

Nghiên cứu tạo hình biên dạng răng của hệ bánh răng không tròn thường bằng thanh răng sinh và bánh răng sinh Novikov

Shaping Tooth Profile of Common Non-Circular Gears Using Rack and Novikov Tooth Profile

Nguyễn Hồng Thái^{1*}, Nguyễn Thành Trung^{1,2}

Nguyễn Thùy Dương¹, Nguyễn Hoàng Việt¹

¹ Trường Đại học Bách khoa Hà Nội - Số 1 Đại Cồ Việt, Hai Bà Trưng, Hà Nội.

² Viện nghiên cứu Cơ khí - Số 4, Phạm Văn Đồng, Cầu Giấy, Hà Nội.

Đến Tòa soạn: 17-5-2019; chấp nhận đăng: 20-01-2020

Tóm tắt

Hệ bánh răng không tròn thường đã và đang được ứng dụng trong các hệ thống truyền động có tỉ số truyền biến đổi như: cần gạt nước ô tô, hộp biến đổi tốc độ CVT hay cơ cấu đánh lái của các dòng ô tô thế hệ mới ... Cho đến hiện nay, khi nghiên cứu về các hệ bánh răng này hầu hết các nhà khoa học trong và ngoài nước đều chỉ tập trung vào các loại bánh răng không tròn với biên dạng là đường thân khai của đường tròn hoặc đường hypebol còn biên dạng kiểu Novikov chưa được đề cập đến. Trong bài báo này các tác giả ứng dụng thanh răng sinh và bánh răng sinh Novikov để tạo hình biên dạng cho các bánh răng cấu thành lên hệ bánh răng không tròn thường với biên dạng kiểu Novikov. Để giải quyết vấn đề này trong từng cặp bánh răng của hệ, thì bánh răng chủ động sẽ được tạo hình biên dạng răng bằng phương pháp bao hình thông qua thanh răng sinh Novikov, còn biên dạng bánh răng bị động sẽ được tạo hình từ bánh răng sinh Novikov (bánh răng được hình thành từ thanh răng sinh Novikov) để đảm bảo điều kiện ăn khớp đối tiếp và tránh được hiện tượng cắt lẹm chân răng. Trên cơ sở đó nghiên cứu này đưa ra quy trình tổng hợp các hệ bánh răng không tròn thường với biên dạng răng kiểu Novikov.

Từ khóa: Bánh răng Novikov, bánh răng không tròn, hệ bánh răng thường, thiết kế biên dạng răng.

Abstract

Non-circular gear units have been used in variable transmissions such as car wipers, CVT speed variants or steering mechanism in new car generations, etc. Until now, most scientists are only focused on non-circular gears with involute profile of a circle or a hyperbola when researching these gears. The Novikov-type profiles have not been mentioned. In this work, the authors use the Novikov gears and racks to generate the tooth profile of non-circular gears. To solve this problem for each pair of gears in a gear train, the tooth profile of the driving gear is formed by finding the envelope of a Novikov rack, while the tooth profile of the drive gear is formed using gear shaping method (with the driving gear used as the cutter) to ensure meshing ratio and to prevent undercutting. Based on that, the study provides a general procedure for the synthesis of Novikov non-circular gears.

Keywords: Novikov gears, noncircle gears, simple gear train system, profile design.

1. Đặt vấn đề

Bánh răng Novikov hay còn gọi là bánh răng W-N (Wildhaber - Novikov) được đề xuất bởi Wildhaber (1926) và Novikov (1956) đây là loại bánh răng trụ tròn răng xoắn với tỉ số truyền không đổi, có biên dạng là các cung tròn lồi, lõm [1, 2]. Sự khác biệt của hai phát minh này là ở đặc điểm tiếp xúc trong quá trình ăn khớp, cặp bánh răng (BR) được đề xuất bởi Wildhaber là tiếp xúc đường, còn cặp BR được đề xuất bởi Novikov là tiếp xúc điểm [3]. Ưu điểm của loại biên dạng W-N là khả năng chịu tải và chịu mài mòn cao hơn biên dạng thân khai và thường được ứng

dụng ở dải tốc độ thấp. Chính vì vậy, bánh răng W-N là chủ đề nghiên cứu của nhiều nhà khoa học trên thế giới như: ứng dụng biên dạng thanh răng sinh W-N để tạo hình biên dạng của cặp bánh răng hypoid [4], hay cải tiến biên dạng W-N bằng cung parabol để nâng cao khả năng tải [5]. Đó là các nghiên cứu về BR có tỉ số truyền không đổi, còn ứng dụng biên dạng cung tròn cho bánh răng không tròn (BRKT) có tỉ số truyền thay đổi thì cho đến nay, chưa có một nghiên cứu nào mặc dù BRKT cũng là một chủ đề nghiên cứu được nhiều nhà khoa học trên thế giới quan tâm, tiêu biểu là Litvin và Dooner [6, 7]. Do đó, việc ứng dụng biên dạng W-N làm biên dạng của răng BRKT để nâng cao khả năng tải và chịu mài mòn cho các ứng dụng cần mô men và tải lớn là cần thiết. Đây chính là nội dung nghiên cứu của bài viết. Để

* Địa chỉ liên hệ: Tel.: (+84) 913.530.121
Email: thai.nguyenhong@hust.edu.vn

giải quyết vấn đề này nhóm tác giả bài viết sử dụng thanh răng sinh và BR sinh Novikov để tạo hình biên dạng cho các cặp BRKT. Để minh họa cho phương pháp nghiên cứu, trong bài viết này chúng tôi lấy một ví dụ minh họa là hệ BRKT thường có lược đồ cho trên Hình 1.

2. Thiết kế đường lăn của hệ BRKT thường

2.1. Cơ sở lý thuyết thiết kế

Theo [8] và cơ sở lý thuyết mà chúng tôi đã trình bày chi tiết ở [9], trong nội dung này chúng tôi tóm tắt lại để có tính logic và làm cơ sở thiết kế đường lăn của hệ BRKT. Do đó, trong trường hợp tổng quát hàm truyền của cặp BRKT được cho:

$$i_{j,j+1}(\varphi_j) = \frac{A_{j,j+1} + (-1)^e \rho_j(\varphi_j(\theta))}{\rho_j(\varphi_j(\theta))} \quad (1)$$

Trong đó: j là ký hiệu cho BR chủ động (với j là các số nguyên dương); $\rho_j(\varphi_j(\theta))$ là bán kính cực tại thời điểm φ_j ; φ_j là góc quay của BR chủ động tại thời điểm đang xét (trong hệ quy chiếu gắn liền với giá), θ là góc cực (tham số) hình thành đường lăn Σ_j của BR chủ động (trong hệ quy chiếu của BR j); còn e là hệ số xét dấu ($e = 1$ khi cặp BRKT ăn khớp ngoài, $e = 0$ khi cặp BRKT ăn khớp trong); $A_{j,j+1}$ là khoảng cách trục của cặp BRKT ($j, j+1$).

Như vậy, tương ứng với từng điểm P_j (tâm ăn khớp) trên Σ_j được cho bởi bán kính cực $\rho_j(\varphi_j(\theta))$ và góc quay φ_j của BR j ta có bộ tham số thiết kế đường lăn của BR bị động ăn khớp tương ứng với BR chủ động trong trường hợp tổng quát:

$$\rho_{j+1}(\varphi_{j+1}(\varphi_j(\theta))) = A_{j,j+1} + (-1)^e \rho_j(\varphi_j(\theta)) \quad (2)$$

$$\varphi_{j+1}(\varphi_j) = \int_0^{\varphi_j(\theta)} i_{j+1,j}(\varphi_j(\theta)) d\varphi_j = \int_0^{\varphi_j(\theta)} \frac{d\varphi_j}{i_{j,j+1}(\varphi_j(\theta))} \quad (3)$$

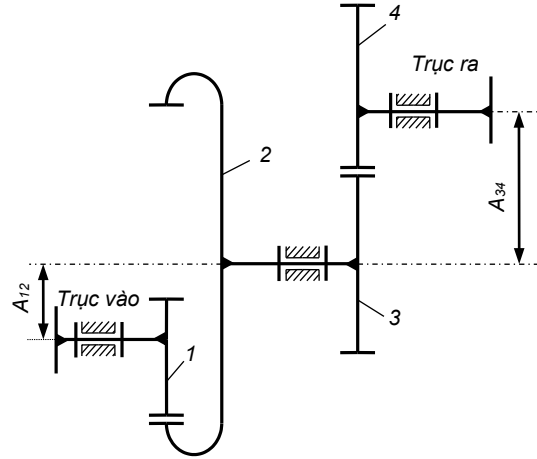
Mặt khác, do điều kiện lăn không trượt của hai đường lăn trên BR chủ động và bị động khi ăn khớp, nếu gọi n_j là số vòng quay của BR chủ động để BR bị động quay hết 1 vòng, khi đó ta có:

$$2\pi = \int_0^{n_j} \left(\frac{A_{j,j+1}}{\rho_j(\varphi_j(\theta))} + (-1)^e \right) d\varphi_j \quad (4)$$

với n_j là số dương, từ phương trình (4), nếu cho trước hàm tỷ số truyền $i_{j,j+1}(\varphi_j)$ thì khoảng cách trục được cho bởi $A_{j,j+1} = f(i_{j,j+1}(\varphi_j), n_j, \Sigma_j)$, còn khi cho trước khoảng cách trục $A_{j,j+1}$ thì xác định được hàm truyền $i_{j,j+1}(\varphi_j)$.

2.2. Thiết lập phương trình đường lăn của hệ BRKT thường

Từ cơ sở lý thuyết trình bày trong mục 2.1, nhóm tác giả tiến hành thiết kế đường lăn của các BRKT trong hệ BR thường có lược đồ cho trên Hình 1 với giả thiết biết trước: đường lăn Σ_2 của BR₁ là đường ellipse chính tâm và đường lăn Σ_4 của BR₄ là ellipse lệch tâm.



Hình 1. Hệ BRKT thường ăn khớp trong

Bài toán đặt ra là xác định: đường lăn Σ_2 của BR₂, đường lăn Σ_3 của BR₃ và khoảng cách trục A_{12} , A_{34} . Để đơn giản trong trường hợp này coi $\varphi_j(\theta) \equiv \varphi_j$, khi đó xét:

- Trường hợp 1: cặp BRKT 1-2 (cặp bánh răng ăn khớp trong)

Theo [10] đường lăn Σ_l được cho bởi:

$$\rho_l(\varphi_l) = 2a_l b_l ((a_l + b_l) - (a_l + b_l) \cos(2\varphi_l))^{-1} \quad (5)$$

trong đó: a_l, b_l lần lượt là bán trục lớn và bán trục nhỏ của elíp Σ_l ; φ_l là tham số của Σ_l , thay (5) vào (1 - 3) ta có:

$$\begin{cases} \rho_2(\varphi_2(\varphi_1)) = A_{12} + \rho_1(\varphi_1) \\ i_{12}(\varphi_1) = (A_{12}(2a_1 b_1)^{-1})((a_1 + b_1) - (a_1 - b_1) \cos(2\varphi_1)) - 1 \\ \varphi_2(\varphi_1) = \int_0^{\varphi_1} \frac{2a_1 b_1}{A_{12}((a_1 + b_1) - (a_1 - b_1) \cos(2\varphi_1)) - 2a_1 b_1} d\varphi_1 \end{cases} \quad (6)$$

thay (6) vào (4) áp dụng tích phân Dwight [6] sau khi giải, ta có khoảng cách trục A_{12} :

$$A_{12}(a_1, b_1, n_1) = (2)^{-1} \left((a_1 + b_1) + ((a_1 + b_1)^2 - 4a_1 b_1 (1 - (n_1)^{-2})^{0.5}) \right) \quad (7)$$

- Trường hợp 2: cặp BRKT 3-4 (cặp bánh răng ăn khớp ngoài)

Trong trường hợp này giả thiết BR_4 là bán chủ động để tìm đường lẩn của BR_4 , khi đó theo [6] phương trình đường lẩn Σ_4 của BR_4 là ellipse lệch tâm được cho bởi:

$$\rho_4(\varphi_4) = a_4(1 - E^2)(1 - E \cos \varphi_4)^{-1} \quad (8)$$

trong đó: a_4 là bán trục lớn của Σ_4 , φ_4 là góc tham số của Σ_4 , E là tâm sai của Σ_4 và $E = (1 - b_4^2/a_4^2)^{0.5}$

thay (8) vào từ (1 - 3) ta có:

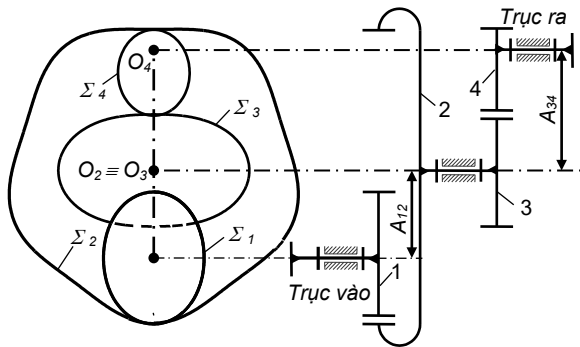
$$\begin{cases} \rho_3(\varphi_3(\varphi_4)) = A_{34} - \rho_4(\varphi_4) \\ i_{43}(\varphi_4) = [A_{43}(1 - E \cos \varphi_4) - (a_4(1 - E^2))] (a_4(1 - E^2))^{-1} \\ \varphi_3(\varphi_4) = \int_0^{\varphi_4} (a_4(1 - E^2)(A_{34}(1 - E \cos \varphi_4) - a_4(1 - E^2))^{-1} d\varphi_4 \end{cases} \quad (9)$$

thay (9) vào (4) áp dụng tích phân Dwight và giải ta có khoảng cách trục A_{34} :

$$A_{34}(a_4, E, n_4) = a_4 \left[1 + ((1 + (1 - E^2)(n_4^2 - 1))^{0.5})^{-0.5} \right] \quad (10)$$

2.3. Phân tích động học và thiết kế đường lẩn của hệ BRKT thường

Trên cơ sở phương trình đường lẩn của hệ BRKT đã được thiết lập ở mục 2.2 áp dụng cho lược đồ Hình 1 với: BR_1 có đường lẩn là một ellipse chính tâm với các thông số thiết kế $a_1 = 43.4$ mm, $b_1 = 35$ mm, $n_1 = 2$, và BR_4 có đường lẩn là ellipse lệch tâm với các tham số thiết kế $a_4 = 29$ mm, $E_4 = 0.5$ mm, $n_4 = 2.5$. Thay vào (7 và 10) ta có khoảng cách trục $A_{12} = 58.59$ mm, $A_{34} = 81.264$ mm. Như vậy, đường lẩn của hệ BRKT được tổng hợp được cho trên Hình 2.

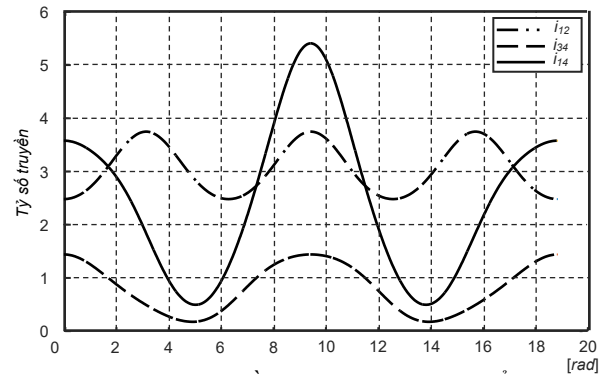


Hình 2. Đường lẩn của hệ BRKT thường sau khi tổng hợp

Từ Hình 2, ta có hàm truyền của hệ được cho bởi:

$$i_{14}(\varphi_1) = i_{12}(\varphi_1)(i_{43}(\varphi_1))^{-1} \quad (11)$$

Với các thông số thiết kế đường lẩn như trên, Hình 3 là đồ thị hàm truyền $i_{14}(\varphi_1)$ của hệ.



Hình 3. Hàm truyền của hệ BRKT được tổng hợp

Từ Hình 3 cho thấy sự biến đổi của hàm truyền của hệ BRKT lớn hơn từng cặp tương ứng. Điều đó có nghĩa dải biến đổi mô men của hệ sẽ lớn hơn từng cặp.

3. Tạo hình biên dạng răng của các BRKT trong hệ

3.1. Thiết lập phương trình biên dạng răng của BRKT 1 và 4

a) Phương trình mô tả biên dạng răng của thanh răng sinh Novikov

Theo tài liệu [8] phương trình biên dạng sinh $\{\Gamma_S\}$ của thanh răng Novikov được cho bởi:

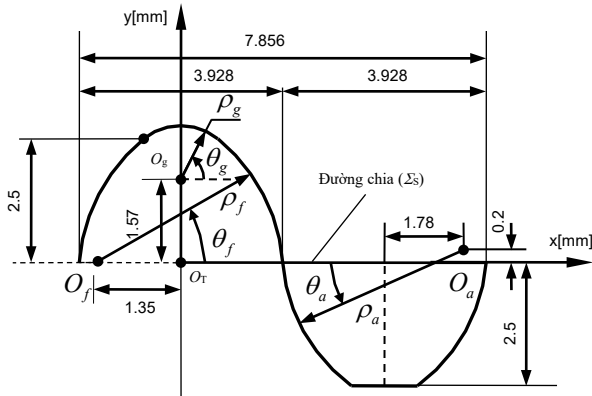
$$\{\Gamma_S\}; \mathbf{r}_S = [\rho_i \cos \theta_i + x_{ot} + n_S p_n \quad \rho_i \sin \theta_i + y_{ot}]^T \quad (12)$$

trong đó: ρ_i là các bán kính cực cung tròn, với $t = (f, g, a)$, còn θ_i là góc tham số biên dạng thanh răng; (x_{ot}, y_{ot}) là tọa độ tâm các cung tròn hình thành biên dạng thanh răng (xem Hình 4); θ_i là tham số góc của các cung tròn; p_n là bước răng và $p_n = \pi m$ (mm), với m là mô-đun tiêu chuẩn (mm); h_f là chiều cao đỉnh răng (mm); h_p chiều cao chân răng (mm) với chiều cao răng $h = h_f + h_p$ (mm); tt' là đường chia (đường trung bình) của thanh răng sinh, khi đó chiều dày răng t_v bằng chiều rộng rãnh răng t_u , tức $t_v = t_u = p_n/2$; n_S là số răng trên thanh răng.

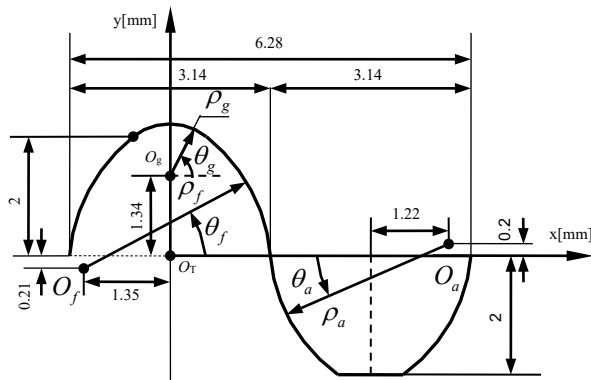
b) Xác định mối quan hệ giữa chuyển động tịnh tiến của thanh răng sinh Novikov và góc quay của BRKT khi tạo hình biên dạng răng

Xét một cặp BRKT 1-2 ăn khớp với nhau, với giả thiết bán kính vòng lẩn $\rho_2(\varphi_2(\varphi_1)) \rightarrow \infty$, khi đó BR_2 suy biến thành thanh răng Γ_S và đường lẩn 2 (Σ_2)

Áp dụng phương trình biên dạng BRKT đã xác định dưới dạng tổng quát ở trên, thiết kế biên dạng răng Novikov cho BRKT₁ và BRKT₄ của hệ BRKT thường với thông số thiết kế của dao thanh răng Novikov₁ và Novikov₄ được cho trong Bảng 1 và Hình 5. Từ mô-đun cho trước theo tiêu chuẩn Bảng 1 ta xác định được số răng z₁=32, z₄=27. Trong trường hợp số răng z₁, z₄ không phải là số nguyên dương thì cần phải xác định lại các tham số a₁, b₁, a₄, E₄ thông qua chu vi C₁, C₄ của đường lăn Σ₁ và Σ₄:



a) Thanh răng sinh tạo hình bánh răng 1 (bánh răng Elipse chính tâm)

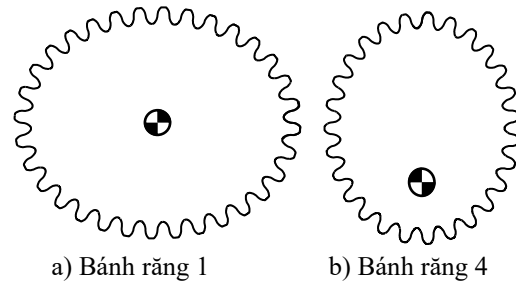


b) Thanh răng sinh tạo hình bánh răng 4 (bánh răng Elipse lệch tâm)

Hình 5. Thông số thiết kế thanh răng Novikov

$$\begin{cases}
 C_1 = \int_0^{2\pi} \left(\left(\frac{2a_1b_1}{a_1 + b_1 - (a_1 - b_1)\cos(2\varphi_1)} \right)^2 + \frac{(8a_1b_1(a_1 - b_1)\sin(2\varphi_1))^2}{(a_1 + b_1 - (a_1 - b_1)\cos(2\varphi_1))^4} \right)^{0.5} d\varphi_1 \\
 C_4 = \int_0^{2\pi} \left(\left(\frac{a_4(1 - E_4^2)}{1 - E_4 \cos \varphi_4} \right)^2 + \frac{(a_4(1 - E_4)E_4 \sin \varphi_4)^2}{(1 - E_4 \cos \varphi_4)^4} \right)^{0.5} d\varphi_4
 \end{cases} \quad (17)$$

Biên dạng răng của BR₁ và BR₄ sau khi tổng hợp được cho trên Hình 6 dưới đây.



Hình 6. Biên dạng răng Novikov sau khi được tạo hình

3.2. Thiết lập mô hình toán học mô tả biên dạng răng của BRKT bị động bằng bánh răng sinh Novikov

Sau khi đã thiết kế được biên dạng răng (Γ₁, Γ₄) của BR₁ và BR₄. Để tạo hình biên dạng BR₂ và BR₃ sao cho các cặp BR 1-2 và BR 3-4 cùng mô-đun m trong phần này coi BR₁ và BR₄ là BR sinh để tạo hình biên dạng răng cho BR₂ và BR₃ đối tiếp theo từng cặp tương ứng của hệ BRKT có lược đồ ở Hình 1.

Xét cặp BRKT 1-2, để thực hiện tạo hình biên dạng răng của BR₂ bằng bánh răng sinh Novikov theo phương pháp đổi giá [11] ta coi BR₂ là giá còn đoạn O₁O₂ là cần mang BR₁ thực hiện 2 chuyển động (xem Hình 7): (i) Quay quanh tâm quay O₁ của BR₁ một góc φ₁; (ii) Quay quanh tâm quay O₁ của BR₂ một góc - φ₂.

Như vậy, nếu đặt S₂{O₂x₂y₂z₂} là hệ quy chiếu gắn trên BR₂, thì khi đó S₂ được coi là hệ quy chiếu cố định. Với chuyển động của BR₁ như trên ứng với mỗi điểm K₁ trên Γ₁ khi tham gia ăn khớp với BR₂ sẽ hình thành một điểm K₂ trên Γ₂ của BR₂ và được cho bởi:

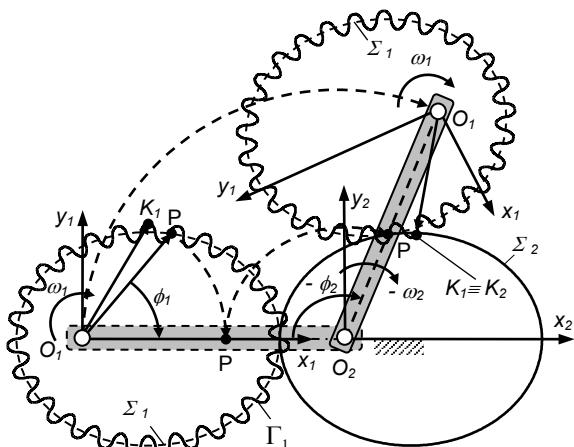
$$\mathbf{r}_{K_2} = {}^2\mathbf{M}_{O_2} {}^{O_2}\mathbf{M}_{O_1} \mathbf{M}_1 \mathbf{r}_{K_1} \quad (18)$$

trong đó:

$$\mathbf{M}_1 = \begin{bmatrix} \cos \varphi_1 & -\sin \varphi_1 & 0 & 0 \\ \sin \varphi_1 & \cos \varphi_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix};$$

$${}^{O_2}\mathbf{M}_{O_1} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & -A_{12} \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$${}^2\mathbf{M}_{O_2} = \begin{bmatrix} \cos(\varphi_2(\varphi_1)) & -\sin(\varphi_2(\varphi_1)) & 0 & 0 \\ \sin(\varphi_2(\varphi_1)) & \cos(\varphi_2(\varphi_1)) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix};$$



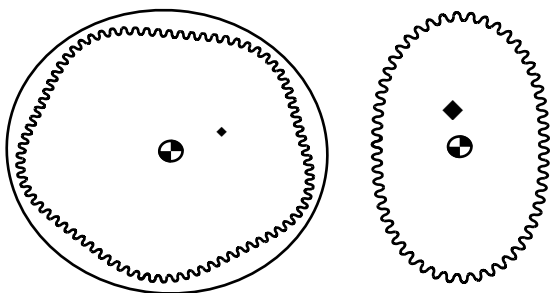
Hình 7. Chuyển động tạo hình giữa bánh răng sinh Novikov và BRKT

Tương tự áp dụng đối với cặp bánh răng 3 – 4 ta cũng có phương trình xác định biên dạng Γ_3 của BR3 theo công thức (17).

Từ nguyên lý hình thành đường lăn của hệ BRKT được xác định trong mục 2 thì các cặp đường lăn (Σ_1, Σ_2) và (Σ_3, Σ_4) luôn lăn không trượt trên nhau. Mặt khác, do bước răng được tính trên vòng lăn vì vậy số răng của BR2 và BR4 được cho bởi:

$$\begin{cases} z_2 = n_1 z_1 \\ z_3 = n_4 z_4 \end{cases} \quad (19)$$

thay z_1 và z_4 vào (19) ta có: $z_2 = 80$, $z_4 = 54$. Hình 8 là biên dạng răng của BR2 và BR4 sau khi thiết kế.



Hình 8. Biên dạng răng của BRKT2 và BRKT3 sau khi tạo hình biên dạng

3.3. Kiểm tra điều kiện cắt lẹm chân răng

Khi gia công bánh răng phần đỉnh thanh răng ăn sâu vào biên dạng của BR làm mất đi một phần chân răng của BR đây được gọi là hiện tượng cắt lẹm chân răng, lẹm chân răng sẽ làm giảm độ bền răng của răng trong quá trình ăn khớp đặc biệt đối với BRKT các răng chịu lực và mô men không đều. Vì vậy, khi thiết kế biên dạng răng cần phải tránh hiện tượng cắt lẹm chân răng, theo [6] để không có hiện tượng cắt

lẹm chân răng thì phương trình sau phải được thỏa mãn:

$$\begin{vmatrix} \frac{\partial r_{K_{sx}}}{\partial \theta_j} & -V_{j,j+1x} \\ \frac{\partial f(\varphi_j)}{\partial \theta_j} & -\frac{\partial f}{\partial \varphi_j} \frac{d\varphi_j}{dt} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \frac{\partial r_{K_{sy}}}{\partial \theta_j} & -V_{j(j+1)y} \\ \frac{\partial f(\varphi_j)}{\partial \theta_j} & -\frac{\partial f(\varphi_j)}{\partial \varphi_j} \frac{d\varphi_j}{dt} \end{vmatrix} = 0 \quad (19)$$

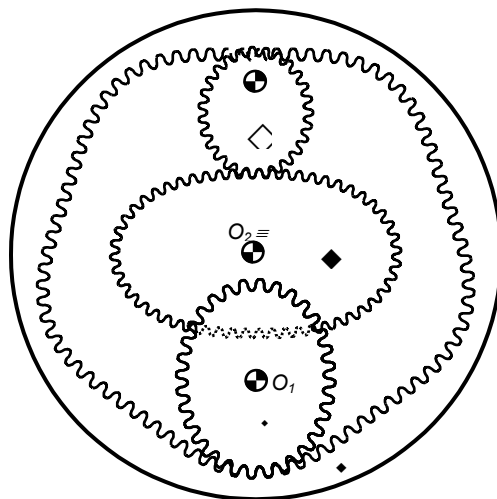
trong đó:

$V_{j(j+1)}$ vận tốc trượt tương đối tại điểm tiếp xúc giữa thanh răng Novikov và BRKT khi xét trong hệ quy chiếu $\mathcal{O}_S\{O_Sx_Sy_Sz_S\}$:

$$V_{j(j+1)} = [\omega_j(r_{K_{sx}} - S(\varphi_j)) \quad -\omega_j r_{K_{sy}}]^T \quad (20)$$

$f(\varphi_j)$ xác định từ (16):

$$f(\varphi_j) = -r_{K_{sx}} n_y - (S(\varphi_j) - r_{K_{sy}}) n_x \quad (21)$$



Hình 9. Hệ BRKT thường sau khi hiệu chỉnh và hoàn thiện thiết kế

Những điểm $K_S \in \Gamma_S$ không thỏa mãn hệ định thức (19) là những điểm gây ra cắt lẹm chân răng cần được kiểm tra. Áp dụng biểu thức toán học đã được thiết lập ở mục 2 và mục 3, sau khi kiểm tra điều kiện cắt lẹm chân răng Hình 9 là hệ BRKT răng thẳng biên dạng Novikov sau khi hiệu chỉnh so với bộ thống số thiết kế đường lăn ban đầu cho ở mục 2.3 như sau: Σ_1 có: $a_1 = 44.4$ mm, $b_1 = 35$ mm;

Σ_4 có: $a_4 = 28.9$ mm, $E_4 = 0.5$ mm; cặp BRKT 1-2 có: $A_{12} = 58.99$ mm; BRKT 3-4 có $A_{34} = 81$ mm.

3.4. Quy trình thiết kế hệ BRKT thường biên dạng Novikov

Từ những nghiên cứu đã trình bày ở trên, trong mục này đưa ra quy trình tổng quát trong thiết kế hệ BRKT có biên dạng Novikov như sau:

Bước 1: Thiết kế đường lẩn của hệ

+ Xác định đường lẩn Σ_2, Σ_3 theo công thức (6, 9) và khoảng cách trục A_{12}, A_{34} theo công thức (7, 10). Trong trường hợp tổng quát có thể xác định theo công thức (2 - 4).

Bước 2: Thiết kế biên dạng răng của BR chủ động bằng thanh răng sinh Novikov

Từ thông số thiết kế của thanh răng sinh Novikov được cho bởi công thức (12), ta có phương trình toán học mô tả biên dạng răng của BR chủ động được cho bởi công thức (15, 16). Tuy nhiên, khi phân bố răng nếu số răng của BR chủ động là số nguyên dương thì tiếp tục sang bước 3, còn nếu số răng của BR chủ động là số thập phân thì chọn phần nguyên và hiệu chỉnh thông số thiết kế đường lẩn theo công thức (17) và quay về **bước 1** để xác định lại bộ thông số thiết kế đường lẩn của BR chủ động.

Bước 3: Xác định biên dạng răng của BR bị động bằng bánh răng sinh Novikov. Sau khi xác định được biên dạng răng của BR bị động, dùng các bánh răng này làm BR sinh để tạo hình cho BRKT ăn khớp đôi tiếp theo công thức (18). Tuy nhiên, cần kiểm tra điều kiện cắt lẹm chân răng thông qua công thức (20). Nếu không thỏa mãn (*ức có hiện tượng cắt lẹm chân răng xảy ra*) thì phải phân bố lại số răng và hiệu chỉnh thông số thiết kế thanh răng mà vẫn không thỏa mãn thì quay lại bước 1.

5. Kết luận

Điểm mới của nghiên cứu này là ứng dụng thanh răng sinh và BR sinh Novikov trong việc tạo hình biên dạng răng của các cặp BR trong hệ BRKT thường có biên dạng răng kiểu Novikov mà trong quá trình nghiên cứu về BRKT chúng tôi chưa thấy một công bố nào đề cập đến vấn đề này. Ưu điểm của nghiên cứu này là chỉ cần dùng một dao thanh răng để tạo hình cho một cặp cho cặp BRKT thay vì phải dùng hai dao thanh răng có biên dạng ngược nhau như đã trình bày trong [9]. Ngoài ra, nghiên cứu này còn đưa ra một quy trình thiết kế các hệ BRKT thường có biên dạng là các cung tròn kiểu Novikov trong những ứng dụng cần tải lớn.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Bộ giáo dục và Đào tạo trong đề tài cấp Bộ, Mã số B2019-BKA-09.

Tài liệu tham khảo

[1] Gang Ye, Xian-You Ye; A new method for seeking the optimum gear tooth profiles the theoretical basis of Wildhaber–Novikov gearing, *Mechanism and Machine Theory* 37 (2002) 1087–1103.

[2] Faydor L. Litvin, Alfonso Fuentes, Ignacio Gonzalez-Perez, Luca Carnevali, Thomas M. Sep; New version of Novikov–Wildhaber helical gears: computerized design, simulation of meshing and stress analysis. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*. 191 (2002) 5707–5740.

[3] Faydor L. Litvin, Alfonso Fuentes; *Gear Geometry and Applied Theory*; Cambridge University Press (2004).

[4] K. Syzrantseva, V. Syzrantsev; Estimation of Novikov Gearing Loading Capacity Based on Integral Strain Gauges Application; *Procedia Engineering* 206 (2017)1081–1086.

[5] Houjun Chen, Xiaoping Zhang, Xiong Cai, Zhilan Ju, Chang Qu, Donghe Shi; Computerized design, generation and simulation of meshing and contact of hyperboloidal-type normal circular-arc gears; *Mechanism and Machine Theory* 96 (2016) 127–145.

[6] Faydor L. Litvin, Alfonso Fuentes Aznar, Ignacio Gonzalez Perez, Kenichi Hayasaka; *Noncircular Gears Design and Generation*; Published in the United States of America by Cambridge University Press (2009).

[7] David B. Dooner; *Kinematic geometry of gearing*, Wiley, (2012).

[8] F.L. Litvin, Jan Lu; *New Methods for Improved Double Circular-Arc Helical Gears*; Report Army Research Laboratory, NASA (1997).

[9] Nguyễn Thành Trung, Nguyễn Hồng Thái, Đàm Công Trường; *Ứng dụng biên dạng Novikov trong thiết kế hệ bánh răng không tròn*; Hội nghị Cơ học kỹ thuật toàn quốc Kỷ niệm 40 năm thành lập Viện Cơ học, Hà Nội 2019.

[10] Libardo V. Vanegas-Useche, Magd M. Abdel-Wahab, Graham A. Parker; A New Noncircular Gear Pair to Reduce Shaft Accelerations: A Comparison with Sinusoidal and Elliptical Gears. *Dyna*, 83(198) (2016), 220-228.

[11] Đinh Gia Tường, Nguyễn Xuân Lạc, Trần Doãn Tiến; *Nguyên Lý Máy*; Nhà xuất bản Đại học và Trung học chuyên nghiệp (1970).