PHÂN TÍCH RUNG ĐỘNG, MÒN DỤNG CỤ CẮT KHI TIỆN TRỤC DÀI SỬ DỤNG PHƯƠNG PHÁP TAGUCHI

ANALYSIS OF VIBRATION, CUTTING TOOL WEAR WHEN TURNING LONG SHAFT USING THE TAGUCHI METHOD

Nguyễn Thị Hương, Dương Hải Nam

Khoa Cơ khí, Trường Đại học Kinh tế - Kỹ thuật Công nghiệp

Đến Tòa soạn ngày 21/03/2024, chấp nhận đăng ngày 03/05/2024

Tóm tắt: Trong quá trình cắt gọt, rung động ảnh hưởng lớn đến chất lượng bề mặt chi tiết, nhanh chóng làm mòn và phá hỏng dụng cụ cắt cũng như máy móc. Bài báo này phân tích độ rung của dụng cụ (V_{ib}) và mòn dao (V_b) trong quá trình tiện trục dài thép cường lực AISI 4340 (34CrNiMo6) bằng phương pháp Taguchi và phân tích phương sai ANOVA. Trong quá trình thí nghiệm, tiến hành gia công với các chế độ cắt khác nhau sau đó đo mòn dao và biên độ rung từ dụng cụ cắt được truyền về máy tính để tiến hành phân tích. Kết quả đã chỉ ra bộ thông số công nghệ tối ưu khi tiện cho giá trị V_{ib} và V_b là nhỏ nhất, đồng thời cho thấy mức độ ảnh hưởng của từng tham số gia công đến rung động và mòn dao. So sánh kết quả thực nghiệm và dự đoán đã cho thấy giá trị biên độ rung động và độ mòn mặt sau là khá tương đồng.

Từ khóa: Rung động, Taguchi, ANOVA, mòn dụng cụ cắt, máy tiện.

Abstract: During the cutting process, vibration greatly affects the surface quality of parts, quickly wearing out and damaging cutting tools and machinery. This paper analyzes tool vibration (V_{ib}) and tool wear (V_b) during turning of AISI 4340 (34CrNiMo6) tempered steel using the Taguchi method and ANOVA analysis of variance. During the experiment, machining was carried out with different cutting modes, then measuring tool wear and vibration amplitude from the cutting tool was transmitted to the computer for analysis. The results showed the optimal set of technological parameters when turning for the smallest V_{ib} and V_b values, and also showed the influence of each machining parameter on vibration and tool wear. Comparing the experimental and predicted results has shown that the values of vibration amplitude and back surface wear are quite similar.

Keywords: Vibration, Taguchi, ANOVA, cutting tool wear, lathe.

1. GIỚI THIỆU

Rung động trong quá trình gia công là một trong những nguyên nhân chính làm giảm hiệu suất trong quá trình gia công chế tạo. Các rung động xảy ra trong quá trình gia công tại các bàn máy gây ra ảnh hưởng xấu đối với chất lượng bề mặt, độ chính xác kích thước, nhanh chóng làm mòn và phá hỏng dụng cụ cắt cũng như máy công cụ. Do đó, việc nghiên cứu cực tiểu hóa rung động sử dụng phương pháp Taguchi và phân tích phương sai (ANOVA) để đánh giá các ảnh hưởng của tham số gia công đối với rung động và mòn dao khi gia công là rất cần thiết. Đây là vấn đề cần được quan tâm nghiên cứu trong lĩnh vực kỹ thuật gia công chế tạo.

Thép cường lực AISI 4340 (34CrNiMo6) là vật liệu khó để gia công vì chúng có độ cứng

cao. Khả năng gia công được thực hiện tốt nhất của thép là ở điều kiện thường hóa và ram. Những vật liệu này là thép kỹ thuật tổng hợp có độ bền kéo cao dùng cho sản xuất và các bộ phận ô tô. Thép cường lực được sử dụng khi chế tạo các bộ phận như trục khớp nối dẫn động và trục quay. Thép này thường được gia công bằng quy trình mài do các tính chất cơ học của nó. Việc gia công tiện các vật liệu thép đã được nung đã thay thế một phần quy trình mài trong các ứng dụng như vậy. Để đạt được chất lượng bề mặt mong muốn tương đương với quy trình mài cần có một quy trình công nghệ cải tiến, lựa chọn tối ưu được các tham số gia công.

2. PHƯƠNG PHÁP LUẬN

2.1. Hàm tổn thất Taguchi

Phương pháp Taguchi cho phép xác định mối quan hệ giữa giá trị mục tiêu về các đặc tính hiệu suất của quá trình τ và các giá trị đo được y, như một hàm tổn thất [1]:

$$l(y) = k_c.(y - \tau)^2 \quad (1)$$

Trong đó: $k_c = C/\Delta^2$ – hằng số.

Nếu hàm mục tiêu là để thực hiện cực tiểu hóa giá trị đặc trưng, thì hàm tổn thất được xác định như sau:

$$l(y) = k_c.y^2 \quad (2)$$

Trong đó: $\tau = 0$.

2.3. Thiết kế thực nghiệm

Phương pháp Taguchi để xác định ảnh hưởng của thông số công nghệ đến giá trị trung bình và phương sai của đặc tính hiệu suất quá trình, xem quá trình này hoạt động tốt như thế nào, bằng cách sử dụng các ma trận trực giao.

Ma trận trực giao 3 mức và có 3 thông số ảnh hưởng: $L_9/3$ (xem bảng 1) [3].

Bảng 1. Ma trận trực giao

Số thí nghiệm	v	f	t
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

v: vận tốc cắt;

f: lượng chạy dao;

t: chiều sâu cắt.

Sử dụng cho các thử nghiệm và phân tích dữ liệu thu được. S/N (Tín hiệu/Nhiễu) được sử dụng để phân tích kết quả thực nghiệm. Yếu tố S này chỉ ra giá trị thực tế của hệ thống và yếu tố N này chỉ ra một yếu tố không được bao gồm trong thiết kế thí nghiệm, "nhỏ hơn là tốt hơn" được sử dụng. Công thức tỷ lệ tín hiệu nhiễu S/N được thể hiện trong phương trình (3) [2].

$$\eta_i = \frac{S}{N} = -10\log\left(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} y_1^{\,2}\right) \quad (3)$$

n : số thí nghiệm lặp lại (n=3);

y_i : giá trị rung động đối với một thí nghiệm.

2.4. Phân tích phương sai

Bài cáo sử dụng phương pháp phân tích ANOVA để xác định ảnh hưởng của các thông số gia công đến V_{ib} và V_b. Từ các số liệu thực nghiệm được tiến hành trong các thí nghiệm, tiến hành đi phân tích phương sai để chỉ ra yếu tố tác động lớn nhất đến rung động V_{ib} và mòn dao V_b. Qua đó có điều chỉnh thích hợp khi gia công để giảm được rung động V_{ib} và mòn dao V_b khi gia công.

3. THỰC NGHIỆM VÀ PHÂN TÍCH KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

3.1. Bài toán nghiên cứu

Việc đánh giá ảnh hưởng rung động đến mòn dao được thực hiện theo phương pháp Taguchi và các số liệu thực nghiệm được xử lý theo phương pháp phân tích phương sai ANOVA.

3.2. Bài toán nghiên cứu

3.2.1. Lựa chọn giá trị các thông số công nghệ

- Máy tiện: CLK6140D/2.

Bảng 2. Thông số kỹ thuật chính của máy

STT	Thông số kỹ thuật	Đơn vị	CLK6140D/2
1	Hành trình trục X	mm	230
2	Hành trình trục Z	mm	550
3	Tốc độ quay trục chính	vòng/ phút	2000
4	Tốc độ chạy dao nhanh trục X	m/ phút	6
5	Tốc độ chạy dao nhanh trục Z	m/ phút	8
6	Số dao	Vị trí	4
7	Khoảng cách tâm	mm	750
8	Công suất động cơ trục chính	kW	5,5



Hình 1. Máy tiện CNC

- Dao

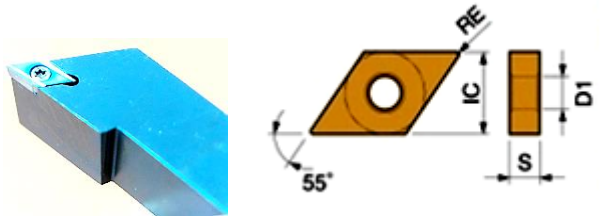
Lưỡi cắt được sử dụng là mảnh dao hợp kim ký hiệu DNMG150408PQ CA525 Kyocera – Nhật. Thân dao MTJNL 2525 M1604. Các thông số dao được ghi trong hình 3.

- Vật liệu thí nghiệm

Mẫu phôi dùng trong thí nghiệm (hình 2) dạng hình trụ đặc có đường kính 33 mm và chiều dài L = 250 mm, đã được khoan lỗ chống tâm. Vật liệu mẫu là thép AISI 4340 (34CrNiMo6) có thành phần như trong bảng 3. Các mẫu này đã được áp dụng quá trình xử lý nhiệt tiền nhiệt ở nhiệt độ 800^{o}C trong khoảng 3 đến 4 giờ, sau đó tại 880^{o}C (nhiệt độ austenit) trong 2 giờ và được làm mát bằng dầu ở 70^{o}C. Sau đó, quá trình tôi làm được áp dụng tại 200^{o}C trong 2 giờ theo sau bởi quá trình làm lạnh để đạt được một cấu trúc đồng nhất và loại bỏ áp lực còn lại. Độ cứng của mẫu kiểm tra (53 HRc) đã được đo sau quá trình tôi và làm mềm. Sau đó, quá trình tôi lần thứ hai được áp dụng ở nhiệt độ 200^{o}C trong 2 giờ và thu được các mẫu kiểm tra (46 HRc).



Hình 2. Phôi dùng thí nghiệm



Hình 3. Thân dao và hạt dao dùng thí nghiệm

Bảng 3. Thành phần hoá học của vật liệu

Mác thép	C	Mn	P	S	Si	Ni	Cr	Mo
4340	0.38-0.43	0.60-0.80	0.035	0.040	0.15-0.35	1.65-2.00	0.70-0.90	0.20-0.30

Căn cứ vào catalog và thông số công nghệ trên hộp dao mà hãng chế tạo dao khuyến cáo người dùng sử dụng khi gia công nên các thực nghiệm ở đây đưa ra các thông số công nghệ được chỉ dẫn trong bảng 4.

Bảng 4. Giá trị thông số công nghệ

Các mức	v (m/ph)	f (mm/ vg)	t (mm)
Thấp	180	0,08	0,5
Trung bình	220	0,14	1
Cao	260	0,2	2

3.2.2. Thực nghiệm theo phương pháp Taguchi

▪ Ma trận trực giao theo phương pháp Taguchi

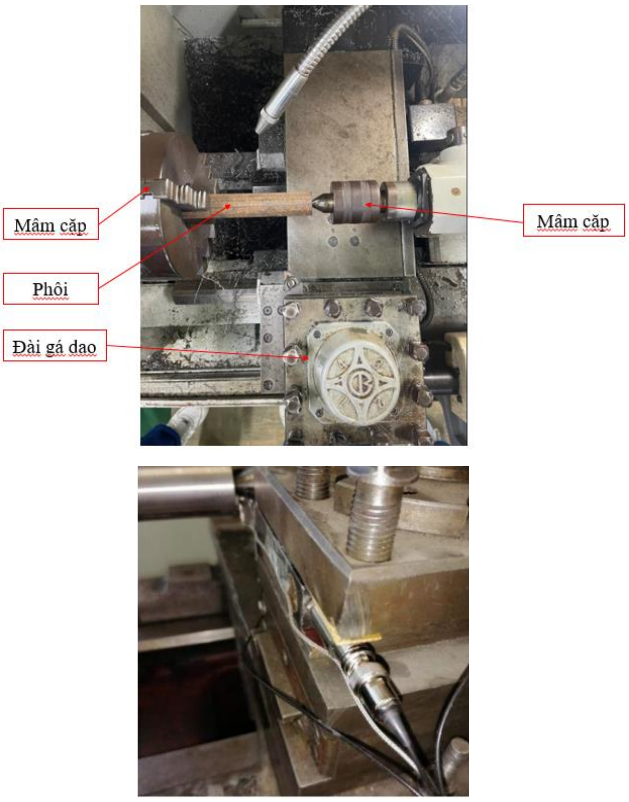
Từ bảng 1, suy ra ma trận trực giao được thiết kế theo phương pháp Taguchi (bảng 5).

Bảng 5. Ma trận thực nghiệm theo phương pháp Taguchi

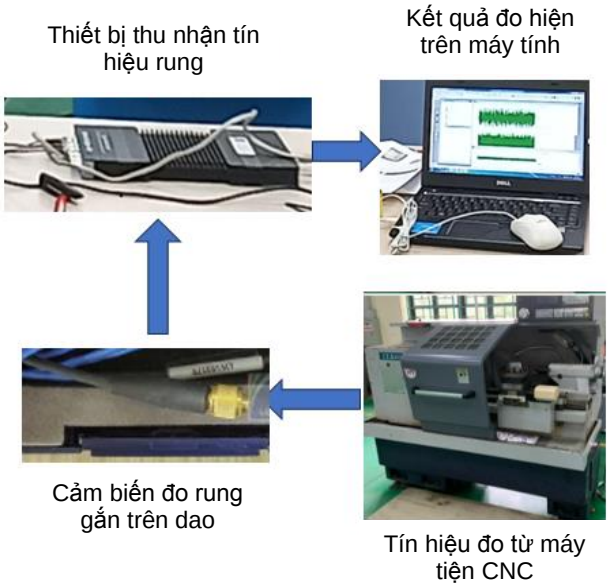
Thí nghiệm số	v (m/ph)	f (mm/vg)	t (mm)
1	180	0,08	0,5
2	180	0,14	1
3	180	0,2	2
4	220	0,08	1
5	220	0,14	2
6	220	0,2	0,5
7	260	0,08	2
8	260	0,14	0,5
9	260	0,2	1

Phần mềm Minitab 16 đã được sử dụng để phân tích các tham số gia công tối ưu.

▪ Đo độ rung của dụng cụ (V_{ib}) và đo độ mòn dao (V_b).



Hình 4. Phương án gá đặt gia công trên máy



Hình 5. Sơ đồ hệ thống và phân tích đo rung động

- Độ rung của các dụng cụ cắt ở ba hướng được đo bằng các cảm biến gia tốc có độ nhạy

là 100 mV/g và dải tần số lên đến 10 kHz. Các cảm biến gia tốc được gắn trên bộ giữ dụng cụ (hình 4).

- Đo mòn dao được đo trên kính hiển vi VHX-7000 của hãng Keyence, Nhật Bản.

Sơ đồ hệ thống và phân tích đo rung động khi tiện được trình bày trên hình (5).

3.2.3. Tính toán kết quả thực nghiệm theo phương pháp Taguchi

Để xác định mức độ ảnh hưởng của các yếu tố cần phải tính giá trị tỷ lệ tín hiệu nhiễu η bằng tỷ lệ S/N được tính toán theo công thức (3) và được ghi vào bảng 6.

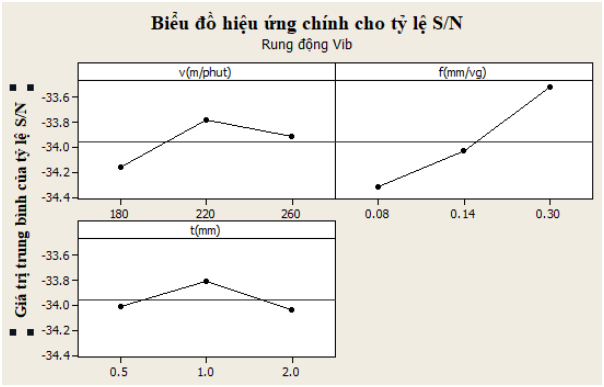
Bảng 6. Giá trị tỷ lệ tín hiệu nhiễu η

TT	Tốc độ cắt	Bước tiến dao	Chiều sâu cắt	Rung động	Tỷ lệ S/N cho	Mòn dụng cụ Vb (mm)		Tỷ lệ S/N cho	Dự đoán
	v (m/phút)	f (mm/vg)	t(mm)	Vib (gRMS)	Vib	Thực nghiệm	Dự đoán	Vb (mm)	Vib (gRMS)
1	180	0,08	0,5	0,0022	53,151	0,10	0,098	20,000	0,0021
2	180	0,14	1	0,0030	50,457	0,13	0,122	17,721	0,0025
3	180	0,20	2	0,0033	49,629	0,16	0,168	15,917	0,0039
4	220	0,08	1	0,0029	50,752	0,19	0,172	14,425	0,0027
5	220	0,14	2	0,0034	49,370	0,23	0,225	12,765	0,0036
6	220	0,20	0,5	0,0047	46,558	0,25	0,233	12,041	0,0047
7	260	0,08	2	0,0025	52,041	0,27	0,262	11,373	0,0027
8	260	0,14	0,5	0,0028	51,056	0,32	0,303	9,897	0,0031
9	260	0,20	1	0,0050	46,020	0,35	0,350	9,118	0,0044

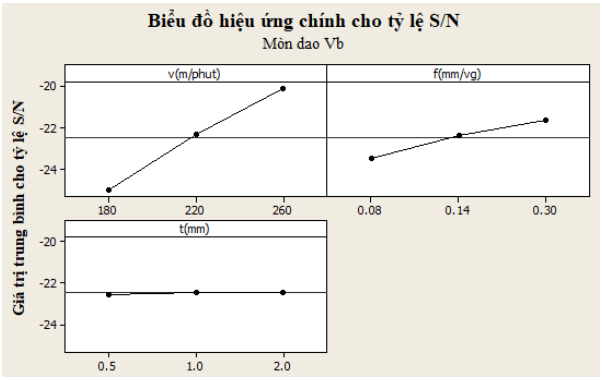
Bảng 7. Bảng phản hồi S/N cho Vib và Vb

Vib (gRMS)				Vb (mm)		
Cấp độ	v(mm/phút)	f (mm/vg)	t(mm)	v(mm/phút)	f(mm/vg)	t (mm
1	51.08	51.98	50.26	17.88	15.27	13.98
2	48.89	50.29	49.08	13.08	13.46	13.76
3	49.71	47.4	50.35	10.13	12.6	13.35
Tổng	2.19	4.58	1.27	7.75	2.67	0.63
Thứ hạng	2	1	3	1	2	3

Rung động và mòn dao nhỏ nhất đạt được khi giá trị của các biến ở mức có S/N nhỏ nhất. Từ bảng số 7 cho thấy yếu tố của tốc độ tiến dao ảnh hưởng nhiều nhất đến rung động, sau đó là vận tốc cắt, chiều sâu cắt ảnh hưởng ít nhất đến rung động, thông số công nghệ tối ưu cho rung động nhỏ nhất là v2f3t2 với vận tốc v = 220 m/phút, lượng chạy dao f = 0,2 mm/vg và chiều sâu cắt t = 1 mm. Yếu tố vận tốc cắt ảnh hưởng nhiều nhất đến mòn dao (Vb), sau đó đến lượng chạy dao, chiều sau cắt sẽ tác động ít nhất đến rung động, thông số công nghệ tối ưu cho mòn dao nhỏ nhất là v3f3t3 với vận tốc v = 260 m/phút, lượng đưa phôi f = 0,2 mm/vg và chiều sâu cắt t = 2 mm. Áp dụng phân tích S/N trên phần mềm Minitab cho biểu đồ hiệu ứng chính của tỷ lệ S/N cho rung động (Vib) và mòn dao (Vb) (hình 6).



a.Vib



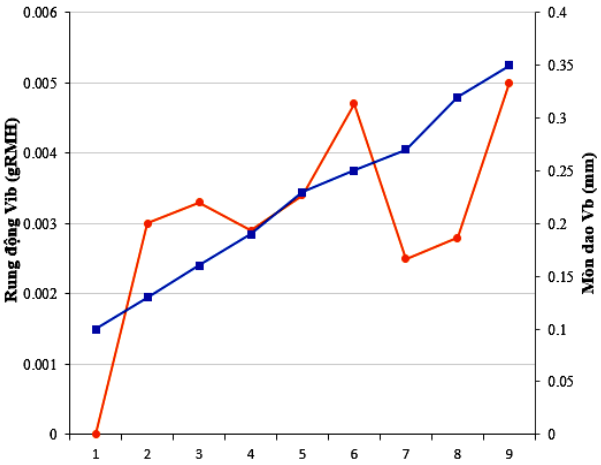
b.Vb

Hình 6. Biểu đồ hiệu ứng chính cho tỷ lệ S/N (a); Vib (b)

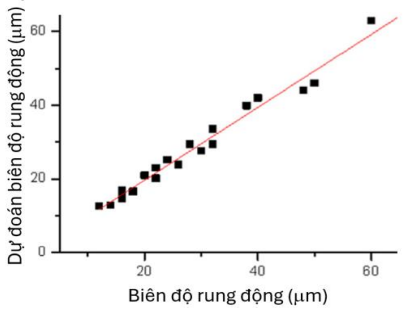
Bảng 8. Bảng ANOVA

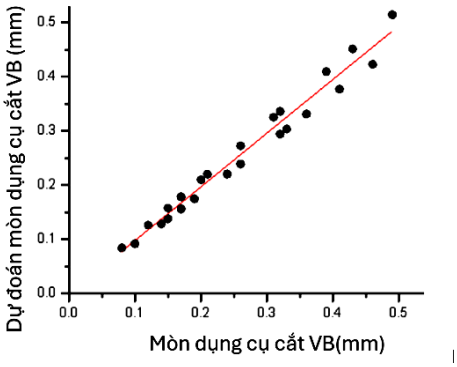
Nguồn	Bậc tự do (DF)	Tổng bình phương (SS)	Bình phương trung bình (MS)	Giá trị F	Giá trị P	Sự đóng góp (%)
Vib						
v	2	0.0000011	0.0000006	2.40	0.294	15.08
f	2	0.0000051	0.0000026	11.10	0.083	70.83
t	2	0.0000005	0.0000003	1.10	0.476	6.94
Lỗi	2	0.0000005	0.0000002			6.94
Tổng	8	0.0000072				100
S = 0.000480740			R-Sq = 93.59%			R-Sq(adj) = 74.35%
Vb						
v	2	0.0504222	0.0252111	324.14	0.003	87.91
f	2	0.0067556	0.0033778	43.43	0.023	11.78
t	2	0.0000222	0.0000111	0.14	0.875	0.04
Lỗi	2	0.0001556	0.0000778			0.27
Tổng	8	0.0573556				100
S = 0.00881917			R-Sq = 99.73%			R-Sq(adj) = 98.92%

Từ bảng ANOVA cho thấy tốc độ chạy dao (f) là thông số tác động lớn nhất đến rung động, với tỷ lệ tác động là 70,83%, tiếp sau đó là vận tốc cắt (v) là 15.08 %, thông số kém hiệu quả nhất là chiều sâu cắt (t) với 6,94%. Với giá trị mòn dao Vb, thông số tác động lớn nhất là tốc độ cắt (v) ở mức 87,91%. Tiếp sau đó là tốc độ tiến dao với mức 11,78 % và thông số có ít ảnh hưởng nhất đến Vb là chiều sâu cắt (t) với 0,04%. Mối quan hệ rung động và mòn dao thể hiện trong hình 7. Nghiên cứu chỉ ra có thể sử dụng dữ liệu từ các tín hiệu rung để dự đoán độ mòn của dụng cụ thông qua biên độ rung động. Hình 8 cho thấy biểu đồ so sánh các giá trị thực nghiệm và giá trị dự đoán quan sát được trong nghiên cứu. Các kết quả đã chứng minh có thể dự đoán các giá trị của biên độ rung động và độ mòn mặt sau gần với thông số thực nghiệm với khoảng tin cậy 95%. Do vậy, phương pháp dự đoán được lựa chọn là hoàn toàn phù hợp.



Hình 7: Biểu đồ mối quan hệ rung động và mòn dao





Hình 8. Biểu đồ mối quan hệ biên độ rung động, mòn dao thực nghiệm với dự đoán

4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu cho thấy mức độ ảnh hưởng của của tốc độ tiến dao, tốc độ cắt, chiều sâu cắt đến rung động V_{ib} và mòn dao V_b. Thông số chính ảnh hưởng đến rung động V_{ib} là tốc độ tiến dao, còn vận tốc cắt là thông số gia công chính ảnh hưởng đến giá trị V_b. Vb tăng thì vận tốc cắt tăng, còn V_{ib} tăng lên khi tăng tốc độ tiến dao.

Kết quả ANOVA cho thấy tốc độ chạy dao (f) là thông số tác động lớn nhất đến rung động, với tỷ lệ tác động là 70,83%, thông số kém hiệu quả nhất là chiều sâu cắt (t) với 6,94%. Với giá trị mòn dao V_b, thông số hiệu quả nhất là tốc độ cắt (v) ở mức 87,91%, thông số có ít ảnh hưởng nhất đến V_b là chiều sâu cắt (t) với 0,04%.

Với rung động, yếu tố tác động quan trọng nhất theo thứ tự lần lượt là tốc độ tiến dao F, tốc độ quay trục chính, chiều sâu cắt, thông số công nghệ tối ưu cho rung động là nhỏ nhất $v_2f_3t_2$ với vận tốc v = 220 m/phút, lượng đưa phôi f = 0,2 mm/vg và chiều sâu cắt t = 1 mm. Với mòn dao, yếu tố tác động quan trọng nhất theo thứ tự lần lượt là tốc độ quay trục chính V, tốc độ tiến dao F, chiều sâu cắt t, thông số công nghệ tối ưu cho mòn dao là nhỏ nhất $v_3f_3t_3$ với vận tốc v = 260 m/phút, lượng đưa phôi f = 0,2 mm/vg và chiều sâu cắt t = 2 mm.

Các kết quả so sánh giữa kết quả dự đoán và kết quả thực nghiệm thu được đã chứng minh khả năng dự đoán các giá trị của biên độ rung động và độ mòn mặt sau gần với thông số thu được bởi thực nghiệm với khoảng tin cậy 95%. Nghiên cứu này cho thấy khi gia công tiện trục dài kết quả thực nghiệm và dự đoán trên đây là hoàn toàn tương đồng.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Nguyễn Hữu Lộc, Giáo trình quy hoạch và phân tích thực nghiệm, trang 299-320, NXB Đại học Quốc gia, TP Hồ Chí Minh, (2021).

[2] Nguyễn Văn Dự, Nguyễn Đăng Bình, Quy hoạch và phân tích thực nghiệm trong kỹ thuật, trang 225-229, NXB Khoa học và Kỹ thuật, (2011).

[3] Trần Văn Khiêm, Phương pháp Taguchi và ứng dụng trong tối ưu hoá chế độ cắt, Tạp chí Cơ khí Việt Nam, Số 4, trang 76-82, (2010).

[4] Prashant D Kamble, Atul C Waghmare, Application of hybrid Taguchi-Grey relational analysis (HTGRA) multi-optimization technique to minimize surface roughness and tool wear in turning AISI4340 steel, page 1-6, ECS Sensor Plus, (2021).

[5] Viktor Lapshin, Experimental Complex for Assessing the Effect of Wear on the Temperature and Vibration of the Tool when Turning Metals, page 1-6, Journal of Physics: Conference Series, (2019).

Thông tin liên hệ: **Nguyễn Thị Hương**
Điện thoại: 0867.001.268 - Email: nthuong.ck@uneti.edu.vn
Khoa Cơ khí, Trường Đại học Kinh tế - Kỹ thuật Công nghiệp.