

Nghiên cứu ảnh hưởng của chế độ cắt (S, t) đến độ nhám bề mặt (R_a) khi phay mặt Archimedes trên trung tâm CNC Super MC

Studying the effects of cutting mode (S, t) on surface roughness (R_a) when milling Archimedes on CNC Center Super MC

Nguyễn Huy Kiên*, Hoàng Xuân Thịnh,
Phạm Văn Đông, Cao Thế Anh

Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

**Email: nguyenhuykien1981@gmail.com*

Mobile: 0983369091

Tóm tắt

Từ khóa:

Chế độ cắt, độ nhám, bề mặt Archimedes, trung tâm CNC Super MC.

Ngày nay, gia công các bề mặt định hình như bề mặt Archimedes trở nên đơn giản hơn so với việc sử dụng các máy chuyên dùng truyền thống khi sử dụng các thiết bị gia công điều khiển số. Việc ứng dụng máy, thiết bị điều khiển số vào gia công các bề mặt định hình như mặt Archimedes không những cho năng suất cao, hạn chế sử dụng đồ gá, giảm chi phí mà vẫn đảm bảo độ chính xác và chất lượng bề mặt gia công. Tuy nhiên, cơ sở dữ liệu để lựa chọn thông số chế độ cắt hợp lý còn rất hạn chế. Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu ảnh hưởng của bước tiến (S) và chiều sâu cắt (t) đến độ nhám bề mặt khi phay mặt Archimedes trên máy CNC Super MC. Kết quả nghiên cứu là cơ sở cho các nhà công nghệ lựa chọn chế độ cắt hợp lý khi phay mặt Archimedes trên trung tâm CNC Super MC.

Abstract

Keywords:

Cutting parameters, roughness, Archimedes face, CNC Super MC milling machine.

Nowadays, the machining of shaped surfaces such as the Archimedes becomes more simple than using traditional machines when numerically controlled mechanical equipments/machines are employed. The use of numerically controlled machines in machining surfaces such as Archimedes not only brings high productivity but also reduces the use of fixtures and costs while still ensuring accuracy and surface quality. However, the database for selecting appropriate cutting mode parameters is very limited. The paper presents the effect of step (S) and cutting depth (t) on surface roughness when milling Archimedes on CNC Super MC machine. The research result is the basis for the technologists to choose the suitable cutting mode when milling Archimedes face on CNC Center Super MC.

Ngày nhận bài: 18/8/2018

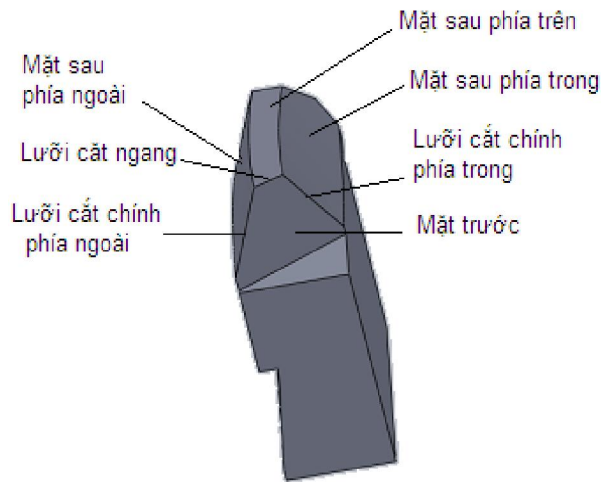
Ngày nhận bài sửa: 04/9/2018

Ngày chấp nhận đăng: 15/9/2018

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Bề mặt hót lưng có vai trò quan trọng trong chế tạo dụng cụ cắt, đặc biệt là mặt sau Archimedes của răng dao gia công bánh răng côn cong (hình1). Giao tuyến của mặt sau với mặt

trước tạo thành lưỡi cắt. Chất lượng của lưỡi cắt ảnh hưởng trực tiếp đến độ nhám sườn răng của bánh răng. Bởi vậy, độ nhám mặt sau của răng dao là yếu tố ảnh hưởng lớn đến độ nhám sườn răng của bánh răng sau khi gia công, việc giảm giá trị độ nhám khi gia công mặt sau là rất quan trọng, góp phần đảm bảo chất lượng bề mặt sườn răng của bánh răng. Do đó, việc nâng cao chất lượng độ nhám mặt sau của răng dao là yếu tố quan trọng góp phần đảm bảo chất lượng bề mặt sườn răng của bánh răng.



Hình 1. Răng dao cắt bánh răng côn cong hệ Gleason

Chất lượng bề mặt chi tiết sau khi gia công trên máy phay CNC phụ thuộc vào nhiều yếu tố, như: vật liệu, phương pháp gia công, dụng cụ cắt, hệ thống công nghệ và chế độ cắt... Khi điều kiện và thiết bị gia công không đổi, muốn nâng cao chất lượng bề mặt và độ chính xác của chi tiết gia công thì việc lựa chọn chế độ cắt hợp lý là giải pháp hữu hiệu. Theo [4], các tác giả đã đánh giá được ảnh hưởng của V và S đến độ nhám bề mặt khi phay mặt cong Archimedes trên trung tâm CNC Super MC. Nghiên cứu này đánh giá ảnh hưởng của S và t (bước tiến và chiều sâu cắt) đến độ nhám bề mặt khi phay mặt cong Archimedes trên trung tâm CNC Super MC.

Theo [1], mối quan hệ giữa độ nhám bề mặt (R_a) với chế độ cắt (V, S, t) thể hiện bởi công thức:

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

Trong đó: + C_p là hằng số;
+ a, b, c là các số mũ.

Để xác định hằng số C_p và các số mũ a, b, c nhóm tác giả sử dụng phương pháp thực nghiệm. Trong nghiên cứu này, nhóm tác giả nghiên cứu ảnh hưởng của bước tiến (S) và chiều sâu cắt (t) đến độ nhám bề mặt (R_a) với vận tốc cắt không đổi $V = 50$ m/phút.

Xây dựng được mối quan hệ giữa thông số chế độ cắt và độ nhám bề mặt sẽ giúp nhà công nghệ tính toán, lựa chọn chế độ cắt hợp lý theo yêu cầu.

2. THỰC NGHIỆM

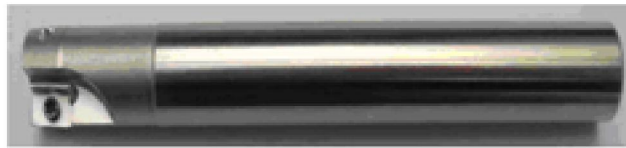
2.1. Thiết bị thực nghiệm và vật liệu gia công

2.1.1. Máy gia công và dụng cụ cắt

- Máy gia công: Sử dụng trung tâm CNC Super MC do Đài Loan sản xuất (hình2).



Hình 2. Trung tâm CNC Super MC



(a)



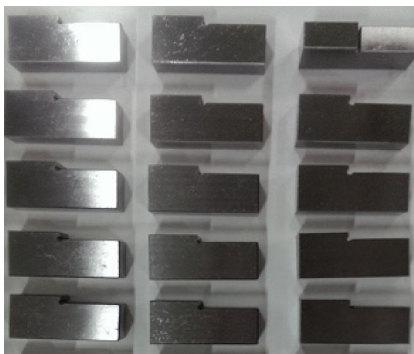
(b)

Hình 3. Dụng cụ cắt dùng trong thực nghiệm
a) Dao phay thô, b) Dao phay cầu dùng để cắt tinh

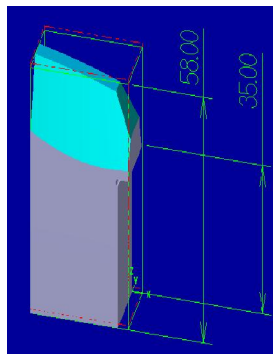
- Dụng cụ cắt:
 - + Phay thô bằng dao phay ngón $D = 17\text{mm}$, gắn 02 mảnh hợp kim cứng nhóm 3 các bit, phủ bề mặt; ký hiệu: APMT 1135 PDER M2, hãng Mitsubishi - Japan.
 - + Phay tinh bằng dao phay cầu, bán kính $r = 4\text{mm}$, 2 lưỡi cắt liền, ký hiệu: J01055318, hãng NACHI - Japan.

2.1.2. Mẫu thí nghiệm và dung dịch trơn nguội

- Hình ảnh mẫu dùng để thực nghiệm thể hiện trên hình 4 và hình 5.
- Vật liệu gia công là thép gió P18, thành phần hóa học, tính chất cơ lý và độ cứng theo tiêu chuẩn của nhà sản xuất.



Hình 4. Hình ảnh mẫu dùng trong thực nghiệm



Hình 5. Kích thước mẫu dùng trong thực nghiệm



Hình 6. Máy đo độ nhám SJ-400

- Dung dịch tưới nguội: Emunxy 4%, tưới trực tiếp, lưu lượng 20 lít/phút.

2.1.3. Thiết bị đo độ nhám

- Máy đo độ nhám Mitutoyo SJ - 400 (hình 6). Hình ảnh gá mẫu trên máy đo độ nhám thể hiện trên hình 7.

- Đánh giá độ nhám theo chỉ tiêu R_a , tiêu chuẩn ISO; chiều dài đo: 4 mm, chia làm 5 khoảng; đầu đo kim cương, đo tiếp xúc; áp lực đo 0,75N; tốc độ 0,05mm/s.



Hình 7. Hình ảnh gá mẫu trên máy đo độ nhám
a) Vị trí căn đệm trên bàn máy b) Hình ảnh đo độ nhám

2.2. Phương pháp thực nghiệm

Nghiên cứu được thực hiện bởi 05 thí nghiệm, với 15 mẫu thực nghiệm. Mỗi thí nghiệm thực hiện trên 03 mẫu.

Sử dụng phần mềm Solidworks để thiết kế chi tiết gia công, phần mềm MasterCAM Mill X5 để lập trình gia công phay thô, phay bán tinh và phay tinh, chế độ cắt khi phay tinh $250 \text{ (mm/ph)} \leq S \leq 300 \text{ (mm/ph)}$; $0,2 \text{ mm} \leq t \leq 0,5 \text{ mm}$; $V = 50 \text{ m/ph}$. Sau khi phay, chi tiết được đo, kiểm tra, đánh giá độ nhám, mỗi mẫu được đo ở 3 vị trí, mỗi thực nghiệm được đo trên 03 mẫu và lấy giá trị trung bình.

Ứng dụng quy hoạch thực nghiệm trực giao, phương pháp bình phương nhỏ nhất và phần mềm Matlap để xây dựng công thức toán học biểu thị mối quan hệ giữa bước tiến (S) và chiều sâu cắt (t) với độ nhám (R_a).

2.3. Số liệu thực nghiệm

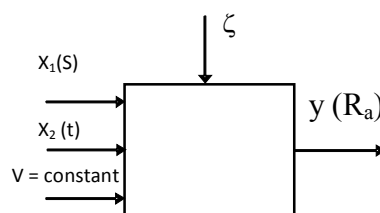
2.3.1. Xác định dạng phương trình hồi quy và số lượng thí nghiệm

Khi nghiên cứu mối quan hệ giữa chế độ cắt và độ nhám bề mặt chi tiết gia công với sử dụng quy hoạch thực nghiệm trực giao ta có phương trình hồi quy như sau [2]:

$$y = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 + \dots + a_k x_k \quad (2)$$

* **Số lượng thí nghiệm**

- Mối quan hệ giữa các thông số được mô tả theo sơ đồ hình 8.



Hình 8. Sơ đồ mối quan hệ giữa thông số đầu vào và đầu ra

- + Thông số đầu vào x_i :
 - X_1 : Bước tiến dao S (mm/ph)
 - X_2 : Chiều sâu cắt t (mm)
 - + Thông số đầu ra bị điều khiển:
 - y: Độ nhám bề mặt R_a (μm)
 - + Thông số không điều khiển được: ζ là biến ngẫu nhiên
 - Số thí nghiệm được xác định [2] 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 thực hiện cần có thêm 1 thí nghiệm ở tâm. Tổng số thí nghiệm $N = 4 + 1 = 5$.

2.3.2. Chuẩn bị thực nghiệm

* Thông số thực nghiệm

Căn cứ vào thông số kỹ thuật của máy, phạm vi cho phép sử dụng chế độ cắt của dụng cụ cắt, vật liệu gia công... thông số chế độ cắt được chọn như sau:

- + Bước tiến (S): 250 ÷ 300 mm/ph.
- + Chiều sâu cắt (t): 0,2 ÷ 0,5 mm.
- + Vận tốc cắt (V): 50 m/ph

Thông số chế độ cắt dùng cho thực nghiệm được thể hiện trong bảng 1.

Bảng 1. Thông số chế độ cắt dùng cho thực nghiệm

Thông số	Vận tốc cắt V (m/ph)	Bước tiến dao S (mm/ph)	Chiều sâu cắt t (mm)
Giá trị min	50	250	0,2
Giá trị max		300	0,5

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 (3) 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 $x_i^{(0)}$: $x_i^{(0)} = \frac{1}{2} (\ln x_{i \max} + \ln x_{i \min})$;

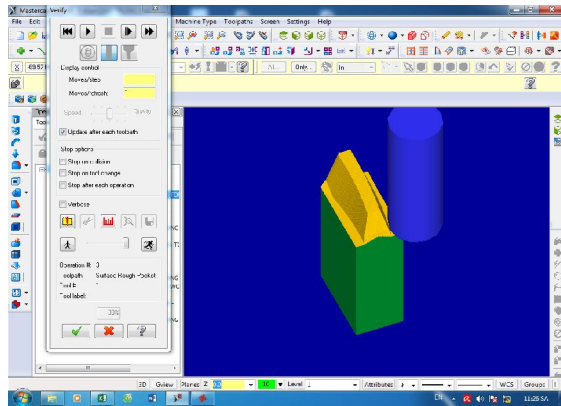
Giá trị các thông số thực nghiệm được thể hiện trong bảng 2.

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

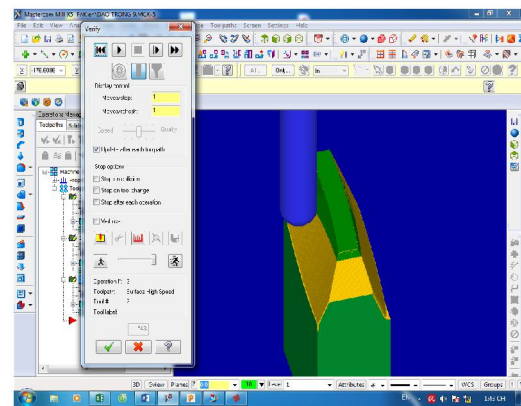
Các yếu tố	X_1	X_2
Mức trên	5,52146	-1,6094379
Mức dưới	5,70378	-1,6094379
Mức cơ sở	5,61313	-1,1394343

*** Chạy mô phỏng**

Sau khi thiết kế răng dao phay bánh răng côn cong loại 9" hệ Gleason, ta sử dụng phần mềm MasterCAM Mill X5 để lập trình và chạy mô phỏng. Hình ảnh mô phỏng quá trình phay được thể hiện trên hình 9.



a) Mô phỏng chương trình phay thô



b) Mô phỏng chương trình phay tinh

Hình 9. Hình ảnh mô phỏng chương trình phay mặt Archimedes

2.4. Kết quả thực nghiệm

Chuyển các biến từ tự nhiên sang các biến mã hóa không thứ nguyên. Với thực nghiệm 2 biến đầu vào thay đổi (S, t) tiến hành làm 4 thí nghiệm tại các đỉnh đơn hình đều và 1 thí nghiệm ở tâm; sau khi gia công, tiến hành đo độ nhám trên máy Mitutoyo SJ - 400. Kết quả đo độ nhám được thể hiện trong bảng 3.

Bảng 3. Kết quả đo độ nhám

TN	Biến mã hóa		Biến thực		Mẫu số	R _a (μm)	Giá trị trung bình R _{atb} (μm)
	X ₁	X ₂	S (mm/ph)	t (mm)			
1	-1	-1	250	0,2	1	1,90	1,58
					2	1,44	
					3	1,39	
2	+1	-1	300	0,2	4	3,89	3,98
					5	3,93	
					6	4,13	
3	-1	+1	250	0,5	7	2,98	2,82
					8	2,74	
					9	2,74	
4	+1	+1	300	0,5	10	4,43	4,22
					11	4,45	
					12	3,78	
5	0	0	274	0,32	13	2,97	2,99
					14	2,96	
					15	3,01	

2.4.1. Quy hoạch thực nghiệm

Theo phương pháp bình phương nhỏ nhất 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:

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

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

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

- Ma trận thông số đầu vào [X] là logarit cơ số e các giá trị S, t sử dụng 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: $[X]^T \cdot [X] \cdot [A] = [X]^T \cdot [Y]$

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

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

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

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

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

TTN	Biến mã hóa		Biến thực		R_a (μm)	Ln(S)	Ln(t)	Ln(R_a)
	X_1	X_2	S (mm/ph)	t (mm)		X_1	X_2	Y
1	-1	-1	250	0,2	1,58	5,52146	-1,60944	0,45531
2	+1	-1	300	0,2	3,98	5,70378	-1,60944	1,38212
3	-1	+1	250	0,5	2,82	5,52146	-0,69314	1,03674
4	+1	+1	300	0,5	4,22	5,70378	-0,69314	1,43984
5	0	0	274	0,32	2,99	5,61313	-1,13943	1,09527

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

$$[X] = \begin{bmatrix} 1 & x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1k} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ 1 & x_{n1} & x_{n2} & \dots & x_{nk} \end{bmatrix} \rightarrow [X] = \begin{bmatrix} 1 & 5,52146 & -1,60944 \\ 1 & 5,70378 & -1,60944 \\ 1 & 5,52146 & -0,69314 \\ 1 & 5,70378 & -0,69314 \\ 1 & 5,61313 & -1,13943 \end{bmatrix} \quad [Y] = \begin{bmatrix} 0,45531 \\ 1,38212 \\ 1,03674 \\ 1,43984 \\ 1,09527 \end{bmatrix}$$

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

$$[A] = \begin{bmatrix} -18,98860 \\ 3,64730 \\ 0,34889 \end{bmatrix}$$

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

$$a_0 = -18,98860 \rightarrow C_p = e^{-18,98860} = 5,667 \cdot 10^{-9}$$

$$a_1 = 3,64730; a_2 = 0,34889;$$

Phương trình hồi quy thực nghiệm là:

$$y = -18,9886 + 3,64730X_1 + 0,34889X_2 \quad (8)$$

Phương trình quan hệ giữa độ nhám (R_a) với bước tiến (S) và chiều sâu cắt (t) như sau:

$$R_a = 5,667 \cdot 10^{-9} \cdot S^{3,64730} \cdot t^{0,34889} \quad (9)$$

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

* Đánh giá độ tin cậy

$$\text{Độ tin cậy được đánh giá theo công thức [2]: } r = \frac{\sigma_y^2 - \sigma_{y'}^2}{\sigma_y^2} \quad (10)$$

$$\text{Trong đó: } \sigma_y^2 = \frac{1}{N-1} \cdot \sum_1^n (y_i - y_{itb})^2$$

$$\sigma_{y'}^2 = \frac{1}{N-1} \cdot \sum_1^n (y_i - y'_i)^2$$

Với: y_i - logarit cơ số e giá trị độ nhám R_a đo được của thực nghiệm thứ i;

y_{itb} - giá trị trung bình của các y_i ;

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

N - số lượng thí nghiệm,

Sử dụng phần mềm Excel tính được độ tin cậy:

$$\sigma_y^2 = \frac{1}{N-1} \cdot \sum_1^n (y_i - y_{itb})^2 = \frac{1}{5-1} \cdot 0,61219 = 0,15305$$

$$\sigma_{y'}^2 = \frac{1}{N-1} \cdot \sum_1^n (y_i - y'_i)^2 = \frac{1}{5-1} \cdot 0,05078 = 0,01336$$

$$\text{Vậy độ tin cậy } r \text{ là: } r = \frac{\sigma_y^2 - \sigma_{y'}^2}{\sigma_y^2} = \frac{0,15305 - 0,01336}{0,15305} = 0,913 = 91,3\%$$

* Kiểm định các hệ số a_i

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

Trong đó: N - số lượng thí nghiệm;

k - số lượng thông số cần xác định trừ a_0 ;

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

Dùng phần mềm Excel giải các bài toán ma trận, tính được: $S^2(A) = 0,06866$

$$\text{Do đó: } S_{du}^2 = \frac{S^2(A)}{N-k-1} = \frac{0,06866}{5-2-1} = 0,03433 \Rightarrow S_{dur} = 0,18528$$

- Xác định sự tồn tại của các hệ số a_i :
 Các hệ số a_i tồn tại [3] xác định theo công thức:

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

Trong đó: m_{ii} là số hạng thứ ii của ma trận M^{-1} với: $[M] = [X]^T \cdot [X]$;

$$[M]^{-1} = \begin{bmatrix} 949,4848 & -168,85064 & 1,36922 \\ -168,85064 & 30,08352 & -0,00017 \\ 1,36922 & -0,00017 & 1,19090 \end{bmatrix}$$

Từ đó ta tính được các giá trị : $|t_{tinh}^0|$; $|t_{tinh}^1|$; $|t_{tinh}^2|$

- Tra bảng phân bố Student [4] với $t_{bang}(N-k-1; r)$; $N-k-1 = 5-2-1 = 2$, độ tin cậy $r = 91,3\%$

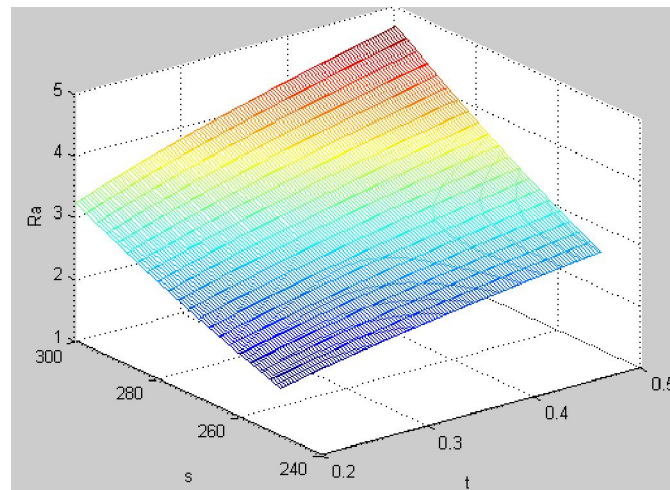
Nhận thấy: $|t_{tinh}^i| = \left| \frac{a_i}{S_{du} \sqrt{m_{ii}}} \right| \geq t_{bang}(N-k-1, r)$ với $i = 0 \div 2$

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 R_a với bước tiến dao S và chiều sâu cắt (t):

$$R_a = 5,667 \cdot 10^{-9} \cdot S^{3,64730} \cdot t^{0,34889}$$

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

* Sử dụng phần mềm Matlab vẽ đồ thị biểu diễn mối quan hệ giữa độ nhám R_a với bước tiến dao S và chiều sâu cắt (t) (hình 10).



Hình 10. Đồ thị quan hệ giữa R_a với bước tiến dao (S) và chiều sâu cắt (t) khi $V = 50$ m/ph

Nhận xét: Nhìn lên đồ thị hình 10 và công thức (9) cho thấy bước tiến S và chiều sâu cắt (t) tỉ lệ thuận với giá trị độ nhám; bước tiến dao (S) ảnh hưởng nhiều hơn đến độ nhám bề mặt R_a so với chiều sâu cắt (t). Kết quả nghiên cứu phù hợp với kết quả nghiên cứu của các công trình khoa học đã công bố.

3. KẾT LUẬN

- Bằng nghiên cứu thực nghiệm đã xác định được mối quan hệ toán học giữa các thông số chế độ cắt (S, t) với độ nhám bề mặt Archimedes sau khi phay, thể hiện qua công thức: $R_a = 5,667 \cdot 10^{-9} \cdot S^{3,64730} \cdot t^{0,34889}$. Đánh giá được sự tồn tại của các hệ số của phương trình hồi quy thực nghiệm với độ tin cậy $r = 91,3\%$.

- Kết quả nghiên cứu cho thấy: khi phay bề mặt Archimedes trên trung tâm gia công CNC Super MC thì bước tiến (S) và chiều sâu cắt (t) tỉ lệ thuận với giá trị độ nhám, trong đó bước tiến (S) ảnh hưởng đến độ nhám bề mặt (R_a) chi tiết sau khi gia công nhiều hơn chiều sâu cắt (t).

- Kết quả nghiên cứu làm cơ sở giúp cho người cán bộ kỹ thuật tính toán, lựa chọn chế độ bước tiến và chiều sâu cắt hợp lý để nâng cao năng suất, chất lượng bề mặt và độ chính xác gia công khi phay bề mặt Archimedes trên trung tâm gia công CNC Super MC.

- Kết quả nghiên cứu là cơ sở để tiến hành nghiên cứu ảnh hưởng đồng thời của 3 thông số chế độ cắt (V, S, t) đến độ nhám bề mặt khi phay mặt Archimedes trên trung tâm gia công CNC.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Nguyễn Trọng Bình, Nguyễn Thế Đạt, Trần Văn Địch, 2002. *Công nghệ chế tạo máy*. NXB Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội.
 - [2]. Nguyễn Doãn Ý, 2003. *Quy hoạch thực nghiệm*. NXB Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội.
 - [3]. Nguyễn Huy Kiên, Phạm Văn Đông, Phạm Văn Bồng, Trần Văn Địch, 2014. *Nghiên cứu ảnh hưởng của chế độ cắt đến độ nhám bề mặt khi gia công trên máy phay CNC*. Tạp chí Khoa học & Công nghệ, trường ĐHCNHN số 22.
 - [4]. Hoàng Xuân Thịnh, Phạm Văn Đông, Phạm Văn Bồng, Nguyễn Huy Kiên, Dương Đình Nông, 2017. *Ảnh hưởng của chế độ (V, S) cắt đến độ nhám bề mặt khi phay hót lưng trên trung tâm CNC Super MC*. Tạp chí Khoa học và Công nghệ, trường ĐHCNHN số 40.
 - [5]. Trần Văn Địch, 2010. *Các phương pháp xác định độ chính xác gia công*. NXB Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội.
 - [6]. Trần Sỹ Túy, Nguyễn Duy, Trịnh Văn Tự, 1997. *Nguyên lý cắt gọt kim loại*. NXB Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội.
 - [7]. Trần Thế Lục, Trịnh Minh Tứ, Bành Tiến Long, 1987. *Thiết kế dụng cụ gia công bánh răng*. NXB Khoa học & Kỹ thuật, Hà Nội.
 - [8]. Mike S. Lou, Joseph C. Chen, Caleb M. Li, 1999. *Surface Roughness prediction technique for CNC End Milling*. Journal of industrial technology.
 - [9]. S.-H. Suh, D.-H. Jung, E.-S. Lee, S.-W. Lee, 2003. *Modelling, Implementation, and Manufacturing of Spiral Bevel Gears with Crown*. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Springer – Verlag London Limited.
 - [10]. M. Alauddin, M. A. El Baradie v M. S. J. Hashmi, 2005. *Optimization of surface finish in end milling Inconel*. Journal of Materials Processing Technology.
 - [11]. Faydor L. Litvin and Alfonso Fuentes, 2004. *Gear Geometry and Applied Theory*. Cambridge University Press.
 - [12]. J. P. Holman, 2001. *Experimental Methods for Engineers*. Mc Graw-Hill.
-