

ỨNG DỤNG MATLAB TRONG VIỆC XÁC ĐỊNH ĐIỂM TIẾP XÚC TRÊN BÁNH RĂNG CÔN RĂNG THẲNG

APPLICATION OF MATLAB IN DETERMINING CONTACT POINTS ON STRAIGHT BEVEL GEARS

Nguyễn Hồng Lĩnh

TÓM TẮT

Bài báo nghiên cứu về lý thuyết ăn khớp không gian của truyền động bánh răng và sự hình thành vết tiếp xúc trong quá trình truyền động khi có sai lệch về hình dạng thiết kế. Qua lý thuyết nghiên cứu về ăn khớp, tác giả đã ứng dụng công cụ lập trình Matlab để tìm các điểm tiếp xúc với các giá trị góc xoay của bánh răng trong không gian qua đó làm công cụ dự đoán vết tiếp xúc cho bộ truyền bánh răng côn thẳng thân khai trong nghiên cứu và sản xuất.

Từ khóa: Vết tiếp xúc, bánh răng côn thẳng, thân khai.

ABSTRACT

The paper researches the theory of the meshing of the gear transmission and the formation of contact traces when the gear set has a deviation of the design shape. Applying the theory of the meshing the author used Matlab programming tool to find the points of contact with rotation angle values of the gears in space. Therefore, the created tool to allows us to predict the tooth contact of straight bevel gear set in the research and manufacture

Keywords: Tooth contact, Straight bevel, involute.

Trường Đại học Điện lực

Viện Cơ khí, Trường Đại học Bách khoa Hà Nội

Email: linhnh@epu.edu.vn

Ngày nhận bài: 02/02/2019

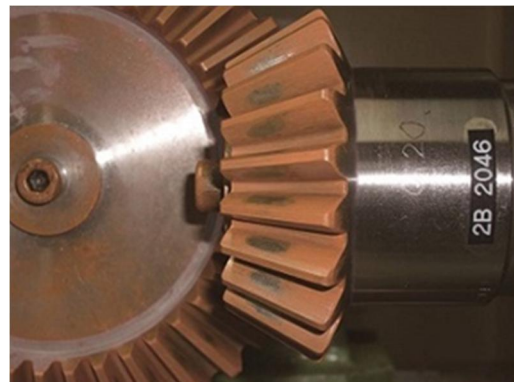
Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 11/4/2019

Ngày chấp nhận đăng: 25/4/2019

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong sản xuất sẽ là lý tưởng nếu sản xuất được các sản phẩm không có khuyết tật về hình dạng. Tuy nhiên trong gia công bánh răng không thể tránh được một số lỗi. Ngay cả khi đã gia công chính xác các bánh răng thì quá trình lắp ráp cũng có thể gây ra các lỗi cho bánh răng bởi sự sai lệch về dịch chuyển của trục hoặc sai lệch về lệch tâm. Thậm chí ngay cả khi việc lắp ráp được thực hiện một cách chính xác thì khả năng đàn hồi của vật liệu cũng là nguyên nhân làm cho bánh răng gặp lỗi truyền động. Ngoài ra, tại điểm bắt đầu và điểm kết thúc của sự ăn khớp cũng có thể là nguyên nhân gây nên sự thay đổi nhanh chóng trong tải trọng trên mỗi răng. Đặc biệt với các bộ truyền bánh răng có biên dạng được xây dựng dựa trên đường thân khai thường rất hay nhạy cảm với các sai lệch và làm cho quá trình làm việc của bánh răng không ổn định, giảm khả năng tải và tuổi

thọ. Chính vì vậy việc kiểm tra chất lượng của bộ truyền bánh răng côn răng thẳng có thể được tiến hành thông qua việc kiểm tra chất lượng của vết tiếp xúc dưới điều kiện làm việc tải trọng nhẹ mà không cần phải kiểm tra các tiêu chí riêng biệt về kích thước vi mô như: sai số profile, sai số lead, sai số pitch,...[4,5]. Ngoài ra việc kiểm tra chất lượng bánh răng thông qua vết tiếp xúc có thể bù cho các sai số lắp đặt và các sai lệch khác của bộ truyền trong điều kiện làm việc.



Hình 1. Quá trình kiểm tra vết tiếp xúc bánh răng côn của hãng KHK

Theo lý thuyết tạo hình thì hai bánh răng côn thẳng được xây dựng từ đường thân khai ở điều kiện lý tưởng sẽ tiếp xúc với nhau theo một đường thẳng ở mọi thời điểm, tuy nhiên do nhiều lý do khác nhau (độ chính xác thiết kế, độ chính xác gia công, độ chính xác lắp ráp, biến dạng vật liệu,...) mà các bề mặt này khi tiếp xúc với nhau chỉ tiếp xúc với nhau tại một điểm duy nhất, ở điểm tiếp xúc này do có biến dạng dẻo làm cho điểm tiếp xúc bị lan ra thành một vùng tiếp xúc nhỏ, khi bánh răng chuyển động sẽ sinh ra vùng tiếp xúc cho bề mặt răng. Việc xác định được điểm tiếp xúc của từng thời điểm sẽ giúp cho các nhà thiết kế và chế tạo bánh răng có thể dự đoán được vùng tiếp xúc lý thuyết khi có sai lệch qua đó kiểm soát được chất lượng bộ truyền một cách tốt hơn.

2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT

2.1. Lý thuyết biểu diễn bề mặt răng

Trong tài liệu [3], F.Litvin đã dựa trên cơ sở nghiên cứu về lý thuyết ăn khớp phẳng và ăn khớp không gian bằng phương pháp giải tích đã chỉ ra rằng: Bề mặt làm việc của bánh răng trong không gian sẽ được biểu diễn hợp lý nhất thông qua phương trình thông số véc-tơ. Véc-tơ bán kính

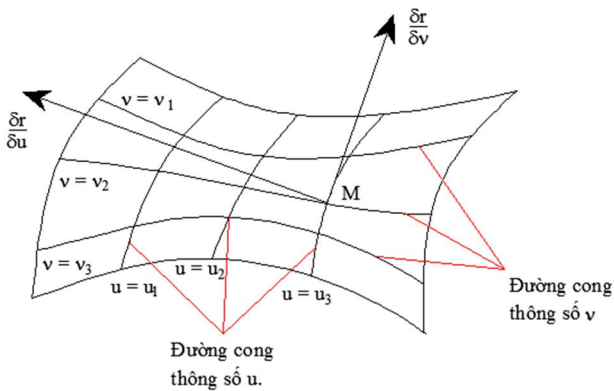
của điểm nằm trên bề mặt làm việc (hình 2) được xác định trong hệ tọa độ Đề các tuyệt đối có dạng như sau:

$$\vec{r} = x(u, v)\vec{i} + y(u, v)\vec{j} + z(u, v)\vec{k} \quad (1)$$

Trong đó:

u, v - các thông số của phương trình bề mặt.

$\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$ - véc tơ chỉ phương lần lượt theo trục x, y, z .



Hình 2. Thông số bề mặt không gian

Theo hình học vi phân thì hai thông số u, v được coi là độc lập khi thỏa mãn điều kiện:

$$\frac{\partial \vec{r}}{\partial u} \times \frac{\partial \vec{r}}{\partial v} \neq \vec{0} \quad (2)$$

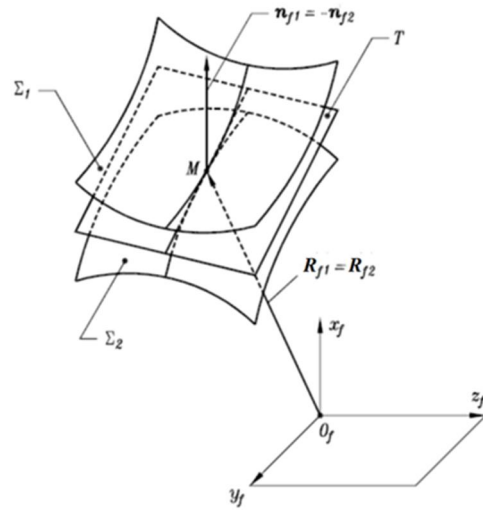
Nếu một trong hai thông số u, v không đổi thì phương trình (2) sẽ trở thành phương trình đường cong. Giả sử $v = v_i = \text{const}$ thì phương trình (2) sẽ trở thành phương trình đường cong thông số u : $r = r(u, v_i)$, ngược lại nếu $u = u_i = \text{const}$ thì phương trình (2) sẽ trở thành phương trình đường cong thông số v : $r = r(u, v_i)$.

2.2. Lý thuyết ăn khớp[2,3]

Để nắm được về lý thuyết ăn khớp bánh răng đầu tiên chúng ta cần hiểu rõ về lý thuyết ăn khớp trong không gian. Công trình nghiên cứu [2] là công trình nghiên cứu cơ bản đầu tiên về lý thuyết ăn khớp không gian, trong nghiên cứu này tác giả đã trình bày lý thuyết chung về tạo hình bề mặt răng ăn khớp trong không gian đối tiếp bằng phương pháp bao hình. Theo lý thuyết khi xét đến điều kiện tiếp xúc thì hai bề mặt răng được hình thành sẽ có tiếp xúc với nhau theo điểm hoặc đường. Sau này các nhà nghiên cứu đã ứng dụng kết quả trên với luận điểm: tại điểm tiếp xúc của hai bề mặt đối tiếp ăn khớp với nhau trong không gian thì véc-tơ chuyển động tương đối cần phải nằm trong mặt phẳng tiếp tuyến với bề mặt đối tiếp. Việc này có thể được diễn giải như sau:

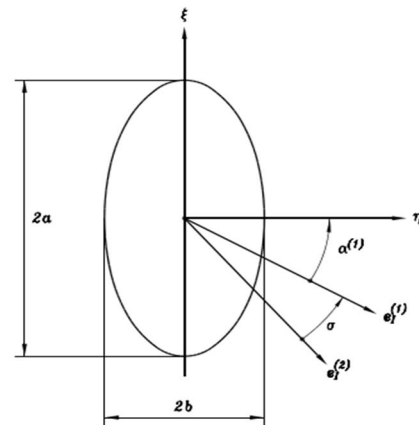
Khi ăn khớp, hai bề mặt răng chỉ tiếp xúc với nhau tại một điểm duy nhất trong mọi thời điểm (hình 3), để tìm được điểm tiếp xúc M của hai bề mặt tại một thời điểm bất kỳ thì chúng ta cần biểu diễn hai bề mặt trên dưới dạng phương trình véc tơ (Σ_1 và Σ_2). Khi đó để thỏa mãn điều kiện ăn khớp thì tọa độ điểm ăn khớp M_1 của bề mặt Σ_1 trên hệ quy chiếu cố định ($O_1X_1Y_1Z_1$) và tọa độ điểm ăn khớp M_2

của bề mặt Σ_2 trên hệ quy chiếu cố định ($O_1X_1Y_1Z_1$) phải trùng nhau ($M_1 \equiv M_2$) đồng thời véc tơ pháp tuyến n_1 của Σ_1 tại điểm M_1 và véc tơ pháp tuyến n_2 của Σ_2 tại điểm M_2 phải cùng phương và ngược chiều nhau.



Hình 3. Mô tả tiếp xúc bề mặt không gian

2.3. Lý thuyết hình thành vết tiếp xúc [3]



Hình 4. Tiếp xúc hình elip

Tại mỗi điểm tiếp xúc giữa hai bề mặt răng thì dưới tác dụng của tải trọng và tính biến dạng dẻo của vật liệu chế tạo mà hai bề mặt răng sẽ tiếp xúc với nhau trong một vùng tiếp xúc xung quanh điểm tiếp xúc lý thuyết. Vùng tiếp xúc này là một hình elip có tâm đối xứng là điểm tiếp xúc lý thuyết và có kích thước phụ thuộc vào tính đàn hồi của vật liệu, độ cong bề mặt răng và hướng của bề mặt tiếp xúc (hình 4). Trong các nghiên cứu của mình Litvin đã nghiên cứu và mô hình hóa toán học được vùng tiếp xúc elip này với thông số bán kính được mô tả bằng công thức sau:

Bán kính lớn:

$$a = 2 \sqrt{\frac{\delta}{(k_{11} + k_{111}) - (k_{21} + k_{211}) - \sqrt{(k_{11} - k_{111})^2 - 2(k_{11} - k_{111})(k_{21} - k_{211}) \cos(2\sigma) + (k_{21} - k_{211})^2}}} \quad (3)$$

Bán kính nhỏ:

$$b = 2 \sqrt{\frac{\delta}{(k_{11} + k_{111}) - (k_{21} + k_{211}) + \sqrt{(k_{11} - k_{111})^2 - 2(k_{11} - k_{111})(k_{21} - k_{211})\cos(2\sigma) + (k_{21} - k_{211})^2}}} \quad (4)$$

Trong đó:

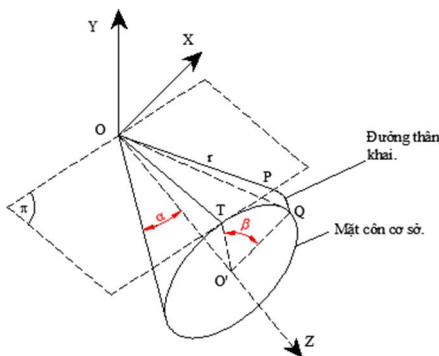
- k_{11} và k_{111} là độ cong của bề mặt bánh răng chủ động
- k_{21} và k_{211} là độ cong của bề mặt bánh răng bị động
- \vec{e}_1 và \vec{e}_2 là véc tơ chỉ phương chính của hai bề mặt

răng tại điểm tiếp xúc lý thuyết

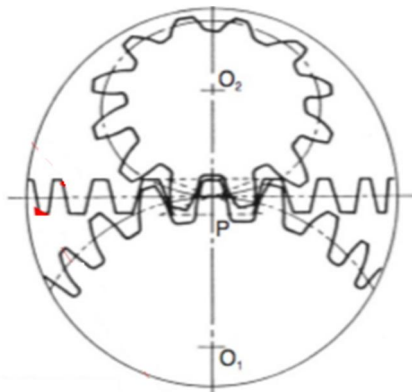
- σ là góc tạo bởi \vec{e}_1 và \vec{e}_2
- δ là biến dạng dẻo vật liệu

3. ỨNG DỤNG MATLAB ĐỂ GIẢI ĐIỂM TIẾP XÚC TRÊN BÁNH RĂNG CÔN THẲNG THÂN KHAI

3.1. Xây dựng bề mặt răng thân khai [6]



a) Hệ tọa độ bề mặt hông răng



b) Hình cầu thân khai

Hình 5. Mô tả xây dựng bề mặt răng

Giả sử P là một điểm nằm trên bề mặt hông răng với C_p là đường tròn cơ sở có tâm O' , Q là điểm cơ sở trên C_p , T là điểm tiếp tuyến trên mặt côn cơ sở và α là góc hình côn. Khi đó để thỏa mãn lý thuyết ăn khớp răng thì phương trình của mặt côn cơ sở sẽ có dạng (hình 5b):

$$X^2 + Y^2 = Z^2 \cdot \tan^2 \alpha \quad (5)$$

Nếu gọi β là góc hợp bởi $O'Q$ và $O'T$ thì phương trình của mặt phẳng tiếp tuyến π sẽ có dạng:

$$\pi(X, Y, Z, \beta) = X \cdot \cos \alpha \cdot \cos \beta + Y \cdot \cos \alpha \cdot \sin \beta - Z \cdot \sin \alpha = 0 \quad (6)$$

Do P thuộc π và $Op = OQ = r$ nên:

$$\begin{cases} X_p \cdot \cos \alpha \cdot \cos \beta + Y_p \cdot \cos \alpha \cdot \sin \beta - Z_p \cdot \sin \alpha = 0 \\ X_p^2 + Y_p^2 + Z_p^2 = r^2 \end{cases} \quad (7)$$

Ngoài ra theo lý thuyết ăn khớp thì $\widehat{TQ} = \widehat{TP}$ nên ta có:

$$\begin{aligned} (X_p - r \cdot \sin \alpha \cdot \cos \beta)^2 + (Y_p - r \cdot \sin \alpha \cdot \sin \beta)^2 \\ + (Z_p - r \cdot \cos \alpha)^2 = r^2 \cdot \beta^2 \cdot \sin^2 \alpha \end{aligned} \quad (8)$$

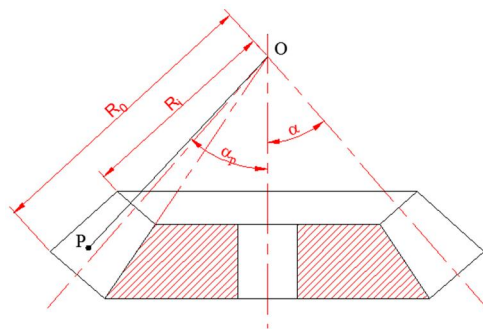
Giải hệ phương trình (7) và (8) ta sẽ thu được:

$$\begin{cases} X_p = r \cdot \sin \alpha \cdot \cos \beta \left(1 - \frac{\beta^2 \cdot \sin^2 \alpha}{2}\right) + r \cdot \beta \cdot \sin \alpha \cdot \sin \beta \sqrt{1 - \frac{\beta^2 \cdot \sin^2 \alpha}{4}} \\ Y_p = r \cdot \sin \alpha \cdot \sin \beta \left(1 - \frac{\beta^2 \cdot \sin^2 \alpha}{2}\right) - r \cdot \beta \cdot \sin \alpha \cdot \cos \beta \sqrt{1 - \frac{\beta^2 \cdot \sin^2 \alpha}{4}} \\ Z_p = r \cdot \cos \alpha \left(1 - \frac{\beta^2 \cdot \sin^2 \alpha}{2}\right) \end{cases} \quad (9)$$

Kết quả thu được ở trên là tọa độ trong không gian của điểm P. Qua đó chúng ta thu được phương trình bề mặt bên răng của bánh răng côn răng thẳng sẽ có dạng như sau:

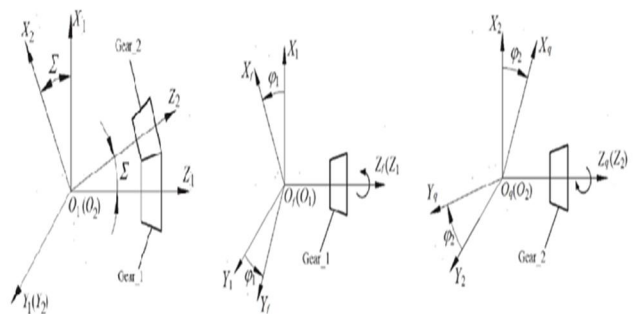
$$\begin{aligned} S(r, \beta) = & \left[r \cdot \sin \alpha \cdot \cos \beta \left(1 - \frac{\beta^2 \cdot \sin^2 \alpha}{2}\right) + r \cdot \beta \cdot \sin \alpha \cdot \sin \beta \sqrt{1 - \frac{\beta^2 \cdot \sin^2 \alpha}{4}} \right] \vec{i} \\ & + \left[r \cdot \sin \alpha \cdot \sin \beta \left(1 - \frac{\beta^2 \cdot \sin^2 \alpha}{2}\right) - r \cdot \beta \cdot \sin \alpha \cdot \cos \beta \sqrt{1 - \frac{\beta^2 \cdot \sin^2 \alpha}{4}} \right] \vec{j} \\ & + \left[Z_p = r \cdot \cos \alpha \left(1 - \frac{\beta^2 \cdot \sin^2 \alpha}{2}\right) \right] \vec{k} \end{aligned} \quad (10)$$

Với $R_i \leq r \leq R_o$



Hình 6. Tọa độ điểm thuộc bề mặt răng

3.2. Xây dựng hệ tọa độ và ma trận chuyển đổi [3]



Hình 7. Các hệ tọa độ gắn lên bộ truyền

Đầu tiên, từ quan hệ ăn khớp trong không gian chúng ta gắn vào các bánh răng các hệ quy chiếu như trên hình 7. Qua hệ tọa độ chúng ta xác định được các ma trận chuyển thuận nhất giữa các hệ tọa độ như sau:

$$M_{2q} = \begin{bmatrix} \cos\varphi_2 & -\sin\varphi_2 & 0 & 0 \\ \sin\varphi_2 & \cos\varphi_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad M_{qf} = \begin{bmatrix} \cos\Sigma & 0 & -\sin\Sigma & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ \sin\Sigma & 0 & \cos\Sigma & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$M_{q1} = \begin{bmatrix} \cos\varphi_1 & -\sin\varphi_1 & 0 & 0 \\ \sin\varphi_1 & \cos\varphi_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (11)$$

$$L_{2f} = \begin{bmatrix} \cos\varphi_2 & -\sin\varphi_2 & 0 \\ \sin\varphi_2 & \cos\varphi_2 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad L_{qf} = \begin{bmatrix} \cos\Sigma & 0 & -\sin\Sigma \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin\Sigma & 0 & \cos\Sigma \end{bmatrix}$$

$$L_{1f} = \begin{bmatrix} \cos\varphi_1 & -\sin\varphi_1 & 0 \\ \sin\varphi_1 & \cos\varphi_1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (12)$$

Các vec tơ pháp tuyến của hai bề mặt được xây dựng như sau:

$$n_1 = \frac{\frac{\partial R_1}{\partial r_1} \times \frac{\partial R_1}{\partial \beta_1}}{\left| \frac{\partial R_1}{\partial r_1} \times \frac{\partial R_1}{\partial \beta_1} \right|} \quad \text{và} \quad n_2 = \frac{\frac{\partial R_2}{\partial r_2} \times \frac{\partial R_2}{\partial \beta_2}}{\left| \frac{\partial R_2}{\partial r_2} \times \frac{\partial R_2}{\partial \beta_2} \right|} \quad (13)$$

Véc tơ vị trí của điểm và vector pháp tuyến của bánh răng 1 trên hệ tọa độ cố định S_f

$$\begin{cases} R_{f1} = R_{f1}(r_1, \varphi_1, \beta_1) = M_{f1} R_1 \\ n_{f1} = n_{f1}(r_1, \varphi_1, \beta_1) = L_{f1} n_1 \end{cases} \quad (14)$$

Véc tơ vị trí của điểm và vec tơ pháp tuyến của bánh răng 2 trên hệ tọa độ cố định S_f

$$\begin{cases} R_{f2} = R_{f2}(r_2, \varphi_2, \beta_2) = M_{f2} M_{q2} R_2 \\ n_{f2} = n_{f2}(r_2, \varphi_2, \beta_2) = L_{f2} L_{q2} n_2 \end{cases} \quad (15)$$

Để đảm bảo hai bề mặt răng tiếp xúc nhau trong suốt quá trình ăn khớp như trên hình 3 thì cần phải thỏa mãn hệ phương trình sau:

$$\begin{cases} R_{f1}(r_1, \varphi_1, \beta_1) = R_{f1}(r_2, \varphi_2, \beta_2) \\ n_{f1}(r_1, \varphi_1, \beta_1) = n_{f1}(r_2, \varphi_2, \beta_2) \end{cases} \quad (16)$$

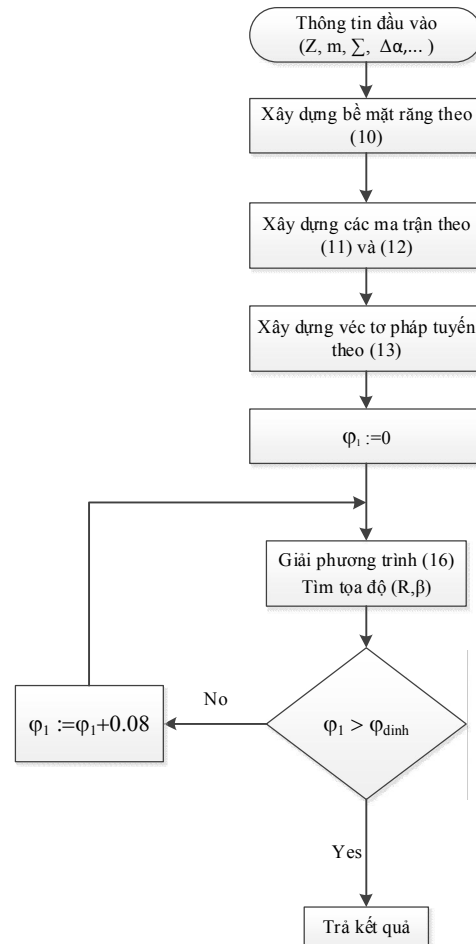
3.3. Xây dựng chương trình

Bài toán sử dụng công cụ Matlab để dự đoán điểm tiếp xúc có lưu đồ thuật toán như hình 8 được hiểu như sau:

- (1) Đầu tiên chúng ta cần xây dựng hai biên dạng bề mặt răng (bề mặt tiêu chuẩn hoặc bề mặt có tổn tại sai số) và gắn chúng lên hai hệ tọa độ theo phương trình (10)
- (2) Sau đó đưa hai hệ tọa độ của hai bề mặt về hệ quy chiếu lắp ráp (hình 5)
- (3) Xây dựng và tạo quan hệ giữa các ma trận ăn khớp (11), (12) và (13)
- (4) Xây dựng vec tơ pháp tuyến của các bề mặt (14)

(5) Sử dụng Matlab để giải hệ phương trình quan hệ giữa hai bề mặt với điều kiện lý thuyết ăn khớp

(6) Mô tả và trả về kết quả điểm



Hình 8. Lưu đồ thuật toán xây dựng điểm tiếp xúc

3.4. Kết quả chương trình

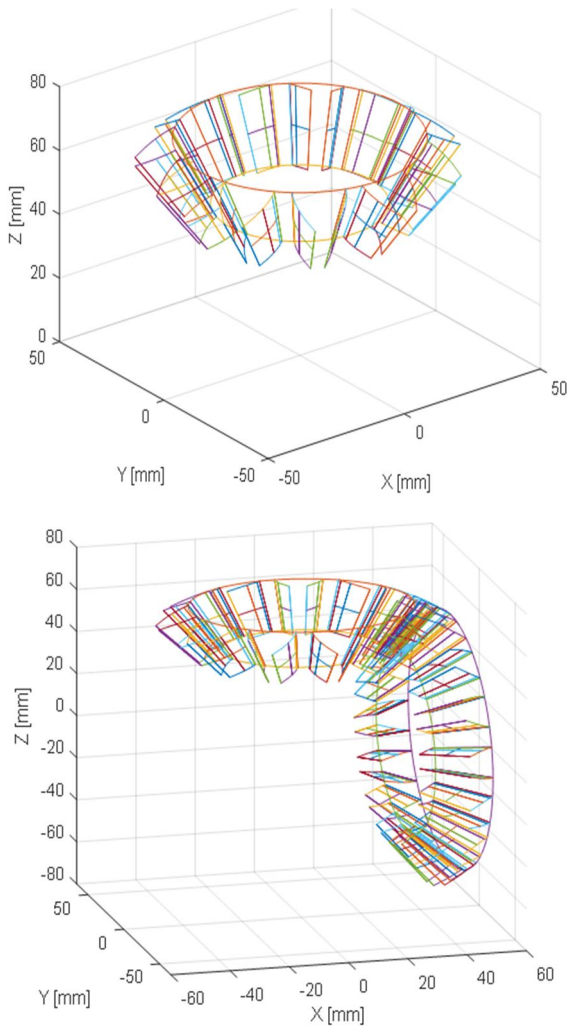
Ứng dụng chương trình để giải cho bộ truyền bánh răng côn thẳng thân khai có thông số như trên bảng 1.

Bảng 1. Các thông số chính bộ truyền Z11,16-m8 [1]

Thông số	Ký hiệu	Thứ nguyên	Giá trị	
			Bánh chủ động	Bánh bị động
Số răng bị động	Z	-	16	11
Modul	m	-	8	8
Bề rộng răng	B	mm	30	30
Góc hợp trục	Σ	Độ	90	90
Góc áp lực	α	Độ	20	20
Cấp chính xác (DIN)	Δ	-	3	3
Hệ số dịch chỉnh	ξ	-	0	0

Kết quả mô phỏng biên dạng răng trên Matlab như hình 9.

Kết quả mô phỏng điểm tiếp xúc ở điều kiện lý tưởng và điều kiện thay đổi biên dạng bánh răng bị động với các trường hợp $\Delta\alpha = 0,01$, $\Delta\alpha = 0,05$ và $\Delta\alpha = -0,1$ như bảng 2 và hình 10.

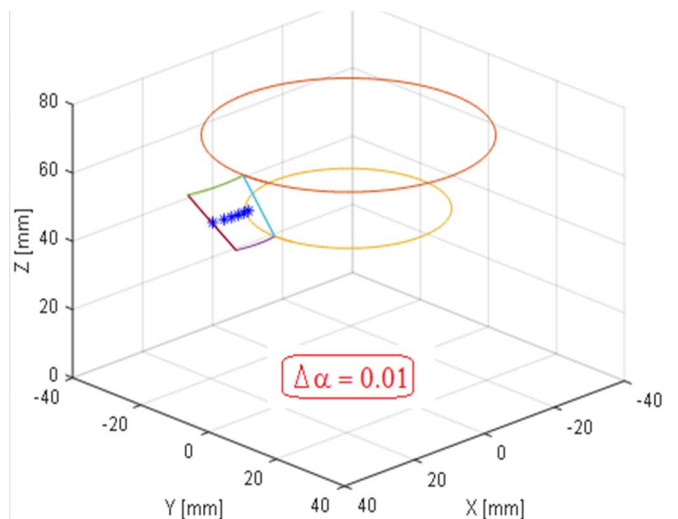
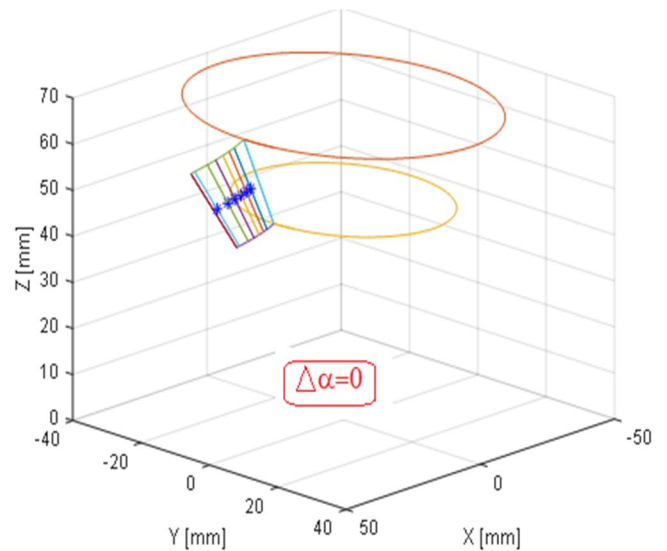


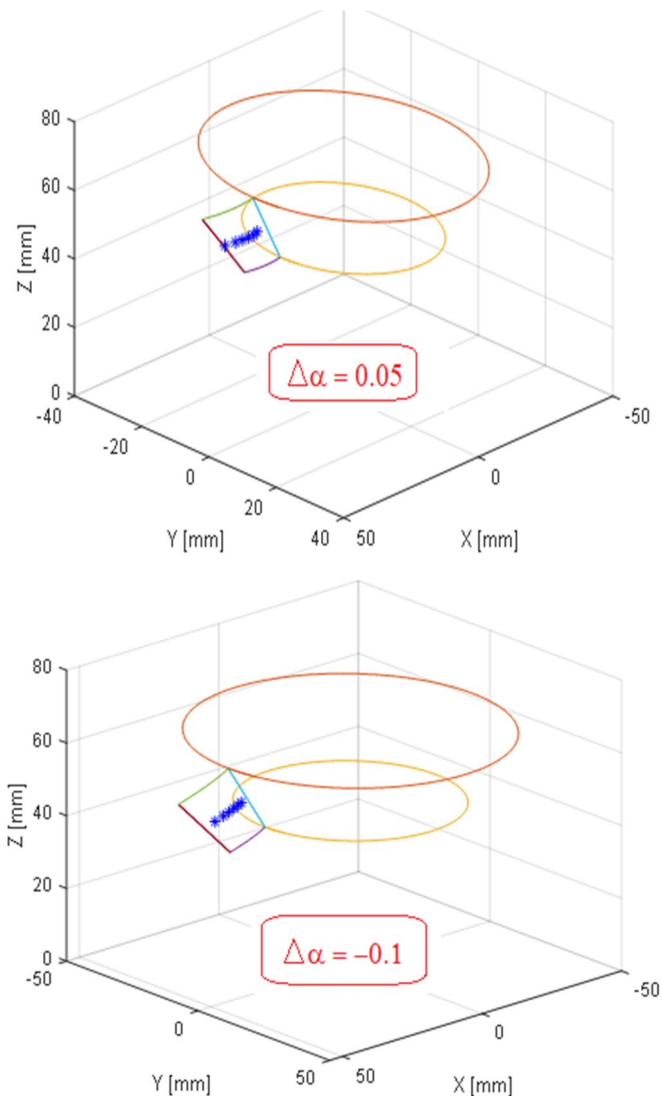
Hình 9. Biên dạng bộ truyền bánh răng Z16-11m8

Bảng 2. Thông số tọa độ cực điểm tiếp xúc

STT	Góc xoay (rad)		Tọa độ cực tiếp xúc trên 2 bánh răng			
	Bánh 1 (φ_1)	Bánh 2 (φ_2)	β_1 (rad)	β_2 (rad)	R_1 (mm)	R_2 (mm)
$\Delta\alpha = 0,01$						
1	0,000	-3,026	-0,462	1,095	66,016	66,016
2	0,080	-3,064	-0,554	1,062	66,016	66,016
3	0,160	-3,102	-0,646	1,027	66,016	66,016
4	0,240	-3,140	-0,737	0,991	66,016	66,016
5	0,320	-3,179	-0,828	0,954	66,016	66,016
6	0,428	-3,232	-0,950	0,901	66,016	66,016
$\Delta\alpha = 0,05$						
1	0,000	-3,051	-0,455	0,975	66,473	66,473
2	0,080	-3,094	-0,547	0,935	66,016	66,016
3	0,160	-3,137	-0,640	0,894	66,016	66,016
4	0,240	-3,181	-0,732	0,851	66,016	66,016
5	0,320	-3,225	-0,823	0,806	66,016	66,016
6	0,428	-3,286	-0,945	0,742	66,016	66,016

$\Delta\alpha = 0$						
1	0,000	-3,075	-0,436	0,849	66,016	66,016
2	0,080	-3,123	-0,530	0,802	66,016	66,016
3	0,160	-3,172	-0,623	0,753	66,016	66,016
4	0,240	-3,221	-0,714	0,702	66,016	66,016
5	0,320	-3,271	-0,805	0,649	66,012	66,012
6	0,428	-3,338	-0,927	0,573	66,016	66,016
$\Delta\alpha = -0,1$						
1	0,000	-3,116	-0,354	0,566	66,016	66,016
2	0,080	-3,175	-0,448	0,505	66,016	66,016
3	0,160	-3,234	-0,540	0,441	66,016	66,016
4	0,240	-3,293	-0,630	0,372	66,016	66,016
5	0,320	-3,353	-0,717	0,300	66,016	66,016
6	0,428	-3,435	-0,831	0,195	66,016	66,016





Hình 10. Mô tả tiếp xúc của hai bề mặt răng

4. KẾT LUẬN

Qua kết quả nghiên cứu được thể hiện trong bảng 2 và hình 7 chúng ta thấy rằng, khi có sai lệch về hình dạng bề mặt răng (trong trường hợp thí nghiệm là $\Delta\alpha$) thì vết tiếp xúc có xu hướng chạy về đỉnh răng khi $\Delta\alpha$ dương và chạy về chân răng khi $\Delta\alpha$ âm. Với kết quả đạt được chúng ta có thể áp dụng phương trình (3) và (4) để dự đoán được vết tiếp xúc lý thuyết trong trường hợp có sai lệch hoặc trong trường hợp cần sự tinh chỉnh bề mặt bánh răng.

Kết quả của bài báo đóng góp vai trò trong việc nghiên cứu và chế tạo các bánh răng côn răng thẳng khi quan tâm đến tiêu chí vết tiếp xúc cũng như khả năng làm việc của bộ truyền động.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. TCVN 1991-1977. *Truyền động bánh răng côn thẳng - Thông số cơ bản (1977)*.
- [2]. T.Oliver, *Theore geometry des engrenages (1842)*.
- [3]. Fador L.Litvin, Alfonso Fuentes, 2004. *Gear geometry and applied theory*. Cambridge University Press
- [4]. The Gleason Works, 1986. *Bevel gear development and testing procedure*. Gear technology
- [5]. Technical standards DIN, 1986. *DIN 3965 - Toleranzen fur kegelradverzahnungen*. German technical standard
- [6]. Y.C.Tsai, P.C.Chin, 1987. *Surface geometry of straight and spiral bevel gears*. Mechanisms, Transmissions, and Automation in Design.

AUTHOR INFORMATION

Nguyen Hong Linh

Electric Power University

School of Mechanical Engineering, Hanoi University of Science and Technology