

Khảo sát ảnh hưởng của nồng độ bột titan trộn trong dung dịch điện môi đến năng suất gia công và nhám bề mặt thép SKD61 sau gia công tia lửa điện với điện cực đồng phân cực ngược

- Bành Tiến Long¹
- Ngô Cường²
- Nguyễn Hữu Phấn²

¹Trường Đại học Bách Khoa Hà Nội

²Trường Cao đẳng Kinh tế - Kỹ thuật, ĐH Thái Nguyên

(Bản nhận ngày 12 tháng 3 năm 2015, hoàn chỉnh sửa chữa ngày 15 tháng 5 năm 2015)

TÓM TẮT

Phương pháp gia công bằng tia lửa điện (EDM) được ứng dụng rất phổ biến trong công nghiệp chế tạo dụng cụ, khuôn mẫu và hàng không. Nghiên cứu nâng cao năng suất và chất lượng gia công bằng phương pháp tia lửa điện vì vậy có ý nghĩa thực tiễn to lớn. Bài báo này giới thiệu nghiên cứu về ảnh hưởng của nồng độ bột titan trong dung dịch điện môi đến lượng

mòn của điện cực (TWR), năng suất bóc tách vật liệu (MRR) và nhám bề mặt gia công (Ra) khi gia công thép SKD61 bằng phương pháp tia lửa điện với điện cực đồng phân cực ngược. Kết quả cho thấy, khi trộn bột titan vào dung dịch điện môi đã làm giảm lượng mòn điện cực và trị số nhám bề mặt, tăng năng suất bóc tách vật liệu.

Từ khóa: EDM, MRR, TWR, thép SKD61, bột titan.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Gia công bằng tia lửa điện (EDM) là phương pháp gia công không truyền thống được sử dụng phổ biến để gia công các loại vật liệu dẫn điện khó gia công hoặc có hình dạng bề mặt

phức tạp. Mặc dù có nhiều ưu điểm (không gây ra biến dạng trên chi tiết gia công; rung động, ứng suất cơ học, tiếng ồn không xuất hiện trong suốt quá trình gia công...) nhưng phương pháp này lại tồn tại một số nhược điểm cơ bản làm hạn chế khả

năng ứng dụng của nó như: năng suất gia công thấp, chất lượng bề mặt sau gia công không cao [4]. Một số kết quả nghiên cứu gần đây cho thấy, việc trộn bột kim loại hoặc hợp kim vào trong dung dịch điện môi của quá trình gia công tia lửa điện là một giải pháp khả thi để khắc phục những hạn chế trên.

Trong công nghệ EDM việc sử dụng bột kim loại thích hợp trộn vào dung dịch điện môi sẽ làm giảm độ bền cách điện của dung dịch điện môi và làm tăng khe hở phóng điện giữa dụng cụ - phôi [9], từ đó cải thiện năng suất bóc tách vật liệu và chất lượng bề mặt gia công: năng suất bóc tách vật liệu tăng, trị số nhám và các vết nứt tế vi trên bề mặt gia công giảm, giảm chiều dày lớp vật liệu bề mặt chi tiết bị ảnh hưởng do nhiệt [2], [5]. Việc trộn các loại bột Cu, Fe, Al và C vào dung dịch điện môi để gia công thép với điện cực là Cu đã nâng cao khả năng đánh thủng điện môi, khi tăng nồng độ bột thì năng suất bóc tách tăng [5]. Khi trộn bột graphit vào dung dịch điện môi với nồng độ 4g/l đã làm khe hở phóng điện tăng trong khi điện áp phóng điện lại giảm, độ ổn định của quá trình gia công được nâng cao và năng suất gia công tăng 60%, lượng mòn điện cực giảm 28% [6]. Trộn bột Si vào dung dịch điện môi để gia công thép SKD61 đã nâng cao được chất lượng bề mặt gia công [7]. Khảo sát việc trộn bột Al và bột SiC vào dung dịch điện môi để gia công thép SKD11 và hợp kim Ti-Al-4V đã cho kết quả là năng suất bóc tách vật liệu tăng và trị số nhám bề mặt giảm [8]. Lực tác động lên bề mặt phôi giảm được cho là nguyên nhân dẫn đến trị số nhám giảm và làm tăng độ bóng bề mặt gia công khi trộn bột Si vào dung dịch điện môi [11]. Ảnh hưởng của việc sử dụng bột kim loại trong công nghệ EDM đến chất lượng bề mặt gia công còn phụ thuộc vào loại vật liệu gia công: trộn bột Al có kích thước trung bình vào dung dịch điện môi khi gia công thép SKH-51 đã cho

độ bóng bề mặt cao nhưng khi gia công thép SKH-54 lại nhận được độ bóng bề mặt thấp [7]. Khảo sát chất lượng bề mặt của thép SKD11 khi gia công bằng EDM có trộn các loại bột Al, Cu, Cr và SiC vào dung dịch điện môi cho thấy: chất lượng gia công bị ảnh hưởng đáng kể bởi nồng độ, kích thước, khối lượng riêng, điện trở và độ dẫn nhiệt của bột; với nồng độ bột không đổi thì năng suất bóc tách vật liệu sẽ đạt cao nhất khi kích thước bột nhỏ nhất. Trị số nhám bề mặt gia công còn phụ thuộc vào diện tích và thời gian gia công: R_a thay đổi từ 0,09 μm đến 0,57 μm khi diện tích gia công thay đổi từ 1 cm^2 đến 64 cm^2 [9]. Những kết quả nghiên cứu trên cho thấy rằng việc sử dụng bột kim loại thích hợp trộn vào dung dịch điện môi trong gia công tia lửa điện là công nghệ đầy hứa hẹn. Tuy nhiên, cần có thêm nhiều nghiên cứu, khảo sát về lĩnh vực này để hoàn thiện công nghệ và có thể được chấp nhận ứng dụng trong thực tiễn sản xuất.

Trong nghiên cứu này, các thí nghiệm được tiến hành với sự thay đổi nồng độ bột titan trong dung dịch điện môi là dầu khi gia công thép SKD61 bằng phương pháp EDM sử dụng điện cực đồng đỏ phân cực ngược. Năng suất và chất lượng của quá trình gia công được đánh giá thông qua các đại lượng: năng suất bóc tách vật liệu, lượng mòn điện cực và độ nhám bề mặt gia công.

2. THIẾT KẾ THÍ NGHIỆM

Sơ đồ thí nghiệm được trình bày ở Hình 1, quá trình phân cực khi gia công là phân cực ngược (điện cực (+), phôi (-)) nhằm khảo sát sự thay đổi của MRR, TWR và R_a trong trường hợp gia công có bột trộn trong dung dịch điện môi. 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. Vật liệu mẫu thí nghiệm là thép

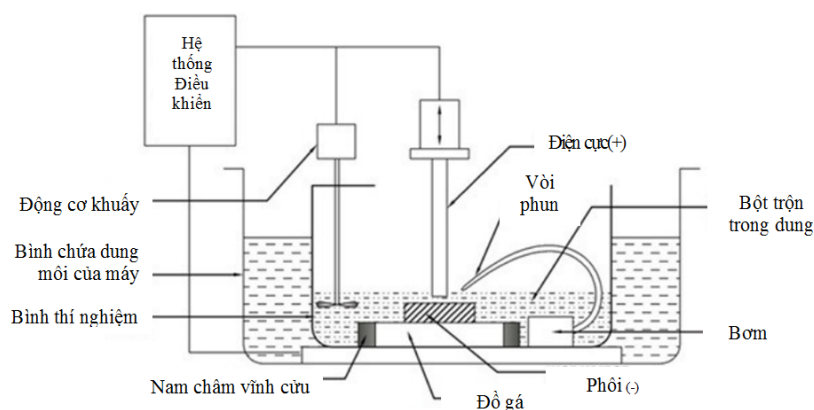
SKD61 (TC JIS - Nhật Bản) nhiệt luyện đạt độ cứng HRC = (48÷52), mẫu có kích thước 45x27x5mm. Vật liệu điện cực dụng cụ là đồng C1100 (99,9%) có đường kính 25mm, số lượng 10 chiếc. Bột titan có kích thước cỡ hạt 45 μ m được lựa chọn để trộn trong dung dịch điện môi do: Khả năng dẫn điện tốt, khối lượng riêng nhỏ, không nhiễm từ,... Đặc biệt hợp chất của titan hình thành trên bề mặt các chi tiết máy sẽ nâng cao độ cứng, độ bền và khả năng chịu mài mòn. Dung dịch điện môi là dầu biến thế HD-1 của Hãng ELECTROL. Duy trì sự đồng đều và không bị lắng đọng của bột titan trong dung dịch điện môi bằng cơ cấu khuấy gồm: động cơ khí nén có tốc độ quay 500 vòng/phút, cánh quạt khuấy có đường kính 105mm. Dung môi được cung cấp vào vùng gia công bằng bơm A303 của Trung Quốc có công suất 600 lít/giờ, đường kính vòi phun Ø8mm. Các thông số được lựa chọn để nghiên cứu (Bảng 1) dựa trên cơ sở một số nghiên cứu từ trước.

Đo khối lượng của phôi trước và sau khi gia công bằng cân điện tử AJ 203 (Hãng Shinko Denshi Co. LTD - Japan), khối lượng lớn nhất mà cân có thể cân được là 200g, độ chính xác

0.001g. 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 – JAPAN), chiều dài chuẩn đo là 5mm, thực hiện 3 lần đo trên mỗi mẫu thí nghiệm và kết quả độ nhám là giá trị trung bình của mỗi lần đo.

Bảng 1. Các thông số công nghệ gia công

TT	Thông số	Trị số
1	Cường độ dòng điện xung (A)	15
2	Thời gian xung (μ s)	50
3	Thời gian ngừng xung (μ s)	85
5	Phân cực	+
6	Thời gian gia công (ph)	15
7	Điện áp (V)	150
8	Nồng độ bột (g/l)	0, 5, 10, 15, 20



Hình 1. Sơ đồ thí nghiệm

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Ảnh hưởng đến năng suất bóc tách vật liệu (MRR)

Năng suất bóc tách vật liệu (MRR) được xác định bởi tỷ số giữa hiệu khối lượng vật liệu phôi trước và sau gia công với thời gian gia công:

$$MRR = \frac{W_i - W_f}{\rho \cdot t} \cdot 1000 \text{ mm}^3 / \text{phút} \quad (1)$$

Trong đó:

W_i – Khối lượng mẫu trước gia công (g).

W_f – Khối lượng mẫu sau gia công (g).

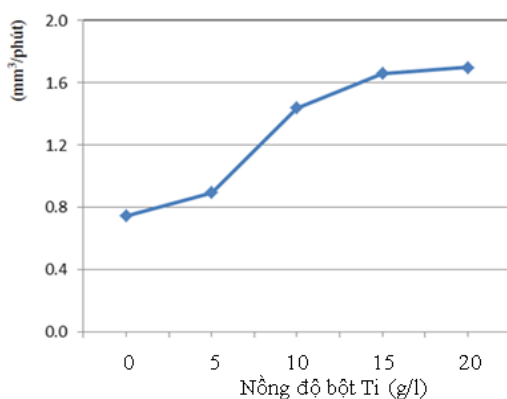
t – Thời gian gia công cho mỗi lần chạy thử ($t = 15$ phút).

ρ - Khối lượng riêng của vật liệu mẫu ($\rho = 7,81 \text{ g/cm}^3$).

MRR là đại lượng liên quan trực tiếp đến thời gian chế tạo sản phẩm, tăng MRR sẽ giúp rút ngắn được thời gian gia công chi tiết. Xác định giá trị MRR cho 5 thí nghiệm, mỗi thí nghiệm lặp 2 lần. Kết quả (Bảng 2 và Hình 2) cho thấy việc trộn bột titan trong dung dịch điện môi đã làm tăng MRR so với gia công không có bột. Nguyên nhân tăng MRR có thể giải thích như sau:

Bảng 2. Kết quả năng suất bóc tách vật liệu

TN	W_i (g)	W_f (g)	MRR (mm ³ /phút)	$\overline{MRR}$ (mm ³ /phút)	Nồng độ bột (g/l)
1	31,463	31,365	0,837	0,747	Không bột
2	32,671	32,594	0,657		
3	32,002	31,89	0,956	0,896	5
4	31,756	31,658	0,837		
5	32,651	32,489	1,383	1,438	10
6	31,973	31,798	1,494		
7	31,895	31,71	1,579	1,660	15
8	32,906	32,702	1,741		
9	31,578	31,388	1,622	1,699	20
10	31,235	31,027	1,776		



Hình 2. Ảnh hưởng của nồng độ bột đến năng suất bóc tách vật liệu

- Khi bột titan xuất hiện trong dung dịch điện môi đã tạo thêm rất nhiều cầu nối phóng tia lửa điện làm tăng mật độ tia lửa điện cùng tham gia cắt dẫn đến MRR tăng.

- Bột titan có khả năng dẫn điện tốt được trộn vào dung dịch điện môi sẽ làm giảm độ bền cách điện của dung dịch điện môi từ đó làm giảm tiêu hao năng lượng đánh thủng điện môi. Điều này làm tăng năng lượng gia công dẫn đến làm tăng MRR.

- Khi nồng độ bột tăng sẽ dẫn đến số lượng các hạt bột xuất hiện trong khe hở phóng tia lửa điện tăng làm số lượng tia lửa điện sinh ra trong một lần phát xung cũng tăng lên và độ bền cách điện của dung dịch điện môi bị giảm đi nên năng lượng dùng cho đánh thủng dung dịch điện môi cũng giảm theo. Khi nồng độ bột lớn nhất 20g/l thì MRR cao nhất $\overline{MRR}_{\max} = 1,699 \text{ mm}^3/\text{phút}$ (tăng 146,75% so với không có bột), tuy nhiên khi nồng độ bột quá cao có thể xảy ra hiện tượng ngắn mạch xuất hiện trong quá trình gia công gây tiêu hao năng lượng gia công.

3.2. Ảnh hưởng đến lượng mòn điện cực

Lượng mòn điện cực (TWR) là đại lượng được xác định bởi tỷ số giữa hiệu khối lượng vật liệu điện cực trước và sau gia công với thời gian gia công:

$$TWR = \frac{T_i - T_f}{\rho_T \cdot t} \cdot 1000 \text{ mm}^3 / \text{phút} \quad (2)$$

Trong đó:

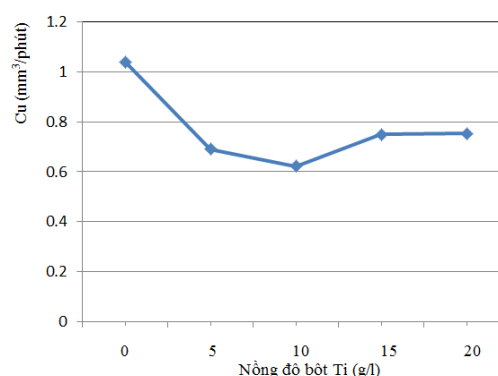
T_i – khối lượng ban đầu của điện cực (g).

T_f – Khối lượng điện cực sau gia công (g).

t – Thời gian gia công cho mỗi lần chạy thử ($t = 15 \text{ phút}$).

ρ_T – Khối lượng riêng của vật liệu điện cực ($\rho_T = 8,94 \text{ g/cm}^3$).

Mòn điện cực xảy ra trong suốt quá trình gia công làm ảnh hưởng đến độ chính xác thông số hình học của chi tiết gia công. TWR tăng còn làm tăng chi phí sản xuất do phải thay thế điện cực bị mòn.



Hình 3. Ảnh hưởng của nồng độ bột đến lượng mòn điện cực

Bảng 3. Kết quả lượng mòn điện cực

TN	T _i (g)	T _f (g)	TWR (mm ³ /phút)	$\overline{TWR}$ (mm ³ /phút)	Nồng độ bột (g/l)
1	136,867	136,726	1,051	1,040	Không bột
2	138,549	138,411	1,029		
3	138,549	138,457	0,686	0,690	5
4	139,831	139,738	0,694		
5	137,178	137,095	0,619	0,623	10
6	141,197	141,113	0,626		
7	138,976	138,875	0,753	0,749	15
8	138,198	138,098	0,746		
9	135,893	135,795	0,731	0,753	20
10	131,259	131,155	0,776		

Kết quả xác định lượng mòn điện cực (Bảng 3 và Hình 3) cho thấy:

- Khi dung dịch điện môi không có bột thì TWR là lớn nhất. Nguyên nhân là các điện tử được hình thành trong quá trình ion hóa chất điện môi có động lượng và năng lượng cao sẽ tác dụng lên bề mặt điện cực gây ra xói mòn điện cực lớn.

- Khi trộn bột titan vào trong dung dịch điện môi đã làm TWR giảm. Đó là do các hạt bột đi vào vùng khe hở phóng tia lửa điện cắt ngang đường đi chuyển của các electron về phía bề mặt điện cực. Điều này làm giảm động lượng của các electron, các

electron có năng lượng thấp hơn tác dụng lên bề mặt điện cực làm điện cực ít bị xói mòn hơn.

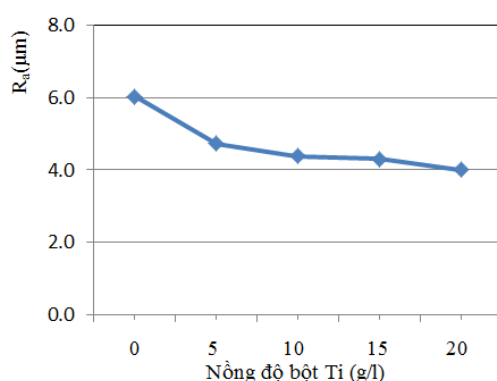
- TWR đạt giá trị nhỏ nhất khi nồng độ bột là 10g/l, ở điều kiện này khả năng ngăn cản sự di chuyển của các electron là lớn nhất nên các electron sẽ có năng lượng nhỏ nhất khi tác dụng lên bề mặt điện cực.

- Khi các hạt titan xuất hiện với nồng độ lớn hơn có thể tạo thuận lợi để một số electron và các hạt bột cùng tác dụng lên bề mặt điện cực làm cho mòn điện cực xảy ra mạnh hơn vì thế TWR tăng nhẹ khi nồng độ lớn hơn 10g/l.

3.3. Ảnh hưởng đến độ nhám bề mặt gia công

Bảng 4. Kết quả độ nhám bề mặt gia công

TN	Ra (μm)	Nồng độ bột (g/l)
1	6,03	Không bột
2	4,73	5
3	4,38	10
4	4,30	15
5	4,01	20



Hình 4. Ảnh hưởng của nồng độ bột đến R_a

Kết quả ở Bảng 4 và Hình 4 cho thấy độ nhám bề mặt gia công giảm khá lớn khi trộn bột titan vào trong dung dịch điện môi (đồ thị có độ dốc lớn khi chuyển từ gia công không có bột sang gia công có bột trong dung dịch điện môi) đồng thời lại giảm một lượng tương đối nhỏ và đều khi tiếp tục tăng nồng độ bột. Có thể giải thích nguyên nhân như sau:

- Khi bột xuất hiện trong dung dịch điện môi đã làm tăng kích thước và mở rộng vùng phóng tia lửa điện và tạo điều kiện thuận lợi cho quá trình vận chuyển phoi ra khỏi vùng ra công [4].

Các hạt bột tồn tại trong khe hở phóng điện làm tia lửa điện bị phân chia thành nhiều tia lửa điện có năng lượng nhỏ hơn nhiều khi tham gia gia công [6]. Điều này đã tạo ra các vết lõm trên bề mặt gia công có đường kính và chiều sâu nhỏ hơn dẫn đến độ nhám giảm.

- Nồng độ bột titan tăng thì số lượng hạt bột tồn tại trong vùng khe hở phóng tia lửa điện cũng tăng lên, số lượng các tia lửa điện được tạo ra trong một lần phát xung cũng tăng lên làm cho năng lượng của mỗi tia giảm xuống nên trị nhám bề mặt cũng giảm theo [11]. Độ nhám R_a nhỏ nhất khi nồng độ bột titan là 20g/l, nếu tiếp tục tăng nồng độ bột thì có thể việc phóng điện bị cản trở, hiện tượng ngắn mạch có thể sẽ xuất hiện nhiều hơn làm cho quá trình gia công không ổn định và độ nhám bề mặt gia công có thể lại tăng.

4. KẾT LUẬN

Một số kết luận nhận được từ kết quả khảo sát ảnh hưởng của nồng độ bột titan đến năng suất và chất lượng gia công thép SKD61 bằng phương pháp tia lửa điện với điện cực đồng phân cực ngược:

- Nồng độ bột titan trong dung dịch điện môi là thông số công nghệ có ảnh hưởng khá lớn đến hiệu quả gia công của phương pháp tia lửa điện.

- Năng suất bóc tách vật liệu (MRR) tăng khi tăng nồng độ bột titan: khi nồng độ bột tăng từ 0 lên 20g/l thì $\overline{MRR}$ tăng 146,75%.

- Khi tăng nồng độ bột trong dung dịch điện môi thì mới đầu lượng mòn điện cực (TWR) giảm khá mạnh nhưng sau đó có xu hướng tăng nhẹ. Lượng mòn điện cực đạt giá trị nhỏ nhất $\overline{TWR}_{\min} = 0,623\text{mm}^3/\text{phút}$ với nồng độ bột 10g/l,

- Độ nhám bề mặt gia công (R_a) giảm khi nồng độ bột tăng: khi không có bột thì $R_a = 6,03\mu\text{m}$, khi nồng độ bột là 20g/l thì $R_a = 4,01\mu\text{m}$.

- Các kết quả nghiên cứu với một số loại bột khác như: W, Si, Al,... đã cho thấy rằng ngoài ảnh hưởng tích cực đến MRR, TWR, R_a thì việc trộn bột vào trong dung dịch điện môi còn có thể cho một số kết quả khác như: độ cứng tế vi bề mặt gia công tăng, cấu trúc và hình dạng lớp bề mặt có chất lượng tốt. Vì vậy cần

có thêm những nghiên cứu theo hướng này đối với bột titan.

- Ngoài ra cũng cần nghiên cứu để làm rõ các vấn đề như: độ bền và sự phân bố đều của bột trong dung dịch điện môi khi gia công.

Investigation into effects/Investigating the effects of titanium powder concentrations mixed in dielectric fluid on material machining removal and surface roughness of SKD61 steel after electrical discharge machining by reverse electrode polarity

- **Banh Tien Long¹**
- **Ngo Cuong²**
- **Nguyen Huu Phan²**

¹Hanoi University of Science and Technology, Hanoi, Vietnam

²College of Economics and Technology - TNU

ABSTRACT

Electrical discharge machining (EDM) has found widespread applications in tool, mold and aerospace industries. Therefore, enhancement of the quality of the EDM

process has become a major research concern. In this paper, the effect of various titanium powder concentrations on the Material Removal Rate (MRR), tool wear

rate (TWR), surface roughness (Ra) in powder mixed electrical discharge machining (PMEDM) have been studied. The workpiece is SKD61 steel and electrode made from copper with reverse polarity

Keyword: EDM, PMEDM, MRR, TWR, powder mixed.

were used in experimental study. The results showed that titanium powder mixed into the dielectric fluid of EDM can enhance MRR without increasing TWR and Ra.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. W.S. Zhao, Q.G. Meng, Z.L. Wang, *The application of research on powder mixed EDM in rough machining*, Journal of Materials Processing Technology, 129, P. 30–33(2002).
- [2]. P. Pecas, E. Henriques, *Influence of silicon powder-mixed dielectric on con-ventional electrical discharge machining*, International Journal of Machine Tools & Manufacture, 43, P. 1465–1471(2003).
- [3]. K.H. Ho, S.T. Newman, *State of the art electrical discharge machining*, International Journal of Machine Tools & Manufacture, 43, P.1287–1300(2003).
- [4]. Fuller, E. John, *Electrical Discharge Machining*. ASM Machining Handbook, 16(1996), P. 557–564.
- [5]. A. Erden, S. Bilgin, *Role of impurities in electric discharge machining*, Proc. Of 21st international machine tool design and research conference, P.345-350(1980).
- [6]. M.L. Jeswani, *Effect of the addition of graphite powder to kerosene used as the dielectric fluid in electrical discharge machining*, Wear, 70, P.133-139(1981).
- [7]. K. Kobayashi, T. Magara, Y. Ozaki, T. Yatomi, *The present and future developments of electrical discharge machining*, In proceeding of 2nd international conference on Die and Mould technology, P. 35-47(1992).
- [8]. B.H. Yan, S.L. Chen, *Characteristics of SKD11 by complex process of electric discharge machining using liquid suspended with aluminum powder*, J. Jpn. Inst. Light Met., 58, P.1067-1072(2004).
- [9]. P. Pecas, E. Henriques, *Electrical discharge machining using simple and powder-mixed dielectric: The effect of the electrode area in the surface roughness and topography*, journal of materials processing technology 200, P.250–258 (2008).
- [10]. Y.S. Wong, L.C. Lim, I. Rahuman, W.M. Tee, *Nearmirror-finish phenomenon in EDM using powder-mixed dielectric*, Journal of Materials Processing Technology, 79, P.30–40 (1998).
- [11]. P. Pecas, E. Henriques, *Influence of silicon powder-mixed dielectric on con-ventional electrical discharge machining*, International Journal of Machine Tools & Manufacture, 43, P. 1465–1471(2003).
- [12]. B. T. Long, N. Cuong, N. H. Phan, N. D. Man, P. Janmanee, *Effects of Titanium Powder Concentrations during EDM Machining Efficiency Of Steel SKD61 Using Copper Electrode*, International Journal of Advance Foundation And Research In Science & Engineering (IJAFRSE), Volume 1, Issue 7, December 2014, P. 9 -18.
- [13]. B. T. Long, N. Cuong, N. H. Phan, *Study on surface material layer quality of SKD61 die sink in Electrical discharge machining using titanium electrode in oil dielectric*

- fluid*, The 15th International Symposium on Eco-materials processing and Design - ISEPD2014.
- [14]. B. T. Long, N. Cuong, N. H. Phan, H. A. Toan, P. Janmanee, *Enhanced material removal rate and surface quality of SKD61 steel in electrical discharge machining with graphite electrode in rough machining*, International Journal of Scientific Engineering and Technology, Vol 4, 2, 2015, 103-108.
- [15]. Banh Tien Long, Ngo Cuong, Nguyen Huu Phan, Pichai Janmanee, *Machining Properties Evaluation of Copper And Graphite Electrodes in PMEDM of Skd61 Steel in Rough Machining*, International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT), Vol.4, 3, P.193-202(2015).