

MỘT PHƯƠNG PHÁP GIA CÔNG BÁNH RĂNG TRỤ THÂN KHAI BẰNG KỸ THUẬT CAD/CAM/EDM

ONE METHOD OF MANUFACTURING CYLINDE INVOLUTE GEAR BY USING CAD/CAM/EDM TECHNOLOGY

Phạm Thị Thủy*, Nguyễn Thanh Tùng
Khoa Cơ – Điện, Trường Đại học Mỏ – Địa chất

TÓM TẮT

Nội dung bài báo trình bày một phương pháp ứng dụng công nghệ CAD/CAM/EDM để thiết kế và chế tạo bánh răng trụ thân khai. Bằng việc ứng dụng kỹ thuật CAD/CAM và các phương trình toán học, bài báo đã đưa ra được phương trình bề mặt bánh răng thân khai, từ đó xây dựng được đường chạy dao gia công bánh răng bằng phương pháp cắt dây (EDM). Kết quả gia công cho thấy sai lệch profile của bánh răng gia công theo phương pháp này có dung sai nhỏ hơn 0,01 mm. Sai số này phù hợp với yêu cầu kỹ thuật của bánh răng đang ứng dụng trong thực tế.

Từ khóa: CAD; CAM; EDM; Bánh răng thân khai.

ABSTRACT

The content of the article presents a method of applying CAD/CAM/EDM technology to design and manufacture gears. By applying CAD/CAM techniques and mathematical equations, the article has given the equation of the involute gear surface. Thereby building the toolpath program for gear machining by wire cutting method (EDM). The machining results show that the profile deviation of the gears machined by this method has a tolerance of less than 0.01 mm. This tolerance is consistent with the technical requirements of the gears.

Keywords: CAD; CAM; EDM; Involute gear.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Gia công chế tạo máy, truyền động bánh răng chiếm một vị trí rất quan trọng, chúng là những cơ cấu đóng vai trò chủ yếu trong hầu hết các máy. Có rất nhiều các loại bánh răng khác nhau, trong đó bánh răng trụ thân khai là loại phổ biến nhất [5]. Các bánh răng chủ yếu được gia công trên các máy cắt răng chuyên dùng. Trong thực tế, nhiều khi chúng ta gặp

phải các bánh răng phi tiêu chuẩn, việc đầu tư các máy móc cũng như dụng cụ chuyên dùng để gia công các bánh răng này sẽ gây lãng phí. Ở nước ta hiện nay, công nghệ CAD/CAM/EDM đang được sử dụng khá rộng rãi. Một vấn đề được đặt ra đó là nếu ứng dụng được công nghệ CAD/CAM/EDM trong việc thiết kế và chế tạo bánh răng thì sẽ đem lại rất nhiều lợi ích [6]:



- Sử dụng các loại dụng cụ vạn năng rẻ tiền.
- Có thể gia công được các bánh răng phi tiêu chuẩn mà không cần đầu tư máy móc cũng như các dụng cụ gia công răng chuyên dùng.
- Không có hiện tượng cắt lẹm chân răng. Có thể tối ưu hóa góc lượn chân răng để tăng độ bền.

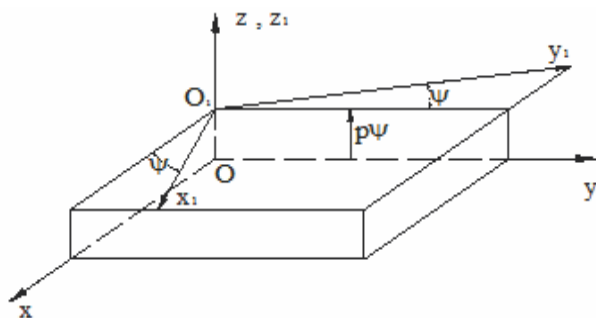
Bài báo này trình bày một phương pháp gia công bánh răng trụ thân khai bằng ứng dụng công nghệ CAD/CAM/EDM, từ đó đưa ra đánh giá về hiệu quả của phương pháp.

2. XÂY DỰNG MÔ HÌNH TOÁN CHO BỀ MẶT BÁNH RĂNG

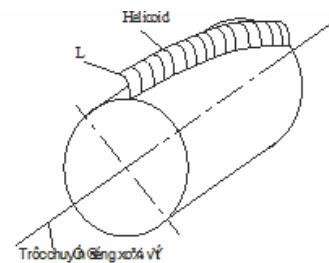
2.1. Mô hình toán bề mặt bánh răng trụ thân khai

Để thiết lập phương trình, ta dùng hai hệ trục tọa độ: Hệ trục tọa độ Oxyz là hệ trục tọa độ cố định; Hệ trục $O_1x_1y_1z_1$ là hệ trục chuyển động gắn với đường thân khai (Hình 1) mà biểu diễn sự chuyển động xoắn vít có quan hệ với hệ cố định.

Giả sử rằng mặt phẳng cong L được biểu diễn trong hệ tọa độ $O_1(x_1, y_1, z_1)$ bằng phương trình (Hình 2): $x_1 = x_1(\theta)$; $y_1 = y_1(\theta)$; $z_1 = 0$; $\theta_1 \leq \theta \leq \theta_2$.



Hình 1. Hệ trục tọa độ Oxyz và $O_1x_1y_1z_1$



Hình 2. Mặt Helicoid

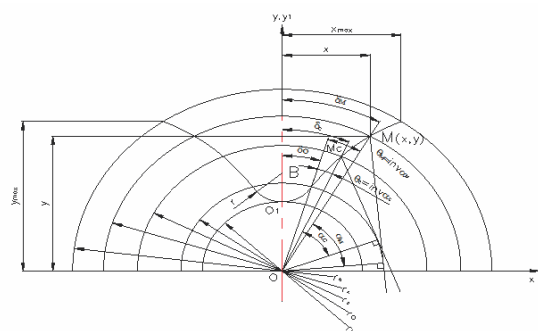
Trong đó, tham số θ là biến số độc lập. Bề mặt biểu diễn được xác định trong hệ tọa độ Oxyz bằng phương trình sau [1]: $r = M_1.r_1$.

$$\text{với: } r = \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix}; r_1 = \begin{bmatrix} x_1(\theta) \\ y_1(\theta) \\ z_1(\theta) \\ 1 \end{bmatrix};$$

$$M_1 = \begin{bmatrix} \cos \psi & -\sin \psi & 0 & 0 \\ \sin \psi & \cos \psi & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & p\psi \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$r = M_1.r_1 \rightarrow \begin{cases} x = x_1(\theta).\cos \psi - y_1(\theta).\sin \psi \\ y = x_1(\theta).\sin \psi + y_1(\theta).\cos \psi \\ z = p.\psi \end{cases} \quad (2)$$

Phương trình này biểu diễn một mặt cong Helicoid với hai tham số θ và ψ , do đó một điểm trên bề mặt sẽ xác định bởi giá trị của ψ và θ :



Hình 3. Sơ đồ tính profin bánh răng thân khai

Với: r_o là bán kính vòng cơ sở; r_c là bán kính vòng chia; r_x là bán kính ứng với điểm M bất kỳ trên prôfin; r_e là bán kính đỉnh răng; r_i là bán kính chân răng.

Xét một điểm $M(x,y)$ trên prôfin thân khai phía phải của bánh răng có bán kính r_x . Tọa độ điểm M được xác định thông qua phương trình tham số như sau [2], [3], [6]:

$$\begin{cases} x_M = r_x \cdot \sin \delta_x = r_x \cdot \sin(\delta_0 + \theta_x) \\ y_M = r_x \cdot \cos \delta_x = r_x \cdot \cos(\delta_0 + \theta_x) \end{cases} \quad (3)$$

Trong đó: $\theta_x = \text{inv} \alpha_x$

$$r_x = \frac{r_o}{\cos \alpha_x} \Rightarrow \alpha_x = \arccos(r_o/r_x) \quad (4)$$

$$\delta_0 = \delta_c - \text{inv} \alpha_c \quad \delta_c = \frac{S_c}{2r_c} = \frac{\pi m}{2.2.r_c}$$

Từ đó, ta có:

$$\begin{cases} x = r_x \cdot [\sin(\theta_x + \delta_0) \cdot \cos \psi - \cos(\theta_x + \delta_0) \cdot \sin \psi] \\ y = r_x \cdot [\sin(\theta_x + \delta_0) \cdot \sin \psi + \cos(\theta_x + \delta_0) \cdot \cos \psi] \end{cases} \quad (5)$$

$$\Rightarrow \begin{cases} x = r_x \cdot [\sin(\theta_x + \delta_0 - \psi)] \\ y = r_x \cdot [\cos(\theta_x + \delta_0 - \psi)] \end{cases} \quad (6)$$

Phương trình tổng quát của biên dạng thân khai phía phải có dạng:

$$\begin{cases} x = r_x \cdot \sin \left\{ \left(\text{tg} \left(\arccos \frac{r_o}{r_x} \right) \right) - \left(\arccos \frac{r_o}{r_x} \right) + \delta_0 - \psi \right\} \\ y = r_x \cdot \cos \left\{ \left(\text{tg} \left(\arccos \frac{r_o}{r_x} \right) \right) - \left(\arccos \frac{r_o}{r_x} \right) + \delta_0 - \psi \right\} \\ z = p \cdot \psi \end{cases} \quad (7)$$

Phương trình mặt xoắn vít phụ thuộc 2 tham số ψ và r_x :

$$0 \leq \psi \leq \psi_{\max}; r_0 \leq r_x \leq r_e \quad (8)$$

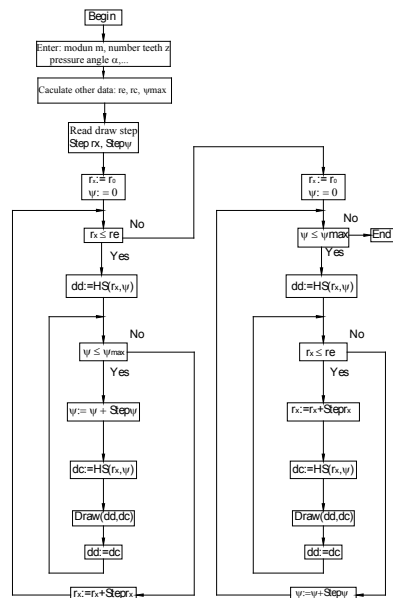
Bằng cách tương tự, ta xây dựng được phương trình của biên dạng thân khai phía trái có dạng như sau:

$$\begin{cases} x = -r_x \cdot \sin \left\{ \left(\text{tg} \left(\arccos \frac{r_o}{r_x} \right) \right) - \left(\arccos \frac{r_o}{r_x} \right) + \delta_0 + \psi \right\} \\ y = r_x \cdot \cos \left\{ \left(\text{tg} \left(\arccos \frac{r_o}{r_x} \right) \right) - \left(\arccos \frac{r_o}{r_x} \right) + \delta_0 + \psi \right\} \\ z = p \cdot \psi \end{cases} \quad (9)$$

2.2. Chương trình xác định bánh răng trụ thân khai

Từ các phương trình (7), (9) và điều kiện (8), ta xác định được sơ đồ thuật toán.

Bánh răng mẫu cần vẽ có các thông số như sau: Mô đun $m = 10$; số răng $Z = 17$; góc áp lực trên vòng chia $\alpha = 20^\circ$.



Chương trình AUTOLIST vẽ bánh răng

```
(defun grinfo()
(setq m (getreal "\nMô đun pháp mn: "))
(setq gak (getreal "\nGóc áp lực : "))
(setq bta (getreal "\n Goc nghieng cua rang: "))
)
.....
(
(cal)
(draw)
(draw1)
(draw2)
(draw3)
(command "circle" '(0 0 0) re)
(command "zoom" "e"))
```

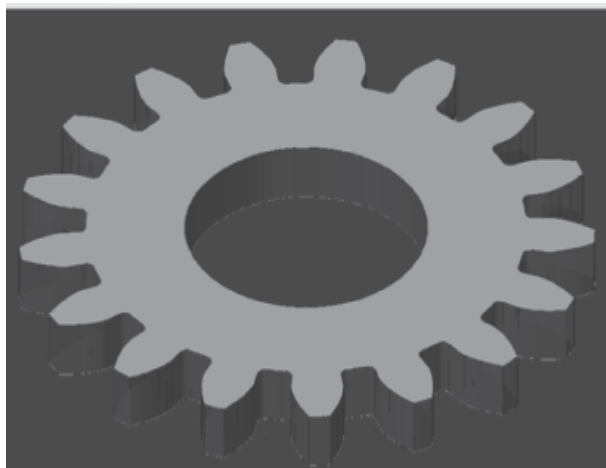
Mô hình bánh răng trụ thân khai được xây dựng qua các bước sau:

Bước 1: Tải chương trình vào môi trường Autocad.

Bước 2: Tạo biên dạng 2D.

Bước 3: Tạo biên dạng 3D.

Kết quả bánh răng như hình 4.



Hình 4. Bánh răng thân khai

Bánh răng sau khi thiết kế hoàn thiện trong môi trường 3D sẽ được sử dụng vào tiếp trong kỹ thuật CAM mô phỏng gia công trước khi gia công trên các máy CNC.

3. THỰC NGHIỆM VÀ KIỂM TRA

3.1. Tạo chương trình NC cắt dây biên dạng răng và gia công bánh răng

Thông số bánh răng: Mô đun $m = 10$; Số răng $Z = 17$; Góc áp lực trên vòng chia $\alpha = 17^\circ$.

Chọn máy cắt dây DK7730: Tốc độ gia công tối đa: 120 (mm²/phút); Độ bóng bề mặt tốt nhất: $R_a = 2,5$ (μm); Độ chính xác gia công: 0,015 (mm).

Điện áp đánh tia lửa điện $U_i = 90$ (vôn); Độ kéo dài xung $t_i = 0,5$ (giây).

Khoảng cách xung t_0 : Chọn $t_0 = 10$ (giây); Tốc độ cắt 110 (mm²/phút).

Điện cực là dây môlipden đường kính 0,18 (mm).

Quá trình tạo chương trình NC và gia công bánh răng được thực hiện theo các bước:

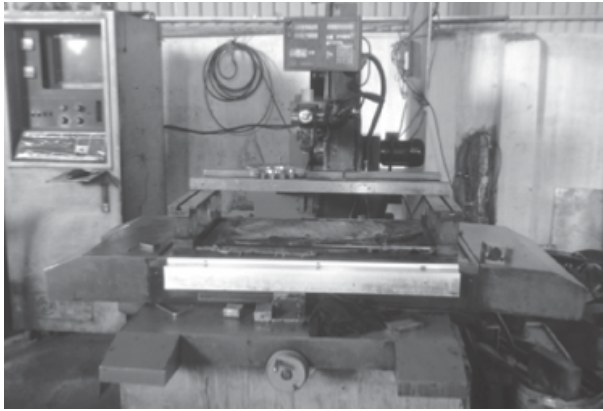
Bước 1: Xuất vẽ bánh răng 2D từ Autocad sang môi trường Mastercam.

Bước 2: Thiết lập đường dụng cụ.

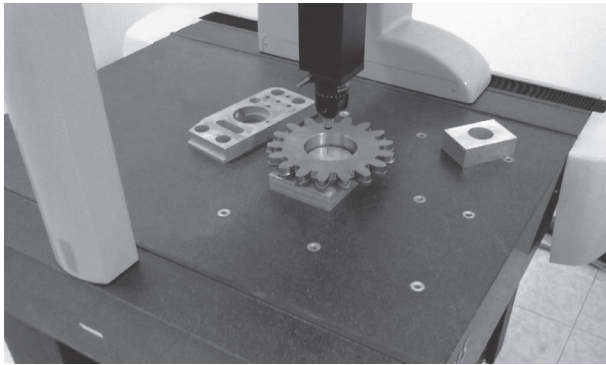
Bước 3: Xuất file NC cắt dây bánh răng trụ thân khai răng thẳng.

Bước 4: Cài đặt phôi trên máy.

Bước 5: Nhập chương trình gia công vào máy cắt dây và gia công.



Hình 5. Cắt dây biên dạng răng



Hình 6. Đo bánh răng trên máy đo tọa độ

3.2. Kiểm tra bánh răng trụ thân khai răng thẳng bằng máy đo tọa độ

Các bước quá trình đo và thuật toán kiểm tra:

Bước 1: Chuyển tọa độ các điểm đo từ gốc tọa độ máy (X_m, Y_m) sang gốc tọa độ chi tiết (X_p, Y_p).

Bước 2: Tính bán kính r_x tại mỗi điểm đo theo công thức $r_{xi} = \sqrt{X_{pi}^2 + Y_{pi}^2}$ và so sánh với r_0 để loại bỏ những điểm mà $r_x < r_0$.

Bước 3: Vẽ lại tọa độ các điểm đo trên phần mềm Autocad, vẽ đường tròn cơ sở bán kính $r_0 = r \cdot \cos \alpha$. Tại mỗi điểm đo, ta dựng hình

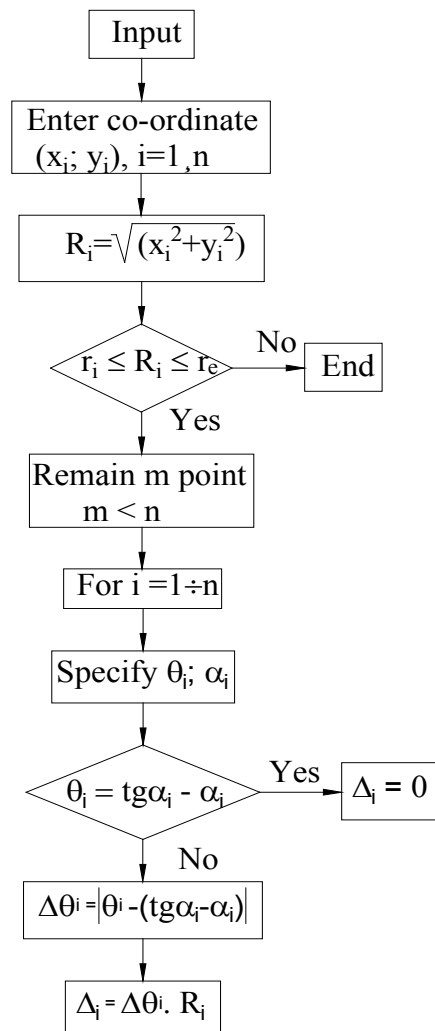
xác định góc hàm thân khai và góc áp lực tại điểm x là θ_x và α_x .

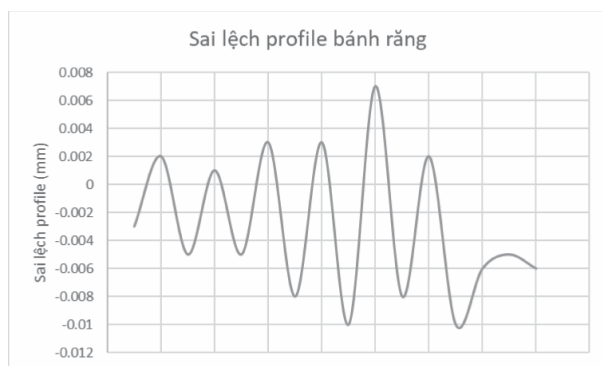
Bước 4: Tính giá trị $\text{tg} \alpha_x - \alpha_x$ và so sánh với θ_x . Điểm x nằm trên đường thân khai của vòng tròn cơ sở (O, r_0) khi tọa độ của nó thỏa mãn phương trình của đường thân khai: $\theta_x = \text{tg} \alpha_x - \alpha_x$. Sai số góc θ_x là $\Delta \theta_x = \theta_x - (\text{tg} \alpha_x - \alpha_x)$.

Bước 5: Tính sai số tại mỗi điểm đo.

$$\Delta = r_x \cdot \Delta \theta_x$$

Thuật toán kiểm tra





Hình 7. Sai số profile răng

Hình 7 thể hiện sai số profile răng của bánh răng cắt dây, sai số lớn nhất đạt 0,01 mm. Sai lệch được thể hiện cả sai số dương và sai số âm. Điều này giải thích được do sai số của bước cắt dây. Với sai số này thì chất lượng chế tạo bằng phương pháp EDM đáp ứng được yêu cầu.

4. KẾT LUẬN

Nội dung bài báo đã xây dựng được mô hình toán bề mặt bánh răng thân khai. Từ đó, xây dựng được chương trình Aulolist để vẽ bánh răng. Quá trình thực nghiệm gia công dựa trên phương pháp cắt dây (EDM) cho sai lệch

profile biên dạng răng không quá 0,01 mm. Sai số này đáp ứng yêu cầu kỹ thuật về chế tạo bánh răng. ❖

Ngày nhận bài: **23/5/2023**

Ngày phản biện: **12/6/2023**

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Chironis N. P; “*Gear Design and Application*”, McGraw-Hill, New York, 1967, pp. 375.
- [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]. Katori H., Yokogawa K. and Hayashi T., “*A simplified edsynthetic design method of pitch curves based on motion specifications for noncircular gears*”. Trans. Jap. Soc. Mech. Engng, 60 (570) (1994) 668–674.
- [4]. Trần Văn Định, “*Công nghệ gia công CNC*”, NXB. Khoa học Kỹ thuật, 2003.
- [5]. Đinh Gia Tường; “*Nguyên lý máy*”; NXB. Khoa học Kỹ thuật.
- [6]. Nguyễn Trọng Hiệp; “*Chi tiết máy*”; NXB. Giáo dục, 1999.