



NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA CƯỜNG ĐỘ DÒNG ĐIỆN VÀ BƯỚC TIẾN ĐẾN ĐỘ NHÁM BỀ MẶT KHI GIA CÔNG THÉP C45 BẰNG PHƯƠNG PHÁP WEDM

Trần Văn Thắng, Vũ Hữu Chuyển, Phạm Thị Hoa*

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

** Tác giả liên hệ: hoapt2108@gmail.com*

Ngày tòa soạn nhận được bài báo: 10/03/2021

Ngày phản biện đánh giá và sửa chữa: 22/04/2021

Ngày bài báo được duyệt đăng: 12/06/2021

Tóm tắt:

Nghiên cứu này thực nghiệm ảnh hưởng của hai thông số là cường độ dòng điện và bước tiến đến độ nhám bề mặt khi gia công bằng WEDM (Wire Electrical Discharge Machining) thép C45. Nghiên cứu cũng đưa ra được ảnh hưởng của cường độ dòng điện (I) và bước tiến (S) đến độ nhám bề mặt (Ra). Xây dựng phương trình toán học thể hiện mối quan hệ giữa độ nhám bề mặt với cường độ dòng điện và bước tiến. Kết quả thực nghiệm cho thấy cường độ dòng điện tăng độ nhám bề mặt tăng, bước tiến tăng độ nhám cũng tăng khi gia công thép C45 bằng phương pháp WEDM. Kết quả nghiên cứu làm tiền đề cho việc tối ưu hóa chất lượng bề mặt chi tiết gia công bằng phương pháp WEDM trong tương lai.

Từ khóa: WEDM, độ nhám bề mặt, thép C45.

1. Đặt vấn đề

Ngày nay với sự phát triển của ngành công nghiệp, các phương pháp gia công cơ khí ngày càng phát triển và đa dạng hơn. Máy cắt dây bằng tia lửa điện được sử dụng phổ biến hơn các vật liệu khó gia công. Phương pháp gia công WEDM (cắt dây tia lửa điện) được ứng dụng rộng rãi trong các ngành công nghiệp hàng không vũ trụ, ô tô và y tế, cũng như trong các lĩnh vực gia công vật liệu dẫn điện. Cơ chế loại bỏ kim loại trong WEDM tạo thành sự ăn mòn của vật liệu do phóng tia lửa điện giữa các điện cực dụng cụ và phôi, ngâm trong môi trường điện môi lỏng. Bộ vi xử lý cũng liên tục duy trì khoảng cách giữa dây và phôi, thay đổi từ 0,025 đến 0,05 mm. Tác giả Neeraj Sharma [1] đã nghiên cứu các thông số quá trình cắt khi gia công thép HSLA trên WEDM. Xây dựng được mô hình toán học được phát triển với sự phát triển của phương pháp bề mặt đáp ứng RSM và thuật toán di truyền GA để tìm ra bộ thông số tối ưu. Amitesh Goswami [2] nghiên cứu tính toán vệt bề mặt và tỷ lệ loại bỏ vật liệu và độ mòn của dây khi gia công của Nimonic 80A sử dụng WEDM. Kết quả cho thấy thời gian xung cao dẫn đến lớp bề mặt dày hơn. Tác giả Neeraj Sharma [3] đã sử dụng mô hình

toán học của phương pháp bề mặt đáp ứng (RSM) và thuật toán di truyền để tìm ra các thông số gia công tối ưu sử dụng phương pháp WEDM gia công thép HSLA (*High-strength low-alloy steel*). Nghiên cứu của N. Ozdemir [4] nhằm kiểm tra các thông số đầu vào (điện áp gia công, dòng điện và tốc độ dây dẫn) đến độ nhám bề mặt và cấu trúc tế vi lớp bề mặt khi gia công gang đúc bằng phương pháp WEDM. S. S. Mahapatra [5] đã tối ưu hóa các tham số bằng phương pháp Taguchi khi gia công WEDM. Tác giả M. Dastagiri [6] cũng đã sử dụng phương pháp tối ưu bằng phương pháp GRA, TOPSIS khi gia công WEDM vật liệu EN31. Cùng phương pháp này tác giả Nguyễn Hữu Phấn [7] cũng đã đề cập, tác giả nghiên cứu sự phù hợp của Taguchi – Topsis để tối ưu hóa đa mục tiêu thép làm khuôn SKD61, SKD11, SKT4 bằng phương pháp PMEDM. Như vậy với phương pháp WEDM đã được nhiều tác giả trong và ngoài nước nghiên cứu về ảnh hưởng của các tham số đến chất lượng bề mặt chi tiết gia công. Tối ưu hóa đơn hoặc đa mục tiêu các tham số cắt đến chất lượng bề mặt chi tiết gia công bằng phương pháp WEDM.

Nghiên cứu này khảo sát ảnh hưởng của cường độ dòng điện và bước tiến đến độ nhám bề

mặt, xây dựng phương trình toán học biểu diễn mối quan hệ của I và S đến Ra . Đánh giá mức độ ảnh hưởng của độ nhám ở cường độ dòng điện và bước tiến khác nhau khi gia công thép C45 bằng phương pháp WEDM.

2. Thiết bị thí nghiệm

2.1. Máy gia công cắt dây tia lửa điện (WEDM)

Nghiên cứu sử dụng máy gia công cắt dây bằng tia lửa điện WEDM phonic DW5 (Hình 1) có các thông số cơ bản sau: Dòng điện 10A, tốc độ cắt $100 \div 180 \text{ mm}^2/\text{phút}$, độ chính xác cắt $\pm 0,015$ (mm), độ bóng tốt nhất $1.0 \mu\text{mRA}$, công suất 3KVA, trọng lượng 200 kg. Tần số phóng tia lửa điện: $Z = 200.000 - 500.000 \text{ Hz}$, Khe hở điện cực: $\delta = 0,025 - 0,05 \text{ mm}$, Điện thế: $U = 20 - 250 \text{ V}$.

2.2. Mẫu thí nghiệm

Nghiên cứu sử dụng vật liệu C45, đây là loại thép hợp kim có hàm lượng carbon cao lên đến 0,45%. Ngoài ra loại thép này có chứa các tạp chất khác như silic, lưu huỳnh, mangan, crom... Có độ cứng, độ kéo phù hợp cho việc chế tạo khuôn mẫu. Thép được ứng dụng trong cơ khí chế tạo máy, các chi tiết chịu tải trọng cao và sự va đập mạnh. Thành phần hóa học và đặc tính của vật liệu C45 được cho trên Bảng 1 và Bảng 2. Kích thước phôi thí nghiệm $40 \times 10 \times 2 \text{ mm}$.



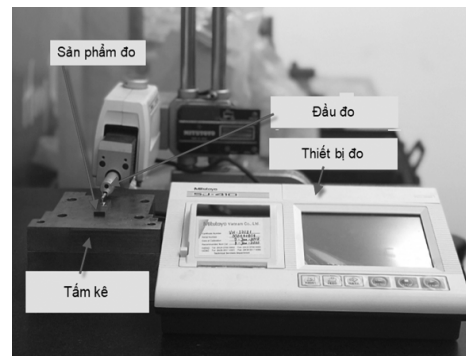
Hình 1. Máy WEDM phonic DW 45

2.3. Thiết bị đo

Thiết bị đo độ nhám SJ410 phòng thí nghiệm đo lường – Khoa cơ khí – Trường Đại học Sư phạm kỹ thuật Hưng Yên (Hình 2). Thông số độ nhám phù hợp với các tiêu chuẩn ISO, DIN, ANSI và JIS mới nhất. Phạm vi đo: $800 \mu\text{m}$, độ phân giải $0,000125 \mu\text{m}$. Có thể đo các bước siêu nhỏ và độ mạnh bằng cách sử dụng chức năng đo không trượt. Trên Hình 2 thể hiện sơ đồ đo nhám bề mặt sau gia công.

2.4. Điều kiện thí nghiệm

Nghiên cứu thực nghiệm gia công thép C45 bằng phương pháp WEDM với điều kiện: điện áp $U_{dc} = 90\text{V}$, đường kính dây $d = 0,18\text{mm}$, điện cực Modipden, dung dịch tron nguội (dầu khoáng và nước).



Hình 2. Thiết bị đo độ nhám

3. Xây dựng mô hình toán học ảnh hưởng của I , S đến Ra khi gia công thép C45 bằng WEDM

3.1 Thiết kế thí nghiệm

Nghiên cứu thực nghiệm đánh giá ảnh hưởng của hai thông số là cường độ dòng điện I (A) và bước tiến S (mm/phút) đến độ nhám bề mặt khi gia công thép C45 bằng phương pháp WEDM. Nghiên cứu lựa chọn 2 yếu tố và 3 mức độ (I , S) cho trên Bảng 3. Các thí nghiệm được thực hiện trong cùng điều kiện dung môi, kích thước phôi bằng nhau...

Bảng 1. Thành phần hóa học của thép C45

Mác thép	C (%) min-max	Si (%) min-max	Mn (%) min-max	P (%) tối đa	S (%) tối đa	Cr (%) min-max
C45	0,42-0,50	0,15-0,35	0,50-0,80	0,025	0,025	0,20-0,40

Bảng 2. Đặc tính của thép C45

Mác	Giới hạn chảy σ_{ch} (kG/mm ²)	Độ bền kéo σ_b (kG/mm ²)	Độ dẫn dài tương đối $\delta\%$	Độ thắt tương đối	Độ dai va đập (kG/mm ²)	Độ cứng sau thường hóa (HB)	Độ cứng sau ủ hoặc Ram (HB)
C45	36	61	16	40	5	≤ 229	≤ 197

Bảng 3. Đặc tính của thép C45

Biến	Tham số cắt	Đơn vị	Mức 1	Mức 2	Mức 0
X1	I	A	3	5	4
X2	S	mm/ph	20	40	30

3.2. Xây dựng mô hình toán học ảnh hưởng của I và S đến Ra

Từ Bảng 3 nghiên cứu thiết kế 6 thí nghiệm ứng với các biến mã hóa. Bảng kết quả đo độ nhám thép C45 khi gia công bằng phương pháp WEDM được cho trên Bảng 4.

Để xây dựng được hàm toán học của Ra phụ thuộc vào cường độ dòng điện, lượng tiến dao có xét đến ảnh hưởng độ nhám bề mặt. Mô hình toán học của độ nhám bề mặt phụ thuộc vào I, S khi gia công C45 bằng tia lửa điện có phương trình sau:

$$Ra = a_1 \cdot I^{a_2} \cdot S^{a_3} \quad (1)$$

Trong đó: Ra là độ nhám bề mặt; a_1, a_2, a_3 là các tham số phụ thuộc; I, S là các thông số công nghệ được xác định như trên Bảng 3.

Để xác định hằng số và số mũ của phương trình, mô hình toán học này được tuyến tính hóa bằng hàm logarit và phương trình được viết lại như sau:

$$\ln Ra = \ln a_1 + a_2 \cdot \ln I + a_3 \cdot \ln S \quad (2)$$

Mô hình tuyến tính của phương trình có dạng như sau:

$$y = q_0 + q_1 x_1 + q_2 x_2 \quad (3)$$

Bằng phần mềm Excel với công cụ Regression các kết quả phân tích phương sai cho trên Bảng 4 thì phương trình (3) sẽ ứng với phương trình sau:

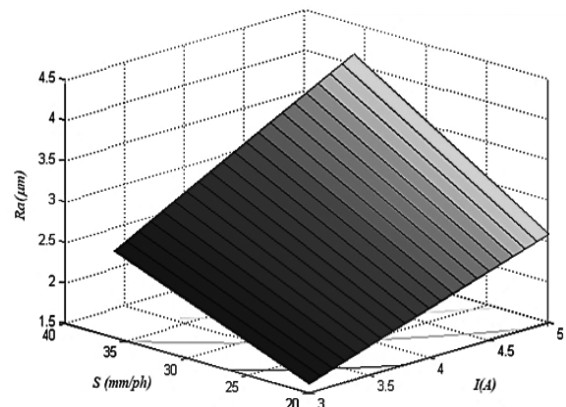
$$y = -2,898x_1 + 0,923x_2 + 0,787x_3 \quad (4)$$

Phân tích phương sai cho thấy F lý thuyết bằng 0,028 nhỏ hơn 0,5 như vậy phương trình hồi quy thu được phù hợp với thực tế. Phương trình phụ

thuộc của Ra với các thông số công nghệ I và S lúc này sẽ là:

$$Ra = 0,0554 \cdot I^{0,923} \cdot S^{0,787} \quad (5)$$

Từ phương trình (5) và Hình 3 cho thấy mối quan hệ giữa độ nhám bề mặt Ra với các tham số cắt (I, S). Cường độ dòng điện và bước tiến đều tỷ lệ thuận với độ nhám bề mặt chi tiết sau gia công thép C45 bằng phương pháp WEDM. Khi cường độ dòng điện (I) tăng thì năng suất bóc tách vật liệu (W_c) tăng, dẫn đến độ nhám bề mặt (Ra) cũng tăng và ngược lại. Còn khi bước tiến (S) tăng, thì lượng vật liệu trong một xung càng lớn dẫn đến độ nhám bề mặt (Ra) tăng và ngược lại.



Hình 3. Mối quan hệ của I, S đến Ra

4. Phân tích ảnh hưởng của I, S đến Ra khi gia công thép C45 bằng phương pháp WEDM

Để làm sáng tỏ ảnh hưởng của các thông số đến độ nhám bề mặt, nghiên cứu thực nghiệm với các cường độ dòng điện 2,5; 3,0; 4,0; và 5,0 (A) và thay đổi bước tiến S từ 20 đến 40 mm/phút. Đánh giá sai lệch về độ nhám bề mặt ở cường độ dòng điện hoặc bước tiến khác nhau áp dụng công thức (6) sau đây:

Bảng 4. Độ nhám bề mặt đo được khi gia công thép C45 bằng phương pháp WEDM

TT	Biến mã hóa		I (A)	S (mm/phút)	Ra (μm)	ln(I)	ln(S)	ln(Ra)
	X1	X2						
1	-1	-1	3	20	1,422	1,099	2,996	0,352
2	+1	-1	5	20	2,825	1,609	2,996	1,039
3	-1	+1	3	40	3,038	1,099	3,689	1,111
4	+1	+1	5	40	3,897	1,609	3,689	1,360
5	0	0	4	30	3,045	1,386	3,401	1,114

$$\% \Delta Ra = \frac{Ra_i - Ra_j}{Ra_i} \cdot 100\% \quad (6)$$

Độ nhám bề mặt đo được tương ứng với từng thí nghiệm cho trên Bảng 5. Trên Hình 4 thể hiện sự thay đổi độ nhám bề mặt ứng với bước tiến khác nhau cho từng cường độ dòng điện. Thấy rằng cường độ dòng điện 2,5 (A) thì độ nhám bề mặt nhỏ nhất bằng 1,122 μm ứng với bước tiến 20 (mm/phút). Tuy nhiên vẫn bước tiến đó cường độ dòng điện 5 (A) thì độ nhám đo được là 2,825 μm , độ nhám bề mặt tăng 47,96 %. Khi cường độ dòng điện tăng gấp đôi, độ nhám bề mặt chi tiết cũng tăng tương ứng. Mặt khác trên hình cũng cho thấy cường độ dòng điện từ 4,0 (A) đến 5,0 (A) thì độ nhám bề mặt thay đổi không quá lớn nhiều nhất là khoảng 24 %

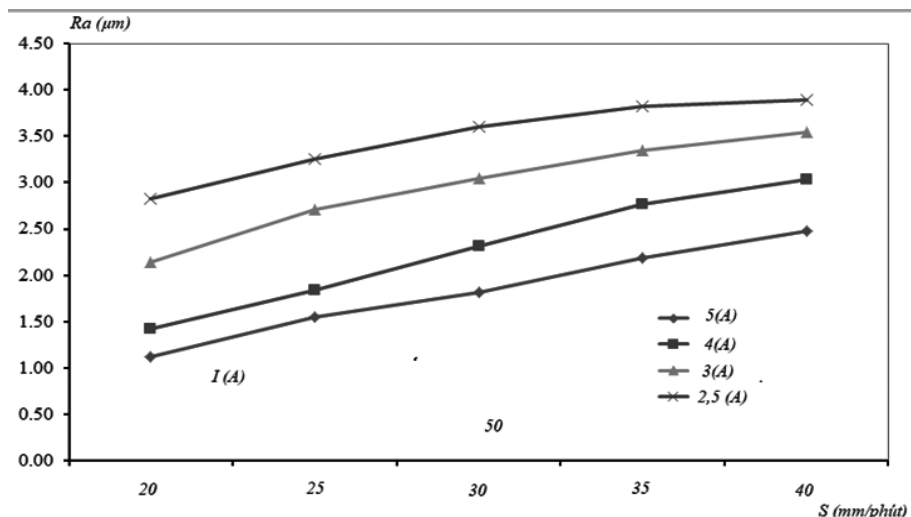
ở bước tiến 20 mm/phút nhỏ nhất là 9,1 % ở bước tiến 40 mm/phút.

Như vậy có thể thấy rằng cường độ dòng điện cao thì mức độ thay đổi độ nhám dần ổn định khi gia công thép C45 bằng phương pháp WEDM.

Xét ảnh hưởng của bước tiến đến độ nhám bề mặt, theo sơ đồ Hình 4 cho thấy bước tiến càng lớn thì độ nhám bề mặt càng tăng. Khi bước tiến thay đổi từ 20 mm/phút đến 40 mm/phút, độ nhám bề mặt tăng 54,6 % ở cường độ 2,5 (A). Tuy nhiên độ nhám lại có mức tăng là 27,5 % ở cường độ dòng điện ở 5 (A) khi tăng lượng chạy dao 20 đến 40 mm/phút. Như vậy cho thấy cường độ dòng điện lớn thì mức tăng độ nhám nhỏ hơn cường độ dòng điện nhỏ.

Bảng 4. Bảng thống kê hồi quy và phân tích ANOVA

Thống kê hồi quy								
R	R ²	Hệ số điều chỉnh R Square			Sai số chuẩn	Tổng		
0,953	0,909	0,819			0,161	5		
Phân tích ANOVA								
	df	SS	MS	F	Significance F			
Do hồi quy	2	0,524	0,262	10,068	0,0903			
Do ngẫu nhiên	2	0,052	0,026					
Tổng	4	0,576						
	Hệ số	Độ lệch tiêu chuẩn	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95.0%	Upper 95.0%
Hệ số tự do	-2,899	0,890	-3,257	0,083	-6,729	0,931	-6,729	0,931
Biến X1	0,923	0,315	2,926	0,100	-0,434	2,279	-0,434	2,279
Biến X2	0,787	0,232	3,390	0,077	-0,212	1,785	-0,212	1,785



Hình 4. Biểu đồ thể hiện độ nhám bề mặt ở cường độ I và bước tiến S khác nhau

Bảng 5. Ảnh hưởng của cường độ dòng điện và bước tiến đến độ nhám bề mặt khi gia công tia lửa điện thép C45

		Cường độ dòng điện I (A)			
		2,5	3,0	4,0	5,0
Bước tiến S (mm/ph)	20	1,122	1,422	2,145	2,825
	30	1,552	1,834	2,709	3,253
	35	1,813	2,318	3,045	3,598
	40	2,186	2,772	3,343	3,822

5. Kết luận

Độ nhám bề mặt chi tiết gia công quyết định đến tuổi thọ của chi tiết máy. Nghiên cứu thực nghiệm ảnh hưởng của các thông số cắt như cường độ dòng điện I , bước tiến S đến độ nhám bề mặt khi gia công thép C45 bằng phương pháp WEDM. Kết quả cho thấy, cường độ dòng điện tăng thì độ nhám

bề mặt tăng, mức độ tăng giảm dần khi cường độ dòng điện cao. Bước tiến S tăng độ nhám bề mặt tăng và mức tăng khá đồng đều ở khi thay đổi cường độ dòng điện. Kết quả nghiên cứu giúp nhà công nghệ điều chỉnh chế độ cắt để độ nhám nhỏ nhất khi gia công thép C45 bằng phương pháp WEDM.

Tài liệu tham khảo

- [1].N. Sharma, R. Khanna, and R. D. Gupta, “WEDM process variables investigation for HSLA by response surface methodology and genetic algorithm,” *Eng. Sci. Technol. an Int. J.*, vol. 18, no. 2, pp. 171–177, 2015.
- [2].A. Goswami and J. Kumar, “Investigation of surface integrity, material removal rate and wire wear ratio for WEDM of Nimonic 80A alloy using GRA and Taguchi method,” *Eng. Sci. Technol. an Int. J.*, vol. 17, no. 4, pp. 173–184, 2014.
- [3].N. Sharma, R. Khanna, R. D. Gupta, and R. Sharma, “Modeling and multiresponse optimization on WEDM for HSLA by RSM,” *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 67, no. 9–12, pp. 2269–2281, 2013.
- [4].N. Özdemir and C. Özek, “An investigation on machinability of nodular cast iron by WEDM,” *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 28, no. 9, pp. 869–872, 2006.
- [5].S. S. Mahapatra and A. Patnaik, “Parametric optimization of Wire Electrical Discharge Machining (WEDM) process using taguchi method,” *J. Brazilian Soc. Mech. Sci. Eng.*, vol. 28, no. 4, pp. 422–429, 2006.
- [6].M. Dastagiri, P. S. Rao, and P. M. Valli, “TOPSIS , GRA Methods for Parametric Optimization on Wire Electrical Discharge Machining (WEDM) Process,” no. May 2021, 2016.
- [7].Nguyễn Hữu Phần “Đánh giá sự phù hợp của tích hợp Topsis – Taguchi để tối ưu hóa đa mục tiêu thông số công nghệ trong phương pháp gia công bằng tia lửa điện,” *Tạp chí phát triển khoa học & công nghệ: kỹ thuật & công nghệ*, tập 1, S. 2, pp. 42–49, 2018.

**EFFECTS OF CURRENT AND FEEDRATE ON SURFACE ROUGHNESS
OF THE C45 STEEL IN THE WEDM MACHINING**

Abstract:

In this study, the effects of current (I) and feedrate (S) on surface roughness (Ra) of C45 steel during WEDM (Wire Elechtrical Discharge Machining) machining are investigated. The mathematical equations showing the relationship between the Ra and the I , the Ra and the S are constructed. The experimental results show that the Ra increases as the I and the S increase. This result is the premise for optimizing the surface quality of the part in the WEDM machining in the future.

Keywords: WEDM, surface roughness, C45 steel.