

TỐI ƯU CÁC THÔNG SỐ HIỆU ĐIỆN THẾ, CƯỜNG ĐỘ DÒNG ĐIỆN, THỜI GIAN XUNG ĐẾN ĐỘ NHÁM BỀ MẶT VÀ NĂNG SUẤT BÓC TÁCH VẬT LIỆU TRÊN MÁY XUNG ĐỊNH HÌNH KHI GIA CÔNG VẬT LIỆU THÉP SKD11

OPTIMIZATION OF VOLTAGE, CURRENT, AND PULSE ON TIME PARAMETERS ON SURFACE ROUGHNESS AND MATERIAL REMOVAL RATE DURING SKD11 MACHINING USING ELECTRICAL DISCHARGE MACHINING

ThS. Trần Văn Thắng

Khoa Cơ khí, Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Hưng Yên

TÓM TẮT

Nghiên cứu này thực nghiệm ảnh hưởng của các thông số hiệu điện thế U (voltage), cường độ dòng điện I (Ampere), thời gian phóng xung T_{on} (μs) đến năng suất bóc tách vật liệu MRR (g/min) (Material Removal Rate), độ nhám bề mặt R_z (μm) khi gia công vật liệu thép SKD11 trên máy xung EDM (Electrical Discharge Machining). Nghiên cứu sử dụng phương pháp quy hoạch thực nghiệm Taguchi với 3 thông số đầu vào (hiệu điện thế U , cường độ dòng điện I , thời gian phóng xung T_{on}), mỗi thông số có 3 mức, được thực hiện qua 9 thí nghiệm để tìm ra bộ thông số tối ưu nhằm đạt năng suất bóc tách vật liệu (MRR) cao nhất và độ nhám bề mặt nhỏ nhất. Kết quả chỉ ra rằng bộ thông số tối ưu là $U = 30V$, $I = 0,5A$, $T_{on} = 20\mu s$. Nghiên cứu này làm tiền đề cho việc tối ưu các thông số cho năng suất bóc tách vật liệu và độ nhám bề mặt khi gia công trên máy EDM.

Từ khóa: EDM; Năng suất bóc tách vật liệu; Độ nhám bề mặt; Thép SKD11.

ABSTRACT

This study investigates the influence of voltage (U), current intensity (I), and pulse on time (T_{on}) on the material removal rate (MRR) and surface roughness during machining of SKD11 steel on Electrical Discharge Machining (EDM) machine. The study employs the Taguchi optimization method with three input parameters (voltage U , current intensity I , and pulse duration T_{on}), each at three levels, conducted through nine experiments to determine the optimal parameter set for achieving the highest MRR and the lowest surface roughness. The results indicate that the optimal parameter set is $U = 30V$, $I = 0.5A$, and $T_{on} = 20\mu s$. This study serves as a foundation for optimizing parameters to enhance material removal rate and surface roughness in EDM machining.

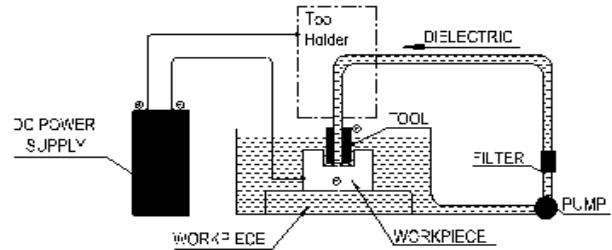
Keywords: EDM; Material removal productivity; Surface roughness; SKD11 steel.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Công nghệ gia công bằng xung điện (EDM) đã chứng tỏ nhiều ưu điểm vượt trội trong gia công khuôn mẫu, công nghiệp ô tô, hàng không, cũng như trong gia công các vật liệu dẫn điện. Quá trình loại bỏ kim loại trong EDM diễn ra thông qua sự ăn mòn vật liệu bởi xung điện giữa các điện cực công cụ và mẫu trong môi trường chất lỏng cách điện, giúp loại bỏ mảnh vụn trong khe điện cực trong suốt quá trình gia công. Nhiều nghiên cứu đã được công bố liên quan đến phương pháp EDM. Chẳng hạn, Aniza et al. [2] đã nghiên cứu tác động của tốc độ cắt và dòng điện đến độ nhám bề mặt và tốc độ loại bỏ vật liệu khi gia công Ti-6Al-4V bằng phương pháp WEDM. Ashok et al. [3] đã tối ưu hóa tham số tốc độ cắt, trong khi Balasubramanian et al. [4] so sánh độ nhám bề mặt của các vật liệu EN8 và D3 sau khi gia công bằng EDM. Nghiên cứu này cũng xác định các thông số như thời gian xung, dòng điện, điện áp, áp suất và đường kính dụng cụ, cũng như tác động của chúng đến tỷ lệ loại bỏ vật liệu và độ nhám bề mặt. Pragadish et al. [5] đã thực hiện tối ưu hóa trong gia công thép AISI D2 bằng phương pháp EDM, và sử dụng phân tích ANOVA để chỉ ra rằng dòng điện (I) là tham số ảnh hưởng lớn nhất, tiếp theo là áp suất (P). Nghiên cứu của Avdresh Kumar Sharma [6] chỉ ra tác động của các thông số trên máy EDM đến năng suất bóc tách vật liệu (MRR) và tốc độ ăn mòn điện cực (TWR) khi gia công vật liệu titanium (Ti-6Al-4V). Trong nghiên cứu này, phương pháp Taguchi được áp dụng để tối ưu hóa các tham số hiệu điện thế, cường độ dòng điện và thời gian xung trong gia công thép SKD11 trên máy EDM.

2. THIẾT BỊ THÍ NGHIỆM

2.1. Sơ đồ nguyên lý bóc tách vật liệu gia công trên máy EDM



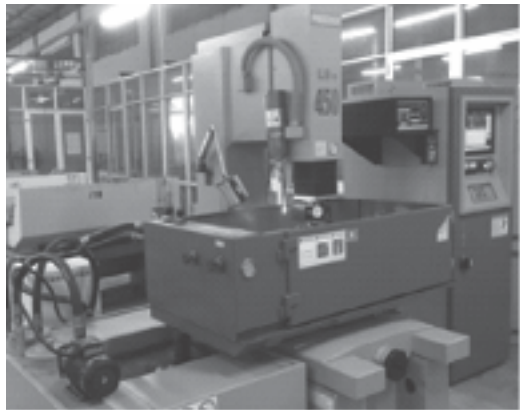
Hình 2.1. Sơ đồ nguyên lý hoạt động của máy EDM

Sơ đồ nguyên lý bóc tách vật liệu trên máy EDM được thể hiện ở Hình 2.1. Trong quá trình gia công, dụng cụ (catốt) và chi tiết (anốt) đóng vai trò là hai điện cực của nguồn điện một chiều với tần số 50-500 kHz, điện áp 50-300 V và cường độ dòng điện 0,1-500 A. Hai điện cực được đặt trong chất điện môi. Khi điện áp tăng đủ cao, chất điện môi bị ion hóa, tạo ra tia lửa điện giữa hai điện cực. Nhiệt độ ở vùng tia lửa có thể đạt tới 12.000°C, làm nóng chảy và đốt cháy kim loại trên cực dương. Áp lực từ quá trình phóng điện đẩy phoi ra khỏi vùng gia công. Quá trình này diễn ra trong thời gian rất ngắn (10^{-4} đến 10^{-7} giây) và lặp lại khi điện áp đủ lớn. Phoi là các giọt kim loại bị tách ra và đông đặc thành hạt nhỏ. Khi hạt phoi bị đẩy ra, khe hở giữa hai điện cực tăng lên, ngắt quá trình phóng điện. Để duy trì gia công liên tục, điện cực dụng cụ được điều chỉnh sao cho khe hở giữa hai điện cực luôn ổn định.

2.2. Máy thí nghiệm

Máy EDM ZLC – LS 450 Machine được chọn để thực hiện thí nghiệm tại Xưởng cắt gọt Cơ khí, Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Hưng Yên (Hình 2.2). Thông số của máy như sau: Dài x Rộng x Cao: 1240 x 710 x 400. Hành trình của trục Z là 200 mm. Kích thước làm việc của bàn máy là 500 x 450. Độ chính xác $\pm 0,005$ mm, điện áp 220V/380V/50Hz, công suất của máy 2,5KW. Trọng lượng máy 1200kg.





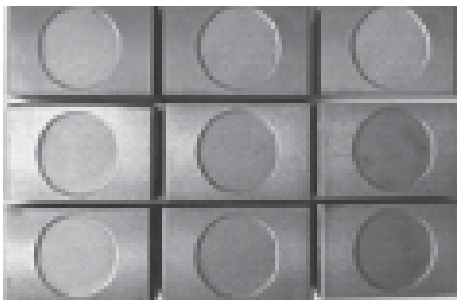
Hình 2.2. Máy EDM ZLC – LS 450

Bảng 1. Thành phần hóa học của thép SKD11

Mác thép	C (%)	Si (%)	Mn (%)	P (%) tối đa	S (%) tối đa	Cr (%)	Molipden (Mo)	Vanadi
SKD11	1,5	0,25	0,45	0,025	0,01	12	1	0,35

2.3. Mẫu và điện cực thí nghiệm

Vật liệu sử dụng cho thí nghiệm trong nghiên cứu này là thép SKD11, có hàm lượng cacbon là 1,5%. Ngoài ra, thép còn chứa các tạp chất khác như: Silic, mangan, photpho, lưu huỳnh và crom, molipden, vanadi. Thép SKD11 có độ cứng, độ dẻo dai trung bình đủ để chịu các tải trọng va đập trong quá trình sử dụng. Thường được sử dụng gia công các chi tiết trong cơ khí và sản xuất khuôn mẫu. Thành phần hóa học và đặc tính của thép SKD11 được hiển thị trong Bảng 1. Kích thước mẫu thí nghiệm là: 40 x 25 x 15, Hình 2.3.



Hình 2.3. Mẫu thí nghiệm

Trong nghiên cứu này, điện cực được sử dụng là điện cực đồng Cadmium (Cu) để gia công vật liệu trên máy EDM. Đây là loại điện cực được sử dụng phổ biến trong gia công EDM. Điện cực này có dạng thanh tròn, như mô tả trong Hình 2.4, và thông số kỹ thuật được trình bày trong Bảng 2.



Hình 2.4. Điện cực Cu

Bảng 2. Thông số kỹ thuật của điện cực Cu

Thông số	Giá trị
Khả năng dẫn nhiệt	389W/m ² K
Nhiệt độ nóng chảy	1100°C
Dẫn điện	1,64 ohm - cm
Kích thước mẫu	20 mm (Φ) x 42 mm

2.4. Thiết kế thực nghiệm dựa trên phương pháp Taguchi

Nghiên cứu cho thấy các thông số trên máy EDM ảnh hưởng đến năng suất bóc tách vật liệu MRR, độ nhám bề mặt R_z gồm có: hiệu điện thế U, cường độ dòng điện I, thời gian phóng xung T_{on} , thời gian tắt xung T_{off} [7]. Tuy nhiên, qua khảo sát nhận thấy ba thông số chính ảnh hưởng đến nghiên cứu này là hiệu điện thế U, cường độ dòng điện I, thời gian phóng xung T_{on} có ảnh hưởng nhiều nhất. Ba thông số này được chọn ba mức khác nhau, thí nghiệm dựa trên pháp pháp Taguchi. Khảo sát thực nghiệm trên máy EDM cho biết các mức để thực hiện thí nghiệm là đại diện đặc trưng chất lượng cho sự ảnh hưởng đến năng suất bóc tách vật liệu và độ nhám bề mặt. Bảng 3 trình bày chi tiết các mức giá trị của ba thông số đã được chọn.

Bảng 3. Ba thông số thí nghiệm với ba mức khác nhau

STT	Thông số	Đơn vị	Mức 1	Mức 2	Mức 3
1	Hiệu điện thế U	Voltage (V)	30	40	50
2	Cường độ dòng điện I	Ampere (A)	0,5	1,0	1,5
3	Thời gian xung T_{on}	Micro-seconds	20	50	80

Phương pháp Taguchi giảm thiểu sự đa dạng trong quá trình thực hiện thí nghiệm thông qua cách thức nghiên cứu có hệ thống. Mục tiêu chính của phương pháp này là cung cấp sự lựa chọn dễ dàng cho người thí nghiệm. Các phương pháp phân tích truyền thống thường khó dự đoán và phức tạp trong việc áp dụng. Số lượng thí nghiệm cần thực hiện sẽ tăng lên khi số lượng tham số thí nghiệm tăng. Để giải quyết vấn đề này, phương pháp Taguchi sử

dụng cấu trúc sắp xếp đặc biệt với các mảng đối xứng, cho phép khảo sát toàn bộ phạm vi tham số chỉ với một số thí nghiệm hạn chế. Sắp xếp mảng trực giao được xây dựng dựa trên phương pháp Taguchi cho các giá trị mức khác nhau như được thể hiện trong Bảng 4.

Bảng 4. Sắp xếp ma trận trực giao

Số thí nghiệm	Voltage (V)	Current (I)	Pulse on time T_{on} (μs)
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

Khối lượng của phôi được cân trước và sau mỗi thí nghiệm. Phôi, sau khi được làm sạch để loại bỏ bụi và tạp chất, được kẹp cố định trên máy EDM (Hình 2.2). Quá trình gia công diễn ra khi chi tiết được ngâm trong dung dịch điện môi không dẫn điện, và điện cực được hạ xuống cho đến khi tạo ra tia lửa điện. Trọng lượng của phôi trước và sau khi gia công được cân bằng cân kỹ thuật số có độ chính xác 0,01 g. Độ nhám bề mặt được đo bằng máy Mitutoyo SJ-410 tại Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Hưng Yên. Dữ liệu thu thập từ 9 thí nghiệm được sắp xếp theo ma trận thí nghiệm L9, với kết quả bóc tách vật liệu (MRR) và độ nhám bề mặt (R_z) được trình bày trong Bảng 5. Dựa trên dữ liệu thu được, MRR được tính theo công thức (1) [8], trong khi độ nhám bề mặt R_z được đo sau mỗi thí nghiệm gia công.

$$MRR = \frac{W_{wa} - W_{wb}}{t} \text{ (g/phút)} \quad (1)$$



Trong đó: W_{wa} – Trọng lượng của phôi trước lúc gia công (g); W_{wb} – Trọng lượng của phôi sau lúc gia công (g); t – Thời gian máy gia công (phút).

Bảng 5. Dữ liệu bóc tách vật liệu của phôi và độ nhám bề mặt

STT	Trọng lượng phôi trước gia công (g)	Trọng lượng của phôi sau gia công (g)	MRR (g/min)	R_z (μm)
1	112.21	111.02	0.052	1.377
2	112.26	110.78	0.061	1.782
3	112.24	110.65	0.069	3.123
4	112.12	110.68	0.062	1.746
5	112.24	110.90	0.058	2.233
6	112.40	110.96	0.063	2.300
7	112.44	110.97	0.064	2.437
8	112.26	110.90	0.059	1.827
9	112.27	110.78	0.065	2.750

2.5. Phân tích ảnh hưởng của các thông số đến năng suất bóc tách vật liệu MRR, độ nhám bề mặt R_z

Đặc trưng chất lượng tỉ số S/N của MRR “lớn hơn thì tốt hơn” được xác định bởi công thức sau (2) [9].

$$S/N = -10 \log \frac{1}{n} \left(\sum_1^n \frac{1}{y^2} \right) \quad (2)$$

Đặc trưng chất lượng tỉ số S/N của R_z “nhỏ hơn thì tốt hơn” được xác định bởi công thức sau (3) [10].

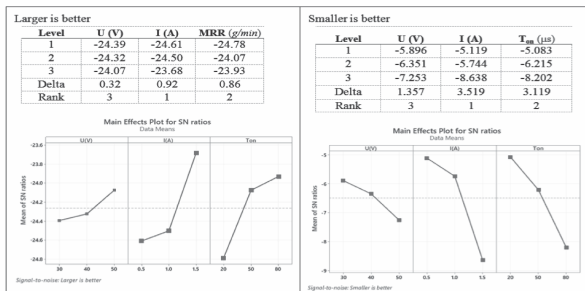
$$S/N = -10 \log \frac{1}{n} \left(\sum_1^n y^2 \right) \quad (3)$$

Để tổng hợp so sánh hai chỉ tiêu MRR và R_z , giá trị S/N được chuẩn hóa theo trọng số 40% cho MRR và 60% cho R_z [11]. Bảng 6 cho biết chỉ số tổng hợp tối ưu S/N là giá trị lớn nhất ứng với các thí nghiệm phân tích bằng phần mềm Minitab.

Bảng 6. Chuẩn hóa giá trị S/N tối ưu ứng với 9 thí nghiệm

1	Current (I)	Pulse on time T_{on} (μs)	Tỉ số S/N (MRR)	Tỉ số S/N (R_z)	Chuẩn hóa giá trị S/N (MRR)	Chuẩn hóa giá trị S/N (R_z)	Chỉ số tổng hợp S/N tối ưu
30	0,5	20	-25.7236	-2.7787	0.000000	0.000000	0
30	1,0	50	-24.244	-5.0182	-0.587842	-0.314853	-0.42405
30	1,5	80	-23.2066	-9.8914	-1.000000	-1.000000	-1
40	0,5	50	-24.2072	-4.8409	-0.602485	-0.289930	-0.41495
40	1,0	80	-24.6925	-6.9778	-0.409676	-0.590361	-0.51809
40	1,5	20	-24.0673	-7.2346	-0.658049	-0.626462	-0.6391
50	0,5	80	-23.8882	-7.7371	-0.729203	-0.697118	-0.70995
50	1,0	20	-24.5638	-5.2348	-0.460802	-0.345308	-0.39151
50	1,5	50	-23.7708	-8.0521	-0.775838	-0.741404	-0.75518

Phân tích tỉ số S/N nhằm mô tả các tác động của các thông số ảnh hưởng đến năng suất bóc tách vật liệu (MRR) và độ nhám bề mặt (R_z). Kết quả cho thấy, ảnh hưởng lớn nhất đến năng suất bóc tách vật liệu (MRR) xảy ra khi $U = 50$ V, $I = 1,5$ A, $T_{on} = 80$ μ s. Đối với độ nhám bề mặt (R_z), ảnh hưởng lớn nhất xảy ra khi $U = 30$ V, $I = 0,5$ A, $T_{on} = 20$ μ s (Hình 2.5).



Hình 2.5. Ảnh hưởng của các thông số đến MRR và độ nhám bề mặt R_z

3. KẾT LUẬN

Trong nghiên cứu này, ba thông số của máy EDM gồm cường độ dòng điện, hiệu điện thế và thời gian phóng xung có tác động đến năng suất bóc tách vật liệu (MRR) và độ nhám bề mặt (R_z) khi gia công thép SKD11. Kết quả từ Bảng 6 cho thấy giá trị S/N cao nhất là giá trị tối ưu tổng hợp của cả hai thông số MRR và R_z . Trong đó, yếu tố ảnh hưởng lớn nhất là cường độ dòng điện $I = 0.5$ A, với mức ảnh hưởng là 78,62%, tiếp theo là thời gian phóng xung $T_{on} = 20$ μ s với mức ảnh hưởng là 28,35%. Hiệu điện thế $U = 30$ V có mức ảnh hưởng nhỏ nhất là 3,03%.

Lời cảm ơn:

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Hưng Yên trong đề tài mã số: UTEHY.L.2024.36. ❖

Ngày nhận bài: 25/9/2024

Ngày phản biện: 29/10/2024

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Rupesh and J. Kumar, "Optimization of WEDM process of pure titanium with multiple performance characteristics using Taguchi's DOE approach and utility concept". Front. Mech. Eng., vol. 8, no. 2, pp. 201-214, 2013, doi: 10.1007/s11465-013-0256-8.
- [2]. A. Alias, B. Abdullah, and N. M. Abbas, "Influence of machine feed rate in WEDM of Titanium Ti-6Al-4V with constant current (6A) using brass wire". Procedia Eng., vol. 41, no. Iris, pp. 1806-1811, 2012, doi: 10.1016/j.proeng.2012.07.387.
- [3]. S. A. Sonawane and M. L. Kulkarni, "Application of utility concept approach for multi-response optimisation of wire electrical discharge machining during profile cutting of Inconel-625". Int. J. Mach. Mach. Mater., vol. 20, no. 1, pp. 13-47, 2018, doi: 10.1504/IJMMM.2018.089468.
- [4]. R. Mukherjee and S. Chakraborty, "Selection of EDM process parameters using biogeography-based optimization algorithm". Mater. Manuf. Process., vol. 27, no. 9, pp. 954-962, 2012, doi: 10.1080/10426914.2011.610089.
- [5]. N. Pragadish and M. Pradeep Kumar, "Optimization of dry EDM process parameters using grey relational analysis". Arab. J. Sci. Eng., vol. 41, no. 11, pp. 4383-4390, 2016, doi: 10.1007/s13369-016-2130-6.
- [6]. H. Majumder and K. Maity, "Optimization of machining condition in WEDM for titanium grade 6 using MOORA coupled with PCA - A multivariate hybrid approach". J. Adv. Manuf. Syst., vol. 16, no. 2, pp. 81-99, 2017, doi: 10.1142/S0219686717500068.
- [7]. Sharma, A. K. (2021, April). "EDM process parameters impact on MRR and TWR for titanium alloy [Ti-6Al-4V] and their optimization using taguchi and topsis method-an experiential analysis". In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 1116, No. 1, p. 012030). IOP Publishing.
- [8]. Sharma, Avdhesh Kumar. "EDM process parameters impact on MRR and TWR for titanium alloy [Ti-6Al-4V] and their optimization using Taguchi and TOPSIS method-An experiential analysis". IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Vol. 1116. No. 1. IOP Publishing, 2021.
- [9]. Phadke, M. S. (1995). "Quality engineering using robust design". Prentice Hall PTR.
- [10]. Antony, J. (2001). "Improving the process design using Taguchi method and response surface methodology". Journal of Operations Management, 19(5), 595-607.
- [11]. Taguchi, G., and Y. Wu. "Introduction to off-line quality control, Central Japan quality control association". Available from American Supplier Institute 32100 (1980).