

# ẢNH HƯỞNG CỦA MỘT SỐ THÔNG SỐ CHẾ ĐỘ CẮT ĐẾN ĐỘ NHÁM BỀ MẶT CHI TIẾT HỢP KIM TITAN Ti-5Al KHI TIỆN CNC

INFLUENCE OF SOME PARAMETERS CUTTING REGIME ON SURFACE ROUGHNESS OF TITANIUM ALLOY Ti-5Al PARTS IN CNC TURNING

TS. Lê Quang Hiệp\*, TS. Nguyễn Quang Mạnh, ThS. Đàm Vũ Sơn Quyền

Viện Công nghệ, Tổng cục Công nghiệp quốc phòng

\*Email: lqhienvcn@gmail.com

## TÓM TẮT

Các chi tiết cụm con quay được chế tạo bằng hợp kim Titan Ti-5Al, có yêu cầu cao về chất lượng bề mặt. Chất lượng bề mặt được đánh giá thông qua độ nhám bề mặt, phụ thuộc vào các thông số chế độ cắt. Bài báo giới thiệu kết quả nghiên cứu ảnh hưởng của một số thông số chế độ cắt đến độ nhám bề mặt chi tiết hợp kim Titan Ti-5Al khi gia công trên máy tiện CNC. Từ kết quả thực nghiệm đã xây dựng được phương trình hồi quy biểu thị ảnh hưởng của vận tốc cắt ( $V$ ), lượng chạy dao ( $S$ ), chiều sâu cắt ( $t$ ) tới độ nhám bề mặt khi tiện CNC chi tiết hợp kim Titan Ti-5Al với các hệ số:  $K = 132,436$ ;  $a_1 = -0,1579$ ;  $a_2 = 1,791$ ;  $a_3 = 0,0819$ . Mô hình hồi quy đã được kiểm tra bằng công cụ thống kê toán học với độ tin cậy lớn hơn 98,2%. Mô hình được đề xuất trong nghiên cứu này có thể được ứng dụng để nâng cao chất lượng bề mặt gia công khi tiện CNC chi tiết hợp kim Titan Ti-5Al.

**Từ khóa:** Hợp kim Titan; Ti-5Al; Tiện CNC; Chế độ cắt; Độ nhám.

## ABSTRACT

The gyroscope components are made from Titanium alloy Ti-5Al, having high demands on surface quality. Surface quality is evaluated through surface roughness that depends on cutting regime parameters. This article introduce the findings of study on the influence of cutting parameters on surface roughness of Titanium alloy Ti-5Al parts in CNC turning. Based on the experimental results, a mathematical model has been established to describe the effect of cutting speed ( $V$ ), feed rate ( $S$ ), cutting depth ( $t$ ) on surface roughness of Titanium alloy Ti-5Al parts with their corresponding coefficients:  $K = 132,436$ ;  $a_1 = -0,1579$ ;  $a_2 = 1,791$ ;  $a_3 = 0,0819$ . The regression model was validated using statistical analysis tools with a confidence level greater than 98.2%. The model proposed in this study can be applied to improve the surface quality during CNC turning of Titanium alloy Ti-5Al parts.

**Keywords:** Titanium alloy; Ti-5Al; CNC turning; Cutting regime; Surface roughness.



## 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Hợp kim titan đã trở thành vật liệu có vai trò quan trọng trong các ngành công nghiệp do có nhiều đặc tính ưu việt. Chúng có khối lượng riêng thấp, độ bền riêng và khả năng chống ăn mòn cao [1, 2]. Trong ngành hàng không vũ trụ, hợp kim titan được sử dụng làm cánh quạt, cánh máy nén động cơ tuabin đã nâng cao đáng kể tỷ số lực đẩy trên trọng lượng và hiệu suất tổng thể [3, 4]. Trong lĩnh vực y tế, các hợp kim như Ti-6Al-4V, Ti-6Al-7Nb đã được ứng dụng trong nhiều thập kỷ nhờ khả năng tương thích sinh học vượt trội so với thép không gỉ và các hợp kim khác [5, 6]. Các chi tiết cụm con quay tên lửa phòng không tầm thấp được chế tạo từ hợp kim Titan Ti-5Al, có yêu cầu cao về độ chính xác gia công và chất lượng bề mặt.

Đã có một số nghiên cứu nâng cao hiệu suất gia công hợp kim titan, tối ưu hóa các thông số công nghệ, phát triển dụng cụ cắt, đổi mới kỹ thuật làm mát và bôi trơn. Nghiên cứu của Salah Gariani và cộng sự [7] tập trung thiết kế hệ thống cung cấp dung dịch tưới

nguội. Guangping Wang và cộng sự [8] nghiên cứu các phương pháp gia công hợp kim titan nhằm giảm chi phí, nâng cao hiệu quả và cải thiện chất lượng. Nguyen V.C. và cộng sự [9] nghiên cứu tối ưu hóa thông số cắt trong gia công phay hợp kim Titan Ti-6Al-4V trong điều kiện bôi trơn tối thiểu. Petr Masek và cộng sự [10] nghiên cứu gia công tiện hợp kim Titan Ti-6Al-4V bằng dao kim cương đa tinh thể kết hợp tưới nguội áp suất cao. Kaynak và Gharibi [11] nghiên cứu ảnh hưởng của các thông số cắt đến hiệu suất gia công hợp kim Titan Ti-5553. Chưa có các nghiên cứu thực nghiệm đối với các chi tiết hợp kim Titan Ti-5Al được công bố.

## 2. THỰC NGHIỆM

### 2.1. Vật liệu, thiết bị, tham số nghiên cứu, dụng cụ và phương pháp đo

#### 2.1.1. Vật liệu

Vật liệu nghiên cứu là hợp kim Titan Ti-5Al có thành phần như trong Bảng 1.

Bảng 1. Thành phần hóa học của hợp kim Ti-5Al.

Mác vật liệu	Hàm lượng nguyên tố, %							
	Al	Zr	Mo	V	Si	Ni	Fe	Ti
Ti5	4,5 ÷ 6,2	< 0,30	< 0,80	< 1,20	< 0,12	< 0,05	< 0,30	Còn lại

Quá trình thực nghiệm được thực hiện trên phôi cây đường kính 32 mm (Hình 1).



Hình 1. Phôi nghiên cứu thực nghiệm.

#### 2.1.2. Thiết bị nghiên cứu

Thiết bị nghiên cứu được sử dụng là máy tiện CNC EMCO Maxturn45 (Hình 2). Trên máy tiện CNC EMCO Maxturn45 có thể dùng dao tiện gia công mặt trụ ngoài và trong, mặt côn và mặt định hình, mặt đầu mút và gờ, cắt rãnh ngang, dùng dao cắt ren trong và ngoài, dùng mũi khoan, mũi khoét, mũi doa, dùng ta-

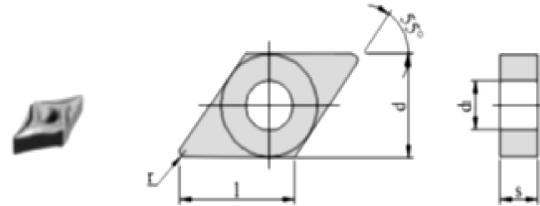
rô và bàn ren cắt đường ren trong và ngoài, dùng đầu quay phụ với dao phay, lưỡi phay để gia công mặt phẳng nghiêng, rãnh nghiêng, dùng mũi khoan, mũi khoét, mũi doa, mũi ta-rô để gia công lỗ ren trong mặt phẳng nghiêng.



Hình 2. Máy tiện CNC EMCO Maxturn45

### 2.1.3. Dụng cụ gia công

Sử dụng dao tiện gắn mảnh hợp kim cứng có các kích thước như hình 3 và Bảng 2.



Hình 3. Mảnh hợp kim cứng dùng trong thực nghiệm

Bảng 2. Các kích thước của mảnh hợp kim cứng.

Kích thước của mảnh hợp kim cứng	l (mm)	d (mm)	S (mm)	d <sub>1</sub> (mm)	r (mm)
DNGP150604 FN - EX	15,50	12,700	6,35	5,2	0,4

Trong đó: l, d, s là kích thước mảnh hợp kim, mm; d<sub>1</sub> là đường kính lỗ gá mảnh hợp kim, mm; r là bán kính mũi dao, mm.

chi tiết gia công theo TCVN 2511-95.

### 2.1.4. Các chỉ tiêu và tham số nghiên cứu

Các chỉ tiêu đặc trưng cho chất lượng gia công là độ nhám bề mặt chi tiết; các tham số của chế độ cắt được lựa chọn để nghiên cứu sự ảnh hưởng của chúng tới các chỉ tiêu chất lượng gia công là vận tốc cắt V, lượng chạy dao S và chiều sâu cắt t.



Hình 4. Thiết bị đo độ nhám TR-200 Surface Roughness Tester.

### 2.1.5. Dụng cụ và phương pháp đo

+ Kiểm soát các thông số chế độ cắt thông qua lập trình điều khiển máy.

+ Đo độ nhám bề mặt gia công bằng thiết bị đo độ nhám cầm tay TR200 Surface Roughness Tester (Hình 4). Thiết bị do hãng Neurtek Instruments sản xuất, độ phân giải hiển thị Ra 0,001 μm. Phương pháp đo theo tiêu chuẩn ISO. Đánh giá cấp độ nhám bề mặt

## 2.2. Thiết kế ma trận thực nghiệm

Sử dụng phương pháp tiện ngoài để làm thực nghiệm, lựa chọn chế độ cắt thực nghiệm như sau:

+ Vận tốc cắt khi gia công tinh trên máy tiện CNC ứng với vật liệu dao và vật liệu gia công là:  $V = 50 \div 100$  (m/phút).

+ Chiều sâu cắt tinh lấy trong khoảng:  $0,1 \div 1,0$  (mm).

## NGHIÊN CỨU - TRAO ĐỔI

+ Lượng chạy dao:  $0,05 \div 0,2$  (mm/vòng).

Theo quy hoạch thực nghiệm [12], ta chọn miền quy hoạch thực nghiệm là:

$V_{\max} = 100$  (m/phút);  $S_{\max} = 0,2$  (mm/vòng);

$t_{\max} = 1$  (mm).

$V_{\min} = 50$  (m/phút);  $S_{\min} = 0,05$  (mm/vòng);

$t_{\min} = 0,1$  (mm).

$V_{tb} = 75$  (m/phút);  $S_{tb} = 0,125$  (mm/vòng);

$t_{tb} = 0,55$  (mm).

Các giá trị của V, S và t được lựa chọn trên cơ sở các công trình nghiên cứu về năng suất, chất lượng gia công, độ bền máy, khả năng làm việc của máy công cụ (Bành Tiến Long, Trần Thế Lục, Trần Sỹ Túy, 2001; Зорев H.H., 1956; Tarasov L.).

Sử dụng phương pháp quy hoạch thực

nghiệm để nghiên cứu và xử lý số liệu thực nghiệm, khi đó các thông số đầu vào được viết dưới dạng Bảng 3.

Bảng 3. Bảng tính các thông số công nghệ.

Các yếu tố	$X_1$ (V)	$X_2$ (s)	$X_3$ (t)
Mức trên +1	100	0,2	1,0
Mức dưới -1	50	0,05	0,1
Mức cơ sở 0	75	0,125	0,55
Khoảng biến thiên	25	0,075	0,45

Chuyển các biến từ tự nhiên sang các biến mã hóa không thứ nguyên với thực nghiệm 3 biến đầu vào, làm thí nghiệm với 8 thí nghiệm tại các đỉnh đơn hình đều và 3 thí nghiệm trung tâm. Sau khi tiến hành thực nghiệm, tiến hành đo độ nhám bề mặt ứng với từng thí nghiệm, ta có các thông số đầu vào và đầu ra của ma trận thực nghiệm như trong Bảng 4.

Bảng 4. Bảng quy hoạch thực nghiệm ảnh hưởng chế độ cắt đến độ nhám bề mặt.

TT	Biến mã hóa			Biến thực nghiệm			Độ nhám $R_a$ ( $\mu\text{m}$ )
	$X_1$	$X_2$	$X_3$	V (m/ph)	S (mm/vòng)	t (mm)	
1	-1	-1	-1	50	0,05	0,1	0,29
2	+1	-1	-1	100	0,05	0,1	0,25
3	-1	+1	-1	50	0,2	0,1	3,30
4	+1	+1	-1	100	0,2	0,1	3,10
5	-1	-1	+1	50	0,05	1	0,37
6	+1	-1	+1	100	0,05	1	0,32
7	-1	+1	+1	50	0,2	1	3,80
8	+1	+1	+1	100	0,2	1	3,50
9	0	0	0	75	0,125	0,55	1,52
10	0	0	0	75	0,125	0,55	1,52
11	0	0	0	75	0,125	0,55	1,52

### 3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

#### 3.1. Kết quả xây dựng mô hình hồi quy của độ nhám bề mặt gia công

Sử dụng phương pháp quy hoạch thực nghiệm trực giao [12] để xác định ảnh hưởng đồng thời của các yếu tố chế độ cắt (vận tốc cắt V, lượng chạy dao S và chiều sâu cắt t) đến độ nhám bề mặt chi tiết hợp kim Ti5Al. Các nghiên cứu [16, 17, 18] đã chỉ ra mối quan hệ giữa độ nhám bề mặt với các yếu tố chế độ cắt là hàm số mũ có dạng:

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

Trong đó: a, b, c là hệ số mũ cần xác định.

Tuyến tính hóa phương trình phi tuyến bằng cách logarit cơ số e hai vế của phương trình, ta được:

$$\ln(R_a) = \ln(K) + a \cdot \ln(V) + b \cdot \ln(S) + c \cdot \ln(t) \quad (2)$$

Đặt  $y = \ln(R_a)$ ,  $a_0 = \ln(K)$ ,  $a_1 = a$ ,  $a_2 = b$ ,  $a_3 = c$ ,  $x_1 = \ln(V)$ ,  $x_2 = \ln(S)$ ,  $x_3 = \ln(t)$ .

Khi đó, phương trình (1) có dạng:

$$y = a_0 + a_1 \cdot x_1 + a_2 \cdot x_2 + a_3 \cdot x_3 \quad (3)$$

Bảng 5. Kết quả logarit hóa ảnh hưởng chế độ cắt đến độ nhám bề mặt  $R_a$ .

TT	Biến thực nghiệm			Độ nhám $R_a$ ( $\mu\text{m}$ )	$\ln(V)$	$\ln(s)$	$\ln(t)$	$\ln(R_a)$
	V (m/ph)	S (mm/vòng)	t (mm)					
1	50	0,05	0,1	0,29	3,91202	-2,95573	-2,30258	-1,23787
2	100	0,05	0,1	0,25	4,60517	-2,95573	-2,30258	-1,38629
3	50	0,2	0,1	3,30	3,91202	-1,60943	-2,30258	1,19392
4	100	0,2	0,1	3,10	4,60517	-1,60943	-2,30258	1,13140
5	50	0,05	1	0,37	3,91202	-2,95573	0	-0,99425
6	100	0,05	1	0,32	4,60517	-2,95573	0	-1,13943

Với:  $a_0, a_1, a_2, a_3$  là các hệ số của phương trình hồi quy thực nghiệm.

Ma trận thực nghiệm trực giao:

$$[X] \cdot [A] = [Y] \quad (4)$$

Ma trận thông số đầu vào [X] là logarit cơ số e các giá trị V, 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 mẫu thí nghiệm.

Nhân cả hai vế của (4) với ma trận chuyển vị của ma trận [X].

$$[X]^T \cdot [X] \cdot [A] = [X]^T \cdot [Y] \quad (5)$$

$$\text{Đặt } [M] = [X]^T \cdot [X],$$

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

Giả sử  $\det(M) \neq 0$  thì [M] là ma trận khả nghịch, khi đó nghiệm của hệ là:

$$[A] = [M]^{-1} [X]^T \cdot [Y] \quad (6)$$

Từ kết quả Bảng 4, các thông số công nghệ được logarit hóa với số liệu như Bảng 5.

7	50	0,2	1	3,80	3,91202	-1,60943	0	1,33500
8	100	0,2	1	3,50	4,60517	-1,60943	0	1,25276
9	75	0,125	0,55	1,52	4,31748	-2,07944	-0,69314	0,41871
10	75	0,125	0,55	1,52	4,31748	-2,07944	-0,69314	0,41871
11	75	0,125	0,55	1,52	4,31748	-2,07944	-0,69314	0,41871

Sử dụng phần mềm MATLAB R2024b giải hệ, ta có nghiệm:

$$A = \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 4.8861 \\ -0.1579 \\ 1.7961 \\ 0.0819 \end{bmatrix}$$

Với  $K = e^{a_0} = 132,436$ ;  $a_1 = -0,1579$ ;  $a_2 = 1,7961$ ;  $a_3 = 0,0819$ , ta có phương trình hồi quy thực nghiệm chuyển về biến mã hóa  $x_1, x_2, x_3$  như sau:

$$y = 4,8861 - 0,1579 \cdot x_1 + 1,7961 \cdot x_2 + 0,0819 \cdot x_3 \quad (7)$$

Vậy phương trình quan hệ giữa độ nhám  $R_a$  và các thông số chế độ cắt (V, S, t) là:

$$R_a = 132,436 \cdot V^{-0,1579} \cdot S^{1,7961} \cdot t^{0,0819} \quad (8)$$

### 3.2. Đánh giá độ tin cậy của hàm hồi quy

Theo tài liệu [19], độ tin cậy của hàm hồi quy được đánh giá theo công thức:

$$\frac{\sigma_y^2}{\sigma_y'^2} \quad (9)$$

$$\text{Vói: } \sigma_y^2 = \frac{1}{N-1} \sum_1^n (y_i - y_{ib})^2$$

$$\text{và } \sigma_y'^2 = \frac{1}{N-1} \sum_1^n (y_i - y_i')^2 \quad (10)$$

Trong đó:  $y_i$  là hàm  $\ln(R_a)$  thực nghiệm đo được;  $y_{ib}$  là giá trị trung bình  $\ln(R_a)$  theo thực nghiệm đo được;  $y_i'$  là  $\ln(R_a)$  theo hàm hồi quy thực nghiệm; N là số thí nghiệm.

Sau khi tính toán kết quả độ tin cậy của các thông số thực nghiệm theo các biến mã hóa được ghi trong Bảng 6.

Thay vào công thức (9), ta có:  $\sigma_y^2 = 1,2139$ ;

$\sigma_y'^2 = 0,00301$ ; độ tin cậy  $r = 98,2\%$ .

Xác định phương sai dư ( $S_{dur}$ ) theo công thức:

$$S_{dur} = \frac{S^2(A)}{N-k-1} \quad (11)$$

Trong đó, N là số thí nghiệm (N = 11); k là số thông số cần xác định trừ  $a_0$ .

$$S^2(A) = ([Y] - [X] \cdot [A])^T \cdot ([Y] - [X] \cdot [A]) \quad (12)$$

Bảng 6. Kết quả tính toán độ tin cậy của giá trị thực nghiệm.

STT	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$y_i$	$y_i'$	$y_i - y_i'$	$(y_i - y_{ib})^2$	$(y_i - y_i')^2$
1	3.91202	-2.996	-2.3026	-1.2379	-1.3008	0.0630	2.09160	0.02657
2	4.60517	-2.996	-2.3026	-1.3863	-1.4103	0.0240	1.15748	0.02677
3	3.91202	-1.609	-2.3026	1.1939	1.1891	0.0048	0.91162	0.00049
4	4.60517	-1.609	-2.3026	1.1314	1.0797	0.0518	1.03106	0.00152
5	3.91202	-2.996	0.0000	-0.9943	-1.1122	0.1180	1.10740	0.01728

6	4.60517	-2.996	0.0000	-1.1394	-1.221	0.0823	1.44628	0.00392
7	3.91202	-1.609	0.0000	1.3350	1.3777	-0.043	1.26931	0.00893
8	4.60517	-1.609	0.0000	1.2528	1.2682	-0.015	1.11464	0.00040
9	4.31749	-2.079	-0.6932	0.4187	0.4127	0.0060	0.0443	0.00438
10	4.31749	-2.079	-0.6932	0.4187	0.4127	0.0060	0.0443	0.00438
11	4.31749	-2.079	-0.6932	0.4187	0.4127	0.0060	0.0443	0.00438
Tổng				1.40476			12.1392	0.03006
Trung bình				$y_{tb} = 0,12771$				

Sử dụng phần mềm MATLAB R2024b giải bài toán về ma trận, ta tính được:  $S^2(A) = 0,03006$ .

Thay vào (11), ta có  $S_{du}^2 = 0,00429 \Rightarrow S_{du} = 0,06553$ .

Sự tồn tại của hệ số  $a_i$  được xác định bởi công thức:

$$|t_{tinh}^i| = \left| \frac{a_i}{S_{du} \sqrt{m_{ii}}} \right| \geq t_{bang}(N - k - 1, r) \quad (13)$$

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

$$[M]^{-1} = \begin{bmatrix} 20,49818 & -4,43769 & 0,5351 & 0,10443 \\ -4,43769 & 1,03308 & -0,00719 & -0,10443 \\ 0,59351 & -0,00719 & 0,25336 & -0,00507 \\ 0,10443 & -0,00535 & -0,00507 & 0,09053 \end{bmatrix}$$

Thay vào công thức (13), ta có:

$$|t_{tinh}^0| = 29,3983; |t_{tinh}^1| = 4,2369;$$

$$|t_{tinh}^2| = 94,3816; |t_{tinh}^3| = 7,4276.$$

Tra bảng phân bố Student với  $(N - k - 1, r)$ : Độ tin cậy  $r = 98,2$  và  $N - k - 1 = 7$  có  $t_{bang} = 2,517$ .

Ta nhận thấy  $|t_{tinh}^i| > t_{bang}$  với  $i = 0 - 3$ .

Như vậy, các hệ số  $a_i$  thực sự tồn tại hay phương trình hồi quy thực nghiệm:

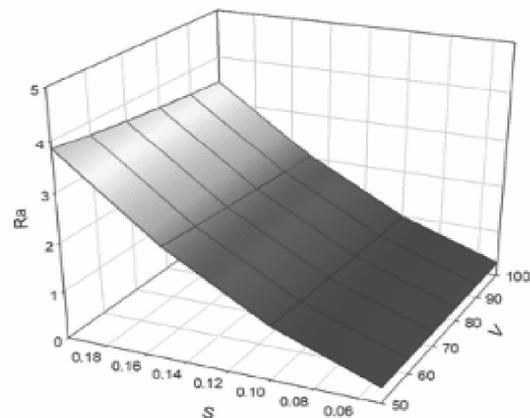
$y = 4,8861 - 0,1579 \cdot x_1 + 1,7961 \cdot x_2 + 0,0819 \cdot x_3$  tồn tại. Quan hệ giữa các thông số chế độ cắt ( $V, S, t$ ) và độ nhám bề mặt ( $R_a$ ) được biểu diễn qua phương trình:

$$R_a = 132,436 \cdot V^{-0,1579} \cdot S^{1,7961} \cdot t^{0,0819}$$

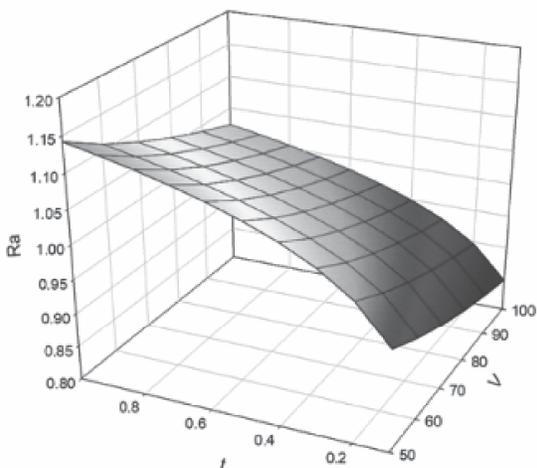
Nói cách khác, mô hình toán học này hoàn toàn phù hợp với thực nghiệm.

### 3.3. Kết quả nghiên cứu ảnh hưởng của các thông số công nghệ đến độ nhám bề mặt

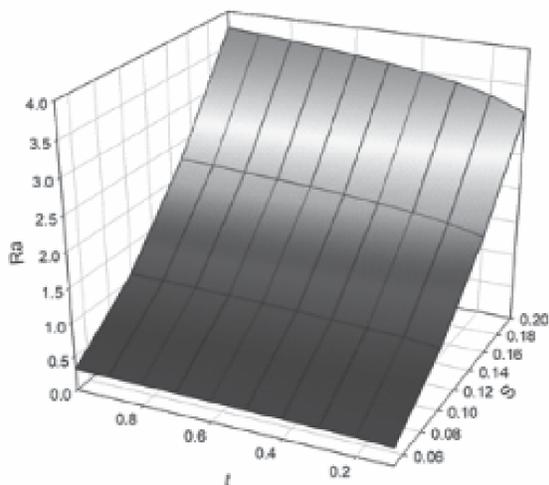
Sử dụng phần mềm SigmaPlot V16 để minh họa bằng đồ thị ảnh hưởng của các thông số chế độ cắt ( $V, S, t$ ) đến độ nhám bề mặt gia công ( $R_a$ ) như trên các Hình 5, 6, 7.



Hình 5. Đồ thị quan hệ giữa  $R_a$  với vận tốc cắt  $V$  và lượng chạy dao  $S$  khi  $t = 0,7$  mm.



Hình 6. Đồ thị quan hệ giữa  $R_a$  với vận tốc cắt  $V$  và chiều sâu cắt  $t$  khi  $S = 0,1$  mm/vòng.



Hình 7. Đồ thị quan hệ giữa  $R_a$  với lượng chạy dao  $S$  và chiều sâu cắt  $t$  khi  $V = 70$  m/phút.

Trên đồ thị trong các Hình 5, 6, 7 cho thấy quy luật ảnh hưởng của các thông số chế độ cắt đến độ nhám bề mặt chi tiết hợp kim Titan Ti5Al khi gia công trên máy tiện CNC như sau: Khi vận tốc cắt thay đổi từ 50 – 100 m/phút; lượng chạy dao thay đổi từ 0,05 – 0,2 mm/vòng; chiều sâu cắt dao động từ 0,1 – 1,0 mm thì độ nhám dao động từ 0,25 – 3,8  $\mu\text{m}$ .

Tuy nhiên, mức độ ảnh hưởng của mỗi thông số chế độ cắt là khác nhau. Kết quả ở Hình 5 chỉ ra rằng, khi tăng lượng chạy dao ( $S$ ) thì độ nhám bề mặt ( $R_a$ ) tăng, khi tăng vận tốc cắt ( $V$ ) độ nhám giảm. Trong Hình 6, khi tăng chiều sâu cắt ( $t$ ) thì độ nhám ( $R_a$ ) tăng, khi tăng vận tốc cắt ( $V$ ) độ nhám giảm. Trên Hình 7, khi tăng chiều sâu cắt ( $t$ ) và lượng chạy dao ( $S$ ) thì độ nhám tăng. Từ các đồ thị ta thấy rằng, trong ba thông số chế độ cắt thì lượng chạy dao ( $S$ ) có ảnh hưởng lớn nhất đến độ nhám bề mặt.

#### 4. KẾT LUẬN

Bảng thực nghiệm đã xây dựng được phương trình hồi quy của độ nhám bề mặt ( $R_a$ ) phụ thuộc vào các thông số chế độ cắt ( $V$ ,  $S$ ,  $t$ ) khi gia công chi tiết hợp kim Titan Ti-5Al trên máy tiện CNC EMCO Maxturn45.

Phương trình hồi quy là hàm mũ của các thông số chế độ cắt (vận tốc cắt, lượng chạy dao, chiều sâu cắt). Phương trình hồi quy đã được kiểm tra thành công bằng công cụ thống kê toán học với độ tin cậy lớn hơn 98,2%.

Đã xác định được ảnh hưởng của một số thông số chế độ cắt đến độ nhám bề mặt khi gia công chi tiết vật liệu hợp kim Titan Ti-5Al. Trong đó, khi tăng vận tốc cắt ( $V$ ), lượng chạy dao ( $S$ ) và chiều sâu cắt ( $t$ ) thì độ nhám bề mặt gia công ( $R_a$ ) tăng, tuy nhiên ảnh hưởng của lượng chạy dao ( $S$ ) là lớn nhất.

Kết quả nghiên cứu làm cơ sở lựa chọn thông số chế độ cắt tối ưu phù hợp với yêu cầu về độ nhám bề mặt của chi tiết cần gia công từ hợp kim Titan Ti-5Al trên máy tiện CNC. ❖

Ngày nhận bài: **10/11/2025**

Ngày phản biện: **25/11/2025**

**Tài liệu tham khảo:**

- [1]. Li X., Wang X.N., Liu K., Cao G.H., Li M.B., Zhu Z.S., Wu S.J., “Hierarchical structure and deformation behavior of a novel multicomponent  $\beta$  titanium alloy with ultrahigh strength”. *J. Mater. Sci. Technol.* 107, 227-242, 2022.
- [2]. Xie B., Gao K., “Research Progress of Surface Treatment Technologies on Titanium Alloys: A Mini Review”. *Coatings*, 13, 1486, 2023.
- [3]. Wang M.H., Liu Z.H., Wang W., “Study on Precision Machining Titanium Alloy Thin-walled Parts”. *Adv. Mater. Res.* 314-316, 1778-1782, 2011.
- [4]. Clemens H., Mayer S., “Design, processing, microstructure, properties, and applications of advanced intermetallic Tial alloys”. *Adv. Eng. Mater.* 15, 191-215, 2013.
- [5]. Rack H., Qazi J., “Titanium alloys for biomedical applications”. *Mater. Sci. Eng. C*, 26, 1269-1277, 2006.
- [6]. Sarraf M., Ghomi E.R., Alipour S., Ramakrishna S., Sukiman N.L., “A state-of-the-art review of the fabrication and characteristics of titanium and its alloys for biomedical applications”. *Bio-Des. Manuf.* 5, 371-395, 2022.
- [7]. Gariani S., Shyha I., Inam F., Huo D., “Evaluation of a Novel Controlled Cutting Fluid Impinging Supply System When Machining Titanium Alloys”. *Appl. Sci.* 7, 560, 2017.
- [8]. Guangping Wang, Xiaoxuan Chen, Zhipeng Xu, Feng Feng, Jianfu Zhang, Pingfa Feng, Xiangyu Zhang, “Advanced Precision Cutting Titanium Alloy Methods: A Critical Review Considering Cost, Efficiency, and Quality”. *Technologies*, 13, 172, 2025.
- [9]. Nguyen V.C., Nguyen T.D., Tien D.H., “Cutting Parameter Optimization in Finishing Milling of Ti-6Al-4V Titanium Alloy under MQLCondition using TOPSIS and ANOVAAnalysis”. *Eng. Technol. Appl. Sci. Res.* 11, 6775-6780, 2021.
- [10]. Masek P., Maly J., Zeman P., Heinrich P., Alagan N.T., “Turning of titanium alloy with PCD tool and high-pressure cooling”. *J. Manuf. Process.* 84, 871-885, 2022.
- [11]. Kaynak Y., Gharibi A., “The effects of cutting parameters on machining performance of titanium alloy Ti-5553”. *Adv. Mater. Process. Technol.* 5, 317-328, 2019.
- [12]. Nguyễn Doãn Ý, “Quy hoạch thực nghiệm”. NXB. Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội, 2008.
- [13]. Bàn Tiến Long, Trần Thế Lục, Trần Sỹ Túy, “Nguyên lý gia công vật liệu”. NXB. Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội, 2001.
- [14]. Зорев Н.Н, “Вопросы механики резание металлов”. Изд.Машгиз, Москва, 1956.
- [15]. Tarasov L., “Some metallurgiacl aspects of grinding – Reprint from the book “Machining – theory and practice””. American Society for Metals.
- [16]. Nguyễn Thanh Bình, Phạm Văn Bồng, Phạm Văn Đông, Nguyễn Chí Bảo, “Nghiên cứu ảnh hưởng của chế độ cắt đến nhám bề mặt khi gia công SUS304 trên trung tâm gia công CNC TC500”. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Đại học Công nghiệp Hà Nội*, số 31, p. 28-33, 2015.
- [17]. Phạm Thị Minh Huệ, Phạm Minh Thế, “Nghiên cứu sự ảnh hưởng của chế độ cắt đến độ nhám bề mặt khi tiện vật liệu SUS304”. *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng*, số 3, p. 83-89, 2017.
- [18]. Hoàng Việt, “Ảnh hưởng của một số thông số chế độ cắt đến độ nhám bề mặt gia công trên máy tiện”. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Lâm nghiệp*, số 2, p. 135-141, 2016.
- [19]. Nguyễn Doãn Ý, “Xử lý số liệu thực nghiệm trong kỹ thuật”. NXB. Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội, 2009.