

KHẢO SÁT ĐÁNH GIÁ ẢNH HƯỞNG CỦA MỘT SỐ YẾU TỐ CÔNG NGHỆ ĐẾN ĐỘ NHÁM BỀ MẶT KHI CẮT DÂY HỢP KIM CỨNG

INVESTIGATION AND EVALUATION OF THE INFLUENCE OF CERTAIN TECHNOLOGICAL FACTORS ON SURFACE ROUGHNESS IN WIRE CUTTING OF HARD ALLOYS

Phạm Văn Bổng^{1,*}, Nguyễn Hoàng Thông¹,
Hoàng Văn Dũng²

DOI: <http://doi.org/10.57001/huiv5804.2025.065>

TÓM TẮT

Bài báo trình bày kết quả khảo sát và đánh giá ảnh hưởng của một số yếu tố công nghệ, bao gồm điện áp dòng điện (U), cường độ dòng điện (I) và tốc độ tiến dây (f) đến độ nhám bề mặt khi gia công thực nghiệm mảnh hợp kim cứng BK6 thuộc nhóm một carbide trên máy cắt dây EDM CHMER CW 420HS do Đài Loan sản xuất. Phạm vi chế độ cắt trong thực nghiệm được xác định như sau: điện áp dòng điện U từ 70V đến 80V, cường độ dòng điện I từ 1A đến 2A và lượng tiến dây khi cắt f từ 6 mm/phút đến 7 mm/phút. Kết quả nghiên cứu cho thấy, cả ba yếu tố trên đều ảnh hưởng tỷ lệ thuận đến độ nhám bề mặt, trong đó tốc độ tiến dây (f) có tác động lớn nhất. Những kết quả này là cơ sở quan trọng để lựa chọn chế độ công nghệ phù hợp, nhằm đảm bảo chất lượng bề mặt theo yêu cầu.

Từ khóa: Điện áp dòng điện, cường độ dòng điện, tốc độ tiến dây, độ nhám bề mặt, mảnh hợp kim cứng BK6.

ABSTRACT

The paper presents the results of a study evaluating the influence of several technological factors, including discharge voltage (U), current intensity (I), and wire feed rate (f), on surface roughness during the experimental machining of BK6 hard alloy inserts, a carbide group material, using the CHMER CW 420HS wire-cut EDM machine manufactured in Taiwan. The experimental machining parameters were set as follows: discharge voltage U from 70V to 80V, current intensity I from 1A to 2A, and wire feed rate f from 6 mm/min to 7 mm/min. The research results indicate that all three factors have a direct proportional effect on surface roughness, with wire feed rate (f) exhibiting the most significant influence. These results serve as an important basis for selecting appropriate machining parameters to ensure the required surface quality.

Keywords: Discharge voltage, current intensity, wire feed rate, surface roughness, BK6 hard alloy inserts.

¹Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

²Trường Cao đẳng Công nghệ Bách khoa Hà Nội

*Email: phambong1963@gmail.com

Ngày nhận bài: 13/12/2024

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 20/3/2025

Ngày chấp nhận đăng: 28/3/2025

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Hợp kim cứng dùng làm phần cắt của dụng cụ cắt thường được chế tạo bằng cách sau khi luyện kim bột và thiêu kết thì được ép thành từng mảnh cắt tiêu chuẩn có hình dáng, góc độ theo yêu cầu. Tuy nhiên trong thực tiễn có rất nhiều mảnh cắt phi tiêu chuẩn dùng trong gia công loạt trên các máy gia công CNC. Để tạo ra được mảnh cắt phi tiêu chuẩn đó người ta phải cắt từ các tấm hợp kim cứng có sẵn. Do loại hợp kim này có độ cứng rất cao (70 - 75HRC) nên không thể gia công bằng dụng cụ cắt thông thường mà phải gia công cắt bằng tia lửa điện trên máy cắt dây vì ngoài phương pháp mài thì chỉ có phương pháp gia công tia lửa điện mới có thể cắt được các vật liệu có tính dẫn điện và độ cứng rất cao [1, 2]. Các mảnh cắt sau gia công không chỉ đòi hỏi có độ chính xác về hình dáng, kích thước mà còn cần cả độ nhám bề mặt đáp ứng theo yêu cầu. Chất lượng bề mặt sau gia công phụ thuộc vào rất nhiều yếu tố trong đó ảnh hưởng chính là các thông số công nghệ như điện áp dòng điện (U), cường độ dòng điện (I), tốc độ dịch chuyển dây để cắt (f), thời gian phóng xung (T_{on}) và ngừng phóng xung (T_{off}). Nghiên cứu về vấn đề này, các

tác giả trong và ngoài nước đã có các công trình nghiên cứu thực nghiệm và công bố kết quả như: Nghiên cứu của tác giả Nguyễn Mạnh Cường [3] về ảnh hưởng của thông số công nghệ đến chất lượng bề mặt khi cắt dây thép 90CrSi có sử dụng dung dịch điện môi trộn bột NaNo Sic. Kết quả cho thấy, cả ba thông số công nghệ đều có tác động đến nhám bề mặt trong đó ảnh hưởng của điện áp dòng điện là nhỏ nhất. Nghiên cứu của tác giả Lưu Đức Bình [4] về ảnh hưởng của thời gian phóng và ngừng phóng xung đến độ nhám bề mặt khi gia công thép C45, CD70, BK8 cho thấy ảnh hưởng đến độ nhám khi gia công hợp kim cứng BK8 là thấp nhất. Nghiên cứu của tác giả Muayad M. Ali [5] khi tốc độ tiến dây $f = 6\text{mm/phút}$, điện áp $U = 50\text{V}$ thời gia ngừng phóng xung $T_{\text{off}} = 30\mu\text{s}$ ứng với thời gian phóng xung $T_{\text{on}} = 25\mu\text{s}$ cho độ nhám bề mặt nhỏ nhất là $1,56\mu\text{m}$, ứng với thời gian phóng xung $T_{\text{on}} = 30\mu\text{s}$ cho độ nhám bề mặt cao nhất là $2,4533\mu\text{m}$. Nghiên cứu của tác giả Nihat ToSun [6] về ảnh hưởng của điện áp (U), cường độ (I), tốc độ tiến cắt (f) khi gia công vật liệu thép và hợp kim thì cả ba yếu tố đều có ảnh hưởng theo hướng tỷ lệ thuận với chiều cao nhám bề mặt và ảnh hưởng của điện áp là nhỏ nhất.

Như vậy, các nghiên cứu đã đề cập đến ảnh hưởng của các thông số công nghệ đến độ nhám bề mặt khi gia công vật liệu có độ cứng cao, việc đi sâu vào nghiên cứu ảnh hưởng khi gia công hợp kim cứng nhóm một carbide còn hạn chế. Để có cơ sở đánh giá sự ảnh hưởng của ba yếu tố công nghệ đó và đưa ra giải pháp công nghệ cần phải được thực nghiệm khảo sát cụ thể.

2. THỰC NGHIỆM KHẢO SÁT SỰ ẢNH HƯỞNG CỦA BA YẾU TỐ CÔNG NGHỆ ĐẾN ĐỘ NHÁM BỀ MẶT

Mô hình thực nghiệm

Thay đổi ba yếu tố công nghệ cho quá trình gia công (biến số đầu vào), xem xét tác động đến độ nhám bề mặt gia công (thông số đầu ra) (hình 1).



Hình 1. Mô hình thực nghiệm

Thực nghiệm cắt các mảnh cắt có kích thước và hình dạng giống nhau trên máy cắt dây, sau khi cắt tiến hành đo độ nhám bề mặt cho từng thực nghiệm. Căn cứ vào kết quả đo để xác định hàm mục tiêu và đánh giá sự ảnh hưởng của các yếu tố đến độ nhám bề mặt.

Thiết bị

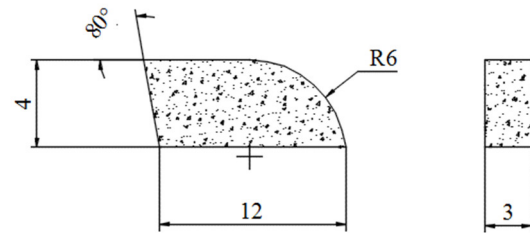
- Máy gia công: thực hiện trên máy cắt dây EDM CHMER CW 420HS do Đài Loan sản xuất.

- Thiết bị đo nhám: Sử dụng thiết bị đo nhám KEYENCE VHX-E20 của Nhật Bản sản xuất.

Phôi và vật liệu gia công

Sử dụng phôi hợp kim cứng nhóm 1 carbide BK6 có sẵn trên thị trường, kích thước phôi dạng đĩa tròn đường kính 40mm, bề dày 3mm.

Thực nghiệm cắt thành mảnh cắt có kích thước như hình 2.



Hình 2. Bản vẽ mảnh cắt

Chế độ cắt khi thực nghiệm và bảng quy hoạch thực nghiệm

Căn cứ vào vật liệu gia công, vào yêu cầu kỹ thuật, vào khả năng của máy, trên cơ sở tìm hiểu thực tiễn, miền chế độ cắt khi thực nghiệm được xác định như sau:

- Điện áp (U): từ 70(V) đến 80(V).
- Cường độ dòng điện (I): từ 1(A) đến 2(A).
- Lượng tiến cắt (f): từ 6(mm/phút) đến 8(mm/phút).

Bảng quy hoạch thực nghiệm được thiết kế như thể hiện trong bảng 1.

Bảng 1. Bảng quy hoạch thực nghiệm

TT	Biến mã hóa			Biến thực nghiệm			R_a (μm)
	X_1	X_2	X_3	f (mm/p)	U (V)	I (A)	
1	-1	-1	-1	6	70	1	
2	+1	-1	-1	8	70	1	
3	-1	+1	-1	6	80	1	
4	+1	+1	-1	8	80	1	
5	-1	-1	+1	6	70	2	
6	+1	-1	+1	8	70	2	
7	-1	+1	+1	6	80	2	
8	+1	+1	+1	8	80	2	
9	0	0	0	7	75	1,5	
10	0	0	0	7	75	1,5	
11	0	0	0	7	75	1,5	

3. THỰC NGHIỆM KHẢO SÁT VÀ ĐÁNH GIÁ KẾT QUẢ

Xác định hàm hồi quy

Nhóm tác giả tiến hành thí nghiệm với 11 thí nghiệm. Sau thực nghiệm tiến hành làm sạch 11 chi tiết và đo nhám bề mặt. Kết quả đo độ nhám được thể hiện trong bảng 2.

Bảng 2. Kết quả đo độ nhám bề mặt

TT	f (mm)	U (V)	I (A)	R _a (μm)
1	6	70	1	2,0006
2	8	70	1	3,2824
3	6	80	1	2,8495
4	8	80	1	3,6256
5	6	70	2	3,7006
6	8	70	2	4,6139
7	6	80	2	3,9139
8	8	80	2	5,1811
9	7	75	1,5	3,5344
10	7	75	1,5	3,3368
11	7	75	1,5	3,3496

Hàm số biểu diễn mối quan hệ giữa các yếu tố công nghệ với độ nhám bề mặt thường là hàm phi tuyến. Giả sử mối quan hệ giữa các yếu tố công nghệ với độ nhám bề mặt tuân theo quy luật hàm số mũ có phương trình tổng quát là: $R_a = K_{Ra} \cdot f^a \cdot U^b \cdot I^c$

Trong đó: K_{Ra} là hằng số thực nghiệm; a, b, c là số mũ kể đến sự ảnh hưởng của f, U, I đến độ nhám bề mặt.

Từ phương trình tổng quát trên, tiến hành thực hiện Logarit cơ số e hai vế của phương trình ta có:

$$\ln(R_a) = \ln(K_{Ra}) + a \cdot \ln(f) + b \cdot \ln(U) + c \cdot \ln(I)$$

Đặt $a_0 = \ln(K_{Ra})$; $a_1 = a$; $a_2 = b$; $a_3 = c$; $y = \ln(R_a)$; $x_1 = \ln(f)$; $x_2 = \ln(U)$; $x_3 = \ln(I)$

Ta được: $y = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 + a_3 x_3$.

Kết quả tính toán Logarit các tham số như thể hiện trong bảng 3.

Bảng 3. Kết quả tính toán Logarit

STT	ln(f)	ln(U)	ln(I)	ln(R _a)
1	1,7918	4,2485	0	0,6934
2	2,0794	4,2485	0	1,1886
3	1,7918	4,382	0	1,0471
4	2,0794	4,382	0	1,288
5	1,7918	4,2485	0,6931	1,3085
6	2,0794	4,2485	0,6931	1,5291

7	1,7918	4,382	0,6931	1,3645
8	2,0794	4,382	0,6931	1,645
9	1,9459	4,3175	0,4055	1,2625
10	1,9459	4,3175	0,4055	1,205
11	1,9459	4,3175	0,4055	1,2088

Áp dụng phương pháp bình phương nhỏ nhất trong các tính toán qui hoạch thực nghiệm [3], trên cơ sở hỗ trợ của phần mềm Matlab R6.5, Microsoft Excel vào việc tìm hàm hồi quy như sau:

Ta có: $[X] \cdot [Y] = [A]$

Với: $[X]$ là ma trận biến số đầu vào thực nghiệm; $[Y]$ là ma trận cột giá trị đo được độ nhám bề mặt; $[A]$ là ma trận hệ số tương ứng với a_0, a_1, a_2, a_3 .

Kết quả tính toán ta được ma trận hệ số:

$$[A] = \begin{bmatrix} z_1 = -6,0274 \\ z_2 = 1,1594 \\ z_3 = 0,5772 \\ z_4 = 1,0646 \end{bmatrix}$$

⇒ Ta có được hàm hồi quy:

$$R_a = e^{z_1} \cdot f^{z_2} \cdot U^{z_3} \cdot I^{z_4} = 0,00242 \cdot f^{1,1594} \cdot U^{0,5772} \cdot I^{1,0646}$$

Đánh giá độ tin cậy của hàm hồi qui thực nghiệm

Độ tin cậy được đánh giá theo công thức [7]:

$$r = \frac{\sigma_y^2 - \sigma_{y'}^2}{\sigma_y^2}$$

$$\text{Trong đó: } \begin{cases} \sigma_y^2 = \frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \\ \sigma_{y'}^2 = \frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (y_i - y_i')^2 \end{cases}$$

Với: y_i : Giá trị độ nhám R_a thực nghiệm; $\bar{y}$: Giá trị trung bình độ nhám R_a thực nghiệm; y_i' : Giá trị độ nhám R_a theo hàm hồi qui thực nghiệm; n: Số thí nghiệm.

Lập bảng tính toán ta có độ tin cậy như thể hiện trong bảng 4.

Bảng 4. Kết quả tính toán độ tin cậy

STT	R _a (μm)	R' _a (μm)	(R _a - R _{a'}) ²	(R _a - R' _a) ²
1	2,0006	2,2385	2,4969	0,0566
2	3,2824	3,0407	0,0890	0,0584
3	2,8495	2,6133	0,5347	0,0558
4	3,6256	3,5498	0,0020	0,0057
5	3,7006	3,3398	0,0144	0,1302
6	4,6139	4,5365	1,0674	0,0060

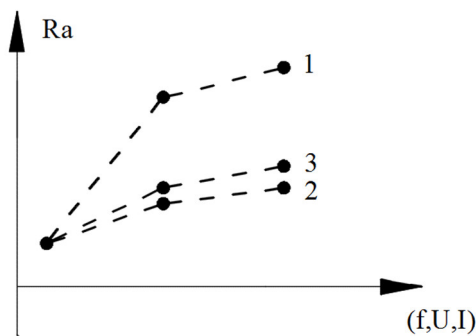
7	3,9139	3,8990	0,1110	0,0002
8	5,1811	5,2961	2,5611	0,0132
9	3,5344	3,6109	0,0021	0,0058
10	3,3368	3,6109	0,0595	0,0751
11	3,3496	3,6109	0,0534	0,0683

Kết quả tính ta được: $r = 0,932$, độ tin cậy 93,2%.

Kết quả trên cho thấy mô hình hồi quy có độ tin cậy cao.

Đánh giá sự ảnh hưởng của các yếu tố đến chất lượng bề mặt

Để đánh giá ảnh hưởng của từng yếu tố, căn cứ vào hàm hồi quy, giả thiết với hai yếu tố còn lại không đổi ta sẽ có được mối quan giữa độ nhám bề mặt với từng yếu tố như thể hiện trên hình 3.



Hình 3. Mối quan giữa độ nhám bề mặt với từng yếu tố

Theo kết quả trên hình 3 cho thấy: cả ba yếu tố đều có ảnh hưởng đến chất lượng bề mặt theo hướng tỷ lệ thuận. Khi tăng tốc độ dịch chuyển của dây (f) trong khoảng từ 6mm/phút đến 7mm/phút (đường 1); tăng điện áp từ 70V đến 75V (đường 3), tăng cường độ dòng điện từ 1A đến 1,5A (đường 2) thì chiều cao nhám tăng lên trong đó ảnh hưởng của lượng tiến cắt là lớn nhất (đường 1), sau đó đến ảnh hưởng của cường độ dòng điện (đường 3). Điện áp dòng phóng tia lửa điện có ảnh hưởng đến chất lượng bề mặt nhưng sự ảnh hưởng so với các yếu tố khác là nhỏ nhất (đường 2). Điều này hoàn toàn phù hợp với lý thuyết và kết quả các nghiên cứu trước đó đã được công bố.

4. KẾT LUẬN

Qua nghiên cứu thực nghiệm ảnh hưởng của một số yếu tố công nghệ đến độ nhám bề mặt khi cắt dây hợp kim cứng cho thấy các yếu tố công nghệ đều có ảnh hưởng đến chất lượng bề mặt trong đó ảnh hưởng của lượng tiến dây khi cắt là lớn nhất. Từ kết quả này, khi cần gia công đảm bảo độ nhẵn bề mặt ở mức nào đó ta có thể giải quyết theo một trong các hướng:

- Một là giữ nguyên điện áp U và lượng tiến cắt f , giảm cường độ dòng điện I . Phương án này đảm bảo độ nhẵn bề mặt và đảm bảo được năng suất cắt.

- Hai là giữ nguyên điện áp U và cường độ dòng điện I , giảm lượng tiến cắt f . Phương án này cho độ nhẵn bề mặt tốt hơn nhưng sẽ ảnh hưởng đến năng suất gia công

- Ba là giữ nguyên điện áp U , giảm cường độ dòng điện I và lượng tiến cắt f . Phương án này đảm bảo chất lượng bề mặt nhưng ít ảnh hưởng đến năng suất gia công.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Nguyễn Văn Đức, *Nghiên cứu xác định chế độ công nghệ tối ưu khi gia công xung tia lửa điện bằng điện cực đồng*. Luận án Tiến sĩ, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội, 2020.
- [2]. Bành Tiến Long và các tác giả, *Gia công bằng tia lửa điện: Giải pháp tích hợp công nghệ, nâng cao hiệu quả gia công và những ứng dụng*. Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội, 2023.
- [3]. Nguyễn Mạnh Cường, *Nghiên cứu ảnh hưởng của một số thông số công nghệ đến quá trình gia công tia lửa điện thép 90CrSi với dung dịch trộn bột Nano Sic*. Luận án Tiến sĩ, Viện Nghiên cứu Cơ khí, 2023.
- [4]. Lưu Đức Bình, *Nghiên cứu các yếu tố ảnh hưởng đến chất lượng quá trình gia công tia lửa điện*. Luận án Tiến sĩ, Trường Đại học Bách khoa, Đại học Đà Nẵng, 2012.
- [5]. Muyad M. Ali, Abbas F. Ibrahim, "Influence of machining parameters on surface roughness in wire EDM," *Materials Today: Proceedings*, 61, 3, 987-991, 2022.
- [6]. Nihat ToSun, et al., "The Effect of cutting parameters on Workpiece Surface Roughness in Wire EDM," *Machining Science and Technology*, 7, 2, 209-219, 2003.
- [7]. Nguyễn Văn Dự, Nguyễn Đăng Bình, *Quy hoạch thực nghiệm trong kỹ thuật*. Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội, 2011.

AUTHORS INFORMATION

Pham Van Bong¹, Nguyen Hoang Thong¹, Hoang Van Dzung²

¹Hanoi University of Industry, Vietnam

²Hanoi Polytechnic College, Vietnam