

NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA CHẾ ĐỘ CẮT (S,t) ĐẾN ĐỘ NHÁM SƯỜN RĂNG KHI GIA CÔNG BÁNH RĂNG CÔN CÔNG HỆ GLEASON BẰNG ĐẦU DAO HỢP KIM CỨNG

STUDY ON INFLUENCE OF CUTTING PARAMETERS (S, t) ON SURFACE ROUGHNESS OF TOOTH FLANK
WHEN MACHINING GLEASON-CURVED TOOTHED TEETH USING CARBIDE-TIPPED TOOL

Hoàng Xuân Thịnh*, Phạm Văn Đông,
Trần Vệ Quốc, Nguyễn Huy Kiên

TÓM TẮT

Bộ truyền bánh răng côn cong có nhiều ưu điểm: làm việc êm, hiệu suất cao, khả năng chịu tải trọng lớn... Để gia công được bánh răng côn cong có nhiều phương pháp như sử dụng máy phay 5 trục CNC, gia công trên máy chuyên dụng,... Tuy nhiên, gia công bánh răng theo phương pháp bao hình là phương pháp có nhiều ưu việt, đảm bảo độ chính xác, hạn chế sai số tích lũy,... Để đảm bảo chất lượng bộ truyền bánh răng khi truyền chuyển động thì việc nâng cao chất lượng bánh răng sau khi gia công là hết sức cần thiết [6]. Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu ảnh hưởng của bước tiến dao (S) và chiều sâu cắt (t) đến độ nhám bề mặt sườn răng khi gia công bánh răng côn cong bằng đầu dao hợp kim cứng. Kết quả nghiên cứu là cơ sở cho các nhà công nghệ lựa chọn chế độ cắt hợp lý nhằm nâng cao chất lượng bề mặt sườn răng khi gia công bánh răng côn cong hệ Gleason trên máy phay bánh răng côn cong bán tự động 525 theo phương pháp bao hình.

Từ khóa: Chế độ cắt, độ nhám, bánh răng côn răng cong.

ABSTRACT

Curved gear system has more advantages: silent operation, high performance, high bearing capacity. There are some methods which were used to cut as using 5 axis CNC, using nonstock machine, ect. In which, cutting by generating method has more advances, high accuracy, reduced accumulated discrepancy,... To get high stability in work of gear system that reason is necessary to process it with high accuracy. This paper presents a study on influence of feed rate (S) and depth of cut (t) on surface roughness of tooth flank when machining gleason - curved toothed teeth using carbide-tipped tool. The aims of this work show choices for experts in their works when machining the gleason-curved toothed teeth using 525 semi-automatic of machine.

Keywords: Cutting parameters, surface roughness, curved toothed teeth.

Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

*Email: xuanthinh26@gmail.com

Ngày nhận bài: 15/10/2018

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 20/12/2018

Ngày chấp nhận đăng: 25/12/2018

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Ngày nay với sự phát triển mạnh mẽ của ngành cơ khí chế tạo, với những máy móc ngày càng hiện đại nên việc

chế tạo các chi tiết cũng như cụm chi tiết trong đó có các loại bánh răng yêu cầu chính xác cao. Việc nâng cao tuổi thọ của bộ truyền bánh răng được các nhà nghiên cứu cũng như nhà công nghệ đặc biệt quan tâm. Với mục tiêu nâng cao chất lượng bộ truyền bánh răng thì việc nâng cao chất lượng bề mặt sườn răng là hết sức quan trọng. Trong các loại bộ truyền bánh răng thì bộ truyền bánh răng côn cong được sử dụng nhiều trong công nghiệp hàng không, tàu thủy, máy công cụ, máy xây dựng [4],... vì chúng có nhiều ưu điểm nổi trội như hiệu suất làm việc cao, khả năng chịu tải lớn,... Việc gia công các loại bánh răng được các nhà máy sản xuất cơ khí nghiên cứu, áp dụng với nhiều phương pháp chế tạo khác nhau như cắt gọt kim loại trên máy công cụ hay phương pháp ép đúc bằng khuôn mẫu. Để đảm bảo độ chính xác của bánh răng, thường sử dụng phương pháp cắt gọt kim loại theo phương pháp bao hình trên máy chuyên dụng. Chất lượng bộ truyền bánh răng khi làm việc phụ thuộc vào chất lượng của mỗi bánh răng sau khi chế tạo, đặc biệt là độ nhám sườn răng của bánh răng, đây là một trong những yếu tố quan trọng giúp bộ truyền bánh răng làm việc êm, giảm mài mòn sườn răng, nâng cao tuổi bền và tăng tuổi thọ [5].

Mối quan hệ giữa độ nhám bề mặt (R_a) và chế độ cắt (V, S, t) là quan hệ hàm lũy thừa có dạng [1]:

$$R_a = C_p \cdot V^a \cdot S^b \cdot t^c \quad (1)$$

Trong đó: C_p là hằng số; a, b, c là các số mũ. Sử dụng phương pháp thực nghiệm để xác định hằng số C_p và các số mũ a, b, c.

2. THỰC NGHIỆM

2.1. Thiết bị thực nghiệm và vật liệu gia công

2.1.1. Máy gia công và dụng cụ cắt

- Sử dụng máy gia công bánh răng chuyên dụng bán tự động, ký hiệu 525 (Liên Xô sản xuất) gia công theo phương pháp bao hình (hình 1).

- Dụng cụ cắt [2]: Dao phay bánh răng côn công hệ Gleason gắn mảnh hợp kim của hãng Kyocera, ký hiệu

TKY03130-PV60 (Nhật Bản sản xuất), số răng dao $Z = 16$, đường kính danh nghĩa của dao $d_n = 228,6 \text{ mm}$ (hình 2).



Hình 1. Máy gia công bánh răng chuyên dụng bán tự động 525

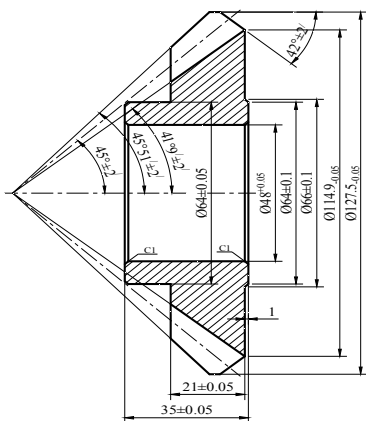


Hình 2. Dao phay bánh răng côn cong hệ gleason gắn mảnh hợp kim Kyocera

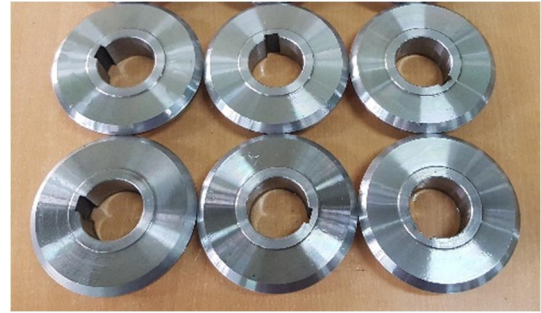
2.1.2. Vật liệu gia công và dung dịch trơn nguội

- Vật liệu gia công là thép 20XM theo tiêu chuẩn ГОСТ 4543-71. Mác thép được xác định bằng phương pháp quang phổ, thành phần hóa học thể hiện trong bảng 1. Hình vẽ bánh răng gia công được thể hiện trên hình 3 và hình ảnh phôi bánh răng dùng để thực nghiệm được thể hiện trên hình 4.

- Dung dịch trơn nguội: Dầu công nghiệp 32, lưu lượng 15 lít/phút và tưới trực tiếp.



Hình 3. Hình vẽ chế tạo bánh răng



Hình 4. Phôi dùng để thực nghiệm

Bảng 1. Thành phần hóa học của vật liệu gia công bánh răng

Mác thép	Thành phần hóa học %								
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Cu	S	P
20XM	0,2348	0,1930	0,682	0,9256	0,1826	0,2367	0,1546	0,0287	0,0265

2.1.3. Thiết bị đo độ nhám

- Máy đo độ nhám: Surfcom 1800D do Nhật Bản sản xuất, đầu đo số 0102521 (hình 5).

- Thông số đo: Giá trị độ nhám R_a theo tiêu chuẩn ISO.



Hình 5. Máy đo độ nhám Surfcom 1800D

2.2. Phương pháp thực nghiệm

Nghiên cứu được thực hiện trên 5 thí nghiệm, mỗi thí nghiệm thực hiện trên 03 mẫu với tổng số 15 mẫu. Vật liệu gia công bánh răng là thép 20XM được xác định thành phần hóa học bằng phương pháp quang phổ. Sử dụng phương pháp quy hoạch thực nghiệm bình phương nhỏ nhất, chọn dạng phương trình hồi quy, xác định thông số thí nghiệm và tiến hành thực nghiệm. Phôi thí nghiệm đã được gia công các bề mặt còn lại đảm bảo kích thước và độ chính xác theo yêu cầu. Tiến hành gia công chi tiết theo phương pháp bao hình trên máy gia công bánh răng chuyên dụng bán tự động 525. Sau khi phay, chi tiết được làm sạch, tiến hành đo, kiểm tra, đánh giá độ nhám. Mỗi mẫu đo 10 răng bất kỳ, mỗi răng được đo ở 3 vị trí rồi lấy giá trị trung bình. Sử dụng phần mềm Matlab, Excel để tính toán, vẽ đồ thị, xây dựng công thức xác định mối quan hệ giữa các thông số chế độ cắt (S , t) với độ nhám bề mặt (R_a) sườn răng bánh răng sau khi gia công.

2.3. Cơ sở đánh giá số liệu thực nghiệm

2.3.1. Xác định dạng phương trình hồi quy thực nghiệm

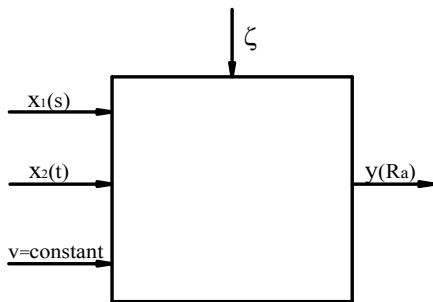
Để nghiên cứu mối quan hệ giữa các thông số chế độ cắt và độ nhám bề mặt sườn răng khi cắt bánh răng côn cong hệ gleason bằng đầu dao hợp kim cứng, nhóm tác giả sử dụng phương pháp bình phương nhỏ nhất (BPNN) với biến số k và dạng hàm hồi quy thực nghiệm:

$$y = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 + \dots + a_k x_k \tag{2}$$

2.3.2. Số thí nghiệm và thông số thí nghiệm

* Số thí nghiệm:

- Mối quan hệ giữa các thông số đầu vào và đầu ra được mô tả theo sơ đồ (hình 6):



Hình 6. Sơ đồ mối quan hệ giữa thông số đầu vào và đầu ra

+ Các biến đầu vào x_i điều khiển được:

- x_1 : Bước tiến dao S (giây/răng)
- x_2 : Chiều sâu cắt t (mm)

+ Biến đầu ra bị điều khiển:

- y: Độ nhám bề mặt R_a (μm)

+ Biến không điều khiển được:

- ζ : Biến ngẫu nhiên

- Số thí nghiệm được xác định [3] theo công thức: $N = 2^k$

Với biến đầu vào $k = 2$ ta có số thí nghiệm chính $N = 2^2 = 4$, để nâng cao độ chính xác nhóm tác giả thực hiện thêm 1 thí nghiệm ở tâm, tổng số thí nghiệm $N = 4 + 1 = 5$.

* Thông số thí nghiệm:

Căn cứ vào thông số kỹ thuật của máy, vật liệu gia công, phạm vi cho phép sử dụng của dụng cụ cắt, thông số chế độ cắt phục vụ nghiên cứu được chọn trong vùng sau:

- + Vận tốc cắt V: 116 m/ph.
- + Bước tiến S: 40 - 50 giây/răng.
- + Chiều sâu cắt t: 1,75 - 2,25 mm.

Mối quan hệ giữa độ nhám và chế độ cắt thể hiện qua công thức (1):

$$R_a = C_p \cdot V^a \cdot S^b \cdot t^c$$

Với giá trị $V = \text{constant}$ mối quan hệ đó được biểu thị bằng công thức:

$$R_a = C_p \cdot S^a \cdot t^b \tag{3}$$

Logarit cơ số e phương trình (1) ta được:

$$\ln(R_a) = \ln(C_p) + a \cdot \ln(S) + b \cdot \ln(t) \tag{4}$$

Đặt $y = \ln(R_a)$; $a_0 = \ln(C_p)$; $a_1 = a$; $a_2 = b$; $x_1 = \ln(S)$; $x_2 = \ln(t)$

Ta được: $y = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2$

Mức trên là $x_i^{(t)}$ ta có: $x_i^{(t)} = \ln x_{i \max}$

Mức dưới là $x_i^{(d)}$: $x_i^{(d)} = \ln x_{i \min}$

Mức cơ sở là $x_i^{(0)}$: $x_i^{(0)} = \frac{1}{2} (\ln x_{i \max} + \ln x_{i \min})$

Khoảng biến thiên là ρ_i ta có: $\rho_i = \frac{1}{2} (\ln x_{i \max} - \ln x_{i \min})$

Sau tính toán, giá trị các mã hóa thông số thí nghiệm được thể hiện trong bảng 2.

Bảng 2. Giá trị các mã hóa thông số thí nghiệm

Các yếu tố	x_1	x_2
Mức trên	3,91202	0,81093
Mức dưới	3,68888	0,55961
Mức cơ sở	3,80666	0,69315

2.4. Kết quả thực nghiệm

Sau khi phân tích thành phần hóa học vật liệu gia công, tạo phôi chi tiết bánh răng và tiến hành gia công. Hình ảnh chi tiết sau khi gia công thể hiện trong hình 7.



Hình 7. Bánh răng sau khi gia công

Sau khi gia công chi tiết được làm sạch, đo, kiểm tra, đánh giá độ nhám mặt sườn răng của bánh răng. Kết quả đo độ nhám được thể hiện trong bảng 3.

Bảng 3. Kết quả thực nghiệm

Thí nghiệm	Biến mã hóa		S(giây/răng)	t(mm)	$R_{a \text{tb}}(\mu\text{m})$
	x_1	x_2			
1	-1	-1	40	1,75	1,803
2	+1	-1	50	1,75	2,930
3	-1	+1	40	2,25	2,427
4	+1	+1	50	2,25	3,317
5	0	0	45	2	2,640

2.4.1. Quy hoạch số liệu thực nghiệm

Theo phương pháp BPNN ta có hàm hồi quy thực nghiệm tổng quát:

$$y = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 + \dots + a_k x_k$$

Xác định $a_0, a_1, a_2, \dots, a_k$ sao cho s đạt giá trị nhỏ nhất:

$$S^2 = \sum_{i=1}^{i=k} [y_i - y'_i]^2 \quad (5)$$

Các giá trị $a_0, a_1, a_2, \dots, a_k$ là các hệ số tương ứng của ma trận [A]:

$$[A] = \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \end{bmatrix} \quad \text{Với: } [X] \cdot [A] = [Y] \quad (6)$$

- Ma trận thông số đầu vào [X] là logarit cơ số e các giá trị S, t dùng trong thí nghiệm.

- Ma trận thông số đầu ra [Y] có các hệ số là logarit cơ số e các giá trị độ nhám đo được trên các mẫu thí nghiệm.

Nhân hai vế của (6) với ma trận chuyển vị X^T của ma trận X: $[X]^T \cdot [X] \cdot [A] = [X]^T \cdot [Y]$

$$\text{Đặt } [M] = [X]^T \cdot [X] \text{ ta có: } [M] \cdot [A] = [X]^T \cdot [Y]$$

Giả sử $\det(M) \neq 0$ thì [M] là ma trận khả nghịch, ta có:

$$[A] = [M]^{-1} \cdot [X]^T \cdot [Y] \quad (7)$$

Logarit cơ số e các giá trị S, t và R_a ta được kết quả trong bảng 4.

Bảng 4. Kết quả tính logarit các thông số thí nghiệm

TT	S (giây/răng)	t (mm)	R_{atb} (μm)	$\ln(S)$ x_1	$\ln(t)$ x_2	$\ln(R_{atb}/y)$
1	40	1,75	1,803	3,68888	0,55961	0,58945
2	50	1,75	2,930	3,91202	0,55961	1,07500
3	40	2,25	2,427	3,68888	0,81093	0,88666
4	50	2,25	3,317	3,91202	0,81093	1,19906
5	45	2	2,640	3,80666	0,69315	0,97078

Từ bảng 4 và phương trình hồi quy thực nghiệm (2) ta có:

$$[X] = \begin{bmatrix} 1 & x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1k} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ 1 & x_{n1} & x_{n2} & \dots & x_{nk} \end{bmatrix}$$

$$\rightarrow X = \begin{bmatrix} 1 & 3,68888 & 0,55961 \\ 1 & 3,91202 & 0,55961 \\ 1 & 3,68888 & 0,81093 \\ 1 & 3,91202 & 0,81093 \\ 1 & 3,80666 & 0,69315 \end{bmatrix}; \quad Y = \begin{bmatrix} 0,58945 \\ 1,07500 \\ 0,88666 \\ 1,19906 \\ 0,97078 \end{bmatrix}$$

Sử dụng phần mềm Excel để tính toán ta được ma trận [A]:

$$[A] = \begin{bmatrix} -6,43590 \\ 1,78956 \\ 0,83697 \end{bmatrix}$$

Từ đó ta có các hệ số của phương trình hồi quy thực nghiệm:

$$a_0 = -6,43590 \rightarrow C_p = e^{-6,43590} = 0,00160$$

$$a_1 = 1,78956; \quad a_2 = 0,83967$$

Vậy phương trình hồi quy thực nghiệm là:

$$y = -6,43590 + 1,78956x_1 + 0,83967x_2 \quad (8)$$

Phương trình quan hệ giữa độ nhám R_a và các thông số chế độ cắt:

$$R_a = 0,0016 \cdot S^{1,78956} \cdot t^{0,83967} \quad (9)$$

2.4.2. Đánh giá độ tin cậy của hàm hồi quy thực nghiệm

* Đánh giá độ tin cậy

Độ tin cậy được đánh giá theo [3] công thức:

$$r = \frac{\sigma_y^2 - \sigma_{y'}^2}{\sigma_y^2} \quad (10)$$

$$\text{Trong đó: } \sigma_y^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^n (y_i - y_{itb})^2$$

$$\sigma_{y'}^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^n (y_i - y'_i)^2$$

Với: y_i - logarit cơ số e giá trị độ nhám R_a thực nghiệm đo được $y_i = \ln(R_{ai})$.

y_{itb} - giá trị trung bình logarit cơ số e độ nhám R_a theo thực nghiệm đo được.

y'_i - logarit độ nhám R_a theo hàm hồi quy thực nghiệm.

N - số thí nghiệm.

Sử dụng phần mềm Excel ta tính được kết quả độ tin cậy:

$$\sigma_y^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^n (y_i - y_{itb})^2 = \frac{1}{5-1} \cdot 0,21193 = 0,05298$$

$$\sigma_{y'}^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^n (y_i - y'_i)^2 = \frac{1}{9-1} \cdot 0,00769 = 0,00192$$

Vậy độ tin cậy r là:

$$r = \frac{\sigma_y^2 - \sigma_{y'}^2}{\sigma_y^2} = \frac{0,05298 - 0,00192}{0,05298} = 0,964$$

Độ tin cậy $r = 96,4\%$

* Kiểm định các hệ số a_i

$$\text{- Xác định phương sai dư } S_{du}: S_{du}^2 = \frac{S^2(A)}{N-k-1} \quad (11)$$

Trong đó:

N - số thí nghiệm (N = 5).

k - số thông số cần xác định (trừ a_0).

$$S^2(A) = ([Y] - [X] \cdot [A])^T \cdot ([Y] - [X] \cdot [A])$$

Dùng phần mềm Excel giải các bài toán ma trận ta tính được: $S^2(A) = 0,00769$

$$\text{Do đó: } S_{du}^2 = \frac{S^2(A)}{N-k-1} = \frac{0,00769}{5-2-1} = 0,0038 \Rightarrow S_{du} = 0,0620$$

- Xác định sự tồn tại của các hệ số a_i :

Các hệ số a_i tồn tại [3] xác định theo công thức:

$$|t_{\text{tinh}}^i| = \left| \frac{a_i}{S_{du} \sqrt{m_{ii}}} \right| \geq t_{\text{bang}}(N-k-1, r) \quad (12)$$

Trong đó: m_{ii} là số hạng thứ ii của ma trận M^{-1} với:

$$[M] = [X]^T \cdot [X]$$

$$[M]^{-1} = \begin{bmatrix} 297,6870 & -76,29652 & -10,81916 \\ -76,29652 & 20,07134 & -0,01124 \\ -10,81916 & -0,01242 & 15,82065 \end{bmatrix}$$

Ta có: $|t_{\text{tinh}}^0| = 6,0165$; $|t_{\text{tinh}}^1| = 6,4428$; $|t_{\text{tinh}}^2| = 3,4049$

- Tra bảng phân bố Student với $t_{\text{bảng}}(N-k-1; r)$

Với độ tin cậy $r = 96,4\%$; $N-k-1 = 5-2-1 = 2$

Tra bảng ta được:

$$t_{\text{bảng}}(2; 95) = 2,3530 \text{ và } t_{\text{bảng}}(2; 97,5) = 3,1820$$

Dùng phương pháp nội suy ta tính được:

$$t_{\text{bảng}}(2; 96,4) = 2,8172$$

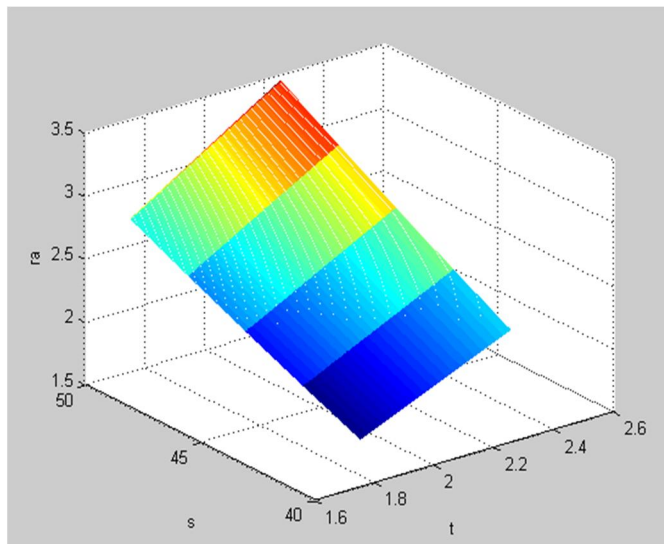
$$\text{Như vậy: } |t_{\text{tinh}}^i| = \frac{a_i}{S_{\text{du}} \sqrt{m_{ii}}} \geq t_{\text{bảng}}(N-k-1, r) \text{ với } i = 0 \div 2$$

Do đó các hệ số a_i thực sự tồn tại, phương trình hồi quy thực nghiệm (8) tồn tại, nên tồn tại mối quan hệ giữa độ nhám bề mặt với chế độ cắt như sau:

$$R_a = 0,00160 \cdot S^{1,78956} \cdot t^{0,8396}$$

2.4.3. Đồ thị quan hệ giữa độ nhám và thông số chế độ cắt

Sử dụng phần mềm Matlab vẽ đồ thị biểu diễn mối quan hệ giữa độ nhám R_a với S và t (hình 8).



Hình 8. Đồ thị quan hệ giữa R_a với S và t khi $V = 116\text{m/ph}$

Nhận xét: Phân tích đồ thị hình 8 và công thức (9) cho thấy giá trị độ nhám tỉ lệ thuận với bước tiến (S) và chiều sâu cắt (t); bước tiến ảnh hưởng nhiều hơn đến độ nhám bề mặt R_a so với chiều sâu cắt (t).

3. KẾT LUẬN

- Mối quan hệ toán học giữa các thông số chế độ cắt (S, t) với độ nhám bề mặt sườn răng của bánh răng côn cong hệ gleason xác định bởi công thức:

$$R_a = 0,00160 \cdot S^{1,78956} \cdot t^{0,8396}$$

- Xác định được các hệ số của phương trình hồi quy thực nghiệm với độ tin cậy $r = 96,4\%$

- Khi gia công bánh răng côn cong hệ gleason trên máy phay bánh răng 525, giá trị độ nhám bề mặt sườn răng của bánh răng tỉ lệ thuận với bước tiến và chiều sâu cắt. Trong đó, bước tiến (S) ảnh hưởng nhiều đến độ nhám bề mặt sườn răng của bánh răng sau khi gia công, tiếp theo là chiều sâu cắt (t).

- Kết quả nghiên cứu giúp người cán bộ kỹ thuật tính toán, lựa chọn các thông số chế độ cắt hợp lý, nâng cao năng suất, chất lượng bề mặt và độ chính xác gia công khi gia công bánh răng côn cong hệ gleason theo phương pháp bao hình.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Trần Văn Địch, 2006. *Công nghệ chế tạo bánh răng*. NXB Khoa học & Kỹ thuật, Hà Nội.
- [2]. Trần Thế Lục, Trịnh Minh Tứ, Bành Tiến Long, 1987. *Thiết kế dụng cụ gia công bánh răng*. Tập 2. NXB Khoa học & Kỹ thuật, Hà Nội.
- [3]. Nguyễn Doãn Ý, 2007. *Quy hoạch thực nghiệm*. NXB Khoa học & Kỹ thuật, Hà Nội.
- [4]. YanZhong Wang, YanYan Chen, GuangMing Zhou, QingJun Lv, ZuZhi Zhang, Wen Tang, Yang Li, 2016. *Roughness model for tooth surfaces of spiral bevel gears under grinding*. Mechanism and Machine Theory, 104C, pp.17-30.
- [5]. X. Kong, 2013. *Modeling and Analysis on the Morphology of NC Grinding Tooth Surface of Spiral Bevel Gear*. Hunan University of Technology.
- [6]. Gleason Works, 1980. *Calculating instructions: Generated spiral bevel and zerol bevel gears. Spread blade method for finishing gears*. Gear engineering standard. Rochester (N.Y)