

# TỐI ƯU HÓA ĐA MỤC TIÊU CÁC THÔNG SỐ CÔNG NGHỆ TRONG XUNG ĐỊNH HÌNH CÓ BỘT TITAN TRỘN VÀO DUNG DỊCH ĐIỆN MÔI BẰNG TOPSIS - TAGUCHI

MULTI-RESPONSE OPTIMIZATION OF PROCESS PARAMETERS IN DIE - SINKING ELECTRICAL DISCHARGE MACHINING USING TITANIUM POWDER INTO DIELECTRIC FLUID BY TOPSIS - TAGUCHI

Nguyễn Hữu Phần<sup>1,\*</sup>, Nguyễn Đức Luận<sup>1</sup>, Nguyễn Đức Minh<sup>1</sup>,  
Bùi Tiến Tài<sup>1</sup>, Nguyễn Chí Tâm<sup>1</sup>

## TÓM TẮT

Trong bài báo này, hai chỉ tiêu: nhám bề mặt ( $R_a$ ) và độ cứng tế vi lớp bề mặt (HV) của bề mặt gia công bằng phương pháp xung định hình với bột Titan (Ti) trộn vào dung dịch điện môi đã được lựa chọn để tối ưu hóa đa mục tiêu các thông số công nghệ. Phương pháp Taguchi và phương pháp Topsis được kết hợp với nhau để giải bài toán tối ưu đa mục tiêu. Các thông số công nghệ gồm vật liệu phôi, vật liệu điện cực, sự phân cực điện cực, thời gian phát xung, thời gian ngừng phát xung, cường độ dòng điện, nồng độ bột titan (Ti) của quá trình gia công đã được lựa chọn để tối ưu hóa. Kết quả cho thấy, bột Ti trộn vào dung dịch điện môi đã nâng cao hiệu quả tối ưu hóa đa mục tiêu trong phương pháp xung định hình. Bộ thông số tối ưu đa mục tiêu: SKT4, Cu(-),  $T_{on} = 5\mu s$ ,  $I = 4A$ ,  $T_{of} = 57\mu s$ , nồng độ bột Ti là 20g/l với trị số tối ưu là  $R_a = 1,45\mu m$  và HV = 649,5HV. Lớp bề mặt tại điều kiện tối ưu cũng được phân tích và cho kết quả tốt.

**Từ khóa:** Tối ưu hóa, nhám bề mặt, độ cứng tế vi.

## ABSTRACT

In this paper, the two indicators: Surface roughness ( $R_a$ ) and micro-hardness (HV) of machined surface after die-sinking electrical discharge machining using Titanium (Ti) powder mixed into dielectric fluid has been selected to optimize simultaneously of process parameters. Taguchi method and Topsis method are combined to solve the multi-indicators optimization problem. The process parameters to investigate the following: Workpiece material, electrode material, electrode polarity, pulse-on time, current, pulse-off time, and Ti powder concentration. Results showed that Ti powder mixed into dielectric fluid, it has improved the efficiency of multi-indicators optimization in die-sinking electrical discharge machining. Optimal parameters are SKT4, Cu (-),  $T_{on} = 5\mu s$ ,  $I = 4A$ ,  $T_{of} = 57\mu s$ , Ti powder concentration is 20g/l. Optimal value are  $R_a = 1.45\mu m$  and HV = 649.5HV. The surface layer at optimum conditions is also analyzed and its result are good.

**Keywords:** Optimization, Surface roughness, micro-hardness.

<sup>1</sup>Khoa Cơ khí, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

\*Email: phanktcn@gmail.com

Ngày nhận bài: 08/01/2018

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 25/03/2018

Ngày chấp nhận đăng: 25/04/2018

## 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Bột dẫn điện hợp lý trộn trong dung dịch điện môi của EDM (PMEDM) là một giải pháp hiệu quả để nâng cao đồng thời năng suất và chất lượng bề mặt gia công. Trong PMEDM, số lượng các thông số công nghệ là rất lớn và nhiều yếu tố ảnh hưởng vẫn chưa được làm rõ (*độ đồng đều của bột trong dung dịch điện môi, quỹ đạo di chuyển của bột trong vùng khe hở phóng điện, hình dạng hạt bột, đặc trưng vật lý của vật liệu bột...*). Điều này đã làm cho việc nghiên cứu tối ưu hóa của phương pháp này gặp rất nhiều khó khăn, đặc biệt tối ưu nhiều chỉ tiêu trong PMEDM là rất phức tạp. Phương pháp Taguchi đã và đang được sử dụng phổ biến để giải các bài toán tối ưu hóa trong lĩnh vực này. Tuy nhiên, Taguchi chỉ có thể giải quyết bài toán tối ưu đơn chỉ tiêu. Hiện nay, Taguchi kết hợp với một số phương pháp (GRA, Topsis,...) đã tối ưu được đồng thời nhiều chỉ tiêu. Điều này góp phần nâng cao hiệu quả của bài toán tối ưu trong PMEDM.

Một số kết quả nghiên cứu gần đây đã cho thấy rằng kết hợp Taguchi với một số phương pháp khác như phân tích quan hệ xám (GRA), Topsis, điện toán đám mây (PSO),... có thể tối ưu hóa đồng thời nhiều đặc trưng chất lượng trong EDM và cho kết quả là tốt. Taguchi - GRA [1-6] và Taguchi - Topsis [8-12] đã được sử dụng để tối ưu hóa đồng thời các chỉ tiêu năng suất bóc tách vật liệu, lượng mòn điện cực, nhám bề mặt và độ chính xác kích thước trong gia công bằng EDM. Các kết quả tối ưu có độ chính xác cao, đồng thời cơ tính và cấu trúc tế vi lớp bề mặt sau gia công cũng được phân tích làm rõ. Cả hai phương pháp này đều là giải pháp tối ưu hóa đa mục tiêu trong lĩnh vực này, kết quả tối ưu là tốt. Chất lượng lớp bề mặt ở điều kiện tối ưu cũng đã được phân tích, đánh giá và kết quả này là tốt. Tuy nhiên, nghiên cứu tối ưu hóa đồng thời các chỉ tiêu trong EDM bằng Taguchi - Topsis cho hiệu quả cao hơn so với nó bằng Taguchi - GRA [7]. Topsis được sử dụng để tối ưu nhiều chỉ tiêu trong cả gia công truyền thống (phay, tiện, khoan, mài), gia công không truyền thống (EDM, gia công bằng tia

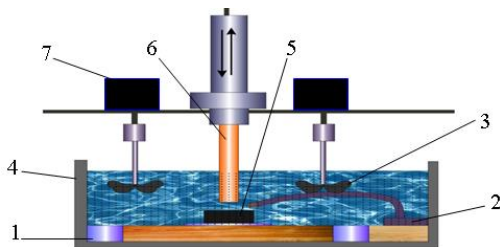
nước, gia công chi tiết nhỏ) và nhiều lĩnh vực khác [13]. Thuật toán của Topsis có thể tối ưu đồng thời một số lượng lớn các đặc trưng chất lượng. Và kết quả tối ưu bằng phương pháp này tốt hơn so với một số phương pháp khác như Taguchi, GRA,...

Từ các kết quả nghiên cứu khảo sát trên đã cho thấy hiệu quả của sự kết hợp giữa Taguchi - Topsis trong tối ưu hóa đồng thời nhiều chỉ tiêu trong PMEDM. Bài báo này trình bày tối ưu các chỉ tiêu  $R_a$  và HV của các thép làm khuôn sau gia công tinh bằng PMEDM sử dụng bột titan. Phương pháp Taguchi - Topsis, 7 thông số công nghệ và 3 cặp tương tác đã được sử dụng trong nghiên cứu này. Topography của lớp bề mặt gia công tại điều kiện tối ưu cũng được phân tích và đánh giá.

**2. ĐIỀU KIỆN THỰC NGHIỆM**

Máy xung điện CNC-AG40L (Hãng Sodick, Inc. USA) được sử dụng để thực hiện thí nghiệm với sơ đồ thí nghiệm như hình 1. Hai cánh khuấy quay ngược chiều nhau với tốc độ 200vòng/phút để bột titan không bị lắng đọng trong suốt quá trình thí nghiệm. Bơm được sử dụng để giữ lưu lượng dung môi ổn định (600 lít/giờ) tại khe hở phóng điện và đẩy phoi ra khỏi vùng gia công. Nam châm có nhiệm vụ hút phoi để chúng không đi vào vùng gia công. Phôi thép SKD61, SKD11 và SKT4 (theo tiêu chuẩn Nhật Bản) có kích thước 45x27x10mm. Điện cực Cu và Gr với kích thước  $\phi 23 \times 35 \text{mm}$ . Bột Titan (Ti) kích thước cỡ hạt  $45 \mu\text{m}$  được lựa chọn để trộn trong dung dịch điện môi. Dung dịch điện môi là dầu xung điện HD-1 được sử dụng khá phổ biến trong các lĩnh vực gia công xung định hình hiện nay tại Việt Nam. Các điều kiện thực nghiệm nghiên cứu được cho tại bảng 1.

Trị số nhám bề mặt gia công ( $R_a$ ) được đo bằng máy đo biên dạng kiểu đầu dò tiếp xúc SJ-301 (Hãng Mitutoyo - Nhật Bản), chiều dài chuẩn đo là 5mm. Độ cứng tế vi lớp bề mặt được đo bằng máy Indenta Met 1106 (Hãng Buehler - USA). Thang đo HV0,005 để đo bề mặt mẫu kiểm theo đường vuông góc với tải trọng đâm xuyên là 50(g). Hình thái bề mặt gia công (SEM) được xác định bằng kính hiển vi điện tử quét Jeol 6490 JED2300 (Hãng Jeol - Nhật Bản). Máy quang phổ phát xạ PDA-7000 (Thụy Sĩ) được sử dụng để xác định thành phần hóa học của bề mặt sau gia công bằng phương pháp Ref-ASTM E415-08. Thực hiện 3 lần đo trên mỗi mẫu thí nghiệm và kết quả là giá trị trung bình của mỗi lần đo.



1- Nam châm 2- Bơm 3- Vòi bơm 4- Bình thực nghiệm 5- Phôi  
6- Điện cực 7- Động cơ khuấy  
Hình 1. Sơ đồ thực nghiệm

**3. PHƯƠNG PHÁP THIẾT KẾ THÍ NGHIỆM VÀ TỐI ƯU HÓA ĐA MỤC TIÊU**

**3.1. Phương pháp thiết kế thí nghiệm**

Phương pháp Taguchi được sử dụng để thiết kế thí nghiệm. Ưu điểm của phương pháp này là số lượng thí nghiệm ít nhất nhưng số lượng thông số công nghệ đầu vào là lớn nhất. Ngoài ra, các thông số đầu vào còn có thể sử dụng cả thông số định lượng và thông số định tính. Các ma trận thí nghiệm được thiết kế dựa vào các ma trận trực giao cố định dẫn đến việc xác định các ma trận thí nghiệm là rất đơn giản. Dạng ma trận thí nghiệm sẽ được lựa chọn dựa vào số lượng thông số đầu vào, các cặp tương tác giữa các thông số và bậc tự do (doF) của các thông số. Trong nghiên cứu này, 7 thông số đầu vào và 3 cặp tương tác giữa các thông số đã được nghiên cứu (bảng 1). Do vậy, ma trận Taguchi L27 sẽ được sử dụng: Thông số A được gán với cột 1, thông số B được gán với cột 2, G với cột 5, C với cột 9, D với cột 10, E với cột 12 và F với cột 13 (bảng 2). Kết quả thực nghiệm trị số của nhám bề mặt ( $R_a$ ) và độ cứng tế vi lớp bề mặt (HV) được cho tại bảng 2.

Bảng 1. Thông số khảo sát

TT	Thông số khảo sát	Kí hiệu	Mức			doF
			Mức 1	Mức 2	Mức 3	
1	Vật liệu phôi	A	SKD61	SKD11	SKT4	2
2	Vật liệu điện cực	B	Cu	Cu <sup>a</sup>	Gr	1
3	Sự phân cực điện cực	C	-	+	- <sup>a</sup>	1
4	Thời gian phát xung ( $\mu\text{s}$ )	D	5	10	20	2
5	Cường độ dòng điện (A)	E	8	4	6	2
6	Thời gian ngừng phát xung ( $\mu\text{s}$ )	F	38	57	85	2
7	Nồng độ bột Ti (g/l)	G	0	10	20	2
8	Tương tác giữa vật liệu phôi và vật liệu điện cực	AxB	-	-	-	2
9	Tương tác giữa vật liệu phôi và nồng độ bột	AxG	-	-	-	4
10	Tương tác giữa vật liệu điện cực và nồng độ bột	BxG	-	-	-	2
11	Tổng					20

(Trong bảng trên: <sup>a</sup> - là biến lập).

Bảng 2. Kết quả thí nghiệm

TNo	A	B	C	D	E	F	G	$R_a$ ( $\mu\text{m}$ )	HV (HV)
1	SKD61	Cu	-	5	8	38	0	3,35	506,7
2	SKD61	Cu	+	10	4	57	10	3,21	658,96
3	SKD61	Cu	- <sup>a</sup>	20	6	85	20	2,56	581,6
4	SKD61	Cu <sup>a</sup>	+	10	6	85	0	3,55	496,68
5	SKD61	Cu <sup>a</sup>	- <sup>a</sup>	20	8	38	10	3,61	828,92
6	SKD61	Cu <sup>a</sup>	-	5	4	57	20	1,45	629,84

7	SKD61	Gr	- <sup>a</sup>	20	4	57	0	4,78	544,58
8	SKD61	Gr	-	5	6	85	10	3,24	748,42
9	SKD61	Gr	+	10	8	38	20	4,35	626,18
10	SKD11	Cu	+	20	4	85	0	4,16	509,72
11	SKD11	Cu	- <sup>a</sup>	5	6	38	10	2,05	679,54
12	SKD11	Cu	-	10	8	57	20	3,20	664,2
13	SKD11	Cu <sup>a</sup>	- <sup>a</sup>	5	8	57	0	3,35	546,02
14	SKD11	Cu <sup>a</sup>	-	10	4	85	10	2,04	679,2
15	SKD11	Cu <sup>a</sup>	+	20	6	38	20	4,57	655,18
16	SKD11	Gr	-	10	6	38	0	4,57	469,82
17	SKD11	Gr	+	20	8	57	10	4,45	907,64
18	SKD11	Gr	- <sup>a</sup>	5	4	85	20	2,74	683,52
19	SKT4	Cu	- <sup>a</sup>	10	6	57	0	2,55	530,72
20	SKT4	Cu	-	20	8	85	10	4,31	624,58
21	SKT4	Cu	+	5	4	38	20	2,46	631,68
22	SKT4	Cu <sup>a</sup>	-	20	4	38	0	2,26	468,04
23	SKT4	Cu <sup>a</sup>	+	5	6	57	10	2,89	544,38
24	SKT4	Cu <sup>a</sup>	- <sup>a</sup>	10	8	85	20	3,50	613,84
25	SKT4	Gr	+	5	8	85	0	3,23	445,44
26	SKT4	Gr	- <sup>a</sup>	10	4	38	10	3,24	681,22
27	SKT4	Gr	-	20	6	57	20	5,65	832,66

### 3.2. Phương pháp tối ưu đa mục tiêu

Phương pháp Topsis là phương pháp được sử dụng rất phổ biến trong tối ưu hóa đa mục tiêu. Phương pháp này cung cấp một cách thức lựa chọn thực tế hơn trong các bài toán tối ưu hóa đa mục tiêu. Đây là phương pháp quyết định đa mục tiêu nhằm lấy ra một chỉ tiêu tốt nhất (chỉ tiêu lý tưởng nhất) từ các chỉ tiêu tốt và chỉ tiêu tồi nhất (chỉ tiêu cực nhất) từ các chỉ tiêu tồi trong các chỉ tiêu được chọn. Các bước thực hiện trong phương pháp Topsis được mô tả như sau:

Bước 1: Sắp xếp các chỉ tiêu được lựa chọn dưới dạng ma trận:

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1j} & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2j} & x_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{i1} & x_{i2} & \dots & x_{ij} & x_{in} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mj} & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

$x_{11}, x_{12}, \dots, x_{1n}$  là chỉ tiêu được lựa chọn trong bài toán tối ưu.

$x_{11}, x_{21}, \dots, x_{m1}$  là giá trị của chỉ tiêu 1 tại các mức khác nhau.

$n$  là số lượng các chỉ tiêu được lựa chọn.

$m$  là số lượng giá trị của một chỉ tiêu.

Bước 2: Chuẩn hóa ma trận, chuyển đổi các chỉ tiêu và dạng không thứ nguyên để so sánh giữa các giá trị của các chỉ tiêu. Ma trận chuẩn hóa được thiết lập thông qua giá trị chuẩn hóa  $x'_{ij}$  ( $0 \leq x'_{ij} \leq 1$ ):

$$x'_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n x_{ij}^2}}$$

$$X' = \begin{bmatrix} x'_{11} & x'_{12} & \dots & x'_{1j} & x'_{1n} \\ x'_{21} & x'_{22} & \dots & x'_{2j} & x'_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x'_{i1} & x'_{i2} & \dots & x'_{ij} & x'_{in} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x'_{m1} & x'_{m2} & \dots & x'_{mj} & x'_{mn} \end{bmatrix} \quad (2)$$

Bước 3: Gán trọng số của các chỉ tiêu được lựa chọn vào ma trận chuẩn hóa. Ma trận chuẩn hóa với các trọng số của các chỉ tiêu được xác định như sau:

$$Y = w_j \cdot x'_{ij}$$

$$Y = \begin{bmatrix} y_{11} & y_{12} & \dots & y_{1j} & y_{1n} \\ y_{21} & y_{22} & \dots & y_{2j} & y_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ y_{i1} & y_{i2} & \dots & y_{ij} & y_{in} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ y_{m1} & y_{m2} & \dots & y_{mj} & y_{mn} \end{bmatrix} \quad (3)$$

$W_j$  - Trọng số của các chỉ tiêu.

$Y$  - Ma trận chuẩn hóa của các chỉ tiêu đã được gán trọng số.

Bước 4: Xác định giải pháp tốt nhất và giải pháp tồi nhất:

Giải pháp tốt nhất:

$$A^+ = \left\{ \left( \max_i y_{ij} \mid i \in J \right), \left( \min_i y_{ij} \mid j \in J \mid i = 1, 2, \dots, m \right) \right\} \quad (\text{Chỉ tiêu tốt nhất})$$

$$A^+ = \{y_1^+, y_2^+, \dots, y_j^+, \dots, y_n^+\} \quad (4)$$

Giải pháp tồi nhất:

$$A^- = \left\{ \left( \min_i y_{ij} \mid i \in J \right), \left( \max_i y_{ij} \mid j \in J \mid i = 1, 2, \dots, m \right) \right\} \quad (\text{Chỉ tiêu tồi nhất})$$

$$A^- = \{y_1^-, y_2^-, \dots, y_j^-, \dots, y_n^-\} \quad (5)$$

Trong đó:

- $J$  được kết hợp với các chỉ tiêu tốt
- $J'$  được kết hợp với các chỉ tiêu tồi.
- $y_j^+$  - Là giá trị tốt nhất của  $x_j$
- $y_j^-$  - Là giá trị tồi nhất của  $x_j$

Bước 5: Các phương pháp riêng biệt được tính toán bằng cách sử dụng khoảng cách Euclidean với n kích thước. Mỗi phương án riêng xuất phát từ bài toán lý tưởng sau:

Khoảng cách gần nhất:

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (y_{ij} - y_j^+)^2} \quad (6)$$

Khoảng cách xa nhất:

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (y_{ij} - y_j^-)^2} \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (7)$$

Bước 6: Khoảng cách gần nhất với giá trị lý tưởng được tính toán. Khoảng cách gần nhất của giá trị thay thế  $A_i$  đối với  $A^+$  được định nghĩa như sau:

$$C_i^* = \frac{S_i^-}{S_i^+ + S_i^-}, \quad i = 1, 2, \dots, m; \quad 0 \leq C_i^* \leq 1 \quad (8)$$

Bước 7: Sắp xếp được thực hiện theo giá trị tiến gần với giá trị  $C^*$ . Trị số  $C^*$  lớn hơn sẽ cho giải pháp  $A_i$  chất lượng tốt.

#### 4. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Bước 1: Sắp xếp các chỉ tiêu được lựa chọn dưới dạng ma trận:

$$X = \begin{bmatrix} R_{a11} & HV_{12} \\ R_{a21} & HV_{22} \\ \vdots & \vdots \\ R_{a271} & HV_{272} \end{bmatrix}$$

Bước 2: Chuẩn hóa ma trận, các giá trị chuyển đổi được xác định theo công thức (2) và kết quả cho tại bảng 3.

Bảng 3. Dữ liệu chuẩn hóa

Exp. No	A	B	C	D	E	F	G	Véc tơ chuyển đổi	
								$X_{Ra11}$	$X_{HV12}$
1	SKD61	Cu	-	5	8	38	0	0,183	0,154
2	SKD61	Cu	+	10	4	57	10	0,176	0,201
3	SKD61	Cu	- <sup>a</sup>	20	6	85	20	0,140	0,177
4	SKD61	Cu <sup>a</sup>	+	10	6	85	0	0,194	0,151
5	SKD61	Cu <sup>a</sup>	- <sup>a</sup>	20	8	38	10	0,198	0,252
6	SKD61	Cu <sup>a</sup>	-	5	4	57	20	0,079	0,192
7	SKD61	Gr	- <sup>a</sup>	20	4	57	0	0,262	0,166
8	SKD61	Gr	-	5	6	85	10	0,177	0,228
9	SKD61	Gr	+	10	8	38	20	0,238	0,191
10	SKD11	Cu	+	20	4	85	0	0,228	0,155
11	SKD11	Cu	- <sup>a</sup>	5	6	38	10	0,112	0,207
12	SKD11	Cu	-	10	8	57	20	0,175	0,202
13	SKD11	Cu <sup>a</sup>	- <sup>a</sup>	5	8	57	0	0,183	0,166
14	SKD11	Cu <sup>a</sup>	-	10	4	85	10	0,112	0,207

15	SKD11	Cu <sup>a</sup>	+	20	6	38	20	0,250	0,199
16	SKD11	Gr	-	10	6	38	0	0,250	0,143
17	SKD11	Gr	+	20	8	57	10	0,243	0,276
18	SKD11	Gr	- <sup>a</sup>	5	4	85	20	0,150	0,208
19	SKT4	Cu	- <sup>a</sup>	10	6	57	0	0,140	0,162
20	SKT4	Cu	-	20	8	85	10	0,236	0,190
21	SKT4	Cu	+	5	4	38	20	0,135	0,192
22	SKT4	Cu <sup>a</sup>	-	20	4	38	0	0,124	0,142
23	SKT4	Cu <sup>a</sup>	+	5	6	57	10	0,158	0,166
24	SKT4	Cu <sup>a</sup>	- <sup>a</sup>	10	8	85	20	0,192	0,187
25	SKT4	Gr	+	5	8	85	0	0,177	0,136
26	SKT4	Gr	- <sup>a</sup>	10	4	38	10	0,177	0,207
27	SKT4	Gr	-	20	6	57	20	0,309	0,253

Bước 3: Xác định các trị số  $y_{11}$  và  $y_{12}$ . Trọng số của các chỉ tiêu  $R_a$  và HV được lựa chọn theo kinh nghiệm:  $W_{Ra} = 0,4$  và  $W_{HV} = 0,6$  và trị số các chỉ tiêu được cho tại bảng 5.

Bước 4: Xác định giải pháp tốt nhất và giải pháp tồi nhất: Từ công thức (4) và (5) xác định được các giải pháp tốt nhất và giải pháp tồi nhất. HV được diễn tả cao hơn là tốt hơn nên  $R_a$  diễn tả là nhỏ hơn thì tốt hơn nên giá trị nhỏ nhất được xem xét là giải pháp tốt nhất và trị số lớn nhất là giải pháp tồi nhất. Các giá trị được thể hiện tại bảng 4.

Bảng 4. Giải pháp tốt nhất và tồi nhất

	$R_a$	HV
A+	0,0317	0,1105
A-	0,1237	0,0542

Bước 5: Xác định các trị số  $S_i^+$  và  $S_i^-$  theo công thức (6) và (7), trị số được diễn tả tại bảng 5:

Bước 6: Xác trị số  $C_i^*$  theo công thức (8) và trị số được diễn tả tại bảng 5.

Bước 7: Sắp xếp giá trị  $C^*$  với thứ tự được diễn tả tại bảng 5. Kết quả chỉ ra rằng: Thí nghiệm thứ tự 6 cho chất lượng bề mặt tốt nhất, bảng 5.

Bảng 5. Giá trị qui đổi được tính từ bước 3 đến bước 7

TNo	$y_{11}$	$y_{12}$	$S_i^+$	$S_i^-$	$C_i^*$	Xếp hạng
1	0,07332	0,09255	0,045	0,214	0,825	18
2	0,07026	0,12036	0,040	0,295	0,881	11
3	0,05603	0,10623	0,025	0,289	0,921	5
4	0,07770	0,09072	0,050	0,199	0,799	20
5	0,07901	0,15141	0,063	0,380	0,859	14
6	0,03174	0,11504	0,005	0,370	0,988	1
7	0,10462	0,09947	0,074	0,175	0,703	26
8	0,07091	0,13670	0,047	0,344	0,879	13



## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Vijay Kumar Meena, Man Singh Azad, 2017. *Micro-EDM multiple parameter optimization for Cp titanium*. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol 89, 897-904.
- [2]. Durairaj, M., Sudharsun, D., Swamynathan, N., 2013. *Analysis of Process Parameters in Wire EDM with Stainless Steel using Single Objective Taguchi Method and Multi Objective Grey Relational Grade*. Procedia Engineering 64, 868 – 877.
- [3]. Tripathy, S., Tripathy, D.K., 2017. *Surface Characterization and Multi-response optimization of EDM process parameters using powder mixed dielectric*. Materials Today: Proceedings, Vol. 4(2), 2058-2067.
- [4]. Pragadish, N., Pradeep Kumar, M., 2016. *Optimization of Dry EDM Process Parameters Using Grey Relational Analysis*. Arabian Journal for Science and Engineering, Vol. 41(11), 4383–4390.
- [5]. Tripathy, S., Tripathy, D.K., 2016. *Multi-attribute optimization of machining process parameters in powder mixed electro-discharge machining using TOPSIS and grey relational analysis*. Engineering Science and Technology, an International Journal, Vol. 19, 62–70.
- [6]. Tripathy, S., Tripathy, D.K., 2017. *Multi-response optimization of machining process parameters for powder mixed electro-discharge machining of H-11 die steel using grey relational analysis and Topsis*. Journal Machining Science and Technology. Vol. 21(3), 362-384.
- [7]. Dastagiri, M., Srinivasa Rao, P., Madar Valli, P., 2016. *TOPSIS - GRA methods for Parametric Optimization on Wire Electrical Discharge Machining (WEDM) Process*. Design and Research Conference (AIMTDR–2016), At College of Engineering, Pune, Maharashtra, INDIA.
- [8]. Prabhu, S., Vinayagam, B. K., 2016. *Multiresponse optimization of EDM process with nanofluids using TOPSIS method and Genetic Algorithm*. Archive of Mechanical Engineering, Vol.63(1), 45–71.
- [9]. Gadakh, V. S., 2012. *Parametric Optimization of Wire Electrical Discharge Machining Using Topsis Method*. Advances in Production Engineering & Management, Vol. 7(3), 157-164.
- [10] Manivannan, R., Pradeep Kumar, M., *Multi-attribute decision-making of cryogenically cooled micro-EDM drilling process parameters using TOPSIS method*. Journal Materials and Manufacturing Processes, Vol. 32(2), 209-215.
- [11]. Rajesh Khanna, Anish Kumar, Mohinder Pal Garg, Ajit Singh, Neeraj Sharma, 2015. *Multiple performance characteristics optimization for Al 7075 on electric discharge drilling by Taguchi grey relational theory*. Journal of Industrial Engineering International, Vol. 11(4), 459–472.
- [12] Manivannan, R., Pradeep Kumar, M., 2016. *Multi-response optimization of Micro-EDM process parameters on AISI304 steel using TOPSIS*. Journal of Mechanical Science and Technology, Vol. 30(1), 137–144.
- [13]. Atul Shukla, Pankaj Agarwal, Rana, R.S., Rajesh Purohit, 2017. *Applications of TOPSIS Algorithm on various Manufacturing Processes: A Review*. Original Research Article Materials Today: Proceedings, Vol. 4(4), 5320-5329.
- [14]. BanhTien Long, Nguyen Huu Phan, Ngo Cuong, Nguyen Duc Toan, 2016. *Surface quality analysis of die steels in powder-mixed electrical discharge machining using titan powder in fine machining*. Advances in Mechanical Engineering, Vol. 8(7), 1–13.