

ẢNH HƯỞNG CỦA RUNG ĐỘNG TẦN SỐ THẤP ĐẾN NĂNG SUẤT GIA CÔNG, LƯỢNG MÒN ĐIỆN CỰC TRONG GIA CÔNG XUNG ĐIỆN CÓ TRỘN BỘT

EFFECT OF LOW-FREQUENCY VIBRATIONS ON MRR, EWR IN POWDER MIXED ELECTRICAL DISCHARGE MACHINING

Lê Quang Dũng^{1,2,*},
Bành Tiến Long², Nguyễn Hữu Tuấn³

TÓM TẮT

Rung động tích hợp trong gia công xung định hình (EDM) sẽ cải thiện quá trình đẩy phoi ra khỏi khe hở phóng điện và tăng khả năng hút dung dịch điện môi mới vào khe hở giữa điện cực và phôi. Điều này dẫn đến quá trình gia công được ổn định hơn và giải pháp này có thể có ý nghĩa tích cực trong EDM với bột trộn trong dung dịch điện môi (PMEDM). Trong nghiên cứu này, ảnh hưởng của tần số rung động thấp (F) gắn với phôi SKD61 trong PMEDM sử dụng bột Titanium được trộn trong dung dịch điện môi đã được khảo sát. Kết quả cho thấy, rung động tích hợp với phôi trong PMEDM đã có ảnh hưởng tích cực đến hiệu quả gia công. Năng suất bóc tách (MRR) được tăng lớn nhất bằng 141,7%, sự mòn điện cực (EWR) bị giảm mạnh nhất bằng 70,2%.

Từ khóa: Xung định hình, bột, rung động, năng suất gia công, mòn điện cực.

ABSTRACT

Vibrations incorporated into Electrical Discharge Machining (EDM) will improve chip release from the discharge gap and increase the ability to draw new dielectric fluid into the gap between the electrode and the workpiece. This results in a more stable machining process and this solution can have positive implications in EDM with powders mixed in dielectric fluid (PMEDM). In this study, the effect of low - frequency vibration (F) on an SKD61 workpiece in PMEDM with Titanium powder mixed in dielectric fluid was investigated. The results showed that the vibration incorporated with the workpiece in PMEDM had a positive effect on machining efficiency. Material removal rate (MRR) is the largest increase by 141.7%, the electrode wear rate (EWR) is the strongest reduce by 70.2%.

Keywords: Electrical discharge machining, powder, vibration, material removal rate, electrode wear rate.

¹Trường Đại học Sư phạm kỹ thuật Hưng Yên

²Trường Đại học Bách khoa Hà Nội

³Công ty Cổ phần 22

*Email: ledung202@gmail.com

Ngày nhận bài: 21/02/2020

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 27/3/2020

Ngày chấp nhận đăng: 24/4/2020

1. GIỚI THIỆU

Rung động tích hợp trong EDM có thể được gắn với điện cực hoặc phôi, nó sẽ góp phần cải thiện đáng kể quá trình thoát phoi, sự ổn định của quá trình gia công và năng lượng xung gia công có ích [1,2]. Điều này dẫn đến năng suất và chất lượng gia công trong EDM tích hợp rung cao hơn so với EDM truyền thống. Tần số rung động $F = (150 \div 300)$ Hz được gắn với điện cực trong EDM, kết quả cho thấy: MRR tăng $\approx 33\%$ và EWR giảm $\approx 32\%$ [3]. Với $F = (0 \div 40)$ Hz gắn với phôi thép Inox 718 trong gia công bằng μ -EDM đã dẫn đến MRR và EWR được cải thiện đáng kể so với EDM không tích hợp rung động [4]. Gắn rung động với phôi sẽ cho hiệu quả cao hơn so với gắn vào điện cực, tốc độ cắt của EDM với phôi gắn rung động lớn hơn 1,5 lần so với gắn vào điện cực, và lớn hơn 2,5 lần so với trong EDM không có rung động tích hợp [5]. Và khi F tăng lên đến một trị số giới hạn đã làm thời gian gia công giảm đáng kể. Các hiện tượng phát xung không tốt trong EDM đã bị giảm đáng kể khi rung động tần số thấp gắn với phôi [6]. Tuy nhiên, biên độ và tần số của rung động quá cao sẽ ảnh hưởng không tốt đến hiệu quả gia công, nguyên nhân là do sự không ổn định của quá trình hình thành tia lửa điện. So với EDM, thời gian gia công bằng EDM với $F \leq 280$ Hz giảm 50 phút, chất lượng bề mặt cũng tốt hơn. Khi $F = 750$ Hz và $a = 1,5\mu\text{m}$ dẫn đến xung ngắn mạch giảm rất lớn $\approx 80\%$ và ngược lại xung có ích tăng $\approx 40\%$.

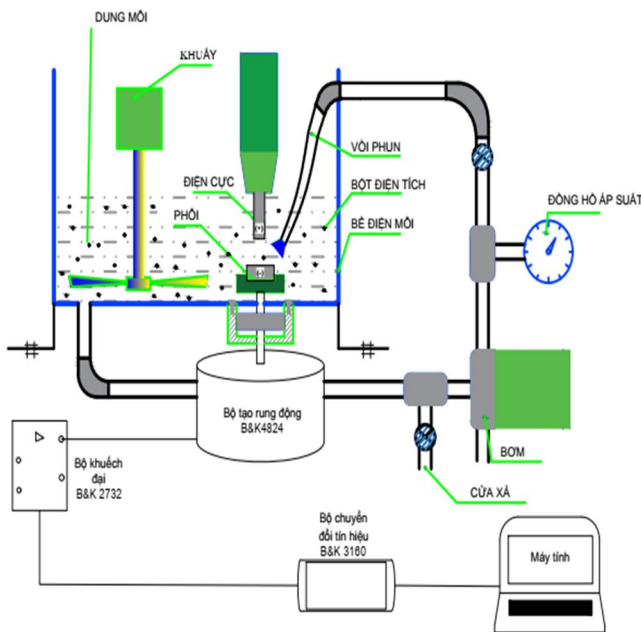
Một số nghiên cứu gần đây đã cho thấy: Rung động tích hợp trong PMEDM cho các chỉ tiêu chất lượng được cải thiện rất tích cực. Hiệu quả gia công trong PMEDM sử dụng bột cacbon lớn hơn nhiều so với EDM tích hợp rung động [7]. Bằng cách làm tương tự với một số loại bột khác (Graphite, MoS_2, \dots) đã cho thấy: Thời gian gia công đã được giảm xấp xỉ 3 lần so với PMEDM không có rung động [8,9]. Các kết quả nghiên cứu trong PMEDM với rung động còn rất ít và đây vẫn đang là hướng nghiên cứu gây được sự chú ý của nhiều chuyên gia kỹ thuật trong lĩnh vực này [10].

Trong nghiên cứu này, ảnh hưởng của sự thay đổi của tần số thấp rung động đến hiệu quả gia công trong PMEDM sử dụng bột Titanium đã được khảo sát. MRR và EWR là các chỉ tiêu chất lượng được đánh giá.

2. THIẾT KẾ THỰC NGHIỆM

Bảng 1. Giá trị đầu vào của thông số công nghệ

TT	Các thông số công nghệ cố định	Tần số (Hz)	MRR (mm ³ /phút)	EWR (%)
1	I = 8A; T _{on} = 50μs; T _{of} = 25μs; U = 50V; Điện cực dương; Nồng độ bột 4g/l; Áp lực dòng phun 40Mpa	0	6,176	1,49
2		100	9,964	1,10
3		200	11,403	0,96
4		300	12,892	0,88
5		400	13,704	1,08
6		500	14,686	1,04
7		600	14,926	1,05
8		700	14,570	0,98
9		800	14,727	1,04
10		900	14,496	1,01



Hình 1. Sơ đồ bố trí thực nghiệm

Thiết bị thí nghiệm được sử dụng là máy xung CNC-CM323C (CHMER, Đà Loan). Các thông số công nghệ được lựa chọn để khảo sát như trong bảng 1. Phôi thép SKD61 có kích thước (25x25x30)mm và được nhiệt luyện đạt độ cứng 58 ÷ 62HRC. Điện cực đồng đỏ (Cu) hình trụ có đường kính Ø16mm. Dung dịch điện môi sử dụng dầu xung D323. Bột Titan với kích thước ≤ 45μm được sử dụng. Tốc độ quay của động cơ khuấy bằng 300 vòng/phút. Thiết bị tạo rung Exciter 4824 (Brüel & Kjær, Đan Mạch) để tạo rung động. Bộ khuếch đại tạo rung với biên độ cố định a = 1,5μm. Hệ thống thiết bị sử dụng trong thực nghiệm như hình 1. Đầu tạo rung được truyền trực tiếp đến phôi thông qua đồ gá

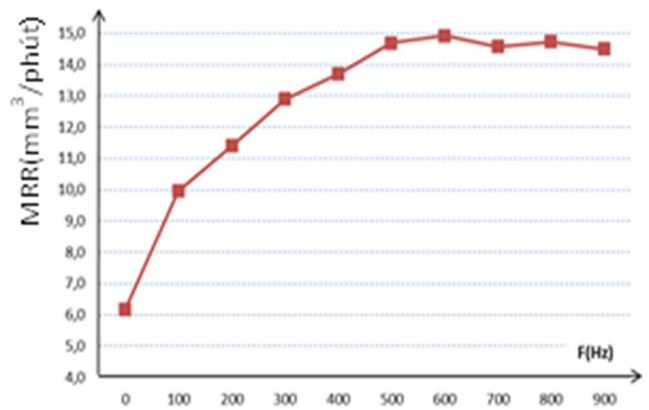
và cơ cấu dẫn hướng bởi xilanh và piston. Điều này sẽ đảm bảo được tần số và phương của rung động truyền vào phôi được chính xác nhất có thể. Mỗi thí nghiệm được lặp lại 3 lần để xác định kết quả của dữ liệu được sử dụng trong tính toán. MRR và EWR được tính toán theo công thức (1) và (2). Khối lượng của phôi và điện cực được xác định bằng cân điện tử AJ 203 (hãng Shinko Denshi - Nhật Bản) với độ chính xác ±0,001gam. Kết quả của thí nghiệm được ghi tại bảng 1.

$$MRR(\frac{mm^3}{min}) = \frac{\text{Lượng vật liệu được loại bỏ khỏi phôi (mm}^3\text{)}}{\text{Thời gian gia công(phút)}} \quad (1)$$

$$EWR(\%) = \frac{\text{Lượng vật liệu được loại bỏ} \cdot \text{khối điện cực (mm}^3\text{)}}{\text{Lượng vật liệu được loại bỏ} \cdot \text{khối phôi (mm}^3\text{)}} \cdot 100\% \quad (2)$$

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Ảnh hưởng của tần số F đến năng suất MRR



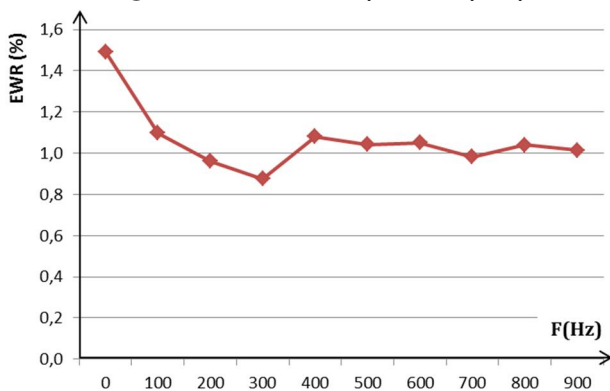
Hình 2. Ảnh hưởng của rung động đến MRR trong PMEDM

Hình 2 đã cho thấy ảnh hưởng của F đến MRR trong PMEDM sử dụng bột titan khi gia công SKD61 và kết quả đã cho thấy rằng: So với PMEDM không tích hợp rung động, tần số rung động thấp tích hợp trong PMEDM đã dẫn đến MRR được tăng lên đáng kể. Khi tần số F = (0 ÷ 600)Hz dẫn đến MRR tăng rất mạnh và MRR tăng lớn nhất bằng 141,7% tại F = 600Hz so với F = 0. Khi F = (700 ÷ 900)Hz dẫn đến MRR bị thay đổi không đáng kể, tuy nhiên so với PMEDM không có rung động thì MRR trong PMEDM với rung động bị giảm nhỏ hơn nhiều so với sự tăng của nó, và điều này cho thấy sự tích cực của rung động tích hợp với phôi trong PMEDM. Lượng giảm của MRR là rất khác nhau tại các F bị thay đổi. So với MRR tại F = 600Hz, MRR bị giảm bằng ≈ 2,4% với F = 700Hz. F = (700 ÷ 800)Hz đã dẫn đến MRR bị giảm không đáng kể (≈1,6%) và MRR bị giảm lớn nhất bằng 6,9% với F = (800 ÷ 900)Hz. Tích hợp rung động vào PMEDM, nó đã dẫn đến MRR bị thay đổi mạnh, tuy nhiên MRR có xu hướng bị giảm nhẹ khi tiếp tục tăng F.

Tần số của rung động tích hợp vào phôi dẫn đến sự dịch chuyển lên xuống liên tục của phôi trong một chu kỳ phóng điện và điều này đã tạo ra cơ chế hút đẩy liên tục trong khe hở giữa điện cực - phôi trong PMEDM. Khi phôi dịch chuyển lên phía trên tạo ra cơ chế đẩy dung dịch điện môi ra khỏi khe hở giữa điện cực - phôi. Và điều làm xuất

hiện xu hướng đẩy dung dịch điện môi đã bị đánh thủng, bột đã bị tác động của các tia lửa điện và thổi ra khỏi khe hở phóng điện. Do vậy, nó sẽ tạo điều kiện cho việc làm sạch trong khe hở phóng điện, bởi vậy quá trình gia công sẽ được ổn định hơn. Đồng thời tổn thất năng lượng xung không có ích và xung ngắn mạch bị giảm, từ đó góp phần nâng cao năng suất. Khi phôi dịch chuyển xuống phía dưới, nó sẽ tạo ra cơ chế hút dung dịch điện môi vào khe hở phóng điện. Điều này tạo điều kiện để hút dung dịch điện môi mới và bột chưa bị tia lửa điện tác động vào trong vùng khe hở phóng tia lửa điện. Và sự có mặt của các hạt bột sẽ làm tăng của kích thước khe hở phóng điện và giảm độ bền cách điện của dung dịch điện môi, điều này dẫn đến năng lượng xung được sử dụng cho hình thành tia lửa điện tăng theo, đồng thời khoảng cách khe hở phóng điện cũng tăng đáng kể [11]. Nó góp phần đẩy phôi, đẩy dung dịch điện môi đã bị đánh thủng sự cách điện và các hạt bột đã bị tia lửa điện tác động ra khỏi khu vực gia công dễ dàng hơn. Quá trình gia công bằng PMEDM được ổn định và góp phần làm tăng MRR. Ngoài ra, cơ chế hút dòng dung dịch điện môi cũng sẽ tạo điều kiện để bột titan được đi vào vùng khe hở phóng điện dễ dàng hơn nên mật độ xuất hiện của các hạt bột titan trong vùng phóng tia lửa điện tăng lên đáng kể. Sự tăng của số lượng các hạt bột trong khe hở phóng điện sẽ góp phần làm tăng số lượng của các tia lửa điện, nó dẫn đến MRR được tăng theo. Rung động tích hợp vào phôi sẽ giúp sự xuất hiện của các xung bình thường được tăng lên đáng kể [12], các kiểu xung khác (*xung ngắn mạch, xung ngắn*) và hiện tượng phóng hồ quang không có lợi cho quá trình loại bỏ vật liệu phôi sẽ bị giảm. Rung động cũng góp phần tăng đáng kể của tần suất phóng điện trong PMEDM [11]. Khi F quá lớn sẽ gây ra sự không ổn định của quá trình gia công, điều này có thể làm MRR bị giảm.

3.2. Ảnh hưởng của tần số F đến độ mòn điện cực EWR



Hình 3. Ảnh hưởng của tần số F đến EWR trong PMEDM

Trong suốt quá trình gia công bằng EDM, tia lửa điện không chỉ gây ra sự nóng chảy và bay hơi của vật liệu phôi mà còn tác động trực tiếp vào bề mặt điện cực và đây là nguyên nhân chính gây ra sự hao mòn điện cực. Hình 3 đã cho thấy rằng, EWR trong PMEDM đã giảm đáng kể khi rung động tích hợp vào phôi. Sự tăng của F đã dẫn đến EWR bị giảm. Với F = (0 ÷ 200)Hz dẫn đến EWR giảm rất

mạnh. So với PMEDM không rung động, EWR giảm mạnh nhất bằng 73,2% với F = 200Hz. Tuy nhiên khi F ≥ 300Hz dẫn đến EWR tăng đáng kể và EWR tăng mạnh nhất bằng 42,2% với F tăng từ 300Hz đến 400Hz. Và F thay đổi trong khoảng từ 500Hz đến 900Hz, EWR thay đổi không đáng kể. So với PMEDM không có rung động tích hợp, lượng mòn của điện cực trong PMEDM đã giảm đáng kể khi rung động gắn với phôi. Điều này đã góp phần nâng cao độ bền mòn của điện cực, dẫn đến chi phí của hao mòn, sửa chữa điện cực trong PMEDM được giảm đáng kể và nâng cao độ chính xác gia công.

Lượng mòn điện cực bị giảm có thể là do: Rung động tích hợp với phôi đã dẫn đến sự tăng của xung bình thường, ngược lại hiện tượng phóng hồ quang và ngắn mạch bị giảm [13]. Ngoài ra, rung động cũng dẫn đến sự tăng của mật độ bột xuất hiện trong khe hở phóng điện, điều này làm cho số lượng cầu nối phóng điện cũng được tăng. Bởi vậy, số lượng tia lửa điện cũng bị tăng theo và nó gây ra sự giảm năng lượng của mỗi tia lửa điện [9]. Năng lượng của mỗi tia tác động lên bề mặt của điện cực bị giảm nên lượng vật liệu điện cực bị bay hơi và nóng chảy cũng bị giảm theo. Mặt khác, rung động tích hợp trong PMEDM có thể dẫn đến sự năng động của các hạt bột trong dung dịch điện môi giảm, các hạt bột di chuyển liên tục và đồng đều hơn tại khe hở giữa điện cực - phôi [14]. Điều này sẽ tránh sự phóng điện liên tục và tập trung tại một vài vị trí dẫn đến bề mặt điện cực bị mòn đều trên toàn bộ bề mặt điện cực. Mặt khác, Khi F là quá lớn, nó có thể dẫn đến sự di chuyển với tốc độ cao của các hạt bột và có xu hướng chuyển dịch về phía bề mặt điện cực, đồng thời điện cực và phôi cũng có thể xảy ra sự ngắn mạch làm quá trình gia công không ổn định [13]. Điều này có thể dẫn đến tần suất xuất hiện của tia lửa điện và hiện tượng phóng hồ quang điện bị tăng trên bề mặt điện cực.

4. KẾT LUẬN

Trong nghiên cứu này, ảnh hưởng của sự thay đổi tần số rung động thấp F gắn với phôi trong PMEDM sử dụng bột titanium đến MRR, EWR đã được khảo sát. Kết quả cho thấy các chỉ tiêu chất lượng trong PMEDM đã được cải thiện rất đáng kể, cụ thể như sau:

- Sự tăng của F đã dẫn đến MRR trong PMEDM được tăng rất mạnh, MRR tăng mạnh nhất khi F được tăng từ 100 đến 600Hz. MRR trong PMEDM được tăng lớn nhất bằng 141,7% với F = 600Hz. Tuy nhiên, sự tăng của MRR bị thay đổi không đáng kể với F = (700 ÷ 900)Hz.

- EWR trong PMEDM đã giảm khi rung động tích hợp với phôi. Với F = (0 ÷ 400)Hz, EWR đã giảm rất mạnh và EWR với F = 400Hz giảm mạnh nhất bằng 73,2%. Và F = (500 ÷ 900)Hz thì EWR có xu hướng tăng nhưng mức tăng của EWR là không đáng kể.

- Hiệu quả của rung động đối với quá trình gia công bằng PMEDM đã được khẳng định. Tuy nhiên, cần thiết phải có những nghiên cứu sâu hơn đối với chất lượng bề mặt gia công và tối ưu hóa trong lĩnh vực này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Govindan, P. 2016. *Analysis of the effect of ultrasonic vibrations on the performance of micro-electrical discharge machining of a2 tool steel*. International Journal of Recent advances in Mechanical Engineering (IJMECH) Vol.5, No.3, pp. 1-11.
- [2]. Prihandana, G.S., Mahardika, M., Hamdi, M., Mitsui, K., 2011. *Effect of low-frequency vibration on workpiece in EDM processes*. Journal of Mechanical Science and Technology. 25(5), 1231-1234.
- [3]. Guang Zhu, Min Zhang, Qinhe Zhang, ZhenChao Song, Kan Wang. 2018. *Machining behaviors of vibration-assisted electrical arc machining of W9Mo3Cr4V*, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 96(1-4), pp. 1073-1080.
- [4]. Unune, D.R., Mali, H.S., 2016. *Experimental Investigations on Low Frequency Workpiece Vibration in Micro Electro Discharge Drilling of Inconel 718*. Proceedings of 6th International & 27th All India Manufacturing Technology, Design and research Conference, 1413-1417.
- [5]. Hoang K.T., Yang S.H., 2013. *A study on the effect of different vibration-assisted methods in micro-WEDM*, Journal of Materials Processing Technology, Vol. 213(9), pp. 1616-1622. <http://dx.doi.org/doi:10.1016/j.jmatprotec.2013.03.025>
- [6]. Todkar, A.S., Sohani, M.S., Kamble, G.S., Nikam, R.B., 2013. *Effects of Vibration on Electro Discharge Machining Processes*. International Journal of Engineering and Innovative Technology. 3(1), 270-275.
- [7]. Pay Jun Liewa, Jiwang Yan, Tsunemoto Kuriyagawa, 2014. *Fabrication of deep micro-holes in reaction-bonded SiC by ultrasonic cavitation assisted micro-EDM*, International Journal of Machine Tools & Manufacture, Vol. 76, pp. 13-20.
- [8]. Gunawan Setia Prihandana, Tutik Sriani, Muslim Mahardika, 2012. *Improvement of machining time in micro-EDM with workpiece vibration and graphite powder mixed in dielectric fluid*. Indian Journal of Engineering and Materials Sciences, Vol.19(6), pp. 375-378.
- [9]. Gunawan Setia Prihandana, Muslim Mahardika, M. Hamdi, Y.S. Wong, Kimiyuki Mitsui, 2009. *Effect of micro-powder suspension and ultrasonic vibration of dielectric fluid in micro-EDM processes - Taguchi approach*, International Journal of Machine Tools & Manufacture 49, 1035-1041.
- [10]. Maity, K.P., Choubey, M., 2018. *A review on vibration-assisted EDM, micro-EDM and WEDM*. Surface Review and Letters. 26(5). doi:10.1142/S0218625X18300083
- [11]. Unune, D.R., Nirala, C.K., Mali, H.S., 2019. *Accuracy and quality of micro-holes in vibration assisted micro-electro-discharge drilling of Inconel 718*. Measurement. 135, 424-437.
- [12]. Garn, R., Schubert, A., Zeidler, H., 2011. *Analysis of the effect of vibrations on the micro-EDM process at the workpiece surface*. Precision Engineering. 35(2), 364-368.
- [13]. Puthumana, G., 2016. *Analysis of the effect of ultrasonic vibrations on the performance of micro-electrical discharge machining of A2 tool steel*. International Journal of Recent advances in Mechanical Engineering. 5(3), 1-11.

- [14]. Gunawan Setia Prihandana, Muslim Mahardika, Mohd Hamdi, Yoke San Wong, Norihisa Miki, Kimiyuki Mitsui, 2013. *Study of Workpiece Vibration in Powder-Suspended Dielectric Fluid in Micro-EDM Processes*, International journal of precision engineering and manufacturing Vol. 14, No. 10, pp. 1817-1822.

AUTHORS INFORMATION

Le Quang Dung^{1,2}, Banh Tien Long², Nguyen Huu Tuan³

¹Hung Yen University of Technology and Education

²Hanoi University of Science and Technology

³22 JSC.