TỐI ƯU HÓA ĐA MỤC TIÊU CHẾ ĐỘ SỬA ĐÁ KHI MÀI TRÒN NGOÀI THÉP 90CrSi ĐÃ QUA TÔI BẰNG PHƯƠNG PHÁP TAGUCHI VÀ PHÂN TÍCH QUAN HỆ XÁM

Hoàng Xuân Tứ*, Nguyễn Thị Tuyết Minh

Tóm tắt: *Nghiên cứu này nhằm mục đích tối ưu hóa đa mục tiêu chế độ sửa đá khi mài tròn ngoài thép 90CrSi đã qua tôi bằng phương pháp quy hoạch thực nghiệm Taguchi và phân tích quan hệ xám. Với bộ 6 thông số công nghệ sửa đá được quy hoạch sử dụng ma trận thí nghiệm L_{16} ($4^{\wedge 4}x2^{\wedge 2}$). Phương pháp Taguchi kết hợp với phân tích quan hệ xám được áp dụng để giải bài toán tối ưu hóa đa mục tiêu. Kết quả nghiên cứu đã xác định được chế độ sửa đá để đạt được nhám bề mặt là nhỏ nhất và tuổi bền của đá mài là lớn nhất, cụ thể là chiều sâu sửa đá thô 0,025 mm, số lượt sửa đá thô 2 lượt, số lượt sửa đá tinh 2 lượt, chiều sâu sửa đá tinh 0,005 mm, số lượt chạy không ăn dao 3 lượt và lượng chạy dao dọc là 1,8 m/phút. Với bộ thông số tối ưu, nghiên cứu cũng đã đưa ra được kết quả dự đoán đối với các mục tiêu được khảo sát đồng thời mô hình nghiên cứu thực nghiệm được tính toán kiểm chứng và cho ra kết quả là phù hợp.*

Từ khóa: Mài tròn ngoài; Tối ưu hóa; Chế độ sửa đá; Taguchi.

1. MỞ ĐẦU

Mài là một nguyên công quan trọng trong sản xuất gia công cơ khí để đảm bảo chất lượng gia công lần cuối. Do vậy, chất lượng của sản phẩm phụ thuộc rất nhiều vào quá trình mài. Quá trình mài là một quá trình phức tạp, do đá mài tập hợp bởi vô số các lưỡi cắt được phân bố một cách ngẫu nhiên và hình dạng lưỡi cắt cũng không cố định [1]. Với đặc điểm đó, khả năng cắt của đá mài và chất lượng bề mặt gia công, nhiệt cắt và tuổi thọ của đá mài cũng phụ thuộc rất nhiều vào chế độ sửa đá [2].

Tầm quan trọng của chế độ sửa đá cũng đã được rất nhiều nhà nghiên cứu quan tâm để tìm ra chế độ hợp lý nhằm nâng cao năng suất cũng như chất lượng của quá trình mài. Như trong nghiên cứu của Dadaso D, Mohite và các cộng sự đã sử dụng phương pháp quy hoạch thực nghiệm Taguchi nhằm xác định chế độ sửa đá tối ưu khi mài ngoài thép EN19 đã cho thấy tốc độ chạy dao ngang có ảnh hưởng lớn nhất đến nhám bề mặt, sau đó là chiều sâu sửa đá, góc độ của mũi sửa đá và số lượt sửa đá có ảnh hưởng ít nhất [3]. Một số các nghiên cứu khác cũng chỉ ra chế độ sửa đá ảnh hưởng đến nhám bề mặt như nghiên cứu của Lu Zhang khi mài phẳng vật liệu nhôm [4], nghiên cứu của P. Puerto khi mài phẳng thép F-5229 [5], khi mài thép SKD11 của Hoàng Tiến Dũng [6]. Chế độ sửa đá không chỉ ảnh hưởng đến chất lượng bề mặt mà còn ảnh hưởng tới tốc độ bóc tách vật liệu [7-9].

Qua các nghiên cứu đã cho thấy, chế độ sửa đá có ảnh hưởng lớn đến nhiều chỉ tiêu đầu ra của quá trình mài như chất lượng bề mặt, tốc độ bóc tách vật liệu hay độ mòn đá. Tuy nhiên, để đảm bảo tối ưu hóa các chỉ tiêu kinh tế kỹ thuật cần phải đảm bảo hài hòa giữa các yếu tố về chất lượng chi tiết gia công và lợi nhuận là lớn nhất. Cũng đã có một số nghiên cứu ứng dụng các phương pháp quy hoạch thực nghiệm nhằm tối ưu hóa đa mục tiêu quá trình mài. Như trong các nghiên cứu của Lưu Anh Tùng và Trần Thị Hồng khi mài phẳng thép 90CrSi [10, 11], hay trong nghiên cứu khi mài lỗ của Lê Xuân Hưng [12].

Nghiên cứu này nhằm tối ưu hóa chế độ công nghệ sửa đá (gồm 6 thông số: Chiều sâu sửa đá thô, số lần sửa đá thô, chiều sâu sửa đá tinh, số lần sửa đá tinh, số lần chạy không ăn dao và tốc độ chạy dao ngang khi sửa đá), khi mài tròn ngoài thép 90CrSi đã qua tôi đến nhám bề mặt và tuổi bền của đá mài.

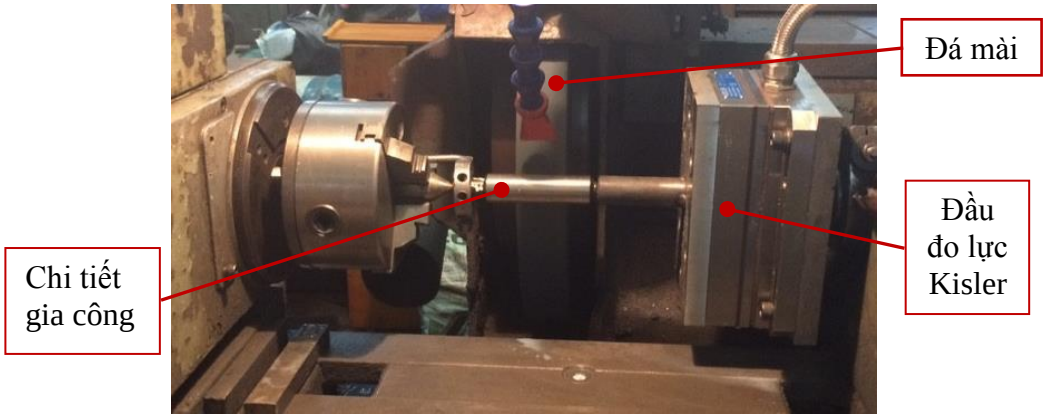
2. THIẾT KẾ THÍ NGHIỆM

2.1. Máy và trang thiết bị thí nghiệm

Thí nghiệm được tiến hành dựa trên các thiết bị và dụng cụ đo kiểm được liệt kê trong bảng 1. Chế độ công nghệ mài được giữ cố định trong mỗi thí nghiệm với chiều sâu cắt tổng cộng t = 0, 1 mm, tốc độ chạy dao dọc 1 m/phút, tốc độ chạy dao ngang 0,01 mm/hành trình, tốc độ cắt 29 m/s.

Bảng 1. *Trang thiết bị thí nghiệm.*

Thiết bị thí nghiệm	
Máy mài	CONDO-Hi-45 HTS (Nhật Bản)
Đá mài	Cn80MV1 400x40x203 (Việt Nam)
Dụng cụ sửa đá	Kim cương nhiều hạt 3908-0088C type 2 (Nga)
Máy đo độ nhám	Mitutoyo SJ-201 (Nhật Bản)
Đầu đo lực	Kisler Type 5233A (Đức)
Chi tiết gia công	Thép 90CrSi, 58-62 HRC, ∅22x115



Hình 1. *Hệ thống thí nghiệm.*

2.2. Quy hoạch thực nghiệm

Để đánh giá ảnh hưởng của các thông số công nghệ sửa đá đến chất lượng bề mặt và tuổi thọ của đá mài. 6 thông số sửa đá đã được lựa chọn gồm chiều sâu sửa đá thô, số lần sửa đá thô, chiều sâu sửa đá tinh, số lần sửa đá tinh, số lần chạy không ăn dao và tốc độ chạy dao ngang khi sửa đá. Thí nghiệm được thiết kế dựa trên phương pháp quy hoạch thực nghiệm Taguchi (L16 $4^{\wedge 4}x2^{\wedge 2}$) với các thông số và các mức được biểu diễn trong bảng 2.

Bảng 2. *Các thông số đầu vào và mức khảo sát.*

Thông số	**Ký hiệu**	**Đơn vị**	**Mức**			
			1	2	3	4
Chiều sâu sửa đá thô	a_c	mm	0.02	0.025	0.03	0.035
Số lượt sửa đá thô	n_c	lượt	1	2	3	4
Chiều sâu sửa đá tinh	a_f	mm	0.005	0.01	-	-
Số lượt sửa đá tinh	n_f	lượt	0	1	2	3
Số lượt chạy không ăn dao	n_0	lượt	0	1	2	3
Tốc độ chạy dao dọc	S_d	mm/phút	1.5	1.8	-	-

Quy hoạch thực nghiệm được thiết kế bởi phần mềm MiniTab R18, với 4 thông số 4 mức và 2 thông số 2 mức, ma trận thí nghiệm L_{16} ($4^{\wedge 4}x2^{\wedge 2}$) được thiết lập để khảo sát ảnh hưởng của các thông số đầu vào đến nhám bề mặt và tuổi bền của đá mài. Mỗi thí nghiệm được tiến hành với chế độ mài cố định như trong thiết kế thí nghiệm. Thiết bị đo lực Kisler được lắp đặt để đo lực

cắt trong suốt quá trình mài, tuổi bền của đá mài (tính bằng phút) được xác định khi lực cắt tăng vọt biểu thị khả năng cắt của đá mài đã hết và cần sửa đá mài. Các chi tiết mài được trong mỗi thí nghiệm được tiến hành đo độ nhám. Bảng quy hoạch thực nghiệm và các kết quả thí nghiệm đo được mô tả trong bảng 3.

Bảng 3. *Ma trận thí nghiệm và kết quả đo.*

TT	Thông số						Nhám bề mặt trung bình $\overline{Ra}$ (μm)			Tuổi bền của đá mài $\overline{T}$ (phút)		
	a_c	n_c	n_f	n_0	a_f	S_d	Lần đo			Lần đo		
							1	2	3	1	2	3
1	0.020	0	0	0	0.005	1.5	0.420	0.418	0.410	24.3	24.5	24.0
2	0.020	1	1	1	0.005	1.8	0.357	0.355	0.348	27.5	27.8	27.2
3	0.020	2	2	2	0.010	1.5	0.312	0.325	0.318	26.7	26.9	26.3
4	0.020	3	3	3	0.010	1.8	0.338	0.336	0.342	25.8	26.0	25.9
5	0.025	0	1	2	0.010	1.8	0.320	0.322	0.319	27.1	27.5	27.2
6	0.025	1	0	3	0.010	1.5	0.325	0.329	0.312	29.5	29.8	30.2
7	0.025	2	3	0	0.005	1.8	0.356	0.345	0.343	28.5	28.8	28.3
8	0.025	3	2	1	0.005	1.5	0.332	0.338	0.327	28.0	27.9	28.4
9	0.030	0	2	3	0.005	1.8	0.315	0.308	0.313	27.2	27.5	27.4
10	0.030	1	3	2	0.005	1.5	0.305	0.319	0.311	26.2	26.1	26.4
11	0.030	2	0	1	0.010	1.8	0.389	0.385	0.380	28.9	29.2	29.5
12	0.030	3	1	0	0.010	1.5	0.360	0.358	0.355	25.8	25.6	25.5
13	0.035	0	3	1	0.010	1.5	0.335	0.332	0.337	25.4	25.5	25.4
14	0.035	1	2	0	0.010	1.8	0.329	0.334	0.326	28.4	28.5	28.5
15	0.035	2	1	3	0.005	1.5	0.338	0.336	0.338	29.7	29.4	29.5
16	0.035	3	0	2	0.005	1.8	0.379	0.365	0.367	29.8	30.1	30.4

3. TỐI ƯU HÓA ĐA MỤC TIÊU

3.1. Xây dựng hàm mục tiêu

Để tối ưu hóa đa mục tiêu trong nghiên cứu này sử dụng phương pháp phân tích quan hệ xám kết hợp với Taguchi. Trong đó, các hàm mục tiêu đơn lẻ sẽ được khảo sát sau đó được mã hóa nhằm chuyển các tiêu chí khác nhau của các hàm mục tiêu theo một tiêu chí đồng nhất để khảo sát đó chính là dựa trên trị số quan hệ xám của các đơn mục tiêu. Để tiến hành tính toán trị số quan hệ xám của các đơn mục tiêu, trước tiên phải khảo sát ảnh hưởng của các thông số đầu vào tới từng mục tiêu một được thể hiện bằng chỉ số S/N.

Ở trong nghiên cứu này tiến hành tối ưu hóa hai mục tiêu đó là độ nhám bề mặt là nhỏ nhất và tuổi bền của đá mài là lớn nhất.

Chỉ số S/N của từng mục tiêu được xác định qua các công thức dưới đây:

Với nhám bề mặt là nhỏ nhất: $S/N = -10\log_{10}(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} y_i^2)$ (1)

Với tuổi bền của đá mài là lớn nhất: $S/N = -10\log_{10}(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} \frac{1}{y_i^2})$ (2)

Để có thể phân tích quan hệ xám, từ trị số S/N của các kết quả đầu ra cần phải chuyển đổi thành chuỗi so sánh và đại lượng không có thứ nguyên. Các kết quả được chuẩn hóa trong khoảng (0 ÷ 1). Với chỉ số S/N nhận được của các kết quả đầu ra thì, tỷ số S/N càng lớn sẽ cho kết quả đáng tin cậy nhất và ít bị ảnh hưởng bởi nhiễu nhất. Tỷ số này được chuẩn hóa bằng trị

số Z_i với $0 \le Z_i \le 1$. Z_i được xác định theo công thức dưới đây nhằm tránh sự ảnh hưởng của việc sử dụng các thứ nguyên khác nhau và để giảm sự biến đổi:

$$Z_i = \frac{S/N_i - \min\left(S/N_i, i=1,2,...,n\right)}{\max(S/N_i, i=1,2,...,n) - \min(S/N_i, i=1,2,...,n)} \quad (3)$$

Trong đó, n là số thí nghiệm, n = 16

Bảng 4. *Trị số S/N, giá trị chuẩn hóa S/N, Z_i, giá trị tuyệt đối của sai lệch Δ_i (k) và trị số quan hệ xám $\overline{y_i}$.*

TT	S/N		Zi		Δ_i (k)		Trị số quan hệ xám y_i		$\overline{y_i}$
	$\overline{Ra}$	$\overline{T}$	$\overline{Ra}$	$\overline{T}$					
			Trị số tham chiếu		$\overline{Ra}$	$\overline{T}$	$\overline{Ra}$	$\overline{T}$	
			1.000	1.000					
1	7.6177	27.6993	0.000	0.000	1.000	1.000	0.333	0.333	0.333
2	9.0358	28.7856	0.566	0.581	0.434	0.419	0.535	0.544	0.539
3	9.9411	28.5074	0.927	0.432	0.073	0.568	0.872	0.468	0.670
4	9.4043	28.2659	0.713	0.303	0.287	0.697	0.635	0.418	0.526
5	9.8879	28.7121	0.906	0.541	0.094	0.459	0.841	0.522	0.681
6	9.8407	29.4928	0.887	0.958	0.113	0.042	0.815	0.923	0.869
7	9.1672	29.1064	0.618	0.752	0.382	0.248	0.567	0.668	0.618
8	9.5677	28.9734	0.778	0.681	0.222	0.319	0.692	0.610	0.651
9	10.1165	28.7442	0.997	0.558	0.003	0.442	0.994	0.531	0.762
10	10.1247	28.3768	1.000	0.362	0.000	0.638	1.000	0.439	0.720
11	8.2979	29.3067	0.271	0.859	0.729	0.141	0.407	0.780	0.594
12	8.9303	28.1758	0.524	0.255	0.476	0.745	0.512	0.401	0.457
13	9.5076	28.1080	0.754	0.218	0.246	0.782	0.670	0.390	0.530
14	9.6381	29.0867	0.806	0.741	0.194	0.259	0.720	0.659	0.690
15	9.4388	29.4060	0.726	0.912	0.274	0.088	0.646	0.850	0.748
16	8.6269	29.5705	0.403	1.000	0.597	0.000	0.456	1.000	0.728

3.2. Xác định trị số quan hệ xám

Hệ số quan hệ xám $y_j(k)$ được xác định bằng công thức:

$$y_j(k) = \frac{\Delta_{\min}(k) + \zeta.\Delta_{\max}(k)}{\Delta_i(k) + \zeta.\Delta_{\max}(k)}, \text{ i = 1,2,…,n} \quad (4)$$

Trong đó:

- n là số thí nghiệm; k là số mục tiêu đầu ra

- $\Delta_i(k)$ là trị số tuyệt đối sai lệch của dãy tham chiếu. Được xác định theo công thức:

- $\Delta_i(k) = ||Z_0(k) - Z_i(k)||$, là giá trị tuyệt đối của sai lệch giữa $Z_0(k)$ (trị số tham chiếu $Z_0(k) = 1$) và $Z_i(k)$ (trị số Z của thí nghiệm thứ i của mục tiêu thứ k).

- $\Delta_{min}(k)$ là giá trị nhỏ nhất của $\Delta_i(k)$

- $\Delta_{max}(k)$ là giá trị lớn nhất của $\Delta_i(k)$

- ζ là hệ số phân biệt, được xác định trong khoảng $0 \le \zeta \le 1$, trong nghiên cứu thực nghiệm $\zeta = 0.5$.

Mức độ quan hệ xám được xác định qua trị số quan hệ xám trung bình của các mục tiêu đầu ra:

$$\overline{y_i} = \frac{1}{k}\sum_{j=0}^{k} y_{ij}(k) \quad (5)$$

Trong đó:

- k là số mục tiêu đầu ra.

- y_{ij} là trị số quan hệ xám của các mục tiêu đầu ra thứ j ở thí nghiệm thứ i.

Kết quả tính toán trị số quan hệ xám y_i và trị số quan hệ xám trung bình $\overline{y_i}$ của các thí nghiệm được thể hiện trong bảng 4.

3.3. Kết quả và bàn luận

Trị số quan hệ xám cao hơn sẽ thể hiện chất lượng tốt hơn. Để xác định ảnh hưởng của các thông số đầu vào đến trị số quan hệ xám, trong nghiên cứu này sử dụng phương pháp Taguchi và phần mềm Minitab 18 để phân tích kết quả tính toán với hàm mục tiêu là trị số quan hệ xám.

Bảng 5. *Ảnh hưởng của các thông số đến trị số quan hệ xám qua tỉ số S/N.*

Analysis of Variance for SN ratios

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P	C (%)
a_c	3	19.4591	19.4591	6.48637	7.87	0.255	31.46
n_c	3	10.3301	10.3301	3.44337	4.18	0.342	16.70
n_f	3	5.2327	5.2327	1.74425	2.12	0.459	8.46
n_0	3	24.8297	24.8297	8.27656	10.04	0.227	40.14
a_f	1	0.0087	0.0087	0.00873	0.01	0.935	0.01
S_d	1	1.1678	1.1678	1.16775	1.42	0.445	1.89
Residual Error	1	0.8242	0.8242	0.82420			1.33
Total	15	61.8523					

Từ kết quả phân tích ảnh hưởng của các thông số đến trị số quan hệ xám trong bảng 5 cho thấy: số lượt chạy không ăn dao n_0 có ảnh hưởng lớn nhất tới trị số quan hệ xám $\bar{y}$ với 40,14 %, tiếp đó là ảnh hưởng của chiều sâu sửa đá thô a_c với 31,46%, ảnh hưởng của các thông số còn lại lần lượt là: số lượt sửa đá thô n_c (16,7%), số lượt sửa đá tinh n_f (8,46%), lượng chạy dao dọc S_d (1,89%) và chiều sâu sửa đá tinh a_f có ảnh hưởng không đáng kể tới $\bar{y}$ (0,01%).

Thứ tự theo mức độ ảnh hưởng của các thông số đến trị số quan hệ xám cũng được thể hiện rõ trong bảng 6.

Bảng 6. *Thứ tự ảnh hưởng của các thông số đến trị số quan hệ xám* $\overline{y}$.

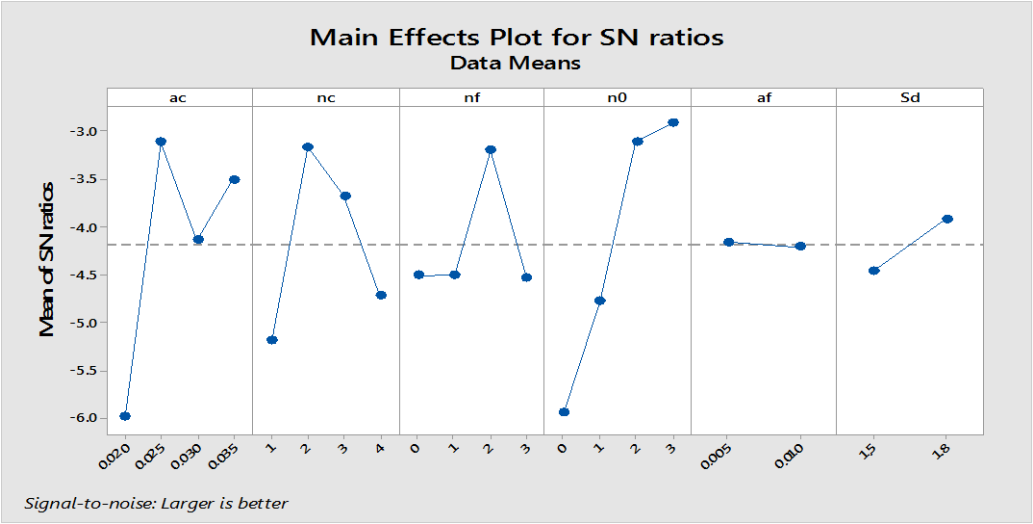
Response table for Means

Level	a_c	n_c	n_f	n_0	a_f	S_d
1	0.5173	0.5768	0.6310	0.5244	0.6375	0.6224
2	0.7049	0.7045	0.6065	0.5786	0.6272	0.6423
3	0.6331	0.6574	0.6934	0.6997		
4	0.6740	0.5906	0.5985	0.7266		
Delta	0.1876	0.1278	0.0949	0.2022	0.0103	0.0199
Rank	2	3	4	1	6	5

Trị số quan hệ xám trung bình 0.632

Để xác định được bộ thông số tối ưu ứng với trị số quan hệ xám lớn nhất, dựa vào biểu đồ phân tích ảnh hưởng của các thông số đến $\overline{y}$.

Từ biểu đồ ở hình 2 cho thấy, với mỗi thông số đầu vào những mức khảo sát cho trị số $\overline{y}$ cao nhất là giá trị tối ưu. Do vậy, bộ thông số tối ưu đa mục tiêu trong trường hợp này có thể được xác định, cụ thể trong bảng 7.



Hình 2. *Biểu đồ ảnh hưởng của các thông số đến tỉ số S/N của trị số quan hệ xám trung bình.*

Bảng 7. *Chế độ công nghệ sửa đá tối ưu.*

Thông số công nghệ sửa đá	**Ký hiệu**	**Đơn vị**	**Mức tối ưu**	**Giá trị tối ưu**
Chiều sâu sửa đá thô	a_c	mm	2	0,025
Số lượt sửa đá thô	n_c	lượt	2	2
Số lượt sửa đá tinh	n_f	lượt	3	2
Số lượt chạy không ăn dao	n_0	lượt	4	3
Chiều sâu sửa đá tinh	a_f	mm	1	0.005
Lượng chạy dao dọc	S_d	m/phút	2	1.8

Với bộ thông số tối ưu nhận được có thể tính toán dự đoán kết quả của các hàm mục tiêu bằng cách sử dụng phần mềm Minitab 18 với phân tích dự đoán kết quả sử dụng phương pháp Taguchi.

Bảng 8. *Giá trị phân tích dự đoán của các mục tiêu ứng với bộ thông số sửa đá tối ưu.*

Predicted values

Prediction

Respons	S/N Ratio	Mean	StDev
Ra (μm)	10.6681	0.287979	0.0071558
T (phút)	29.7426	30.4875	0.255929

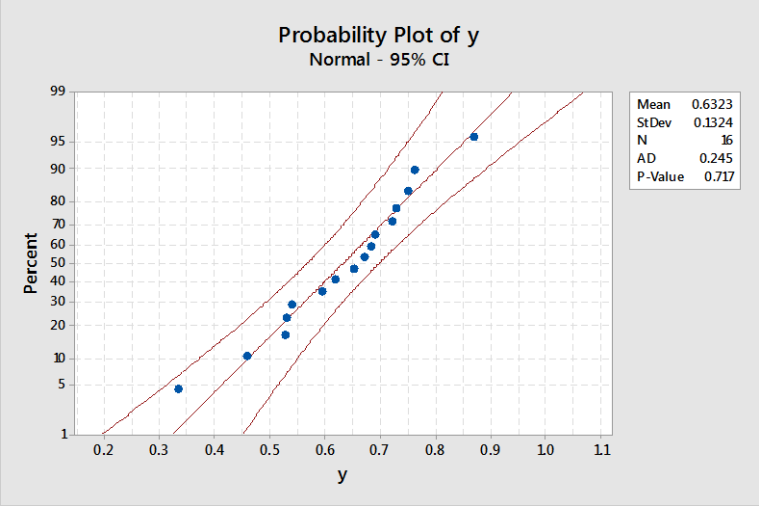
Settings

a_c	n_c	n_f	n_0	a_f	S_d
2	2	3	4	1	2

Từ kết quả phân tích dự đoán cho thấy, với bộ thông số công nghệ sửa đá tối ưu nhận được sẽ cho ra kết quả nhám bề mặt Ra≈0,287979 μm và tuổi bền của đá mài T=30,4875 phút.

Mức độ phù hợp của mô hình thực nghiệm trên được đánh giá thông qua biểu đồ phân bố chuẩn bằng phương pháp Anderson-Darling. Từ biểu đồ phân bố chuẩn trong hình 3 cho thấy, các dữ liệu ứng với các điểm thí nghiệm (chấm mầu xanh) đều nằm trong vùng giới hạn bởi 2

đường giới hạn trên dưới với độ lệch chuẩn giới hạn 95%, đồng thời giá trị P là 0.717 lớn hơn giá trị α = 0.05, điều này chỉ ra rằng, mô hình thực nghiệm đã áp dụng là phù hợp.



Hình 3. *Biểu đồ xác suất về mức độ phù hợp của mô hình thực nghiệm với trị số quan hệ xám.*

4. KẾT LUẬN

Trong nghiên cứu này đã xây dựng được một mô hình thực nghiệm để tối ưu hóa đa mục tiêu các thông số của chế độ sửa đá khi mài tròn ngoài thép 90CrSi. Bằng cách sử dụng phương pháp quy hoạch thực nghiệm Taguchi và phân tích quan hệ xám, nghiên cứu đã xác định được bộ thông số nhằm đảm bảo các mục tiêu nhám bề mặt là nhỏ nhất và tuổi bền của đá mài là lớn nhất. Kết quả nghiên cứu thực nghiệm đã đưa ra được bộ thông số tối ưu bao gồm 6 thông số đầu vào bao gồm chiều sâu sửa đá thô, số lượt sửa đá thô, chiều sâu sửa đá tinh, số lượt sửa đá tinh, số lượt chạy không ăn dao và lượng chạy dao dọc. Nghiên cứu cũng đã đưa ra kết quả tính toán dự đoán cho từng hàm mục tiêu cụ thể và mô hình cũng đã được kiểm chứng là phù hợp với mức ý nghĩa 95%. Do vậy, mô hình thực nghiệm và kết quả thu được có ý nghĩa và có thể áp dụng trong thực tiễn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. Malkin, S. *"Theory and Applications of Machining with Abrasives"*, Grinding Technology, 2008.
[2]. Walke, P., "*A review on dressing and grinding operation"*, N.J.I.R.J.o.E. Kamble, and Technology, 2017. **4**(07), p. 2573-2575.
[3]. Dadaso, D., et al., "*Modelling and Optimization of Dressing Parameters of CNC Cylindrical Grinding Wheel for Minimum Surface Roughness"*. 2017. **5**(4).
[4]. Zhang, L., M. Kang, and W. Tang, *"Effect analysis of grinding wheel under different dressing parameters on surface grinding quality"*, Communication and Engineering (ICCCE). 2019. IEEE.
[5]. Puerto, P., et al., *"Evolution of surface roughness in grinding and its relationship with the dressing parameters and the radial wear"*, 2013. **63**: p. 174-182.
[6]. Dung, H.T., N. Van Thien, and K. Sonpheth, *"Influence of Lubricant Parameters on Surface Roughness of Workpiece When Grinding SKD11 Steel"*, International Conference on Engineering Research and Applications. 2019. Springer.
[7]. Daneshi, A., N. Jandaghi, and T.J.P.C. Tawakoli, *"Effect of dressing on internal cylindrical grinding"*, 2014. **14**: p. 37-41.
[8]. Hung, L.X., et al., *"Optimum dressing parameters for maximum material removal rate when internal cylindrical grinding using Taguchi method"*, 2018. **9**(12): p. 123-129.
[9]. Kumar, S., S.J.I.J.o.A.E. Dhanabalan, and R. Development, *"A Review of Cylindrical Grinding Process parameters by using various Optimization techniques and their effects on the surface Integrity"*, Wear Rate and MRR. 2018. **5**(1): p. 719-729.

[10]. Hong, T.T., et al. "*Multi-criteria optimization of dressing parameters for surface grinding 90CrSi tool steel using taguchi method and grey relational analysis"*, Materials Science Forum. 2020. Trans Tech Publ.
[11]. Tung, L.A., et al., *"Optimization of dressing parameters of grinding wheel for 9CrSi tool steel using the taguchi method with grey relational analysis", I*OP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2019, IOP Publishing.
[12]. Hung, L.X., et al., *"Multi-objective optimization of dressing parameters of internal cylindrical grinding for 9CrSi aloy steel using taguchi method and grey relational analysis"*, 2019, **18**: p. 2257-2264.

ABSTRACT

MULTI-OPTIMIZATION OF DRESSING PARAMETERS
IN EXTERNAL CYLINDRICAL GRINDING FOR 90CrSi TOOL STEEL
USING TAGUCHI METHOD AND GREY RELATION ANALYSIS

This study aims to optimize the dressing parameters of grinding wheel in external cylindrical grinding for 90CrSi tool steel to minimize surface roughness and maximize tool life using Taguchi method and Gray Relation Analysis (GRA). An orthogonal array L16 (4^4x2^2) was applied to investigate six dressing parameters. Taguchi method and GRA are combined to solve multi-objective optimization problem and determine optimal dressing parameters. The study results shows that optimal dressing parameters to obtain minimum surface roughness and the maximum tool life are coarse dressing depth of 0.025 mm, coarse dressing times of 2 times, fine dressing depth of 0.005 mm, fine dressing times of 2 times, non-feeding dressing times of 3 times and dressing feed rate of 1.8 m/min. Base on the set of optimal dressing parameters, the predictive results of each respond are calculated and the experimental research model is tested by Anderson-Darling method indicated the results are satisfy practical requirements.

Keywords: External cylindrical grinding; Dressing condition; Taguchi method; Grey relation analysis.

Nhận bài ngày 13 tháng 4 năm 2021
Hoàn thiện ngày 05 tháng 8 năm 2021
Chấp nhận đăng ngày 05 tháng 9 năm 2021

Địa chỉ: Trường Đại học Kỹ thuật Công nghiệp – Đại học Thái Nguyên.
*Email: hxt_dhktcn@tnut.edu.vn.