

NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA ĐIỆN ÁP ĐÁNH LỬA (U) ĐẾN ĐỘ NHÁM BỀ MẶT KHI XUNG THÉP C45 BẰNG ĐIỆN CỰC GRAPHIT TRÊN MÁY XUNG ĐỊNH HÌNH CNC (P26+E30) – MAXSEE

RESEARCH ON THE EFFECT OF IGNITION VOLTAGE (U) ON SURFACE ROUGHNESS WHEN PULSE CUTTING C45 STEEL WITH A GRAPHITE ELECTRODE ON CNC PULSE SHAPING MACHINE (P26+E30) – MAXSEE

PGS,TS. **Phan Văn Hiếu**
Trường Cơ khí, Đại học Bách Khoa Hà Nội
Email: hieu.phanvan@hust.edu.vn

TÓM TẮT

Bài báo trình bày về sự ảnh hưởng của điện áp đánh lửa (U) đến độ nhám bề mặt khi gia công tia lửa điện bằng phương pháp xung định hình thép C45 với điện cực Graphit trên máy xung định hình CNC (P26+E30) – MAXSEE (Đài Loan). Từ kết quả nghiên cứu xác định mối quan hệ giữa điện áp đánh lửa và độ nhám bề mặt của vật liệu thép C45 khi xung điện bằng điện cực Graphit, kết quả nghiên cứu có thể làm tài liệu tham khảo cho sinh viên, vận dụng làm bài thực hành tại xưởng CNC và đưa ra được quan điểm đánh giá ảnh hưởng của điện áp đánh lửa (U) đến độ nhám bề mặt để từ đó tìm ra giá trị điện áp đánh lửa tối ưu để đạt được độ nhám bề mặt mong muốn.

Từ khóa: Độ nhám bề mặt; Xung định hình; Điện cực đồng; Điện áp đánh lửa; Thép C45.

ABSTRACT

The paper presents the influence of the ignition voltage (U) on the surface roughness when machining electric spark by pulse forming method of C45 steel with Graphite electrode on CNC pulse forming machine (P26+E30) - MAXSEE (Taiwan). From the research results, the relationship between the ignition voltage and the surface roughness of C45 steel material when pulsing with Graphite electrode is determined. The research results can be used as reference material for students, applied in practice exercises at CNC workshops and provide a viewpoint to evaluate the influence of the ignition voltage (U) on the surface roughness to find the optimal ignition voltage value to achieve the desired surface roughness.

Keywords: Surface roughness; Shaping pulse; Copper electrode; Ignition voltage; C45 steel. 

1. GIỚI THIỆU

Gia công điện cực định hình là phương pháp có nhiều lợi thế trong gia công các vật liệu dẫn điện có tính siêu cứng, siêu bền, các biên dạng có hình dáng phức tạp. Đây là loại hình gia công chiếm tỷ trọng lớn, được dùng rộng rãi trong số các phương pháp gia công không truyền thống, là gia công không có lực cắt, không phụ thuộc vào độ cứng của vật liệu, gia công định hình các bề mặt bậc cao, do đó nó đã làm thay đổi một số biện pháp gia công truyền thống khi chế tạo các cụm máy phức tạp.

Trong công nghệ gia công tia lửa điện (EDM), độ nhám bề mặt (Ra) là chỉ số quan trọng quyết định chất lượng và tuổi thọ chi tiết, đặc biệt với các chi tiết làm việc trong điều kiện ma sát, tải trọng lặp. Điện áp đánh lửa điều khiển trực tiếp năng lượng phóng điện mỗi xung, từ đó ảnh hưởng đến kích thước và độ sâu vết xói mòn trên bề mặt. Chưa có nhiều nghiên cứu chuyên sâu phân tích mối quan hệ định lượng giữa biến số điện áp đánh lửa (U) và độ nhám bề mặt (Ra) khi gia công thép C45 bằng điện cực Graphit trên máy xung CNC hiện đại. Đánh giá ảnh hưởng của điện áp đánh lửa (U) đến độ nhám bề mặt (Ra): Xác định mối quan hệ giữa điện áp đánh lửa và độ nhám bề mặt của vật liệu C45 khi xung điện bằng điện cực Graphit, sẽ góp phần nâng cao chất lượng chi tiết, đặc biệt là khi gia công vật liệu có độ cứng rất cao với hình dạng bề mặt phức tạp và giải quyết được tất cả các vấn đề nêu trên. Vì vậy, việc nghiên cứu ảnh hưởng của điện áp (U) tới độ nhám bề mặt (Ra) khi gia công tia lửa điện bằng phương pháp xung định hình với thép C45 bằng điện cực Graphit, trở thành vấn đề cấp thiết.

- Cấu tạo của máy xung EDM

Máy xung định hình có 3 phần chính:

- Phần cơ khí (Khung máy tổng hợp; Thùng chất điện môi cho phôi; Bàn kẹp phôi; Hệ thống lắp điện cực và điện cực; Các bàn trượt và bàn quay để tạo các chuyển động cần thiết);
- Hệ thống tử điện và điện tử điều khiển (Máy phát xung; Hệ thống điều khiển phóng tia lửa điện; Hệ thống điều khiển CNC);
- Cụm dung dịch điện môi.



Hình 1. Máy xung định hình CNC (P26-E30) – MAXSEE (Đài Loan)

2. MỐI QUAN HỆ GIỮA ĐIỆN ÁP ĐÁNH LỬA (U) VỚI ĐỘ NHÁM BỀ MẶT (Ra) KHI GIA CÔNG TIA LỬA ĐIỆN BẰNG PHƯƠNG PHÁP XUNG ĐỊNH HÌNH VỚI THÉP C45, ĐIỆN CỰC GRAPHIT

2.1. Điều kiện thực nghiệm

Thí nghiệm trên máy xung định hình P26-E30- MAXSEE (Đài Loan) (Hình 1).

Điện cực bằng Graphit có độ cứng từ 1,2 (theo thang Mohs) và khối lượng riêng 2,09, 2,23 g/cm³.

Thông số công nghệ gồm: $t_{on} = 200\mu s$; $t_{off} = 100\mu s$; khoảng lùi điện cực “ $J_{dist} = 0.3mm$ ”; khe hở điện cực “ $G_{ad} = 75\mu m$ ”; Cường độ dòng xung “ $LVI =$ từ 6A đến 20A”; Thể tích vật liệu điện cực Anot bị ăn mòn = $480 mm^3$ (cho tất cả các thí nghiệm).

Dung dịch điện môi là BP80.

Cường độ dòng điện được giới hạn trong khoảng 3A đến 30A.

Dòng xung LVI.

Vật liệu gia công, thép C45 là một loại thép carbon trung bình, có tỷ lệ carbon khoảng 0.45%. Các mẫu thép thí nghiệm (15 mẫu) được gửi đi đo độ nhám.



Hình 2. Mẫu phôi làm thí nghiệm

Phép đo độ nhám được thực hiện trên máy chuyên dùng CNC SJ-310 của hãng MITUTOYO- Nhật Bản (Hình 3).



Hình 3. Máy đo độ nhám Mitutoyo SJ-310 Nhật Bản

Đặc tính kỹ thuật máy đo JC-310:

- Chiều dài cắt (λc): 2,5 mm;
- Dải đo $\pm 360 \mu m$;
- Độ phóng đại đồ thị: $\times 3$;
- Tốc độ: 0.5mm/s khi đo;
- Tiêu chuẩn về độ nhám: JIS, DIN, ISO, ANSI.

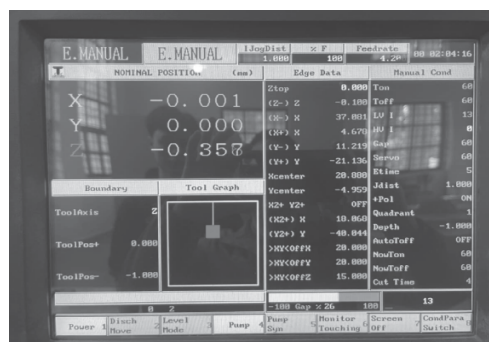
2.2. Tiến hành thực nghiệm



Gá đặt phôi làm thí nghiệm



Lập trình gia công

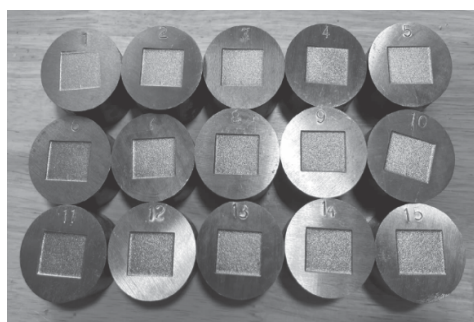


Chạy chương trình





Kiểm soát quá trình gia công



Sản phẩm thí nghiệm



Đo kiểm sản phẩm thí nghiệm



Mẫu in kết quả của phép đo độ nhám
Hình 4. Các bước tiến hành thực nghiệm

Kiểm tra tình trạng máy, điện cực, phôi các đồ dùng liên quan... cho chạy rà 5 phút (cho hệ thống công nghệ ổn định) trước khi tiến hành thí nghiệm. Số lượng thí nghiệm: 15; thực nghiệm đo độ nhám Ra và kết quả.

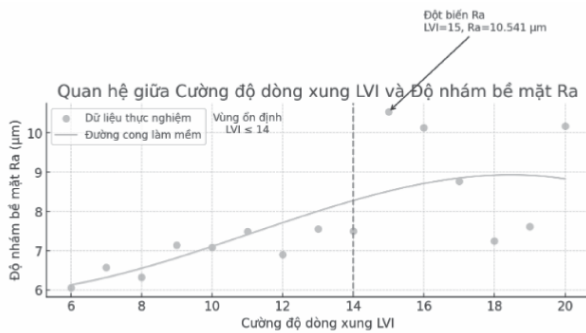
Kết quả thí nghiệm các giá trị trong bảng 2.1.

Bảng 2.1. Giá trị các yếu tố trong thực nghiệm

Thí nghiệm số	Cường độ dòng xung LVI	Độ nhám Ra (μm)
1	6	6.054
2	7	6.576
3	8	6.329
4	9	7.141
5	10	7.089
6	11	7.494
7	12	6.903
8	13	7.556
9	14	7.498
10	15	10.541
11	16	10.137
12	17	8.769
13	18	7.252
14	19	7.621
15	20	10.181

2.3. Xử lý kết quả thực nghiệm

Từ bảng tổng hợp trên (bảng 2.1) đưa ra biểu đồ quan hệ giữa tham số cường độ dòng xung LVI với độ nhám bề mặt Ra nhận được sau khi xung như sau:



Hình 5. Biểu đồ quan hệ giữa LVI và Ra

Xu hướng thay đổi của độ nhám bề mặt theo điện áp đánh lửa.

- Xu hướng tổng thể

Từ LVI = 6 đến 14, độ nhám Ra dao động nhẹ quanh mức trung bình, từ 6.054 μm đến 7.556 μm .

Giai đoạn này cho thấy mối quan hệ khá ổn định, chưa có sự biến thiên rõ rệt về độ nhám.

Điều này có thể được giải thích là do ở mức dòng xung thấp đến trung bình, năng lượng phóng điện chưa đủ lớn để gây ra sự thay đổi rõ rệt về chất lượng bề mặt gia công.

Từ LVI = 15 trở đi, độ nhám tăng đột ngột:

LVI = 15: Ra = 10.541 μm ;

LVI = 16: Ra = 10.137 μm .

Sau đó, Ra có giảm nhẹ nhưng vẫn ở mức cao hơn so với giai đoạn đầu.

Đến LVI = 20, Ra lại tăng lên mức 10.181 μm .

- Xu hướng theo vùng giá trị LVI

Vùng LVI 6-14, Ra dao động nhẹ (6-7.5

μm) là giai đoạn ổn định, ít ảnh hưởng lớn đến độ nhám.

Vùng LVI 15-16, Ra tăng vọt lên trên 10 μm là xuất hiện bước nhảy lớn, dòng xung có thể gây nóng chảy cục bộ lớn hơn, tạo bề mặt gồ ghề.

Vùng LVI 17-20, Ra dao động mạnh, có giảm nhẹ nhưng vẫn cao hơn giai đoạn đầu, là cường độ cao tiếp tục gây biến dạng bề mặt mạnh hơn.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Từ kết quả thực nghiệm và đo độ nhám bề mặt Ra, ta có nhận xét sau:

Nhận xét hiện tượng ảnh hưởng của điện áp đánh lửa đến độ nhám bề mặt:

Kết quả thí nghiệm cho thấy mối quan hệ giữa cường độ dòng xung (LVI) và độ nhám bề mặt (Ra) không tuyến tính, cụ thể:

Ở khoảng LVI từ 6 đến 14, độ nhám Ra dao động nhẹ trong khoảng từ 6.054 μm đến 7.556 μm . Giai đoạn này thể hiện sự ổn định tương đối trong quá trình gia công, chưa có sự thay đổi đột ngột về chất lượng bề mặt.

Từ LVI = 15 trở đi, Ra tăng mạnh và dao động ở mức cao hơn, có lúc đạt đến 10.541 μm (LVI = 15) và 10.181 μm (LVI = 20). Điều này cho thấy khi vượt qua một ngưỡng cường độ dòng xung nhất định, ảnh hưởng đến chất lượng bề mặt trở nên rõ rệt.

Nguyên nhân chính được cho là do khi LVI tăng, năng lượng phóng điện giữa điện cực và chi tiết gia công cũng tăng, dẫn đến sự nóng chảy và bóc tách vật liệu mạnh hơn, gây ra các vết xói mòn sâu và rộng hơn trên bề mặt. 

Từ đó, ta có thể xác định vùng LVI tối ưu nên nằm trong khoảng 11-14, nhằm đảm bảo độ nhám bề mặt ở mức thấp và ổn định.

Nguyên nhân được giải thích như sau:

Điện áp đánh lửa là một trong những thông số công nghệ chính trong gia công tia lửa điện (EDM), có ảnh hưởng trực tiếp đến độ nhám bề mặt. Khi điện áp tăng:

Năng lượng phóng điện tăng, làm cho vật liệu bị nóng chảy và bốc hơi mạnh hơn.

Các vết xói mòn trên bề mặt to và sâu hơn, tạo ra bề mặt gồ ghề → độ nhám Ra tăng.

Dễ xảy ra hiện tượng bóc tách vật liệu không đồng đều, làm giảm chất lượng bề mặt.

Sự ổn định của quá trình phóng điện giảm, gây ra biến thiên lớn về Ra giữa các lần gia công.

Do đó, việc điều chỉnh hợp lý điện áp đánh lửa (cùng với LVI) là rất quan trọng để tối ưu hóa độ nhám và chất lượng bề mặt chi tiết sau gia công.

4. KẾT LUẬN

Qua quá trình nghiên cứu và thực nghiệm, bài báo đã đạt được các kết quả chính như sau:

1) Cường độ dòng xung (LVI) có ảnh hưởng đáng kể đến độ nhám bề mặt (Ra) trong gia công bằng tia lửa điện. Khi LVI tăng từ 6 đến 14, Ra dao động nhẹ trong khoảng 6.054 μm đến 7.556 μm . Tuy nhiên, từ LVI = 15 trở đi, Ra tăng đột ngột, có thể đạt tới 10.541 μm , cho thấy tác động mạnh của thông số này đến chất lượng bề mặt.

2) Điện áp đánh lửa đóng vai trò quan trọng trong việc xác định năng lượng phóng điện. Khi điện áp tăng, năng lượng xung tăng theo, dẫn đến sự bóc tách vật liệu mạnh hơn, gây ra các hố xói mòn sâu và rộng → làm tăng độ nhám bề mặt. Đồng thời, điện áp cao cũng làm giảm sự ổn định của hồ quang, ảnh hưởng đến tính đồng đều của bề mặt sau gia công.

3) Vùng giá trị LVI tối ưu nhằm đảm bảo độ nhám thấp nằm trong khoảng 11-14, giúp cân bằng giữa tốc độ bóc vật liệu và chất lượng bề mặt.

4) Nghiên cứu cũng đã chỉ ra rằng việc điều chỉnh hợp lý thông số công nghệ là rất quan trọng để đảm bảo hiệu quả gia công và chất lượng bề mặt sau cùng.

5) Đề xuất một số hướng nghiên cứu.

Để nâng cao chất lượng nghiên cứu và khả năng ứng dụng trong thực tiễn, tác giả đề xuất một số hướng nghiên cứu tiếp theo như sau:

Mở rộng phạm vi nghiên cứu bằng cách bổ sung thêm các thông số công nghệ khác như: thời gian xung (T_{on}), khoảng nghỉ (T_{off}), áp suất chất điện môi, tốc độ dịch chuyển điện cực.

Tăng số lượng mẫu thí nghiệm, từ đó cho phép xây dựng các mô hình toán học hoặc sử dụng phương pháp thiết kế thí nghiệm (DOE) để xác định thông số tối ưu một cách hệ thống.

Ứng dụng mô phỏng số (FEM, CFD) để đánh giá ảnh hưởng của trường nhiệt, trường điện trong vùng phóng điện đến chất lượng bề mặt và tốc độ bóc vật liệu.

Đánh giá đa chỉ tiêu trong nghiên cứu chất lượng bề mặt, không chỉ dừng ở Ra mà còn mở rộng sang độ cứng, cấu trúc tế vi, độ dẫn điện, khả năng chống ăn mòn.

Thực hiện các thí nghiệm trong điều kiện sản xuất thực tế, nhằm kiểm nghiệm tính ổn định và khả năng mở rộng quy trình ra môi trường công nghiệp. ❖

Ngày nhận bài: **06/6/2025**

Ngày phản biện: **13/6/2025**

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Trần Văn Địch (2016), “*Nghiên cứu độ chính xác gia công cơ khí bằng thực nghiệm*”. NXB. Khoa học và Kỹ thuật.
- [2]. Vũ Hoài Ân (2003), “*Gia công tia lửa điện*”. NXB. Khoa học và Kỹ thuật.

- [3]. Trần Văn Địch (2000), “*Công nghệ chế tạo máy CNC*”. NXB. Khoa học và Kỹ thuật.
- [4]. Trần Văn Địch, Ngô Trí Phúc, “*Số tay thép thế giới*”. NXB. Khoa học và Kỹ thuật.
- [5]. Tạ Ngọc Minh (2014), “*Nghiên cứu ảnh hưởng của các yếu tố công nghệ đến chất lượng bề mặt trong gia công trên máy cắt dây tia lửa điện*”. Luận văn cao học, Đại học Bách Khoa Hà Nội.
- [6]. Nguyễn Trọng Hùng, Phùng Xuân Sơn, “*Giáo trình thiết kế thực nghiệm trong chế tạo máy*”. NXB. Xây dựng.
- [7]. Nguyễn Hữu Lộc, “*Nghiên cứu tối ưu hóa các thông số công nghệ trong gia công EDM bằng phương pháp Taguchi*”. Luận văn Thạc sĩ, Đại học Bách Khoa TP. Hồ Chí Minh, 2018.
- [8]. Phạm Ngọc Tuấn, Nguyễn Văn Tường (2007), “*Các phương pháp gia công đặc biệt*”. NXB. Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh.