

NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA THÔNG SỐ KẾT CẤU VÀ THÔNG SỐ KHAI THÁC ĐẾN QUỸ ĐẠO CHUYỂN ĐỘNG CỦA VÀNH RĂNG TRONG BƠM VÀ MÔ TƠ BÁNH RĂNG ĂN KHỚP TRONG

Phạm Trọng Hòa¹, Thái Hà Phi¹, Trương Văn Thuận², Trần Văn Bộ²

Tóm tắt: Bài báo trình bày phương pháp xác định quỹ đạo chuyển động của vành răng trong bơm và mô tơ bánh răng ăn khớp trong. Ảnh hưởng của các thông số kết cấu và các thông số khai thác được phân tích và đánh giá cụ thể. Kết quả tính toán chỉ ra rằng các thông số kết cấu và khai thác có ảnh hưởng lớn đến độ lệch tâm, góc vị trí tâm vành răng và chiều dày màng dầu nhỏ nhất.

Từ khóa: Bơm bánh răng, quỹ đạo chuyển động, chiều dày màng dầu nhỏ nhất, độ lệch tâm.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Bơm và mô tơ bánh răng ăn khớp trong là loại bơm có kết cấu đơn giản, dễ sửa chữa, thay thế bảo dưỡng và giá thành thấp nên các loại bơm và mô tơ này được sử dụng rộng rãi trong các hệ thống truyền động thủy lực như trên ô tô, máy xây dựng, tàu thủy, các hệ thống thủy lực công nghiệp, turbine điện gió (Pham, 2018). Xác định quỹ đạo chuyển động của vành răng trong bơm bánh răng ăn khớp trong là cơ sở để nghiên cứu động lực học bơm và mô tơ bánh răng ăn khớp trong (Pham et al, 2018). Việc xác định được quỹ đạo chuyển động cho phép chúng ta khảo sát và đánh giá ảnh hưởng của các thông số đến quá trình làm việc của bơm và mô tơ. Tuy nhiên, có rất nhiều hiện tượng xảy ra trong bơm và mô tơ như quá trình ăn khớp, quá trình hình thành và phân bố áp suất trong khoang cao áp và thấp áp, các chế độ bôi trơn của màng dầu. Những yếu tố này khiến cho việc dự báo quỹ đạo chuyển động của vành răng trong bơm và mô tơ gặp nhiều khó khăn. Cho đến nay, chưa có một mô hình lý thuyết nào để tính toán quỹ đạo chuyển động của vành răng được công bố. Theo tác giả Phạm trong công trình (Pham, 2019), nếu không xét đến ảnh hưởng của ăn khớp giữa các bánh răng trong quá trình làm việc thì hệ vành răng/vỏ bơm và trục/ổ đỡ có sự tương đồng về kết

cấu và nguyên lý làm việc. Phương pháp Mobility của (Booker, 1971) vì thế có thể áp dụng để dự báo quỹ đạo chuyển động của vành răng. Tác giả Phạm trong nghiên cứu (Pham et al, 2018) đã chứng minh bằng thực nghiệm về độ chính xác của kết quả tính toán bằng phương pháp Mobility. Tuy nhiên, ảnh hưởng của các thông số đến quỹ đạo chuyển động thì chưa được đề cập đến. Bài báo này sử dụng phương pháp Mobility (Booker, 2014) để dự báo quỹ đạo chuyển động của tâm vành răng. Trên cơ sở đó, ảnh hưởng của các thông số kết cấu và thông số khai thác đến quỹ đạo sẽ được phân tích cụ thể.

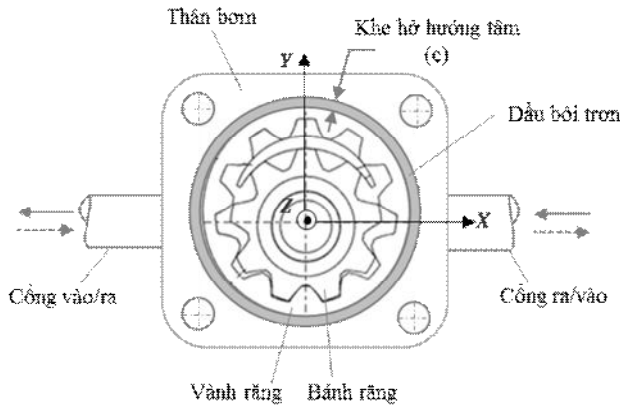
2. NỘI DUNG

2.1 Cơ sở lý thuyết xác định quỹ đạo chuyển động của vành răng

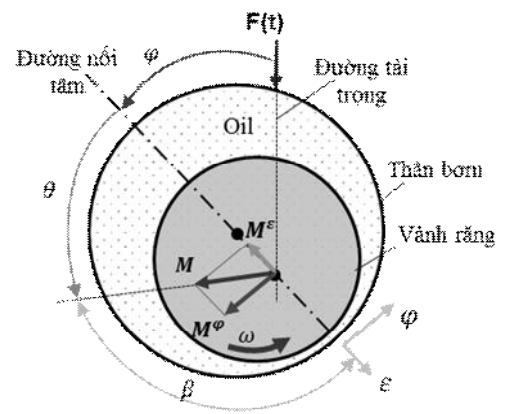
Các bộ phận chính của bơm và mô tơ bánh răng ăn khớp trong được thể hiện như trên hình 1, bao gồm một bánh răng nối với trục ăn khớp với một vành răng. Vành răng và thành trong của vỏ bơm được ngăn cách bởi một màng dầu bôi trơn. Với bơm bánh răng, dầu bôi trơn cũng chính là dầu thủy lực công tác. Trong nghiên cứu này, dầu bôi trơn được giả thiết là chất lỏng Niu-ton. Chiều dày của màng dầu bôi trơn khoảng từ 20 đến 150 μm tùy theo kích thước của bơm và mô tơ. Phương pháp Mobility của Booker để xác định quỹ đạo chuyển động của trục dựa trên một vector M gồm có hai thành phần là M^e và M^o như trên hình 2.

¹ Khoa Cơ Khí, Trường Đại học Giao thông Vận tải.

² Viện Cơ khí động lực, Trường Đại học Bách Khoa Hà Nội.



Hình 1. Mặt cắt ngang bơm và mô tơ



Hình 2. Phương pháp Mobility

Quỹ đạo chuyển động của vành răng sẽ được xác định thông qua độ lệch tâm tương đối (ε) và góc vị trí tâm của vành răng (φ) như sau:

$$\dot{\varepsilon} = \frac{F \left(\frac{c}{R} \right)^2}{\mu LD} M^\varepsilon \quad \text{và} \quad \dot{\varphi} = \frac{F \left(\frac{c}{R} \right)^2}{\mu LD \varepsilon} M^\varphi + \bar{\omega} \quad (1)$$

Trong đó, các thành phần của vector Mobility được xác định như sau:

$$M^\varepsilon = M^\zeta \cos \varphi + M^\kappa \sin \varphi \quad (2)$$

$$M^\varphi = -M^\zeta \sin \varphi + M^\kappa \cos \varphi \quad (3)$$

Với

$$M^\zeta = \frac{(1-\zeta)^{\frac{5}{2}}}{\left[\pi \left(\frac{L}{D} \right)^2 \right]} \kappa \quad \text{và} \quad M^\kappa = -\frac{4\kappa (1-\zeta)^{\frac{3}{2}}}{\left[\pi^2 \left(\frac{L}{D} \right)^2 \right]} \quad (4)$$

Trong đó:

$$\zeta = \varepsilon \cos \varphi, \quad \kappa = \varepsilon \sin \varphi \quad (5)$$

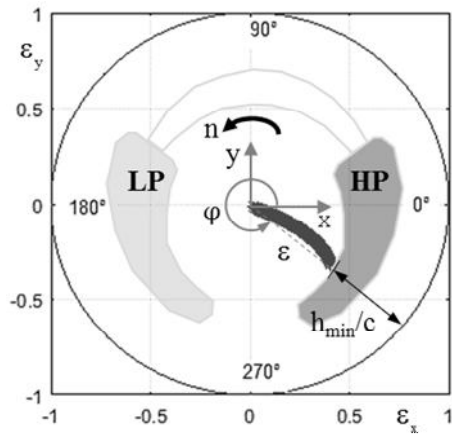
F - Lực tác dụng lên vành răng, (N). Lực này được xác định dựa trên độ chênh áp giữa khoang cao áp (HP) và khoang thấp áp (LP) như trong tài liệu [2]; c - Khe hở hướng tâm, (m); L - Bề rộng của vành răng, (m); D, R - Đường kính và bán kính của vành răng, (m); μ - Độ nhớt động lực của dầu công tác, (Pa.s); ε - Độ lệch tâm tương đối, tỷ số giữa độ lệch tâm (e) và khe hở hướng tâm (c). Nếu biết lực tác dụng lên vành răng $F(t)$ thay đổi theo thời gian, sau khi giải hệ phương trình vi phân chuyển động (1) chúng ta có thể xác định được quỹ đạo chuyển động của tâm vành răng thông qua độ lệch tâm $\varepsilon(t)$

và góc vị trí của tâm vành răng $\varphi(t)$. Chương trình tính toán xác định quỹ đạo chuyển động của tâm vành răng được xây dựng trong phần mềm Matlab R2018.

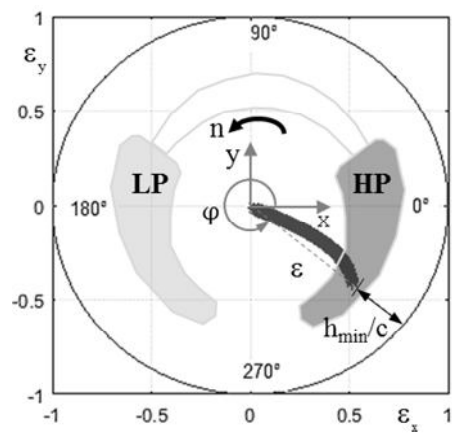
2.2 Khảo sát ảnh hưởng của thông số khai thác

2.2.1 Ảnh hưởng của áp suất làm việc (p)

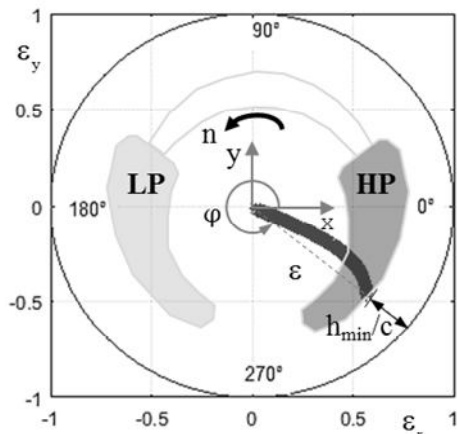
Áp suất làm việc là một trong hai thông số khai thác cơ bản của bơm và mô tơ. Ảnh hưởng của áp suất đến quỹ đạo chuyển động của vành răng tương ứng với các mức áp suất khác nhau được thể hiện như trên hình 3.



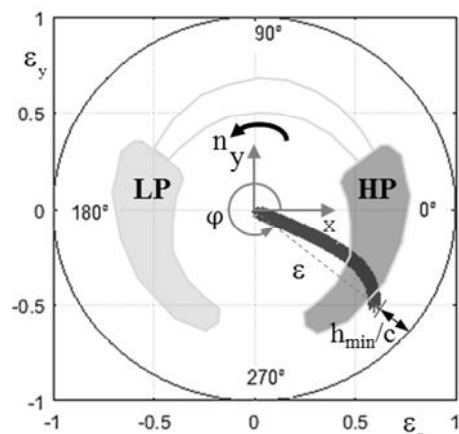
a) Áp suất $p = 50$ bar



b) Áp suất $p = 100$ bar



c) Áp suất $p = 150$ bar



d) Áp suất $p = 200$ bar

Hình 3. Quỹ đạo chuyển động của vành răng theo áp suất làm việc

Các kết quả tính toán cụ thể được trình bày như trong bảng 1.

Bảng 1. Ảnh hưởng của áp suất làm việc

Thông số	Thông số chạy chương trình: $L/D = 0.28$; $c = 65 \mu\text{m}$, $n = 2000$ v/ph			
	$p = 50$ bar	$p = 100$ bar	$p = 150$ bar	$p = 200$ bar
ε	0.49	0.637	0.71	0.76
h_{\min} (μm)	30.47	21.53	16.95	14.02
φ ($^\circ$)	322	321	320	319

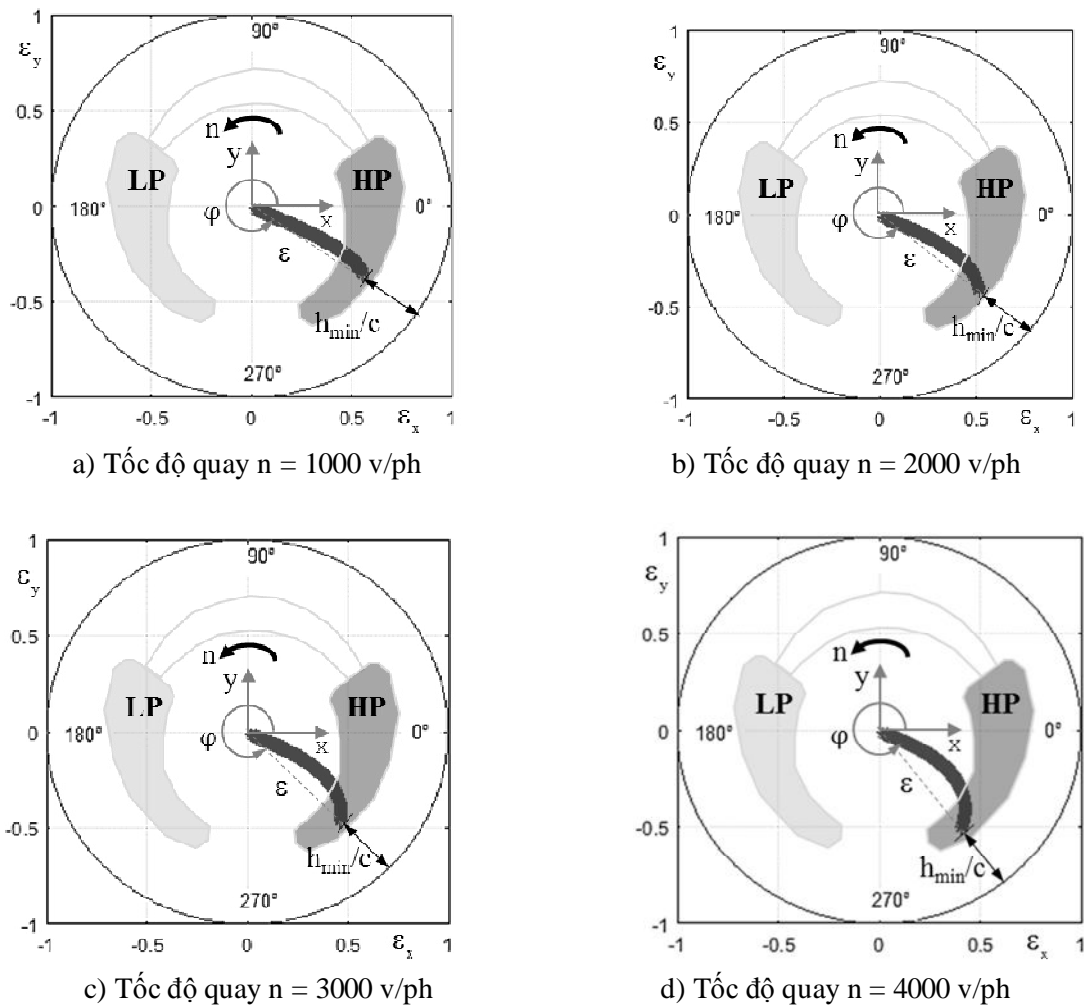
Các kết quả tính toán cho thấy góc vị trí tâm của vành răng hầu như không thay đổi khi áp suất làm việc thay đổi, tuy nhiên độ lệch tâm (ε) và chiều dày màng dầu nhỏ nhất (h_{\min}) phụ thuộc rất lớn vào mức áp suất làm việc. Khi áp suất làm việc tăng lên, thì độ lệch tâm (ε) tăng lên trong khi đó chiều dày màng dầu nhỏ nhất (h_{\min}) sẽ giảm đi. Chiều dày màng dầu giảm đến một giá trị nào đó thì màng dầu có thể bị phá vỡ khi đó sẽ xuất hiện hiện tượng tiếp

xúc trực tiếp giữa vành răng và thành trong của vỏ bơm làm giảm hiệu suất và dẫn đến hỏng bơm. Đây cũng chính là một nguyên nhân làm cho áp suất làm việc lớn nhất cho phép của bơm và mô tơ bánh răng ăn khớp trong bị giới hạn. Sự phụ thuộc của độ lệch tâm và chiều dày màng dầu nhỏ nhất vào áp suất làm việc là do lực tác dụng lên vành răng (F) tỉ lệ với áp suất làm việc. Khi áp suất làm việc tăng, nghĩa là lực tác dụng lên vành răng tăng do đó sẽ làm tăng độ

lệch tâm và giảm chiều dày màng dầu. Trong khi đó, phương của lực tác dụng thay đổi rất ít nên vị trí góc

tâm vành răng ít bị ảnh hưởng bởi áp suất làm việc.

2.2.2 Ảnh hưởng của tốc độ quay (n)



Hình 4. Quỹ đạo chuyển động của vành răng theo tốc độ quay

Các kết quả tính toán ảnh hưởng của tốc độ quay (n) được trình bày như trong bảng 2.

Bảng 2. Ảnh hưởng của tốc độ quay

Thông số	Thông số chạy chương trình: $L/D = 0.28$; $c = 65 \mu\text{m}$, $p = 100$ bar			
	$n = 1000$ v/ph	$n = 2000$ v/ph	$n = 3000$ v/ph	$n = 4000$ v/ph
ε	0.639	0.637	0.633	0.626
h_{\min} (μm)	21.38	21.53	21.8	22.26
φ ($^\circ$)	328	321	315	308

Nhìn vào quỹ đạo chuyển động và kết quả tính toán như trong bảng 2 chúng ta thấy rằng, độ lệch tâm (ε) và chiều dày màng dầu nhỏ nhất (h_{\min}) phụ thuộc rất ít vào sự thay đổi của tốc độ quay (n). Khi tốc độ quay tăng từ 1000 v/ph lên 4000 v/ph, độ lệch tâm giảm từ 0.639 xuống 0.626 trong khi chiều dày

màng dầu nhỏ nhất tăng từ $21.38 \mu\text{m}$ lên giá trị $22.26 \mu\text{m}$. Tuy nhiên, tốc độ quay có ảnh hưởng lớn đến góc vị trí tâm của vành răng, cụ thể khi tốc độ quay tăng từ 1000 v/ph lên 4000 v/ph thì giá trị góc vị trí tâm của vành răng giảm từ 328° xuống 308° . Sự phụ thuộc của góc vị trí tâm vành răng vào tốc độ

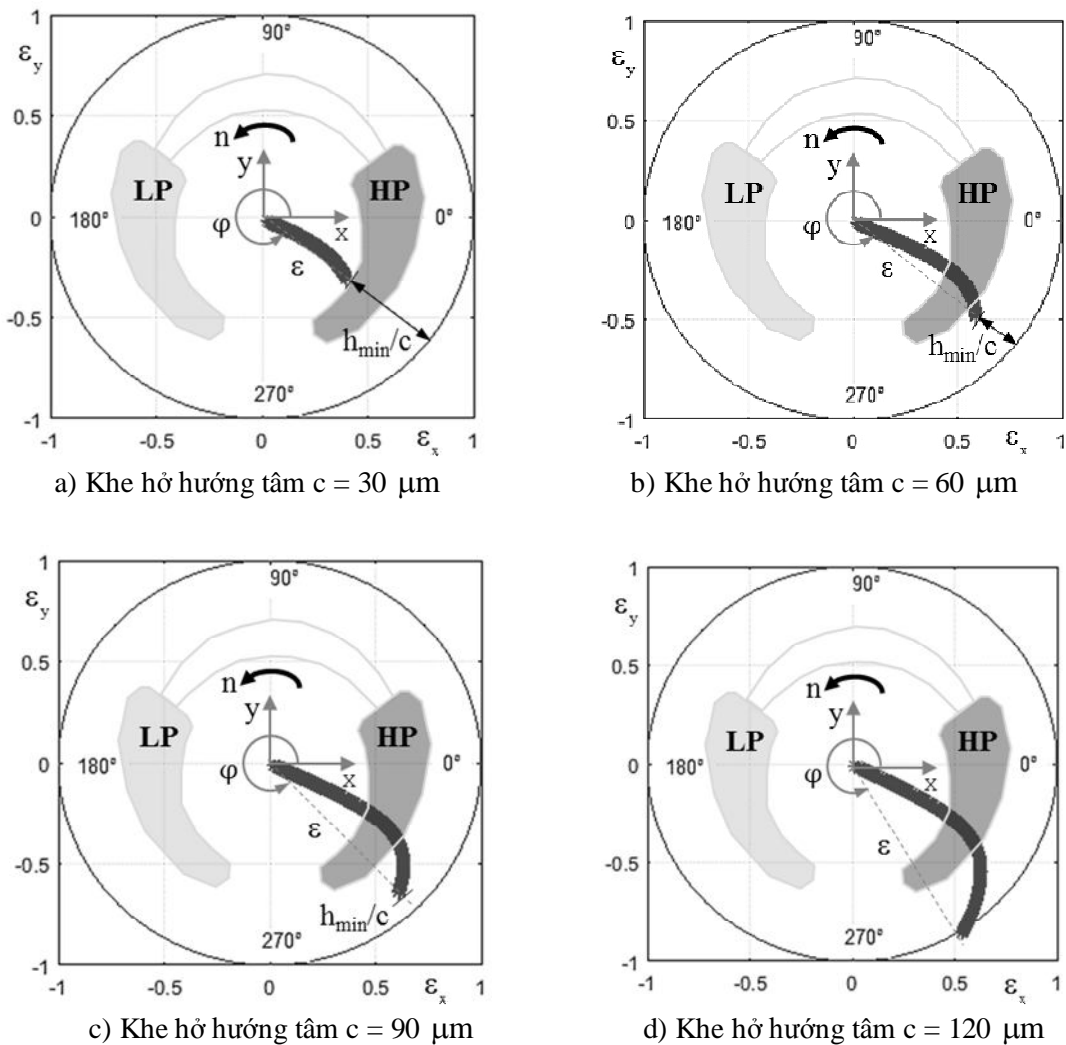
quay có thể được giải thích là do ảnh hưởng của áp suất động trong màng dầu bôi trơn. Các kết quả nghiên cứu đã chỉ ra rằng áp suất động trong màng dầu bôi trơn tỉ lệ thuận với tốc độ quay (n).

2.3 Ảnh hưởng của các thông số kết cấu

2.3.1 Ảnh hưởng của khe hở hướng tâm (c):

Khe hở hướng tâm có giá trị rất nhỏ, chỉ từ vài

chục đến vài trăm micro mét. Giá trị này là rất nhỏ so với các thông số kết cấu khác như đường kính (D) hay bề rộng (L) của vành răng. Tuy nhiên, nó lại là thông số kết cấu có ảnh hưởng quyết định đến động lực học của vành răng. Các kết quả mô phỏng ảnh hưởng của khe hở hướng tâm đến quỹ đạo chuyển động của vành răng được thể hiện như trên hình 5.



Hình 5. Quỹ đạo chuyển động của vành răng với các giá trị khác nhau của khe hở hướng tâm

Bảng 3. Ảnh hưởng của khe hở hướng tâm

Thông số / Kết quả	Thông số chạy chương trình: $L/D = 0.28$; $p = 200 \text{ bar}$; $n = 2000 \text{ v/ph}$			
	$c = 30 \mu\text{m}$	$c = 60 \mu\text{m}$	$c = 90 \mu\text{m}$	$c = 120 \mu\text{m}$
ε	0.474	0.74	0.865	1.0012
$h_{\min} (\mu\text{m})$	14.77	14.24	10.5	-1.79
$\varphi (^{\circ})$	322	320	313	301

Các kết quả tính toán cụ thể ảnh hưởng của khe hở hướng tâm (c) được trình bày như trong bảng 3. Khi khe hở hướng tâm tăng lên thì độ lệch tâm

tăng lên trong khi đó thì chiều dày màng dầu nhỏ nhất và góc vị trí tâm vành răng giảm đi. Nếu giá trị của khe hở hướng tâm quá lớn, thì màng dầu sẽ

bị phá hủy, vành răng và thành trong của bơm sẽ tiếp xúc trực tiếp với nhau gây ra mòn và hỏng bơm rất nhanh. Ví dụ kết quả tính toán khi khe hở hướng tâm ở giá trị $c = 120 \mu\text{m}$ như trên hình 5d, chúng ta thấy vành răng đã vượt ra ngoài phạm vi cho phép, chiều dày màng dầu khi đó nhận giá trị âm ($h_{\min} = -1.79 \mu\text{m}$) nghĩa là vành răng và thành trong của bơm và mô tơ đã tiếp xúc trực tiếp với nhau. Việc tiếp xúc trực tiếp là điều không mong muốn xảy ra trong quá trình làm việc. Để có thể tránh được hiện tượng này, thì giá trị của khe hở

hướng tâm phải được phân tích và lựa chọn cẩn thận ở giai đoạn thiết kế.

2.3.2 Ảnh hưởng của tỷ số kết cấu L/D

Tỷ số giữa bề rộng và đường kính vành răng là một trong những thông số kết cấu quan trọng của bơm và mô tơ bánh răng ăn khớp trong. Các kết quả mô phỏng và tính toán như trong bảng 4 cho thấy, tỷ số kết cấu L/D không có nhiều ảnh hưởng đến quỹ đạo, độ lệch tâm và chiều dày màng dầu nhỏ nhất. Trong khi góc vị trí tâm vành răng giảm đi khi tỷ số L/D tăng lên.

Bảng 4. Ảnh hưởng của hệ số kết cấu L/D

Kết quả \ Thông số	Thông số chạy chương trình: $c = 60 \mu\text{m}$; $p = 200 \text{ bar}$; $n = 2000 \text{ v/ph}$			
	L/D = 0.2	L/D = 0.3	L/D = 0.4	L/D = 0.5
ε	0.738	0.741	0.749	0.767
$h_{\min} (\mu\text{m})$	14.41	14.22	13.74	12.69
$\varphi (^{\circ})$	322	319	316	311

3. KẾT LUẬN

Trên cơ sở các kết quả tính toán và mô phỏng, bài báo đưa ra một số kết luận như sau:

(1) Áp suất làm việc (p) là thông số có ảnh hưởng lớn nhất đến độ lệch tâm và chiều dày màng dầu nhỏ nhất. Khi áp suất làm việc tăng lên, thì độ lệch tâm tăng trong khi chiều dày màng dầu giảm.

(2) Tốc độ quay hầu như không ảnh hưởng đến độ lệch tâm và chiều dày màng dầu tuy nhiên khi tốc độ tăng lên thì góc vị trí tâm vành răng giảm đi.

(3) Giá trị của khe hở hướng tâm có ảnh hưởng lớn đến độ lệch tâm, chiều dày màng dầu nhỏ nhất

và góc vị trí tâm vành răng. Giá trị này phải lựa chọn cẩn thận khi tính toán thiết kế, nếu không màng dầu có thể bị phá hủy trong quá trình làm việc gây ra hiện tượng tiếp xúc trực tiếp giữa vành răng và thành trong của vỏ bơm làm giảm hiệu suất làm việc cũng như giảm tuổi thọ của bơm và mô tơ.

(4) Tỷ số kết cấu L/D có ảnh hưởng rất ít đến độ lệch tâm và chiều dày màng dầu, trong khi đó góc vị trí tâm giảm khi tỷ số L/D tăng.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được tài trợ bởi Quỹ phát triển Khoa học và Công nghệ Quốc gia Việt Nam (NAFOSTED) mã số 107.03-2019.17.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Trong Hoa Pham, (2018), *Analysis of the Ring Gear Orbit, Misalignment, and Stability Phenomenon for Internal Gear Motors and Pumps*, Shaker Verlag, Germany.
- Pham, T.H., Müller, L., Weber, J., (2018), *Dynamically loaded the ring gear in the internal gear motor/pump: Mobility of solution*, Journal of Mechanical Science and Technology, Vol. 32, No. 7.
- Trong Hoa Pham, (2019), *Hybrid method to analysis the dynamic behavior of the ring gear for the internal gear motors and pumps*, Journal of Mechanical Science and Technology, Vol. 33, No. 2, pp. 602-612.
- Booker, J.F., (1971), *“Dynamically Loaded Journal Bearings: Numerical Application of Mobility Method”*, Transactions of the ASME, Journal of Lubrication Technology, Vol. 1, pp. 168-176.
- Booker, J. F., (2014), *“Mobility/Impedance Methods: A Guide for Application,”* ASME Journal of Tribology, vol. 136(2), pp. 024501.

Abstract:
**STUDY OF EFFECT OF GEOMETRIC AND WORKING PARAMETERS
ON RING GEAR ORBIT IN THE INTERNAL GEAR MOTOR AND PUMP**

The paper presents the method to determine the ring gear orbit in internal gear motor and pump. The effects of geometric and operating parameters are then analyzed. The simulation results pointed out that geometric and operating parameters has great effect on the eccentricity, position angle as well as the minimum film thickness.

Keywords: Internal gear pump, orbit, minimum film thickness, eccentricity.

Ngày nhận bài: 07/6/2019

Ngày chấp nhận đăng: 30/8/2019