

NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA MỘT SỐ THÔNG SỐ CÔNG NGHỆ ĐẾN NHÁM BỀ MẶT THÉP SKD11 TRONG GIA CÔNG XUNG ĐỊNH HÌNH SỬ DỤNG ĐIỆN CỰC ĐỒNG

INVESTIGATION IN INFLUENCE OF SOME TECHNOLOGY PARAMETERS ON SURFACE ROUGHNESS OF SKD11 STEEL IN ELECTRIC DISCHARGE MACHINING USING COPPER ELECTRODE

Nguyễn Văn Đức^{1*}, Vũ Đình Toàn¹

TÓM TẮT

Gia công tia lửa điện (Electrical Discharge Machining - EDM) là một trong những công nghệ rất phổ biến trên thế giới hiện nay, ứng dụng gia công các vật liệu cứng đã qua xử lý nhiệt trong ngành sản xuất khuôn mẫu. Tối ưu hóa các thông số công nghệ đầu vào với chỉ tiêu đầu ra cụ thể nào đó nhận được sự quan tâm của các chuyên gia trong lĩnh vực EDM. Trong bài báo này trình bày việc tối ưu hóa độ nhám bề mặt (surface roughness) bằng phương pháp Taguchi với 4 thông số công nghệ đầu vào là cường độ dòng điện (I); điện áp khe hở phóng điện (U); thời gian phóng điện (T_{on}); thời gian ngừng phóng điện (T_{off}), một thông số đầu ra là độ nhám bề mặt chi tiết gia công (R_a). Ma trận trực giao L25 trong phương pháp Taguchi được sử dụng để thiết kế thí nghiệm. Kết quả đã chỉ ra rằng, bộ thông số tối ưu của bài toán đơn mục tiêu gia công thép SKD11 trong EDM là $I = 1A$; $T_{on} = 50\mu s$; $T_{off} = 12\mu s$; $U = 30V$ đã làm giảm đáng kể thời gian và chi phí làm thí nghiệm.

Từ khóa: Máy xung điện, thép SKD11, năng suất bóc tách vật liệu.

ABSTRACT

Electrical Discharge Machining (EDM) is one of the very popular technologies in the world today, applying heat-treated hard materials in the mold manufacturing industry. Optimizing input technology parameters with specific output criteria has received the attention of experts in the field of EDM. In this paper presents the optimization of surface roughness by Taguchi method with 4 input technology parameters: amperage (I); discharge gap voltage (U); discharge time (T_{on}); discharge dwell time (T_{off}), one output parameter is the work piece surface roughness (R_a). The orthogonal matrix L25 in the Taguchi method was used to design the experiment. The results showed that, the optimal parameter set of the single-objective problem of steel processing SKD11 in EDM is $I = 1A$; $T_{on} = 50\mu s$; $T_{off} = 12\mu s$; $U = 30V$ has significantly reduced the time and cost of doing experiments.

Keywords: EDM, SKD11 tool steel, material removal rate.

¹Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

*Email: nguyenvanduc197@gmail.com

Ngày nhận bài: 10/3/2022

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 20/4/2022

Ngày chấp nhận đăng: 27/6/2022

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Gia công tia lửa điện EDM (Electrical Discharge Machining) là phương pháp gia công vật liệu dẫn điện

bằng cách sử dụng năng lượng nhiệt của tia lửa điện để làm nóng chảy và bốc hơi vật liệu gia công có độ cứng cao. Phương pháp này có năng suất không cao, để lại trên bề mặt chi tiết gia công lớp trắng có độ cứng khác với lớp kim loại nền [1].

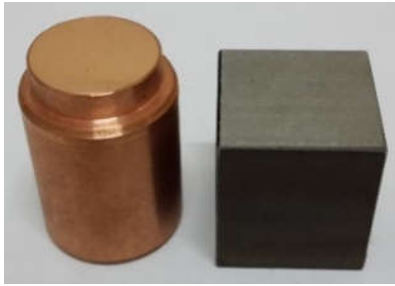
Bài báo này nghiên cứu sử dụng chỉ tiêu nhám bề mặt R_a để tối ưu hóa 4 thông số công nghệ đầu vào gồm I , U , T_{on} , T_{off} . Phương pháp Taguchi được sử dụng để thiết kế thí nghiệm và tối ưu hóa trong gia công EDM, gia công thép SKD11 đã xử lý nhiệt, sử dụng điện cực đồng (copper).

2. THIẾT BỊ THỰC NGHIỆM

Thí nghiệm được thực hiện trên máy xung điện CM 323C (Đài Loan) tại Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội (hình 1). Thép làm khuôn SKD11 đã nhiệt luyện đạt độ cứng 58 - 62HRC có kích thước 20x20x20mm (hình 2). Điện cực đồng (copper) đường kính $\varnothing 16$, chiều dài 35mm (hình 2). Dung dịch điện môi dầu D323. Đo độ nhám bề mặt chi tiết gia công bằng máy đo độ nhám SV 2100 sản xuất tại Nhật Bản (hình 3). Thực hiện 3 lần đo trên mỗi mẫu phôi, và kết quả nhám bề mặt là giá trị trung bình của 3 lần đo.



Hình 1. Máy xung điện CM 323C



Hình 2. Phôi và điện cực dùng trong thí nghiệm



Hình 3. Máy đo độ nhám SV - 2100

3. XÂY DỰNG QUY HOẠCH THỰC NGHIỆM

Lựa chọn ma trận thiết kế thí nghiệm trong Taguchi phụ thuộc vào số lượng thông số công nghệ và các mức của nó được khảo sát [2, 3, 6, 7, 8]. Trong nghiên cứu này, bốn thông số công nghệ (U , I , T_{on} và T_{off}) ảnh hưởng lớn nhất đến nhám bề mặt được lựa chọn với 5 mức của mỗi thông số (bảng 1). Bậc tự do của ma trận thí nghiệm là 16. Như vậy, bảng thiết kế thí nghiệm của Taguchi phù hợp với nghiên cứu này là L25. Quá trình thực nghiệm được tiến hành với ma trận thực nghiệm như bảng 2; các thông số trong ma trận bảng 3.

Các thông số thực nghiệm: 4 thông số đầu vào; 5 mức.

Bảng 1. Các thông số đầu vào và mức của các thông số

Mức	A	B	C	D
	I (A)	U (V)	T_{on} (μ s)	T_{off} (μ s)
1	1	30	18	9
2	2	40	25	12
3	3	50	37	18
4	4	60	50	25
5	5	70	75	37

Bảng 2. Ma trận thí nghiệm

TT	A	B	C	D
	I (A)	U (V)	T_{on} (μ s)	T_{off} (μ s)
1	1	1	1	1
2	1	2	2	2
3	1	3	3	3
4	1	4	4	4

5	1	5	5	5
6	2	1	2	3
7	2	2	3	4
8	2	3	4	5
9	2	4	5	1
10	2	5	1	2
11	3	1	3	5
12	3	2	4	1
13	3	3	5	2
14	3	4	1	3
15	3	5	2	4
16	4	1	4	2
17	4	2	5	3
18	4	3	1	4
19	4	4	2	5
20	4	5	3	1
21	5	1	5	4
22	5	2	1	5
23	5	3	2	1
24	5	4	3	2
25	5	5	4	3

Bảng 3. Thông số trong ma trận thí nghiệm

TT	A	B	C	D
	I (A)	U (V)	T_{on} (μ s)	T_{off} (μ s)
1	1	30	18	9
2	1	40	25	12
3	1	50	37	18
4	1	60	50	25
5	1	70	75	37
6	2	30	25	18
7	2	40	37	25
8	2	50	50	37
9	2	60	75	9
10	2	70	18	12
11	3	30	37	37
12	3	40	50	9
13	3	50	75	12
14	3	60	18	18
15	3	70	25	25
16	4	30	50	12
17	4	40	75	18
18	4	50	18	25
19	4	60	25	37
20	4	70	37	9

21	5	30	75	25
22	5	40	18	37
23	5	50	25	9
24	5	60	37	12
25	5	70	50	18

Bảng 4. Kết quả thí nghiệm

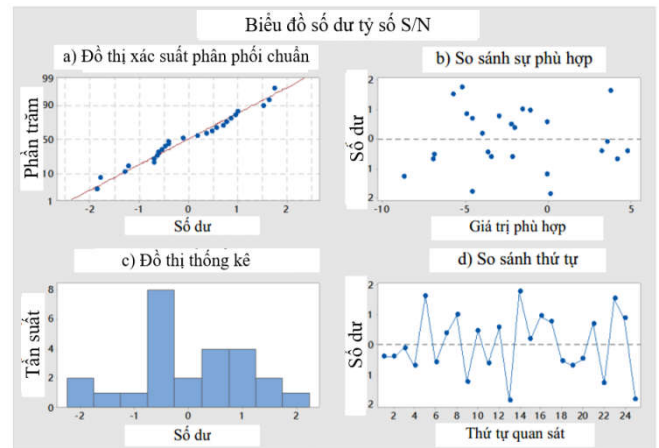
Exp	I (A)	U (V)	T _{on} (μs)	T _{off} (μs)	R _a (μm)
1	1	30	18	9	0,705
2	1	40	25	12	0,588
3	1	50	37	18	0,668
4	1	60	50	25	0,641
5	1	70	75	37	0,601
6	2	30	25	18	1,316
7	2	40	37	25	1,240
8	2	50	50	37	1,143
9	2	60	75	9	1,068
10	2	70	18	12	1,263
11	3	30	37	37	1,536
12	3	40	50	9	0,983
13	3	50	75	12	1,080
14	3	60	18	18	1,680
15	3	70	25	25	1,570
16	4	30	50	12	1,081
17	4	40	75	18	1,363
18	4	50	18	25	2,668
19	4	60	25	37	2,295
20	4	70	37	9	1,561
21	5	30	75	25	1,645
22	5	40	18	37	2,896
23	5	50	25	9	1,805
24	5	60	37	12	1,695
25	5	70	50	18	1,855

4. KIỂM TRA ĐỘ TIN CẬY CỦA SỐ LIỆU THÍ NGHIỆM

Dữ liệu thí nghiệm phải được kiểm tra độ sai lệch và mức độ phù hợp của chúng. Kết quả kiểm tra số liệu được thể hiện ở các hình 4 và hình 5 (sử dụng phần mềm Minitab18 [4] để phân tích).

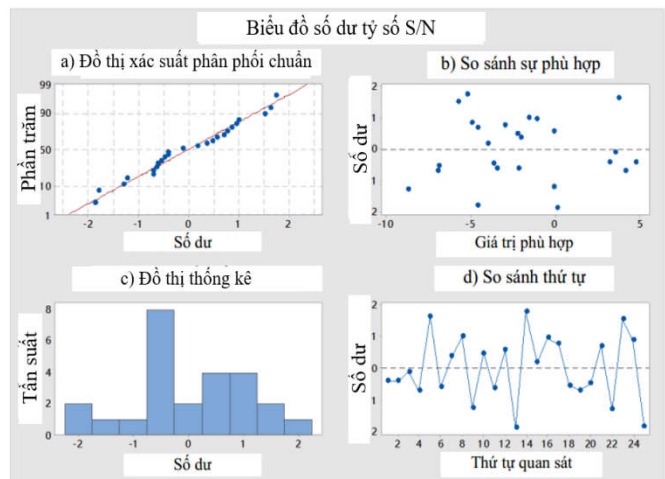
Hình 4a, 5a so sánh với phân bố chuẩn cho thấy các điểm số liệu phân bố theo một đường thẳng, có giá trị ngoại lai nhưng không đáng kể. Điều này chứng tỏ số liệu phân bố bình thường và không có sự sai lệch nào trong số liệu. Hình 4b, 5b là sự phân bố số dư ngẫu nhiên các số liệu trên hai phía của đường 0, các điểm phân bố ngẫu nhiên, không theo quy luật chứng tỏ dữ liệu y đã nhận không bị ảnh hưởng bởi các yếu tố điều khiển có quy luật nào khác ngoài x. Hình 4c, 5c thể hiện tần suất xuất hiện các số dư.

Phần nhô cao của các cột phân bố trên hình chỉ ra độ sai lệch của các kết quả. Khoảng cách giữa các cột phân bố chỉ ra những giá trị ngoại lai của các kết quả xuất hiện trong các giá trị thực nghiệm và sơ đồ dữ liệu không thể hiện bất kì một xu hướng phân bố chuẩn nào. Vì vậy, các giá trị của số liệu được khảo sát theo mô hình thiết kế thí nghiệm của Taguchi là phù hợp. Hình 4d, 5d là sơ đồ số dư của các thí nghiệm, khảo sát theo thứ tự thí nghiệm để tìm ra lỗi không ngẫu nhiên. Các điểm phân bố ngẫu nhiên không theo quy luật, chứng tỏ dữ liệu y đã nhập không bị ảnh hưởng bởi các yếu tố thời gian.



Hình 4. Đồ thị thống kê số dư cho tỷ số S/N của R_a

- a) So sánh với phân bố chuẩn
- b) Sự phân bố số dư
- c) Tần suất xuất hiện
- d) Số dư của các thí nghiệm



Hình 5. Đồ thị thống kê số dư trung bình của R_a

5. PHÂN TÍCH ẢNH HƯỞNG CỦA CÁC THÔNG SỐ ĐẾN NHẢM BỀ MẶT

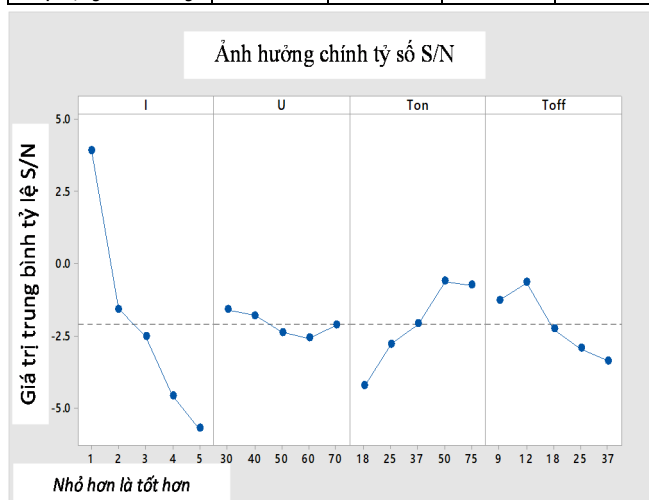
Phân tích ANOVA trị số của R_a với độ tin cậy 90% được thể hiện trong bảng 5 và 6. Thông số có giá trị F lớn sẽ có ảnh hưởng mạnh đến kết quả đầu ra. Bảng 5 cho thấy cường độ dòng điện (F = 103,34) ảnh hưởng mạnh nhất đến R_a, sau đó đến thời gian phóng điện T_{on} (F = 16,79), tiếp đến là T_{off} (F = 9,54), ảnh hưởng yếu nhất đến R_a là U (F = 1,23). Bảng 6 có ảnh hưởng của các thông số đến R_a là: I = 57%; T_{on} = 21%; T_{off} = 16%; U = 6%.

Bảng 5. ANOVA giá trị R_a

Thông số	DF	SS	V	F	P
I (A)	4	278,362	69,5904	103,34	0,000
U (B)	4	3,314	0,8285	1,23	0,371
T_{on} (C)	4	45,217	11,3043	16,79	0,001
T_{off} (D)	4	25,689	6,4221	9,54	0,004
Lỗi	8	5,387	0,6734		
Tổng cộng	24	357,969			

Bảng 6. Mức độ ảnh hưởng của các thông số đầu vào đến R_a

Mức	I	U	T_{on}	T_{off}
1	3,8877	-1,6153	-4,2515	-1,2768
2	-1,6028	-1,8066	-2,8072	-0,6688
3	-2,5343	-2,3956	-2,1086	-2,2887
4	-4,5948	-2,6028	-0,6385	-2,9541
5	-5,7278	-2,1517	-0,7661	-3,3836
Chênh lệch	9,6155	0,9875	3,6130	2,7148
Xếp hạng ảnh hưởng	1	4	2	3



Hình 6. Ảnh hưởng của các thông số đầu vào đến tỷ số S/N của R_a

Ảnh hưởng của các thông số đến R_a được thể hiện hình 6. R_a tăng đều khi I tăng từ 1 - 5A, khi cường độ dòng điện tăng dẫn đến năng lượng xung tăng, phôi bị nóng chảy và bốc hơi tăng, năng suất tăng nên độ nhám tăng. R_a lớn nhất khi I = 5A; Thời gian phóng điện tăng từ 18 đến 75 μ s R_a giảm đều, vì nếu chu kỳ gia công không thay đổi ($T_{on}/(T_{on}+T_{off})$) thì tổng thời gian phóng điện trong một đơn vị thời gian không thay đổi, mà T_{on} tăng làm cho khả năng rửa phoi kém hơn dẫn đến MRR giảm, nên R_a giảm; Thời gian ngừng phóng điện tăng từ 9 đến 37 μ s thì MRR cơ bản tăng do khả năng rửa thoát phoi tăng lên, dẫn đến R_a tăng; Điện áp khe hở ảnh hưởng ít nhất đến R_a .

6. TỐI ƯU HÓA R_a THEO PHƯƠNG PHÁP TAGUCHI

Đặc trưng tỷ số S/N của R_a là: "Thấp hơn thì tốt hơn", được xác định bởi công thức [3]:

$$(S/N)_{LB} = -10\log(MSD_{LB}) \tag{1}$$

$$Trong\ đó:\ MSD_{LB} = \frac{1}{r} \sum_{i=1}^r y_i^2$$

MSD_{LB} : Sai lệch bình phương trung bình;

$\sum_{i=1}^r y_i^2$: Tổng bình phương tất cả kết quả của mỗi thí nghiệm.

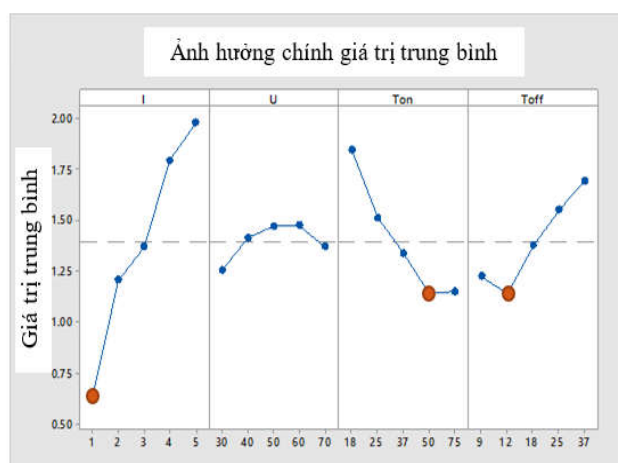
Bảng 7 và chỉ ra các kết quả ANOVA trị số S/N của R_a với khoảng tin cậy 90%. So sánh trị số F tính toán của các thông số với F bảng cho thấy: cường độ dòng điện ($F = 29,38$), T_{on} ($F = 9,08$), T_{off} ($F = 5,53$) là những thông số có ảnh hưởng mạnh đến tỷ số S/N của R_a (bảng 8). Thông số còn lại có ảnh hưởng yếu đến tỷ số S/N của R_a (hình 7).

Bảng 7. ANOVA trị số tỷ số S/N của R_a

Thông số	DF	SS	V	F	P
I (A)	4	5,5280	1,38201	29,38	0,000
U (B)	4	0,1634	0,04085	0,87	0,523
T_{on} (C)	4	1,7078	0,42695	9,08	0,005
T_{off} (D)	4	1,0407	0,26018	5,53	0,020
Lỗi	8	0,3764	0,04705		
Tổng cộng	24	8,8164			

Bảng 8. Mức độ ảnh hưởng của các thông số đầu vào đến tỷ số S/N của R_a

Mức	I	U	T_{on}	T_{off}
1	0,6406	1,2566	1,8424	1,2244
2	1,2060	1,4140	1,5148	1,3514
3	1,3698	1,4728	1,3400	1,3764
4	1,7936	1,4758	1,3206	1,5528
5	1,9792	1,3700	1,1514	1,6942
Chênh lệch	1,3386	0,2192	0,7018	0,5528
Xếp hạng ảnh hưởng	1	4	2	3



Hình 7. Ảnh hưởng của các thông số đầu vào đến R_a

Giá trị tối ưu được ước tính bởi các thông số có ảnh hưởng mạnh và được xác định theo công thức [3]:

$$R_{a\text{ tối ưu}} = A_1 + C_4 + D_2 - 2T \tag{2}$$

Trong đó:

T: Trị số trung bình của đặc trưng khảo sát (nhám bề mặt R_a);

A_1, C_4, D_2 : Trị số trung bình tại các mức A_1, C_4, D_2 ;

A_1 : R_a với cường độ dòng điện 1A, $A_1 = 0,641 \mu\text{m}$ (bảng 8);

C_4 : R_a với thời gian phát xung, $C_4 = 1,321 \mu\text{m}$ (bảng 8);

D_2 : R_a với thời gian ngừng phát xung, $D_2 = 1,351 \mu\text{m}$ (bảng 8).

$$T = \frac{\sum_{i=1}^{25} SR_1 + \sum_{i=1}^{25} SR_2 + \sum_{i=1}^{25} SR_3}{75} = 1,397 \mu\text{m} \quad (3)$$

Thay số:

$$R_{a\text{ tối ưu}} = 0,641 + 1,321 + 1,351 - 2 \times 1,397 = 0,519 \mu\text{m}$$

- Thực nghiệm kiểm chứng tiến hành với phôi SKD11 đã xử lý nhiệt, với cường độ dòng điện 1A; $T_{\text{on}} = 50 \mu\text{s}$, $T_{\text{off}} = 12 \mu\text{s}$; $U = 30\text{V}$. Kết quả $R_a = 0,56 \mu\text{m}$. Vậy sự sai lệch giữa kết quả tính toán và kết quả thực nghiệm chỉ là 7,3%. Chứng tỏ mô hình tính toán hoàn toàn có thể dự đoán được R_a .

7. KẾT LUẬN

Trong nghiên cứu này, 4 thông số công nghệ xung tia lửa điện thép SKD11, bằng điện cực đồng đã được tối ưu hóa đơn mục tiêu, với chỉ tiêu là nhám bề mặt R_a . Bộ thông số công nghệ tối ưu là $I = 1\text{A}$; $T_{\text{on}} = 50 \mu\text{s}$, $T_{\text{off}} = 12 \mu\text{s}$; $U = 30\text{V}$. Trị số tối ưu của $R_a = 0,519 \mu\text{m}$. Ảnh hưởng của các thông số đến R_a là: $I = 57\%$; $T_{\text{on}} = 21\%$; $T_{\text{off}} = 16\%$; $U = 6\%$. Kết quả trên chứng tỏ phương pháp Taguchi để thiết kế thí nghiệm và tối ưu hóa đơn mục tiêu có thể rất hữu hiệu trong lĩnh vực gia công EDM.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Vu Hoai An, 2005. *Gia công tia lửa điện CNC*. Science and Technics Publishing House, Hanoi.
- [2]. Nguyen Doan Y, 2003. *Quy hoạch thực nghiệm*. Science and Technics Publishing House, Hanoi.
- [3]. Ranjit Roy, 1990. *A-Primer-on-the-Taguchi-Method*. Library of Congress Catalog Card Number 89-14736 ISBN 0-442-23729-4, Printed in the United States of America.
- [4]. *Minitab 18*. Internet: <https://www.minitab.com/en-us/>.
- [5]. Elman C. Jameson, 2001. *Electrical Discharge Machining*. International Standard Book Number: 0-87263-521-X. Printed in the United States of America.
- [6]. Debasis Nayak, Shiba Narayan Sahu, Suhrit Mula, 2016. *Metallurgical Approach Towards Explaining Optimized EDM Process Parameters for Better Surface Integrity of AISI D2 Tool Steel*. Internet.
- [7]. Shivam Goyal, Anbesh Jamwal, 2016. *Optimization of Process Parameters in Electro-Discharge Machining using Taguchi Method*. International Journal of Science Technology & Engineering, ISSN (online): 2349-784X, Volume 2, Issue 10.

- [8]. Sameh S. Habib, 2014. *Parameter optimization of electrical discharge machining process by using Taguchi approach*. Journal of Engineering and Technology Research, ISSN 2006-9790, Vol. 6(3), pp. 27-42.

AUTHORS INFORMATION

Nguyen Van Duc, Vu Dinh Toan

Hanoi University of Industry