

ẢNH HƯỞNG CỦA THÔNG SỐ CHẾ ĐỘ CÔNG NGHỆ ĐẾN ĐỘ NHÁM BỀ MẶT KHI GIA CÔNG WEDM THÉP C45 VÀ CD70 TRÊN MÁY DK7732

EFFECT OF MACHINING PARAMETERS ON SURFACE ROUGHNESS OF WEDM-PROCESSED C45 AND CD70 STEELS ON A DK7732 MACHINE

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

TÓM TẮT

Bài báo nghiên cứu thực nghiệm ảnh hưởng của thời gian xung (t_p), dòng điện đánh lửa (I_p) và chiều dày phôi (h) đến độ nhám bề mặt (R_a) khi gia công WEDM thép C45 và CD70 trên máy DK7732. Kết quả chỉ ra (I_p) và (t_p) là hai yếu tố tác động mạnh nhất. Độ nhám bề mặt tăng mạnh khi tăng dòng điện và thời gian xung do năng lượng phóng điện lớn làm tăng kích thước vùng nóng chảy. Nghiên cứu cho thấy thép CD70 cho bề mặt mịn hơn so với C45 trong cùng điều kiện gia công và cung cấp cơ sở thực nghiệm quan trọng cho việc tối ưu hóa chế độ cắt trên máy DK7732.

Từ khóa: Gia công cắt dây tia lửa điện (WEDM); Máy DK7732; Thép C45; Thép CD70; Dòng điện đánh lửa (I_p); Thời gian xung (t_p); Độ nhám bề mặt (R_a).

ABSTRACT

This paper experimentally investigates the effects of pulse duration (t_p), ignition current (I_p), and workpiece thickness (h) on surface roughness (R_a) during WEDM of C45 and CD70 steels using a DK7732 machine. The results indicate that (I_p) and (t_p) are the two most dominant factors. Surface roughness increases significantly with higher current and pulse duration due to the elevated discharge energy, which expands the melting craters. Furthermore, the study reveals that CD70 steel exhibits a finer surface finish than C45 under identical machining conditions. These findings provide a vital experimental foundation for optimizing cutting parameters on the DK7732 machine.

Keywords: Wire electrical discharge machining (WEDM); DK7732 machine; C45 steel; CD70 steel; Ignition current (I_p); Pulse duration (t_p); Surface roughness (R_a).

1. GIỚI THIỆU

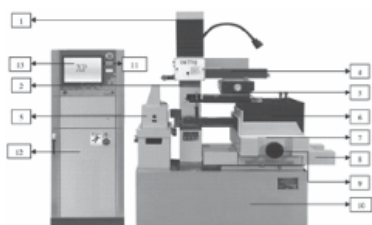
Gia công cắt dây tia lửa điện (WEDM) là phương pháp quan trọng trong gia công các chi tiết phức tạp và vật liệu có độ cứng cao. Ở Việt Nam, máy cắt dây DK7732 sử dụng dây Molypden được ứng dụng rộng rãi nhờ chi phí thấp và năng suất cao, nhưng vẫn tồn tại hạn chế về chất lượng bề mặt, đặc biệt là độ nhám (R_a). Hai loại thép C45 và CD70 có tính chất khác biệt dẫn đến cơ chế gia công khác nhau, trong khi việc lựa chọn chế độ cắt vẫn chủ yếu dựa vào kinh nghiệm thực tế.

Nghiên cứu này tập trung phân tích thực nghiệm ảnh hưởng của các thông số công nghệ chính (t_p , I_e , h) đến độ nhám bề mặt của hai loại thép, qua đó cung cấp cơ sở khoa học để tối ưu hóa chế độ gia công và nâng cao chất lượng sản phẩm.

Gia công bằng cắt dây tia lửa điện (gọi tắt là gia công cắt dây) là một trong các phương pháp gia công tiên tiến được sử dụng khá rộng rãi. Phương pháp này được dùng để gia công các khuôn mẫu, dụng cụ như khuôn đột, khuôn đùn, ép kim loại, các loại cối định hình. Chính vì thế, việc xác định chế độ cắt dây tối ưu khi gia công các loại vật liệu khác nhau là vấn đề hết sức quan trọng và cần thiết.

* Cấu tạo và nguyên lý hoạt động của máy cắt dây tia lửa điện DK7732:

➤ Sơ đồ cấu tạo [1], [13]:



Hình 1. Sơ đồ cấu tạo máy cắt dây tia lửa điện DK7732

1. Thân trên máy;
2. Thân dưới máy;
3. Bộ phận tạo góc nghiêng khi cắt;
4. Dẫn hướng dây trên;
5. Lô cuốn dây;
6. Vùng làm việc;
7. Bàn máy;
8. Dẫn hướng bàn máy;
9. Tay quay điều chỉnh vị trí bàn máy;
10. Bộ máy;
11. Hệ điều khiển CNC;
12. Tủ điện;
13. Màn hình điều khiển.

➤ Nguyên lý hoạt động:

Máy cắt dây tia lửa điện (EDM Wire Cutting) là một thiết bị gia công tia lửa điện bằng cách sử dụng điện cực là một dây mảnh có đường kính từ 0,1mm đến 0,3mm chạy liên tục theo một contour cho trước theo một chương trình lập sẵn. Khi đóng máy, quá trình phóng tia lửa điện xảy ra giữa điện cực dây và phôi để tạo thành vết cắt, quả lô nhả và cuốn dây làm việc liên tục để điện cực chuyển động dọc trục theo một chiều cố định. Quỹ đạo (contour) của mạch cắt được lập trình trước. Bơm làm việc liên tục để đưa chất điện môi vào vùng cắt duy trì quá trình cắt được liên tục. Bàn phụ được sử dụng khi cần cắt chi tiết dạng côn.

2. XÁC ĐỊNH MỐI QUAN HỆ GIỮA CÁC YẾU TỐ CÔNG NGHỆ TỚI ĐỘ NHÁM BỀ MẶT KHI GIA CÔNG THÉP C45 VÀ CD70 BẰNG PHƯƠNG PHÁP CẮT DÂY CNC

2.1. Điều kiện thực nghiệm

➤ Phôi:

Trong nghiên cứu này, phôi là thép C45 và thép CD70 sau khi gia công xong đem đi nhiệt luyện đạt được độ cứng và mài sơ bộ trước khi gia công [4].

➤ Dụng cụ, máy và thiết bị đo:

- Vật liệu điện cực và chất điện môi:

Vật liệu điện cực là dây cắt bằng Molipden Wolfram, đường kính 0.18mm, được sử dụng nhiều lần.

Dung dịch điện môi là dầu pha, được sử dụng tuần hoàn thông qua bể lọc và bơm.

- Máy cắt dây tia lửa điện:

Quá trình thực nghiệm gia công cắt dây được tiến hành trên máy WEDM CNC DK7732, thông số kỹ thuật của máy [11]:

- Kích thước bàn máy: 635×415mm;
- Hành trình X, Y: 320×400 mm;
- Chiều dày vật cắt: 300mm;
- Độ côn gia công: $\pm 3^\circ/100$;
- Tốc độ gia công: 120mm²/min;
- Sai số cắt trụ, đa giác: ≤ 0.015 mm;
- Sai số cắt côn: ≤ 0.04 mm;
- Dòng điện gia công: 6A;
- Độ nhám bề mặt gia công: $\leq 2.5\mu\text{m}$;
- Loại dây molipdel sử dụng để gia công: 0,15-0,2mm;
- Tốc độ kéo dây: 5~11m/min;
- Trọng lượng tải vật: 400Kg;
- Bộ điều khiển lập trình: Tích hợp với AutoCAD;
- Dung tích chứa dung dịch làm mát: 56L;
- Nguồn điện: 380V-50Hz;
- Công suất: 3KVA;
- Khung dây cố định;
- Kích thước máy: 1450×1000×1750mm;
- Trọng lượng máy: 1700Kg.
- Máy đo độ nhám:

Quá trình đo độ nhám các mẫu thí nghiệm được tiến hành trên máy SJ-301 hãng Mitutoyo, Nhật Bản. Thông số kỹ thuật của máy đo độ nhám SJ-301 [13].

2.2. Phương pháp thực nghiệm và số thí nghiệm

Thực nghiệm về ảnh hưởng của một số yếu tố công nghệ đến độ nhám bề mặt khi gia công tia lửa điện bằng phương pháp cắt dây CNC. Trong bài báo này, tác giả lựa chọn ba thông số công nghệ để nghiên cứu ảnh hưởng của chúng đến độ nhám bề mặt chi tiết đó là: thời gian xung (t_i), dòng điện đánh lửa (I_e) và chiều dày phôi (h). Theo lý thuyết quy hoạch thực nghiệm, hàm mục tiêu là R_a và lựa chọn sử dụng phương pháp quy hoạch bậc 2 tâm xoay Box-Hunter. Với số yếu tố ảnh hưởng: $k = 3$, vậy tổng số thí nghiệm phải tiến hành là: $N = 2^k + 2k + n_0$

Trong đó: $2^k = 2^3 = 8$ thí nghiệm tại nhân của kế hoạch; $2k = 6$ số điểm thí nghiệm “*”; $n_0 = 6$ số điểm thí nghiệm tại tâm kế hoạch. Vậy tổng số thí nghiệm cần phải làm là: $8 + 6 + 6 = 20$ thí nghiệm.

2.3. Tiến hành thực nghiệm

➤ Các giả thiết: Chất lượng phôi là đồng đều; Chất lượng dây và đường kính dây là không đổi; Chất lượng dung dịch điện môi trong gia công là không đổi; Dao động của máy ảnh hưởng đến các mẫu cắt là như nhau; Nguồn điện nguồn là ổn định trong suốt quá trình gia công; Các thí nghiệm gia công cắt theo một chiều nhất định.

➤ Điều kiện tiến hành thí nghiệm: Máy cắt dây CNC DK7732; Dây Molipden, đường kính 0,18mm, được sử dụng nhiều lần; Khoảng cách xung $t_0 = 3.t_i$; Dòng điện $I_e = 6\text{A}$; Thời gian xung: $t_i = 16\mu\text{s}$; Bề dày phôi: $h = 10\text{mm}$.

Chất điện môi là dầu pha. Khi gia công mẫu được ngâm trong chất điện môi.

➤ Chuẩn bị máy và cắt mẫu: Trước khi đưa vào cắt, máy phải được bảo dưỡng kỹ thuật chu

đảo bảo đảm chắc chắn rằng không có hư hỏng trong khi gia công loạt mẫu, thay cuộn dây điện cực mới, thay chất điện môi, khử độ rơ lỏng trên các trục, quy chuẩn “không” máy.

Trước khi đi vào cắt chính thức cần cho máy chạy cắt thử ổn định rồi mới đưa vào cắt mẫu thép thí nghiệm.

➤ Thực nghiệm đo nhám bề mặt và kết quả:

Quá trình đo độ nhám các mẫu thí nghiệm được tiến hành trên máy SJ-301 hãng Mitutoyo; Chiều dài tiêu chuẩn khi đo 8 mm; Đặt chế độ đầu đo tiếp xúc với bề mặt gia công với lực 0,75 N, tốc độ di chuyển đầu đo là 0,1 mm/s.

Gá đặt mẫu sao cho phương đầu đo di chuyển theo đúng chiều cắt, số thứ tự của từng mẫu phải khớp với kết quả đo mẫu, kết quả đo mẫu được lưu thành file và in trực tiếp trên băng giấy của máy.

Đo mẫu lấy chỉ tiêu R_a . Đo mỗi mẫu ba lần rồi lấy kết quả trung bình.

2.4. Xử lý kết quả thực nghiệm

Mô hình toán học cho hàm độ nhám R_a theo các tham số công nghệ như sau:

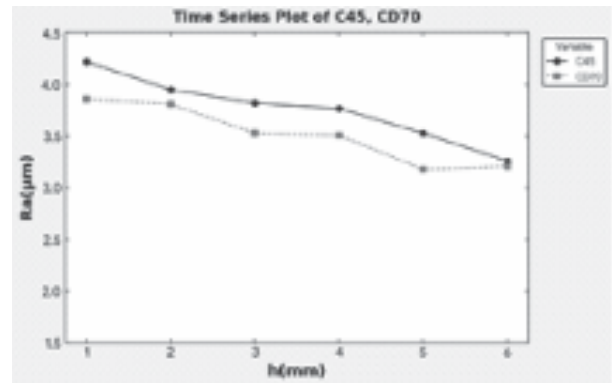
$$R_a = 2,8 + 0,15.I_c - 7,8.10^{-3}.t_i - 0,38.10^{-3}.h + 1,99.10^{-3}.I_c.t_i - 1,36.10^{-3}.I_c.h - 4,08.10^{-3}.I_c^2 - 1,8.10^{-3}.h^2$$

Phương trình quy hoạch thực nghiệm bậc 2 đầy đủ.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

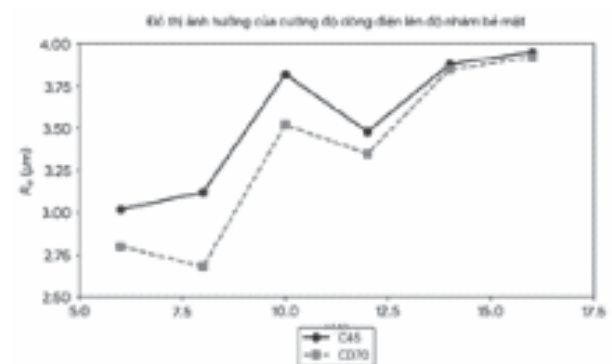
Ảnh hưởng của chiều dày phôi h (mm) đến độ nhám bề mặt (hình 2): Khi chiều dày

phôi lớn sự rung động của dây bị hạn chế hơn, do đó độ nhám bề mặt giảm đi.



Hình 2. Đồ thị biểu diễn ảnh hưởng của độ dày phôi h (mm) đến độ nhám bề mặt

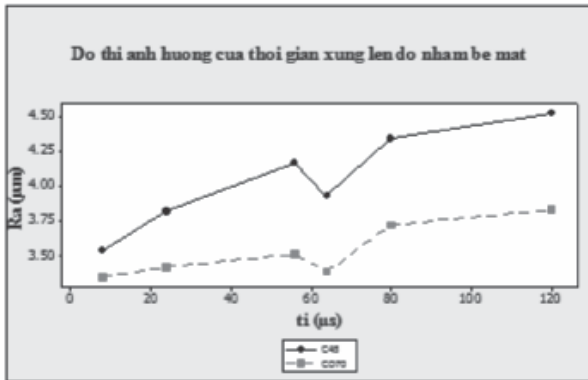
Ảnh hưởng của dòng phóng điện đến độ nhám bề mặt (hình 3): Khi tăng dòng I_c lên trong quá trình gia công thì năng suất gia công (tốc độ cắt) tăng theo, điều đó cũng gây nên sự tăng lên mạnh của độ nhám bề mặt.



Hình 3. Đồ thị biểu diễn ảnh hưởng của dòng I_c (A) đến độ nhám bề mặt

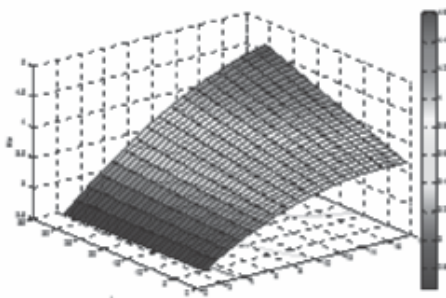
Ảnh hưởng của thời gian xung (t_i) đến độ nhám bề mặt (hình 4): Khi ta tăng thời gian xung trong quá trình cắt, thì độ nhám bề mặt cũng tăng theo. Qua đồ thị thể hiện sự tăng của độ nhám bề mặt có mối quan hệ gần như tuyến tính với thời gian xung. So sánh với hình 3, ta thấy rằng sự tăng lên của độ nhám bề mặt khi tăng thời gian xung t_i là nhỏ hơn cả. Điều đó

cho thấy rằng sự ảnh hưởng của thời gian xung lên độ nhám bề mặt chi tiết nhỏ hơn sự ảnh hưởng của dòng phóng điện I_e .

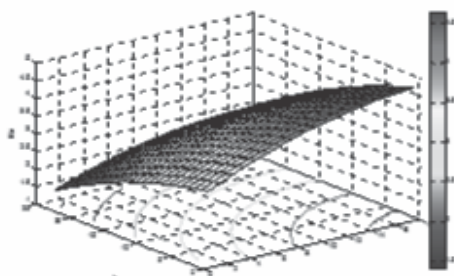


Hình 4. Đồ thị biểu diễn ảnh hưởng của thời gian xung t_i đến độ nhám bề mặt

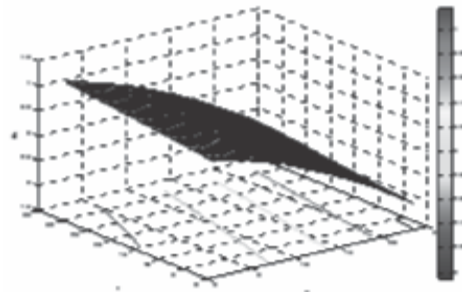
Trong cả ba trường hợp, độ nhám bề mặt của chi tiết làm bằng vật liệu thép CD70 thấp hơn thép C45. Từ phương trình hồi quy ở trên, ta xây dựng được các bề mặt phản ánh mối quan hệ của R_a với từng cặp thông số như sau:



Hình 5. Mối quan hệ giữa R_a với I_e và t_i



Hình 6. Mối quan hệ giữa R_a với I_e và h



Hình 7. Mối quan hệ giữa R_a với h và t_i

Từ các hệ số trong phương trình và các biểu đồ trên, ta thấy rằng sự ảnh hưởng của dòng phóng điện I_e lên độ nhám bề mặt là lớn nhất, sau đó tới thời gian xung t_i và chiều dày phôi h .

➤ Một số giải pháp nâng cao độ bóng bề mặt:

Giải pháp về tham số công nghệ: Để có độ bóng bề mặt cao cần đưa các giá trị dòng phóng điện I_e , thời gian kéo dài xung t_i về giá trị thấp.

- Giải pháp về dây: Cần chọn dây có cỡ nhỏ nhất, tốc độ chạy dây cao với máy điều chỉnh được, có lực căng dây lớn.

- Giải pháp về phôi: Cần chọn phôi có độ cứng cao, cắt nhanh mà dây không bị dính phôi, tránh hiện tượng đứt dây.

- Giải pháp về chất điện môi: Dùng chất điện môi đảm bảo độ cách điện ở điều kiện bình thường, lọc sạch phôi, có chế độ bơm phun hợp lý.

4. KẾT LUẬN

Bài báo đã xây dựng được mối quan hệ giữa độ nhám bề mặt với các yếu tố công nghệ: Dòng phóng điện I_e , thời gian kéo dài xung điện t_i , chiều dày phôi h .



$$R_a = 2,8 + 0,15.I_c - 7,8.10^{-3}.t_1 - 0,38.10^{-3}.h + 1,99.10^{-3}.I_c.t_1 - 1,36.10^{-3}.I_c.h - 4,08.10^{-3}.I_c^2 - 1,8.10^{-3}.h^2$$

Từ nghiên cứu trên, một số kết luận được chỉ ra như sau:

Dòng phóng điện I_c : Đây là thông số có ảnh hưởng lớn tới chất lượng bề mặt gia công, đặc biệt về độ nhám bề mặt. Dòng điện I_c lớn thì dẫn đến ảnh hưởng nhiệt lên bề mặt gia công lớn theo và điều đó gây nên tăng độ nhám bề mặt.

Độ kéo dài xung t_1 : Đây cũng là thông số công nghệ có ảnh hưởng nhiều tới chất lượng bề mặt, có sự ảnh hưởng kém hơn so với dòng I_c . Khi tăng t_1 , đồng nghĩa với việc khe hở phóng điện tăng và chất lượng bề mặt giảm xuống do độ nhám bề mặt cao.

Chiều dày phôi h : Chiều dày phôi h không phải là thông số công nghệ của máy cắt dây, nhưng trong quá trình gia công chiều dày h cũng có ảnh hưởng đáng kể tới độ nhám bề mặt. Khi gia công, chiều dày h càng lớn thì độ nhám đạt được nhỏ hơn.

Nghiên cứu ảnh hưởng chung của ba thông số I_c , t_1 và h tới độ nhám bề mặt của chi tiết gia công, từ đó thu được phương trình hồi quy phù hợp với kết quả thí nghiệm. Từ phương trình hồi quy này, rút ra được ảnh hưởng của các thông số như thế nào đến độ nhám và sự tác động lẫn nhau của các thông số. Từ đó, với mỗi mục đích gia công khác nhau, chúng ta có thể biết cách lựa chọn các thông số cho phù hợp.

Đề xuất một số giải pháp nâng cao độ bóng bề mặt khi gia công cắt dây CNC. Từ đó đưa ra cơ sở lý luận cho việc lựa chọn tham số công nghệ nhằm đạt được độ bóng tốt nhất trong những điều kiện gia công cụ thể.

Tuy vậy, đây chỉ là những kết quả bước đầu trong nghiên cứu về mối quan hệ giữa độ nhám bề mặt với các yếu tố công nghệ, tạo tiền đề, cơ sở cho những nghiên cứu tiếp theo như: Tăng thêm số thông số đầu vào (điện áp đánh lửa, chất điện môi); kết hợp khe hở phóng điện và các chỉ tiêu chất lượng khác như năng suất gia công. Đặc biệt là các yếu tố phi công nghệ như: ảnh hưởng của vật liệu, ảnh hưởng của dòng chảy chất điện môi, ảnh hưởng của các thông số công nghệ đến năng suất gia công, ảnh hưởng của sự cong dây, sự trùng dây đến độ chính xác khi gia công chi tiết bằng máy cắt dây tia lửa điện. ❖

Ngày nhận bài: **15/06/2026**

Ngày phản biện: **18/06/2026**

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Vũ Hoài Ân (2005), “*Gia công tia lửa điện*”. NXB. Khoa học và Kỹ thuật.
- [2]. Lưu Đức Bình (2012), “*Nghiên cứu các yếu tố ảnh hưởng đến chất lượng quá trình gia công bằng tia lửa điện*”. Luận án tiến sĩ kỹ thuật, Đại học Đà Nẵng.
- [3]. Trần Văn Địch (2000), “*Công nghệ chế tạo máy CNC*”. NXB. Khoa học và Kỹ thuật.
- [4]. Trần Văn Địch, Ngô Trí Phúc, “*Sổ tay thép thế giới*”. NXB. Khoa học và Kỹ thuật.
- [5]. Vũ Quang Hà (2012), “*Nghiên cứu ảnh hưởng của chế độ công nghệ đến năng suất và chất lượng bề mặt khi gia công bằng phương pháp cắt dây tia lửa điện*”. Luận án tiến sĩ kỹ thuật, 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]. Giang Thị Kim Liên (2009), “*Bài giảng môn quy hoạch thực nghiệm*”. Trường Đại học Sư phạm, Đại học Đà Nẵng.
- [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.
- [9]. Nguyễn Minh Tuyên (2005), “*Quy hoạch thực nghiệm*”. NXB. Khoa học và Kỹ thuật.
- [10]. Agie Charmillees (2006), “*Characterization of electrical discharge*”.
- [11]. Chmer Wire-EDM, “*Install Manual*”, Ching Hung Machiner Electric Industrial.
- [12]. E.J Weller (2005), “*Nontraditional machining processes second edition*”. The Society of Manufacturing Engineers (SME).
- [13]. Mitutoyo, Catalogue, 1999, CMM.