

PHÂN TÍCH VÀ TỐI ƯU HÓA THÔNG SỐ CÔNG NGHỆ KHI PHAY BỀ MẶT TRỤC VÍT CYCLOID TRÊN TRUNG TÂM CNC 5 TRỤC

ANALYSIS AND OPTIMIZATION OF TECHNOLOGY PARAMETERS
WHEN MILLING CYCLOID SURFACE OF SCREW BY FIVE- AXIS CNC CENTER

Phạm Văn Bồng¹, Hoàng Long², Phạm Văn Đông¹, Phạm Thị Thiều Thoa¹,
Đỗ Đức Trung¹, Nguyễn Huy Kiên¹, Nguyễn Thành Công¹, Hoàng Tiến Dũng^{1,*}

TÓM TẮT

Bài báo trình bày phân tích và đánh giá ảnh hưởng thông số công nghệ đến biên độ rung động và nhám bề mặt trong quá trình phay bề mặt cycloid của cặp trục vít cycloid máy nén khí áp suất 6 - 8atm, vật liệu thép 40Cr trên máy CNC 5 trục. Ứng dụng phương pháp quan hệ xám mờ (FGRA) để phân tích mức độ ảnh hưởng và tính toán thông số công nghệ hợp lý để biên độ rung động và nhám bề mặt tốt nhất trong điều kiện khảo sát. Kết quả phân tích cho thấy biên độ rung động và độ nhám bề mặt khi phay mặt xoắn vít cycloid với bốn thông số đầu vào (tốc độ trục chính, chiều cao Scallop, lượng chạy dao, chiến lược chạy dao) tương ứng là 0,6104; 0,8710; 0,6104; 0,6654 và 0,5523, 0,7737; 0,5523; 0,6580. Sử dụng phương pháp quan hệ mờ xám xác định bộ thông số công nghệ tối ưu với biên độ rung động và nhám bề mặt tốt nhất trong điều kiện khảo sát là: Tốc độ trục chính: 11000vòng/phút; chiều sâu cắt lớn nhất theo dạng Scallop: 0,002mm, lượng chạy dao: 1800mm/phút, chiến lược chạy dao: dạng Zig.

Từ khóa: Nhám bề mặt, trung tâm CNC 5 trục, vật liệu thép 40Cr, FGRA.

ABSTRACT

This paper presents the analysis and evaluation of the influence of technological parameters on the vibration amplitude and surface roughness during the milling process of the cycloid surface of the Cycloid screw pair of the 6-8atm air compressor, the 40Cr steel material on the five-axis CNC machine Center. Application of Fuzzy Grey Relation Analysis (FGRA) method to analyze the influence level and calculate reasonable technological parameters for the best vibration amplitude and surface roughness under survey conditions. The results of the vibration amplitude and surface roughness when milling the four-parameter cycloid screw face (Spindle speed, Scallop height, feed rate, machining strategy) are 0.6104; 0.8710; 0.6104; 0.6654 and 0.5523, 0.7737; 0.5523; 0.6580. Using the FGRA method to optimize technological parameters with the best vibration amplitude and surface roughness in the survey conditions results are Spindle speed: 11000rpm; Scallop height: 0.002mm, feed rate: 1800mm/min, machining strategy: Zig.

Keywords: Surface roughness, five-axis CNC machining center, 40Cr steel, FGRA.

¹Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

²Trường Đại học Bách khoa Hà Nội

*Email: tiendung@hau.edu.vn

Ngày nhận bài: 15/01/2022

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 20/02/2022

Ngày chấp nhận đăng: 25/02/2022

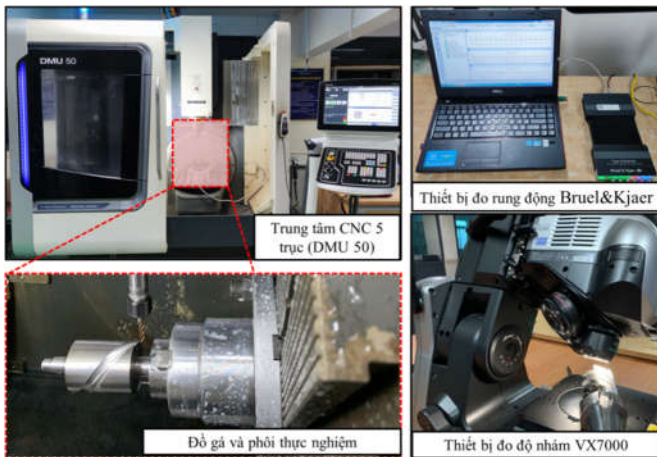
1. GIỚI THIỆU

Việc nghiên cứu ảnh hưởng của các thông số công nghệ đến rung động và chất lượng bề mặt khi phay nói chung đã được thực hiện bởi nhiều nghiên cứu [1, 2]. Tác giả E. E. K. M. H. Omar đã nghiên cứu xác định hệ số lực cắt, lực cắt và đánh giá trong quá trình gia công phay cao tốc. Trên cơ sở đó tác giả đã thực nghiệm đánh giá xác định tần số riêng của hệ dụng cụ cắt, đồ gá trong hệ thống gia công và ảnh hưởng của độ đảo dụng cụ cắt đến rung động trong quá trình gia công. Đây là cơ sở để điều chỉnh hiệu chỉnh thông số công nghệ, độ cứng vững của máy, dao và đồ gá để hệ thống gia công đảm bảo không mất ổn định trong quá trình gia công và cơ sở nghiên cứu thông số chế độ cắt ảnh hưởng đến rung động trong quá trình gia công trong tương lai [3]. 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 [4, 5], gia công tia lửa điện [6] ... Trong các nghiên cứu để dự đoán về biên độ rung động và độ nhám bề mặt gia công thường được mô hình hóa theo hai phương pháp lý thuyết và thực nghiệm. Tuy vậy, do sự phát triển của khoa học công nghệ về đo lường và xử lý dữ liệu nhiều nghiên cứu tập trung vào phương pháp mô hình hóa thực nghiệm với lượng nhân tố đầu vào ngày càng lớn. Trong phương pháp mô hình hóa thực nghiệm, có nhiều phương pháp tiếp cận đã được thực hiện để nghiên cứu về rung động và nhám bề mặt trong quá trình gia công. Tuy vậy, việc nghiên cứu mô hình hóa thực nghiệm gia công các bề mặt phức tạp còn nhiều khó khăn do động lực học gia công khá phức tạp, thiết bị đo phức tạp. 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, sử dụng cấp quan hệ xám để so sánh. Nó được phát triển bởi Deng và các cộng sự [7] và đã được ứng dụng thành công trong nhiều lĩnh vực khác nhau [8, 9]. 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 [10, 11]. Phương pháp này đã được cải tiến và phát triển thành phân tích 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. THIẾT LẬP THỰC NGHIỆM PHAY BỀ MẶT CYCLOID

Thiết lập quá trình thực nghiệm cần được xem xét và phân tích kỹ thực hiện thiết kế mô hình thực nghiệm. Bao gồm lựa chọn các thông số công nghệ, ý tưởng thí nghiệm được sử dụng để tiến hành các thí nghiệm, thiết kế và lắp đặt đồ gá sử dụng để định vị và kẹp chặt đảm bảo quá trình gia công và hệ thống thu thập dữ liệu sử dụng để thu thập các thông số giá trị rung động trong quá trình gia công. Vị trí đặt gia tốc kế và hệ thống thu thập dữ liệu về tần số, biên độ rung động và phổ tần số rung động trong quá trình gia công cắt gọt. Thí nghiệm bao gồm gia tốc kế để phân tích và xác định hàm đáp ứng tần số của dụng cụ cắt, của cơ hệ phôi và đồ gá như sơ đồ hình ảnh thực tế thí nghiệm hình 1.



Hình 1. Sơ đồ và hình ảnh thực tế thí nghiệm

2.1. Máy gia công và sơ đồ thực nghiệm

Trung tâm gia công CNC 5 trục đồng thời (DMU50) hệ điều khiển Siemens 840D: Hành trình trục X/Y/Z =500/450/400; hành trình trục B: -5 độ đến +110 độ; hành trình trục C: 360 độ; Động cơ trục chính: tốc độ trục chính từ 20 đến 14.000 (vòng/phút), công suất động cơ trục chính: 20,3kW, côn trục chính SK40 tiêu chuẩn DIN69871. Bàn làm việc: tốc độ quay trục B và C max: 20 (vòng/phút); dài dao: số dao: 16 vị trí; chiều dài dao tối đa: 300; trọng lượng dao tối đa: 6kg; tốc độ di chuyển các trục; tốc độ gia công tối đa theo các trục X/Y/Z: 30.000mm/phút; tốc độ chạy dao nhanh theo các trục X/Y/Z: 30.000mm/phút

2.2. Phôi thí nghiệm và dụng cụ cắt

Các thực nghiệm được tiến hành với vật liệu gia công thép 40Cr. Thành phần hóa học của thép 40Cr trong bảng 1, thông số hình học cơ bản của trục vít cycloid thực nghiệm được mô tả bằng 2.

Bảng 1. Thành phần hóa học của thép 40Cr

C	Si	Mn	Cr	Ni
0,37~0,44	0,17 ~ 0,37	0,50 ~ 0,80	0,80 ~ 1,10	0,30

Bảng 2. Thông số hình học cơ bản của trục vít cycloid thực nghiệm

Bề mặt	Số rãnh xoắn	Góc xoắn	Mô đun	Góc áp lực	Chiều dài phần xoắn
Cycloid	6	32°	15	20°	65 mm

Dụng cụ cắt tinh dao phay cầu gồm 2 răng cắt: UP210-B2-GESAC của Đức, đường kính Ø4mm.

2.3. Thiết bị đo độ nhám bề mặt

Kính hiển vi kỹ thuật số VHX-7000 là một hướng mới trong lĩnh vực hiển vi độ phân giải cao. Máy có chức năng phát hiện lỗi như xước, nứt, độ không đồng nhất bề mặt như sóng bề mặt, nhám bề mặt theo tiêu chuẩn ISO 4287, JIS-G0551, ISO-643, ASTM-E1382, ISO-16232, ISO25178. Độ phóng đại từ 1 đến 5000 lần; Độ chính xác phép đo: 0,12µm ở độ phóng đại 5000 lần; Phạm vi dịch chuyển theo phương Z từ 0 ÷ 46 (mm); theo phương X từ 0 ÷ 100 (mm); theo phương Y từ 0 ÷ 100 (mm); đầu đo có thể xoay một góc theo phương Y từ 60° ÷ 90°; bàn máy có thể xoay theo phương Y và theo phương X một góc ±90°. Do đó kính hiển vi kỹ thuật số VHX-7000 cho phép kiểm soát chất lượng nhanh và chính xác. Thời gian đo ngắn (vài micro giây) và tốc độ thu thập dữ liệu lên tới 20fps rất lý tưởng cho kiểm soát chất lượng ở phân xưởng. Các phép đo được thực hiện bằng cách phản xạ phụ thuộc vào đặc tính quang học của mẫu.

2.4. Thiết bị đo rung động

Mô đun thu thập dữ liệu LAN-XI có 4 đầu vào và 2 đầu ra tần số tới 51,2kHz của hãng Bruel&Kjaer Đan mạch. Mô đun phân tích PULSE FFT 7770, 1-3 kênh, PULSE FFT Analysis của hãng Bruel&Kjaer Đan Mạch. Cảm biến gia tốc 3 phương Triaxial DeltaTron Accelerometer with TEDS Type 4525-B-001 của hãng Bruel&Kjaer Đan mạch.

3. THIẾT KẾ THÔNG SỐ CHẾ ĐỘ CẮT VÀ THỰC NGHIỆM

3.1. Thông số chế độ cắt

Trong nghiên cứu này tiến hành thực nghiệm 4 thông số đầu vào: Tốc độ vòng quay trục chính (S), lượng chạy dao (f), chiến lược chạy dao (Strategy) và chiều cao Scallop khi phay tinh mặt xoắn vít cycloid bằng dao phay cầu. Trên cơ sở khuyến cáo của nhà sản xuất dụng cụ cắt khi gia công vật liệu thép 40Cr vùng thực nghiệm được xác định theo bảng 3.

Bảng 3. Thông số đầu vào thực nghiệm khi gia công phay bề mặt xoắn vít cycloid

Số thứ tự	Tốc độ trục chính (Vòng/phút)	Chiều cao Scallop (mm)	Lượng chạy dao (mm/phút)	Chiến lược chạy dao
1	8000	0,002	1300	Helical
2	8000	0,002	1300	Zig
3	8000	0,004	1300	Helical
4	8000	0,004	1300	Zig
5	8000	0,006	1300	Helical

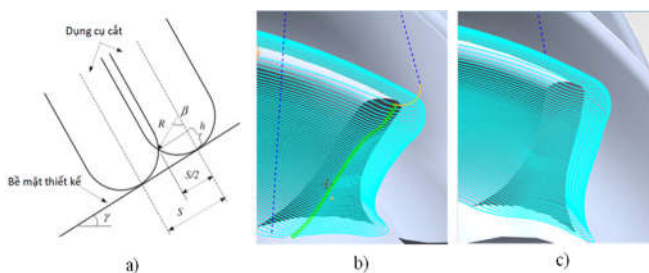
6	8000	0,006	1300	Zig
8	11000	0,002	1800	Helical
7	11000	0,002	1800	Zig
10	11000	0,006	1800	Helical
9	11000	0,004	1800	Zig
11	11000	0,004	1800	Helical
12	11000	0,006	1800	Zig

Thông số chiều cao scallop và chiến lược chạy dao cụ thể hình 2. Chiều cao Scallop (h) được xác định như sau:

$$h = R(1 - \cos\beta) \tag{1}$$

$$\beta = \sin^{-1}\left(\frac{S}{2R}\right) \tag{2}$$

Trong đó: h: Chiều cao Scallop; R: Bán kính dụng cụ cắt (mm); S: Lượng dịch theo phương hướng kính của dụng cụ cắt (mm).



Hình 2. Kết quả phân tích mối quan hệ mờ xám tới biên độ rung động
a) h: Chiều cao scallop; b) Kiểu chạy dao Helical; c) Kiểu chạy dao Zig

3.2. Phân tích kết quả thực nghiệm và tối ưu hóa

3.2.1. Phân tích kết quả thực nghiệm

Thực nghiệm gia công trục vít cycloid trên máy phay CNC 5 trục bởi dao phay cầu và đo độ nhám và rung động khi gia công kết quả được mô tả như bảng 4.

Bảng 4. Kết quả đo rung động và nhám bề mặt theo các điều kiện gia công khác nhau

Số thứ tự	Tốc độ trục chính (Vòng/phút)	Chiều cao Scallop (mm)	Lượng chạy dao (mm/phút)	Chiến lược chạy dao	Nhám bề mặt R_a (μm)	Biên độ rung động (a) (m/s^2)
1	8000	0,002	1300	Helical	0,297	8,626
2	8000	0,002	1300	Zig	0,401	9,724
3	8000	0,004	1300	Helical	0,401	9,948
4	8000	0,004	1300	Zig	0,305	11,136
5	8000	0,006	1300	Helical	0,373	12,982
6	8000	0,006	1300	Zig	0,296	9,842
8	11000	0,002	1800	Helical	0,241	6,787
7	11000	0,002	1800	Zig	0,223	6,179
10	11000	0,006	1800	Helical	0,333	9,118
9	11000	0,004	1800	Zig	0,23	9,729
11	11000	0,004	1800	Helical	0,265	11,793
12	11000	0,006	1800	Zig	0,349	8,393

Các kết quả thực nghiệm thu được trên bảng 4 được phân tích bởi FGRA nhằm tìm ra các yếu tố tác động chính tới rung động và nhám bề mặt trong gia công trục vít cycloid. Các bước phân tích gồm các trình tự như sau:

Bước thứ nhất: Biên độ rung động và chất lượng bề mặt trong các điều kiện gia công khác nhau có ma trận tham chiếu là $A(x)$ và $B(x)$. Tốc độ trục chính, chiều cao Scallop, bước tiến dao và chiến lược chạy dao được lấy dưới dạng các phần tử lần lượt là $A_1(x), A_2(x), A_3(x), A_4(x)$ và $B_1(x), B_2(x), B_3(x), B_4(x)$. Trong đó chiến lược chạy dao được mã hóa theo Helical và Zig tương ứng với 1 và 2. Ma trận tham chiếu và so sánh được mô tả như ma trận (3), (4).

Bước thứ hai: Giá trị Cosine của hàm liên thuộc mờ được minh họa như trên Hình 3 minh họa các lớp thành viên mờ của bốn yếu tố đối với biên độ rung động khi phay biên dạng trục vít. Kết quả phân tích cho thấy sự thay đổi chiều cao Scallop có trị số ở mức cao nhất (0,8728), tiếp theo là chiến lược chạy dao (0,5511) và cuối cùng tốc độ trục chính và bước tiến dao đều cho ra giá trị (0,4578). Hình 3 cho thấy kết quả phân tích với nhám bề mặt có sự tương đồng với biên độ rung động sự thay đổi chiều cao Scallop giữ ở mức cao nhất (0,7093), tiếp theo là chiến lược chạy dao (0,5207), tốc độ trục chính và bước tiến dao đều cho ra giá trị (0,3385). Như vậy, chiều cao Scallop có ảnh hưởng nhiều nhất tới biên độ rung động cũng như nhám bề mặt, trong khi đó ảnh hưởng của tốc độ vòng quay trục chính và bước tiến dao là nhỏ nhất tới biên độ rung động và nhám bề mặt khi khảo sát đồng thời 4 yếu tố trong khoảng: tốc độ vòng quay trục chính (8000 ÷ 11000 vòng/phút); chiều cao Scallop (0,002 ÷ 0,006mm); lượng chạy dao (1300 ÷ 1800 mm/phút); chiến lược chạy dao theo (Helical và Zig) với cặp vật liệu dụng cụ cắt (UP210-B2 - GESAC Đức) và vật liệu chi tiết (40Cr) gia công khi gia công mặt xoắn vít Cycloid trên máy CNC 5 trục.

Bước thứ ba: Các mức quan hệ Euclide màu xám trong phân tích biên độ rung động và nhám bề mặt như mô tả trên hình 3 và 4 cho thấy khi khảo sát quá trình phay biên dạng cycloid bởi máy phay 5 trục các yếu tố khác nhau không nhiều. Tuy nhiên kết quả vẫn cho thấy chiều cao Scallop có ảnh hưởng nhiều nhất tới biên độ rung động cũng như nhám bề mặt.

Cuối cùng: Điểm quan hệ xám mờ của các yếu tố khi phay trục vít cycloid như thể hiện trong hình 3 và 4. Phân tích cung cấp một cách toàn diện để đánh giá tác động của các yếu tố khảo sát đến biên độ rung động và nhám bề mặt. Do đó, các điểm liên quan đến màu xám mờ đối với biên độ rung động và nhám bề mặt của các yếu tố (tốc độ trục chính, chiều cao Scallop, bước tiến dao và chiến lược chạy dao) tương ứng là 0,6104; 0,8710; 0,6104; 0,6654 và 0,5523, 0,7737; 0,5523; 0,6580. Như vậy, với quá trình phay trục vít cycloid trên máy phay 5 trục chiều cao Scallop có ảnh hưởng nhiều nhất tới biên độ rung động và nhám bề mặt, tiếp theo là chiến lược chạy dao, cuối cùng tốc độ trục chính và bước tiến dao có ít ảnh hưởng nhất tới biên độ rung động và nhám bề mặt trong khoảng khảo sát.

$$\begin{matrix} A_1(x) \\ A_2(x) \\ A_3(x) \\ A_4(x) \\ A(x) \end{matrix} = \begin{bmatrix} 8000 & 8000 & 8000 & 8000 & 8000 & 8000 & 11000 & 11000 & 11000 & 11000 & 11000 & 11000 \\ 0,002 & 0,002 & 0,004 & 0,004 & 0,006 & 0,006 & 0,002 & 0,002 & 0,004 & 0,004 & 0,006 & 0,006 \\ 1300 & 1300 & 1300 & 1300 & 1300 & 1300 & 1800 & 1800 & 1800 & 1800 & 1800 & 1800 \\ 1 & 2 & 1 & 2 & 1 & 2 & 1 & 2 & 1 & 2 & 1 & 2 \\ 0,297 & 0,401 & 0,401 & 0,305 & 0,373 & 0,296 & 0,241 & 0,223 & 0,333 & 0,23 & 0,265 & 0,349 \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$\begin{matrix} B_1(x) \\ B_2(x) \\ B_3(x) \\ B_4(x) \\ B(x) \end{matrix} = \begin{bmatrix} 8000 & 8000 & 8000 & 8000 & 8000 & 8000 & 11000 & 11000 & 11000 & 11000 & 11000 & 11000 \\ 0,002 & 0,002 & 0,004 & 0,004 & 0,006 & 0,006 & 0,002 & 0,002 & 0,004 & 0,004 & 0,006 & 0,006 \\ 1300 & 1300 & 1300 & 1300 & 1300 & 1300 & 1800 & 1800 & 1800 & 1800 & 1800 & 1800 \\ 1 & 2 & 1 & 2 & 1 & 2 & 1 & 2 & 1 & 2 & 1 & 2 \\ 0,297 & 0,401 & 0,401 & 0,305 & 0,373 & 0,296 & 0,241 & 0,223 & 0,333 & 0,23 & 0,265 & 0,349 \end{bmatrix} \quad (4)$$

chuẩn hóa từng phần hồi từ 0 và 1 được gọi là tiền xử lý dữ liệu. Trong đó “càng cao càng tốt” là dạng thu được dưới dạng trình tự ban đầu, sau đó trình tự ban đầu có thể được chuẩn hóa như sau:

$$x_i^*(k) = \frac{x_i^0(k) - \min x_i^0(k)}{\max x_i^0(k) - \min x_i^0(k)} \quad (5)$$

Với trường hợp “càng nhỏ càng tốt” thu được dưới dạng trình tự ban đầu có thể được chuẩn hóa như sau:

$$x_i^*(k) = \frac{\max x_i^0(k) - x_i^0(k)}{\max x_i^0(k) - \min x_i^0(k)} \quad (6)$$

Tuy nhiên, để đạt được giá trị mục tiêu xác định trình tự ban đầu sẽ được chuẩn hóa như sau:

$$x_i^*(k) = 1 - \frac{|x_i^0(k) - x^0|}{\max x_i^0(k) - x^0} \quad (7)$$

Các giá trị chuẩn hóa và sai lệch cho các tiến trình thực nghiệm được thể hiện trong bảng 5 với hệ số quan hệ màu xám, $\xi(k)$ và có thể được tính toán như sau:

$$\xi(k) = \frac{\Delta_{\min} + \xi \Delta_{\max}}{\Delta_{0i}(k) + \xi \Delta_{\max}} \quad (8)$$

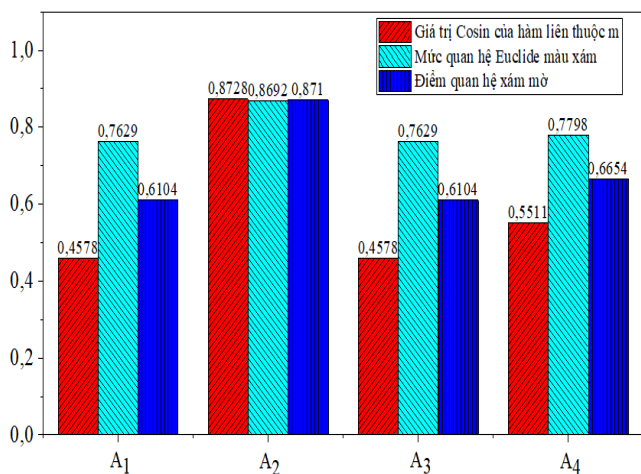
Chất lượng phân hồi từ các thí nghiệm quyết định giá trị trọng số ω_k cho mỗi thông số được ước tính với mức độ quan hệ xám mờ được biểu thị bởi công thức:

$$x_i = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \omega_k \xi_i(k) \quad (9)$$

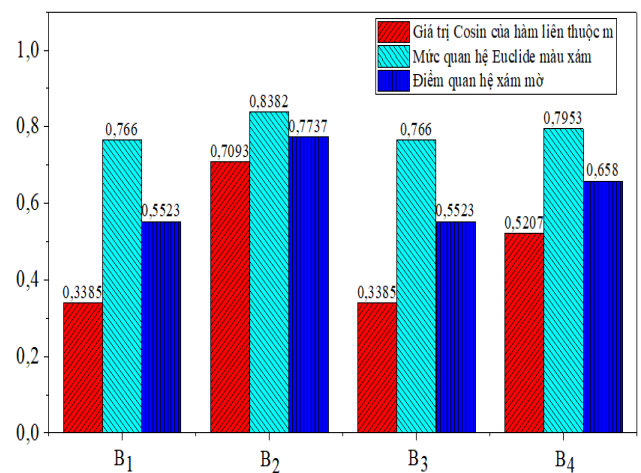
Với các thí nghiệm được tiến hành theo phân tích thực nghiệm như mô tả trên bảng 4. Quá trình tối ưu hóa được thực hiện cho FGRA, đây là phân hồi chỉ ra cho ba kết quả thử nghiệm với hệ số mức độ xám và mức độ quan hệ xám cho các lần chạy thử nghiệm được trình bày trong bảng 6.

Bảng 5. Các giá trị chuẩn hóa và độ lệch cho biên độ rung động và độ nhám bề mặt

Số thứ tự	Nhám bề mặt R_a	Biên độ rung động a	Nhỏ nhất tốt nhất		Trọng số quan hệ mờ xám		Giá trị lệch	
			R_a	a	R_a	a	R_a	a
1	0,297	8,626	0,041	40,628	0,177	0,168	0,823	0,832
2	0,401	9,724	0,010	27,836	0,333	0,226	0,667	0,774
3	0,401	9,948	0,010	25,523	0,333	0,236	0,667	0,764
4	0,305	11,136	0,038	14,930	0,193	0,284	0,807	0,716



Hình 3. Kết quả phân tích mối quan hệ mờ xám tới biên độ rung động



Hình 4. Kết quả phân tích mối quan hệ mờ xám tới nhám bề mặt

3.2.2. Tối ưu hóa với mối quan hệ mờ xám (FGRA)

Với sự trợ giúp của FGRA chỉ cần một lượng thông tin ít ỏi cũng đủ để đánh giá ngay cả với các mô hình phức tạp. Các đặc tính tốt nhất của các thông số đầu ra thu được theo các điều kiện tối ưu của các tham số đầu vào khác nhau được xác định bằng cách triển khai phân tích quan hệ xám mờ (FGRA). Quá trình chuẩn hóa là một phần của quan hệ xám mờ nhằm thu được các giải pháp chính xác trong bước tiền xử lý dữ liệu. Các trình tự được so sánh với trình tự ban đầu bằng cách

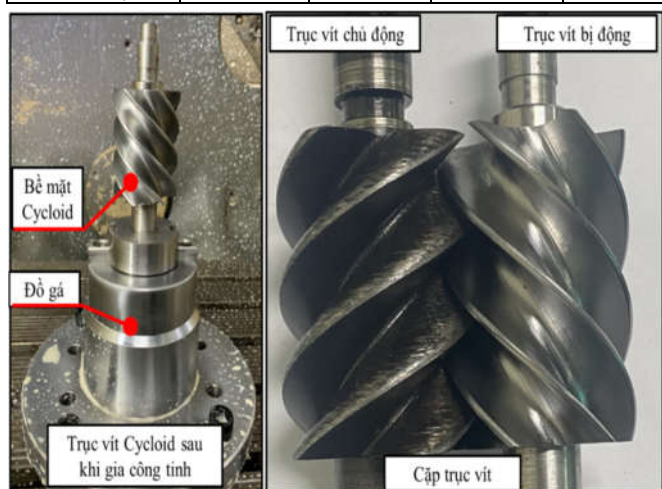
5	0,373	12,982	0,016	4,072	0,302	0,333	0,698	0,667
6	0,296	9,842	0,042	26,605	0,175	0,231	0,825	0,769
7	0,241	6,787	0,067	67,453	0,048	0,047	0,952	0,953
8	0,223	6,179	0,077	77,810	0,000	0,000	1,000	1,000
9	0,333	9,118	0,028	34,598	0,243	0,195	0,757	0,805
10	0,23	9,729	0,073	27,783	0,019	0,226	0,981	0,774
11	0,265	11,793	0,055	10,285	0,107	0,305	0,893	0,695
12	0,349	8,393	0,023	43,652	0,269	0,154	0,731	0,846

Bảng 6. Hệ số quan hệ xám mờ, cấp quan hệ xám mờ của biên độ rung động và nhám bề mặt

Số thứ tự	Cấp độ quan hệ màu xám mờ			GRG	Thứ hạng
	Hiệu số quan hệ xám mờ lớn nhất	Hiệu số quan hệ xám mờ nhỏ nhất	Giá trị trung bình		
1	0,832	0,823	0,828	0,912	9
2	0,774	0,667	0,720	0,969	3
3	0,764	0,667	0,715	0,972	2
4	0,807	0,716	0,761	0,946	4
5	0,698	0,667	0,682	0,991	1
6	0,825	0,769	0,797	0,928	8
7	0,953	0,952	0,953	0,854	11
8	1,000	1,000	1,000	0,833	12
9	0,805	0,757	0,781	0,936	5
10	0,981	0,774	0,877	0,888	10
11	0,893	0,695	0,794	0,929	7
12	0,846	0,731	0,789	0,932	6

Bảng 7. Bảng phản hồi cho các cấp độ của cấp quan hệ xám

Yếu tố	Cấp độ 1	Cấp độ 2	Cấp độ 3	Thứ hạng
Tốc độ trục chính	0,2117	0,4849	-	2
Chiều cao Scallop	0,5043	0,2923	0,2483	1
Lượng chạy dao	0,2117	0,4849	-	2
Chiến lược chạy dao	0,3100	0,3867	-	2



Hình 5. Hình ảnh cặp trục vít cycloid sau khi gia công

Các thông số GRG lớn cho thấy các thuộc tính thực thi tốt hơn và theo đó các mức mà đáp ứng lớn nhất đạt được sẽ đưa ra được thông số tối ưu cho đối tượng khảo sát. Kết quả trên bảng 7 mô tả các thông tin phản hồi khi tối ưu hóa đa mục tiêu của cấp độ xám khi phay trục vít cycloid, kết quả phân tích đều cho thấy rằng tốc độ trục chính hiển thị bởi số 2 có nghĩa là tốc độ trục chính nên được lựa chọn ở mức 11000 (vòng/phút), tiếp theo là chiều cao Scallop hiển thị ở mức 1 tương ứng với chiều cao Scallop 0,002mm. Lượng chạy dao nên được lựa chọn 1800 (mm/phút) và chiến lược chạy dao được chọn là Zig. Hình ảnh sản phẩm thực tế cặp trục vít Cycloid ứng dụng gia công theo thông số công nghệ tối ưu được mô tả trong hình 5.

4. KẾT LUẬN

Quá trình thí nghiệm phay thực tế mặt xoắn vít cycloid của cặp trục vít máy nén khí. Tại mỗi thí nghiệm sẽ thay đổi tốc độ trục chính, chiều sâu cắt lớn nhất theo dạng Scallop, lượng chạy dao và chiến lược gia công theo ma trận thực nghiệm biên độ rung động và nhám bề mặt đã được đo tại mỗi thí nghiệm. Phương pháp FGRA đã được áp dụng để đánh giá mức độ ảnh hưởng của thông số công nghệ đến biên độ rung động và nhám bề mặt khi phay bề mặt xoắn vít Cycloid trên trung tâm CNC 5 trục. Qua phân tích cho quá trình phay bề mặt xoắn vít cycloid trên trung tâm CNC 5 trục kết quả cho thấy chiều cao Scallop có ảnh hưởng nhiều nhất tới biên độ rung động cũng như độ nhám bề mặt bề mặt. Còn chiến lược chạy dao, tốc độ trục chính và lượng chạy dao có ảnh hưởng tương đồng tới biên độ rung động và độ nhám bề mặt. Trên cơ sở phương pháp FGRA đã xác định được bộ thông số công nghệ hợp lý gia công sản phẩm thực tế đạt yêu cầu kỹ thuật.

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), 671-678.
- [3]. E. E. K. M. H. Omar, 2010. *A new proceder for specific cutting force assessment in high-speed end milling*. McMaster University (Mechanical Engineering) Hamilton, Ontario.
- [4]. 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.
- [5]. 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.

[6]. 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.

[7]. 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

[8]. Singh S., 2012. *Optimization of machining characteristics in electric discharge machining of 6061Al/Al₂O₃p/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

[9]. 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

[10]. 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

[11]. 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

**Pham Van Bong¹, Hoang Long², Pham Van Dong¹,
Pham Thi Thieu Thoa¹, Do Duc Trung¹, Nguyen Huy Kien¹,
Nguyen Thanh Cong¹, Hoang Tien Dung¹**

¹Hanoi University of Industry

²Hanoi University of Science and Technology