

MỘT SỐ VẤN ĐỀ VỀ HỚT LUNG DAO PHAY LĂN RĂNG GIA CÔNG RĂNG BÁNH TRỤ RĂNG THÂN KHAI

Phan Văn Nghi¹, Nguyễn Thái Bình¹, Cao Thanh Long^{2*}

¹Trường Đại học Kỹ thuật Công nghiệp – ĐH Thái Nguyên

²Ban Khoa học Công nghệ & Môi trường – ĐH Thái Nguyên

TÓM TẮT

Bài báo này trình bày một số vấn đề lý thuyết và thực tế để chế tạo mặt sau răng dao phay lăn trục vít dùng để gia công răng bánh răng trụ răng thân khai. Các phương trình chuyển động tạo hình đường cong hớt lưng được xây dựng và mô tả kết quả theo phương pháp giải tích. Các vấn đề động lực học xảy ra khi thực hiện quá trình hớt lưng được tính toán dựa trên các định luật Newton và định luật bảo toàn động lượng. Kết quả cho thấy: Việc sử dụng đường cong hớt lưng Archimede sẽ đảm bảo tính kỹ thuật và tính kinh tế tính kinh tế hơn so với sử dụng đường cong logarit, có thể sử dụng máy tiện hớt lưng chuyên dùng hoặc máy tiện CNC để thực hiện quá trình hớt lưng này một cách dễ dàng.

Từ khóa: Quá trình hớt lưng, dao phay lăn răng, đường cong hớt lưng logarit, đường cong hớt lưng Archimede, máy tiện hớt lưng, máy tiện CNC.

Ngày nhận bài: 04/5/2019; Ngày hoàn thiện: 14/5/2019; Ngày duyệt đăng: 16/5/2019

SOME ISSUES FOR THE RELIEVED CLEARANCE SURFACES OF THE HOB TEETH USED FOR MACHINING INVOLUTE CYLINDRICAL GEARS

Phan Van Nghi¹, Nguyen Thai Binh¹, Cao Thanh Long^{2*}

¹University of Technology – TNU, ²Thai Nguyen University

ABSTRACT

This paper presents theoretical and practical issues for cutting the relieved clearance surfaces of the hob teeth used for machining involute cylindrical gears. Equations of motion shaping the relieved curve are constructed and described the results by analytical method. The dynamics problems that occur when carrying out the relieved process are calculated based on Newton's laws and the law of momentum conservation. The results show that the use of the Archimede curve will ensure technical and economic feasibility for this process. It is possible to use a specialized turning machine or a CNC lathe to carry out the process very simple.

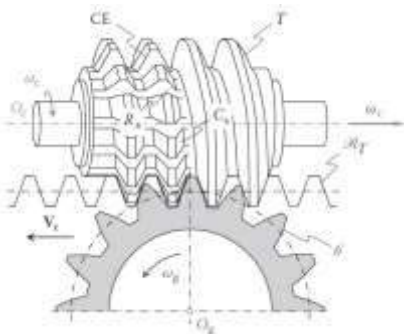
Key words: Cutting process for the relieved clearance surfaces, gear hobs, logarithmic curve, archimede curve, the lathe for cutting the relieved clearance surfaces, CNC lathe.

Received: 04/5/2019; Revised: 14/5/2019; Approved: 16/5/2019

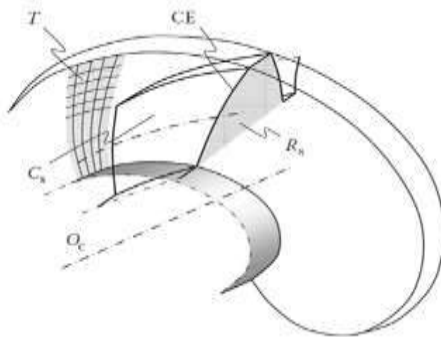
* Corresponding author. Email: caothanhlong@tnu.edu.vn

1. Đặt vấn đề

Dao phay lăn răng trục vít (sau đây kí hiệu DF- Hình 1) được sử dụng rộng rãi để gia công bánh răng theo phương pháp bao hình. Cấu tạo bao hình biên dạng răng là phương pháp chế tạo bánh răng chính xác vì nó lặp lại quá trình ăn khớp giữa trục vít với bánh răng [1]. DF cho phép sản xuất tất cả các loại bánh răng, bao gồm cả bánh răng côn và chưa thể bị thay thế trong tương lai gần, đặc biệt khi cần phải chế tạo bánh răng hình trụ có độ chính xác cao [2].



Hình 1. Sơ đồ cắt răng bằng dao phay lăn răng trục vít [2]



Hình 2. Các bề mặt DF: T - Mặt vít khởi thủy; Rs - Mặt trước; Cs - Mặt sau và mặt bên; CE - Lưỡi cắt [2]

Bề mặt khởi thủy T của DF là một bề mặt xoắn vít. Răng dao được hình thành từ mặt trước Rs, mặt sau tại đỉnh T và hai mặt bên Cs (xem Hình 2). Để tạo ra lưỡi cắt chính là đường thẳng, mặt trước DF thường có dạng bề mặt xoắn vít trục giao: (1) Bề mặt vít Archimede ($\gamma_0 = 0^\circ$) và (2) bề mặt vít xoắn ốc convolute ($\gamma_0 < 0^\circ$ và $\gamma_0 > 0^\circ$). Ở đây: γ_0 là góc trước trên lưỡi cắt tại đỉnh răng dao. Để

đảm bảo độ chính xác khi chế tạo cũng như khi mài lại, mặt trước dạng (1) được sử dụng với đa số DF [2,3,4].

Việc tạo mặt sau răng dao thường được thực hiện ở các nguyên công hót lưng với đường cong hót lưng có thể là: Đường xoắn logarithm, đường xoắn Archimede, đường tròn hoặc đường thẳng [3, 4]. Mặt hót lưng là bề mặt thực để tạo ra góc sau có trị số luôn dương [5] trên răng dao. Nguyên công hót lưng được thực hiện trước khi nhiệt luyện (bằng dụng cụ cắt) và sau nhiệt luyện (bằng đá mài). Phạm vi bài báo này chỉ tập trung trình bày quá trình hót lưng DF bằng dụng cụ cắt với các nội dung như sau:

- Mục đích và phương trình đường cong hót lưng logarithm;
- Phương trình đường cong hót lưng Archimede;
- Quá trình động học và động lực học khi hót lưng theo hai đường xoắn nêu trên.

2. Mục đích và phương trình đường cong hót lưng logarithm

2.1 Mục đích

Việc hót lưng phải đảm bảo: (a) Tạo ra góc sau có trị số không đổi sau những lần mài lại dao bị mòn và phù hợp với quá trình cắt; (b) tạo ra lưỡi cắt có độ chính xác nằm trong miền dung sai cho phép của dao; (c) hình dạng lưỡi cắt không thay đổi hoặc thay đổi trong phạm vi cho phép sau những lần mài lại.

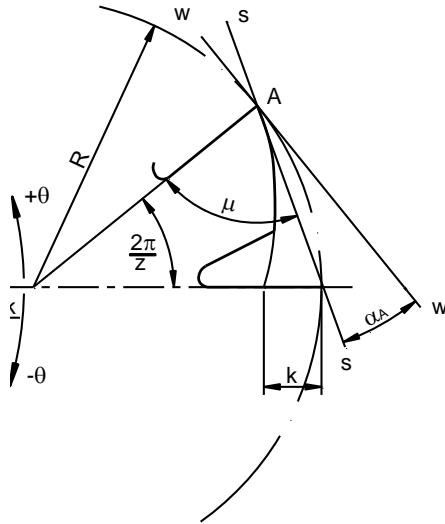
Để thấy, về mặt lý thuyết, lưỡi cắt CE là giao của ba bề mặt T, Rs, and Cs. Việc đảm bảo yêu cầu (b) và (c) là cực kỳ quan trọng đối với dao mới cũng như khi mài sắc lại dao bị mòn. Độ chính xác về hình dáng hình học của CE sẽ được quyết định bởi độ chính xác hình học bề mặt T, Rs và Cs. Phần tiếp theo của bài báo chỉ đề cập khía cạnh hình học của bề mặt Cs. Về mặt hình học, Cs trên DF đạt được do quá trình hót lưng răng dao.

2.2 Phương trình đường cong hót lưng logarithm

Để đảm bảo yêu cầu (a), gắn vào tâm DF hệ tọa độ độ cực như Hình 3:

μ - góc giữa bán kính véc tơ ρ với đường thẳng tiếp tuyến S- S với đường cong hút lưng tại đỉnh A.

α_A - góc sau là góc giữa đường thẳng vuông góc với bán kính ρ W-W và đường thẳng S- S.



Hình 3. Sơ đồ xác định phương trình đường cong hút lưng logarithm [3,4]

Phương trình tổng quát của đường cong hút lưng có dạng: $\rho = f(\theta)$ (1)

Trong (1): θ - tham số góc quay ở tâm, ρ - bán kính quay.

Theo giải tích có: $\tan\mu = \frac{\rho}{\rho'}$ (2)

Vì $\alpha + \mu = 90^\circ \rightarrow \tan\alpha = \frac{1}{\tan\mu} = \frac{1}{\rho} \cdot \frac{d\rho}{d\theta}$ (3)

Khi $\alpha = \text{const}$ hay $\tan\alpha = \text{const} = c$, sẽ có:

$$\frac{1}{\rho} \cdot \frac{d\rho}{d\theta} = c \leftrightarrow \frac{1}{\rho} \cdot d\rho = c \cdot d\theta \quad (4)$$

Lấy tích phân hai vế (4): $\ln\rho = c \cdot \theta + C$ (5)

($C = \text{const}$).

+ Xác định C: Khi $\theta = 0^\circ$; $\rho = R$ (R - bán kính vòng tròn đỉnh dao), thay vào (5) có:

$$\ln R = C \quad (6)$$

Thay (6) vào (5) có:

$$\ln\rho = c \cdot \theta + \ln R = \ln R \cdot e^{c\theta} \quad (7)$$

Bỏ logarithm hai vế (7), có:

$$\rho = R \cdot e^{c\theta} \quad (8)$$

Như vậy: Phương trình (1) thỏa mãn điều kiện $\alpha = \text{const}$ có dạng (8). Đây là phương trình của đường xoắn logarithm trong tọa độ cực. Theo [3, 4], các máy tiện hút lưng truyền thống không sử dụng đường này, vì:

+ Ứng với một dao phay hút lưng phải có một cam hút lưng (ρ phụ thuộc cả θ và R) điều này không thể chấp nhận về tính kinh tế.

+ Phương trình (8) là phương trình hàm mũ, do đó để chế tạo đường cong này máy phải có một gia tốc nào đó, điều này không phù hợp với các máy hút lưng truyền thống.

+ Tuy nhiên, với các máy tiện hoặc máy mài CNC, việc lập trình để tạo ra chuyển động hút lưng theo hàm mũ là điều hoàn toàn có thể. Thực tiễn, trong ngành chế tạo DF, người ta có cần sử dụng đường cong logarithm theo phương trình (8) hay không là một câu hỏi sẽ được trả lời trong phần 4 của bài báo này.

3. Phương trình đường cong hút lưng Archimede

3.1 Đường cong hút lưng Archimede

Dễ thấy: Phương trình đường xoắn Archimede trong tọa độ cực có dạng:

$$\rho = a \cdot \theta \quad (9)$$

Trong (9):

- a - Hệ số đặc tính của đường xoắn. Theo

[5]: $a = \frac{S}{2\pi}$; S - Bước của đường xoắn Archimede.

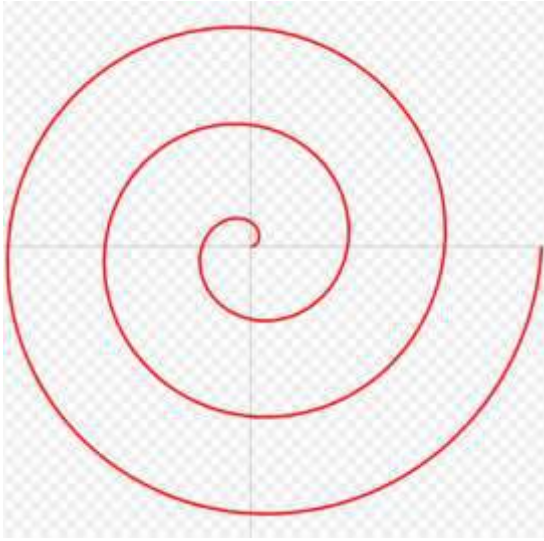
- θ : Góc quay (rad).

- θ : Góc quay (rad).

Phương trình đường xoắn Archimede qua đỉnh răng dao có dạng:

$$\rho = R - \frac{S}{2\pi} \cdot \theta \quad (10)$$

Khi tiện, đường xoắn Archimede được tạo bởi sự phối hợp của hai chuyển động quay đều (theo trục DF cần hút lưng) và tịnh tiến đều (của dao tiện hút lưng).



Hình 4. Quỹ đạo chuyển động cắt khi tiện 3 vòng 360° của một xoắn ốc Archimede [6]

Theo (3) và (10), có:

$$\tan\alpha = \frac{1}{\rho} \cdot \frac{d\rho}{d\theta} = -\frac{1}{\rho} \frac{S}{2\pi}$$

Dấu (-) chỉ hàm nghịch biến, về giá trị:

$$\tan\alpha = \frac{1}{\rho} * \frac{S}{2\pi} \quad (11)$$

+ Xác định sai số góc sau khi DF có lượng hút lưng K:

Để thấy, bước của đường xoắn Archimede:

$$S = K \cdot Z \quad (12)$$

Trong (12):

- K- Lượng hút lưng của dao (lượng nâng của đường xoắn ứng với 1 răng dao);

- Z - số răng của dao phay.

Thay (12) vào (11) có:

$$\tan\alpha = \frac{K \cdot Z}{\rho \cdot 2\pi} \quad (13)$$

Từ công thức (13), dễ thấy:

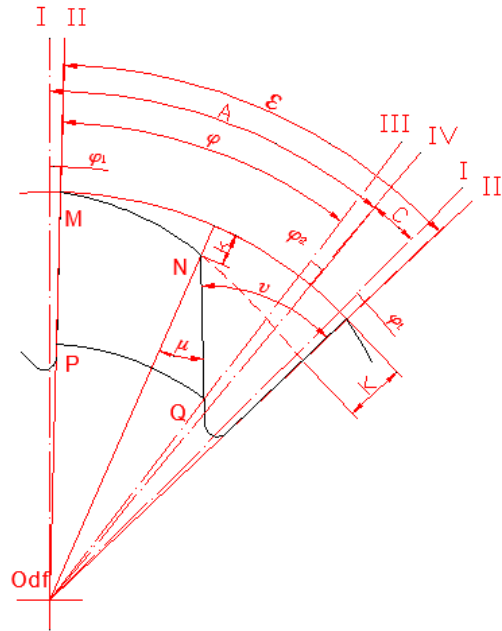
$$- K = \frac{2\pi R}{Z} \tan\alpha \quad (14)$$

Theo [2, 3, 4], với DF có mô đun $m = 10$ thì $R = 80$ mm; $Z = 16$ và $\alpha = 10^\circ$, từ (14) sẽ có: $K = 5,5$ mm.

- Khi $\rho = R$ (bán kính vòng đỉnh răng dao, tức là dao tiện bắt đầu quá trình hút lưng tại điểm M trên Hình 5) có: $\tan\alpha_M = \frac{KZ}{2\pi R} \quad (15)$

- Khi $\rho = R - k$ (k – lượng hút lưng ứng với điểm N trên Hình 5, điểm kết thúc quá trình hút lưng trên đỉnh răng dao) có:

$$\tan\alpha_N = \frac{KZ}{2\pi(R-k)} \quad (16)$$



Hình 5. Sơ đồ quá trình hút lưng DF: Mặt I – vị trí bắt đầu của dao tiện hút lưng; mặt II – dao hút lưng tiếp xúc với đỉnh răng DF; mặt III – kết thúc quá trình hút lưng chân răng; mặt IV – vị trí kết thúc lượng vượt quá. Các góc: A – Góc hút lưng; C – Góc lùi dao hút lưng; ϵ – Góc giữa hai răng DF; ϕ_1 – Góc ăn tới; ϕ_2 – Góc vượt quá; ϑ – Góc rãnh răng DF; μ – Góc vát lưng răng DF [3]

- Lấy (15) chia cho (16) có:

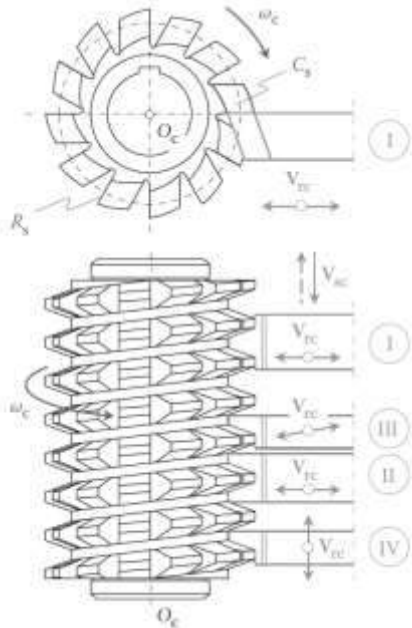
$$\frac{\tan\alpha_M}{\tan\alpha_N} = 1 - \frac{k}{R} \quad (17)$$

Với trường hợp cụ thể DF nêu ở trên, lấy $k = 0,5 \cdot K$ hay $k = 2,75$ mm. Suy ra: $\tan\alpha_M = 0,965625 \cdot \tan\alpha_N$. Tức là góc sau có giá trị tăng khoảng 20' từ mặt trước đến vị trí kết thúc quá trình hút lưng (điểm N). Mặt khác, theo [3, 4], để đảm bảo sức bền răng dao nên răng dao chỉ được mài lại nên bề rộng cung $\approx 1/2 \widehat{MN}$. Do đó, sai số góc sau sẽ giảm còn

khoảng 10', tức là gần 1,7 %. Khi này có thể coi $\alpha_M \cong \alpha_N$.

Do đó, hình dáng răng dao ít thay đổi khi độ chính xác góc trước đã được đảm bảo bởi quá trình mài sắc hay mài lại. Vì vậy, trong ngành chế tạo dụng cụ cắt sử dụng đường xoắn Archimede là đường cong hót lung thực tế.

3.2 Một số phương pháp cơ bản hót lung DF



Hình 6. Một số phương pháp cơ bản để thực hiện quá trình hót lung răng DF [2]

Để thực hiện quá trình hót lung cần các chuyển động sau (Hình 6): Chuyển động quay đều của DF với vận tốc ω_c ; chuyển động tịnh tiến khứ hồi với qui luật vào chậm và đều với vận tốc V_{rc} , khi lùi ra dao hót lung được chuyển động theo chiều ngược lại rất nhanh (vì góc C \ll góc A, xem Hình 5) và chuyển động tịnh tiến dọc trục dao phay với vận tốc V_{sc} (phải có liên động với ω_c để phù hợp với bước vít dọc trục DF).

Có 04 phương pháp cơ bản để hót lung răng dao bằng cắt [2]:

+ Phương pháp I: Hót lung hướng kính hai mặt bên rãnh răng và mặt đỉnh răng DF;

+ Phương pháp II: Hót lung hướng kính hai mặt bên của cùng một răng và mặt đỉnh răng DF;

+ Phương pháp III: Hót lung hướng kính - xiên từng mặt bên răng và mặt đỉnh răng DF;

+ Phương pháp IV: Hót lung chiều trục từng mặt bên của cùng một răng và mặt đỉnh răng DF.

Trong đó, phương pháp I và II hay được sử dụng nhất. Thêm nữa, tùy thuộc vào thông số DF (mô đun, số răng dao, đường kính vòng đỉnh, độ chính xác), các kỹ sư công nghệ sẽ quyết chọn phương pháp nào trong 04 phương pháp trên hoặc chia tách thêm các phương pháp khác, chẳng hạn: Chia phương pháp I (hoặc II) thành 03 bước riêng rẽ (2 bước cho hai mặt bên và 1 bước cho hót lung đỉnh răng).

4. Quá trình động học và động lực học khi hót lung

4.1 Khi hót lung theo đường xoắn Archimede

Từ (10 và 12) có:

+ Vận tốc chuyển động và gia tốc dao hót lung:

$$V_{Arc} = -\frac{KZ}{2\pi} \text{ và } a_{Arc} = 0 \quad (18)$$

+ Lực quán tính tác động lên cụm chạy dao hướng kính vào tâm dụng cụ (dao hoặc đá mài):

$$F_A = 0 \quad (19)$$

+ Động năng của cụm gá dao (đá mài) tại thời điểm kết thúc quá trình hót lung:

$$E_A = \frac{1}{2} m (V_{Arc})^2 = \frac{1}{2} m * \left(-\frac{KZ}{2\pi}\right)^2 \quad (20)$$

Hay:

$$E_A = \frac{1}{8\pi^2} m * K^2 * Z^2 \quad (21)$$

Trong (21): m – Khối lượng bàn dao hướng kính, gồm cả khối lượng dụng cụ cắt và đồ gá kèm theo.

4.2 Khi hót lung theo đường xoắn logarithm

Từ (8) có:

+ Vận tốc dao hót lung:

$$V_{Lrc} = R * c * e^{c\theta} \quad (22)$$

+ Gia tốc dao hót lung:

$$a_{Lrc} = R * c^2 * e^{c\theta} \quad (23)$$

+ Lực quán tính tác động lên trục vít me chạy dao ngang khi thực hiện quá trình hót lung:

$$F_{Lrc} = m * a_{Lrc} \quad (24)$$

Thay (23) vào (24) có:

$$F_{Lrc} = m * R * c^2 * e^{c\theta} \quad (25)$$

+ Từ (22), động năng của đài mang dao (đá mài):

$$E_{Lrc} = \frac{1}{2} m * R^2 * c^2 * e^{2c\theta} \quad (26)$$

+ Hằng số c: Từ (8) có:

$$c = \frac{\ln(\frac{\rho}{R})}{\theta} \quad (27)$$

Thay giá trị của c trong công thức (27) vào (25) nhận được trị số lực quán tính tác động lên hệ thống (và do đó, đến vít me chạy dao ngang) của máy CNC:

$$F_{Lrc} = m * R * \left[\frac{\ln(\frac{\rho}{R})}{\theta} \right]^2 * e^{\ln(\frac{\rho}{R})} \quad \text{hay}$$

$$F_{Lrc} = m * \rho * \left[\frac{\ln(\frac{\rho}{R})}{\theta} \right]^2 \quad (28)$$

Thay (27) vào (26) nhận được động năng tại thời điểm kết thúc quá trình hót lung (vị trí ứng với mặt cắt IV – Hình 5):

$$E_{Lrc} = \frac{1}{2} m * R^2 * \left[\frac{\ln(\frac{\rho}{R})}{\theta} \right]^2 * e^{2\ln(\frac{\rho}{R})} \quad \text{hay}$$

$$E_{Lrc} = \frac{1}{2} m * \rho^2 * \left[\frac{\ln(\frac{\rho}{R})}{\theta} \right]^2 \quad (29)$$

Trong (28, 29):

m – Khối lượng bộ phận chuyển động chạy dao ngang, gồm cả dao (hoặc gồm đá mài, đồ gá và động cơ điện quay đá) hót lung, kg;

R – Bán kính đỉnh dao, mét;

ρ - Bán kính đỉnh dao trong quá trình hót lung, ứng với góc A, Hình 5, mét;

θ – Góc ở tâm chắn cung hót lung, rad.

5. Kết quả và thảo luận

5.1 Kết quả

(1) Phương trình đường cong hót lung theo đường xoắn logarithm được mô tả theo (8);

(2) Phương trình đường cong hót lung theo đường xoắn Archimede được mô tả theo (10);

(3) Khi thực hiện quá trình hót lung theo đường xoắn Archimede, trị số góc sau trên mặt đỉnh răng DF thay đổi và được tính theo công thức (17);

(4) Lực quán tính tác động vào cụm bàn mang dụng cụ hót lung, có trị số:

- $F_{Arc} = 0$ khi hót lung theo đường xoắn Archimede;

- F_{Lrc} – Được tính theo công thức (28) khi hót lung theo đường xoắn logarithm.

(5) Động năng phát sinh khi hót lung có giá trị:

- E_{Arc} theo công thức (21) khi hót lung theo đường xoắn Archimede;

- E_{Lrc} theo công thức (29) khi hót lung theo đường xoắn logarithm.

5.2 Thảo luận

+ Cơ cấu chạy dao hướng kính không chịu tác động của lực quán tính khi hót lung theo đường xoắn Archimede.

+ Cơ cấu này sẽ chịu tác động của lực quán tính khi hót lung theo đường xoắn logarithm. Độ lớn của lực này tỉ lệ thuận với khối lượng cơ cấu (m), số răng dao; tỉ lệ nghịch với trị số hót lung (K) và đường kính ngoài của DF.

+ Giá trị động năng khi hót lung theo đường xoắn logarithm so với khi hót lung theo đường xoắn Archimede cho một DF có thông số kết cấu giống nhau, khi này sẽ là:

$$\frac{E_{Lrc}}{E_{Arc}} = \frac{\frac{1}{2} m * \rho^2 * \left[\frac{\ln(\frac{\rho}{R})}{\theta} \right]^2}{\frac{1}{8\pi^2} m * K^2 * Z^2} \quad \text{hay}$$

$$\frac{E_{Lrc}}{E_{Arc}} = \frac{4\pi^2 * \rho^2 * \left[\frac{\ln(\frac{\rho}{R})}{\theta} \right]^2}{K^2 * Z^2} \quad (30)$$

Với DF có m = 10; R = 80, Z = 16, K = 5,5, gần đúng lấy $\rho = R - K$ và $\theta = \frac{2\pi}{Z}$, (30) sẽ có giá trị:

$$\frac{E_{Lrc}}{E_{Arc}} = \frac{\rho^2 * \left[\ln(\frac{\rho}{R}) \right]^2}{K^2} \approx 138,5 \quad (l\bar{n})$$

Nói cách khác, động năng khi kết thúc quá trình hót lung theo đường xoắn logarithm với DF ví dụ trong bài báo này lớn gấp hơn 138,5 lần khi so với hót lung theo đường xoắn Archimede. Theo định luật bảo toàn và chuyển hóa năng lượng: Toàn bộ động năng

này sẽ chuyển hóa thành năng lượng gây ra lực tác động rất lớn và gây ra chuyển động cơ cấu chạy dao ngang không theo tính toán. Nội dung vấn đề này sẽ được trình bày trong nội dung bài báo tiếp theo của nhóm tác giả.

6. Kết luận

1. Việc thực hiện quá trình hót lung dao phay lăn răng theo theo đường xoắn logarithm về mặt lý thuyết sẽ cho góc sau trên lưng dao phay không đổi. Tuy nhiên, quá trình này không khả thi về mặt động lực học khi thực hiện trên các máy tiện CNC do phát sinh động năng hót lung quá lớn nếu so sánh với động năng phát sinh khi hót lung theo đường cong hót lung Archimede.

2. Quá trình hót lung theo đường xoắn Archimede có thể thực hiện trên các máy tiện hót lung chuyên dùng có sử dụng cam hót lung hoặc trên các máy tiện CNC khi biết giá trị bán kính vòng đỉnh dao phay (R) và góc sau cần tạo ra. Sau đó, dựa theo các phương trình (10, 11, 12) hoàn toàn thiết lập được chương trình tiện hót lung trên các máy/trung tâm tiện CNC một cách dễ dàng.

3. Cần có nghiên cứu tiếp theo xác định sự chuyển hóa động năng khi thực hiện quá trình hót lung và tác động của lực quán tính (nếu có) đến các bộ phận truyền chuyển động chạy dao ngang cho dao tiện hót lung.

4. Vấn đề động học tạo hình khi hót lung theo đường xoắn logarithm cũng cần thiết được nghiên cứu thêm và đầy đủ hơn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. John J. D.Jr., Gordon R. P., Joseph E. S. *Theory of machines and mechanisms*, third edition, New York - Oxford, Oxford university press, 744 pp, 2003.
- [2]. Stephen P. Radzevich – *Gear Cutting Tools: Fundamentals of Design and Computation* - CRC Press Taylor & Francis, NW, 788 pp, 2010.
- [3]. Semenchenko, I. I., Mat'ushin, V. M., and Sahharov, G. N. *Design of Metal Cutting Tools*. Moscow: Mashgiz, 952 pp, 1962.
- [4]. Rodin, P. R. *Fundamentals of Cutting Tool Design*. Moscow: Mashgiz, 160 pp, 1960.
- [5]. Bộ môn Chế tạo máy, *Dụng cụ cắt 1* - Trường Đại học KTCN Thái Nguyên, 2011.
- [6]. https://en.wikipedia.org/wiki/Archimedean_spiral.

