

ỨNG DỤNG PHƯƠNG PHÁP MỜ XÁM (FGRA) PHÂN TÍCH ẢNH HƯỞNG CỦA CHẾ ĐỘ CẮT ĐẾN NHÁM BỀ MẶT KHI PHAY CAO TỐC

APPLICATION OF FUZZY GREY RELATIONAL ANALYSIS (FGRA) METHOD TO ANALYZE THE EFFECT OF CUTTING CONDITIONS ON SURFACE ROUGHENING WHEN HIGH-SPEED MILLING

Lê Thế Hưng², Phạm Văn Bồng¹,
Phạm Thị Thiệu Thoa¹, Hoàng Tiến Dũng^{1,*}

TÓM TẮT

Bài báo phân tích và đánh giá ảnh hưởng 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 (đạt độ cứng 53 HRC). Ứng dụng phương pháp Taguchi xây dựng ma trận thực nghiệm, phương pháp quan hệ mờ xám (FGRA) và phương pháp phân tích phương sai (ANOVA) để phân tích mức độ ảnh hưởng của thông số chế độ cắt đến nhám bề mặt khi phay khô và phay ướt. Kết quả độ nhám bề mặt khi phay ướt và phay khô của ba yếu tố (chiều sâu cắt (t), bước tiến dao (S), vận tốc cắt (v)) tương ứng là 0,7527; 0,7869; 0,6302 và 0,8167, 0,7199; 0,6040. Quá trình phay cao tốc vật liệu có độ cứng cao khi phay ướt bước tiến dao có ảnh hưởng nhiều nhất tới nhám bề mặt, trong khi đó với quá trình phay khô chiều sâu cắt có ảnh hưởng nhiều nhất tới nhám bề mặt, trong cả hai phương pháp phay khô và phay ướt đều cho thấy vận tốc cắt có ảnh hưởng nhỏ nhất tới nhám bề mặt.

Từ khóa: Chế độ cắt, nhám bề mặt, phay cao tốc, vật liệu thép SKD61, FGRA, ANOVA.

ABSTRACT

The paper analyses and evaluates the effect of cutting parameters on surface roughness in the milling process of SKD61 steel materials after heat treatment (hardness of 53 HRC). Application of the Taguchi method to build experimental matrix, Fuzzy Grey Relation Analysis method (FGRA) and Analysis of Variance (ANOVA) method to analyze the influence of cutting conditions on surface roughness when milling dry and wet milling. The surface roughness results in wet and dry milling of three factors (depth of cut (t), feed rate (S), cutting speed (v)) are 0.7527, respectively; 0.7869; 0.6302 and 0.8167, 0.7199; 0.6040. High-speed milling process of materials with high hardness when wet milling the feed rate has the most influence on the surface roughness. While in dry milling, the depth of cut has the most impact on the surface roughness. Both dry and wet milling methods show that cutting speed has the slightest effect on surface roughness.

Keywords: Cutting parameters, surface roughness, high-speed milling, SKD61 steel, FGRA, ANOVA.

¹Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

²Trường Cao đẳng nghề Công nghệ cao Hà Nội

*Email: tiendung@hau.edu.vn

Ngày nhận bài: 30/10/2021

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 05/12/2021

Ngày chấp nhận đăng: 27/12/2021

1. GIỚI THIỆU

Nghiên cứu ảnh hưởng của các thông số công nghệ đến chất lượng bề mặt khi phay nói chung đã được thực hiện bởi nhiều nghiên cứu [1, 2]. Các nghiên cứu này thường tập trung vào việc nghiên cứu để dự đoán độ nhám bề mặt gia công, lượng mòn dụng cụ do ảnh hưởng của thông số công nghệ nhằm nâng cao chất lượng đồng thời giảm giá thành của quá trình gia công. Những nghiên cứu này được thực hiện đối với các phương pháp gia công khác nhau như mài [3-5], khoan [6], tiện [7], phay [8-11], gia công tia lửa điện [12]... Trong các nghiên cứu để dự đoán về độ nhám bề mặt gia công thường được mô hình hóa theo hai phương pháp khác nhau đó là phương pháp mô hình hóa lý thuyết và phương pháp mô hình hóa thực nghiệm.

Trong phương pháp mô hình hóa lý thuyết độ nhám bề mặt thường được mô hình hóa dựa trên các hiện tượng vật lý, hóa học, hình học, cơ học [13]. Phương pháp này thường rất khó khăn trong quá trình thực hiện vì rất nhiều các yếu tố cần được đưa vào trong mô hình của độ nhám bề mặt gia công [13-15]. Chính vì vậy, nhiều nghiên cứu tập trung vào phương pháp mô hình hóa thực nghiệm với lượng nhân tố đầu vào hạn chế hơn. Trong phương pháp mô hình hóa thực nghiệm, có nhiều phương pháp tiếp cận đã được thực hiện để nghiên cứu về độ nhám bề mặt gia công. Trong đó, một số nghiên cứu đã thực hiện để nghiên cứu sự thay đổi của độ nhám bề mặt gia công và lượng mòn dụng cụ cắt theo thời gian gia công hoặc số hành trình gia công, các nghiên cứu chỉ ra rằng, theo thời gian gia công, lượng mòn dụng cụ cắt thay đổi, đồng thời độ nhám bề mặt gia công cũng thay đổi [16]. Trong phương pháp thực nghiệm có rất nhiều phương pháp đã được các nhà nghiên cứu ứng dụng như Taguchi [17], phương pháp trực giao... Phương pháp phân tích quan hệ xám (GRA) là một phương pháp thống kê hiệu quả để đo mức độ gần đúng giữa các đối tượng bằng cách sử dụng cấp quan hệ xám. Nó được phát triển bởi Deng và các cộng sự [18] và đã được ứng dụng thành công trong nhiều lĩnh vực khác nhau [19, 20]. Mức độ thông tin trong phân tích mối quan hệ xám giúp

quá trình ra quyết định được dễ dàng hơn trong các tình huống khó khăn [21, 22]. Phương pháp này đã được cải tiến và phát triển thành phân tích mối quan hệ mờ xám (FGRA). Đây là một phương pháp tiếp cận dựa trên một hệ thống mờ được phát triển dựa trên các hệ số và mức quan hệ xám. Mô hình này xem xét tất cả các tiêu chí khác nhau, bao gồm cả sự không chắc chắn về trọng số và tầm quan trọng của các tiêu chí.

2. PHƯƠNG PHÁP QUAN HỆ MỜ XÁM (FGRA)

Phương pháp phân tích mối quan hệ mờ xám (FGRA) là một phương pháp tiếp cận dựa trên một hệ thống mờ được phát triển dựa trên các hệ số và mức quan hệ xám. Mô hình này xem xét tất cả các tiêu chí khác nhau, bao gồm cả sự không chắc chắn về trọng số và tầm quan trọng của các tiêu chí. Trong bài báo này, phân tích mối quan hệ mờ xám được sử dụng để đánh giá tác động của các yếu tố khác nhau lên độ nhám bề mặt gia công. Các bước thực hiện như sau:

Bước 1: Xác định ma trận tham chiếu và ma trận so sánh. Với ma trận tham chiếu được xác định như sau:

$$Y = [Y(1) \ Y(2) \ \dots \ Y(n)] \tag{1}$$

Nếu số phần tử cần khảo sát là m và các yếu tố cần khảo sát trong các điều kiện khác nhau là n, thì ma trận so sánh được hiển thị như sau:

$$X = \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ \vdots \\ X_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_1(1) & X_1(2) & \dots & X_1(n) \\ X_2(1) & X_2(2) & \dots & X_2(n) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ X_m(1) & X_m(2) & \dots & X_m(n) \end{bmatrix} \tag{2}$$

Bước 2: Hiển thị chuỗi không có tham số kích thước gốc. Khi các nhân tố được nghiên cứu và các biến tham chiếu có các tham số khác nhau hay không tham số được xác định bởi phương trình sau:

$$X_i(k)' = \frac{X_i(k) - \text{Min}[X_i(k)]}{\text{Max}[X_i(k)] - \text{Min}[X_i(k)]} \tag{3}$$

Bước 3: Tính giá trị cosin của các tập mờ. Phương pháp cosine góc đã được thông qua mà không bị ảnh hưởng bởi mối quan hệ của tỷ lệ tuyến tính của dữ liệu được xác định bằng công thức:

$$R_1 = \frac{\sum_{k=1}^n Y(k)X(k)}{\sqrt{\sum_{k=1}^n Y(k)^2} \sqrt{\sum_{k=1}^n X(k)^2}} \tag{4}$$

Bước 4: Mức quan hệ xám được xác định:

$$\xi_i(k) = \frac{l.\Delta_{\max} + \Delta_{\min}}{l.\Delta_{\max} + \Delta(k)} \tag{5}$$

Hệ số này phải thỏa mãn điều kiện làm việc và chống nhiễu vì các hệ số phân tán lớn hay nhỏ có thể không phản ánh chính xác mối quan hệ giữa các yếu tố được khảo sát. Phương pháp xác định hệ số phân tán được trình thể hiện như sau:

$$\Delta = \frac{1}{n.m} \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^n |Y_t(k) - X_{ij}(k)| \tag{6}$$

Trong đó, Δ là giá trị trung bình của sai số tuyệt đối.

Khi đó C = $\frac{\Delta}{\Delta_{\max}}$, hệ số phân giải được xác định như sau:

$$L \in \begin{cases} [C; 1,5 \times C] & ; C < \frac{1}{3} \\ (1,5 \times C; 2C] & ; C \geq \frac{1}{3} \end{cases} \tag{7}$$

Nếu C < $\frac{1}{3}$, khi đó L = 1,25C; nếu C ≥ $\frac{1}{3}$, khi đó L = 1,75C.

Bước 5: Áp dụng khoảng cách Euclide để chỉ ra sự khác biệt giữa ma trận tham chiếu và so sánh để cải thiện độ chính xác của các quá trình ước lượng. Do đó, vectơ trọng số của các yếu tố khác nhau trong ma trận tham chiếu được xác định như sau:

$$W = (W_1, W_2, \dots, W_j) \text{ với } j = 1, 2, \dots, n \tag{8}$$

Sau đó, các mức Euclidean R₂ màu xám được tính bằng công thức sau:

$$R_2 = 1 - 2 \sqrt{\sum_{k=1}^n [W \{1 - \xi_i(k)\}]^2} \tag{9}$$

Bước 6: Tính các điểm xám mờ. Theo hệ số liên kết mờ, mức quan hệ xám và quan hệ xám với hệ số tương quan mờ của các nhân tố nghiên cứu được xác định theo phương trình sau:

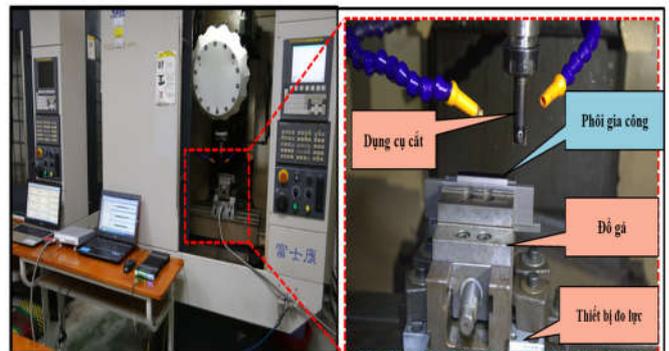
$$R = \sqrt{\frac{R_1^2 + R_2^2}{2}} \tag{10}$$

Bước 7: Xếp hạng mức độ ảnh hưởng của các yếu tố khảo sát trên cơ sở mức độ quan hệ xám.

3. THIẾT LẬP THỰC NGHIỆM PHAY CAO TỐC VẬT LIỆU SKD61 SAU NHIỆT LUYỆN

3.1. Máy gia công

Máy phay CNC cao tốc: HS Super TC500, tốc độ quay trục chính: 100 ÷ 30000(v/p), tốc độ dịch chuyển của bàn máy cắt gọt: 1 ÷ 30000(mm/p), tốc độ chày không lớn nhất: 48000(mm/p). Hành trình dịch chuyển của bàn máy: XxYxZ = 500x400x300(mm). Quá trình phay cao tốc được thực hiện trên trung tâm gia công độ cao HS Super MC500 để phay mặt như hình 1.



Hình 1. Hình ảnh thực tế thí nghiệm khi phay cao tốc vật liệu có độ cứng cao

3.1.1. Phôi thí nghiệm và dụng cụ cắt

Các thực nghiệm được tiến hành với vật liệu gia công thép SKD61 sau nhiệt luyện đạt độ cứng 53HRC kích thước mẫu thí nghiệm LxWxH = 70x40x15(mm). Thành phần hóa học của thép SKD61 trong bảng 1 và đặc tính kỹ thuật của thép SKD61 được thể hiện trên bảng 2.

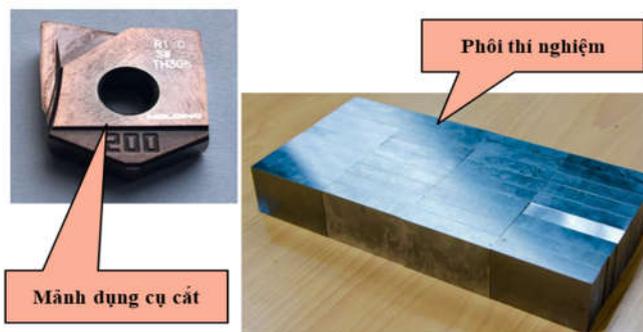
Bảng 1. Thành phần hóa học của thép SKD61

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Cu	V
0,349	0,582	0,720	0,001	0,001	5,59	1,18	0,062	0,036	0,573

Bảng 2. Đặc tính kỹ thuật của thép SKD61

Đặc tính	Giá trị	Đặc tính	Giá trị
Khối lượng riêng (kg/m ³)	7700	Độ bền uốn (MPa)	1000 - 1380
Hệ số poisson	0,27 - 0,30	Độ dẫn nhiệt (W/mK)	24
Modun đàn hồi (GPa)	205 - 215	Hệ số dẫn nở nhiệt (1e-6/K)	12,5
Độ bền kéo (MPa)	1200 - 1590	Nhiệt độ nóng chảy (°C)	1421

Dụng cụ cắt gồm 2 răng cắt: TH308 ZCFG200SW-R1.0 - Hitachi, đường kính Ø 20mm. Phôi và mảnh dụng cụ cắt sử dụng thực tế thí nghiệm như hình 2.



Hình 2. Hình ảnh mảnh dụng cụ cắt và phôi thí nghiệm

3.1.2. Thiết bị đo độ nhám bề mặt



Hình 3. Hình ảnh đo độ nhám bề mặt chi tiết sau khi gia công

Độ nhám bề mặt sau khi gia công được thực hiện trên máy đo độ nhám MITUTOYO-Surftest SJ-210 Portable Surface Roughness Tester. Phần mềm SurfTest SJ USB Communication Tool Ver5.007 sử dụng để hiển thị và lưu trữ các thông số R_a theo tiêu chuẩn ISO 1997. Mỗi mẫu thí

nghiệm được đo 3 lần, giá trị trung bình của 3 lần đo sẽ được sử dụng để phân tích và tính toán cho kết quả thí nghiệm.

3.2. Thiết kế thông số chế độ cắt và ma trận thực nghiệm

3.2.1. Thông số chế độ cắt

Căn cứ vào một số nghiên cứu thực nghiệm và theo khuyến cáo của hãng chế tạo dụng cụ cắt, chế độ cắt khi thực nghiệm được lựa chọn như sau:

- Vận tốc cắt V_c = 300m/phút đến 600m/phút;
- Lượng chạy dao f_z = 0,05 đến 0,15mm/răng;
- Chiều sâu cắt t = 0,1 đến 0,5mm;

Mức thực nghiệm được xây dựng như bảng 3.

Bảng 3. Các thông số thực nghiệm khi phay cao tốc vật liệu có độ cứng cao

Cấp độ	Chiều sâu cắt t (mm)	Lượng chạy dao răng f _z (mm/răng)	Tốc độ cắt (V _c) (m/phút)	Tốc độ vòng quay (n) (vòng/phút)	Lượng chạy dao (S) (mm/phút)
1	0,1	0,05	300	4777	478
2	0,3	0,10	450	7166	955
3	0,5	0,15	600	9554	1433

3.2.2. Thiết kế thực nghiệm theo phương pháp Taguchi L₉

Thiết kế thực nghiệm Taguchi là một phương pháp được sử dụng phổ biến trong điều tra các thông số đầu ra của quá trình công nghệ thu được từ các thông số đầu vào theo nhiều yếu tố và mức. Phương pháp này được áp dụng thành công cho nhiều lĩnh vực khác nhau nhằm mục đích tiết kiệm thời gian, tiền bạc và thu được các thông số tối ưu. Chìa khóa của cách tiếp cận này là tạo ra một bảng thiết kế trực giao trên cơ sở các yếu tố và mức tác động được điều tra. Trong nghiên cứu này, thiết kế thí nghiệm được thiết lập theo phương pháp Taguchi L₉ (3³), như được trình bày trong bảng 4.

Bảng 4. Thiết kế thực nghiệm theo phương pháp Taguchi L₉ (3³)

Số TT	Ma trận mã hóa thông số thực nghiệm		
	Chiều sâu cắt (t)	Lượng chạy (S)	Vận tốc cắt (V _c)
1	1	1	1
2	1	2	2
3	1	3	3
4	2	1	2
5	2	2	3
6	2	3	1
7	3	1	3
8	3	2	1
9	3	3	2

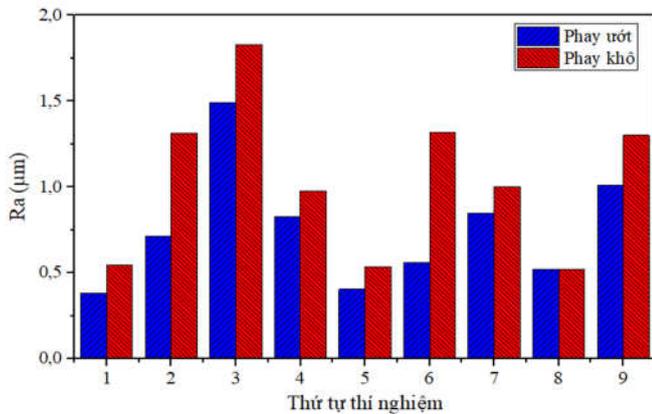
3.3. Phân tích và đánh giá kết quả thực nghiệm

Thực hiện gia công theo quy hoạch thực nghiệm, sau khi gia công, đo giá trị độ nhám bề mặt, kết quả thực nghiệm Taguchi L₉ (3³) như thể hiện trên bảng 5.

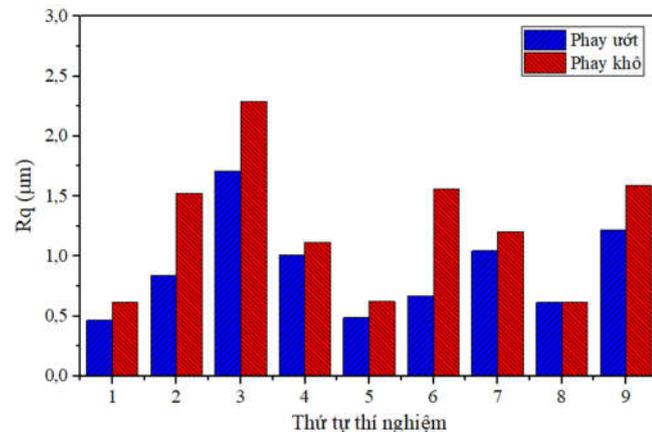
Bảng 5. Kết quả đo nhám bề mặt theo các điều kiện công nghệ khác nhau khi phay ướt và phay khô

STT	Biến mã hóa			Nhám bề mặt khi phay ướt		Nhám bề mặt khi phay khô	
	t	S	V _c	R _a (μm)	R _q (μm)	R _a (μm)	R _q (μm)
1	1	1	1	0,382	0,464	0,543	0,615
2	1	2	2	0,714	0,836	1,314	1,525
3	1	3	3	1,492	1,712	1,829	2,290
4	2	1	2	0,827	1,011	0,978	1,117
5	2	2	3	0,405	0,487	0,536	0,622
6	2	3	1	0,56	0,666	1,317	1,557
7	3	1	3	0,848	1,046	1,000	1,204
8	3	2	1	0,521	0,613	0,521	0,616
9	3	3	2	1,010	1,215	1,301	1,588

Kết quả trên cho thấy chất lượng bề mặt trước và mặt sau khi phay cao tốc vật liệu có độ cứng cao. Hình 4 và 5 trình bày kết quả so sánh chất lượng bề mặt theo các điều kiện gia công khác nhau tương ứng với phương pháp phay ướt và phay khô. Kết quả cho thấy khi phay ướt và phay khô chất lượng bề mặt tương ứng với các điều kiện chế độ cắt khác nhau là khác nhau. Khi so sánh giữa phay khô và phay ướt nhận thấy trong cùng một điều kiện gia công với các thông số công nghệ khác nhau đều cho thấy chất lượng bề mặt khi phay khô lớn hơn chất lượng bề mặt khi phay ướt.



Hình 4. Biểu đồ so sánh nhám bề mặt theo R_a sau khi phay ướt và phay khô

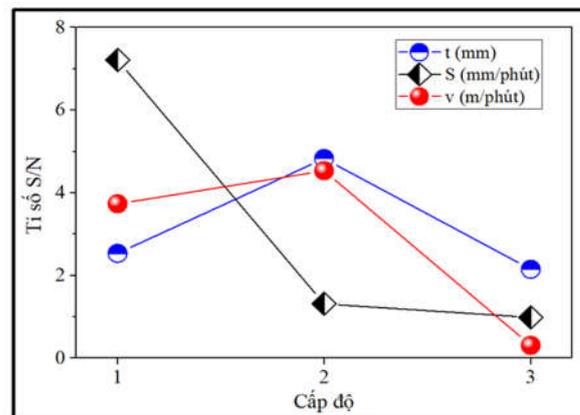


Hình 5. Biểu đồ so sánh nhám bề mặt theo R_q khi phay ướt và phay khô

Kết quả phân tích ANOVA về chất lượng bề mặt khi thực nghiệm phay ướt được thể hiện trên hình 6. Từ kết quả cho thấy lượng tiến dao cung cấp tỷ lệ S/N nhỏ nhất (0,31) tương ứng với mức 3, tiếp theo là vận tốc cắt với Tỷ lệ S/N (0,99) tương ứng với mức 3, cuối cùng chiều sâu cắt cung cấp tỷ lệ S/N nhỏ nhất (2,51) tương ứng với mức 3.

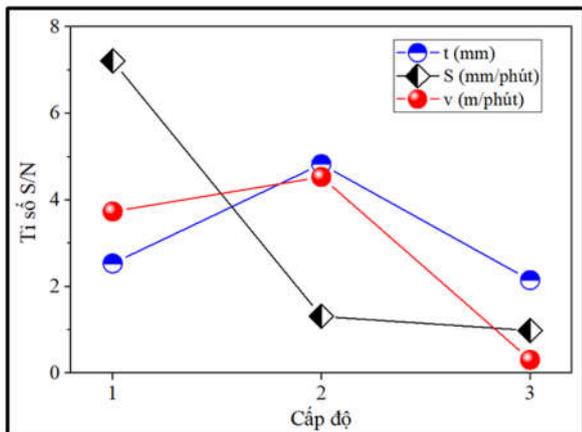
Kết quả phân tích ANOVA chất lượng bề mặt khi phay khô như mô tả trên hình 7. Từ kết quả cho thấy lượng tiến dao cung cấp tỷ lệ S/N nhỏ nhất (-3,36) tương ứng với mức 3, tiếp theo là vận tốc cắt với tỷ lệ S/N nhỏ nhất (-2,92) tương ứng với mức 3, cuối cùng chiều sâu cắt cung cấp tỷ lệ S/N nhỏ nhất (-0,78) tương ứng với mức 1. Có sự khác biệt đáng kể trong kết quả phân tích ANOVA so với quá trình phay ướt.

Yếu tố	Tỉ số S/N trung bình		
	t (mm)	S (mm/phút)	v (m/phút)
1	2,53	3,73	7,21
2	4,83	4,53	1,31
3	2,15	0,31	0,99
Trung bình	3,17	2,86	3,17
Lớn nhất	4,83	4,53	7,21
Tối ưu	221 (t yếu tố 2; S yếu tố 2; v yếu tố 1)		



Hình 6. Kết quả phân tích ANOVA nhám bề mặt khi phay ướt

Yếu tố	Tỉ số S/N trung bình		
	t (mm)	S (mm/phút)	v (m/phút)
1	-0,78	1,44	5,38
2	1,05	0,23	-1,55
3	0,63	-3,36	-2,92
Trung bình	0,30	-0,57	0,30
Lớn nhất	1,05	1,44	5,38
Tối ưu	211 (t yếu tố 2; S yếu tố 1; v yếu tố 1)		



Hình 7. Kết quả phân tích ANOVA chất lượng bề mặt khi phay khô

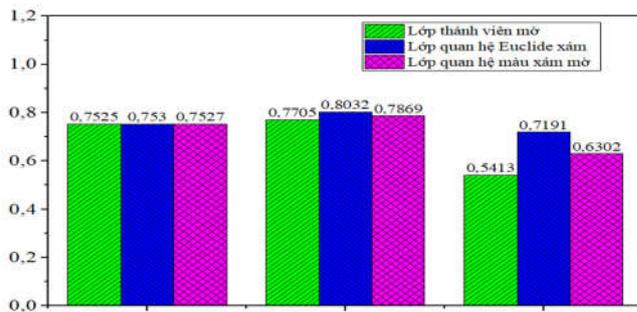
Quan hệ mờ xám FGRA được áp dụng để xác định các yếu tố tác động chính tới chất lượng bề mặt được thể hiện qua các bước sau:

Bước thứ nhất: Chất lượng bề mặt trong các điều kiện gia công khác nhau có ma trận tham chiếu là $Y(x)$ và $Z(y)$ lần lượt tương ứng với quá trình phay ướt và phay khô. Chiều sâu cắt, bước tiến dao và vận tốc cắt được lấy dưới dạng các phần tử lần lượt là $Y_1(x), Y_2(x), Y_3(x)$ và $Z_1(x), Z_2(x), Z_3(x)$ trong ma trận so sánh với phay ướt và phay khô. Ma trận tham chiếu và so sánh được mô tả như sau:

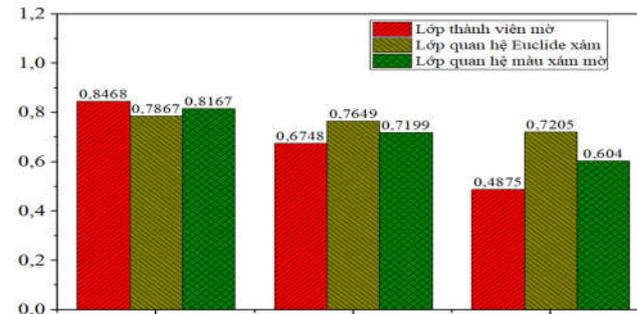
$$\begin{matrix} Y_1(x) \\ Y_2(x) \\ Y_3(x) \\ Y(x) \end{matrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 2 & 2 & 2 & 3 & 3 & 3 \\ 1 & 2 & 3 & 1 & 2 & 3 & 1 & 2 & 3 \\ 1 & 2 & 3 & 2 & 3 & 1 & 3 & 1 & 2 \\ 0,382 & 0,714 & 1,492 & 0,827 & 0,405 & 0,56 & 0,848 & 0,521 & 1,010 \end{bmatrix} \quad (11)$$

$$\begin{matrix} Z_1(x) \\ Z_2(x) \\ Z_3(x) \\ Z(x) \end{matrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 2 & 2 & 2 & 3 & 3 & 3 \\ 1 & 2 & 3 & 1 & 2 & 3 & 1 & 2 & 3 \\ 1 & 2 & 3 & 2 & 3 & 1 & 3 & 1 & 2 \\ 0,543 & 1,314 & 1,829 & 0,978 & 0,536 & 1,317 & 1,000 & 0,521 & 1,301 \end{bmatrix} \quad (12)$$

Bước thứ hai: Giá trị Cosine của hàm liên thuộc mờ được tính bằng công thức (4). Hình 8 minh họa các lớp thành viên mờ của bốn yếu tố đối với chất lượng bề mặt khi phay ướt và phay khô. Kết quả phân tích cho thấy khi phay ướt, sự thay đổi bước tiến dao được giữ ở mức cao nhất (0,7705), tiếp theo là chiều sâu cắt (0,7525), và cuối cùng là vận tốc cắt (0,5413). Kết quả phân tích khi phay khô cho thấy có sự khác biệt đáng kể so với phay ướt, sự thay đổi chiều sâu cắt giữ ở mức cao nhất (0,8468), tiếp theo là bước tiến dao (0,6748), cuối cùng là vận tốc cắt (0,4875). Như vậy, khi khảo sát với phay ướt bước tiến dao có ảnh hưởng lớn nhất tới chất lượng bề mặt, ảnh hưởng vận tốc cắt có ảnh hưởng nhỏ nhất tới chất lượng bề mặt. Trong khi đó, với quá trình phay khô, chiều sâu cắt có ảnh hưởng nhiều nhất tới chất lượng bề mặt, cũng giống như phay ướt vận tốc cắt có ảnh hưởng ít nhất tới chất lượng bề mặt.



a) Phân tích mờ xám tới nhám bề mặt khi phay ướt



b) Phân tích mờ xám tới nhám bề mặt khi phay khô

Hình 8. Kết quả phân tích mối quan hệ màu xám mờ tới nhám bề mặt khi phay ướt và khô

Bước thứ ba: Các mức quan hệ Euclide màu xám được tính bằng công thức (4) - (9) như được mô tả trong hình 8. Trong phân tích này khi khảo sát quá trình phay ướt cho tỷ lệ tương đương màu xám Euclide của các yếu tố khác nhau không nhiều. Nhưng vẫn nhận thấy khi phay ướt bước tiến dao có ảnh hưởng nhiều nhất tới chất lượng bề mặt. Với quá trình phay khô, chiều sâu cắt có ảnh hưởng nhiều nhất tới chất lượng bề mặt.

Điểm quan hệ xám mờ của các yếu tố phay cao tốc được đưa ra bởi công thức (10), như trong hình 8. Phân tích cung cấp một cách toàn diện để đánh giá tác động của các yếu tố khảo sát đến chất lượng bề mặt khi phay ướt và phay khô. Do đó, các điểm liên quan đến màu xám mờ đối với độ nhám bề mặt khi phay ướt và phay khô của ba yếu tố (chiều sâu cắt t , bước tiến dao S , vận tốc cắt v) tương ứng là 0,7527; 0,7869; 0,6302 và 0,8167; 0,7199; 0,6040. Như vậy, với quá trình phay cao tốc vật liệu có độ cứng cao khi phay ướt bước tiến dao có ảnh hưởng nhiều nhất tới chất lượng bề mặt, trong khi đó với quá trình phay khô chiều sâu cắt có ảnh hưởng nhiều nhất tới chất lượng bề mặt, trong cả hai phương pháp phay khô và phay ướt đều cho thấy vận tốc cắt có ảnh hưởng nhỏ nhất tới chất lượng bề mặt.

4. KẾT LUẬN

Quá trình thí nghiệm phay cao tốc SKD61 đã nhiệt luyện trong điều kiện gia công khô và gia công ướt được thực hiện trong nghiên cứu này. Ma trận thí nghiệm gồm chín thí nghiệm đã được thiết kế theo phương pháp Taguchi. Tại

mỗi thí nghiệm sẽ thay đổi vận tốc cắt, lượng chạy dao và chiều sâu cắt và nhám bề mặt đã được đo tại mỗi thí nghiệm. Phương pháp quan hệ mờ xám (FGRA) và phương pháp ANOVA đã được áp dụng để đánh giá mức độ ảnh hưởng của chế độ cắt đến nhám bề mặt khi phay khô và phay ướt. Một số kết luận được rút ra như sau:

1. Kết quả phân tích ANOVA về nhám bề mặt khi thực nghiệm phay ướt cho thấy lượng tiến dao cung cấp tỷ lệ S/N nhỏ nhất (0,31) tương ứng với mức 3, tiếp theo là vận tốc cắt với tỷ lệ S/N (0,99) tương ứng với mức 3, cuối cùng chiều sâu cắt cung cấp tỷ lệ S/N nhỏ nhất (2,51) tương ứng với mức 3. Độ nhám bề mặt khi phay khô cho thấy lượng tiến dao cung cấp tỷ lệ S/N nhỏ nhất (-3,36) tương ứng với mức 3, tiếp theo là vận tốc cắt với Tỷ lệ S/N nhỏ nhất (-2,92) tương ứng với mức 3, cuối cùng chiều sâu cắt cung cấp tỷ lệ S/N nhỏ nhất (-0,78) tương ứng với mức 1. Qua đó cho thấy có sự khác biệt đáng kể trong kết quả phân tích ANOVA so với quá trình phay ướt.

2. Phương pháp phân tích mờ xám (FGRA) cho thấy quá trình phay cao tốc vật liệu có độ cứng cao khi phay ướt bước tiến dao có ảnh hưởng nhiều nhất tới nhám bề mặt, trong khi đó với quá trình phay khô chiều sâu cắt có ảnh hưởng nhiều nhất tới chất lượng bề mặt, trong cả hai phương pháp phay khô và phay ướt đều cho thấy vận tốc cắt có ảnh hưởng nhỏ nhất tới chất lượng bề mặt.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Tien Dung Hoang, Nhu Tung Nguyen, Duc Quy Tran, Van Thien Nguyen, 2019. *Cutting Forces and Surface Roughness in Face-Milling of SKD61 Hard Steel*. *Strojniški vestnik - Journal of Mechanical Engineering* 65, Vol. 6, pp. 375-385.
- [2]. Nguyen Thanh Binh, Nguyen Huy Ninh, Hoang Tien Dung, 2015. *An investigation about the effect of cutting conditions to surfaces roughness when high-speed milling on the 5-axis machine UCP600*. *Vietnam Journal of Science and Technology*, 53 (5), tr. 671-678.
- [3]. Le Xuan Hung, Le Hong Ky, Tran Thi Hong, Hoang Tien Dung, Vu Thi Lien, Luu Anh Tung, Banh Tien Long, Vu Ngoc Pi, 2019. *A study on cost optimization of internal cylindrical grinding*. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology (IJMET)*, 10(1) 414-423.
- [4]. Tran T.H., et al., 2020. *A Study on Calculation of Optimum Exchanged Grinding Wheel Diameter when Surface Grinding Stainless Steel*. *Materials Science Forum*. 977: pp.3-11. DOI: 10.4028/www.scientific.net/msf.977.3.
- [5]. Trung D.D., Van Thien N., Dung H.T., 2017. *Predictive surface roughness of workpiece in surface grinding*. *Am. J. Mater. Res.* 4, 37-41.
- [6]. Eckstein M., Vrabel M., Maňková I., 2016. *Tool wear and surface roughness evolution in hole making process of Inconel 718*. In *Materials Science Forum* (Vol. 862, pp. 11-17). Trans Tech Publications Ltd.
- [7]. Gürgen S., Tali D., Kushan, M. C., 2019. *An Investigation on Surface Roughness and Tool Wear in Turning Operation of Inconel 718*. *Journal of Aerospace Technology and Management*, 11.
- [8]. Kilickap E., Yardimeden A., Çelik Y. H., 2017. *Mathematical modelling and optimization of cutting force, tool wear and surface roughness by using artificial neural network and response surface methodology in milling of Ti-6242S*. *Applied Sciences*, 7(10), 1064.
- [9]. Li Y., Zheng G., Zhang X., Cheng X., Yang X., Xu R., 2019. *Cutting force, tool wear and surface roughness in high-speed milling of high-strength steel with coated tools*. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 33(11), 5393-5398.

[10]. Molla Ramezani N., Rasti A., Sadeghi M. H., Jabbaripour B., Rezaei Hajideh M., 2016. *Experimental study of tool wear and surface roughness on high speed helical milling in D2 steel*. *Modares Mechanical Engineering*, 15(20), 198-202.

[11]. Le Hong Ky, Nhu Tung Nguyen, Do Duc Trung, Hoang Tien Dung, Le Hoang Anh, 2020. *Modeling the surface roughness in face-end milling process by using general insert at stable cutting conditions*. *Modern Physics Letters B*, ISSN (print): 0217-9849 | ISSN (online): 1793-6640.

[12]. Nguyen P.H., Banh L.T., Bui V.D., Hoang D.T., 2018. *Multi-response optimization of process parameters for powder mixed electro-discharge machining according to the surface roughness and surface micro-hardness using Taguchi-TOPSIS*. *Int. J. Data Netw. Sci.* 02, 109-119.

[13]. Wang R., Wang B., Barber G. C., Gu J., Schall J. D., 2019. *Models for prediction of surface roughness in a face milling process using triangular inserts*. *Lubricants*, 7(1), 9.

[14]. Coppini N. L., Diniz A. E., Lacerda F. S., Bonandi M., Baptista E. A., 2018. *Internal turning of sintered carbide parts: tool wear and surface roughness evaluation*. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 40(4), 216.

[15]. Jeyakumar S., Marimuthu K., Ramachandran T., 2013. *Prediction of cutting force, tool wear and surface roughness of Al6061/SiC composite for end milling operations using RSM*. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 27(9), 2813-2822.

[16]. Kundor N. F., Awang N. W., Berahim N., 2016. *Tool wear and surface roughness in machining AISI D2 tool steel*. *Indian Journal of Science and Technology*, 9(18), 20-25.

[17]. Dung H. T., Thoa P. T. T., Linh N. T., Cu Q. N., 2020. *Application of the taguchi method to investigate the effects cutting parameters and helix angle on cutting force when milling aluminum alloy Al6061 by a solid end mill tool*. *Journal of Science and Technology*, Hanoi University of Industry, Vol. 56, No. 1, 59-65.

[18]. Kasman Ş., 2013. *Multi-response optimization using the Taguchi-based grey relational analysis: a case study for dissimilar friction stir butt welding of AA6082-T6/AA5754-H111*. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 68 (1-4):795-804. doi:10.1007/s00170-012-4720-0

[19]. Singh S., 2012. *Optimization of machining characteristics in electric discharge machining of 6061Al/Al203p/20P composites by grey relational analysis*. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 63 (9-12):1191-1202. doi:10.1007/s00170-012-3984-8

[20]. Li G-D., Yamaguchi D., Nagai M., 2007. *A grey-based rough decision-making approach to supplier selection*. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 36 (9-10):1032-1040. doi:10.1007/s00170-006-0910-y

[21]. Abhang LB., Hameedullah M., 2012. *Determination of optimum parameters for multi-performance characteristics in turning by using grey relational analysis*. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 63 (1-4):13-24. doi:10.1007/s00170-011-3857-6.

[22]. Younas M., Jaffery SHI., Khan M., Khan MA., Ahmad R., Mubashar A., Ali L., 2019. *Multi-objective optimization for sustainable turning Ti6Al4V alloy using grey relational analysis (GRA) based on analytic hierarchy process (AHP)*. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 105 (1):1175-1188. doi:10.1007/s00170-019-04299-5

AUTHORS INFORMATION

**Le The Hung², Pham Van Bong¹,
Pham Thi Thieu Thoa¹, Hoang Tien Dung¹**

¹Hanoi University of Industry

²Hanoi High-Tech Vocational College