

OPTIMIZATION OF THE EFFECT OF PROCESSING PARAMETERS ON SURFACE ROUGHNESS AND MATERIAL REMOVAL RATE IN CNC MILLING OF AL-7075 MATERIAL

Tran Cong Chi^{1*}, Luu Van Tuan², Nguyen Van Tuu¹, Tran Van Tuong²

¹Vietnam National University of Forestry, ²Hanoi Mechanical and Electrical College

ARTICLE INFO	ABSTRACT
Received: 22/11/2022 Revised: 26/12/2022 Published: 26/12/2022	This paper presents the results of the influence and optimization of some machining parameters on the surface roughness (Ra) and material removal rate (MRR) in the milling process of AL-7075 on the CNC machine. The signal ratio (S/N) in the Taguchi method and the analysis of variance (ANOVA) were selected to determine which machining parameters significantly and percentage contribution to Ra and MRR. Then, the response surface method (RSM) was used to optimize the multi-objective Ra and MRR criteria. The results show that machining parameters directly influence Ra and MRR. Specifically, Ra is significantly affected by spindle speed, feed rate, coolant, and depth of cut with percentages of 37.12%, respectively; 12.56%, 12.07%, and 10.13%, while MRR is mainly affected by feed rate, depth of cut with percentages of 41.68% and 47.29%. Finally, the results of multi-factor optimization analysis by RSM indicate that with the coolant condition (on), the feed rate 450 mm/min, depth of cut 0.369 mm, and spindle speed 5500 r/min obtain the optimum value of Ra and MRR are 0.159 μm and 32.019 g/min, respectively.
KEYWORDS	
Machining parameter	
Optimization	
Surface roughness	
Material removal rate	
AL-7075	

TỐI ƯU HÓA ẢNH HƯỞNG CỦA MỘT SỐ THÔNG SỐ GIA CÔNG ĐẾN NHÁM BỀ MẶT VÀ TỐC ĐỘ BỐC TÁCH VẬT LIỆU KHI PHAY HỢP KIM NHÔM 7075

Trần Công Chi^{1*}, Lưu Văn Tuấn², Nguyễn Văn Tú¹, Trần Văn Tường¹

¹Trường Đại học Lâm Nghiệp Việt Nam, ²Trường Cao đẳng Cơ điện Hà Nội

THÔNG TIN BÀI BÁO	TÓM TẮT
Ngày nhận bài: 22/11/2022 Ngày hoàn thiện: 26/12/2022 Ngày đăng: 26/12/2022	Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu ảnh hưởng và tối ưu hóa một số thông số gia công tới nhám bề mặt (Ra) và tốc độ bóc tách vật liệu (MRR) khi phay hợp kim nhôm 7075 trên máy CNC. Tỷ số tín hiệu nhiễu (S/N) trong phương pháp Taguchi và phân tích phương sai (ANOVA) được sử dụng để xác định thông số gia công nào ảnh hưởng đáng kể và tỷ lệ phần trăm đóng góp của từng thông số đến Ra và MRR. Sau đó, Ra và MRR đã được tối ưu hóa đa mục tiêu bằng phương pháp mặt đáp ứng (RSM). Kết quả nghiên cứu cho thấy các thông số gia công có ảnh hưởng trực tiếp đến Ra và MRR. Cụ thể, Ra bị ảnh hưởng đáng kể bởi tốc độ trục chính, tốc độ tiến dao, dung dịch trơn nguội và chiều sâu cắt với tỷ lệ phần trăm lần lượt là 37,12%; 12,56%, 12,07% và 10,13%, trong khi MRR bị ảnh hưởng chính bởi tốc độ tiến dao, chiều sâu cắt với tỷ lệ phần trăm là 41,68% và 47,29%. Cuối cùng, kết quả phân tích tối ưu đa yếu tố bằng RSM khi điều kiện có trơn nguội, tốc độ tiến dao 450 mm/ph, chiều sâu cắt 0,369 mm và tốc độ trục chính 5500 v/ph thì thu được giá trị tối ưu Ra và MRR tương ứng là 0,159 μm và 32,019 g/ph.
TỪ KHÓA	
Thông số gia công	
Tối ưu hóa	
Độ nhám bề mặt	
Tốc độ bóc tách	
Hợp kim nhôm 7075	

DOI: <https://doi.org/10.34238/tnu-jst.6965>

* Corresponding author. Email: trancongchi_bk@yahoo.com

1. Giới thiệu

Tối ưu hóa ảnh hưởng của các thông số công nghệ khi gia công trên máy phay CNC vẫn là hướng nghiên cứu có ý nghĩa thực tiễn cao nên gần đây vẫn có nhiều công trình nghiên cứu được công bố. GökhanSur và cộng sự [1] đã áp dụng phương pháp đơn yếu tố và đa yếu tố để tối ưu hóa một số thông số gia công (tốc độ cắt, lượng tiến dao và góc xoắn của dụng cụ cắt) nhằm giảm thiểu lực cắt và độ nhám bề mặt trong quá trình phay Ti6Al4V. Lin và cộng sự [2] đã sử dụng phân tích hồi quy và mô hình ANN để xây dựng mô hình dự báo độ nhám bề mặt chi tiết khi gia công dựa trên các thông số công nghệ và rung động khi gia công trên máy phay CNC. Zhang và cộng sự [3] đã xây dựng phương pháp tối ưu hóa tham số gia công khi phay thô bằng cách kết hợp tối ưu hóa ngoại tuyến và giám sát thời gian thực để cải thiện hiệu quả gia công.

Tại Việt Nam, nghiên cứu về tối ưu hóa khi gia công trên máy phay CNC cũng đã thu được nhiều thành tựu cả trong nghiên cứu cơ bản và nghiên cứu ứng dụng. Phạm Thanh Tùng [4] đã nghiên cứu xác định mối quan hệ thực nghiệm giữa thông số chế độ cắt và chất lượng bề mặt chi tiết khi gia công thép hợp kim SKD61 bằng dao phay cầu trên trung tâm gia công CNC 5 trục và xác định bộ thông số chế độ cắt tối ưu bằng phương pháp trí tuệ nhân tạo và giải thuật PSO để giải bài toán tối ưu. Tương tự, Nguyễn Tuấn Linh và cộng sự [5] cũng đã dựa trên cơ sở các mô hình hóa phay cao tốc đề xuất ứng dụng thuật toán PSO cho quá trình tối ưu hóa chế độ cắt với hai mục tiêu đảm bảo độ nhám bề mặt và tuổi bền của dụng cụ cắt. Hoàng Tiến Dũng và cộng sự [6] nghiên cứu, thực nghiệm và xử lý số liệu để đưa ra quan hệ toán học ảnh hưởng của chế độ cắt đến lực cắt trong quá trình gia công và ứng dụng phương pháp phân tích phương sai (ANOVA) xây dựng mối quan hệ phụ thuộc rung động với chế độ cắt và góc dao trong quá trình phay bằng dao phay ngón, từ đó có thể dự đoán được lực cắt xảy ra trong quá trình gia công. Lê Thế Hưng và cộng sự [7] đã phân tích và đánh giá ảnh hưởng của thông số chế độ cắt đến nhám bề mặt trong quá trình phay cao tốc trong điều kiện gia công khô và gia công ướt vật liệu thép SKD61 sau nhiệt luyện. Trần Công Chi và cộng sự [8] đã giới thiệu mô hình dự đoán và tối ưu hóa các thông số gia công bằng cách kết hợp mô hình ANN và thuật toán GA khi gia công thép C45 trên máy phay CNC.

Hiện nay, trong các điều kiện sản xuất cụ thể, việc sử dụng hiệu quả nhất các tính năng kỹ thuật của máy, xác lập chế độ gia công hợp lý, đảm bảo yêu cầu chất lượng sản phẩm, tối giảm chi phí điện năng, nguyên vật liệu,... vẫn là những vấn đề cấp thiết. Trong số các chỉ tiêu đánh giá sản phẩm sau khi phay thì tốc độ bóc tách vật liệu và độ nhám bề mặt là hai trong số những chỉ tiêu quan trọng liên quan trực tiếp đến chất lượng sản phẩm và giá thành sản phẩm. Do đó, nghiên cứu này giới thiệu kết quả tối ưu hóa ảnh hưởng của một số thông số gia công đến nhám bề mặt và tốc độ bóc tách vật liệu khi phay hợp kim nhôm 7075 trên máy phay CNC dựa trên phương pháp Taguchi và phương pháp bề mặt đáp ứng.

2. Phương pháp nghiên cứu

2.1. Phương pháp Taguchi

Nghiên cứu lựa chọn phương pháp ma trận thí nghiệm trực giao Taguchi để xác định số lượng mẫu thí nghiệm. Phương pháp Taguchi sử dụng các dãy trực giao trong quy hoạch thực nghiệm. Do đó, phương pháp này cho phép sử dụng tối thiểu các thí nghiệm cần thiết để nghiên cứu ảnh hưởng của các thông số lên một đáp ứng được lựa chọn nào đó của một quá trình từ đó nhanh chóng điều chỉnh các thông số để tiến đến tối ưu nhanh nhất [9]. Phương pháp Taguchi sử dụng tỷ số tín hiệu nhiễu (signal-to-noise) S/N được chuyển đổi từ hàm số mất mát L:

$$L = k(y - m)^2 \quad (1)$$

Trong đó L là mất mát do sai lệch giá trị đáp ứng y nhận được so với giá trị đáp ứng m mong muốn, k là hằng số. Tỷ số S/N chuyển đổi để tính toán cho 3 trường hợp chính:

- Nếu giá trị đáp ứng y_i cần đạt “Lớn hơn tốt hơn” thì:

$$\frac{S}{N} = -10 \log_{10} \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right) \quad (2)$$

- Nếu giá trị đáp ứng y_i cần đạt “Nhỏ hơn tốt hơn” thì:

$$\frac{S}{N} = -10 \log_{10} \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right) \quad (3)$$

- Nếu giá trị đáp ứng y_i cần đạt “Đánh giá ảnh hưởng của các nhân tố” thì:

$$\frac{S}{N} = 10 \log_{10} \left(\frac{\bar{y}_i^2}{s_i^2} \right) \quad (4)$$

Trong đó:

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{u=1}^n y_u; \quad s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{u=1}^n (y_u - \bar{y})^2 \quad (5)$$

với n , s , $\bar{y}$ lần lượt là số thí nghiệm lặp, độ lệch chuẩn và giá trị trung bình. Trong mọi trường hợp, tỷ số S/N càng lớn thì đặc tính nhận được càng tốt.

Trong nghiên cứu này, bảng ma trận thí nghiệm trực giao Taguchi L18 với các thông số công nghệ được chọn lựa dựa trên thực tế gia công, khả năng công nghệ của máy công cụ và dụng cụ cắt (Bảng 1). Dung dịch trơn nguội được sử dụng là Esterlube Cutting P25, áp suất và lưu lượng phun là 1,2÷1,3Mpa và 10 lít/ph.

Bảng 1. Giá trị của thông số công nghệ khi gia công

Thông số	1	2	3
Tron nguội	Bật	Tắt	-
F (mm/ph)	150	250	450
t (mm)	0,1	0,25	0,4
n (v/ph)	3500	4500	5500

2.2. Phương pháp bề mặt đáp ứng (RSM – Response Surface Methodology)

Phương pháp bề mặt đáp ứng (RSM) là một trong những phương pháp thống kê hiện đại để thiết lập các điều kiện tiến hành và đánh giá kết quả thực nghiệm. Trong phương pháp RSM có hai mô hình thiết kế thực nghiệm được áp dụng rộng rãi là thiết kế tổ hợp trung tâm và thiết kế hộp Behnken [10].

Mối quan hệ giữa đầu vào và đầu ra có thể được biểu diễn bởi phương trình:

$$y = \varphi(x_1, x_2, \dots, x_n) + \varepsilon \quad (6)$$

Với k biến đầu vào, mối quan hệ giữa đầu vào và đầu ra có thể được viết lại dưới dạng phương trình bậc 2.

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} x_i^2 + \sum_{ij}^k \beta_{ij} x_i x_j + \varepsilon \quad (7)$$

Trong đó x_i là những biến mã hóa, β_i là các hệ số bậc nhất, β_{ii} là các hệ số bậc hai, β_{ij} là các hệ số tương tác của phương trình và ε là sai số thống kê của giá trị trung bình.

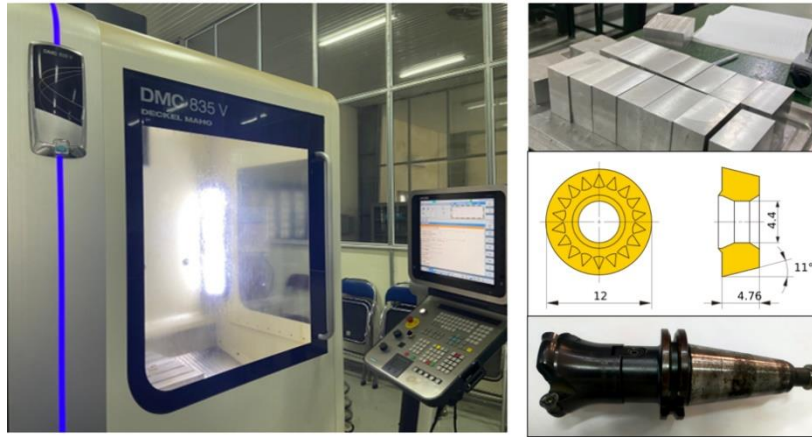
2.3. Điều kiện thực nghiệm

2.3.1. Vật liệu gia công

Trong nghiên cứu này, hợp kim nhôm 7075 có kích thước $(80 \times 75 \times 40 \pm 1)$ mm được sử dụng cho thí nghiệm. Thành phần hóa học chính bao gồm (87,1-91,4) %Al, (0,18-0,28) %Cr, (1,2-2,0) % Cu..., tỷ trọng: 2,81 g/cm³.

2.3.2. Thiết bị gia công và dụng cụ đo

Thiết bị gia công là máy phay CNC mã hiệu DMC 835V (Hình 1) với hệ điều khiển Siemen tại xưởng thực hành của trường Cao đẳng Cơ điện Hà Nội. Dụng cụ cắt là dao phay mặt đầu, đường kính dao $\phi 63$ mm, 4 lưỡi cắt mảnh hợp kim cứng RPMT1204- DURACARD.



Hình 1. Máy phay CNC mã hiệu DMC 835V, phôi gia công và dụng cụ cắt

Độ nhám bề mặt được xác định bằng thông số R_a trên bề mặt chi tiết với phương chuyển động tịnh tiến của đầu đo song song với phương chạy dao trên chi tiết. Mỗi mẫu được đo lặp lại 3 lần tại 3 vị trí khác nhau, giá trị R_a cuối cùng là trung bình cộng của 3 lần đo. Độ nhám được đo bằng thiết bị TR200 Handheld Roughness Tester bị được sản xuất tại Mỹ, độ chính xác R_a 0,005 μm .

Tốc độ bóc vật liệu (MRR) được tính toán dựa trên sự chênh lệch khối lượng của chi tiết gia công trước và sau khi thí nghiệm.

$$MRR = \frac{w_i - w_f}{T} \text{ (g/ph)} \quad (8)$$

Trong đó: w_i – khối lượng ban đầu của phôi [g]; w_f – khối lượng của chi tiết sau gia công [g], T – thời gian gia công [ph].

3. Kết quả phân tích và thảo luận

Thực hiện gia công theo quy hoạch thực nghiệm, sau khi gia công tiến hành đo R_a và tính toán giá trị MRR. Kết quả thực nghiệm kèm theo tỉ số S/N cho R_a được tính theo (3) và MRR tính theo (2) như thể hiện trên bảng 2.

Bảng 2. Kết quả đo R_a và MRR theo các điều kiện công nghệ khác nhau

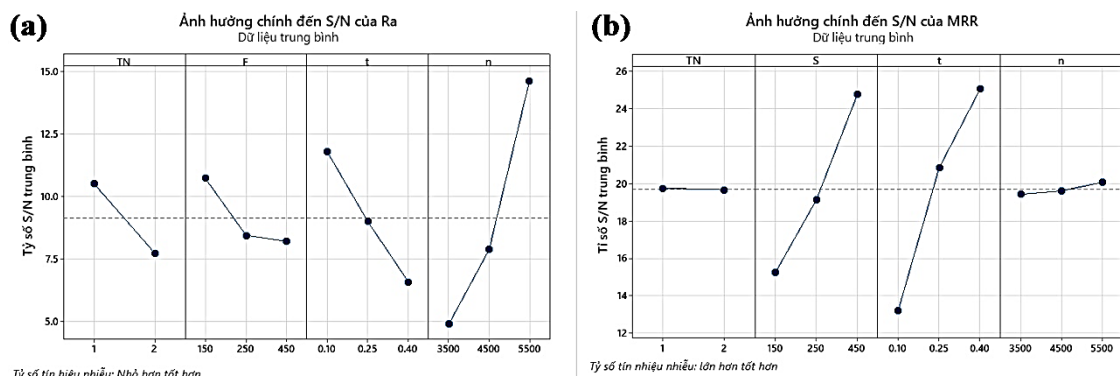
Mẫu	Tron ngươi	F (mm/ph)	t (mm)	n (v/ph)	R_a (μm)	MRR (g/ph)	Tỷ số S/N cho R_a	Tỷ số S/N cho MRR
1	1	3	1	1	0,325	2,608	9,762	8,327
2	1	1	2	2	0,345	6,615	9,252	16,411
3	1	1	3	3	0,198	11,926	11,480	21,530
4	1	2	1	1	0,423	4,410	7,466	12,889
5	1	2	2	2	0,276	8,966	11,182	19,052
6	1	2	3	3	0,186	17,640	12,203	24,930
7	1	3	1	2	0,252	7,696	11,983	17,725
8	1	3	2	3	0,229	21,374	17,766	26,598
9	1	3	3	1	0,665	31,918	3,539	30,081
10	2	1	1	3	0,122	2,646	18,297	8,452
11	2	1	2	1	0,411	6,406	7,730	16,132
12	2	1	3	2	0,507	10,584	7,801	20,493

Mẫu	Tron nguội	F (mm/ph)	t (mm)	n (v/ph)	Ra (μ m)	MRR (g/ph)	Tỷ số S/N cho Ra	Tỷ số S/N cho MRR
13	2	2	1	2	0,508	4,908	5,883	13,818
14	2	2	2	3	0,317	11,025	10,555	20,848
15	2	2	3	1	0,679	14,301	3,358	23,107
16	2	3	1	3	0,136	7,938	17,351	17,994
17	2	3	2	1	1,332	19,845	-2,488	25,953
18	2	3	3	2	0,880	31,752	1,110	30,035

3.1. Ảnh hưởng của các thông số gia công đến độ nhám bề mặt và tốc độ bóc tách vật liệu

3.1.1. Độ nhám bề mặt

Hình 2a giới thiệu kết quả phân tích ảnh hưởng của các thông số gia công đến độ nhám bề mặt và tỷ lệ S/N trung bình khi phân tích bằng phương pháp Taguchi. Kết quả cho thấy rằng Ra giảm khi tốc độ cắt tăng. Thông thường độ nhám bề mặt cao do hình thành lẹo dao xảy ra trong quá trình gia công ở tốc độ cắt thấp đối với các hợp kim nhôm do có chứa nhiều pha trong cấu trúc vi mô. Ngoài ra, tốc độ trục chính tăng lên kết hợp với sự gia tăng nhiệt độ trong vùng cắt tạo ra vùng bị mềm cục bộ, do đó phôi được tạo thành dễ dàng tách ra khỏi bề mặt gia công, giảm các vết xước trên bề mặt chi tiết do đó độ nhám bề mặt giảm đi. Kết quả này phù hợp với nghiên cứu trước đây của nhóm tác giả PINARBAŞI và cộng sự [11].



Hình 2. Tỷ lệ S/N trung bình của độ nhám bề mặt Ra (a) và MRR (b)

Mặt khác, độ nhám tăng lên có liên quan đến tốc độ tiến dao hoặc chiều sâu cắt tăng lên. Khi chiều sâu cắt tăng lên, diện tích tiếp xúc giữa phôi và dụng cụ cắt tăng lên, dẫn đến khối lượng loại bỏ vật liệu tăng lên. Nhiều nghiên cứu trước đó cũng đã xác nhận rằng chất lượng bề mặt có mối quan hệ với lực cắt, lực cắt lớn sẽ gây ra nhám bề mặt lớn hơn so với lực cắt nhỏ. Ngoài ra, tốc độ tiến dao tăng sẽ gây nên vết xước trên bề mặt sâu và rộng hơn. Đồng thời gây ra lực cắt cao trên lưỡi cắt do độ dày của phôi tăng lên. Các kết quả nghiên cứu này có mối tương đồng với lý thuyết và các kết quả trong các công trình trước đó đã công bố.

Dung dịch trơn nguội đóng một vai trò quan trọng ảnh hưởng lớn đến Ra trong quá trình gia công hợp kim nhôm. Điều này là do nhiệt độ vùng cắt thấp hơn thu được tại vùng gia công khi phun dung dịch trơn nguội và các mảnh vụn trên bề mặt gia công được cuốn đi dẫn đến độ nhám bề mặt chi tiết được cải thiện.

3.1.2. Tốc độ bóc tách vật liệu

Tốc độ bóc tách vật liệu khi xem xét tỷ số S/N là càng cao càng tốt. Hình 2b giới thiệu kết quả phân tích ảnh hưởng của các thông số gia công đến tốc độ bóc tách vật liệu MRR. Khi tốc độ tiến dao tăng lên thì MRR tăng. Điều này là do khi tốc độ tiến dao tăng thì độ dày của phôi cũng tăng lên dẫn đến tăng MRR. Ngoài ra, ảnh hưởng của chiều sâu cắt đến MRR cũng được thể hiện

trong các số liệu tương tự. Thông thường MRR cũng tăng lên khi tăng tốc độ cắt nhưng khi tăng cao tốc độ cắt sẽ thúc đẩy việc mài mòn dụng cụ nhanh hơn [12]. Tuy nhiên trong nghiên cứu này, tốc độ cắt và điều kiện tron nguội có ảnh hưởng không lớn đến MRR.

3.2. Phân tích ANOVA cho nhám bề mặt và tốc độ bóc tách vật liệu

3.2.1. Độ nhám bề mặt

Phân tích ANOVA cho nhám bề mặt Ra được trình bày trong bảng 3. Kết quả cho thấy giá trị P của phương trình hồi quy là rất nhỏ so với 0,05. Giá trị R^2 phương trình hồi quy là 0,9767 nên có thể kết luận rằng phương trình hồi quy được đưa ra có ý nghĩa về mặt thống kê. Từ bảng 3 cũng thấy được Ra bị ảnh hưởng đáng kể bởi tốc độ trục chính, tiếp theo là tốc độ tiến dao, dung dịch tron nguội và chiều sâu cắt với tỷ lệ phần trăm đóng góp vào Ra lần lượt là 37,12%, 12,56%, 12,07% và 10,13%.

Bảng 3. Kết quả phân tích ANOVA cho Ra

Nguồn	DF	Seq SS	Đóng góp	SS	MS	F	P
Hồi quy	10	1,53	97,67%	1,52	0,153	29,38	0,000
TN	1	0,19	12,07%	0,03	0,027	5,10	0,058
F	1	0,19	12,56%	0,06	0,061	11,75	0,011
t	1	0,16	10,13%	0,03	0,034	6,58	0,037
n	1	0,58	37,12%	0,02	0,018	3,45	0,105
TN*F	1	0,14	8,99%	0,08	0,078	15,06	0,006
TN*t	1	0,01	0,62%	0,01	0,005	1,03	0,344
TN*n	1	0,02	1,17%	0,05	0,046	8,88	0,021
F*t	1	0,03	2,20%	0,02	0,021	4,01	0,085
F*n	1	0,19	12,00%	0,18	0,179	34,00	0,001
t*n	1	0,01	0,82%	0,01	0,013	2,46	0,161
Sai số	7	0,04	2,33%	0,00	0,005		
Tổng	17	1,56	100,00%				

3.2.2. Tốc độ bóc tách vật liệu

Kết quả phân tích ANOVA của MRR được trình bày trong bảng 4. Giá trị P của phương trình hồi quy nhỏ hơn 0,05; đồng thời giá trị R^2 phương trình hồi quy là 0,9936 cho thấy phương trình hồi quy được đưa ra có ý nghĩa về mặt thống kê. Kết quả phân tích cũng xác định được MRR bị ảnh hưởng chính bởi tốc độ tiến dao, chiều sâu cắt với tỷ lệ phần trăm đóng góp lần lượt là 41,68% và 47,29%.

Bảng 4. Kết quả phân tích ANOVA cho MRR

Nguồn	DF	Seq SS	Đóng góp	SS	MS	F	P
Hồi quy	10	1353,33	99,36%	1353,33	135,333	108,40	0,000
TN	1	0,78	0,06%	0,22	0,219	0,18	0,688
F	1	567,65	41,68%	0,20	0,202	0,16	0,700
t	1	644,09	47,29%	3,07	3,074	2,46	0,161
n	1	4,01	0,29%	1,28	1,284	1,03	0,344
TN*F	1	0,00	0,00%	1,15	1,154	0,92	0,368
TN*t	1	9,19	0,67%	1,85	1,846	1,48	0,263
TN*n	1	18,81	1,38%	0,26	0,264	0,21	0,660
F*t	1	103,65	7,61%	97,82	97,82	78,35	0,000
F*n	1	0,01	0,00%	0,01	0,014	0,01	0,919
t*n	1	5,13	0,38%	5,13	5,133	4,11	0,082
Sai số	7	8,74	0,64%	8,74	1,248		
Tổng	17	1362,07	100,00%				

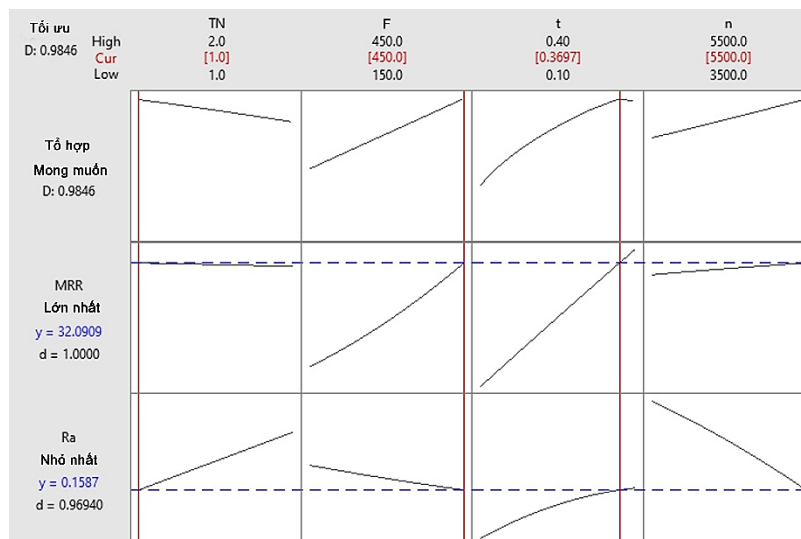
3.3. Tối ưu hóa đa mục tiêu cho Ra và MRR

Để có được năng suất cao và chất lượng bề mặt tốt, quá trình tối ưu đa mục tiêu được thực hiện với các thông số đầu vào, ràng buộc và các mục tiêu được trình bày trong bảng 5.

Bảng 5. Thông số gia công và mục tiêu tối ưu

Thông số	Mục tiêu	Giới hạn dưới	Giới hạn trên
Tron nguội	Bật/ tắt	1	2
F (mm/ph)	Trong khoảng	150	450
t (mm)	Trong khoảng	0,1	0,4
n (v/ph)	Trong khoảng	3500	5500
Ra (μm)	Nhỏ nhất	0,122	1,332
MRR (g/ph)	Lớn nhất	2,608	31,918

Hình 3 giới thiệu kết quả tối ưu sau khi phân tích bằng phương pháp RSM. Kết quả cho thấy kết quả tối ưu như sau: điều kiện có tron nguội, tốc độ tiến dao 450 mm/ph, chiều sâu cắt 0,369 mm và tốc độ trục chính 5500 v/ph. Tại điều kiện gia công này giá trị nhỏ nhất của nhám bề mặt là 0,159 μm và tốc độ bóc tách vật liệu tương ứng là 32,019 g/ph, tương ứng với giá trị kỳ vọng hàm mục tiêu là 0,985 nên quá trình tối ưu đa mục tiêu cho nhám bề mặt và bóc tách vật liệu đảm bảo độ tin cậy.



Hình 3. Đồ thị tối ưu hóa đa mục tiêu bằng RSM

Để kiểm chứng kết quả tối ưu hóa, sau khi chuẩn bị máy và phôi, nghiên cứu tiến hành gia công 3 mẫu chi tiết với chế độ cắt tối ưu vừa được tính toán. Kết quả gia công được trình bày trong bảng 6.

Bảng 6. Giá trị cắt thực tế so với giá trị tối ưu hóa

STT	Tron nguội	F (mm/ph)	T (mm)	n (v/ph)	Ra		MRR	
					Kết quả	Sai lệch (%)	Kết quả	Sai lệch (%)
1					0,155	2,6	33,121	3,3
2	Có	450	0,369	5500	0,162	1,9	32,919	2,7
3					0,167	4,8	33,204	3,6

Với kết quả tối ưu và thực tế gia công thấy rằng sai lệch giữa giá trị tối ưu và thực tế dao động không quá 5%. Với kết quả này hoàn toàn chấp nhận được trong thực tế sản xuất, và khẳng định tính đúng đắn của phương pháp RSM khi giải bài toán tối ưu đa mục tiêu trong quá trình gia công hợp kim nhôm.

4. Kết luận

Trong bài báo này, tối ưu hóa ảnh hưởng của một số thông số gia công đến nhám bề mặt và tốc độ bóc tách vật liệu khi phay hợp kim nhôm 7075 trên máy CNC đã được nghiên cứu dựa trên dữ liệu thực nghiệm. Kết quả cho thấy Ra giảm khi tốc độ cắt tăng, khi tốc độ tiến dao hoặc chiều sâu cắt tăng lên thì độ nhám tăng, đồng thời dung dịch trơn nguội cũng đóng một vai trò quan trọng ảnh hưởng lớn đến Ra trong quá trình gia công hợp kim nhôm. Kết quả cũng cho thấy rằng MRR tăng khi tốc độ tiến dao và chiều sâu cắt tăng, tuy nhiên tốc độ cắt và điều kiện trơn nguội có ảnh hưởng không lớn đến MRR. Trong các thông số gia công, Ra bị ảnh hưởng lớn nhất bởi tốc độ trục chính trong khi đó MRR bị ảnh hưởng chính bởi tốc độ tiến dao. Khi phân tích tối ưu bằng phương pháp RSM đã thu được giá trị tối ưu Ra và MRR đồng thời kết quả kiểm nghiệm thông số tối ưu này có sai lệch với thực tế không quá 5%, do đó kết quả này hoàn toàn chấp nhận được trong thực tế sản xuất, và khẳng định tính đúng đắn của phương pháp sử dụng trong nghiên cứu.

TÀI LIỆU THAM KHẢO/ REFERENCES

- [1] G. Sur, A. R. Motorcu, and S. Nohutcu, "Single and multi-objective optimization for cutting force and surface roughness in peripheral milling of Ti6Al4V using fixed and variable helix angle tools," *Journal of Manufacturing Processes*, vol. 80, pp. 529-545, 2022.
- [2] Y.-C. Lin, K.-D. Wu, W.-C. Shih, P.-K. Hsu, and J.-P. Hung, "Prediction of Surface Roughness Based on Cutting Parameters and Machining Vibration in End Milling Using Regression Method and Artificial Neural Network," *Applied Sciences*, vol. 10, no. 11, 2020, Art. no. 3941.
- [3] X. Zhang, T. Pan, A. Ma, and W. Zhao, "High efficiency orientated milling parameter optimization with tool wear monitoring in roughing operation," *Mechanical Systems and Signal Processing*, vol. 165, 2022, Art. no. 108394.
- [4] T. T. Pham, "Application of artificial intelligence method to determine the optimal storage mode when machining alloy steel on 5-axis CNC machining center (in Vietnamese)," Master Thesis, Hanoi University of Science and Technology, 2018.
- [5] T. D. Hoang, L. Hoang, and T. L. Nguyen, "Multi-objective optimization for high speed milling using PSO algorithm," in *Proceeding of the 5th National Conference on Mechanical Science & Technology (VCME)*, Hanoi, 2018, pp. 566-577.
- [6] T. D. Hoang, D. Q. Tran, V. T. Nguyen, N. T. Nguyen, and V. Q. Nguyen, "Predicting the effect of cutting parameters and helix angle of solid end mill to surface roughness when cutting on a CNC 5-axis machining center," in *Proceeding of 5th National Conference on Mechanical Science & Technology*, 2018, pp. 49-55.
- [7] T. H. Le, V. B. Pham, T. T. H. Pham, and T. D. Hoang, "Application of fuzzy grey relational analysis (FGRA) method to analyze the effect of cutting conditions on surface roughening when high-speed milling," *Journal of Science & Technology- Hanoi University of Industry*, vol. 57, no. 6, pp. 74-79, 2021.
- [8] C. C. Tran, V. T. Nguyen, and C. L. Tran, "Prediction Model and Optimization of Machining Parameters Using Integrated ANN-GA Method on CNC Milling Machine," *TNU Journal of Science and Technology*, vol. 226, no. 11, pp. 20-29, 2021.
- [9] H. L. Nguyen, *Experimental planning and analysis*. Ho Chi Minh City National University Publishing House, (in Vietnamese), 2021.
- [10] A. I. Khuri and S. Mukhopadhyay, "Response surface methodology," *Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics*, vol. 2, no. 2, pp. 128-149, 2010.
- [11] A. Pinarbaşı, M. K. Külekçi, B. Cem, and E. Uğur, "Optimization of the effect of processing parameters on surface roughness and cutting energy in CNC Milling of Al-7075 material," *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, vol. 35, no. 2, pp. 345-356, 2020.
- [12] D. Deepak and B. Rajendra, "Studies on material removal rate of AL6061 while turning with coolant and without coolant using taguchi method," *International Journal of Research in Engineering and Technology (IJRET)*, vol. 4, no. 09, pp. 75-78, 2015.