

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

*Instytut Budowy i Eksploatacji Maszyn

Uniwersytet Zielonogórski

**ANALIZA SPADKÓW CIŚNIENIA W PRZEPLYWIE ŚRODKA
SMARNEGO MODELOWANEGO PŁYNEM
OSTWALDA DE WAELE W ŁOŻYSKU KULISTYM**

WPROWADZENIE

Wykorzystywane w budowie maszyn środki smarne mają za zadanie rozdzielanie współpracujących powierzchni. Jeśli środek smarny rozdziela całkowicie współpracujące powierzchnie, to zachodzi tarcie płynne. W tym stanie warstewka płynu przenosi obciążenie zespołu, a przy ruchu względnym jego elementów tarcie występuje tylko w tej warstewce. Wytwarzanie odpowiednio nośnej warstewki smaru jest głównym zadaniem smarowania. Zakwalifikowanie danej substancji jako środka smarnego – ze ściśle określonym przeznaczeniem eksploatacyjnym – wymaga zapoznania się przez konstruktorów z własnościami reologicznymi i tribologicznymi substancji. Zastosowanie środka smarnego o nieodpowiednich własnościach może spowodować zakłócenia w procesie smarowania. Może to doprowadzić do uszkodzenia urządzenia, a nawet do jego zniszczenia wskutek zatarcia. Jedną z przyczyn może być nie wytworzenie odpowiednio dużego ciśnienia środka smarnego w szczelinie smarowej, które powinno zrównoważyć obciążenie zewnętrzne.

W celu lepszego poznania własności reologicznych i tribologicznych płynów, wykorzystywanych jako substancje smarujące prowadzi się liczne badania teoretyczne i eksperymentalne. W pracach teoretycznych dokonuje się matematycznego modelowania przepływu środków smarnych, wykorzystując w tym celu różne modele reologiczne. Przepływy środków smarnych w szczelinach łożysk mogą być z powodzeniem modelowane jako przepływy płynów lepkoplastycznych [1,2]. Aby opisać reologiczne zachowanie się takich płynów można posłużyć się nieliniowym modelem Shulmana:

$$\tau^{1/m} = \tau_0^{1/m} + (\mu\dot{\gamma})^{1/n} \quad (1)$$

gdzie: τ - naprężenie ścinające, τ_0 - naprężenie płynięcia, μ - współczynnik plastycznej lepkości, n oraz m - wskaźnik nieliniowości, $\dot{\gamma}$ - prędkością ścinania.

Przez uproszczenie współczynników w równaniu Shulmana otrzymujemy bardziej proste modele opisujące przepływ płynu lepkoplastycznego; np. takich jak: płyny pseudoplastyczne, dylantacyjne i newtonowskie.

PRZEPŁYW W KANALE KULISTYM – ROZWIĄZANIE DLA PŁYNU OSTWALDA DE WAELE

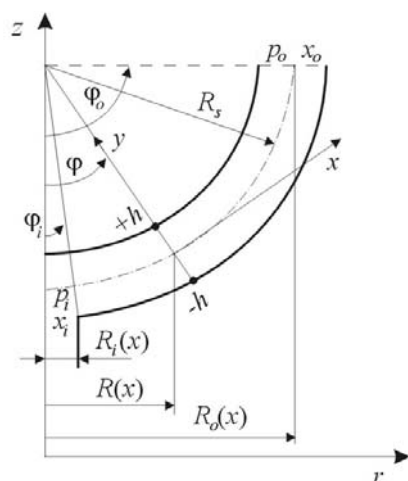
Rozpatrzmy przepływ między współśrodkowymi powierzchniami kulistymi (stała grubość szczeliny), którego konfiguracja przedstawiona jest na rys.1. Zakładając, że grubość szczeliny jest mała oraz pomijając wpływ sił masowych możemy dokonać oszacowań równań ruchu:

$$\frac{l}{R} \frac{\partial(Rv_x)}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} = 0, \quad (2)$$

$$\rho \left(v_x \frac{\partial v_x}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_x}{\partial y} \right) = -\frac{dp}{dx} + \frac{\partial}{\partial y} \left(S \left[\tau_0^{l/n} + \left(\mu \left| \frac{\partial v_x}{\partial y} \right| \right)^{l/m} \right]^n \right). \quad (3)$$

tutaj S jest funkcją znaku:

$$S = \operatorname{sgn} \left(\frac{\partial v_x}{\partial y} \right).$$



$$\begin{aligned} R(x) &= R_s \sin \varphi \\ R_o(x) &= R_s \sin \varphi_o \\ R_i(x) &= R_s \sin \varphi_i \\ h &= \text{const} \\ \varphi &= \frac{x}{R_s}, \quad x = R_s \varphi \\ dx &= R_s d\varphi \end{aligned}$$

Rys.1. Szczelina między współśrodkowymi powierzchniami kulistymi.

Rozwiązując powyższy układ równań ruchu dla środka smarkiego modelowanego płynem potęgowym, tj. przyjmując w równaniu (3) następujące założenia:

$$\tau_0 = 0, \quad n = 1$$

możemy określić rozkład ciśnienia w szczelinie łożyska.

Rezultatem rozwiązań – zgodnie z rozważaniami przeprowadzonymi w pracach [5,6,7,8,9] – są pomocnicze funkcje:

$$S(x) = - \left[\frac{(m+2)\mu Q}{4\pi} \right]^{l/m} A^{(m)}(x), \quad (4)$$

oraz

$$T(x) = \frac{m+2}{2m+3} \frac{\rho Q^2}{8\pi} I(x), \quad (5)$$

gdzie:

$$A^{(m)}(x) = \int R^{-1/m} h^{-(m+2)/m} dx;$$

oraz

$$I(x) = -\int \frac{1}{Rh} (R^{-1} h^{-1})' dx. \quad (6)$$

Bezwymiarowy rozkład ciśnienia w szczelinie z pominięciem bezwładności jest dany wzorem:

$$\tilde{p}_R = \frac{p_R}{p_o}, \quad (7)$$

gdzie:

$$p_R = p_i + [S(x) - S_i]; \quad (8)$$

tutaj

$$S_i = S(x_i),$$

natomiast po uwzględnieniu bezwładności będzie:

$$\tilde{p} = \frac{p}{p_o}, \quad (9)$$

gdzie:

$$p = p_i + [S(x) - S_i] + [T(x) - T_i]; \quad (10)$$

tutaj

$$T_i = T(x_i);$$

ciśnienie określone wzorem (8) jest ciśnieniem w przybliżeniu Reynoldsa.

Dokonując doboru parametrów materiałowych i przepływowych, a następnie przeprowadzając obliczenia (przyjmując dla płynu potęgowego do obliczeń wartości wykładnika potęgowego $m = 0,5; 1; 2$) otrzymano wyniki, które zostaną zestawione

w tabeli, a następnie na ich podstawie będą sporządzone wykresy bezwymiarowego rozkładu ciśnienia dla zadanej konfiguracji.

Literatura

- [1] Avenas P., Agassant J.-F., Sergent J.P.: *La Mise en Forme des Matière Plastiques*. Tec-Doc. Lavoisier, Paris 1982.
- [2] Binding D.M.: *An approximate analysis for contraction and converging flows*. J. Non-Newtonian Fluid Mech., v.27, 1988, 173-189.
- [3] Cogswell F.N.: *Converging flow and stretching flow: a compilation*. J. Non-Newtonian Fluid Mech., v.4, Np.1, 1978, 23-38.
- [4] Hashimoto H., Amagai K.: *A theoretical model for multiphase flow with solidified particles*. JSME Int. J., Ser B, v.36, No.4, 1993, 584-591.
- [5] Michalski D.: *Matematyczne modelowanie przepływu polimerów w głowicach i kanałach form wtryskowych*. Rozprawa doktorska, Zielona Góra 2004, pp.1-247.
- [6] Walicka A.: *Reodynamika przepływu płynów nienewtonowskich w kanałach prostych i zakrzywionych*. Red. Wyd. Naukowo-Techn. Uniwersytet Zielonogórski, Zielona Góra 2002, pp.1-307.
- [7] Валицка А.: *Ротационные течения реологически сложных сред в узких кольцевых каналах*, Uniwersytet Zielonogórski, Redakcja Wydawnictw Naukowo-Technicznych, Zielona Góra 2002, pp.1-385.
- [8] Walicki E., Walicka A., Michalski D.: *Analysis of a molten metal flow in the conical die*, Mat. Konf. „Tendencje rozwojowe w procesach produkcyjnych”, Politechnika Zielonogórska, Zielona Góra, Sekcja III, 18-19.09.1997, 175-180.
- [9] Walicki E., Walicka A., Michalski D.: *Pressure drops in the conical flow of a molten metals*. 5th European Rheology Conference, Slovenia, Mat. Konf., 6-11.09.1998, 169-170.

THE ANALYSIS OF PRESSURE DROPS IN THE FLOW OF A LUBRICANT MODELED WITH THE BINGHAM FLUID IN A SPHERICAL BEARING

Abstract: The paper contains the analysis of a lubricant flow in the slot of a spherical bearing. The spherical bearing is a special case of bearing frequently used in machine design. To describe the lubricant behaviour a model of viscoplastic fluid was used and the obtained results were illustrated with an example of the Bingham fluid. Expressions for the pressure drops for different values of the power-law coefficient are given. The results are illustrated numerically in a table and graphically in figures.