

# Tối ưu hóa nhấp nhô bề mặt thép làm khuôn sau gia công bằng tia lửa điện với dung dịch điện môi có trộn bột Titan

- **Bành Tiến Long**<sup>1</sup>
- **Nguyễn Hữu Phấn**<sup>2</sup>
- **Ngô Cường**<sup>2</sup>
- **Nguyễn Quốc Tuấn**<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Trường Đại học Bách khoa Hà Nội

<sup>2</sup> Trường Cao đẳng Kinh tế - Kỹ thuật, ĐH Thái Nguyên

<sup>3</sup> Đại học Thái Nguyên

(Bản nhận ngày 02 tháng 12 năm 2015, hoàn chỉnh sửa chữa ngày 03 tháng 04 năm 2016)

## TÓM TẮT

Bài báo này giới thiệu kết quả nghiên cứu nhấp nhô bề mặt của thép làm khuôn sau gia công thô và gia công tinh bằng PMEDM sử dụng bột titan. Ảnh hưởng của nồng độ bột titan trộn trong dung dịch điện môi đến nhấp nhô bề mặt ( $R_a$ ) được khảo sát trong gia công thô, đồng thời phương trình hồi quy mô tả mối quan hệ này và giá trị  $R_a$  tối ưu ( $R_{aopt}$ ) cũng được xác lập. Các thông số công nghệ: vật liệu điện cực, vật liệu phối, sự phân cực điện cực, thời gian phát xung, thời gian ngừng

phát xung, cường độ dòng điện và nồng độ bột titan được sử dụng trong nghiên cứu về  $R_a$  của quá trình gia công tinh. Bằng công cụ Taguchi đã đưa ra ảnh hưởng của các thông số công nghệ đến  $R_a$  thông qua hệ số S/N của nó. Kết quả chỉ ra rằng: cường độ dòng điện, vật liệu điện cực, thời gian phát xung, phân cực điện cực và sự tương tác giữa vật liệu điện cực với nồng độ bột có ảnh hưởng mạnh nhất đến  $R_a$  và trị số tối ưu  $R_{aopt} = 1.73 \pm 0.39\mu m$ .

**Từ khóa:** EDM; PMEDM; Phương pháp Taguchi; Hệ số S/N.

## 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

EDM là phương pháp gia công không truyền thống được sử dụng phổ biến nhất trong gia công tạo hình các bề mặt khuôn, mẫu. Phương pháp này không có ràng buộc quan hệ về độ cứng giữa phối và dụng cụ, các vấn đề như: rung động, ứng suất cơ học, tiếng ồn không xuất hiện trong suốt quá trình gia công [1]. Tuy nhiên, EDM có năng suất gia công thấp, điện cực dụng cụ bị mòn và chất lượng bề mặt gia công không cao dẫn đến giá thành chế tạo của nó tăng. Số lượng các thông

số công nghệ lớn, cơ chế gia công chưa rõ ràng và quá trình tối ưu hóa chất lượng luôn yêu cầu trị số của các thông số công nghệ chính xác. Và điều này đã thu hút sự quan tâm lớn trong nghiên cứu về EDM và PMEDM hiện nay.

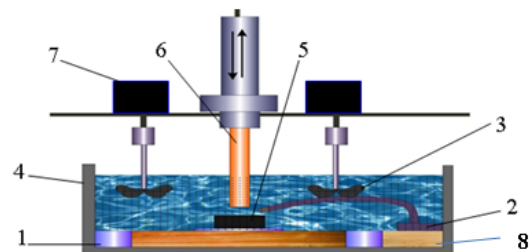
Việc trộn các loại bột Cu, Si, Al vào dung dịch điện môi làm giảm độ bền cách điện của dung dịch điện môi [9]. Tăng nồng độ bột làm tăng năng suất và chất lượng bề mặt gia công. Bột Si trộn vào dung dịch điện môi của EDM cho

nhấp nhô bề mặt gia công nhỏ với điện cực phân cực dương [2-4], [7]. Tuy nhiên, để có hiệu quả cao, quá trình gia công cần thời gian phóng tia lửa điện ngắn và sự phân bố đều của các hạt bột trong dung môi. Các loại bột (Si, Gr, Mo, Al, SiC) được trộn vào dung dịch điện môi của EDM cho thấy: bột Al cho độ bóng bề mặt cao hơn [11]. Bột kích thước nhỏ sẽ làm tăng mật độ bột trong dung dịch điện môi dẫn đến tần suất xuất hiện cầu nối phóng điện tăng và sự phân bố đồng đều hơn của các tia lửa điện nên chất lượng bề mặt gia công cao hơn [10]. Sử dụng các phụ gia trộn cùng bột vào dung dịch điện môi làm tăng khả năng tách rời của các hạt bột giúp chúng phân bố đồng đều trong dung dịch điện môi [12]. Điều này đã không những cải thiện nhấp nhô bề mặt mà còn làm giảm chiều dày lớp trắng trên bề mặt phôi. Để nhận được bề mặt gia công có  $R_{a\max} = 5\mu\text{m}$  bằng EDM cần 5 giờ, trong khi chỉ mất 25 phút khi thực hiện bằng PMEDM sử dụng bột Al [5]. Như vậy, bột trộn vào dung dịch điện môi làm cải thiện đáng kể topography và trị số nhấp nhô của bề mặt gia công. PMEDM chịu ảnh hưởng của rất nhiều các thông số công nghệ dẫn đến gặp rất nhiều khó khăn trong mô hình hóa và tối ưu hóa công nghệ này. Do vậy số lượng các nghiên cứu theo hướng này còn rất ít. Sử dụng phương pháp Taguchi để tối ưu hóa các thông số công nghệ của PMEDM cho thấy: MRR và  $R_a$  đã được cải thiện đáng kể so với EDM [13-16]. Tuy nhiên, PMEDM là phương pháp mới nên vẫn cần tiếp tục được làm rõ [6].

Nhằm đánh giá sự thay đổi  $R_a$  của các thép làm khuôn trong PMEDM, đã sử dụng bột titan. Trong nghiên cứu này, giá trị tối ưu  $R_a$  của thép SKD61 trong gia công thô và tinh bằng EDM đã được xác định. Kết quả cho thấy: bột titan trộn vào dung dịch điện môi đã làm  $R_a$  giảm đáng kể. Đây sẽ là tiền đề quan trọng trong việc nâng cao hiệu quả quá trình gia công bằng PMEDM sử dụng bột titan trong chế tạo các bề mặt khuôn mẫu.

## 2. THIẾT BỊ THÍ NGHIỆM

Thí nghiệm trên máy xung điện CNC-AG40L (Hãng Sodick, Inc. USA) của Trung tâm thí nghiệm Trường Đại học Kỹ thuật Công nghiệp Thái Nguyên. Sơ đồ thí nghiệm và các thiết bị trong bình chứa dung môi thể hiện trên hình 1. Vỏ bình làm bằng thép CT3 (TCVN: CT38) dày 3mm, kích thước (330x180x320)mm với dung tích 8,5 lít. Hai cánh khuấy ( $\Phi 120$ ) quay với tốc độ 100 vòng/phút. Bơm A303 với vòi phun ( $\Phi 8$ ) dùng để cấp dung dịch điện môi có trộn bột với lưu lượng ổn định (24 l/phút) vào khe hở phóng điện. Nam châm vĩnh cửu có nhiệm vụ hút phoi gia công. Ti là kim loại màu có khối lượng riêng nhẹ hơn 40% so với thép và nặng hơn 60% Al, dẫn điện tốt và không nhiễm từ và bột Ti với kích thước  $45\mu\text{m}$ . Đồng hồ, graphit được chọn làm điện cực và dung dịch điện môi là dầu HD-1. Trị số nhấp nhô bề mặt gia công ( $R_a$ ) được đo bằng máy đo biên dạng kiểu đầu dò tiếp xúc SJ-301 (Hãng MITUTOYO – JAPAN), chiều dài chuẩn đo là 5mm, thực hiện 3 lần đo trên mỗi mẫu thí nghiệm và kết quả độ nhấp nhô là giá trị trung bình của mỗi lần đo.



Hình 1. Sơ đồ thí nghiệm

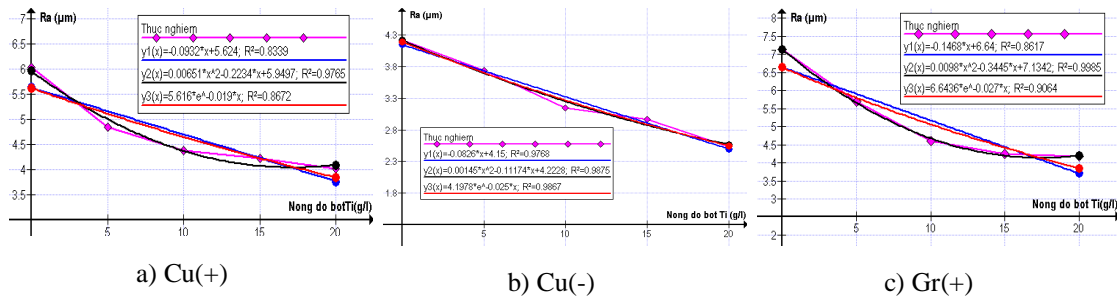
- 1- Nam châm 2- Bơm dung môi 3- Vòi bơm  
4- Bình chứa dung môi 5- Phôi 6- Điện cực  
7 – Động cơ khuấy 8- Tấm cách từ

## 3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

### 3.1 Gia công thô

**Bảng 1. Kết quả Ra**

TT	Cường độ dòng điện (A)	Thời gian phát xung (μs)	Thời gian ngừng phát xung (μs)	Nồng độ bột (g/l)	Ra(μm)		
					Cu (+)	Cu (-)	Gr (+)
1	15	50	85	0	6.03	4.22	7.13
2				5	4.73	3.74	5.69
3				10	4.38	3.15	4.61
4				15	4.30	2.97	4.25
5				20	4.01	2.54	4.18



**Hình 2. Quan hệ giữa Ra và nồng độ bột Ti**

Phương pháp bình phương bé nhất được sử dụng để tìm ra các phương trình mô tả các mối quan hệ giữa nồng độ bột Ti với Ra. Các phương trình hồi quy được xét ở các dạng khác nhau: bậc nhất, bậc hai hoặc hàm mũ để từ đó tìm ra phương trình phù hợp nhất. Kết quả tại hình 2 chỉ ra phương trình biểu diễn chính xác nhất quan hệ giữa Ra và nồng độ bột trong các trường hợp : Điện cực Cu(+):  $y_2(x) = 0,0065.x^2 - 0,223.x + 5,9497$

với trị số tối ưu của  $R_{a\text{tối ưu}} = 4,0329\mu\text{m}$  tại nồng độ bột  $17,158\text{g/l}$ ; Điện cực Cu(-):  $y_2(x) = 0,0014.x^2 - 0,1117.x + 4,222$  với trị số tối ưu của  $R_{a\text{tối ưu}} = 2,57\mu\text{m}$  tại nồng độ bột  $20\text{g/l}$ ; Điện cực Gr(+):  $y_2(x) = 0,0098.x^2 - 0,344.x + 7,134$  với trị số tối ưu của  $R_{a\text{tối ưu}} = 4,1327\mu\text{m}$  tại nồng độ bột  $17,426\text{g/l}$ .

**3.2 Gia công tinh**

**Bảng 2. Kết quả Ra**

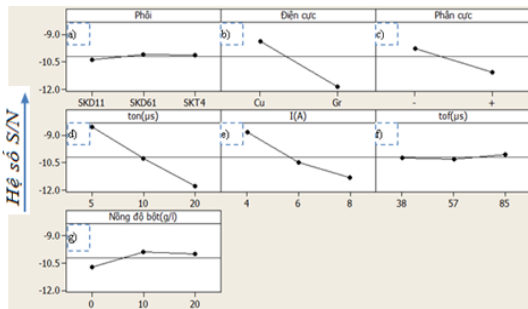
TNo	Phôi	Điện cực	Phân cực điện cực	Thời gian phát xung (μs)	Cường độ dòng điện (A)	Thời gian ngừng phát xung (μs)	Nồng độ bột (g/l)	$\bar{R}_a$ (μm)	Hệ số S/N của $\bar{R}_a$
1	SKD61	Cu	-	5	8	38	0	3.35	-10.50
2	SKD61	Cu	+	10	4	57	10	3.21	-10.15
3	SKD61	Cu	-*	20	6	85	20	2.56	-8.16
4	SKD61	Cu*	+	10	6	85	0	3.55	-11.00
5	SKD61	Cu*	-*	20	8	38	10	3.61	-11.14

6	SKD61	Cu*	-	5	4	57	20	1.45	-3.27
7	SKD61	Gr	-*	20	4	57	0	4.78	-13.60
8	SKD61	Gr	-	5	6	85	10	3.24	-10.20
9	SKD61	Gr	+	10	8	38	20	4.35	-12.78
10	SKD11	Cu	+	20	4	85	0	4.16	-12.38
11	SKD11	Cu	-*	5	6	38	10	2.05	-6.24
12	SKD11	Cu	-	10	8	57	20	3.20	-10.10
13	SKD11	Cu*	-*	5	8	57	0	3.35	-10.51
14	SKD11	Cu*	-	10	4	85	10	2.04	-6.21
15	SKD11	Cu*	+	20	6	38	20	4.57	-13.20
16	SKD11	Gr	-	10	6	38	0	4.57	-13.20
17	SKD11	Gr	+	20	8	57	10	4.45	-12.97
18	SKD11	Gr	-*	5	4	85	20	2.74	-8.77
19	SKT4	Cu	-*	10	6	57	0	2.55	-8.12
20	SKT4	Cu	-	20	8	85	10	4.31	-12.70
21	SKT4	Cu	+	5	4	38	20	2.46	-7.86
22	SKT4	Cu*	-	20	4	38	0	2.26	-7.09
23	SKT4	Cu*	+	5	6	57	10	2.89	-9.23
24	SKT4	Cu*	-*	10	8	85	20	3.50	-10.89
25	SKT4	Gr	+	5	8	85	0	3.23	-10.19
26	SKT4	Gr	-*	10	4	38	10	3.24	-10.20
27	SKT4	Gr	-	20	6	57	20	5.65	-15.05

\* - Biến lặp

**Bảng 3.** ANOVA R<sub>a</sub>

Thông số	DOF	S/N của R <sub>a</sub>	
		F	P
Vật liệu phôi(A)	2	0.35	-
Vật liệu điện cực(B)	1	<b>55.47</b>	19,8
Phân cực điện cực(C)	1	<b>15.10</b>	5,09
Thời gian phát xung(D)	2	<b>35.72</b>	25,83
Cường độ dòng điện(E)	2	<b>20.97</b>	15,29
Thời gian ngừng phát xung(F)	2	0.27	-
Nồng độ bột(G)	2	2.73	-
Tương tác AxB	2	1.21	-
Tương tác AxG	4	<b>18.12</b>	26,31
Tương tác BxG	2	1.55	-



**Hình 3.** Ảnh hưởng của thông số công nghệ đến hệ số S/N của Ra.

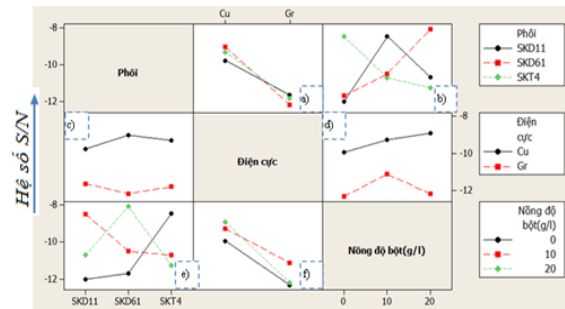
Kết quả Ra và ANOVA hệ số S/N của Ra tại bảng 2 và 3 cho thấy: vật liệu điện cực (F=55.47), sự phân cực điện cực (F=15.1), thời gian phát xung (F=35.72), cường độ dòng điện (F=20.97) và tương tác giữa vật liệu gia công với nồng độ bột (F=18.12) là những thông số có ảnh hưởng mạnh đến hệ số S/N của Ra. Các thông số còn lại ảnh hưởng yếu đến hệ số S/N của Ra. Vật liệu điện cực ảnh hưởng lớn nhất, thời gian ngừng phát xung ảnh hưởng yếu nhất đến hệ số S/N của Ra. Các thông số: thép SKT4 (A<sub>3</sub>), điện cực Cu (B<sub>1</sub>), phân cực điện cực âm (C<sub>1</sub>), thời gian phát xung 5μs (D<sub>1</sub>), cường độ dòng điện 4A (E<sub>1</sub>), thời gian ngừng phát xung 85μs (F<sub>3</sub>) và nồng độ bột Ti 10g/l (G<sub>2</sub>) sẽ ảnh hưởng rất tích cực đến hệ số S/N của Ra, Hình 3. Đây là những mức của các thông số có Ra ít bị ảnh hưởng bởi nhiều nhất. Các tương tác: thép SKT4 với vật liệu điện cực Cu (A<sub>3</sub>x B<sub>1</sub>), thép SKD61 với nồng độ bột Ti 20g/l (A<sub>1</sub>x G<sub>3</sub>), vật liệu điện cực Cu với nồng độ bột Ti 20g/l (B<sub>1</sub>x G<sub>3</sub>) là những cặp tương tác có ảnh hưởng mạnh đến hệ số S/N của Ra, Hình 4. Ra tối ưu được xác định theo công thức [8]:

$$\mu_{B_2, E_3, G_1, B_2 \times G_1} = R_{atoiuu} = \bar{B}_1 + \bar{C}_1 + \bar{D}_1 + \bar{E}_1 + \bar{A}_1 \times \bar{G}_1 - 4\bar{T}$$

$$R_{atoiuu} = 3,059 + 3,324 + 3,153 + 2,927 + 2,787 - 4.3,38 = 1,73 \mu m$$

Khoảng phân bố trị số của Ra: 1,35μm ≤ R<sub>atoiuu</sub> ≤ 2,11μm với CI<sub>CE</sub> = ±0.39 μm

Khoảng phân bố phổ biến của Ra: 1,64μm ≤ R<sub>atoiuu</sub> ≤ 1,82μm với CI<sub>POP</sub> = ±0.09 μm



**Hình 4.** Ảnh hưởng của tương tác giữa các thông số đến hệ số S/N của Ra.

Thực nghiệm kiểm chứng nhận được R<sub>a</sub> = 1,47μm với lượng sai lệch giữa kết quả tính toán và kết quả thực nghiệm chỉ là 1.5%.

#### 4. KẾT LUẬN

Bột titan trộn vào dung dịch điện môi trong EDM đã nâng cao chất lượng bề mặt của cả quá trình gia công thô và gia công tinh. Điều này sẽ làm giảm thời gian gia công của các nguyên công gia công tinh và siêu tinh tiếp theo.

Bằng cách sử dụng nhiều dạng phương trình để xác định dạng phương trình hồi quy phù hợp với dữ liệu khảo sát sẽ giúp loại bỏ một số lỗi trong xây dựng phương trình hồi quy biểu diễn mối tương quan thực nghiệm như: lựa chọn sai dạng phương trình hồi quy và đường trung bình và xác định hệ số tương quan (R<sup>2</sup>) có độ phù hợp thấp.

Trị số R<sub>atoiuu</sub> = 1.73±0.39μm với độ tin cậy 90% được xác định bởi các thông số công nghệ: thép SKD61, điện cực Cu, phân cực điện cực âm, thời gian phát xung 5μs, cường độ dòng điện 4A, thời gian ngừng phát xung 85μs và nồng độ bột 10g/l. Kiểm chứng thực nghiệm cho thấy mô hình tính toán hoàn toàn có thể dự đoán chính xác được Ra. PMEDM cho nháp nhô bề mặt nhỏ hơn so với EDM và lượng giảm lớn nhất ≈31.7%. Thép SKD61 sẽ cho R<sub>amin</sub> với điện cực đồng phân cực âm và nồng độ bột 10g/l.

# Optimal surface roughness of die steels in powder mixed electrical discharge machining using titan powder

- **Banh Tien Long** <sup>1</sup>
- **Nguyen Huu Phan** <sup>2</sup>
- **Ngo Cuong** <sup>2</sup>
- **Nguyen Quoc Tuan** <sup>3</sup>

<sup>1</sup> Hanoi University of Science and Technology, Hanoi, Vietnam

<sup>2</sup> College of Economics and Technology, Thai Nguyen University, Vietnam

<sup>3</sup> Thai Nguyen University

## ABSTRACT

*This paper introduces the research results of surface roughness of steel molds after roughing and fine machining by PMEDM using titanium powder. The influence of the concentration of titanium powder mixed dielectric fluid to the surface roughness ( $R_a$ ) is surveyed in roughing machining, and the regression equation to describe this relationship and the optimal value  $R_a$  ( $R_{aopt}$ ) also be established. The process parameters: electrode material, workpiece material, electrode polarity, pulse on time, pulse*

*of time, current and concentration of titanium powder is used in research on SR of fine machining. The influence of the process parameters to R through the average value of R and its ratio S/N has given By Taguchi method. Results indicated that: current, electrode material, pulse on time, electrode polarity and the interaction between the electrode material with powder concentration greatest impact to  $R_a$  and the optimal value  $R_{aopt}$  is  $1.73 \pm 0.39\mu\text{m}$ .*

**Keywords:** EDM; PMEDM;  $R_a$ ; Taguchi method; S/N ratio.

**REFERENCES**

- [1]. Ho K.H., Newman S.T., *State of the art electrical discharge machining*, International Journal of Machine Tools & Manufacture 43, pp.1287–1300, 2003.
- [2]. Chow H. M., Yan B. H., Huang F. Y., Hung J. C., *Study of added powder in kerosene for the micro-slit machining of titanium alloy using electro-discharge machining*, Journal of Materials Processing Technology 101, pp.95–103, 2000.
- [3]. Kansal H.K., Singh S., Kumar P., *Effect of Silicon Powder Mixed EDM on Machining Rate of AISI D2 Die Steel*, Journal of Manufacturing Processes, 9, 2007.
- [4]. Kolahan F., Bironro M., *Modeling and Optimization of Process Parameters in PMEDM by Genetic Algorithm*, Proceedings of World Academy of Science: Engineering & Technology, 48, pp. 1311, 2008.
- [5]. Kumar R., Sharma P. K., Singh A., *A review on evaluate the life of the die materials*, International Journal of Advanced Technology in Engineering and Science, 2(5), 2014.
- [6]. Kumar S., Singh R., Singh T.P., Sethi B.L., *Surface modification by electrical discharge machining: A review*, Journal of Materials Processing Technology 209, pp. 3675–3687, 2009.
- [7]. Raghuman I., *Investigation into EDM using powder mixed dielectric*, Masters thesis, National university of Singapore, 1994.
- [8]. Roy, R., *A Primer on the Taguchi Method*, New York: Van Nostrand Reinhold.
- [9]. Tzeng Y. F., Lee C. Y. (2001), *Effects of Powder Characteristics on Electro discharge Machining Efficiency*, Int J Adv Manuf Technol 17, pp. 586–592, 1990.
- [10]. Wang C.H., Lin Y.C., Yan B.H., Huang, F.Y., *Effect of characteristics of added powder on electric discharge machining*, J. Jpn. Inst. Light Met. 42, pp.2597-2604, 2001.
- [11]. Wong Y.S., Lim L.C., Rahuman I., Tee W.M., *Nearmirror-finish phenomenon in EDM using powder-mixed dielectric*, Journal of Materials Processing Technology 79, pp.30–40, 1998.
- [12]. Wu K. L., Yan B. H., Huang F. Y., Chen S. C., *Improvement of surface finish on SKD steel using electro-discharge machining with aluminum and surfactant added dielectric*, International Journal of Machine Tools & Manufacture 45, pp.1195–1201, 2005.
- [13]. Bhattacharya A., Batish A., Singh G., Singla V. K., *Optimal parameter settings for rough and finish machining of die steels in powder-mixed EDM*, Int J Adv Manuf Technol, 2011.
- [14]. Garg R.K., Ojha K., *Parametric Optimization of PMEDM Process with Nickel Micro Powder Suspended Dielectric and Varying Triangular Shapes Electrodes on EN-19 Steel*, Journal of Engineering and Applied Sciences, 6, pp. 152-156, 2011.
- [15]. Kansal H.K., Singhz S., Kumara P., *Performance Parameters Optimization. Of Powder Mixed Electric-Discharge Machining, (PMEDM) By Taguchi Method*, West Indian Journal of Engineering, 29(1).
- [16]. Sanghani C. R., Achary G. D., *A Review of Research on Improvement and Optimization of Performance Measures for Electrical Discharge Machining*, Int. Journal of Engineering Research and Applications, 4(1), pp.433-450, 2014.