

NGHIÊN CỨU GIA CÔNG BÁNH RĂNG KHÔNG TRÒN BẰNG PHƯƠNG PHÁP CẮT DÂY

REVIEW ON TECHNOLOGICAL MEASURES IN MANUFACTURING NON-
CIRCULAR GEAR USING WIRE ELECTRICAL DISCHARGE METHOD

Hoàng Đức Quân

Trung tâm Hỗ trợ việc làm và Hợp tác doanh nghiệp, Trường Cao đẳng nghề Công nghiệp Hà Nội

TÓM TẮT

Bánh răng không tròn có tỷ số truyền chính xác và tính năng động tốt nên được sử dụng trong nhiều máy móc quan trọng. Tuy nhiên, chế tạo bánh răng không tròn là một trong những vấn đề khó khăn nhất định trong công nghệ chế tạo. Do khả năng công nghệ hạn chế của máy móc và công truyền thống, các phương pháp sản xuất trước đây không thể tính toán được hình dạng giả định của đường răng và biên dạng của nó. Gia công cắt dây (WEDM) là phương pháp hiệu quả để chế tạo hầu hết các loại bánh răng không tròn. Bài báo trình bày khía cạnh công nghệ của phương pháp cắt dây ứng dụng trong chế tạo bánh răng không tròn.

Từ khóa: Bánh răng không tròn; Phương pháp cắt dây; Gia công bánh răng; Cắt bánh răng không tròn.

ABSTRACT

Non-circular gears have the characteristics of gear ratio accuracy and good dynamic performance, so they are used in many important machines. However, the construction and manufacture of non-circular gears is one of the most difficult issues in machine technology. Due to the limited technological capabilities of traditional machines and tools, past manufacturing methods were unable to calculate the assumed shape of the tooth line and its profile. Wire electrical discharge machining (WEDM) can process almost all kinds of non-circular gear. This article presents the technological aspects of wire electrical discharge machining (WEDM) applied to manufacturing non-circular gears.

Keywords: Non-round gears; Wire cutting methods; Gear machining; Cutting non-round gears.

1. GIỚI THIỆU

Ý tưởng về bánh răng không tròn có từ lịch sử ban đầu của kỹ thuật. Leonardo Da Vinci phác thảo một số phiên bản không gian của bánh răng không tròn. Vào thế kỷ 18, các bánh răng không tròn được sử dụng trong máy bơm, đồng hồ, hộp nhạc, đồ chơi và các thiết bị khác. Các bánh răng được sản xuất vào thời điểm đó có hình dạng đơn giản, dẫn đến điều kiện ăn khớp không phù hợp. Hiện nay, bánh răng không tròn và cam răng được sử dụng trong máy dệt, bộ truyền động chiết áp phi tuyến tính, hộp số biến thiên liên tục, thiết bị chỉ số Geneva và các cơ cấu khác. Mặc dù các máy điều khiển số (CNC) hiện đại cho phép chế tạo các hình dạng phức tạp, nhưng các phương pháp thiết kế bánh răng không tròn thích hợp lại không sẵn có và thường sử dụng các bánh răng hình elip đơn giản nhất.

Nhiều học giả trên thế giới quan tâm đến bánh răng không tròn. Dù vậy, sự phát triển trong lĩnh vực này vẫn còn chậm do tính chất phức tạp của các phương trình mô tả bánh răng không tròn [1, 2]. Sự phức tạp này đã làm cho việc phân tích các bánh răng không tròn hầu như không thể thực hiện được nếu không có sự trợ giúp của công nghệ máy tính [3, 4].

So với các bánh răng tiêu chuẩn, việc thiết kế và chế tạo các bánh răng không tròn có trục song song còn có thêm một số vấn đề như: Tính toán đường lăn cho cả hai bánh răng phối hợp tốt với nhau, tức là lăn không trượt [5], tính toán các dạng răng mà trục ăn khớp và đường lăn của giá tham chiếu thay đổi vị trí của chúng theo thời gian. Ngoài ra, ở các bánh răng không tròn, mỗi sườn của răng có một đường cơ sở độc lập. Các phương pháp sản xuất hiện đại cho phép tạo ra các bánh răng côn không tròn có biên dạng răng dạng tự do

và răng cong theo hướng dọc của chúng.

Bánh răng không tròn có đặc tính chính xác về tỷ số truyền và tính năng động tốt nhưng khó chế tạo. Gia công cắt dây – Wire electrical discharge machining (WEDM) có thể xử lý hầu hết các loại bánh răng không tròn. Để chế tạo bánh răng không tròn đáp ứng yêu cầu bề mặt, cần nghiên cứu các khía cạnh công nghệ trong quá trình chế tạo. Nghiên cứu này nhằm mục đích khảo sát đặc trưng công nghệ khi tính toán chi tiết phương pháp công nghệ gia công bánh răng không tròn sử dụng phương pháp cắt dây WEDM.

2. CÁC PHƯƠNG PHÁP CHẾ TẠO BÁNH RĂNG KHÔNG TRÒN

Các phương pháp chế tạo bánh răng không tròn cơ bản bao gồm: phay lăn, phay lăn chéo, xọc và cắt dây WEDM. Đã có một số nghiên cứu mô tả quy trình gia công bánh răng không tròn bằng phương pháp phay lăn chéo [6, 7]. Khi phay các bánh răng xoắn không tròn, có một số vấn đề ảnh hưởng đến răng của dao phay như tải trọng tác dụng lên răng dao không đều và độ mòn của dao. Để giải quyết những vấn đề này, mô hình phay lăn sáu trục đồng thời đã được phát triển dựa trên phương pháp phay lăn chéo. Kết quả thực nghiệm cho thấy, phay lăn chéo có một số ưu điểm so với phay lăn không chéo. Bánh răng không tròn cũng được chế tạo bằng phương pháp xọc. Phương pháp xọc được sử dụng trong các trường hợp mà các phương pháp khác không cho phép gia công biên dạng lõm. Phương pháp cắt dây WEDM có ưu điểm là có thể chế tạo hầu hết được các loại bánh răng không tròn. Tuy nhiên, để chế tạo bánh răng không tròn đáp ứng yêu cầu bề mặt cũng là một khó khăn trong quá trình gia công.



3. ĐẶC ĐIỂM CÔNG NGHỆ KHI GIA CÔNG BÁNH RĂNG KHÔNG TRÒN SỬ DỤNG PHƯƠNG PHÁP CẮT DÂY (WEDM)

Bánh răng không tròn được biểu diễn dưới dạng hai đường lẩn P_1 và P_2 với tâm quay lẩn lượt ở các điểm O_1 và O_2 . Những đường đó ăn khớp với nhau, lẩn không trượt.

Hình P_1 được mô tả bằng phương trình theo tọa độ cực là hàm của bán kính $r_1(\varphi_1)$. Tỷ số truyền được mô tả bởi hàm số:

$$v(\varphi_1) = \frac{\omega_1(\varphi_1)}{\omega_2(\varphi_1)} = \frac{r_2(\varphi_1)}{r_1(\varphi_1)} \quad (1)$$

Trong đó, $\omega_1(\varphi_1)$ và $\omega_2(\varphi_1)$ lần lượt là các hàm vận tốc góc của bánh răng thứ nhất và thứ hai.

Khoảng cách trục A không đổi:

$$A = r_1(\varphi_1) + r_2(\varphi_1) = \text{const} \quad (2)$$

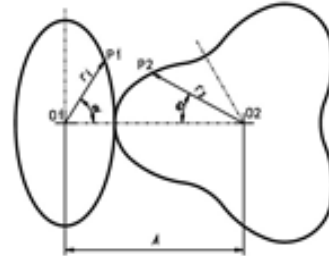
Các đường lẩn làm việc phối hợp với nhau mà không trượt:

$$d\varphi_2 = \frac{r_1(\varphi_1)}{r_2(\varphi_1)} d\varphi_1 \quad (3)$$

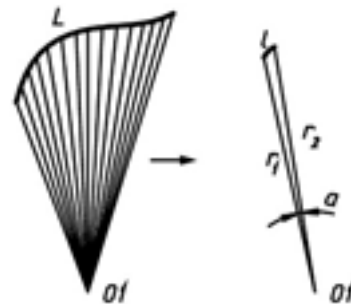
Kết hợp phương trình (1) và (3) và tiến hành tích phân:

$$\varphi_2 = \int_0^{\varphi_1} \frac{r_1(\varphi_1)}{A - r_1(\varphi_1)} d\varphi_1 \quad (4)$$

Hằng số tích phân được tìm thấy từ điều kiện sau: nếu $\varphi_1 = 0$ thì $\varphi_2 = 0$.



Hình 1. Các đường lẩn biểu diễn bánh răng không tròn: P_1, P_2 – Đường lẩn; O_1, O_2 – Tâm xoay.



Hình 2. Đường lẩn được chia thành các đoạn.

Để truyền chuyển động liên tục thì hàm tỷ số truyền phải tuần hoàn và chu kỳ T của bánh răng phải liên hệ với chu kỳ T_1 và T_2 của bánh răng 1 và 2 tương ứng như sau:

$$T = \frac{T_1}{n_2} = \frac{T_2}{n_1} \quad (5)$$

Trong đó n_1 và n_2 là các số tự nhiên.

Trong trường hợp trên Hình 1, chu kỳ T của hàm tỷ số truyền $v(\varphi_1) = \pi$, $T_1 = 2\pi$, và $T_2 = 3\pi$; do đó, khi $\varphi_1 = \pi$ thì $\varphi_2 = 2/3\pi$. Điều này làm cho:

$$\frac{2}{3}\pi = \int_0^{\pi} \frac{r_1(\varphi_1)}{A - r_1(\varphi_1)} d\varphi_1 \quad (6)$$

Giá trị của tham số A có thể được tính từ công thức (6). $P_2 = r_2(\varphi_1)$ có thể được tính từ công thức (2) và (3).

Chúng ta giả sử có đường lẩn P_1 mà tại đó cần tìm đường hợp tác P_2 đáp ứng các yêu

cầu được mô tả ở trên. Đường P_1 đã được chia thành i đoạn l_{1i} sao cho mỗi đoạn đó có thể được biểu diễn dưới dạng đường xoắn ốc Archimedes với độ chính xác phù hợp (Hình 2).

Đường xoắn ốc Archimedes được mô tả bởi:

$$r = k \cdot x \quad (7)$$

Vì vậy:

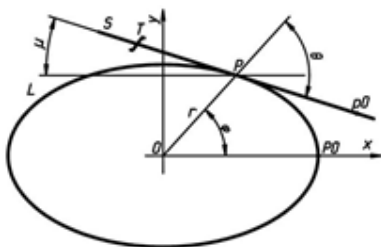
$$\begin{aligned} \alpha_1 &= \frac{r_1}{k}; \alpha_2 = \frac{r_2}{k}; k = \frac{r_2 - r_1}{\alpha}; dl = \sqrt{(dr)^2 + (rd\alpha)^2}; dr = d(k\alpha) = k d\alpha \\ dl &= \sqrt{(kd\alpha)^2 + (rd\alpha)^2} = \sqrt{(kd\alpha)^2 + (k\alpha d\alpha)^2} = k\sqrt{1 + \alpha^2} d\alpha \\ \int dl &= \frac{k}{2} \left[\alpha\sqrt{\alpha^2 + 1} + \ln(\alpha + \sqrt{\alpha^2 + 1}) \right] \\ l &= \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} dl = \frac{k}{2} \left[\alpha_2\sqrt{\alpha_2^2 + 1} + \ln(\alpha_2 + \sqrt{\alpha_2^2 + 1}) - \alpha_1\sqrt{\alpha_1^2 + 1} - \ln(\alpha_1 + \sqrt{\alpha_1^2 + 1}) \right] \quad (8) \end{aligned}$$

Nếu các đường P_1 và P_2 lăn không trượt lên nhau và đường P_2 được chia thành i phần l_{2i} tương ứng với P_1 , thì dựa vào công thức (3), chúng ta có: $l_{1i} = l_{2i}$ (9)

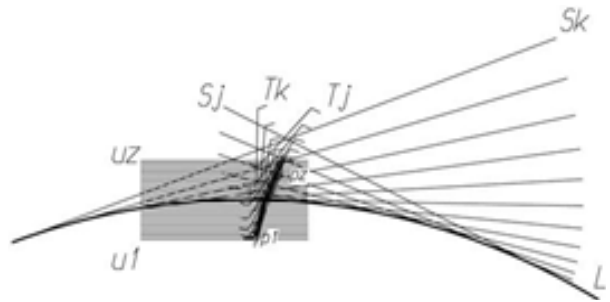
Phương trình của đường P_2 được ước lượng từ phương trình (2) đến (9).

Bước tiếp theo là tính toán các dạng răng. Đường lăn của bánh răng không tròn được mô tả bởi $L = r(\varphi)$. Có thanh tham chiếu dẫn hướng S lăn trên đường lăn mà không bị trượt. Biên dạng chữ T của giá tham chiếu được liên kết với đường S (Hình 3). Tọa độ tiếp điểm P của các đường thẳng là:

$$P[x, y] = [r(\varphi) \cos(\varphi), r(\varphi) \sin(\varphi)] \quad (10)$$



Hình 3. Thanh dẫn tham chiếu trên đường lăn của bánh răng.



Hình 4. Ước lượng dạng răng

Góc giữa bán kính $r(\varphi)$ và thanh dẫn hướng S của giá được tính từ công thức:

$$\theta = \arctan(r(\varphi) / (dr / d\varphi)) \quad (11)$$

$$\text{Nên: } \mu = \varphi - \theta \quad (12)$$

Nếu $\varphi = 0$ thì $P_0 = p_0$. Vì thanh dẫn hướng S đang lăn trên đường L mà không trượt từ điểm P_0 đến điểm P , nên độ dài đoạn l của đường thẳng L giữa các điểm P_0 và P bằng độ dài của vector s giữa các điểm p_0 và P của đường thẳng S .

Nếu đường L bao gồm i các đoạn L_i theo yêu cầu liệt kê ở trên thì điểm P tương ứng với L_j , đồng thời tìm được độ dài l_j và hệ số k_j cho mỗi đoạn L_i từ công thức (8), thì:

$$\frac{dr}{dk} = k_j |s| = \sum_{n=1}^j l_n \quad (13)$$

Hình 4 thể hiện các vị trí liên tiếp của đường lăn S_j đến S_k và biên dạng của giá trị tham chiếu T_j đến T_k .

Để tìm các điểm có dạng răng bánh răng không tròn, các đường thẳng u_1 đến u_z đã được đưa vào. Các điểm giao nhau của các mặt cắt T_j đến T_k với các đường thẳng u_1 đến u_z được tính toán bằng hình học giải tích. Các điểm nằm trên biên dạng răng bánh răng không tròn được lọc ra khỏi tất cả các điểm tìm được. Quy trình này

được lặp lại cho tất cả các mặt của bánh răng không tròn. Mô đun của bánh răng không tròn được tính bằng:

$$m = \frac{|L|}{\pi z} = \frac{\sum_{n=1}^i l_n}{\pi z} \quad (14)$$

Trong đó, z là số răng của bánh răng.

Mô hình số này được sử dụng để tạo ra các chương trình sản xuất cho máy cắt dây được điều khiển bằng CNC. Các bánh răng được so sánh với mô hình kỹ thuật số bằng máy đo tọa độ (CMM – Coordinate Measuring Machine).

Kết quả của việc gia công các bánh răng không tròn trên bề mặt của chúng sẽ hình thành các nhấp nhô trên bề mặt. Chúng có thể được loại bỏ bằng đầu chà sợi gốm [8].

6. KẾT LUẬN

- Đã mô tả đặc điểm công nghệ của các phương pháp cắt dây (WEDM) để chế tạo bánh răng không tròn là công nghệ duy nhất hiện có cho phép chế tạo một bánh răng không tròn thích hợp hơn cả. Đồng thời thực hiện các hình dạng tùy chỉnh cho các phần ở chân răng và các phần đó có thể khác nhau đối với mỗi sườn răng.

- Chỉ ra nhược điểm của phương pháp xọc là cần có các loại máy móc chuyên dụng và hình dạng hình học của dao phức tạp.

- Các kết quả này được đặt làm nền tảng cho việc nghiên cứu sâu hơn về các tính chất cụ thể của bánh răng không tròn như động

học, cũng như các vấn đề liên quan đến độ bền, động lực học và ma sát. ♦

Ngày nhận bài: **12/11/2023**

Ngày phản biện: **08/12/2023**

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Kong X, Zhang J, Niu M. *Computerized tooth profile generation and undercut analysis of gears manufactured with pre-shaving hobs*. Appl Mech Mater 2009;16–19:1278–82. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.16-19.1278>.
- [2]. Doege E, Meinen J, Neumaier T, Schaprian M. *Numerical design of a new forging press drive incorporating non-circular gears*. Proc Inst Mech Eng Part B J Eng Manuf 2001;215:465–71. <https://doi.org/10.1243/0954405011518430>.
- [3]. Zheng F, Hua L, Han X, Li B, Chen D. *Synthesis of Shaped Noncircular Gear Using a Three-Linkage Computer Numerical Control Shaping Machine*. J Manuf Sci Eng Trans ASME 2017;139. <https://doi.org/10.1115/1.4035794>.
- [4]. Litvin FL, Gonzalez-Perez I, Fuentes A, Hayasaka K. *Design and investigation of gear drives with non-circular gears applied for speed variation and generation of functions*. Comput Methods Appl Mech Eng 2008;197:3783–802. <https://doi.org/10.1016/j.cma.2008.03.001>.
- [5]. Laczik B. *Design and Manufacturing of Non-Circular Gears by Given Transfer Function*. Proc ICT 2007:101–109.
- [6]. Liu Y, Han J, Xia L, Tian X. *Hobbing Strategy and Performance Analyses of Linkage Models for Non-Circular Helical Gears Based on Four-Axis Linkage*. Stroj Vestnik/Journal Mech Eng 2012;58:701–8.