dla} \quad y = h \quad \text{i} \quad y = 0,$$

$$v_\theta = 0 \quad \text{dla} \quad y = 0; \quad v_\theta = \omega r \quad \text{dla} \quad y = h, \quad (9)$$

$$p = p_w \quad \text{dla} \quad r = r_w,$$

$$p = p_z \quad \text{dla} \quad r = r_z.$$

3. CAŁKI RÓWNAŃ RUCHU

Rozwiązując układ równań (4)-(7) oraz korzystając z warunków brzegowych (9), a ponadto przyjmując, że

$$Q = 2\Pi r \int_0^h v_x dy = - \frac{dh}{dt} \Pi (r^2 - r_w^2)$$

otrzymamy następujące formuły określające składowe prędkości i ciśnienia w szczelinie łożyska:

$$v_\theta = \omega r \frac{y}{h}, \quad (10)$$

$$v_x = \frac{1}{2\mu} \left(\frac{\partial p}{\partial x} + \mu_0 M_O H_O \frac{r_z}{r^2} \right) (y^2 - hy) - \frac{\rho}{\mu} \frac{\omega^2 r}{12h^2} (h^4 - h^3 y), \quad (11)$$

$$p(r) = p_z + \frac{6\mu}{h^3} \frac{dh}{dt} \left[0.5 (r^2 - r_z^2) - r_w^2 \ln \frac{r}{r_z} \right] + \mu_0 M_O H_O \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{r_z} \right) + \quad (12)$$

$$+ \frac{3}{20} \rho \omega^2 (r^2 - r_z^2).$$

Wprowadzając wielkości bezwymiarowe określone zależnościami:

$$p^* = \frac{p}{p_z}, \quad \Omega = \frac{\rho \omega^2 r_z^2}{p_z}, \quad RF = \frac{\mu_0 M_O H_O}{p_z}, \quad r^* = \frac{r}{r_z}, \quad r_w^* = \frac{r_w}{r_z},$$

gdzie: OMEGA - to bezwymiarowy parametr wpływu odśrodkowych sił bezwładności,
RF - to liczba ciśnienia magnetycznego,

rozkład ciśnienia w łożysku można przedstawić następująco:

$$p^* = 1 + \frac{3\mu r_z^2}{p_z} \frac{1}{h^3} \frac{dh}{dt} \left[r^{*2} - 1 - 2r_w^{*2} \ln(r^*) \right] + RF \left(\frac{1}{r^*} - 1 \right) + \quad (13)$$

$$\frac{3}{20} \Omega (r^{*2} - 1).$$

Nośność łożyska wyznacza się z zależności:

$$W^* = \frac{W}{\Pi r_z^2 p_z} = \Pi r_w^{*2} p_w^* + 2 \int_{r_w^*}^1 p^* r^* dr^*. \quad (14)$$

Wprowadzając (13) do (14) po scałkowaniu mamy:

$$W^* = 1 + \frac{3\mu_z^2}{2\rho_z} \frac{1}{h^3} \frac{dh}{dt} [2r_w^{*2} - r_w^{*4} - 1] + RF(1-r_w^*) + \frac{3}{40} \Omega(r_w^{*4} - 1), \quad (15)$$

Rozdzielając, w równaniu (15) zmienne, a następnie całkując stronami w granicach od h_0 do h i od $t=0$ do t otrzymamy:

$$h^* = \frac{h}{h_0} = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{4t^*}{3T} [W^* - RF(1-r_w^*) - \frac{3}{40} \Omega(r_w^{*4} - 1)]}}$$

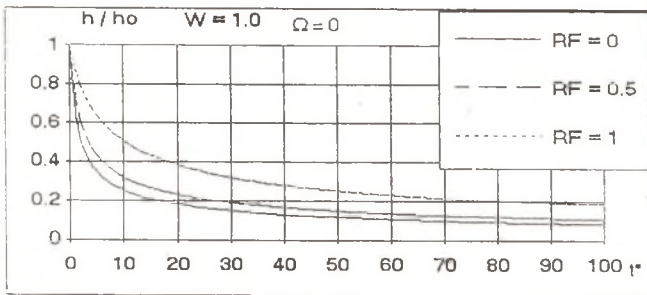
gdzie:

$$t^* = \frac{\rho_z h_0^2 t}{\mu_z^2} \quad T = 2r_w^{*2} - r_w^{*4} - 1$$

h_0 - grubość szczeliny w chwili $t=0$

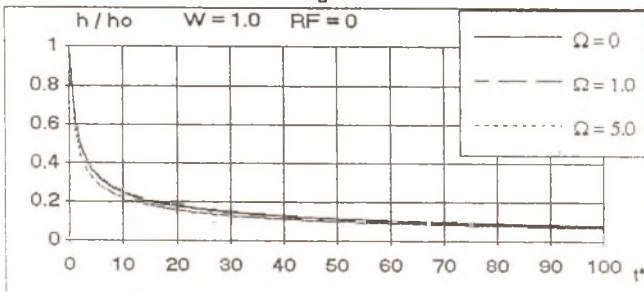
h - grubość szczeliny po upływie czasu t

Przedstawioną powyżej funkcję opisującą bezwymiarową grubość szczeliny zilustrowano graficznie na rysunkach 2 i 3.



Rys. 2

Fig. 2



Rys. 3

Fig. 3

4. Dyskusja Wyników

Pole magnetyczne wyrażające się wzrostem bezwymiarowej liczby ciśnienia magnetycznego powoduje znaczący wzrost wartości grubości szczeliny (rys.2).

Odsrodkowe siły bezwładności (bezwymiarowy parametr OMEGA) są przyczyną zmniejszania się wartości grubości szczeliny (rys.3).

Pole magnetyczne zwiększa zatem odporność łożyska na obciążenia udarowe, natomiast odsrodkowe siły bezwładności powodują jej pogorszenie.

LITERATURA

- [1] Fuller D.D.: Theory and practice of lubrication for engineers. John Wiley & Sons, Inc. New York, N.Y., 1956,
- [2] Shukla J.B.: Theory of squeeze film for power-law lubrications. ASME, D 85, 1963.
- [3] Shukla J.B., Prasad R.: Hydromagnetic squeeze films between two conducting surfaces. ASME, D 87, 1965,
- [4] Patel C., Gupta J.L.: Behaviour of hydromagnetic squeeze film between porous plates. Wear, 56, 1978.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Ryszard Gryboś.

Wpłynęło do Redakcji w grudniu 1993 r.

Abstract

An analysis of hydrodynamic squeeze film is presented for the case of an ferromagnetic fluid in the presence of a plate under external, stable and heterogenous magnetic field.

The ferromagnetic squeeze film shown in Fig.1. In the following analysis, the fluid is assumed to be viscous, incompressible. With the usual assumptions of ferromagnetic lubrication applicable to thin films ($h \ll r_z$) and using cylindrical polar coordinates the equations of motion take the forms (4)-(8).

The analytical results for the pressure distribution, load-capacity, and the film thickness as function of time are obtained.

The results are shown in Fig.2 and Fig.3.

It is shown that the application of a magnetic fields improves the squeeze film action.