

ÁP DỤNG PHƯƠNG PHÁP HỒI QUY TUYẾN TÍNH ĐỂ XÂY DỰNG MÔ HÌNH TOÁN HỌC DỰ ĐOÁN ẢNH HƯỞNG CÁC THÔNG SỐ CÔNG NGHỆ ĐẾN CHẤT LƯỢNG BỀ MẶT KHI GIA CÔNG TIA LỬA ĐIỆN VẬT LIỆU X12M

APPLYING LINEAR REGRESSION TO DEVELOP A MATHEMATICAL MODEL FOR
PREDICTING THE EFFECTS OF TECHNOLOGICAL PARAMETERS ON SURFACE
QUALITY IN ELECTRICAL DISCHARGE MACHINING OF X12M STEEL

TS. Nguyễn Thành Nhân

Trường Cơ khí, Đại học Bách Khoa Hà Nội

Email: nhan.nguyenthanh@hust.edu.vn

TÓM TẮT

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 Ra dựa trên các thông số gia công. 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 (Ra) khi gia công thép X12M theo phương pháp gia công tia lửa điện sử dụng điện cực dây. Kết quả cho thấy khi tăng cường độ dòng điện I và điện áp U thì độ nhám bề mặt Ra có xu hướng tăng, trong khi sức căng dây T tăng thì độ nhám bề mặt Ra giảm. 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 X12M; Gia công tia lửa điện bằng điện cực dây; Độ nhám bề mặt; Hồi quy tuyến tính; Thông số gia công.

ABSTRACT

Through experimental investigations and the application of linear regression analysis, a mathematical model was developed to predict Ra based on machining parameters. This study analyzes the effects of technological parameters U, I, and T (wire tension) on surface roughness (Ra) in the wire electrical discharge machining of X12M steel. The results show that when the current intensity I and voltage U increase, the surface roughness Ra tends to increase, whereas an increase in wire tension T leads to a decrease in surface roughness. Based on the experimental analysis, the study proposes a reasonable range of machining parameters to improve surface quality and production efficiency. In addition, the findings provide a basis for further research aimed at optimizing the wire electrical discharge machining process.

Keywords: X12M steel; Wire electrical discharge machining; Surface roughness; Linear regression; Machining parameter.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

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 Trần Văn Thắng và Vũ Hữu Chuyên (Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Hưng Yên), “Nghiên cứu ảnh hưởng của cường độ dòng điện và bước tiến đến độ nhám bề mặt khi gia công thép C45 bằng phương pháp WEDM”, Tạp chí Khoa học Công nghệ (Năm 2021) [1]; Đặng Xuân Phương, Vũ Ngọc Chiên (Trường Đại học Nha Trang) và Nguyễn Thị Liễu (Trường Đại học Sao Đỏ), “Khảo sát kết quả gia công EDM trên điện cực đồng đỏ và than chì đối với thép P20”, Tạp chí Khoa học và Công nghệ - Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội (Năm 2024) [2].

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 X12M. 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 X12M 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.

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 X12M để xây dựng mô hình dự đoán tương tự, giúp tối ưu hóa chế độ cắt và cải thiện hiệu suất gia công.

Thép X12M là loại thép được ứng dụng

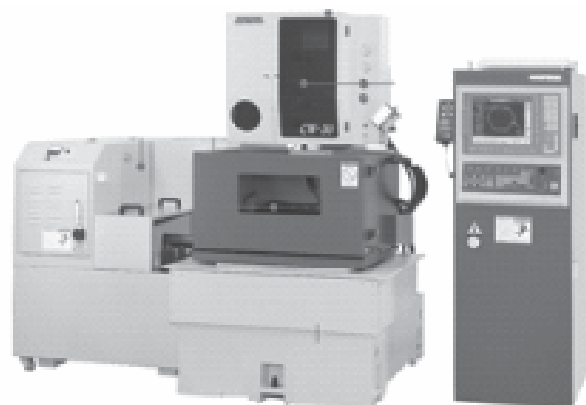
rộng rãi trong cơ khí khuôn mẫu. Thép X12M có độ chống mài mòn tốt, độ thấm tôi tuyệt vời, khả năng chịu nhiệt và ứng suất tôi thấp. Với những đặc tính ưu việt, thép không chỉ đáp ứng tốt các yêu cầu khắt khe trong ngành công nghiệp mà còn góp phần nâng cao hiệu quả và chất lượng của các sản phẩm thép [3]. 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 X12M 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.

2. VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Vật liệu và thiết bị

- Vật liệu: Thép X12M (thành phần hóa học: 1.45-1.65% C, 0.15-0.35% Si, 0.15-0.4% Mn) [4];

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



Hình 1. Máy cắt dây đồng Aristech CW30



Hình 2. Máy đo độ nhám Hommel-Etamic W10

2.2. Thông số chế độ cắt

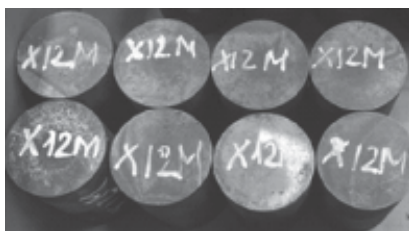
Số thí nghiệm N cần thực hiện khi quy hoạch thực nghiệm được tính theo công thức sau:

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

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 X12M

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 3. Mẫu thép X12M

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

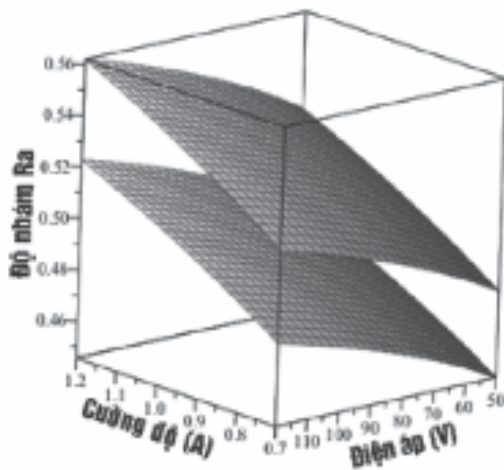
Bảng 2. Kết quả đo độ nhám qua thí nghiệm của mẫu X12M

STT thí nghiệm	Độ nhám đo được Ra (μm)			Ra _{tb}
	Ra1	Ra2	Ra3	
1	1.791	1.831	1.835	1.819
2	1.962	1.997	1.983	1.981
3	1.835	1.874	1.737	1.815
4	2.224	2.124	2.372	2.24
5	1.949	1.836	1.761	1.849
6	2.182	2.216	2.266	2.221
7	2.064	2.026	2.11	2.067
8	2.505	2.182	2.254	2.314

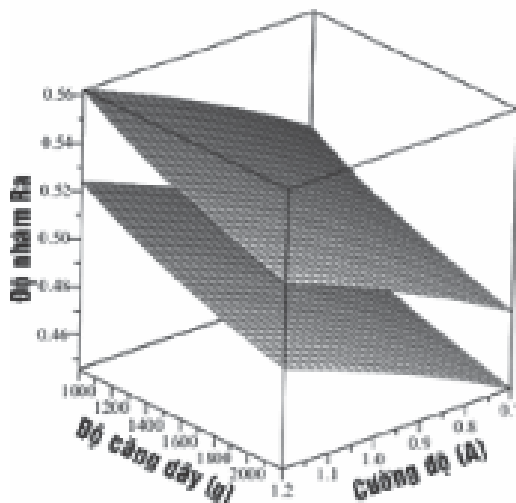
Sau khi tính toán theo quy hoạch thực nghiệm, ta có phương trình biểu thị mối quan hệ giữa độ nhám bề mặt với chế độ cắt của mác thép X12M:

$$Ra = e^{-0.354} \cdot I^{0.1667} \cdot U^{0.08} \cdot T^{-0.092} \quad (3)$$

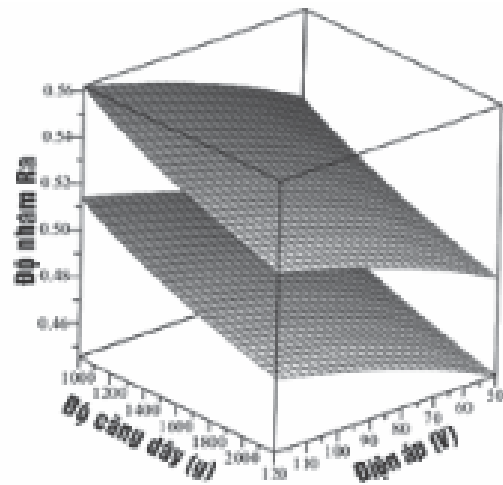
Từ phương trình trên, ta có các đồ thị quan hệ giữa Ra với I , U , T của mác thép X12M [7].



Hình 4. Đồ thị mối quan hệ giữa Ra với U , I khi $T = 1000$ và $T = 2000$ X12M



Hình 5. Đồ thị mối quan hệ giữa Ra với I , T khi $U = 50$ và $U = 120$ X12M



Hình 6. Đồ thị mối quan hệ giữa Ra với U , T khi $I = 0,7$ và $I = 1,2$ X12M

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 X12M bằng công nghệ gia công tia lửa điện. Kết quả thực nghiệm cho thấy rằng:

+ Cường độ dòng điện là yếu tố ảnh hưởng mạnh nhất đến độ nhám bề mặt (Ra). Khi tăng cường độ dòng điện trong phạm vi nghiên cứu, độ nhám bề mặt có xu hướng tăng.

+ Sức căng dây có ảnh hưởng đáng kể, nhưng tác động theo chiều hướng tăng sức căng dây thì độ nhám bề mặt giảm, dẫn đến bề mặt mịn hơn.

+ Điện áp cũng có ảnh hưởng, khi tăng điện áp thì độ nhám bề mặt có xu hướng tăng nhưng không nhiều như cường độ dòng điện.



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 X12M, 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 cường độ dòng điện có ảnh hưởng lớn nhất. Việc điều chỉnh cường độ dòng điện trong phạm vi hợp lý giúp cải thiện đáng kể chất lượng bề mặt, giảm độ nhám và nâng cao hiệu suất gia công. Sức căng dây 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 Thắng, Vũ Hữu Chuyển, Phạm Thị Hoa (Trường ĐH Sư phạm Kỹ thuật Hưng Yên), “Nghiên cứu ảnh hưởng của cường độ dòng điện và bước tiến đến độ nhám bề mặt khi gia công thép C45 bằng phương pháp WEDM”. Tạp chí Khoa học Công nghệ (Năm 2021).
- [2]. Đặng Xuân Phương, Vũ Ngọc Chiên (Trường Đại học Nha Trang) và Nguyễn Thị Liễu (Trường Đại học Sao Đỏ), “Khảo sát kết quả gia công EDM trên điện cực đồng đỏ và than chì đối với thép P20”. Tạp chí Khoa học và Công nghệ - Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội (Năm 2024).
- [3]. Trần Văn Địch (2007), “Sổ tay Dụng cụ cắt và Dụng cụ phụ”. NXB. Khoa học và Kỹ Thuật.
- [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.