

NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM ẢNH HƯỞNG CÁC THÔNG SỐ CÔNG NGHỆ VÀ NỒNG ĐỘ BỘT ĐẾN ĐỘ CỨNG TẾ VI BỀ MẶT THÉP SKD61 KHI GIA CÔNG EDM CÓ TRỘN BỘT WOLFRAM CARBIDE

EXPERIMENTAL STUDIES ON THE EFFECT OF ELECTRICAL PARAMETERS AND THE POWDER'S CONCENTRATION ON MICRO HARDNESS OF THE SURFACE OF SKD61 BY ELECTRICAL DISCHARGE MACHINING WITH TUNGSTEN CARBIDE POWDER

Lê Văn Tạo¹, GS, TSKH. Bành Tiến Long², TS. Trần Xuân Thái², PGS, TS. Nguyễn Thị Hồng Minh²

¹Trung tâm Công nghệ, Học viện Kỹ thuật Quân sự

²Bộ môn Gia công Vật liệu và Dụng cụ công nghiệp, Viện Cơ khí, Trường Đại học Bách Khoa Hà Nội

TÓM TẮT

Trong nghiên cứu này, các tác giả nghiên cứu ảnh hưởng của cường độ dòng điện (I_p); Thời gian phóng tia lửa điện (T_{on}) và nồng độ bột wolfram carbide ảnh hưởng đến độ cứng tế vi (HV) của bề mặt thép SKD61 khi gia công tia lửa điện có trộn bột wolfram carbide. Dựa vào kết quả thực nghiệm đã xây dựng hàm độ cứng tế vi có quan hệ với thông số công nghệ và nồng độ bột. Nghiên cứu đã phân tích vai trò ảnh hưởng của dòng phóng tia lửa điện (I_p); Thời gian phóng tia lửa điện (T_{on}) và nồng độ bột trộn tác động đến độ cứng tế vi.

Từ khóa: Phương pháp tia lửa điện; Phương pháp tia lửa điện pha bột hợp kim; Sửa đổi chất lượng bề mặt; Bột tungsten carbide; Độ cứng tế vi.

ABSTRACT

In the study, the authors studied the effect of the electrical current (I_p), the time on discharge (T_{on}) and tungsten carbide powder's concentration on affect the micro hardness of the surface of workpiece by electrical discharge machining with tungsten carbide powder mixing in the oil dielectric. Based on experimental results, the elaboration of micro hardness formula is related to the technological parameters and powder concentration. Research has investigated the effect of electrical current (I_p); the time on discharge (T_{on}) and the concentration of powder to the micro hardness of surface

Keywords: Electrical discharge machining, Powder mixed electric discharge machining, Surface modification, Tungsten carbide powder, micro hardness

1. GIỚI THIỆU

Vật liệu SKD61 là một dạng vật liệu dụng cụ có các cơ tính tốt để làm khuôn và các chi tiết máy, đặc biệt khi được xử lý nhiệt hoặc xử lý hóa học SKD61 đạt được cơ tính tốt. Wolfram carbide là hợp kim có nhiệt độ nóng chảy cao, độ giãn nở vì nhiệt thấp và có độ bền cao. Ngoài ra, khả năng chống oxy hóa, ăn mòn axit và kiềm của Wolfram carbide là rất tốt. Đây là những đặc tính quý của hợp kim Wolfram carbide thâm nhập vào bề mặt thép SKD61. Những đặc tính quý này tạo ra bề mặt chi tiết dụng cụ có độ cứng tốt trong thực tế, đặc biệt trong ngành Cơ khí chế tạo.

Trong các phương pháp gia công, gia công tia lửa điện (EDM) được sử dụng rộng rãi trong chế tạo cơ khí. Gia công EDM chủ yếu để gia công những vật liệu có độ cứng cao mà các phương pháp khác khó gia công. Trong những năm gần đây đã có một số nghiên cứu nhằm cải thiện chất lượng bề mặt chi tiết sau EDM. Một trong những phương pháp cải thiện chất lượng bề mặt là pha hỗn hợp bột hợp kim trong dung môi cách điện PMEDM (Powder mixed electric discharge machining). Trong PMEDM, các hạt dẫn điện được trộn lẫn trong dung dịch điện môi cách điện của EDM, điều đó làm giảm khả năng cách điện của chất lỏng điện môi và tăng khoảng cách phóng tia lửa điện giữa điện cực và phôi [3], hiện tượng phóng tia lửa điện được đồng đều và mở rộng [4]. Ngoài ra, trong quá trình phóng tia lửa điện-hình thành kênh nhiệt đã làm nóng chảy các hạt kim loại bột và xâm nhập vào bề mặt chi tiết trong quá trình EDM. Kết quả là chất lượng bề mặt được cải thiện một cách đáng kể. Cụ thể độ cứng tế vi và độ chịu mài mòn tốt hơn. Chính vì những lý do trên, một số các nhà nghiên cứu đã có những nghiên cứu tập trung vào công nghệ PMEDM.

Trên thế giới rất ít tác giả nghiên cứu ảnh hưởng của bột wolfram carbide trộn trong dung môi cách điện của quá trình PMEDM để làm thay đổi tính chất bề mặt chi tiết. Trong khuôn khổ của bài báo này, các tác giả xin giới thiệu một số kết quả nghiên cứu dưới sự ảnh hưởng của các thông số về điện và nồng độ bột làm thay đổi tính chất bề mặt (độ cứng tế vi) thép SKD61 của quá trình PMEDM có pha bột hợp kim wolfram carbide trong dung môi dầu cách điện.

2. TRANG THIẾT BỊ THÍ NGHIỆM VÀ PHƯƠNG PHÁP

2.1. Vật liệu và trang thiết bị thực nghiệm

Vật liệu sử dụng là thép SKD61- Hãng DAIDO AMISTAR (JIS- Nhật Bản), thành phần hóa học của thép SKD61 được cho ở bảng 1. Dung dịch điện môi là dầu Shell EDM Fluid 2, đặc tính kỹ thuật cho ở bảng 2. Kích thước hạt và phân hóa học theo % khối lượng của bột kim loại wolfram carbide như bảng 3 và bảng 4.

Bảng 1. Thành phần hóa học theo % khối lượng của thép SKD61

C	Si	Cr	Mo	V
≤0.38	≤1.0	≤5.0	≤1.25	≤1.0

Bảng 2. Đặc tính kỹ thuật của dầu Shell EDM Fluid 2

TT	Chỉ tiêu kỹ thuật	Đơn vị	Chỉ số
1	Độ nhớt động học ở 40°C	cSt	2.25
2	Tỷ trọng ở 15°C	kg/l	0.773
3	Nhiệt độ đông đặc (max)	°C	-27
4	Hệ số tổn thất điện môi	°C	0.01

Bảng 3. Thành phần hóa học theo % khối lượng của kim loại wolfram carbide

C	Co	Fe	W	Thành phần khác
≤5.56	≤11.9	≤0.02	≤82.5	<0.01

Bảng 4. Kích thước hạt

5.5μm	11μm	16μm	22μm	31μm
≤5.23%	≤25.98%	≤59.74%	≤89.35%	≤98.93%

2.2. Phương pháp thực nghiệm

Sử dụng máy xung điện ARISTECH CNC-460 của Hãng LIEN SHENG MECHANICAL & ELECTRICAL CO.,LTD – TAIWAN được dùng để hót vật liệu phôi SKD61 có kích thước D=19mm; L=50mm. Điện cực đồng được đầu đảo cực ngược.

Phương pháp đánh giá: Đo độ cứng tế

vi lớp bề mặt được thực hiện trên máy đo độ cứng tế vi DURAMIN- Struers.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Thiết kế thực nghiệm và tính toán

Thực nghiệm ảnh hưởng của các thông số công nghệ EDM và nồng độ bột (N_{bt}) đến độ cứng tế vi bề mặt (f_{HV}) được lựa chọn với 3 yếu tố và 3 mức độ của (T_{on} , I_p , N_{bt}) cho trên Bảng 4. Các cấp độ, yếu tố trên tạo thành 11 thí nghiệm và kết quả của f_{HV} tương ứng như trên Bảng 5.

Bảng 4. Các tham số và các mức độ được lựa chọn trong thực nghiệm:

Tham số	Đơn vị	Mức 1	Mức 2	Mức 3
T_{on}	μs	16	32	50
I_p	A	1	2	3
N_{bt}	g/l	20	40	60

Bảng 5. Các tham số thực nghiệm và kết quả đo.

STT	Biến mã hóa			Biến thực nghiệm			f_{HV} (HV)
	X_1	X_2	X_3	T_{on} (μs)	I_p (A)	N_{bt} (g/l)	
1	-1	-1	-1	16	1	20	669
2	1	1	-1	50	1	20	654
3	-1	1	-1	16	3	20	530
4	1	1	-1	50	3	20	560
5	-1	-1	1	16	1	60	825
6	1	-1	1	50	1	60	679
7	-1	1	1	16	3	60	528
8	1	1	1	50	3	60	516
9	0	0	0	32	2	40	509
10	0	0	0	32	2	40	509
11	0	0	0	32	2	40	509

Bảng 6. Tính toán các giá trị Logarit hóa:

STT	$T_{on} (\mu s)$	$I_p (A)$	$N_{bt} (g/l)$	f_{HV}	$\ln T_{on}$	$\ln I_p$	$\ln N_{bt}$	$\ln f_{HV}$
1	16	1	20	669	2.7726	0	2.9957	6.505784
2	50	1	20	654	3.9120	0	2.9957	6.483107
3	16	3	20	530	2.7726	1.09861	2.9957	6.272877
4	50	3	20	560	3.9120	1.09861	2.9957	6.327937
5	16	1	60	825	2.7726	0	4.0943	6.715383
6	50	1	60	679	3.9120	0	4.0943	6.520621
7	16	3	60	528	2.7726	1.09861	4.0943	6.269096
8	50	3	60	516	3.9120	1.09861	4.0943	6.246106
9	32	2	40	509	3.4657	0.6931	3.6889	6.232448
10	32	2	40	509	3.4657	0.6931	3.6889	6.232448
11	32	2	40	509	3.4657	0.6931	3.6889	6.232448

Dựa vào số liệu thực nghiệm thu được và phương pháp đồ thị biểu diễn các điểm số liệu thực nghiệm, tác giả xin trình bày hàm hồi quy có dạng là hàm số mũ.

$$f_{HV} = G \cdot T_{on}^k \cdot I_p^m \cdot N_{bt}^n \quad (1)$$

Logarit cơ số e cả hai vế phương trình ta được

$$\ln f_{HV} = \ln G + k \ln T_{on} + m \ln I_p + n \ln N_{bt} \quad (2)$$

Đặt $\ln f_{HV} = y$, $a_0 = \ln G$; $k = a_1$; $m = a_2$, $n = a_3$, $\ln T_{on} = x_1$; $\ln I_p = x_2$; $\ln N_{bt} = x_3$

Ta có hàm tuyến tính

$$y = a_0 + a_1 \cdot x_1 + a_2 \cdot x_2 + a_3 \cdot x_3 \quad (3)$$

Bài toán trở thành xác định hàm hồi quy thực nghiệm

Sử dụng phương pháp bình phương nhỏ nhất để xây dựng hàm hồi quy trong tính toán quy hoạch thực nghiệm [2]

Ta có phương trình ma trận:

$$[Y] = [A] [X] \quad (4)$$

Trong đó: $[X]$ là ma trận biến số đầu vào của thực nghiệm.

$[Y]$ là ma trận cột giá trị độ cứng tế vi trung bình của bề mặt.

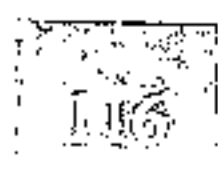
$[A]$ là ma trận hệ số tương đương với a_0, a_1, a_2, a_3 .

Vậy, nghiệm $[A] = [M]^{-1} \cdot [X]^T \cdot [Y]$, với $[M]^{-1}$ là ma trận nghịch đảo của ma trận $[M] = [X]^T \cdot [X]$

Sử dụng phần mềm Maple giải hệ phương trình $[X] [A] = [Y]$:

– Kết quả xử lý số liệu đối với độ cứng tế vi trung bình của bề mặt f_{HV} sau khi tính toán

ta có Ma trận A
$$= \begin{bmatrix} 6.5619 \\ 0.0106 \\ 0.2523 \\ 0.0177 \end{bmatrix}$$



Thay A vào phương trình tổng quát (1) ta được hàm hồi quy thực nghiệm:

$$f_{HV} = 707.457 \cdot T_{on}^{-0.0406} \cdot I_p^{-0.2523} \cdot N_{bt}^{0.0367} \quad (5)$$

Đánh giá độ tin cậy của hàm hồi quy thực nghiệm với:

$$r = \frac{\sigma_y^2 - \sigma'_y{}^2}{\sigma_y^2} \quad (6)$$

$$\text{Trong đó } \begin{cases} \sigma_y^2 = \frac{1}{n-1} \cdot \sum_1^n (y_i - \bar{y})^2 \\ \sigma'_y{}^2 = \frac{1}{n-1} \cdot \sum_1^n (y_i - y'_i)^2 \end{cases}$$

Với y_i : Giá trị độ cứng tế vi bề mặt trung bình f_{HV} ;

\bar{y} : Giá trị độ cứng tế vi bề mặt trung bình f_{HV} theo thực nghiệm.

y'_i : Giá trị độ cứng tế vi bề mặt trung bình f_{HV} theo hàm hồi quy thực nghiệm.

n: Số thí nghiệm.

Sau khi tính toán được:

$$r = \frac{200226.6364 - 16219.56789}{200226.6364} = 0.919$$

Kiểm định tham số a_i :

- Xác định sự tồn tại của a_i :

$$t'_{tinh} = \frac{a_i}{S_{du} \sqrt{m_{ii}}} \geq t_{bang}(n - m - 1, 1 - (\alpha/2)) \quad (7)$$

Trong đó, phương sai dư được tính theo công thức:

$$S_{du}^2 = \frac{S(\hat{a})}{n - m - 1} \quad (8)$$

n là số thí nghiệm; m là số các thông số cần xác định, trừ thông số a_0

Tổng dư bình phương:

$$S(\hat{a}) = (Y - X \cdot \hat{a})^T \cdot (Y - X \cdot \hat{a}) = 0.03054$$

Vậy,

$$S_{du}^2 = \frac{0.03054}{11 - 3 - 1} = 0.00436 \Rightarrow S_{du} = 0.06633$$

m_{ii} là số hạng thứ ii của ma trận M^{-1} , Với ma trận

$$[M]^{-1} = \begin{bmatrix} 9.7583 & -1.2871 & -0.2275 & -1.4685 \\ -1.2871 & 0.3851 & 0 & 0 \\ -0.2275 & 0 & 0.4142 & 0 \\ -1.4685 & 0 & 0 & 0.4142 \end{bmatrix}$$

Kết quả tính được:

$$t_{tinh}^{(0)} = 31.6687; t_{tinh}^{(1)} = -0.98804$$

$$; t_{tinh}^{(2)} = -5.91056; t_{tinh}^{(3)} = 0.86085$$

Vậy, với độ tin cậy $r = 0.919$ tra bảng phân bố Student có $t_{bang}(7; 0.9) = 1.415$

Vậy, $|t'_{tinh}| > t_{bang}$, $i = 0 \div 3$. Như vậy, các hệ số a_i thực sự tồn tại.

- Xác định khoảng sai lệch của các hệ số a_i :

$$\hat{a}_i - S_{du} \sqrt{m_{ii}} t(n - m - 1; 1 - \alpha) \leq a_i < \hat{a}_i + S_{du} \sqrt{m_{ii}} t(n - m - 1; 1 - \alpha)$$

$$6.2686 \leq a_0 < 6.855; -0.0988 \leq a_1 < 0.0176, \\ -0.3127 \leq a_2 < -0.1919, -0.02365 \leq a_3 < 0.09715.$$

3.2. Phân tích ảnh hưởng các thông số công nghệ và nồng độ bột trong công thức (5) ảnh hưởng tới độ cứng tế vi bề mặt f_{HV}

I_p : Cường độ dòng điện có số mũ âm và giá trị tuyệt đối lớn nhất là 0.2523, như vậy I_p tác động mạnh nhất trong ba thông số đầu vào đến độ cứng tế vi bề mặt. Khi I_p tăng thì độ

cứng tế vi bề mặt giảm.

T_{on} : Thời gian phóng tia lửa điện có số mũ âm và có giá trị tuyệt đối lớn thứ hai là 0.0406; Như vậy T_{on} tác động mạnh thứ hai trong ba thông số đến độ cứng tế vi bề mặt. Khi T_{on} tăng thì độ cứng tế vi bề mặt giảm.

- N_{bt} : Nồng độ bột có số mũ dương là 0.0367, như vậy N_{bt} tác động yếu nhất khi thay đổi nồng độ bột đến độ cứng tế vi bề mặt. Khi N_{bt} tăng thì độ cứng tế vi bề mặt tăng.

4. KẾT LUẬN

Trong bài báo này, các tác giả đã sử dụng phương pháp quy hoạch thực nghiệm nghiên cứu ảnh hưởng của các yếu tố công nghệ trong miền khảo sát như: Dòng phóng tia lửa điện (I_p), thời gian phóng tia lửa điện (T_{on}), nồng độ bột (N_{bt}) ảnh hưởng tới độ cứng tế vi bề mặt (HV) trong quá trình gia công PMEDM. Trong đó I_p có tác động mạnh nhất đến độ cứng tế vi bề mặt, T_{on} tác động mạnh thứ hai và N_{bt} tác động yếu nhất tới độ cứng tế vi bề mặt. ❖

Ngày nhận bài: 19/3/2017

Ngày phản biện: 16/4/2017

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Vũ Hoài Ân; *Gia công tia lửa điện CNC*. NXB. Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội, 2007.
- [2]. Nguyễn Doãn Ý; *Quy hoạch thực nghiệm*. NXB. Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội, 2003.
- [3]. K. Furutani, A. Saneto, H. Takezawa, N. Mohri, H. Miyake, *Accertation of titanium carbide by electrical discharge machining with powder suspended in working fluid*, *Prec. Eng.* 25 (2001) 138–144.
- [4]. W.S. Zhao, Q.G. Meng, Z.L. Wang, *The application of research on powder mixed EDM in rough machining*, *J. Mater. Process. Technol.* 129 (2002) 30–33.
- [5]. K. H. Ho and S. T. Newman, “*State of the art electrical discharge machining (EDM)*,” vol. 43, pp. 1287–1300, 200.
- [6]. Davim; J. Paulo, *Nontraditional machining processes*. Springer London Heidelberg New York Dordrecht, 2013.