

## TỐI ƯU HÓA ĐA MỤC TIÊU QUÁ TRÌNH GIA CÔNG VI-EDM VẬT LIỆU Ti6Al4V BẰNG ĐIỆN CỰC WC SỬ DỤNG PHƯƠNG PHÁP TAGUCHI - TOPSIS

MULTI-OBJECTIVE OPTIMIZATION OF MICRO-EDM MACHINING OF Ti6Al4V MATERIAL WITH WC ELECTRODE USING TAGUCHI - TOPSIS METHOD

**Nguyễn Tiến Dũng**

Khoa Cơ khí, Trường Đại học Kinh tế – Kỹ thuật Công nghiệp

Email: dungnt@uneti.edu.vn

### TÓM TẮT

*Bài báo nghiên cứu phương pháp tối ưu hóa đa mục tiêu quá trình gia công EDM hợp kim titan Ti-6Al-4V bằng điện cực tungsten carbide (WC). Sử dụng phương pháp Taguchi kết hợp với kỹ thuật ra quyết định đa tiêu chí TOPSIS [1], tác giả đã xác định được tập thông số công nghệ tối ưu nhằm cải thiện chiều sâu gia công (Z) và giảm tốc độ mòn điện cực (TWR) [2]. Kết quả thực nghiệm cho thấy tổ hợp thông số tối ưu là  $V = 160V$ ,  $C = 10nF$ ,  $RPM = 400$  vòng/phút. Bề mặt sau gia công có độ mịn cao, ít vi nứt và hạt bám, cho thấy tiềm năng ứng dụng trong chế tạo chi tiết chính xác.*

**Từ khóa:** Micro-EDM; Tối ưu hóa đa mục tiêu; Taguchi; Topsis; Ti-6Al-4V; Điện cực WC.

### ABSTRACT

*The paper studies the multi-objective optimization method of EDM machining of titanium alloy Ti-6Al-4V using tungsten carbide (WC) electrode. Using the Taguchi method combined with the multi-criteria decision-making technique TOPSIS, the author has determined the optimal set of technological parameters to improve the machining depth (Z) and reduce the electrode wear rate (TWR). Experimental results show that the optimal parameter combination is  $V = 160V$ ,  $C = 10nF$ ,  $RPM = 400$  rpm. The machined surface has high smoothness, few microcracks and grain adhesion, showing potential for application in manufacturing precision parts.*

**Keywords:** Micro-EDM; Multi-objective optimization; Taguchi; Topsis; Ti-6Al-4V; WC electrode.

## 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Gia công vi-EDM được xem là giải pháp tối ưu khi xử lý vật liệu khó cắt, điển hình như hợp kim titan Ti6Al4V [3]. Việc lựa chọn thông số công nghệ phù hợp để đảm bảo cả năng suất và chất lượng bề mặt là một bài toán phức tạp, nhất là trong điều kiện gia công chính xác vi mô. Do đó, nghiên cứu áp dụng các phương pháp tối ưu hóa đa mục tiêu là rất cần thiết.

## 2. MÔ HÌNH THỰC NGHIỆM VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

### 2.1. Thiết bị và vật liệu

- Máy gia công: Hyper 10 Micro EDM;
- Vật liệu gia công: Ti6Al4V;
- Điện cực: Tungsten Carbide (WC), Ø 490 µm.

### 2.2. Các thông số thí nghiệm

Bố trí theo ma trận trực giao L9 (Taguchi), với ba yếu tố đầu vào: Điện áp (V): 120V, 140V, 160V; Điện dung (C): 100pF, 1000pF, 10nF; Tốc độ quay (RPM): 200, 400, 600 vòng/phút.

Bảng 1. Ma trận thực nghiệm và kết quả đo

| Số TN | Điện áp (V) | Điện dung (nF) | Tốc độ quay (RPM) | Chiều sâu Z (mm) | TWR (mg/phút) |
|-------|-------------|----------------|-------------------|------------------|---------------|
| 1     | 120         | 100            | 200               | 0.59             | 0.01          |
| 2     | 120         | 1000           | 400               | 1.16             | 0.04          |
| 3     | 120         | 10             | 600               | 1.15             | 0.08          |
| 4     | 140         | 100            | 400               | 0.71             | 0.04          |
| 5     | 140         | 1000           | 600               | 0.9              | 0.05          |
| 6     | 140         | 10             | 200               | 1.31             | 0.04          |
| 7     | 160         | 100            | 600               | 0.62             | 0.01          |
| 8     | 160         | 1000           | 200               | 1.17             | 0.04          |
| 9     | 160         | 10             | 400               | 1.84             | 0.08          |

## 2.3. Phương pháp đánh giá

- Dùng AHP xác định trọng số tiêu chí [4]: Z (0.667), TWR (0.333);

- Sử dụng TOPSIS để tính chỉ số  $C^*$  [5], xác định thứ hạng tối ưu;

- Kết hợp phân tích tỷ số S/N để xác nhận tính ổn định.

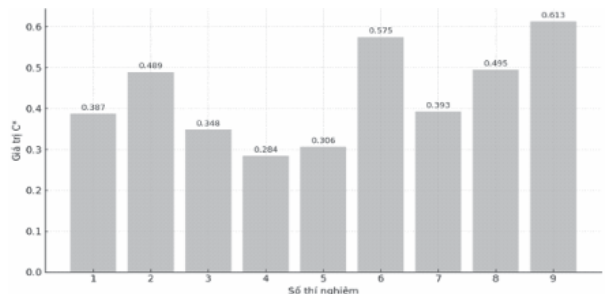
## 3. KẾT QUẢ VÀ PHÂN TÍCH

### 3.1. Kết quả tối ưu hóa đa mục tiêu

- Điểm  $C^*$  cao nhất tại thí nghiệm số 9:  $V = 160V$ ,  $C = 10nF$ ,  $RPM = 400$ ;

- Giá trị tối ưu thu được:  $Z = 1,84$  mm,  $TWR = 0,08$  mg/min;

- Chênh lệch giữa giá trị tính toán và thực nghiệm nhỏ hơn 4%.

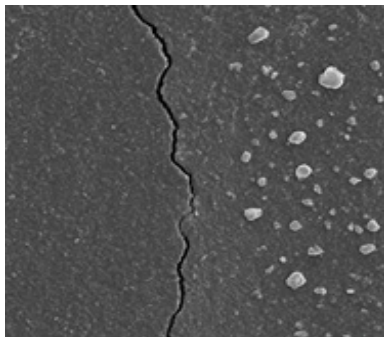


Hình 1. Biểu đồ giá trị  $C^*$  theo từng tổ hợp thí nghiệm

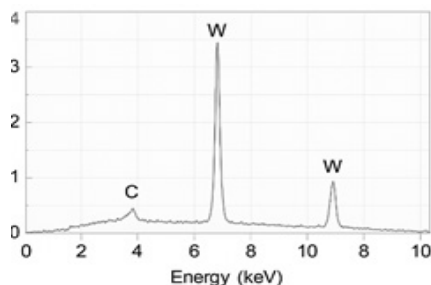
### 3.2. Ảnh hưởng đến bề mặt gia công

Sau khi áp dụng tổ hợp thông số công nghệ tối ưu ( $V = 160V$ ,  $C = 10nF$ ,  $RPM = 400$  vòng/phút), bề mặt lỗ gia công bằng vi-EDM với điện cực WC đã được phân tích bằng kính hiển vi điện tử quét (SEM) và phổ tán xạ năng lượng tia X (EDX).





Hình 2. Ảnh SEM cho thấy ít vi nứt và hạt bám



Hình 3. Phổ EDX bề mặt sau gia công

Hình 2 cho thấy bề mặt gia công tương đối đồng đều, xuất hiện rất ít vết nứt tế vi và hạt bám so với các tổ hợp thông số chưa tối ưu. Các vết nứt nhỏ thường có xu hướng phân bố rải rác theo hướng nhiệt, chủ yếu hình thành do ứng suất dư nhiệt lớn tại vùng ảnh hưởng nhiệt (HAZ). Ngoài ra, một số hạt điện cực có kích thước vi mô bị bám dính trên bề mặt, nhưng mật độ thấp và không tạo thành lớp phủ dày, cho thấy quá trình phóng tia lửa ổn định.

Cấu trúc bề mặt cũng cho thấy sự hình thành các lỗ rỗng nhỏ do hiện tượng nóng chảy và làm nguội nhanh tại vùng gia công. Tuy nhiên, mật độ các lỗ rỗng này thấp và không ảnh hưởng đáng kể đến chức năng cơ học của lỗ gia công.

Hình 3 chứng minh sự thay đổi cục bộ thành phần hóa học bề mặt, ghi nhận dấu vết của nguyên tố vonfram (W) và carbon (C) từ điện cực WC. Sự xuất hiện của các nguyên tố

này là bằng chứng cho việc tái lắng đọng phần vật liệu điện cực lên bề mặt chi tiết, đồng thời làm thay đổi tính chất vật lý của lớp bề mặt sau gia công.

#### 4. KẾT LUẬN

- Tối ưu hóa bằng phương pháp Taguchi  
- TOPSIS mang lại hiệu quả rõ rệt về chiều sâu cắt và độ mòn điện cực. Giảm đáng kể vi nứt và các khuyết tật bề mặt.

- Tổ hợp thông số tối ưu được xác định là  $V = 160V$ ,  $C = 10nF$ ,  $RPM = 400rpm$ .

- Bề mặt sau gia công bằng điện cực WC đạt chất lượng tốt, ít vi nứt, phù hợp ứng dụng trong gia công chính xác.

- Tăng tiềm năng ứng dụng trong các chi tiết cơ khí yêu cầu độ chính xác và bề mặt chất lượng cao, đặc biệt trong lĩnh vực y sinh hoặc hàng không vũ trụ. ❖

Ngày nhận bài: 12/5/2025

Ngày phản biện: 29/5/2025

#### Tài liệu tham khảo:

- [1]. Newman, S.T. và Ho, K.H., 2003, "State of the art electrical discharge machining (EDM)". International Journal of Machine Tools and Manufacture, 43(13), tr.1287-1300.
- [2]. Phan, N.H., Muthuramalingam, T., Pham, V.D., Shirguppikar, S., Nguyen, N.T., 2022, "Multi-objective optimization of micro EDM using TOPSIS method with tungsten carbide electrode". Sādhanā, 47, tr.133.
- [3]. Manivannan, R. và Kumar, M.P., 2016, "Multi-attribute decision making of cryogenically cooled Micro-EDM drilling process parameters using TOPSIS method". Materials and Manufacturing Processes, DOI:10.1080/10426914.2016.1176182.
- [4]. Phan, N.H., Dong, P.V., Dung, H.T., et al., 2021, "Multi-object optimization of EDM by Taguchi-DEAR method using AlCrNi coated electrode". International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 116, tr.1429-1435.
- [5]. Pham, D.S.S. và Dimov, D.T., 2004, "Micro-EDM – recent developments and research issues". Journal of Materials Processing Technology, 149, tr.50-57.