

## Đánh giá sự phù hợp của tích hợp Topsis - Taguchi để tối ưu hóa đa mục tiêu thông số công nghệ trong gia công bằng PMEDM

Evaluating the effectiveness of Topsis-Taguchi integration for the multi-characteristics optimization of technological parameters in PMEDM process

Nguyễn Hữu Phần \*, Nguyễn Chí Tâm, Bùi Tiến Tài

*Khoa Cơ khí, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội*

\* Email: phantcn@gmail.com

Tel: 0983.783.844

---

### Tóm tắt

---

#### Từ khóa:

Taguchi; Topsis;  
PMEDM; Hệ số S/N;  
Titan.

Trong bài báo này, hiệu quả của sự tích hợp phương pháp Topsis với Taguchi (Taguchi - Topsis) để giải bài toán tối ưu hóa đa mục tiêu trong xung định hình với bột trộn vào dung dịch điện môi (PMEDM) sẽ được đánh giá. Các thông số công nghệ được lựa chọn để khảo sát gồm: vật liệu phôi, vật liệu điện cực, sự phân cực điện cực, thời gian phát xung ( $t_{on}$ ), thời gian ngừng phát xung ( $t_{of}$ ), cường độ dòng điện (I), nồng độ bột Ti. Kết quả cho thấy rằng, Các thông số như: vật liệu điện cực, nồng độ bột, thời gian phát xung, sự phân cực điện cực, cường độ dòng điện, tương tác A×G và tương tác B×G là ảnh hưởng mạnh đến hệ số S/N của C\*. Nồng độ bột là thông số có ảnh hưởng mạnh nhất. Bộ thông số tối ưu là SKT4, Cu(-),  $t_{on} = 5\mu s$ , I = 4,  $t_{of} = 57\mu s$ , 10g/l. Trị số tối ưu: Nhám bề mặt  $R_a = 2,34\mu m$  và độ cứng tế vi bề mặt gia công HV = 904,96 HV. Tuy nhiên, sự tích hợp Taguchi- Topsis để tối ưu hóa đa mục tiêu là chưa thực sự phù hợp.

---

### Abstract

---

#### Keywords:

Taguchi; Topsis;  
PMEDM; S/N ratio;  
Titanium.

In this study, we evaluated the Topsis-Taguchi integration method used to solve the multi-characteristic optimization in Powder mixed electric discharge machining (PMEDM). The technological parameters considered in this study were electrode material, workpiece material, electrode polarity, pulse on time ( $t_{on}$ ), pulse off time ( $t_{of}$ ), current (I) and titanium powder concentration. Results showed that current, electrode material, pulse on time, electrode polarity, powder concentration, interaction between the workpiece material and titanium powder concentration, and interaction between the electrode material and titanium powder concentration were the main factors influenced the S/N ratio of C\*. The powder concentration was the most significant parameter to S/N ratio. The optimal parameters consisted of SKT4, Cu(-),  $t_{on} = 5\mu s$ , I = 4A,  $t_{of} = 57\mu s$ , 10g/l. The optimal values consisted of surface roughness ( $R_a = 2.34\mu m$ ) and microhardness of machined surface (HV = 904.96HV). However, using Taguchi-Topsis integration to optimize multi-characteristics is not really appropriate.

---

Ngày nhận bài: 15/8/2018

Ngày nhận bài sửa: 06/9/2018

Ngày chấp nhận đăng: 15/9/2018

---

## 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Phương pháp gia công bằng tia lửa điện có bột trộn trong dung dịch điện môi (PMEDM) đã và đang thu hút sự quan tâm của rất nhiều chuyên gia kỹ thuật trong lĩnh vực này. Phương pháp này có thể nâng cao đồng thời năng suất và chất lượng bề mặt gia công bằng tia lửa điện. Số lượng các thông số công nghệ trong PMEDM là rất lớn, điều này dẫn đến việc nghiên cứu tối ưu hóa trong công nghệ này là rất khó khăn và phức tạp. Kỹ thuật tích hợp Topsis - Taguchi được sử dụng rất phổ biến để giải các bài toán đa mục tiêu trong nhiều lĩnh vực kỹ thuật như: Công nghệ thông tin, điện - điện tử, cơ khí,... Và đây cũng là giải pháp đang được nghiên cứu để giải bài toán tối ưu hóa đa mục tiêu các thông số công nghệ trong PMEDM. Sự kết hợp này sẽ làm giảm chi phí thực nghiệm và tăng hiệu quả tối ưu.

Các kết quả nghiên cứu gần đây đã cho thấy: Topsis - Taguchi đã được sử dụng để tối ưu hóa đồng thời các chỉ tiêu năng suất gia công, lượng mòn điện cực và nhám bề mặt gia công trong PMEDM [1]. Và đây là giải pháp tối ưu hóa đa mục tiêu hiệu quả trong lĩnh vực này, đồng thời chất lượng lớp bề mặt tại điều kiện tối ưu cũng được phân tích, đánh giá và cho kết quả tốt. Năng suất gia công, nhám bề mặt và độ chính xác kích thước được sử dụng là chỉ tiêu tối ưu trong bài toán tối ưu hóa đa mục tiêu bằng Topsis - Taguchi của gia công bằng tia lửa điện khi gia công thép dụng cụ AISI D2 [2]. Kết quả đã cho thấy rằng: Điện áp là ảnh hưởng mạnh nhất (42,42%), thời gian phát xung là ảnh hưởng ít nhất (11,13%). Trong tối ưu hóa nhiều mục tiêu, Topsis là phương pháp đơn giản và dễ hiểu [3]. Đồng thời phương pháp này cho phép xét đến cả các yếu tố định lượng và định tính. Nên nó là giải pháp cho phép tiếp cận giải bài toán tối ưu đa mục tiêu là khách quan hơn. Taguchi - Topsis đã tối ưu hóa đồng thời 7 đặc trưng chất lượng trong gia công tia lửa điện với hiệu quả gia công đã tăng đáng kể [4-6]. Biện pháp này đã dẫn đến số lượng thí nghiệm là nhỏ nhất. Sự kết hợp Taguchi - Topsis cho hiệu quả cao hơn so với Taguchi - GRA trong giải bài toán tối ưu đa mục tiêu của PMEDM [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, cắt bằng tia nước,...) và nhiều lĩnh vực khác [8].

Từ các kết quả nghiên cứu khảo sát trên đã cho thấy: Taguchi - Topsis đã được sử dụng phổ biến để giải các bài toán tối ưu hóa đa mục tiêu trong nhiều lĩnh vực kỹ thuật nhưng phương pháp này cũng tồn tại hạn chế trong một số bài toán tối ưu hóa cụ thể. Bài báo này sẽ phân tích và đánh giá hiệu quả việc Topsis tích hợp trong Taguchi để tối ưu hóa đa mục tiêu thông số công nghệ trong gia công tinh PMEDM sử dụng bột titan khi gia công các thép làm khuôn. Hai chỉ tiêu của bài toán tối ưu là: Nhám ( $R_a$ ) và độ cứng tế vi (HV) của bề mặt gia công. Trong nghiên cứu này 7 thông số công nghệ và 3 cặp tương tác đã được sử dụng.

## 2. THIẾT KẾ THỰC NGHIỆM

Máy xung điện CNC-AG40L (Hãng Sodick, Inc. USA) được sử dụng để thực hiện thí nghiệm. Các thông số khảo sát trong ma trận thực nghiệm được thể hiện tại bảng 1. Các phối kích thước mẫu 45×27×10mm và điện cực có kích thước đường kính  $\phi 23$ mm. Bột titan ( $\approx 45\mu\text{m}$ ) được trộn vào dung dịch điện môi là dầu xung điện HD-1.  $R_a$  và HV là 2 chỉ tiêu tối ưu. Nhám bề mặt gia công ( $R_a$ ) được xác định bằng máy SJ-301 (Hãng Mitutoyo - Japan). Độ cứng tế vi lớp bề mặt đo bằng máy đo độ cứng tế vi Indenta Met 1106 (Hãng Buehler - USA). Phương pháp được sử dụng để thiết kế quy hoạch thực nghiệm là phương pháp Taguchi. L27 có 13 cột và mỗi cột có 2 dof kết hợp với nhau. Kết quả thực nghiệm tại bảng 2. Phương pháp Topsis là phương pháp được sử dụng để trong tối ưu hóa thương lượng đa mục tiêu.

**Phân tích hệ số S/N:**

Thấp hơn là tốt hơn:

$$(S/N)_{LB} = -10\log(MSD_{LB}) \quad (1)$$

$$\text{Trong đó: } MSD_{LB} = \frac{1}{r} \sum_{i=1}^r y_i^2$$

 $MSD_{LB}$  - sai lệch bình phương trung bình.

 $r$  - số lần kiểm tra trong một thí nghiệm (số lần lặp).

 $y_i$  - các giá trị của thí nghiệm.

Cao hơn là tốt hơn:

$$(S/N)_{HB} = -10\log(MSD_{HB}) \quad (2)$$

$$\text{Trong đó: } MSD_{HB} = \frac{1}{r} \sum_{i=1}^r \left( \frac{1}{y_i^2} \right)$$

 $MSD_{HB}$  - sai lệch bình phương trung bình.

**Bảng 1.** Các thông số khảo sát

TT	Thông số	Kí hiệu	Mức			Dof
			1	2	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(ton) ( $\mu$ s)	D	5	10	20	2
5	Cường độ dòng điện(A)	E	8	4	6	2
6	Thời gian ngừng phát xung(tof) ( $\mu$ s)	F	38	57	85	2
7	Nồng độ bột Ti(g/l)	G	0	10	20	2
8	Vật liệu phôi tương tác với vật liệu điện cực	A×B	-	-	-	2
9	Vật liệu phôi tương tác với nồng độ bột Ti	A×G	-	-	-	4
10	Vật liệu điện cực tương tác với nồng độ bột Ti	B×G	-	-	-	2
11	Tổng					20

<sup>a</sup>- Mức lặp của thông số

**Bảng 2.** Kết quả của thực nghiệm và phân tích bằng topsis

TNo	A	B	C	D	E	F	G	SR ( $\mu$ 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. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

#### 3.1. Kết quả tối ưu bằng Topsis - Taguchi

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 theo (3):

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

$x_{11}, x_{12}, \dots, x_{1n}$  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.

$n$  - Số lượng các chỉ tiêu được lựa chọn.

$m$  - Số lượng giá trị của một chỉ tiêu.

Ma trận các chỉ tiêu tối ưu của nghiên cứu: 
$$X = \begin{bmatrix} R_{a1} & HV_1 \\ R_{a2} & HV_2 \\ \dots & \dots \\ \dots & \dots \\ R_{a27} & HV_{27} \end{bmatrix}$$

Bước 2: Chuẩn hóa ma trận, các giá trị chuyển đổi được xác định theo công thức (4) và kết quả cho tại bảng 4:

$$x'_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n x_{ij}^2}} \quad (4)$$

Bước 3: Gán trọng số của các chỉ tiêu được lựa chọn vào ma trận chuẩn hóa và được xác định theo công thức (5):

$$Y = w_j \cdot x_{ij} \quad (5)$$

$W_j$  - Trọng số của các chỉ tiêu.

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

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 [1]:  $W_{R_a} = 0,4$  và  $W_{HV} = 0,6$  và trị số các chỉ tiêu được cho tại bảng 4.

Bước 4: Xác định giải pháp tốt nhất và giải pháp tồi nhất: Từ công thức (6) và (7) xác định được các giải pháp tốt nhất và giải pháp tồi nhất. HV và  $R_a$  với các giá trị tại bảng 3.

*Giải pháp tốt nhất:*

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

$$A^+ = \{y_1^+, y_2^+, \dots, y_j^+, \dots, y_n^+\} \quad (6)$$

*Giải pháp tồi nhất:*

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

$$A^- = \{y_1^-, y_2^-, \dots, y_j^-, \dots, y_n^-\} \quad (7)$$

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  $x_j$ .

**Bảng 3.** Giải pháp tốt nhất và tồi nhất

Chỉ tiêu Giải pháp	SR	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 (8) và (9), trị số được diễn tả tại bảng 4.

Khoảng cách gần nhất:

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (y_{ij} - y_j^+)^2} \quad (8)$$

Khoảng cách xa nhất:

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (y_{ij} - y_j^-)^2} \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (9)$$

Bước 6: Xác trị số  $C_i^*$  theo công thức (11) và trị số được diễn tả tại bảng 4:

$$C_i^* = \frac{S_i^-}{S_i^+ + S_i^-}, \quad i = 1, 2, \dots, m; 0 \leq C_i^* \leq 1 \quad (10)$$

Bước 7: Sắp xếp giá trị  $C^*$  với thứ tự được diễn tả tại bảng 4.

**Bảng 4.** Giá trị qui đổi và hệ số s/n trong tophis

TNo	$x_{Rail}$	$x_{HViz}$	$y_{i1}$	$y_{i2}$	$S_i^+$	$S_i^-$	$C_i^*$	Xếp hạng	S/N
1	0,183	0,154	0,07332	0,09255	0,045	0,214	0,825	18	-1,67
2	0,176	0,201	0,07026	0,12036	0,040	0,295	0,881	11	-1,10
3	0,140	0,177	0,05603	0,10623	0,025	0,289	0,921	5	-0,71
4	0,194	0,151	0,07770	0,09072	0,050	0,199	0,799	20	-1,95
5	0,198	0,252	0,07901	0,15141	0,063	0,380	0,859	14	-1,32
6	0,079	0,192	0,03174	0,11504	0,005	0,370	0,988	1	-0,10
7	0,262	0,166	0,10462	0,09947	0,074	0,175	0,703	26	-3,06
8	0,177	0,228	0,07091	0,13670	0,047	0,344	0,879	13	-1,12
9	0,238	0,191	0,09521	0,11437	0,064	0,236	0,788	22	-2,07
10	0,228	0,155	0,09105	0,09310	0,062	0,176	0,740	25	-2,62
11	0,112	0,207	0,04487	0,12412	0,019	0,359	0,950	3	-0,45
12	0,175	0,202	0,07004	0,12132	0,040	0,298	0,882	10	-1,09
13	0,183	0,166	0,07332	0,09973	0,043	0,232	0,844	16	-1,47
14	0,112	0,207	0,04465	0,12406	0,019	0,359	0,951	2	-0,44
15	0,250	0,199	0,10003	0,11967	0,069	0,249	0,783	23	-2,12
16	0,250	0,143	0,10003	0,08581	0,073	0,137	0,654	27	-3,69
17	0,243	0,276	0,09740	0,16578	0,086	0,413	0,828	17	-1,64
18	0,150	0,208	0,05997	0,12485	0,032	0,328	0,912	6	-0,80
19	0,140	0,162	0,05581	0,09694	0,028	0,268	0,907	7	-0,85
20	0,236	0,190	0,09433	0,11408	0,063	0,236	0,790	21	-2,05
21	0,135	0,192	0,05384	0,11538	0,023	0,316	0,933	4	-0,60
22	0,124	0,142	0,04947	0,08549	0,031	0,265	0,896	8	-0,95
23	0,158	0,166	0,06325	0,09943	0,033	0,255	0,884	9	-1,07
24	0,192	0,187	0,07661	0,11212	0,045	0,259	0,852	15	-1,39
25	0,177	0,136	0,07070	0,08136	0,049	0,197	0,802	19	-1,92
26	0,177	0,207	0,07091	0,12443	0,042	0,306	0,880	12	-1,11
27	0,309	0,253	0,12366	0,15209	0,101	0,354	0,778	24	-2,18

**Kết quả tối ưu bằng Topsis:** Thí nghiệm 6 sẽ cho  $C^*$  là lớn nhất, điều này chứng tỏ  $R_a$  và HV đạt giá trị tối ưu với thép SKD61, Cu(-),  $t_{on} = 5\mu s$ ,  $I = 4A$ ,  $t_{of} = 57\mu s$  và nồng độ bột 20g/l.

### 3.2. Kết quả tối ưu bằng phân tích ANOVA

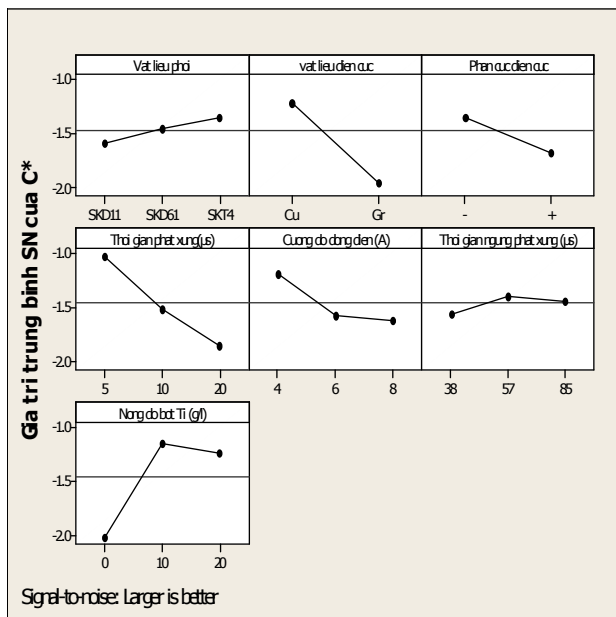
Nghiên cứu đã sử dụng ma trận thực nghiệm của Taguchi khảo sát 7 thông số với mức là 3, do đó thức chất để xác định chính xác điều kiện tối ưu theo phương pháp truyền thống sẽ phải có  $3^7$  thí nghiệm. Tuy nhiên, trong ma trận thực nghiệm của Taguchi chỉ có 27 thí nghiệm nên khả năng xảy ra trường hợp giá trị tối ưu lại nằm trong phần còn lại của sự kết hợp là rất có thể. Vì vậy, để tìm ra sự kết hợp tối ưu cần thiết phải dựa vào hệ số S/N trong phân tích của Taguchi. Hệ số S/N của  $C^*$  có giá trị cao hơn sẽ là tiếp cận kết quả tối ưu hơn. Giá trị của S/N của  $C^*$  được tính bằng công thức (1) và trị số chỉ ra tại bảng 2. Kết quả cho thấy rằng: vật liệu điện cực

( $F = 28,8$ ), thời gian ngừng phát xung ( $F = 13,58$ ), nồng độ bột ( $F = 22,47$ ),  $A \times G$  ( $F = 7,58$ ) và  $B \times G$  ( $F = 5,14$ ) là ảnh hưởng mạnh đến S/N của  $C^*$  (Bảng 4). Các thông số như vật liệu phôi, sự phân cực điện cực, thời gian ngừng phát xung, cường độ dòng điện và  $A \times B$  là ảnh hưởng không đáng kể đến S/N của  $C^*$ . Nồng độ bột là ảnh hưởng mạnh nhất và vật liệu phôi là ảnh hưởng yếu nhất. Hình 1 và 2 chỉ ra ảnh hưởng của các thông số công nghệ và một số cặp tương tác giữa chúng đến S/N của  $C^*$ . Thông số công nghệ tối ưu: thép SKT4, điện cực Cu, phân cực điện cực âm,  $I = 4A$ ,  $t_{on} = 5\mu s$ ,  $t_{of} = 57\mu s$  và nồng độ bột Ti 10g/l. Các giá trị tối ưu của các chỉ tiêu được xác định bởi công thức (11).

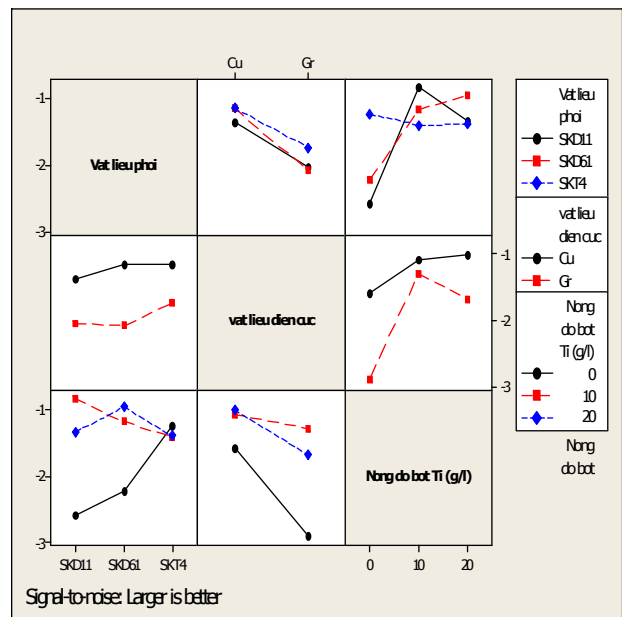
$$(SR, HV)_{toiuu} = B_1 + D_1 + G_2 + B_1 \times G_2 + A_2 \times G_2 - 4 \cdot \bar{T} \quad (11)$$

**Bảng 4.** ANOVA trị số S/N của  $C^*$

Đại lượng khảo sát	DOF	SS	V	F	P	Xếp hạng
A	2	0,2680	0,2777	1,21	0,363	6
B	1	3,2324	3,2324	28,08	0,002	3
C	1	0,6058	0,6058	5,26	0,062	5
D	2	3,1275	3,1275	13,58	0,006	2
E	2	0,9704	0,9704	4,21	0,072	4
F	2	0,1176	0,1176	0,51	0,624	7
G	2	4,1915	5,1751	22,47	0,002	1
$A \times B$	2	0,1365	0,1365	0,59	0,582	-
$A \times G$	4	3,4904	3,4904	7,58	0,016	-
$B \times G$	2	1,1837	1,1837	5,14	0,050	-
Lỗi	6	0,6908	0,6908	-	-	-
Tổng	26	18,0146	-	-	-	-



**Hình 1.** Ảnh hưởng của các thông số công nghệ đến hệ số S/N của  $C^*$



**Hình 2.** Ảnh hưởng của các cặp tương tác đến hệ số S/N của  $C^*$

### 3.3. Nhận xét và đánh giá

Từ kết quả tối ưu của Taguchi - Topsis và phân tích ANOVA tại bảng 5 đã cho thấy: Kết quả tối ưu bằng phân tích ANOVA đã được cải thiện rất đáng kể ( $R_a$  giảm 5,29% và độ cứng HV tăng 34,60%), tuy nhiên bộ thông số công nghệ và trị số tối ưu nhận được của hai cách phân tích này là có sự khác nhau. Đặc biệt là sự khác nhau về mức của nồng độ bột tối ưu là thông số quan trọng nhất của phương pháp này. Điều này đã gây ra rất nhiều khó khăn trong việc xác định các điều kiện tối ưu.

**Bảng 5.** So sánh kết quả tối ưu bằng taguchi-topsis và phân tích anova

Đặc trưng chất lượng	Tối ưu Taguchi - Topsis		Tối ưu bằng phân tích ANOVA		Khác nhau (%)
	Điều kiện	Giá trị	Điều kiện	Giá trị	
$R_a$ ( $\mu$ s)	SKD61, Cu(-), $t_{on} = 5\mu$ s,	1,45	SKT4, Cu(-), $t_{on} = 5\mu$ s,	1,37	-5,29
HV(HV)	$I = 4A$ , $t_{of} = 57\mu$ s, 20g/l	629,84	$I = 4A$ , $t_{of} = 57\mu$ s, 10g/l	847,79	34,60

## 4. KẾT LUẬN

Kết quả nghiên cứu đã đánh giá sự phù hợp của Taguchi - Topsis để tối ưu hóa đa mục tiêu trong gia công tinh thép làm khuôn (SKD61, SKD11 and SKT4) bằng PMEDM sử dụng bột Ti. Kết quả đã chỉ ra rằng: Các thông số nồng độ bột Ti, vật liệu điện cực, thời gian phát xung, tương tác A×G và tương tác B×G là ảnh hưởng mạnh đến hệ số S/N của C\*. Và nồng độ bột là thông số có ảnh hưởng mạnh nhất. Kết quả tối ưu bằng Taguchi - Topsis đã chỉ ra thí nghiệm 6 là tốt nhất: SKD61, Cu(-),  $t_{on} = 5\mu$ s,  $I = 4A$ ,  $t_{of} = 57\mu$ s, 20g/l với giá trị tối ưu  $R_a = 1,45\mu$ s và HV = 629,84HV. Tuy nhiên, phân tích ANOVA lại cho bộ thông số công nghệ tối ưu là SKT4, Cu(-),  $t_{on} = 5\mu$ s,  $I = 4A$ ,  $t_{of} = 57\mu$ s, 10g/l. với trị số tối ưu là  $R_a = 2,34\mu$ m và HV = 904,96HV. Mặc dù, Topsis với cách tính đơn giản, phương pháp này tích hợp trong Taguchi đã cho số lượng các thông số công nghệ được tối ưu là rất lớn nhưng số lượng các thí nghiệm lại nhỏ nhất. Điều này dẫn đến chi phí vật tư và thời gian của quá trình thực nghiệm giảm. Tuy nhiên, kết quả tối ưu của Topsis - Taguchi và phân tích ANOVA có sự khác biệt, do đó việc ứng dụng Taguchi - Topsis đối với bài toán tối ưu đa mục tiêu này là chưa thực sự phù hợp. Nó là cần thiết phải có giải pháp mới để khắc phục hạn chế trong nghiên cứu này.

### LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Quỹ Phát triển khoa học và công nghệ Quốc gia (NAFOSTED) trong đề tài mã số 107.01-2017.303.

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Tripathy, S. and 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 An International Journal*, 21(3), 362-384.
- [2]. Prabhu, S. and Vinayagam, B.K., 2016. Multiresponse optimization of EDM process with nanofluids using TOPSIS method and Genetic Algorithm. *Archive of Mechanical Engineering*, 63(1), 45-71.



- [3]. Gadakh, V. S., 2012. Parametric Optimization of Wire Electrical Discharge Machining Using Topsis Method”, *Advances in Production Engineering & Management* ,7(3), 157-164.
- [4]. Manivannan, R. and Kumar, M. P., 2017. Multi-attribute decision-making of cryogenically cooled micro-EDM drilling process parameters using TOPSIS method. *Journal Materials and Manufacturing Processes*, 32(2), 209-215.
- [5]. Khanna, R. et al, 2015. Multiple performance characteristics optimization for Al 7075 on electric discharge drilling by Taguchi grey relational theory. *Journal of Industrial Engineering International*, 11(4), 459-472.
- [6]. Manivannan, R. and Kumar, M. P., 2016, Multi-response optimization of Micro-EDM process parameters on AISI304 steel using TOPSIS. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 30(1), 137-144.
- [7]. Dastagiri, M. et al, 2016, TOPSIS, GRA Methods for Parametric Optimization on Wire Electrical Discharge Machining (WEDM) Process. *AIMTDR-2016- India*.
- [8]. Shukla, A. et al, 2017, Applications of TOPSIS Algorithm on various Manufacturing Processes: A Review. *Original Research Article Materials Today*, 4(4), 5320-5329.