

NGHIÊN CỨU SỰ PHÂN BỐ ÁP SUẤT VÀ LƯỢNG DẦU RÒ LỘ QUA BỀ MẶT TRƯỢT CỦA ĐUÔI PISTON TRONG BƠM PISTON ROTOR HƯỚNG TRỤC
RESEARCH ON LEAKAGE AND GROOVE PRESSURE DISTRIBUTION IN AN AXIAL PISTON PUMP

TS. PHẠM HỮU TÂN, KS. VŨ ANH TUẤN
Khoa Máy tàu biển, Trường ĐHHH

Tóm tắt

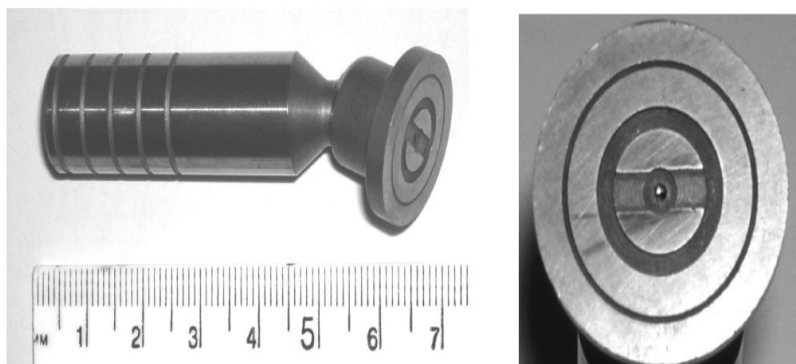
Bài báo đề cập kết quả nghiên cứu sự phân bố áp suất và mức độ rò rỉ dầu qua bề mặt trượt của đuôi piston trong bơm piston roto hướng trục. Áp suất phân bố và lượng dầu rò rỉ được xác định trên cơ sở phương trình Reynold. Kết quả tính toán lý thuyết và thực nghiệm có thể giúp ích trong quá trình thiết kế, cũng như khai thác hiệu quả các bơm loại này.

Abstract

The paper presents reseaching results on pressure distribution and oil leakage in grooved slippers of axial –piston pumps. Pressure distribution and oil leakage are determined based on Reynold equation. Theoretical and experimental results can be used to facilitate pump design and help to operate this type of pumps efficiently.

1. Đặt vấn đề

Hiện nay các bơm piston rotor hướng trục được sử dụng rộng rãi trong các hệ thống thủy lực tời cầu, máy lái... Mặc dù các bơm thủy lực loại này có ưu điểm là kết cấu nhỏ gọn, tạo ra áp lực cao, nhưng loại bơm này cũng có những nhược điểm như bơm rất hay bị mòn, hỏng bề mặt trượt của đuôi piston. Mặt khác, khi đuôi piston bị mòn thì mức độ rò rỉ dầu qua đó cũng tăng lên, làm cho áp lực của bơm giảm, ảnh hưởng trực tiếp đến khả năng làm việc của bơm. Để biết nguyên nhân vì sao mà bơm này lại hay bị sự cố mòn đuôi piston dẫn đến mức độ rò rỉ qua đuôi piston tăng lên, ta đi tiến hành nghiên cứu quá trình bôi trơn cho bề mặt trượt của đuôi piston, tính toán lượng dầu tối thiểu cần thiết trích ra để bôi trơn cho bề mặt này. Về nguyên tắc của việc bôi trơn đuôi piston và bề mặt trượt của đuôi piston là lấy dầu có áp lực cao từ trong khoang công tác của xy lanh để đi bôi trơn. Muốn vậy thì trong thân piston có khoan một đường dầu bôi trơn xuống tới bề mặt trượt của đuôi piston. Ngoài ra đuôi piston phải thiết kế sao cho dầu có thể giữ lại tại đuôi piston để tạo ra áp lực nâng đuôi piston lên để đuôi piston trượt trên màng dầu thì mới không bị mòn. Trong thực tế thì trên bề mặt trượt của đuôi piston có tiện những rãnh hình tròn để chứa dầu như ở (hình 1). Rãnh lớn trong cùng có tác dụng để chứa dầu, các rãnh vòng ngoài có tác dụng làm kín dầu theo nguyên lý làm kín kiểu khuấy khúc. Tuy nhiên mức độ nông sâu của các rãnh có ảnh hưởng gì tới áp lực bôi trơn và mức độ rò rỉ của dầu qua đuôi piston hay không thì chúng ta còn phải dựa vào các kết quả tính toán lý thuyết và các thực nghiệm thực tế.



Hình 1. Piston và đuôi piston.

Phần dưới đây bài báo đi tính toán áp suất bôi trơn tại bề mặt trượt của đuôi piston và lượng dầu rò rỉ qua đuôi piston.

2. Thành lập biểu thức áp suất dầu tại các vị trí trên bề mặt vành trượt và lượng dầu rò lọt

Để tính toán áp suất bôi trơn và lượng dầu rò lọt qua đuôi piston, chúng ta giả thiết sơ đồ tính toán có dạng như (hình 2).

Trong đó:

- h_{01}, h_{02}, h_{03} – chiều cao khe hở (m);
- r_0, r_1, r_2, r_3, r_4 – các bán kính lỗ dầu, khoang dầu vào, các gờ và rãnh dầu (m);
- $p_{vào}$ – áp suất dầu từ trong xilanh qua lỗ dầu (Pa);
- r - khoảng cách giữa tâm roto và tâm piston (m);
- α - góc nghiêng của đuôi piston so với đĩa nghiêng (rad);

- μ - độ nhớt động lực của dầu (kg/m.s);
- θ - góc nghiêng của đĩa nghiêng (rad);
- ω - tốc độ quay của đuôi piston (rad/s);

Để tính toán ta có các giả thiết sau:

- Chế độ dòng chảy là chảy tầng.
- Dòng dầu rò lọt theo phương hướng kính đuôi piston
- Bề mặt rãnh và các gờ là phẳng
- Chỉ có chuyển động tương đối giữa đuôi piston và đĩa nghiêng

Để thành lập công thức tính toán rò lọt qua bề mặt đuôi piston và áp lực dầu bôi trơn tại bề mặt đó ta dựa vào phương trình Reynold cho trường hợp dòng chảy tầng là:

$$\frac{\partial}{\partial r} \left(rh^3 \frac{\partial p}{\partial r} \right) = 6\mu\omega r \frac{\partial h}{\partial \theta} \quad [1]$$

Trong đó h là chiều dày khe hở giữa đuôi piston và bề mặt đĩa trượt, h được tính theo công thức sau:

$$h = h_0 + \alpha.r_m.\cos\theta \quad [2]$$

Và vi phân của h theo góc nghiêng θ ta có:

$$\frac{\partial h}{\partial \theta} = -\alpha.r_m.\sin\theta \quad [3]$$

Tích phân biểu thức [1] hai lần ta có biểu thức tính áp suất bôi trơn:

$$p = \frac{-3\mu\omega\alpha r_m \sin\theta.r^2}{2(h_0 + \alpha.r_m.\cos\theta)^3} + \frac{k_1}{(h_0 + \alpha.r_m.\cos\theta)^3} \ln(r) + k_2 \quad [4]$$

Lượng dầu rò lọt qua đuôi piston được tính theo công thức:

$$Q_{rl} = \int_0^{2\pi} \int_0^h u.r.dy.d\theta \quad [5]$$

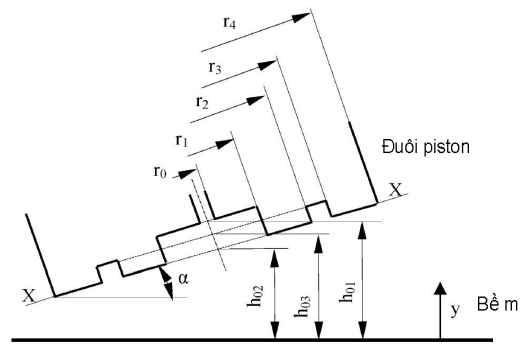
Với u là vận tốc của dòng dầu chuyển động và được tính theo công thức sau:

$$u = \frac{1}{\mu} \frac{dp}{dr} \frac{y}{2} (y-h) \quad [6]$$

Do đó

$$Q_{rl} = \int_0^{2\pi} \int_0^h \frac{1}{\mu} \frac{dp}{dr} \frac{y}{2} (y-h).r.dy.d\theta \quad [7]$$

Thế biểu thức áp suất [4] vào [7], tích phân và rút gọn ta được :



Hình 2. Sơ đồ tính toán áp suất bôi trơn và lượng rò lọt qua đuôi piston.

$$Q_{rl} = \int_0^{2\pi} -\frac{1}{12\mu} [-3\mu.\omega.\alpha.r_m.\sin\theta.r^2 + k_1] d\theta \quad [8]$$

Áp suất tại rãnh thứ i là:

$$p_i = \frac{-3\mu\omega\alpha r_{mi} \sin\theta.r^2}{2(h_{0i} + \alpha.r_{mi}.\cos\theta)^3} + \frac{k_1}{(h_{0i} + \alpha.r_{mi}.\cos\theta)^3} \ln(r) + k_{2i} \quad [9]$$

Lưu lượng dầu rò lọt là:

$$Q_{rl4} = \int_0^{2\pi} -\frac{1}{12\mu} [-3\mu.\omega.\alpha.r_{m4} \sin\theta.r^2 + k_7] d\theta \quad [10]$$

Các hằng số tích phân lẻ k_3, k_5, k_7 được tính theo công thức:

$$k_l = 3\mu\omega\alpha.\sin\theta \left\{ \sum_{j=1}^{\frac{l-1}{2}} [r_j^2(r_{m(j+1)} - r_{mj})] \right\} + k_1 \quad [11]$$

Các hằng số tích phân chẵn k_2, k_4, k_6, k_8 :

$$k_{ch} = p_{vao} + \left\{ \sum_{i=1}^{\frac{ch-2}{2}} \left[\frac{\ln\left(\frac{r_i}{r_{i-1}}\right)}{(h_{0i} + \alpha.r_{mi}.\cos\theta)^3} \right] - \frac{\ln r_{\frac{ch-2}{2}}}{(h_{0(ch/2)} + \alpha.r_{m(ch/2)}.\cos\theta)^3} k_1 + \right. \\ \left. + \frac{3\mu\omega\alpha.\sin\theta}{2} \left\{ \sum_{i=1}^{\frac{ch-2}{2}} \left[\frac{r_{mi}(r_{i-1}^2 - r_i^2)}{(h_{0i} + \alpha.r_{mi}.\cos\theta)^3} \right] + \frac{r_{m(ch/2)}.r_{\frac{ch-2}{2}}}{(h_{0(ch/2)} + \alpha.r_{m(ch/2)}.\cos\theta)^3} \right\} + \right. \\ \left. + 3\mu\omega\alpha.\sin\theta \left\{ \sum_{i=1}^{\frac{ch-4}{2}} \left[\frac{\sum_{j=1}^i [r_j^2(r_{m(j+1)} - r_{mj})] \ln\left(\frac{r_{i+1}}{r_i}\right)}{(h_{0(i+1)} + \alpha.r_{m(ch/2)}.\cos\theta)^3} \right] - \frac{\sum_{j=1}^{\frac{ch-2}{2}} [r_j^2(r_{m(j+1)} - r_{mj})] \ln r_{\frac{ch-2}{2}}}{(h_{0(ch/2)} + \alpha.r_{m(ch/2)}.\cos\theta)^3} \right\} \right\} \quad [12]$$

Khi đó áp suất tại vị trí bất kì sẽ là:

$$p_i = p_{vao} + k_1 \left[\frac{\ln r}{(h_{0i} + \alpha.r_{mi}.\cos\theta)^3} + \sum_{j=2}^i \frac{\ln \frac{r_{j-1}}{r_{j-2}}}{(h_{0(j-1)} + \alpha.r_{m(j-1)}.\cos\theta)^3} \right] + \\ \frac{3\mu\omega\alpha.\sin\theta}{2} \left[\frac{r_{mi}(r_{i-1}^2 - r^2)}{(h_{0i} + \alpha.r_{mi}.\cos\theta)^3} + \sum_{j=2}^i \frac{r_{m(j-1)}(r_{j-2}^2 - r_{j-1}^2)}{(h_{0(j-1)} + \alpha.r_{m(j-1)}.\cos\theta)^3} \right] + \\ + 3\mu\omega\alpha.\sin\theta \left[\frac{\sum_{j=2}^i r_{j-1}^2 (r_{mj} - r_{m(j-1)}) \ln\left(\frac{r}{r_{i-1}}\right)}{(h_{0i} + \alpha.r_{mi}.\cos\theta)^3} + \sum_{j=3}^i \left(\frac{\ln\left(\frac{r_{j-1}}{r_{j-2}}\right) \left\{ \sum_{k=2}^{j-1} r_{m(k-1)}^2 [r_{m(k-1)} - r_{m(k-2)}] \right\}}{(h_{0(j-1)} + \alpha.r_{m(j-1)}.\cos\theta)^3} \right) \right] \quad [13]$$

Lưu lượng dầu rò lọt qua đuôi piston sẽ là:

$$Q_{rl} = -\int_0^{2\pi} \frac{k_1}{12\mu} d\theta \quad [14]$$

3. Mô hình thử nghiệm

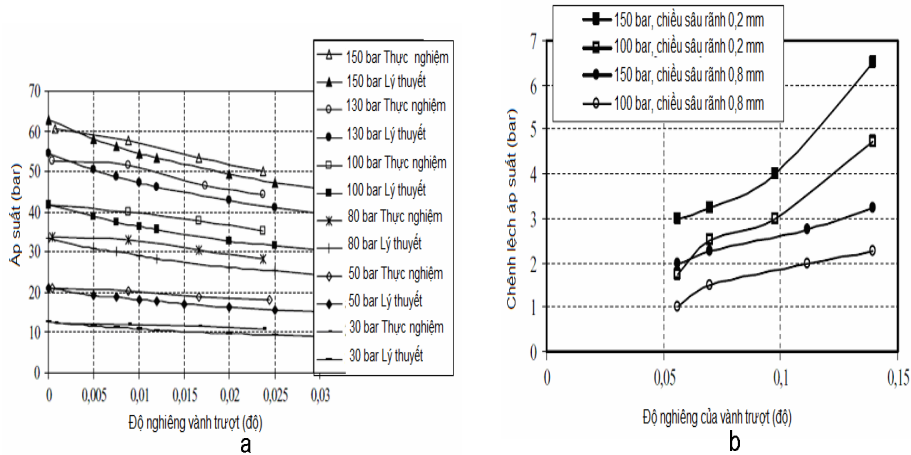
Trong mô hình thử nghiệm thì piston dùng để thử nghiệm có các thông số kỹ thuật sau:

- Đường kính lỗ dầu từ xilanh tới đuôi piston: $r_0 = 1\text{mm}$;
- Đường kính trong của rãnh chứa dầu và rãnh làm kín lần lượt là: $r_1 = 10,15\text{mm}$; $r_2 = 14,7\text{mm}$;
- Chiều rộng của rãnh làm kín $r_3 - r_2 = 1\text{mm}$;
- Đường kính ngoài của gờ ngoài: $20,5\text{mm}$;

- Khi độ nghiêng của đuôi piston với đĩa nghiêng $\alpha = 0$ thì $h_{01} = h_{02} + 1,4 \text{ mm}$; $h_{03} = h_{02} + 0,8 \text{ mm}$;
 - Dầu thủy lực dùng thực nghiệm: ISO32 với độ nhớt động lực $\mu = 0,032 \text{ Ns/m}^2$;
- Đuôi piston được giữ cố định và tỳ lên một đĩa quay bên dưới. Độ nghiêng của vành trượt đuôi piston được chỉnh bởi 04 bu lông ở các góc của tấm giữ. Mô hình thử nghiệm được bố trí như trên (hình 3).

4. Kết quả và thảo luận

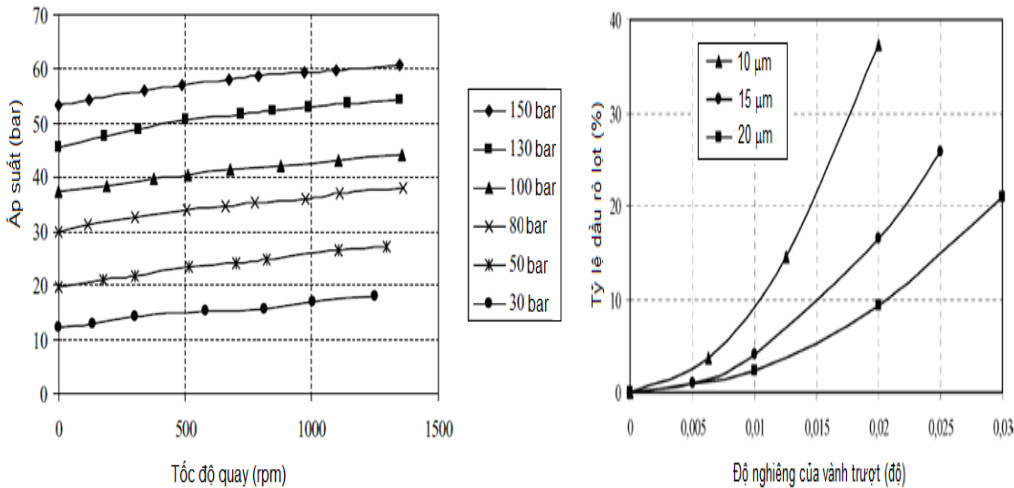
Kết quả tính toán bằng các công thức lý thuyết và kết quả đo bằng thực nghiệm được thể hiện trên các (hình 4) và (hình 5).



Hình 4. Mối quan hệ giữa độ nghiêng của vành trượt với áp suất và độ chênh áp suất trong và ngoài bề mặt trượt.

Trong (hình 6a) thể hiện mối quan hệ giữa tốc độ quay của bề mặt trượt với áp suất dầu bôi trơn đuôi piston khi áp suất dầu cấp vào bôi trơn thay đổi từ 10-62 bar.

Trong (hình 6b) thể hiện mối quan hệ giữa mức độ rò rỉ dầu bôi trơn trên bề mặt trượt của đuôi piston với độ nghiêng của bề mặt trượt khi chiều cao của khe hở thay đổi từ 10-20 μm .



Hình 5. Mối quan hệ giữa tốc độ quay với áp suất bôi trơn và tỷ lệ rò rỉ với độ nghiêng của đĩa trượt.

Qua kết quả trên ta thấy rằng nếu trên đuôi piston có bố trí nhiều rãnh làm kín thì áp suất bôi trơn sẽ cao hơn vì chênh lệch áp suất giữa bề mặt trong và ngoài của bề mặt bôi trơn lớn. Mặt khác tỷ lệ rò lọt phụ thuộc vào mức độ chênh áp suất của đuôi piston.

Tỷ lệ rò lọt phụ thuộc vào độ nghiêng của vành trượt so với đuôi piston, tức là phụ thuộc vào độ nhẵn bề mặt trượt. Nếu bề mặt trượt càng nhẵn thì độ nghiêng càng nhỏ, rò lọt càng ít.

Nếu độ sâu của các rãnh làm kín càng lớn thì mức độ rò lọt càng ít, áp lực bôi trơn càng lớn. Như vậy nếu sau thời gian làm việc mà đuôi piston bị mòn nhiều, làm cho chiều cao các rãnh làm kín nhỏ lại, làm cho áp suất dầu bôi trơn càng giảm, càng làm tăng tốc độ mài mòn của đuôi piston.

5. Kết luận

Bài báo đã đề cập tới vai trò của rãnh làm kín trong vành trượt của đuôi piston, mối liên hệ giữa áp suất trong rãnh, lượng dầu rò lọt với độ nghiêng của vành trượt, độ nhẵn của bề mặt trượt và vòng quay của bơm. Qua đó có thể xác định được nguyên nhân chính của việc mài mòn nhanh bề mặt đuôi piston chính là do khi bị mài mòn làm chiều cao các rãnh làm kín giảm, mức độ làm kín kém làm cho áp lực dầu bôi trơn giảm, tăng tốc độ mài mòn và tăng mức độ rò lọt trong bơm piston rotor hướng trục. Để khắc phục điều này thì định kỳ kiểm tra mức độ mài mòn của đuôi piston và phục hồi lại chiều cao của các rãnh làm kín khi thấy chiều cao này giảm nhiều.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] ASME Journal of Dynamic Systems, Measurement and Control, Bergada, "Pressure, Flow, Force and Torque Between the Barrel and Port Plate in an Axial Piston Pump" J.M., Watton, J. and Kumar, S. 2008.
- [2] Fifth International Fluid Power Symposium, Hooke, C. J. and Kakoullis, Y. P. (1978), "The Lubrication of Slippers on Axial Piston Pumps" September 1978, Durham, England.
- [3] Fifth JFPS International Symposium on Fluid Power, Bergada, J. M. Watton, J. (2002), "A Direct Leakage Flow Rate Calculation Method for Axial Pump Grooved Pistons and Slippers, and its Evaluation for a 5/95 Fluid Application" Nara, Japan. November 13.

Người phản biện: TS. Lê Văn Điểm

NGHIÊN CỨU TÍNH TOÁN TẢI TRỌNG SÓNG LÊN CÔNG TRÌNH BIỂN DẠNG KHUNG

CALCULATING THE WAVE LOAD ON FRAME OFFSHORE STRUCTURES

TS. ĐÀO VĂN TUẤN

Khoa Công trình thủy, Trường ĐHHH

Tóm tắt

Tải trọng lên công trình biển chủ yếu là tải trọng sóng, khi tính toán công trình biển dạng khung người ta sẽ ứng dụng phương pháp Phần tử hữu hạn, trong phương pháp này việc xác định tải trọng sóng lên một phần tử thanh là quan trọng nhất. Nội dung bài báo trình bày cách xác định tải trọng sóng lên một phần tử thanh bất kỳ trong không gian khi ứng dụng các lý thuyết sóng khác nhau sao cho phù hợp với địa hình tại khu vực công trình.

Abstract

Loads acting on offshore structures are mostly wave load. In analyzing frame offshore structures, finite element method should be used. And the most important thing in this method is verifying the wave load acting on a beam element. This article presents the method of calculating the wave load impacts on a beam element in space when different wave theories are applied to meet the terrain conditions of construction area.