

Nghiên cứu ảnh hưởng của tốc độ quay và áp suất đến phân bố áp suất thủy động trong màng dầu bôi trơn của bơm bánh răng ăn khớp trong để phục vụ dạy học

Đậu Tấn Cương*, Trần Văn Giang*

*Th.S. Khoa Cơ khí chế tạo, Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Vinh

Received: 6/9/2024; Accepted: 12/9/2024; Published: 20/9/2024

Abstract: The effect of rotating speed and working pressure on the hydrostatic and hydro dynamic pressure distribution of the oil lubrication film in the internal gear pump has been analysed in this paper. The hydro dynamic pressure distribution is calculated based on the Renolds Equation which is solved by the finite difference method (FDM). Meanwhile, the hydrostatic pressure distribution is computed based on the hydraulic resistance network model. The calculation results pointed out that the rotating speed and working pressure have a great effect on the hydrostatic and hydrodynamic pressure distribution. These results are the background for further study to improve the stability, working efficiency, and lifespan of the internal gear pump.

Keywords: Internal gear pump, hydro static lubrication, hydro dynamic lubrication, oil lubrication film.

1. Đặt vấn đề

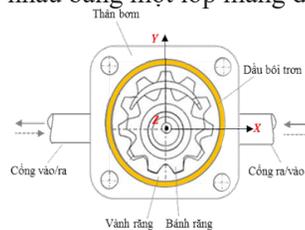
Bơm bánh răng ăn khớp trong là loại bơm có kết cấu đơn giản, dễ sửa chữa, lắp ráp và giá thành rẻ nên chúng được sử dụng rất rộng rãi trong các hệ thống truyền động thủy lực của các máy móc, thiết bị công nghiệp như máy xây dựng, máy nông nghiệp, turbine điện gió, ô tô, tàu thủy [1]. Cũng giống như các hệ thống máy quay khác, màng dầu bôi trơn là một trong những bộ phận quan trọng để bảo vệ bề mặt của các chi tiết có chuyển động quay tương đối với nhau. Hơn nữa, màng dầu bôi trơn giúp giảm ma sát, hấp thụ dao động và truyền nhiệt trong quá trình hoạt động [2].

Bôi trơn bằng màng dầu có hai phương pháp là bôi trơn thủy tĩnh và bôi trơn thủy động. Bôi trơn thủy tĩnh là phương pháp bôi trơn được thực hiện bằng cách bơm dầu bôi trơn có áp suất cao vào khe hở giữa các chi tiết có chuyển động quay tương đối với nhau. Áp suất của dầu bôi trơn sẽ sinh ra lực chống lại các lực tác dụng lên chi tiết chuyển động quay nhờ đó các bề mặt này không tiếp xúc trực tiếp với nhau trong quá trình làm việc [3]. Khác với bôi trơn thủy tĩnh, bôi trơn thủy động là phương pháp bôi trơn dựa trên tốc độ quay của trục. Dưới tác dụng của các ngoại lực sẽ làm trục bị lệch tâm. Trục lệch tâm sẽ tạo ra nêm dầu. Khi trục quay sẽ kéo màng dầu chuyển động cùng. Khi màng dầu chuyển động trong nêm dầu sẽ sinh ra áp suất thủy động [3]. Áp suất thủy động sinh ra lực chống lại các lực tác dụng lên chi tiết chuyển động quay. Cả hai phương pháp bôi trơn này được sử dụng phổ biến trên hầu hết các loại máy, hệ thống trục có chuyển động quay.

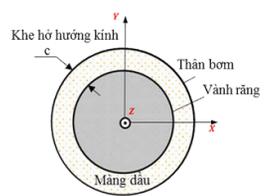
2. Nội dung nghiên cứu

2.1. Phương pháp tính

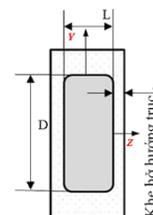
Các bộ phận cơ bản của bơm bánh răng ăn khớp trong được thể hiện như hình 2.1, gồm có ba bộ phận chính là thân bơm, bánh răng nhỏ bên trong làm nhiệm vụ dẫn động được liên kết với trục và ăn khớp với vành răng. Thân bơm cố định trong khi đó vành răng quay trong quá trình làm việc. Giữa vành răng và thành trong của thân bơm được ngăn cách với nhau bằng một lớp màng dầu mỏng như hình 2.2.



Hình 2.1. Các bộ phận của bơm bánh răng



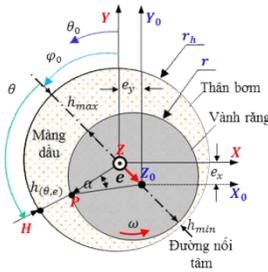
Hình 2.2. Khe hở hướng kính



Hình 2.3. Khe hở hướng trục

Chiều dày lớp màng dầu bôi trơn là rất nhỏ, từ 10 μm đến 150 μm tùy theo kích thước bơm. Lớp dầu bôi trơn này được cung cấp trực tiếp từ khoang dầu cao áp của bơm và được chảy qua khe hở hướng trục giữa vành răng và thành trong của bơm như hình 2.3.

Trong quá trình làm việc, áp lực dầu trong khoang dầu cao áp sẽ sinh ra lực hướng kính tác động lên vành răng làm vành răng dịch chuyển lệch tâm so với tâm của thân bơm. Vành răng lệch tâm sẽ làm cho chiều dày màng dầu tại các điểm dọc theo chu vi phân bố không đều như hình 2.4. Dựa vào mối quan hệ hình học giữa vành răng và thành trong của thân bơm, chiều dày màng dầu được xác định theo công thức sau: $h_{(o,e)} = c(1 + \cos\theta)$



Hình 2.4. Chiều dày màng dầu khi làm việc

Trong đó: e là độ lệch tâm tương đối, là tỷ số giữa độ lệch tâm và khe hở hướng tâm (e/c); π là góc vị trí tính toán chiều dày màng dầu; c khe hở hướng tâm. Chiều dày màng dầu là thông số quan trọng ảnh hưởng đến phân bố áp suất thủy tĩnh và thủy động.

Phân bố áp suất thủy động

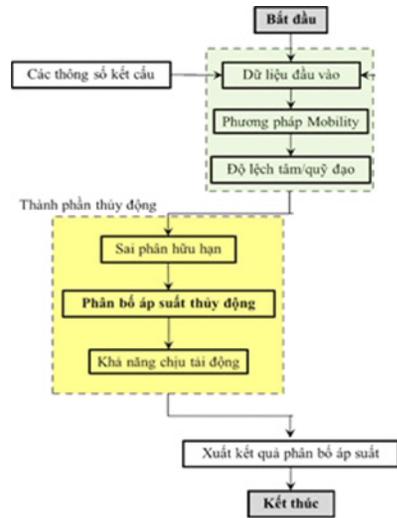
Phân bố áp suất thủy động trong màng dầu bôi trơn có thể xác định thông qua phương trình dòng chảy Reynold như sau [2]:

$$\frac{\partial}{\partial \theta} \left(h^3 \frac{\partial p}{\partial \theta} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(h^3 \frac{\partial p}{\partial z} \right) = 6U\mu \frac{\partial h}{\partial \theta}$$

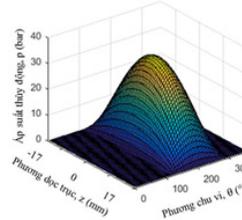
Trong đó: h là chiều dày màng dầu bôi trơn [m]; độ nhớt động lực của dầu bôi trơn [Pas]; p là áp suất thủy động [Pa]; π, z là phương chu vi và phương dọc trục [m]. U là vận tốc dài, $U=2r\pi n/60$, n là tốc độ quay, r là bán kính của vành răng.

Bảng 2.1. Thông số chính của bơm bánh răng ăn khớp trong

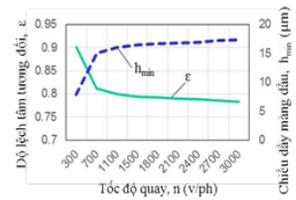
Thông số	Ký hiệu	Giá trị	Đơn vị
Lưu lượng riêng	V	63.5	cm ³ /vòng
Áp suất lớn nhất	p	320	Bar
Tốc độ quay lớn nhất	n	3000	v/ph
Đường kính của vành răng	D	0.115	m
Bề rộng của vành răng	L	0.034	m
Khe hở hướng tâm	c	$80 \cdot 10^{-6}$	μm
Khe hở hướng trục	Δ	$30 \cdot 10^{-6}$	μm
Dầu thủy lực công tác/ dầu bôi trơn	-	HLP 46	-
Độ nhớt của động lực của dầu	μ	0.041	Pas
Nhiệt độ dầu	T	40	°C



Sơ đồ 2.1. Trình tự tính toán



Hình 2.5. Phân bố áp suất thủy động tại điểm làm việc 100 bar và 3000 vòng/phút



Hình 2.6. Ảnh hưởng của tốc độ quay đến độ lệch tâm và chiều dày màng dầu nhỏ nhất

Sơ đồ 2.5 là trình tự tính toán. Chương trình tính toán được xây dựng bằng phần mềm Matlab R2018a. Tất cả các thông số kết cấu và thông số khai thác là những thông số đầu vào của quá trình tính toán và khảo sát. Dầu thủy lực công tác cũng chính là dầu bôi trơn loại HLP46. Đây là loại dầu phổ biến trong các hệ thống truyền động trên các hệ thống máy. Các thông số của bơm và dầu công tác như bảng 2.1.

2.2. Kết quả và thảo luận

2.2.1. Ảnh hưởng của tốc độ quay

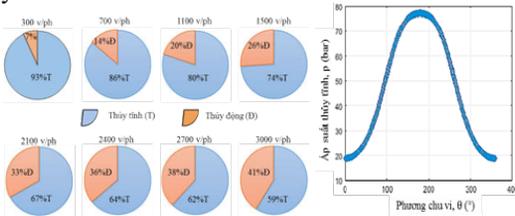
Tốc độ quay là một trong những thông số quan trọng và có ảnh hưởng lớn nhất đến phân bố áp suất thủy động. Ví dụ tính toán phân bố áp suất thủy động tại điều kiện làm việc 100 bar và 3000 vòng/phút được thể hiện ở hình 2.5. Ảnh hưởng của tốc độ quay đến độ lệch tâm và chiều dày màng dầu nhỏ nhất được thể hiện ở hình 2.6. Ở cùng điều kiện áp suất làm việc không đổi, khi tốc độ làm việc tăng lên thì độ lệch tâm tương đối giảm đi, trong khi đó chiều dày màng dầu nhỏ nhất tăng lên. Mức độ thay đổi của độ lệch tâm và chiều dày màng dầu nhỏ nhất ở dải tốc độ nhỏ hơn 800 vòng/phút là đáng kể. Khi tốc

độ quay lớn hơn 800 vòng/phút thì mức độ thay đổi là không đáng kể.

Ảnh hưởng của tốc độ quay đến tỷ lệ phân bố áp suất thủy động được thể hiện ở hình 2.7. Ở điều kiện làm việc xác định, khi tốc độ tăng lên thì áp suất thủy động cũng tăng lên, khi đó tỷ lệ phân bố áp suất thủy tĩnh sẽ giảm đi. Ví dụ như ở tốc độ quay 300 vòng/phút thì áp suất thủy động chiếm 7%, áp suất thủy tĩnh chiếm tỷ lệ rất lớn 93%. Nếu tốc độ tăng lên 3000 vòng/phút thì tỷ lệ áp suất thủy động tăng lên 26% ở mức áp suất dầu công tác là 320 bar, trong khi đó tỷ lệ áp suất thủy tĩnh giảm xuống còn 59%. Điều đó có nghĩa là khi bơm bánh răng ăn khớp trong làm việc ở điều kiện tốc độ quay càng cao thì khả năng chịu tải của màng dầu sẽ phụ thuộc nhiều vào áp suất thủy động sinh ra trong màng dầu bôi trơn.

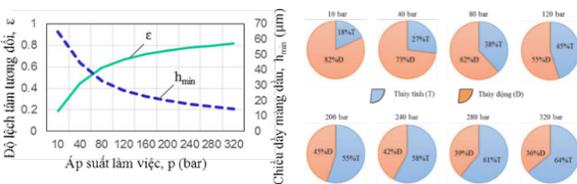
2.2.2. Ảnh hưởng của áp suất dầu công tác

Ảnh hưởng của áp suất dầu công tác đến tỷ lệ phân bố áp suất thủy động được thể hiện ở hình 2.8. Chúng ta thấy rằng khi áp suất dầu công tác tăng lên khi đó tỷ lệ áp suất thủy động sẽ giảm đi. Khi áp suất làm việc của dầu công tác là 10 bar, thì tỷ lệ áp suất thủy động là 82%. Nếu áp suất dầu công tác tăng lên 320 bar, thì tỷ lệ áp suất thủy động giảm xuống còn 36%. Điều đó có nghĩa là khi bơm bánh răng ăn khớp trong làm việc ở điều kiện áp suất cao thì khả năng chịu tải của màng dầu phần lớn là do áp suất thủy tĩnh.



Hình 2.7. Ảnh hưởng của tốc độ quay đến phân bố áp suất ở điều kiện làm việc 250 bar

Hình 2.8. Phân bố áp suất thủy tĩnh tại điểm làm việc 100 bar và 3000 vòng/phút

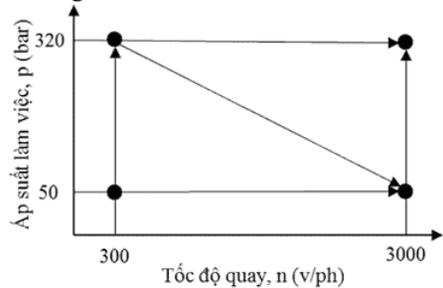


Hình 2.9. Ảnh hưởng của áp suất làm việc đến độ lệch tâm và chiều dày màng dầu nhỏ nhất

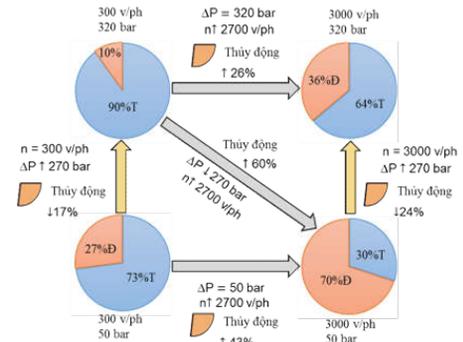
Hình 2.10. Ảnh hưởng của áp suất dầu đến phân bố áp suất ở tốc độ quay 1500 vòng/phút

2.2.3. So sánh ảnh hưởng của tốc độ quay và áp suất dầu công tác

Nhìn vào hình 2.12 chúng ta thấy, mức độ ảnh hưởng của tốc độ quay và áp suất dầu đến tỷ lệ phân bố áp suất thủy động là khác nhau ở các điều kiện làm việc khác nhau. Tương tự như vậy, mức độ thay đổi của áp suất thủy động cũng khác nhau khi áp suất dầu công tác ở mức khác nhau. Khi tốc độ quay tăng lên 2700 vòng phút thì tỷ lệ áp suất thủy động tăng lên 26% ở mức áp suất dầu công tác là 320 bar, trong khi đó tỷ lệ áp suất thủy động tăng lên 43% khi áp suất dầu công tác là 50 bar.



Hình 2.11. Các điểm khảo sát và so sánh



Hình 2.12. So sánh ảnh hưởng của tốc độ quay và áp suất dầu đến phân bố áp suất

Mức độ thay đổi áp suất thủy động lớn nhất xảy ra khi tốc độ tăng lên trong khi áp suất dầu công tác giảm đi. Ở điều kiện làm việc 300 vòng phút và áp suất dầu là 320 bar thì tỷ lệ áp suất thủy động chỉ chiếm 10%. Tuy nhiên khi bơm làm việc ở tốc độ 3000 vòng/phút và áp suất dầu là 50 bar thì tỷ lệ áp suất thủy động tăng lên 70%. Khi đó, khả năng chịu tải của màng dầu phần lớn phụ thuộc vào áp suất thủy động.

Các kết quả cung cấp bức tranh tổng quan về mức độ ảnh hưởng của hai thông số làm việc quan trọng nhất là tốc độ quay và áp suất làm việc đến tỷ lệ phân bố áp suất thủy động trong màng dầu bôi trơn của bơm bánh răng ăn khớp trong.

(Xem tiếp trang 135)