

NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA VẬT LIỆU ĐIỆN CỰC ĐỒNG ĐẾN CHẤT LƯỢNG BỀ MẶT KHI GIA CÔNG LỖ PHÔI ĐAI ỐC BẰNG THÉP C45 QUA NHIỆT LUYỆN

● CHU ANH TUẤN¹ - VŨ HOÀI BẮC¹

¹Đại học Công nghiệp Hà Nội

TÓM TẮT:

Hiện nay, gia công xung tia lửa điện được ứng dụng ngày càng rộng rãi trong các cơ sở sản xuất và nhà máy công nghiệp ở Việt Nam, đặc biệt trong chế tạo khuôn mẫu và dụng cụ có bề mặt định hình phức tạp. Thực tế cho thấy phương pháp này chủ yếu được sử dụng để gia công các dạng hốc, lõm, lỗ suốt như khuôn đột dập, khuôn chai lọ, khuôn sản phẩm nhựa. Trong khi đó, các chi tiết dạng chày, như chày dập đai ốc định hình, vẫn chủ yếu gia công bằng phương pháp nguội với năng suất chưa cao. Vì vậy, cần nghiên cứu một phương pháp gia công có khả năng nâng cao năng suất, bảo đảm chất lượng và đáp ứng yêu cầu tạo hình phức tạp. Xuất phát từ thực tế chày cối dập đai ốc thường làm bằng thép hợp kim dụng cụ 9XC có giá thành cao, việc nghiên cứu ảnh hưởng của điện cực đồng đồ đến độ nhám bề mặt khi gia công lỗ phôi đai ốc bằng thép C45 tôi luyện là cần thiết.

Từ khóa: điện cực đồng, gia công đai ốc bằng thép C45, gia công phôi đai ốc, xung tia lửa điện.

1. Đặt vấn đề

Trong nửa đầu thế kỷ 20 nhu cầu về các vật liệu lâu mòn tăng lên không ngừng ở các nước công nghiệp phát triển. Nhưng vấn đề là gia công những vật liệu đó bằng công nghệ thông thường thì rất khó khăn, nhiều khi không thực hiện được.

Phương pháp gia công tia lửa điện (Electric Discharge Machining EDM) được phát triển vào năm 1943. Cho đến nay, gia công EDM đã được phát triển khá rộng rãi ở các nước phát triển. Nhiều loại máy hoạt động trong lĩnh vực EDM đã được sản xuất với nhiều kiểu khác nhau để phục vụ những mục đích khác nhau.

Xuất phát từ những thực tế đó, tác giả đã đưa ra các định hướng để nghiên cứu, xác định quy trình thực nghiệm để từ đó có thể đưa ra được các phương pháp gia công tối ưu, hợp lý, nâng cao năng suất lao động và chất lượng của sản phẩm.

2. Cơ sở lý thuyết về gia công tia lửa điện

2.1. Bản chất và phân loại gia công tia lửa điện

❖ *Bản chất vật lý của gia công tia lửa điện là:*

- Đặt một điện áp giữa điện cực và phôi.
- Điện cực (đóng vai trò là dụng cụ cắt) có độ cứng thấp hơn nhiều so với vật liệu phôi. Vật liệu điện cực thường là đồng, graphite, đồng-vonfram, bạcvonfram...

- Vật liệu phôi thường là những vật liệu cứng và đã qua nhiệt luyện như: thép đã qua tôi, các hợp kim cứng...

- Vật liệu dụng cụ cắt và vật liệu phôi đều phải có tính dẫn điện tốt.

- Môi trường gia công là một chất lỏng điện môi. Đây là dung dịch không dẫn điện ở điều kiện làm việc bình thường. Dung dịch điện môi thường là: nước cất, nước máy, dầu biến thế, dầu hỏa có thêm bột nhôm...

❖ Phân loại gia công tia lửa điện:

Cho đến nay, gia công tia lửa điện đã được phát triển phổ biến ở các nước phát triển. Nhiều máy hoạt động trong lĩnh vực EDM đã được sản xuất với nhiều kiểu khác nhau để phục vụ những mục đích khác nhau và được đưa về hai loại chính sau:

- Gia công tia lửa điện dùng điện cực định hình: gọi tắt là phương pháp “xung định hình”. Điện cực là một khối hình học bất kỳ, điện cực sẽ chép hình của chính nó lên phôi tạo ra lòng khuôn. Công nghệ này thường được dùng để tạo hình khuôn mẫu.

- Gia công tia lửa điện bằng cắt dây: điện cực là một sợi dây kim loại mảnh ($d = 0,1 \div 0,3 \text{ mm}$), dây được quấn liên tục và chạy dao theo một contour (công tua) xác định. (Hình 1)

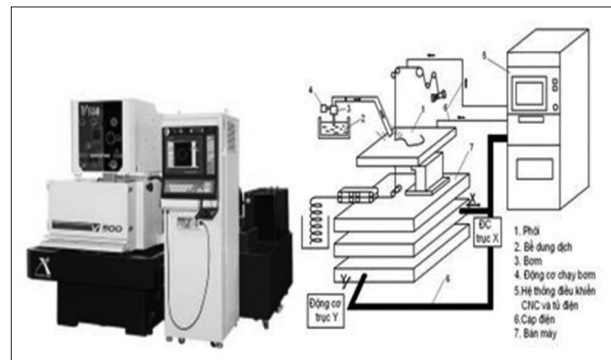
2.2. Nguyên lý gia công tia lửa điện

Sơ đồ nguyên lý của gia công tia lửa điện được mô tả trên Hình 2. Một điện áp một chiều ($80\text{V} \div 200\text{V}$) được đặt vào vào giữa điện cực và phôi ngâm trong dung dịch cách điện (dung dịch điện môi). Khi đưa điện cực và phôi tiến lại gần nhau đến một khoảng cách đủ nhỏ thì xuất hiện sự phóng tia lửa điện. Nhiệt độ của vùng này tăng lên rất lớn (khoảng 10.000°C) làm nóng chảy và bay hơi vật liệu của cả điện cực và phôi. Điều này được giải thích qua hai bước.

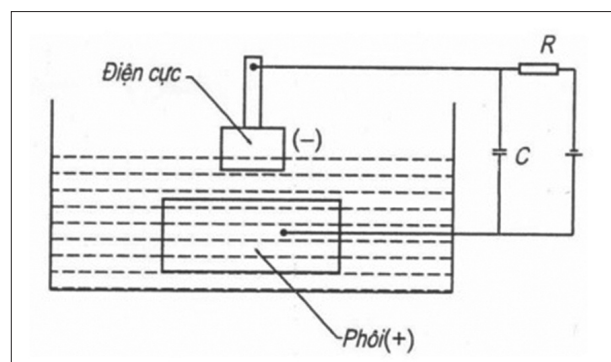
Bước 1: Giai đoạn đánh thủng dung dịch điện môi. Ở giai đoạn này do điện trường trong khe hở đủ lớn (khoảng 104 V/mm) làm ion hóa dung dịch điện môi và biến nó thành dung dịch dẫn điện. (Hình 3).

Bước 2: Khi năng lượng tập trung đủ lớn một dòng điện hình thành do sự chuyển dịch của các ion, điện tử trong dung dịch điện. Dung dịch lạnh từ ngoài tràn vào kênh dẫn điện do sự chênh lệch áp suất tạo ra tiếng nổ nhỏ và làm hóa rắn hơi vật liệu thành các oxit kim loại. Sau đó nguồn nhiệt được cung cấp lại và các tia lửa điện lại xuất hiện. (Hình 4)

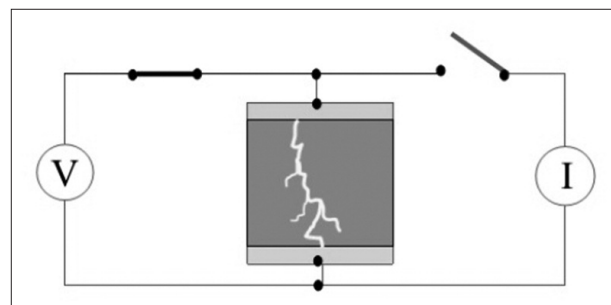
Hình 1. Sơ đồ nguyên lý máy cắt dây



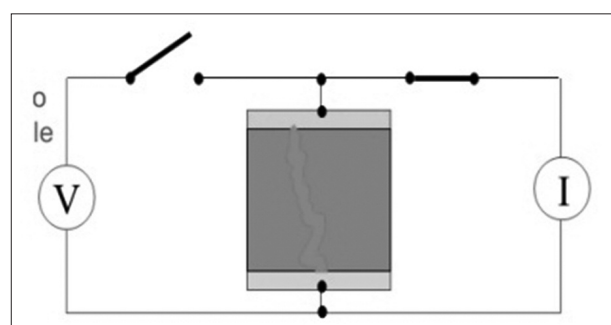
Hình 2. Sơ đồ nguyên lý



Hình 3. Quá trình ion hóa dung dịch điện môi (Guo và các cộng sự. 1997)



Hình 4. Quá trình phóng tia lửa điện (Guo và các cộng sự. 1997)



3. Đối tượng, phạm vi và phương pháp nghiên cứu

Xác định vật liệu điện cực thích hợp để gia công khuôn đai ốc lục giác bằng phương pháp xung tia lửa điện nhằm đảm bảo được chất lượng gia công.

3.1. Đối tượng nghiên cứu

Máy: Máy sử dụng cho việc nghiên cứu là máy xung điện CM 323C, đặt tại Trung Việt Nhật, Đại học Công nghiệp Hà Nội (Hình 7).

Thông số máy: Máy xung điện CM 323C (Bảng 1).

Vật liệu: Thép C45, kích thước... được nhiệt luyện đạt độ cứng 52 ÷ 54 HRC

- Thành phần hóa học của thép C45 (Bảng 2).
- Điện cực gia công: Đồng đỏ 20mm (Hình 5)
- Thiết bị đo: Máy đo độ nhám bề mặt Mitutoyo SJ-301 (Hình 6)

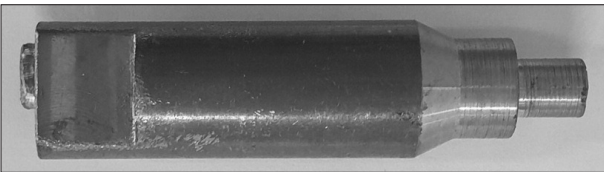
3.2. Phạm vi nghiên cứu

+ Xác định mức độ ảnh hưởng của việc sử dụng vật liệu điện cực là đồng đỏ đến độ nhám bề mặt gia công lỗ phôi đai ốc làm bằng thép C45 qua tôi.

3.3. Phương pháp nghiên cứu

Nghiên cứu quá trình trên bằng phương pháp lý thuyết tương đối khó khăn, vì vậy tác giả đã đề xuất phương pháp nghiên cứu bằng thực nghiệm. Phải xây dựng các bài thí nghiệm xác định các thông số công nghệ, tối ưu hóa. Sau đó làm thí nghiệm và tiến hành xử lý số liệu thực nghiệm bằng các phương pháp quy hoạch thực nghiệm. Cuối cùng đưa ra các nhận xét và kết luận đối với các phương pháp trên.

Hình 5. Điện cực gia công



Hình 6. Máy đo nhám SJ-301



Hình 7. Máy xung điện CM32C



Bảng 1. Thông số kĩ thuật máy Xung điện CM323C

TT	Đặc tính kĩ thuật	Đơn vị đo	Thông số
1	Kích thước máy (WxDxH)	mm	1200 x 1350 x 2250
2	Kích thước bàn từ (WxD)	mm	500 x 350
3	Phạm vi làm việc (X, Y)	mm	300 x 200
4	Phạm vi làm việc Z	mm	300
5	Trọng lượng lớn nhất của điện cực	kg	60
6	Trọng lượng lớn nhất của phôi	kg	500
7	Trọng lượng của máy	kg	1000
8	Tốc độ lớn nhất của máy	mm/ph	350
9	Độ nhám Ra có thể gia công	μ	0,25

Bảng 2. Thành phần cấu tạo thép C45

Mác thép	Hàm lượng nguyên tố (%)						
	C	Si	Mn	P	S	Cr	N
C45	0.42 ÷ 0.50	0.17 ÷ 0.37	0.50 ÷ 0.80	Không lớn hơn			
				0.040	0.040	0.25	0.25

4. Kết quả nghiên cứu

Thực nghiệm được thiết kế theo những giả thiết sau:

- Trong tất cả các thực nghiệm, độ ổn định của dung môi và chất điện môi là như nhau.
- Tổng hợp các nhiễu ảnh hưởng tới độ chính xác kích thước là ổn định và không thay đổi trong suốt quá trình thực hiện thí nghiệm.
- Nhiệt độ môi trường gia công luôn luôn ổn định.

Thực nghiệm này được thiết kế với các thông số có ảnh hưởng lớn tới độ nhám và năng suất gia công, đó là: vật liệu điện cực, cường độ dòng điện và hiệu điện thế phóng điện (U). Qua quá trình tìm hiểu máy xung điện CM 323C, tác giả lựa chọn khảo sát điều kiện gia công trên máy là S36 và hai biến: U và I thay đổi.

- Tác giả chọn I theo 2 mức với các trị số là:

$$I_{\min} = 4A, I_{\max} = 8A$$

- Tác giả chọn U theo 2 mức với các trị số là:

$$U_{\min} = 40V, U_{\max} = 50V$$

Số điểm thí nghiệm N theo quy hoạch thực nghiệm là [1]: $N = k^2$

Trong đó: N - Số thí nghiệm.

k - Số biến đầu vào.

Với biến đầu vào $k = 2$, ta có số thí nghiệm $N = 4$.

4.1. Ảnh hưởng của điện áp đánh lửa (U) và cường độ dòng điện I_e tới nhám bề mặt gia công (R_a)

Phần mềm Minitab được chọn để xây dựng kế hoạch thí nghiệm và phân tích số liệu.

Để xác định ảnh hưởng của điện áp đánh lửa tới độ nhám bề mặt chi tiết gia công, tác giả phải làm 4 thí nghiệm ứng với 4 mẫu thử có thứ tự 1 ÷ 4; trong quá trình thí nghiệm.

Kết quả đo được sự ảnh hưởng của U, I tới R_a được thể hiện (Bảng 3).

Bảng 3. Kích thước điện cực trước và sau khi gia công trên cùng một tọa độ

TT	I_e	Điện cực Cu		
		φđc	φđc sau xung	Δđc
1	4	7.02	7.014	0.004
2	5	7.05	7.023	0.007
3	6	7.03	7.019	0.009
4	7	7.06	7.028	0.012

4.2. Mòn điện cực trong quá trình xung tia lửa điện

Độ tăng kích thước điện cực:

Hình 8. Các biến đầu vào thí nghiệm

File Edit Data Calc Stat Graph Editor Tools Window Help Assistant								
↓ C1 C2 C3 C4 C5 C6 C7 C8								
	StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	Ton	Tof	U	I
1	7	1	2	1	35	20	40	8
2	19	2	2	1	30	20	50	6
3	23	3	2	1	35	15	45	8
4	5	4	2	1	35	20	40	4

Hình 9. Kết quả độ nhám R_a khi sử dụng điện cực đồng (Cu)

File Edit Data Calc Stat Graph Editor Tools Window Help Assistant									
↓	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
	StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	Ton	Tof	U	I	Y (Ra)
1	7	1	2	1	35	20	40	8	7.33
2	19	2	2	1	30	20	50	6	4.04
3	23	3	2	1	35	15	45	8	3.90
4	5	4	2	1	35	20	40	4	4.31

- Δd_c = ϕ dc sau xung - ϕ dc trước xung
- Δd_c : độ tăng kích thước điện cực (mm)
- ϕ dc trước xung: đường kính điện cực trước xung (mm)
- ϕ dc sau xung: đường kính điện cực sau xung (mm)

5. Kết luận

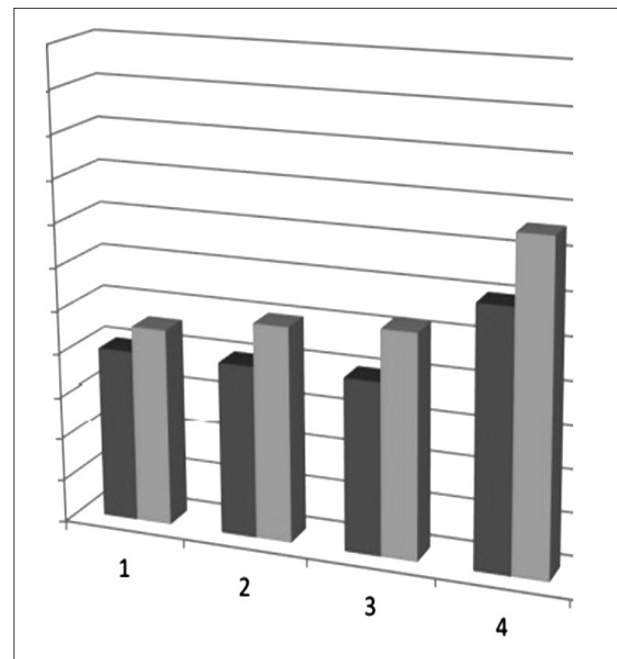
Từ quan hệ giữa R_a với các thông số, U, I ta thấy cường độ dòng điện và hiệu điện thế ảnh hưởng nhiều nhất đến độ nhám bề mặt khi gia công bằng điện cực đồng trên vật liệu là thép C45. Thời gian ngắt xung và thời gian bật xung có mức độ ảnh hưởng ít hơn.

Do đó tác giả đã thể hiện đồ thị ứng với hai biến có ảnh hưởng nhiều nhất tới hàm mục tiêu R_a là biến U và I như trên (Hình 8).

Từ đồ thị có thể tìm thấy điểm có giá trị R_a nhỏ nhất $R_a = 2,2943$. (Hình 9)

Khi cường độ dòng điện I_c tăng thì lượng mòn trên điện cực Cu lớn hơn nhiều so với khi sử dụng các điện cực khác. (Hình 10) ■

Hình 10. Kích thước điện cực trước và sau khi xung



TÀI LIỆU THAM KHẢO:

Nguyễn Văn Dục, Nguyễn Đăng Bình (2011). Quy hoạch thực nghiệm trong kỹ thuật. Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật.

Guo, Z.N., Lee, T.C., Yue, T.M., Lau, W.S. (1997). Study on the machining mechanism of WEDM with ultrasonic vibration of the wire. Journal of Materials Processing Technology, 69, 212-221.

Ngày nhận bài: 18/01/2026

Ngày phản biện đánh giá và sửa chữa: 6/02/2026

Ngày chấp nhận đăng bài: 26/02/2026

EFFECT OF COPPER ELECTRODE MATERIAL ON SURFACE QUALITY IN EDM OF HEAT-TREATED C45 STEEL NUT BLANKS

● CHU ANH TUAN¹

● VU HOAI BAC¹

¹Hanoi University of Industry

ABSTRACT:

Electrical discharge machining (EDM) has been increasingly adopted in manufacturing facilities and industrial plants in Vietnam, particularly in the production of molds and tooling with complex geometries. In practice, EDM is predominantly applied to the machining of recessed, concave, and through-hole features, such as stamping dies, bottle molds, and plastic injection molds. In contrast, punch-type components, such as punches used in nut forming, are still largely produced by conventional cold machining methods, which are characterized by relatively low productivity. This study addresses the need for more efficient machining approaches capable of ensuring both productivity and quality in complex shaping applications. Focusing on punches typically fabricated from high-cost 9XC tool alloy steel, the research investigates the influence of copper electrodes on surface roughness during the EDM process applied to nut blanks made of hardened C45 steel.

Keywords: copper electrode, processing nut billet made of C45 steel, processing nut billet, the spark pulse method.