

PHƯƠNG PHÁP GIA CÔNG BÁNH RĂNG CÔN RĂNG THẲNG BẰNG KỸ THUẬT CAD/CAM

METHODS OF MANUFACTURING BEVEL GEAR BY USING CAD/CAM TECHNOLOGY

Phạm Đức Thiên

Khoa Cơ – Điện, Trường Đại học Mỏ – Địa chất

TÓM TẮT

Trên cơ sở của công nghệ CAD/CAM và các phép biến đổi phép toán học, bài báo đã trình bày phương pháp xây dựng mô hình toán học bề mặt bánh răng côn răng thẳng. Từ cơ sở đó, việc thiết lập đường chạy dao, mô phỏng quá trình gia công bánh răng côn được hỗ trợ từ các phần mềm CAD/CAM. Kết quả thực nghiệm khi gia công bánh răng côn trên máy CNC cho thấy độ chính xác đạt được cấp 5 theo TCVN và sai lệch biên dạng răng cũng như bước răng nằm trong giới hạn cho phép.

Từ khóa: Bánh răng côn; CAD; CAE.

ABSTRACT

On the basis of CAD/CAM technology and mathematical transformations, this paper presents a method to build a mathematical model of bevel gear. From that basis, the toolpath is generated. The simulation of the bevel gear machining process is supported by CAD/CAM software. Experimental results when machining bevel gears on CNC machines show that the accuracy is achieved at level 5 according to TCVN and the deviation of tooth profile as well as tooth pitch is within the allowable limit.

Keywords: Bevel gear; CAD; CAM.

1. MỞ ĐẦU

Việc gia công bánh răng chúng ta phải đầu tư máy móc và thiết bị chuyên dùng nên nếu không sử dụng hết công suất sẽ gây ra lãng phí, dẫn tới giá thành sản phẩm cao. Do đó, người ta chỉ đầu tư chúng để gia công các bánh răng phổ biến, tức là bánh răng có modul nhỏ và trung bình. Đối với các bánh răng phi tiêu chuẩn, bánh răng lớn, hoặc bánh răng dùng

trong các thiết bị đặc biệt thì việc thiết kế, chế tạo gặp nhiều khó khăn do thiếu về trang bị máy móc chuyên dùng trong khi thực tế là đa phần các phân xưởng đều được trang bị máy CNC (Computer Numerical Control). Vấn đề là làm thế nào để tận dụng được máy CNC để có thể đáp ứng được yêu cầu chế tạo bánh răng. Một số nghiên cứu đã đưa ra được các phương pháp khác nhau khi gia công bánh răng côn trên các máy CNC. Nhóm tác giả [1] đã mô phỏng

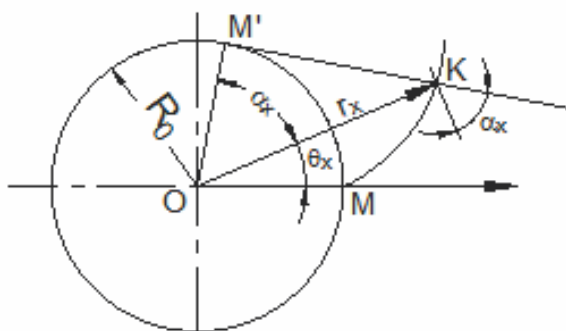
gia công bánh răng côn trên máy tính, sau đó tiến hành gia công thực nghiệm trên máy phay CNC 3 trục. Nhóm tác giả Lê Cung, Bùi Minh Hiền [2] đã đưa ra phương pháp thiết lập đường chạy dao khi gia công bánh răng trên máy phay CNC. Nhóm tác giả Lê Cung, Lê Phước Hoàng [3] đưa ra kết quả quá trình tạo phôi bánh răng côn bằng phương pháp dập thể tích, áp dụng trong gia công bánh răng côn. Trong nghiên cứu này, nhóm tác giả tập trung thiết lập mô hình toán học để xây dựng bề mặt bánh răng côn răng thẳng, từ đó tiến hành xây dựng đường chạy dao khi gia công trên máy phay CNC. Đây là bước quan trọng trong việc gia công bánh răng côn trên máy phay CNC.

2. CƠ SỞ PHƯƠNG PHÁP GIA CÔNG BÁNH RĂNG CÔN TRÊN MÁY CNC

2.1. Xây dựng bề mặt bánh răng côn răng thẳng biên dạng thân khai

Theo [4] thì cho đường thẳng Δ lăn không trượt trên đường tròn R_0 , điểm M trên sẽ tạo ra đường thân khai (Hình 1). Phương trình đường thân khai trong hệ tọa độ cực:

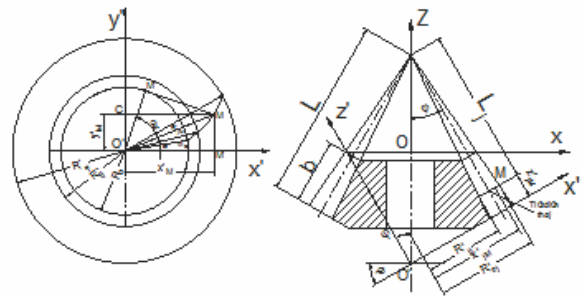
$$\begin{cases} r_x = \frac{r_b}{\cos \alpha_x} \\ \theta_x = \text{tg} \alpha_x - \alpha_x = \text{inv}(\alpha_x) \end{cases} \quad (1)$$



Hình 1. Hệ tọa độ đường thân khai

Nếu cắt bánh răng bằng một tiết diện vuông góc với đường răng thì giao tuyến thu được là đường thân khai. Bánh răng côn thẳng có tiết diện thay đổi giảm dần từ mặt mút lớn đến mặt mút nhỏ, do vậy modul bánh răng cũng thay đổi theo các tiết diện bánh răng. Ta cắt bánh răng theo mặt côn phụ lớn thì ta được một bánh răng trụ tương đương.

Để xây dựng phương trình bề mặt thân khai cho bánh răng côn, ta xây dựng phương trình đường thân khai cho một tiết diện j trong hệ tọa độ vuông góc với đường răng, sau đó sử dụng phép quay tọa độ để đưa phương trình về hệ tọa độ của bánh răng. Xét trong hệ tọa độ $o'x'y'z'$ (Hình 2).



Hình 2. Sơ đồ thiết lập bề mặt bánh răng

Lấy một điểm M bất kỳ trên đường thân khai, tọa độ điểm M trong hệ tọa độ $o'x'y'z'$. Nó được xác định theo phương trình (2).

$$\begin{cases} x'_{jM} = R'_{jM} \cdot \cos(\theta_x) = R'_{jM} \cdot \cos(\text{inv} \alpha_x) \\ y'_{jM} = R'_{jM} \cdot \sin(\theta_x) = R'_{jM} \cdot \sin(\text{inv} \alpha_x) \\ z'_{jM} = L - L_j \end{cases} \quad (2)$$

Trong đó: $\text{inv} \alpha_x = \tan \alpha_x - \alpha_x$

và $R'_{ij} \leq R'_{jM} \leq R'_{ej}$, với $\alpha_{\min} \leq \alpha_x \leq \alpha_{\max}$.

Chuyển hệ tọa độ $o'x'y'z'$ sang hệ tọa độ $oxyz$ bằng cách quay hệ tọa độ $o'x'y'z'$ quanh trục oy một góc đúng bằng góc côn φ ,

sau đó tịnh tiến một đoạn OO' để đưa gốc O' về O . Tọa độ điểm M trong hệ tọa độ $oxyz$ là:

$$\begin{bmatrix} x_{jM} \\ y_{jM} \\ z_{jM} \end{bmatrix} = R_y(\varphi) \cdot T(0, 0, OO') \cdot \begin{bmatrix} x'_{jM} \\ y'_{jM} \\ z'_{jM} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \varphi & 0 & \sin \varphi \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \varphi & 0 & \cos \varphi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & OO' \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x'_{jM} \\ y'_{jM} \\ z'_{jM} \end{bmatrix} \quad (3)$$

Trong đó:

$$OO' = \frac{m_e(R_e - b \sin \phi)}{R_e} \cdot \cos \phi + (R_e - b \sin \phi) \tan \phi + b \cos \phi \quad (4)$$

Với R_e là bán kính vòng đỉnh bánh răng. Để thiết lập phương trình cho biên dạng răng bên trái, ta tiến hành quanh hệ tọa độ một góc với Z là số răng bánh răng cần thiết kế. Phương trình bề mặt răng bên trái của răng bánh răng được xác định như sau:

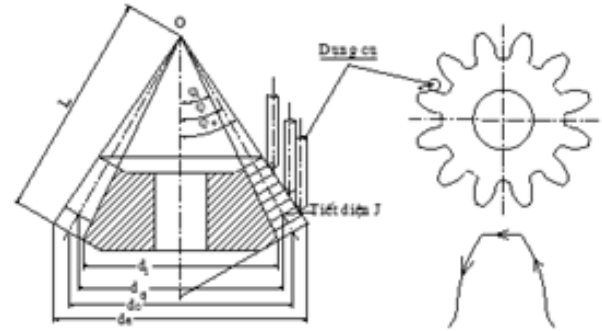
$$\begin{bmatrix} x_M \\ y_M \\ z_M \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \varphi & 0 & \sin \varphi \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \varphi & 0 & \cos \varphi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & O' \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \mu & -\sin \mu & 0 \\ \sin \mu & \cos \mu & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x'_M \\ y'_M \\ z'_M \end{bmatrix} \quad (5)$$

2.2. Xây dựng đường chạy dao cho bánh răng côn răng thẳng biên dạng thân khai

Khi gia công bánh răng thân khai, ta sử dụng đường chạy dao bám theo bề mặt thân khai, cho dao chạy theo biên dạng của đường thân khai (Hình 3).

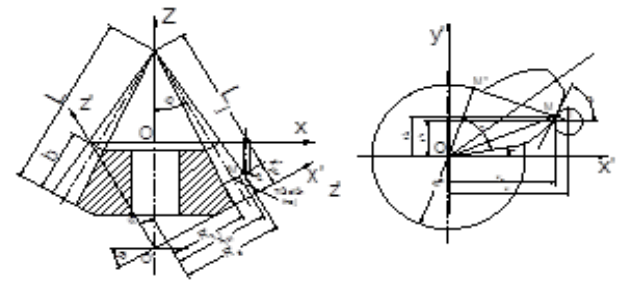
Bánh răng côn được coi tương đương với bánh răng trụ có bán kính bằng chiều dài côn L [5]. Ta chi bánh răng theo các tiết diện vuông góc với đường răng thì ta sẽ có các bánh trụ răng thẳng tương đương có bán kính $R_i = L_i$. Chọn dụng cụ gia công bánh răng là dao phay đầu cầu (ball mill) có đường kính R_{dc} để gia công bánh

răng. Phương trình chạy dao ở tiết diện thứ j trong hệ tọa độ $o'x'y'z'$ trong tiết diện j (Hình 4).



Hình 3. Đường chạy dao

$$\begin{cases} x'_{jI} = R'_{jM} \cdot \cos(\text{inv} \alpha_x) + R_{dc} \cdot \sin \alpha_x \\ y'_{jI} = R'_{jM} \cdot \sin(\text{inv} \alpha_x) - R_{dc} \cdot \cos \alpha_x \\ z'_{jI} = L - L_j \end{cases} \quad (6)$$



Hình 4. Sơ đồ tính đường chạy dao

Tọa độ điểm I trong hệ tọa độ $oxyz$, cũng là phương trình đường chạy dao.

$$\begin{bmatrix} x_{jI} \\ y_{jI} \\ z_{jI} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \varphi & 0 & \sin \varphi \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \varphi & 0 & \cos \varphi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & OO' \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x'_{jI} \\ y'_{jI} \\ z'_{jI} \end{bmatrix} \quad (7)$$

Tham số OO' tính như phương trình (4).

Để thiết lập phương trình cho biên dạng răng bên trái, ta tiến hành quanh hệ tọa độ một

góc $\mu = \frac{2\pi}{Z}$ với Z là số răng bánh răng cần thiết kế. Phương trình đường chạy dao trái được xác định như sau:

$$\begin{bmatrix} x_{i,t} \\ y_{i,t} \\ z_{i,t} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \varphi & 0 & \sin \varphi \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \varphi & 0 & \cos \varphi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \mu & -\sin \mu & 0 \\ \sin \mu & \cos \mu & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x'_{i,t} \\ y'_{i,t} \\ z'_{i,t} \end{bmatrix} \quad (8)$$

2.3. Mô phỏng quá trình gia công bánh răng côn răng thẳng

Trong nghiên cứu này, phần mềm MASTERCAM [6] để mô phỏng quá trình gia công của bánh răng côn răng thẳng với thông số $m = 10$, số răng $Z = 12$. Quá trình mô phỏng được thực hiện qua các bước:

Bước 1: Thiết lập phôi, đường kính phôi xác định dựa trên đường kính ngoài lớn nhất của bánh răng côn có tính đến lượng dư gia công.

Bước 2: Chọn dụng cụ cắt, nếu chúng ta sử dụng phương pháp gia công trên máy CNC thì ta sử dụng con dao phay đầu cầu (Ball Mill) để gia công bánh răng.

Bước 3: Thiết lập đường chạy dao cho gia công thô bánh răng.

Bước 4: Chọn chế độ cắt dựa trên cơ sở tính toán chế độ cắt trên máy cắt CNC.

Bước 5: Chọn các thông số khác như mặt phẳng lùi dao, mặt phẳng cắt, chế độ bôi trơn,...

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

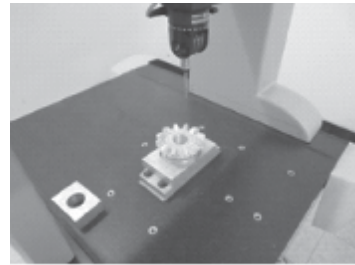
Quá trình mô phỏng gia công được thực hiện từng bước như mục 2.3 và thu file NC.

Kết thúc quá trình mô phỏng, tập NC gia công sẽ được hình thành và nhập vào máy

CNC thông qua bộ đọc dữ liệu. Chế độ công nghệ gia công đã thiết lập trong tập NC [7].



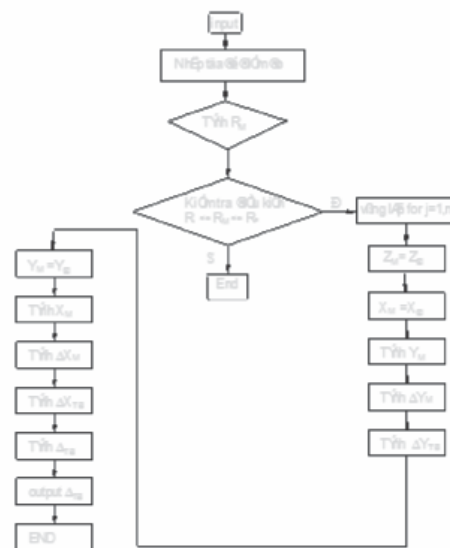
Hình 5. Quá trình gia công



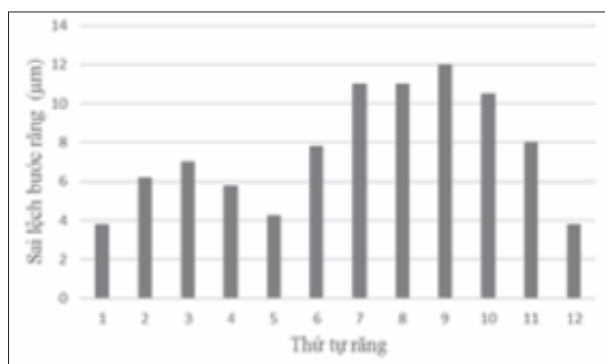
Hình 6. Đo kiểm trên máy đo tọa độ CMM

Việc đo kiểm biên dạng răng được tiến hành đo kiểm bằng phương pháp CMM.

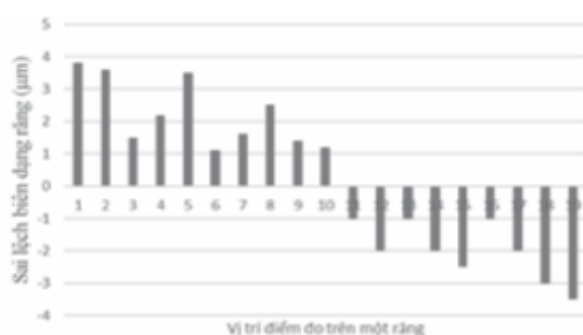
Dữ liệu điểm sau từ máy đo tọa độ và được kiểm tra bằng thuật toán như hình 9.



Hình 7. Thuật toán kiểm tra



Hình 8. Kết quả sai lệch bước răng



Hình 9. Sai lệch biên dạng răng

Phân tích số liệu đo được trên máy CNC, thì bánh răng gia công trên máy phay CNC đạt cấp chính xác 5 theo TCVN. Sai lệch bước răng nhỏ hơn 0.2% (Hình 8) và sai lệch biên dạng răng nhỏ hơn 0.1 % (Hình 9). Kết quả này cho thấy việc gia công bánh răng côn trên máy phay CNC đáp ứng được yêu cầu của thực tế sử dụng.

4. KẾT LUẬN

Trên cơ sở ứng dụng CAD/CAM, nghiên cứu này đã xây dựng được mô hình toán học bề mặt bánh răng côn răng thẳng biên dạng thân khai dựa trên cơ sở của phương trình hình học và các phép biến đổi hình học phẳng và không gian. Từ đó, đường chạy dao để gia công bánh răng côn răng thẳng trên cơ sở mô hình toán học đã được thiết lập. Bài báo đưa ra các bước mô phỏng gia công bánh răng thực hiện trên phần mềm CAM và đã thử nghiệm

gia công trên máy CNC. Kết quả kiểm tra biên dạng răng bằng phương pháp đo tọa độ CMM cho thấy, bánh răng gia công đạt cấp chính xác 5 và đáp ứng được yêu cầu kỹ thuật về độ chính xác chế tạo răng bánh răng. ❖

Ngày nhận bài: **25/5/2023**

Ngày phản biện: **12/6/2023**

Tài liệu tham khảo:

- [1]. P. V. P., Lưu Phước Bình; "*Mô phỏng gia công bánh răng côn trên máy tính*". Tạp chí Khoa học và Công nghệ, Trường Đại học Bách khoa, Đại học Đà Nẵng, vol. 1, 2008.
- [2]. B. M. H., Lê Cung; "*Phương pháp thiết lập đường chạy dao gia công cho máy phay CNC ba trục*", Tạp chí Khoa học và Công nghệ, Trường Đại học Bách khoa, Đại học Đà Nẵng, vol. 2, 2009.
- [3]. L. P. H., Lê Cung; "*Nghiên cứu ảnh hưởng của một số thông số đến lực dập và khả năng điền đầy khuôn khi dập phôi bánh răng nón*", Tạp chí Khoa học và Công nghệ, Trường Đại học Bách khoa, Đại học Đà Nẵng, vol. 5, 2009.
- [4]. T. K. L., Đinh Gia Tường; "*Nguyên lý máy*", NXB. Khoa học Kỹ thuật.
- [5]. N. T. Hiệp; "*Chi tiết máy*", NXB. Giáo dục, 1999.
- [6]. www.mastercam.com.
- [7]. T. V. Định; "*Công nghệ gia công CNC*", NXB. Khoa học Kỹ thuật, 2003.