

NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA CÁC THÔNG SỐ CÔNG NGHỆ TỚI CHẤT LƯỢNG BỀ MẶT GIA CÔNG CỦA THÉP 9XC BẰNG PHƯƠNG PHÁP GIA CÔNG TIA LỬA ĐIỆN

STUDY ON THE EFFECT OF MACHINING PARAMETERS ON SURFACE QUALITY
IN ELECTRICAL DISCHARGE MACHINING OF 9XC STEEL

TS. Nguyễn Thành Nhân*, Mạc Thanh Tùng

Trường Cơ khí, Đại học Bách Khoa Hà Nội

*Email: nhan.nguyenthanh@hust.edu.vn

TÓM TẮT

Nghiên cứu này phân tích ảnh hưởng của các thông số công nghệ U , I và T (Độ căng dây) đến độ nhám bề mặt (R_a) khi gia công thép 9XC bằng phương pháp gia công tia lửa điện sử dụng điện cực dây. Bằng cách tiến hành thực nghiệm và sử dụng phương pháp hồi quy tuyến tính, một mô hình toán học được xây dựng nhằm dự đoán R_a dựa trên các thông số gia công. Kết quả cho thấy khi tăng cả 3 yếu tố cường độ dòng điện I , điện áp U và độ căng dây T (đồng nghĩa với việc tốc độ cắt tăng) thì chiều cao nhấp nhô bề mặt R_a , R_z tăng. Thông qua phân tích thực nghiệm, nghiên cứu đề xuất một dải giá trị hợp lý cho các thông số chế độ cắt giúp nâng cao chất lượng bề mặt và hiệu suất sản xuất, đồng thời mở ra hướng nghiên cứu tiếp theo nhằm tối ưu hóa quy trình gia công tia lửa điện bằng điện cực dây.

Từ khóa: Thép 9XC; Gia công tia lửa điện bằng điện cực dây; Độ nhám bề mặt; Hồi quy tuyến tính; Thông số gia công.

ABSTRACT

This study analyzes the effects of technological parameters U , I , and T (wire tension) on surface roughness (R_a) in the wire electrical discharge machining of 9XC steel. Through experimental investigation and the application of linear regression analysis, a mathematical model was developed to predict the value of R_a based on the machining parameters. The results indicate that when the current intensity I , voltage U , and wire tension T increase simultaneously (which corresponds to an increase in cutting speed), the surface roughness parameters R_a and R_z also increase. Based on the experimental analysis, the study proposes a reasonable range of machining parameters to improve surface quality and production efficiency. In addition, the research provides a basis for further studies aimed at optimizing the wire electrical discharge machining process.

Keywords: 9XC steel; Wire electrical discharge machining; Surface roughness; Linear regression; Machining parameter.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Thép 9XC, hay còn được biết đến với tên gọi 9SiCr, là một loại thép công cụ hợp kim thấp, nổi bật bởi hàm lượng các nguyên tố Si và Cr. Sự kết hợp này mang lại cho thép 9SiCr những đặc tính vượt trội như độ cứng cao và khả năng thấm tôi xuất sắc. Thép 9XC thường được sử dụng rộng rãi trong sản xuất các loại khuôn có tuổi thọ cao, và cũng là vật liệu lý tưởng cho các mũi khoan nhờ vào khả năng chống mài mòn và độ cứng vượt trội. Với những đặc tính ưu việt, thép 9SiCr không chỉ đáp ứng tốt các yêu cầu khắt khe trong ngành công nghiệp mà còn góp phần nâng cao hiệu quả và chất lượng của các sản phẩm thép [1]. Tuy nhiên, trong thực tế sản xuất, chất lượng bề mặt của sản phẩm gia công phụ thuộc vào nhiều yếu tố, trong đó quan trọng nhất là các thông số chế độ cắt. Vì vậy, việc nghiên cứu ảnh hưởng của các thông số này đến độ nhám bề mặt khi gia công thép 9XC bằng công nghệ gia công tia lửa điện bằng điện cực dây là rất cần thiết để tối ưu hóa quy trình và nâng cao chất lượng sản phẩm.

Trong những năm gần đây, nhiều nghiên cứu đã tập trung vào ảnh hưởng của chế độ cắt đến chất lượng bề mặt của các loại thép dụng cụ. Chẳng hạn, nghiên cứu của GS.TS. Trần Văn Định (Đại học Bách khoa Hà Nội) và ThS. Trần Quốc Trinh (Học viện Kỹ thuật quân sự), “Ảnh hưởng của tham số điều khiển đến độ nhám bề mặt khi gia công bằng phương pháp điện cực dây”, Tạp chí Khoa học Công nghệ (Năm 2009) [2]; TS. Nguyễn Huy Ninh, ThS. Nguyễn Quang Đăng, “Nghiên cứu ứng dụng máy cắt dây tia lửa điện CNC năm trục, siêu cao tốc FI 440 CC để gia công khuôn dập cho sản phẩm có biên hình phức tạp”, Luận văn cao học, Đại học Bách khoa Hà Nội (Năm 2010) [3].

Mô hình hồi quy thực nghiệm được xây dựng trong nghiên cứu này giúp dự đoán độ nhám bề mặt dựa trên các thông số gia công, từ đó đưa ra các khuyến nghị để nâng cao chất lượng bề mặt. Những phương pháp phân tích này có thể được áp dụng cho thép 9XC để xây dựng mô hình dự đoán tương tự, giúp tối ưu hóa chế độ cắt và cải thiện hiệu suất gia công.

Mặc dù có nhiều nghiên cứu liên quan đến ảnh hưởng của các thông số công nghệ đến chất lượng bề mặt, nhưng vẫn chưa có nhiều nghiên cứu chuyên sâu về thép 9XC. Do đó, nghiên cứu này tập trung vào việc đánh giá ảnh hưởng của các thông số công nghệ (dòng điện, điện áp, sức căng dây) đến độ nhám bề mặt khi gia công thép 9XC bằng công nghệ gia công tia lửa điện bằng điện cực dây. Mục tiêu là xác định bộ thông số hợp lý nhằm nâng cao chất lượng bề mặt, đảm bảo độ chính xác kích thước và tối ưu hóa quy trình sản xuất trong ngành gia công cơ khí.

2. VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Vật liệu và thiết bị

- Vật liệu: Thép 9XC (thành phần hóa học: 0.85-0.95% C, 1.2-1.6% Si, 0.3-0.6% Mn) [4];

- Kích thước phôi: $\Phi 40 \times 50$ mm;
- Máy cắt dây đồng: Aristech CW30;
- Dụng cụ cắt: Dây đồng $\Phi 0.2$;
- Thiết bị đo độ nhám: Hommel-Etamic W10;
- Dung dịch làm mát: Nước cất.

2.2. Thông số chế độ cắt

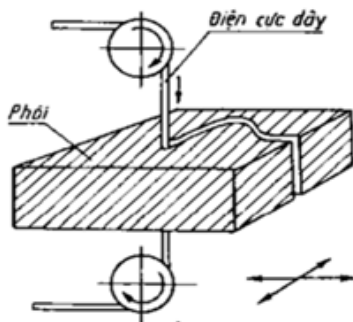
Số thí nghiệm N cần thực hiện khi quy hoạch thực nghiệm được tính theo công thức sau:

$$N = 2^k = 2^3 = 8 \quad (1)$$

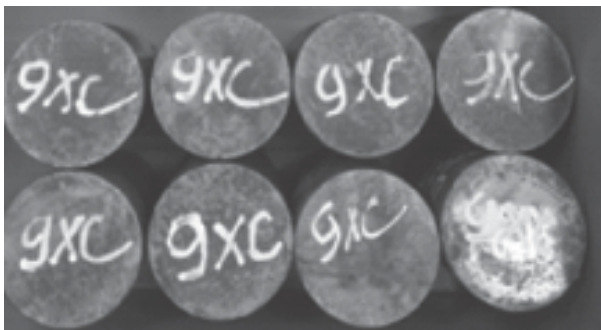
Ở đây, $k (=3)$ là số yếu tố ảnh hưởng: Cường độ dòng điện (I), điện áp (U), sức căng dây (T) [5].

Bảng 1. Bảng ma trận đơn vị của thí nghiệm mẫu thép 9XC

STT thí nghiệm	Các yếu tố ảnh hưởng		
	Điện cực áp “U”	Cường độ dòng điện “I”	Sức căng dây “T”
1	-1	-1	-1
2	+1	-1	-1
3	-1	+1	-1
4	+1	+1	-1
5	-1	-1	+1
6	+1	-1	+1
7	-1	+1	+1
8	+1	+1	+1



Hình 1. Sơ đồ gia công cắt dây



Hình 2. Mẫu thép 9XC

2.3. Phân tích, xây dựng mô hình hồi quy tuyến tính

Quy hoạch thực nghiệm trực giao cho phép xây dựng mô hình toán học biểu thị quan hệ phụ thuộc giữa thông số đầu ra và các thông số đầu vào. Mô hình toán học này có thể được viết dưới dạng:

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_nX_n + b_{12}X_1X_2 + \dots + b_{(n-1)n}X_{n-1}X_n \quad (2)$$

Phương trình này gọi là phương trình hồi quy [6].

Việc bổ sung các yếu tố tương tác giữa cường độ dòng điện, điện áp và sức căng dây giúp nâng cao độ chính xác của mô hình. Mô hình đạt độ chính xác cao cho phép dự đoán chính xác độ nhám bề mặt dựa trên thông số gia công.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Kết quả thực nghiệm

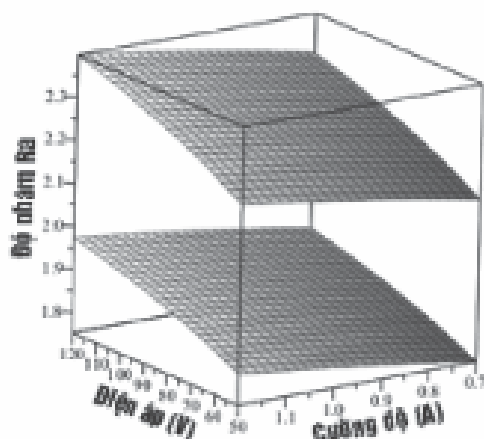
Bảng 2. Kết quả đo độ nhám qua thí nghiệm của mẫu 9XC

STT thí nghiệm	Độ nhám đo được Ra (μm)			Ra _{tb}
	Ra1	Ra2	Ra3	
1	1.65	1.583	1.684	1.639
2	1.996	1.795	1.818	1.869
3	2.126	2.111	2.192	2.143
4	2.443	2.349	2.311	2.367
5	2.374	2.305	2.781	2.486
6	2.373	2.492	2.793	2.552
7	2.146	2.502	2.265	2.304
8	2.287	2.275	2.379	2.313

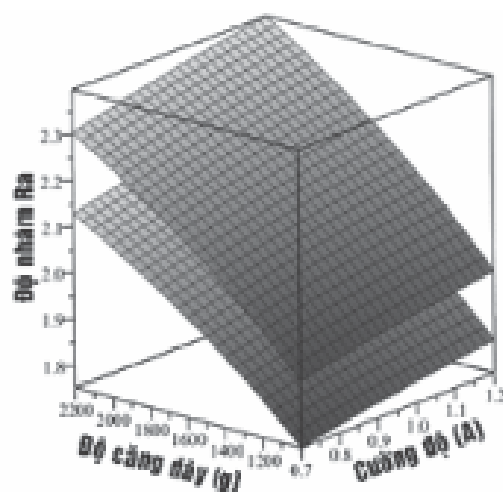
Sau khi tính toán theo quy hoạch thực nghiệm, ta có phương trình biểu thị mối quan hệ giữa độ nhám bề mặt với chế độ cắt của mác thép 9XC:

$$Ra = e^{-1.47} \cdot I^{0.07} \cdot U^{0.09} \cdot T^{0.25} \quad (3)$$

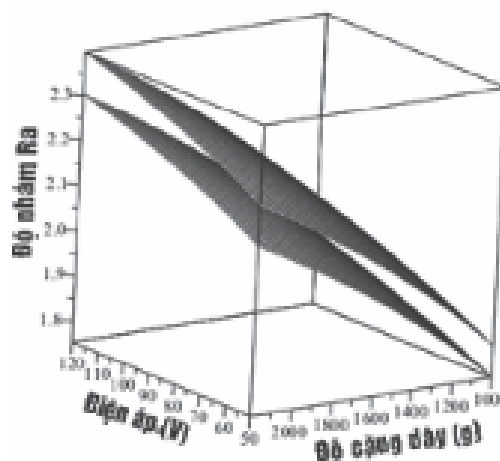
Từ phương trình trên, ta có các đồ thị quan hệ giữa Ra với I, U, T của mác thép 9XC [7].



Hình 3. Đồ thị mối quan hệ giữa Ra với U, I khi $T = 1000$ và $T = 2000$ 9XC



Hình 4. Đồ thị mối quan hệ giữa Ra với I, T khi $U = 50$ và $U = 120$ 9XC



Hình 5. Đồ thị mối quan hệ giữa Ra với U, T khi $I = 0,7$ và $I = 1,2$ 9XC

3.2. Ảnh hưởng của các thông số chế độ cắt đến độ nhám bề mặt

Nghiên cứu này đã phân tích ảnh hưởng của các thông số chế độ cắt (cường độ dòng điện, điện áp và sức căng dây) đến chất lượng bề mặt khi gia công thép 9XC bằng công nghệ gia công tia lửa điện. Kết quả thực nghiệm cho thấy rằng:

+ Sức căng dây là yếu tố ảnh hưởng mạnh nhất đến độ nhám bề mặt (Ra). Khi tăng sức căng dây trong phạm vi nghiên cứu, độ nhám bề mặt có xu hướng tăng.

+ Cường độ dòng điện và điện áp cũng có ảnh hưởng, nhưng không nhiều như sức căng dây.

4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu này đã đánh giá ảnh hưởng của các thông số chế độ cắt đến chất lượng bề mặt khi gia công tia lửa điện bằng điện cực dây với thép 9XC, qua đó cung cấp cơ sở khoa học và thực tiễn giúp cải thiện hiệu suất gia công.

Kết quả cho thấy cường độ dòng điện, điện áp và sức căng dây đều có tác động đáng kể đến độ nhám bề mặt, trong đó sức căng dây có ảnh hưởng lớn nhất. Việc điều chỉnh sức căng dây trong phạm vi hợp lý giúp cải thiện đáng kể chất lượng bề mặt, giảm độ nhám và nâng cao hiệu suất gia công. Cường độ dòng điện và điện áp cũng tác động đến độ nhám bề mặt, do đó cần xác định mức cắt phù hợp nhằm tối ưu hóa giữa chất lượng và khả năng gia công.

Từ những kết luận trên, nghiên cứu đề xuất tiếp tục thực hiện các nghiên cứu nâng cao nhằm tối ưu hóa hoàn toàn chế độ cắt. Việc áp dụng các thuật toán tối ưu hóa, chẳng hạn như quy hoạch thực nghiệm hoặc trí tuệ nhân tạo, có thể giúp xác định chính xác hơn bộ thông số gia công tối ưu. Những hướng nghiên cứu này sẽ giúp cải thiện đáng kể năng suất và hiệu quả kinh tế trong sản xuất công nghiệp. ❖

Ngày nhận bài: **23/3/2026**

Ngày phản biện: **06/4/2026**

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Trần Văn Địch (2007), “*Sổ tay Dụng cụ cắt và Dụng cụ phụ*”. NXB. Khoa học và Kỹ Thuật.
- [2]. GS,TS. Trần Văn Địch (Đại học Bách khoa Hà Nội) và ThS. Trần Quốc Trinh (Học viện Kỹ thuật quân sự), “*Ảnh của tham số điều khiển đến độ nhám bề mặt khi gia công bằng phương pháp điện cực dây*”. Tạp chí Khoa học công nghệ (Năm 2009).
- [3]. TS. Nguyễn Huy Ninh, ThS. Nguyễn Quang Đăng, “*Nghiên cứu ứng dụng máy cắt dây tia lửa điện CNC năm trục, siêu cao tốc FI 440 CC để gia công khuôn dập cho sản phẩm có biên hình phức tạp*”. Luận văn cao học, Đại học Bách khoa Hà Nội (Năm 2010).
- [4]. ГОСТ 1435-99: Прокат сортовой и калиброванный из конструкционных углеродистых качественных сталей. Технические условия (1999), <https://auremo.biz/files/gosts/gost-1435-99.pdf>
- [5]. Nguyễn Hữu Lộc (2021), “*Giáo trình Quy hoạch và phân tích thực nghiệm*”. NXB. Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh.
- [6]. Trần Văn Địch (2006), “*Nghiên cứu độ chính xác gia công bằng thực nghiệm*” (Giáo trình dùng cho học viên cao học). NXB. Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội.
- [7]. Maplesoft, “*Maple 17 User Manual*”, Waterloo, Canada: Maplesoft, 2013.