

ĐẠI HỌC THÁI NGUYÊN
TRƯỜNG ĐẠI HỌC KỸ THUẬT CÔNG NGHIỆP

BÁO CÁO TỔNG KẾT
ĐỀ TÀI KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ CẤP TRƯỜNG

ẢNH HƯỞNG CỦA CÁC THÔNG SỐ QUÁ TRÌNH ĐẾN
MÒN ĐIỆN CỰC KHI XUNG CHI TIẾT TRỤ CÓ BIÊN DẠNG
ĐỊNH HÌNH LÀM BẰNG THÉP 9XC VỚI ĐIỆN CỰC GRAPHITE

Mã số: T2022-B15

Xác nhận của tổ chức chủ trì

KT. HIỆU TRƯỞNG
PHÓ HIỆU TRƯỞNG



Chủ nhiệm đề tài

(ký, họ tên)

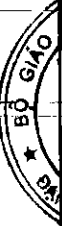
Lê Thị Hương Thảo

Thái Nguyên, tháng 4/2024

**DANH SÁCH CÁC THÀNH VIÊN THAM GIA ĐỀ TÀI VÀ ĐƠN VỊ
PHỐI HỢP CHÍNH**

a, Các thành viên tham gia đề tài

b, Đơn vị phối hợp chính



MỤC LỤC

Chương 1: GIỚI THIỆU.....	1
1.1 Lịch sử xuất hiện của EDM.....	1
1.2 Bản chất vật lý của quá trình phóng điện.....	2
1.3 Đặc tính về điện của sự phóng tia lửa điện.....	3
1.4 Cơ chế tách vật liệu.....	5
1.5 Mòn điện cực.....	6
1.6 Các hướng nghiên cứu điển hình trong EDM.....	8
Chương 2: CƠ SỞ LÝ THUYẾT TỐI ƯU HOÁ.....	17
2.1 Khái niệm về tối ưu hoá.....	17
2.2 Các dạng bài toán tối ưu hoá.....	17
2.3 Phương pháp tối ưu hoá đơn mục tiêu theo Taguchi.....	18
Chương 3: THỰC NGHIỆM XÁC ĐỊNH ẢNH HƯỞNG CỦA CÁC THÔNG SỐ CÔNG NGHỆ KHI XUNG BÈ MẶT TRỤ ĐỊNH HÌNH ĐẾN ĐỘ MÒN ĐIỆN CỰC.....	25
3.1 Mục đích thí nghiệm.....	25
3.2 Setup thí nghiệm.....	25
3.3 Thiết kế thí nghiệm.....	27
3.4 Thí nghiệm đánh giá ảnh hưởng của các thông số công nghệ đến mòn điện cực.....	29
3.5 Phân tích, đánh giá kết quả thí nghiệm và xác định bộ thông số tối ưu nhằm đạt độ mòn điện cực nhỏ nhất.....	32
3.6 Kết luận chương 3.....	37
Chương 4: KẾT LUẬN CHUNG.....	39
Tài liệu tham khảo	

DANH MỤC CÁC HÌNH VẼ

STT	Nội dung	Trang
1	<i>Hình 1.1 Một số loại mòn điện cực</i>	7
2	<i>Hình 3.1 Sơ đồ thí nghiệm</i>	26
3	<i>Hình 3.2 Điện cực và chi tiết gia công</i>	27
4	<i>Hình 3.3 Máy và hệ thống thí nghiệm</i>	27
5	<i>Hình 3.4 Phần mềm minitab R19 được sửa dụng để thiết kế ma trận thí nghiệm với trình tự khai báo biến thí nghiệm</i>	28
6	<i>Hình 3.5 Khai báo biến thí nghiệm theo phương pháp Taguchi ($L18 = 6^1 3^4 = 18$ thí nghiệm)</i>	29
7	<i>Hình 3.6 Biểu đồ các ảnh hưởng chính của các yếu tố đến \overline{EWR} khi xung</i>	33
8	<i>Hình 3.7 Biểu đồ phân phối chuẩn cho EWR</i>	37

DANH MỤC CÁC BẢNG BIỂU

STT	Nội dung	Trang
	<i>Bảng 1.1 Thống kê độ mòn với điện cực có góc 90° trong các dạng kết hợp khác nhau của điện cực và vật liệu phôi. Mòn điện cực được liệt kê dựa trên độ dày phôi gia công là 25 mm</i>	8
2	<i>Bảng 3.1 Máy và thiết bị thí nghiệm</i>	26
3	<i>Bảng 3.2 Thành phần hóa học của thép 9XC/9SiCr</i>	26
4	<i>Bảng 3.3 Các thông số đầu vào và mức khảo sát</i>	28
5	<i>Bảng 3.4. Ma trận thí nghiệm</i>	29
6	<i>Bảng 3.5. Kết quả đo mòn điện cực (EWR) và tỉ số S/N</i>	30
7	<i>Bảng 3.6 ANOVA giá trị \overline{EWR} khi xung</i>	32
8	<i>Bảng 3.7 Mức độ ảnh hưởng của các yếu tố đến \overline{EWR} khi xung.</i>	32

DANH MỤC CHỮ VIẾT TẮT

TRƯỜNG ĐẠI HỌC
KỸ THUẬT CÔNG NGHIỆP
Đơn vị: Khoa Cơ Khí

THÔNG TIN KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

1. Thông tin chung:

- Tên đề tài: Ảnh hưởng của các thông số quá trình đến mòn điện cực khi xung chi tiết trụ có biên dạng định hình làm bằng thép 9XC với điện cực graphite

- Mã số: T2022-B15

- Chủ nhiệm đề tài: ThS. Lê Thị Phương Thảo

- Cơ quan chủ trì: Trường Đại học Kỹ thuật Công nghiệp

- Thời gian thực hiện: 4/2022 – 4/2024

2. Mục tiêu: Khảo sát ảnh hưởng của các thông số quá trình đến mòn điện cực khi xung chi tiết trụ có biên dạng định hình làm bằng thép 9XC với điện cực graphite.

3. Kết quả nghiên cứu: Nghiên cứu đã đề xuất chế độ công nghệ tối ưu có thể nâng cao chất lượng và năng suất gia công, đồng thời giảm lượng mòn điện cực.

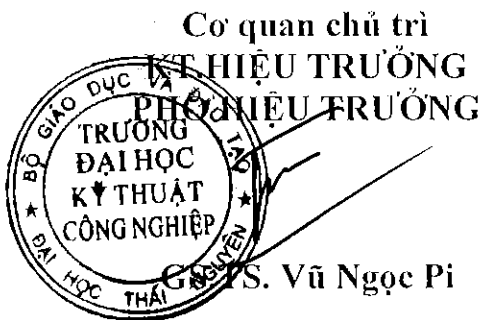
4. Sản phẩm:

- Sản phẩm khoa học: 01 bài báo quốc tế trên tạp chí ISSN

5. Hiệu quả:

6. Khả năng áp dụng và phương thức chuyển giao kết quả nghiên cứu:

Ngày 28 tháng 3 năm 2024



Chủ nhiệm đề tài

Lê Thị Phương Thảo

INFORMATION ON RESEARCH RESULTS

1. General information:

- Project title: Effect of process parameters on electrode wear when EDM 9XC steel with graphite electrodes

- Code number: T2022-B15

- Coordinator: Master Le Thi Phuong Thao

- Implementing institution: Thai Nguyen University of Technology

- Duration: from 4/2022 to 4/2024

2. Objective(s): Investigate the influence of process parameters on electrode wear when EDM 9XC steel with graphite electrodes.

3. Research results: The study proposed an optimal technological mode that can improve the quality of machined parts and machining productivity, while reducing the amount of electrode wear.

4. Products:

- Training products: No

- Scientific products: 01 international article in ISSN magazine

- Applied products: No

5. Effects:

6. Transfer alternatives of reserach results and applic ability:

Chương 1: GIỚI THIỆU

1.1 Lịch sử xuất hiện của EDM

Cách đây gần 200 năm, nhà nghiên cứu tự nhiên người Anh Joseph Priestley (1733 – 1809), trong các thí nghiệm của mình đã nhận thấy có một hiệu quả ăn mòn vật liệu gây ra bởi sự phóng điện. Mãi đến năm 1943, thông qua hàng loạt các nghiên cứu về tuổi bền của các thiết bị phóng điện, hai vợ chồng Lazarenko người Nga mới tìm ra cánh cửa dẫn tới công nghệ gia công tia lửa điện. Họ bắt đầu sử dụng tia lửa điện để làm một quá trình hót kim loại mà không phụ thuộc vào độ cứng của vật liệu đó.

Khi các tia lửa điện được phóng ra, vật liệu mặt phôi sẽ bị hót đi bởi một quá trình điện – nhiệt thông qua sự nóng chảy và bốc hơi kim loại, nó thay cho tác động cơ học của dụng cụ vào phôi. Quá trình hót kim loại bằng điện nhiệt bởi sự phóng điện được gọi là “Gia công tia lửa điện” – (nguyên gốc tiếng Anh là “Electrical Discharge Machining”), gọi tắt là gia công EDM.

Ba đặc điểm lớn của công nghệ này là:

- Điện cực (đóng vai trò dụng cụ) lại có độ cứng thấp hơn nhiều lần so với độ cứng của phôi. Điện cực là đồng, graphit, còn phôi là thép đã tôi hoặc hợp kim cứng.
- Vật liệu dụng cụ và vật liệu phôi đều phải dẫn điện.
- Khi gia công phải sử dụng một chất lỏng điện môi, đó là một dung dịch không dẫn điện ở điều kiện bình thường.

Có hai phương pháp công nghệ gia công tia lửa điện được sử dụng rộng rãi trong công nghiệp là:

Gia công tia lửa điện dùng điện cực định hình, gọi tắt là phương pháp xung định hình. Theo đó, điện cực là một hình không gian bất kì mà nó in hình của mình lên phôi tạo thành một lòng khuôn. Thuật ngữ tiếng Anh của phương pháp này là “EDM-Die sinking”.

Gia công tia lửa điện bằng cắt dây. Ở đây điện cực là một dây mảnh ($d = 0,1 - 0,3 \text{ mm}$) được cuốn liên tục và được chạy theo một đường viền cho trước. Nó sẽ cắt phôi theo đúng đường viền đó. Thuật ngữ tiếng Anh của phương pháp này là “EDM-Wire Cutting”.

1.2 Bản chất vật lý của quá trình phóng tia lửa điện

Hiệp hội kỹ sư Đức định nghĩa sự phóng tia lửa điện là sự tách vật liệu nhờ tia lửa điện.

Một điện áp được đặt giữa điện cực và phôi. Không gian giữa hai điện cực đó được điền đầy bởi một chất lỏng cách điện gọi là chất điện môi (dielectric). Cho hai điện cực áp lại gần nhau, đến một khoảng cách nào đó thì xảy ra sự phóng tia lửa điện. Một dòng điện xuất hiện một cách tức thời.

Khi phóng tia lửa điện, các điện cực không tiếp xúc với nhau. Nếu chúng chạm vào nhau thì sẽ không có tia lửa điện mà sẽ xảy ra một dòng ngắn mạch, có hại đối với quá trình gia công. Nếu khe hở quá lớn thì lại không thể xảy ra sự phóng tia lửa điện, làm giảm năng suất gia công.

Diễn biến của điện áp và dòng điện ở một máy xung định hình, được sinh ra bởi một máy phát tĩnh, trong những khoảng thời gian xác

định của một chu kỳ xung. Đây là đồ thị điện hình của chu kỳ xung trong gia công tia lửa điện.

1.3 Đặc tính về điện của sự phóng tia lửa điện

Dựa vào các đặc tính thời gian của sự phóng tia lửa điện người ta có thể nhận ra các đặc tính về điện. Các đặc tính này chính là các thông số điều chỉnh quan trọng nhất của quá trình gia công.

Mỗi máy phát của thiết bị gia công tia lửa điện đều có nhiệm vụ là cung cấp năng lượng làm việc cần thiết. Trước đây người ta sử dụng các máy phát có tụ bù. Nhược điểm của loại máy này là 50% của năng lượng tích trữ trong điện trở nạp bị biến thành nhiệt. Vì vậy loại máy này chỉ có hiệu suất khoảng 50%. Ngày nay các tụ bù này chỉ còn được sử dụng trong các bộ ngắt xung để thực hiện tối ưu việc gia công đơn giản.

Máy phát hiện đại của một thiết bị gia công tia lửa điện là một máy phát xung tĩnh. Ở đây năng lượng được điều khiển bằng điện tử nhưng không có yếu tố bù. Nguyên lý tác dụng của máy phát xung tĩnh thực hiện được trước hết thông qua sự phát triển của transistor mạnh và các sản phẩm điện tử hiện đại. Máy phát xung tĩnh có ưu việt lớn ở độ linh hoạt của các thông số điều chỉnh. Qua đó mỗi trường hợp gia công có thể được giải quyết dưới quan điểm là điện cực phải ít mòn nhất và chất lượng bề mặt gia công là tối ưu. Muốn vậy tất cả các thông số của quá trình gia công phải điều chỉnh cho phù hợp.

Các thông số đó bao gồm:

- Điện áp đánh lửa U_z :

Đây là điện áp cần thiết để dẫn tới sự phóng tia lửa điện. Nó được cung cấp cho điện cực là phôi khi máy phát được đóng điện, gây

ra sự phóng tia lửa điện để đốt cháy vật liệu. Điện áp đánh lửa U_z càng lớn thì phóng điện càng nhanh và cho phép khe hở phóng điện càng lớn.

- Thời gian trễ đánh lửa t_d

Đó là thời gian giữa lúc đóng điện máy phát và lúc xảy ra phóng tia lửa điện. Khi đóng điện máy phát, lúc đầu chưa xảy ra điều gì. Điện áp quy trì ở giá trị của điện áp đánh lửa U_z , dòng điện vẫn bằng không. Sau một thời gian trễ t_d mới xảy ra sự phóng tia lửa điện. Dòng điện từ zero vọt lên giá trị I_e .

- Điện áp phóng tia lửa điện U_e :

Khi bắt đầu phóng tia lửa điện thì điện áp sụt từ U_z xuống giá trị U_e . Đây là điện áp trung bình trong suốt thời gian phóng tia lửa điện. U_e là một hằng số vật lý phụ thuộc vào cặp vật liệu điện cực/phôi. U_e không điều chỉnh được.

- Dòng phóng tia lửa điện I_e :

Dòng điện I_e là giá trị trung bình của dòng điện từ khi bắt đầu phóng tia lửa điện đến khi ngắt điện. Khi bắt đầu phóng tia lửa điện, dòng điện từ zero tăng mạnh lên giá trị I_e , kèm theo sự đốt cháy. I_e ảnh hưởng lớn nhất đến lượng hót vật liệu, đến độ mòn điện cực và đến chất lượng bề mặt gia công. Nhìn chung, I_e càng lớn thì lượng hót vật liệu càng lớn, độ nhám gia công càng lớn, nhưng độ mòn điện cực giảm.

- Thời gian phóng tia lửa điện t_e :

t_e là khoảng thời gian giữa lúc bắt đầu phóng tia lửa điện và lúc ngắt điện, tức thời gian có dòng điện I_e trong một lần phóng điện.

- Độ kéo dài xung t_f :

Đây là khoảng thời gian giữa hai lần đóng – ngắt của máy phát trong cùng một chu kỳ phóng tia lửa điện. Độ kéo dài xung t_i là tổng của thời gian trễ đánh lửa t_d và thời gian phóng tia lửa điện t_e .

Độ kéo dài xung ảnh hưởng đến:

+ Tỷ lệ hút vật liệu

+ Độ mòn điện cực

+ Chất lượng bề mặt gia công

- - Khoảng cách xung t_0

Đây là khoảng thời gian giữa hai lần đóng ngắt của máy phát giữa hai chu kỳ xung kế tiếp nhau. t_0 còn được gọi là độ kéo dài nghỉ của xung.

1.4 Cơ chế tách vật liệu

Các đặc tính tách vật liệu đầu tiên phụ thuộc vào năng lượng tách vật liệu. Nếu gọi năng lượng tách vật liệu là W_e , theo tài liệu [1]:

$$W_e = U_e \cdot I_e \cdot t_e \quad (J) \quad (1.1)$$

Trong đó: U_e , I_e là các giá trị trung bình của điện áp và dòng điện được lấy trong khoảng thời gian phát xung t_e . Dòng điện tổng cộng trong kênh plasma qua khe hở phóng điện là tổng của các dòng điện tử chạy tới cực dương (a-nốt) và dòng các ion dương chạy tới cực âm (ca-tốt). Do khối lượng của các ion dương lớn hơn trên 100 lần so với khối lượng các điện tử, nên có thể bỏ qua tốc độ của các ion dương khi xuất phát các xung điện so với tốc độ của điện tử. Mật độ điện tử tập trung tới bề mặt cực dương (anốt) cao hơn nhiều lần so với mật độ ion dương tập trung tới bề mặt cực âm (ca-tốt) trong khi mức độ tăng của dòng điện rất lớn trong khoảnh khắc đầu tiên của sự phóng điện.

Điều này là nguyên nhân gây ra sự nóng chảy rất mạnh cực dương (a-nốt) trong chu kỳ này. Dòng ion dương chỉ đạt tới cực âm (ca-tốt) trong micro giây đầu tiên. Các ion dương gây ra sự nóng chảy và bốc hơi của vật liệu ca-tốt. Do đó có hiện tượng điện cực bị mòn. Vật liệu điện cực khi tiếp xúc với plasma này ở một pha có áp lực cao tới 1 kbar và nhiệt độ cực cao tới 10.000°C trong kênh plasma. Một lý do quan trọng của việc thoát ra vật liệu bị chảy lỏng là sự đột ngột biến mất của cửa kênh plasma khi dòng điện bị ngắt. Ngay lập tức áp suất tụt xuống bằng áp suất xung quanh sau khi ngắt dòng điện. Nhưng nhiệt độ của dòng chất lỏng lại không hạ nhanh như thế nên gây ra sự nở và bốc hơi của chất lỏng hiện có. Tốc độ cắt của dòng điện và mức độ sụt của xung dòng điện sẽ quyết định tốc độ sụt áp suất và sự bắt buộc nở vật liệu chảy lỏng. Thời gian sụt của dòng điện là yếu tố quyết định đối với độ nhám bề mặt gia công.

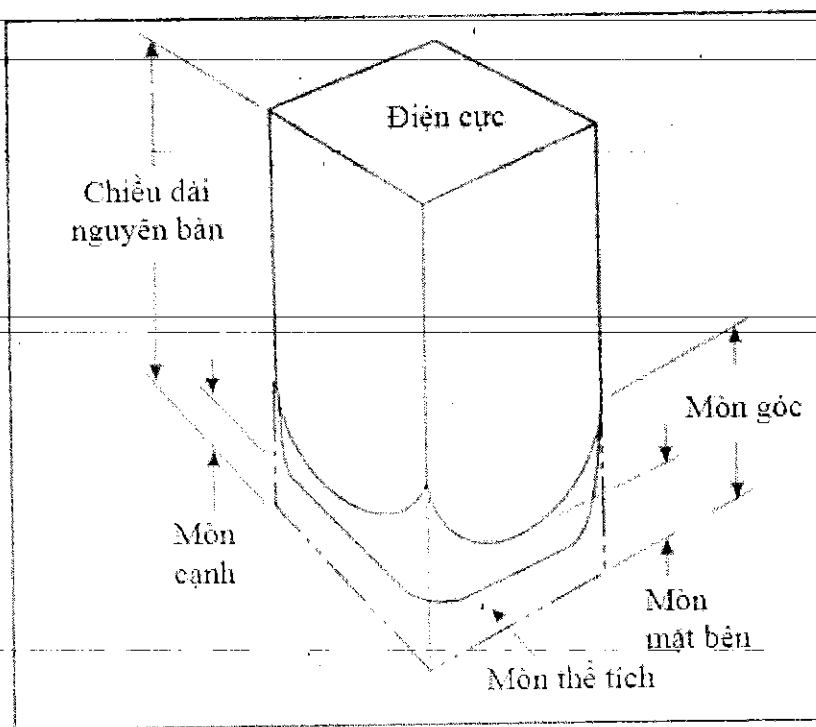
Vì lượng vật liệu được hót đi phụ thuộc vào điện áp, cường độ dòng điện và thời gian nên các nhà nghiên cứu đã nghiên cứu một cách chính xác tuân tự theo thời gian của điện áp và dòng điện trong lúc phóng tia lửa điện, đo điện áp và dòng điện ở các khoảng thời gian đã cho từ thời điểm phóng điện ($t = 0$) đến thời điểm ngắt điện (nghĩa là vào khoảng $t = 300 \mu\text{s}$) theo mô tả trên hình 2.4 [1].

1.5. Mòn điện cực

Mòn điện cực là kết quả từ sự phóng tia lửa giữa điện cực và phôi gia công. Khi phóng tia lửa điện vật liệu được lấy ra từ điện cực và phôi gia công [73]. Tia lửa là dòng điện chảy qua cột ion hóa của chất lỏng điện môi. Trong cột ion hóa, các electron tách ra từ các nguyên tử chất lỏng điện môi và chảy từ cực âm về cực dương. Khi mất electron, các nguyên tử chất lỏng điện môi mang điện dương gọi là các ion

dương chảy về cực âm. Phân cực điện của điện cực và phối gia công xác định hướng dòng chảy của electron và ion dương.

Mòn điện cực là kết quả việc bắn phá của điện tử hoặc ion lên điện cực: khi điện cực âm, nó bị bắn phá bởi các ion dương; khi điện cực dương, nó bị bắn phá bởi các electron. Khi các electron hoặc ion dương rơi vào bề mặt của điện cực, nhiệt sinh ra làm bốc hơi vật liệu điện cực và một lượng nhỏ vật liệu điện cực bị loại bỏ với mỗi tia lửa. Lượng loại bỏ vật liệu này là mòn điện cực được chia làm bốn loại (hình 1.1), bao gồm: - Mòn góc; - Mòn cạnh; - Mòn mặt bên; - Mòn thể tích.



Hình 1.1 Một số loại mòn điện cực

Bảng 1.1 Thống kê độ mòn với điện cực có góc 90° trong các dạng kết hợp khác nhau của điện cực và vật liệu phối. Mòn điện cực được liệt kê dựa trên độ dày phối gia công là 25 mm.

Vật liệu làm điện cực	Vật liệu phôi	Tinh cực	Lượng mòn điện cực	
			Tính theo μm	Tính theo mm
Đồng thau	Thép	Âm	1.50	38.10
Đồng thau	Các bit vonfram	Âm	4.00	101.60
Đồng đỏ	Thép	Dương	0.10	2.54
Đồng đỏ	Thép	Âm	1.00	25.40
Đồng đỏ	Các bit vonfram	Âm	0.60	15.24
Đồng vonfram	Thép	Dương	0.40	10.16
Đồng vonfram	Các bit vonfram	Âm	0.70	17.78
Graphite	Thép	Dương	0.01	0.254
Graphite	Thép	Âm	0.40	10.16

1.6. Các hướng nghiên cứu điển hình trong EDM

Gia công tia lửa điện (Electrical Discharge Machining - EDM) là quy trình gia công phi truyền thống được sử dụng rộng rãi nhất do khả năng tạo ra một biên dạng phức tạp. Ứng dụng của EDM phổ biến nhất trong các ngành công nghiệp chế tạo khuôn mẫu, ô tô và hàng không vũ trụ [1, 2]. Trong những năm gần đây EDM cho thấy tầm bao quát của mình trong lĩnh vực thể thao, y tế, nha khoa, dụng cụ phẫu thuật và các ngành công nghiệp trang sức [3]. Kỹ thuật gia công truyền thống thường dựa trên việc loại bỏ vật liệu bằng cách sử dụng vật liệu công cụ cứng hơn vật liệu gia công và không thể gia công chúng một cách kinh tế.

So với các phương pháp gia công truyền thống thì EDM có những ưu điểm cơ bản sau: có khả năng gia công được các bề mặt có kích thước nhỏ với hình dạng phức tạp; dễ dàng tự động hóa do các chuyển động khi gia công khá đơn giản; bề mặt phôi sau EDM không có các vết cào xước mà là tập hợp của các vết lõm nhỏ phân bố ngẫu nhiên nên giúp lưu giữ dầu bôi trơn tốt hơn và tăng độ bền mỏi của chi tiết khi làm việc; không yêu cầu dụng cụ phải có độ cứng cao hơn độ cứng của chi tiết gia công; không gây biến dạng chi tiết gia công do không có sự tiếp xúc giữa dụng cụ và phôi trong suốt quá trình gia

công, điều này tạo nên tính đa năng của phương pháp; năng lượng nhiệt được sử dụng để bóc tách vật liệu phi kim nhưng lượng nhiệt truyền vào chi tiết gia công là không lớn nên ít gây biến dạng nhiệt cho chi tiết gia công.

Tuy nhiên EDM cũng có một số nhược điểm như: Chỉ gia công được các loại vật liệu dẫn điện; năng suất và chất lượng bề mặt gia công thấp, khi tăng năng suất bóc tách vật liệu thì độ nhám bề mặt gia công cũng tăng; trong quá trình gia công xảy ra hiện tượng quá cắt và mòn điện cực làm ảnh hưởng không tốt đến độ chính xác gia công; khó xác định chính xác khe hở phóng điện và các thông số công nghệ tối ưu [Phân].

1.6.1 Nghiên cứu về ảnh hưởng của vật liệu điện cực

Gia công phóng điện thực chất là một quá trình sử dụng hiện tượng loại bỏ kim loại dựa trên hiệu ứng ăn mòn của tia lửa điện trên cả hai điện cực, vì vậy điện cực đóng vai trò rất quan trọng, nó ảnh hưởng đến tốc độ loại bỏ vật liệu và tốc độ mòn của dụng cụ [4]. Vật liệu dẫn điện như than chì, đồng, đồng thau, nhôm, đồng-vonfram là một số vật liệu được sử dụng rộng rãi nhất làm công cụ điện cực trong EDM [5].

Graphite (than chì) là vật liệu được sử dụng phổ biến nhất cho điện cực. Graphite đã được giới thiệu trong ngành công nghiệp EDM khoảng 50 năm trước. Không giống như các vật liệu điện cực làm bằng kim loại khác, than chì có một số đặc tính phù hợp cho điện cực EDM giúp nó được ưu tiên lựa chọn hơn những vật liệu khác. Nhiệt độ nóng chảy cao của graphite dẫn đến sự mài mòn ít hơn so với các vật liệu điện cực khác. Một ưu điểm khác của graphite là có thể đạt gia công trên máy tốc độ cao và cắt ra các hình dạng phức tạp mà hoàn toàn

không xuất hiện vết cắt sau gia công [6, 7]. Nhiều nhà nghiên cứu đã tập trung khai thác ứng dụng của điện cực than chì trên nhiều loại vật liệu khác nhau như Inconel 600, Inconel 601, Ti-5Al-2,5Sn, XW42, Ti6Al4V, AISI P20, AISI D3, IS2062...[5, 8-13].

Graphite có nhiều loại khác nhau từ cỡ hạt lớn (200 μm) được sử dụng trong EDM thô, đến hạt rất mịn (1 μm) cho EDM, đặc biệt là gia công thép. Giá thành của than chì khác nhau, từ rẻ đối với cỡ hạt thô đến rất đắt đối với cỡ hạt mịn. Điện cực graphite cho tốc độ loại bỏ vật liệu cao và độ mòn điện cực thấp - tùy thuộc vào thông số cài đặt trong quá trình EDM - so với điện cực kim loại. Hiện tại, có xu hướng kết hợp toàn bộ cấu hình hình học của phôi vào một điện cực lớn duy nhất, thay vì phân chia dụng cụ thành nhiều mảnh nhỏ. Vì vậy, trọng lượng của điện cực trở nên rất quan trọng vì nó ảnh hưởng nhiều đến quá trình gia công và sử dụng điện cực. Cùng kích thước, trọng lượng điện cực graphite nhẹ hơn khá nhiều so với điện cực đồng [6]. Thêm vào đó, graphite dễ gia công bằng các phương pháp gia công thông thường như: phay, khoan, tiện, mài và gia công siêu âm.

Mặc dù graphite là lựa chọn tốt nhất làm vật liệu điện cực, nhưng có một số hạn chế ở cấp độ phân tử. Nó xốp nên khi ngâm trong chất lỏng, nó có thể tạo ra các tạp chất không mong muốn. Hơi ẩm bị kẹt có thể tạo ra hơi nước khi cắt làm hỏng điện cực [13]. Nhiệt độ nóng chảy của than chì rất cao. Khi đạt đến điểm nóng chảy nó chuyển thẳng thành khí từ trạng thái rắn. Đây cũng bị xem là nhược điểm bởi lẽ đặc tính này là nguyên nhân hình thành bụi mịn tại nơi làm việc. Bụi có thể lưu lại trên các máy công cụ và khi lẫn với dung dịch bôi trơn sẽ làm giảm độ chính xác của máy.

Điện cực đồng được sử dụng rất phổ biến trong quá trình EDM [12, 14-17]. Để các điện cực đồng giải phóng các điện tử trong khe hở, nhiệt độ phải đủ cao để các điện tử này hấp thụ đủ năng lượng. Kết quả là, nhiệt độ cao này có xu hướng đốt cháy một số điện cực đồng. Mòn điện cực là thông số quan trọng bởi vì sự mài mòn quá mức dẫn đến việc tổn điện cực hoặc tổn thời gian nóng điện cực thường xuyên hơn. Nhiệt độ nóng chảy của hầu hết các kim loại gia công tiêu chuẩn được sử dụng trong EDM là khoảng 1.500°C , vượt quá điểm nóng chảy của đồng (khoảng 1.100°C). Bất kỳ hạt nóng chảy nào bị đẩy ra khỏi vết cắt EDM đều có khả năng mang điện tích nhiệt điện và có nhiệt độ không cho phép chúng gắn vào điện cực đồng. Trong trường hợp này, các hạt nóng chảy có thể tạo ra phóng điện thứ cấp và ăn mòn điện cực đồng. Tại tốc độ gia công thấp, độ mòn điện cực của đồng có thể thấp hơn graphite. Tuy nhiên, khi cường độ dòng điện tăng lên, điện cực graphite sẽ cho tốc độ gia công tăng lên tương ứng với độ mòn gần như không đổi. Trong khi đó, với điện cực đồng, tốc độ gia công EDM sẽ giảm, kèm theo đó điện cực bị ăn mòn nhanh hơn khi cường độ dòng điện tăng lên [18].

Đồng được sử dụng rộng rãi khi bề mặt phôi yêu cầu độ nhẵn bóng. Tuy nhiên việc gia công vật liệu này gặp khó khăn do đồng có xu hướng dính vào dụng cụ cắt, đặc biệt nó có thể làm tắc đá khi mài [14]. Kích thước và trọng lượng của điện cực cũng cần lưu ý. Cùng kích thước, trọng lượng đồng sẽ lớn hơn khá nhiều trọng lượng graphite [7]. Một số loại điện cực đồng được khuyến cáo sử dụng gồm có: đồng vàng, đồng đỏ, đồng vonfram. Đồng vàng sẵn có, dùng làm vật liệu điện cực khi gia công thép cho tỉ lệ hao mòn thấp, tuy nhiên khi gia công vonfram cacbua tỉ lệ hao mòn rất cao. Điện cực đồng đỏ thường

được dùng để gia công thép. Đặc điểm của loại vật liệu này là khó mài, chống mòn tốt, thường sử dụng cho các máy EDM với nguồn cung cấp điện R-C. Đồng vonfram có đặc tính chống mòn rất tốt, thường được sử dụng để gia công hợp kim cứng.

1.6.2 Nghiên cứu tối ưu hóa các thông số công nghệ

Nghiên cứu tối ưu hóa các thông số công nghệ trong EDM rất phức tạp, kết quả nghiên cứu phụ thuộc rất nhiều vào vật liệu điện cực, phôi và máy gia công. Phương pháp được sử dụng trong các nghiên cứu là thực nghiệm nghiên cứu với sự kết hợp của nhiều cặp vật liệu điện cực - phôi khác nhau [44]. Trong các nghiên cứu gần đây, hầu hết ảnh hưởng của các thông số công nghệ đều được tối ưu theo các chỉ tiêu TWR nhỏ hơn, chất lượng bề mặt tốt hơn và năng suất bóc tách vật liệu cao hơn [38], . Sanghani C. R. et al. (2014) đã giới thiệu một số phương pháp và công cụ được sử dụng để giải quyết các bài toán tối ưu hóa các mối quan hệ giữa thông số công nghệ và chỉ tiêu đánh giá chất lượng trong EDM . Các mô hình được thực hiện thực nghiệm kiểm chứng và đã dự đoán được các đặc trưng chất lượng mong muốn [19].

PHẦN.

Bảng nghiên cứu thực nghiệm gia công thép hợp kim 718 trên máy lai xung điện và mài bằng đá mài kim cương, dung dịch điện môi trộn hạt mài, tác giả Deepak Rajendra Unune và các cộng sự [21] dựa trên phương pháp phản hồi bề mặt để tối ưu hóa đa mục tiêu cho năng suất bóc tách vật liệu đạt được cao nhất là 13,90 mm³/phút và nhám bề mặt Ra thấp nhất là 2,484 μm . Nghiên cứu này cho thấy việc bổ sung các hạt mài trong chất lỏng điện môi giúp tăng cường đáng kể hiệu suất của quá trình. Trong nghiên cứu [25] Taguchi kết hợp với Topsis để tối ưu hóa khi gia công EDM, dung dịch điện môi kết hợp giữa dầu EDM

và dầu cọ, thép mangan được chọn làm chi tiết gia công, các thông số đầu vào được chọn là: I; Ton; Toff, phần mềm Minitab17 được dùng để phân tích, kết quả tối ưu cho hai chỉ tiêu đầu ra là MRR và Ra là bộ thông số đầu vào: $I = 15 \text{ A}$, $\text{Ton} = 100 \mu\text{s}$ và $\text{Toff} = 50 \mu\text{s}$.

Sử dụng kỹ thuật kết hợp của RSM với Fuzzy và Topsis để tối ưu hóa đồng thời 4 chỉ tiêu chất lượng trong EDM cho vật liệu Ti-6Al-4V, và bộ thông số công nghệ tối ưu đã được xác định [28]. MRR lớn hơn và TWR nhỏ hơn, đây là các kết quả nhận được trong bài toán tối ưu đa mục tiêu trong EDM cho silicon nitride - Titanium nitride bằng Taguchi - Topsis và Taguchi - GRA. Đây là hai giải pháp phù hợp với bài toán đa mục tiêu trong lĩnh vực này [30]. Ngoài ra tối ưu hóa đa mục tiêu cho nhôm 7075 khi khoan EDM bằng lý thuyết quan hệ xám Taguchi, chất lượng bề mặt cũng được phân tích là tốt [35]. Bằng sự kết hợp Taguchi - Topsis với ANOVA để tối ưu hóa, được thực hiện với thép M2, mảng trực giao Taguchi L36 được đưa vào thực nghiệm. Kết quả đánh giá hiệu quả gia công trong EDM đã được cải thiện xấp xỉ 10,47% [36]. Sự kết hợp của ANOVA và Taguchi - Topsis để giải bài toán tối ưu đa mục tiêu trong EDM khoan thép trắng 304, mảng trực giao L27 được thiết kế, với các thông số đầu vào là: U; I; Ton; Toff. Kết quả tối ưu đã cho hiệu quả tốt hơn (khoảng 37%). Đây có thể là giải pháp tốt trong thực tiễn sản xuất [40]. MRR và Ra được sử dụng là các chỉ tiêu tối ưu. Sự kết hợp Taguchi - AHP - Topsis đã được sử dụng trong bài toán tối ưu đa mục tiêu của công nghệ gia công không truyền thống [43]. Sự kết hợp này đã dẫn đến việc lựa chọn trọng số của các chỉ tiêu chất lượng đơn giản.

Ở trong nước, một số kết quả nghiên cứu được công bố về quá trình gia công xung điện. Trong các nghiên cứu đó, các tác giả đã đánh

giá sự ảnh hưởng của chế độ công nghệ khi xung gồm 3 thông số chính là điện áp đánh lửa U, cường độ dòng phóng tia lửa điện I, thời gian phóng xung Ton đến chất lượng bề mặt là độ nhám, đến độ chính xác tạo hình [7]. Trên cơ sở nghiên cứu sự ảnh hưởng của chế độ công nghệ, các tác giả [12] đã thực hiện bài toán tối ưu hóa với hàm mục tiêu là độ mòn tương đối của điện cực. Cũng bằng nghiên cứu thực nghiệm, tác giả Hoàng Vĩnh Sinh [9] đã thực hiện tối ưu hóa quá trình gia công kim loại trên máy xung tia lửa điện theo hướng đơn mục tiêu. Tác giả Vũ Quang Hà đã nghiên cứu ảnh hưởng của chế độ công nghệ đến năng suất và chất lượng bề mặt khi gia công bằng phương pháp cắt dây tia lửa điện [10]. Nguyễn Hữu Phần [11] nghiên cứu ảnh hưởng của cường độ dòng điện, thời gian phát xung, thời gian ngừng phát xung, vật liệu điện cực và nồng độ bột đến năng suất và chất lượng bề mặt thép làm khuôn được gia công bằng phương pháp xung định hình có trộn bột Ti trong dung dịch điện môi theo các chỉ tiêu năng suất bóc tách vật liệu, lượng mòn điện cực, chất lượng bề mặt gia công. Tác giả sử dụng Taguchi thiết kế thực nghiệm, sử dụng điện cực đồng và graphit, chi tiết gia công SKD11, SKD61, SKT4; phương pháp Taguchi - GRA được sử dụng để tối ưu hóa với kết luận nồng độ bột 10g/l cho năng suất và chất lượng bề mặt gia công cao.

Việc lựa chọn các trọng số của các chỉ tiêu chất lượng tối ưu trong EDM rất phức tạp, và trong rất nhiều trường hợp chỉ được lựa chọn theo kinh nghiệm. Giá trị trọng số của các chỉ tiêu chất lượng được lựa chọn thông qua ý kiến của các chuyên gia thường cho kết quả với độ tin cậy không cao, bởi vậy việc đề xuất các giải pháp lý thuyết để xác định kết quả của bài toán đa mục tiêu là rất cần thiết [44]. Từ các nghiên cứu trong và ngoài nước, các kết quả đã đạt được của các

nghiên cứu trên, kết hợp với yêu cầu cấp thiết của thực tiễn sản xuất EDM trong nước, tác giả đề xuất chọn giải pháp: Sử dụng phương pháp Taguchi để thiết kế thí nghiệm, các chỉ tiêu chất lượng gồm nhám bề mặt (Ra); mòn điện cực (TWR) và năng suất bóc tách vật liệu (MRR) trong EDM được sử dụng đưa vào nghiên cứu, các thông số công nghệ gồm điện áp khe hở phóng điện (U); cường độ dòng điện (I); thời gian phóng điện (Ton); thời gian ngừng phóng điện (Toff) được chọn là các thông số đầu vào. Phương pháp Taguchi được sử dụng để tối ưu hóa đơn mục tiêu; Phương pháp Taguchi - AHP - Deng's được sử dụng để tối ưu hóa 3 mục tiêu chất lượng trong EDM để gia công thép 9XC, sử dụng điện cực graphite (than chì).

1.6.3 Nghiên cứu về ảnh hưởng của các thông số công nghệ

Khả năng công nghệ của EDM phụ thuộc rất nhiều vào các thông số công nghệ. Độ mòn điện cực, chất lượng bề mặt và năng suất bóc tách vật liệu của EDM chịu ảnh hưởng bởi rất nhiều thông số công nghệ như: Điện áp phóng tia lửa điện, cường độ dòng điện, khe hở phóng điện, thời gian phát xung, thời gian ngừng phát xung, sự phân cực điện cực, dòng và đặc trưng của dung dịch điện môi, độ dẫn điện của điện cực - phôi, diện tích gia công,... [24], [34]. Các kết quả khảo sát với điện cực Cu và vật liệu gia công là thép SKD61 đã cho thấy: Khi tăng cường độ dòng điện đã làm MRR, TWR và Ra tăng nhanh nhưng khi thời gian phát xung tăng dẫn đến MRR và Ra tăng nhưng TWR giảm. Và ảnh hưởng của cường độ dòng điện đến các chỉ tiêu đánh giá là mạnh hơn so với thời gian phát xung [35].

Ảnh hưởng của các thông số của quá trình xung đến chất lượng bề mặt gia công cũng được khảo sát trong [3] và [4]. Thêm vào đó, công thức để xác định độ nhám bề mặt khi xung trong đó kể đến ảnh

hưởng của cường độ dòng điện, điện áp khi xung, chu trình xung, thời gian xung vv... cũng được đề xuất [4]. Ảnh hưởng của các thông số quá trình đến độ mòn của điện cực đã được nghiên cứu trong [1]. Thêm vào đó, các tác giả đã xác định được các tham số tối ưu của quá trình xung để độ mòn điện cực là nhỏ nhất [1]. Việc nghiên cứu quá trình xung cũng đã được thực hiện cho nhiều loại vật liệu gia công khác nhau như: thép dụng cụ AISI D6 [1], Composite kim loại Al 7075- B4C [2], Inconel 718 [4], siêu hợp kim Niken René 108 DS [5], gồm các loại SiC, B4C và Si3N4-TiN [6].

Chương 2: CƠ SỞ LÝ THUYẾT TỐI ƯU HÓA

2.1 Khái niệm về tối ưu hóa

Tối ưu hóa quá trình cắt gọt là vấn đề phức tạp đã được quan tâm và triển khai nghiên cứu từ những thập niên 70 của thế kỷ trước ở các nước công nghiệp phát triển [19]. Tối ưu hóa quá trình cắt gọt là việc xác định chế độ công nghệ tối ưu thông qua việc xây dựng mối quan hệ giữa hàm mục tiêu chất lượng với một số thông số của chế độ công nghệ tương ứng với một hệ thống các giới hạn về mặt kinh tế, kỹ thuật và tổ chức của doanh nghiệp. Quá trình đó gồm 3 bước:

- Bước 1: Xây dựng hàm mục tiêu;

- Bước 2: Xác định miền giới hạn của bài toán tối ưu (xác định các điều kiện biên ràng buộc);

- Bước 3: Giải và biện luận kết quả.

2.2. Các dạng bài toán tối ưu hóa

Để thực hiện bài toán tối ưu, trong thực tế hiện nay tồn tại hai dạng bài toán tối ưu hóa tĩnh và tối ưu hóa động.

2.2.1 Tối ưu hóa tĩnh

Tối ưu hóa tĩnh là tối ưu hóa trước quá trình gia công. Là quá trình nghiên cứu và giải quyết bài toán tối ưu dựa trên mô hình tĩnh của quá trình gia công. Để thực hiện bài toán này phải dựa trên các giả thiết:

- Lượng dư gia công trong lát cắt không thay đổi;

- Vật liệu gia công có độ bền, độ cứng đồng nhất;

- Trong giai đoạn mòn ổn định, lượng mòn của dao thay đổi theo thời gian với mối quan hệ là tuyến tính.

Sau khi xây dựng bài toán và xác định được chế độ gia công tối ưu, người ta tiến hành điều chỉnh máy làm việc theo chế độ đó trong suốt quá trình gia công. Ưu điểm của phương pháp tối ưu này là đơn giản, dễ thực hiện. Tuy nhiên phương pháp này cũng có rất nhiều hạn chế như không chú ý đến động lực học của quá trình gia công, nghĩa là bỏ qua các yếu tố mang tính ngẫu nhiên xảy ra trong quá trình gia công. Hơn nữa các giả thiết trên trong thực tế là không đúng. Vì vậy độ chính xác của bài toán tối ưu tính không cao.

2.2.2 Tối ưu hóa động

Tối ưu hóa động là tối ưu hóa trong quá trình gia công, nhằm khai thác tối đa tiềm năng của hệ thống công nghệ. Quá trình nghiên cứu và giải quyết bài toán dựa trên mô hình động của quá trình cắt, quá trình cắt luôn giữ được trạng thái cân bằng nhờ kỹ thuật điều khiển bằng cách liên tục xác định giá trị tối ưu của các đại lượng theo hàm mục tiêu đã định theo thời gian và điều kiện gia công thực. Với hình thức tối ưu này, chế độ gia công tối ưu không những được điều chỉnh trước mà còn tự động được điều chỉnh trong khi gia công. Để thực hiện được điều này thì máy phải được trang bị các thiết bị có mức độ tự động hóa cao như thiết bị đo nhám, đo kích thước, hệ thống xử lý thông tin [19].

2.3 Phương pháp tối ưu hóa đơn mục tiêu theo Taguchi

2.3.1 Tỷ số S/N

Taguchi sử dụng sự thay đổi giá trị trung bình của các chỉ tiêu để đánh giá ảnh hưởng của các thông số công nghệ đến các đặc trưng chất lượng được nghiên cứu. Để xác định thông số công nghệ tối ưu, Taguchi sử dụng tỷ số S/N. Trị số của S/N càng lớn thì kết quả của các

chỉ tiêu càng gần trị số tối ưu. Vì vậy, trị số của S/N là cao nhất sẽ cho kết quả tối ưu. Trị số S/N được xác định như sau [76]:

- Cao hơn là tốt hơn:

$$S/N \text{ ratio } (\eta) = -10 \log_{10} \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_{ij}^2} \right)$$

Trong đó: n là số lần lặp ở mỗi thí nghiệm, y_{ij} là giá trị đo được

ở lần đo thứ i
 $= 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, k.$

Giá trị này được áp dụng cho các mục tiêu quan tâm mà mong muốn tìm kiếm được tối đa hoá các đặc tính chất lượng.

Đối với kết quả mong muốn **Giá trị tiêu chuẩn (danh nghĩa) là tốt nhất**
 (Nominal - the best)

$$S/N \text{ ratio } (\eta) = 10 \log_{10} \left(\frac{\mu^2}{\sigma^2} \right)$$

$$\mu = \frac{y_1 + y_2 + y_3 + \dots + y_n}{n}$$

$$\sigma^2 = \frac{\sum (y_i - \bar{y})^2}{n-1}$$

Trong đó:

Đây được gọi là vấn đề loại danh nghĩa tốt nhất mà người ta cố gắng giảm thiểu sai số bình phương bình phương xung quanh giá trị mục tiêu cụ thể.

Chuẩn hóa là một sự chuyển đổi được thực hiện trên một dữ liệu đầu vào duy nhất để phân phối dữ liệu đồng đều và biến nó thành một phạm vi chấp nhận được để phân tích thêm.

Đối với kết quả mong muốn *Nhỏ hơn thì tốt hơn* (Smaller - the - better)

$$S/N \text{ ratio } (\eta) = -10 \log_{10} \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_{ij}^2 \right)$$

*** Phân tích phương sai ANOVA**

- Tổng các bình phương (SS): Tổng các bình phương là thước đo độ lệch của dữ liệu thử nghiệm từ giá trị trung bình của dữ liệu. SST được xác định theo công thức sau:

$$SS = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2$$

Trong đó: n là số lượng giá trị được kiểm tra; \bar{y} là giá trị trung bình các kết quả y_i của đối tượng thứ i.

- Tổng bình phương của thông số B (SSB)

$$SS_B = \sum_{i=1}^{N_k} \left(\frac{B_i^2}{n_{Bi}} \right) - \frac{T^2}{N}$$

Trong đó: B_i là giá trị tại mức i của thí nghiệm; n_{Bi} là số kết quả khảo sát ở điều kiện B_i ; T là tổng các giá trị kiểm tra.

- Tổng bình phương các lỗi (SSe): Phân bố bình phương của các giá trị khảo sát từ giá trị trung bình của trạng thái B.

$$SS_e = \sum_{j=1}^{k_B} \sum_{i=1}^{n_{Bi}} (y_i - \bar{B}_i)^2$$

- Phần trăm ảnh hưởng của thông số B:

$$C\% = \frac{SS_B}{SS_T} \cdot 100(\%)$$

*** Tối ưu hóa kết quả đầu ra**

Giá trị tối ưu (E_m) được ước tính bởi các thông số có ảnh hưởng mạnh và được xác định theo công thức sau:

$$E_m = \bar{y} + (\bar{A}_k - \bar{y}) + (\bar{B}_l - \bar{y}) + (\bar{C}_m - \bar{y})$$

Trong đó: \bar{y} là trị số trung bình của đặc trưng khảo sát; \bar{A}_k , \bar{B}_l , \bar{C}_m lần lượt là giá trị trung bình tại các mức thứ k , l và m .

* Khoảng phân bố của giá trị tối ưu

Khoảng phân bố của một tập mẫu CI_m xác định bởi công thức:

$$CI_m = \pm \sqrt{\frac{F_{\alpha}(1, f_e). V_e}{n_e}}$$

Trong đó: F_{α} là hệ số F ở mức tin cậy $(1 - \alpha)$ đối với $DF = 1$ và DF của lỗi fe; v_e là trị số thay đổi của lỗi.

$$n_e = \frac{N}{1+DF}$$

Trong đó: DF là bậc tự do tổng của các thông số tính trị số trung bình; N là tổng số thí nghiệm khảo sát.

- Sử dụng phương pháp phân tích quan hệ xám (GRA)

Phương pháp phân tích quan hệ xám (GRA) là một phương pháp thống kê hiệu quả để đo mức độ gần đúng giữa các đối tượng bằng cách sử dụng cấp quan hệ xám. Nó được phát triển bởi Deng và các cộng sự [1] và đã được ứng dụng thành công trong nhiều lĩnh vực khác nhau [2, 3]. Mức độ thông tin trong phân tích mối quan hệ xám giúp quá trình ra quyết định được dễ dàng hơn trong các tình huống khó khăn [4, 5]. Phương pháp này đã được cải tiến và phát triển thành phân tích mối quan hệ mờ xám (FGRA). Đây là một phương pháp tiếp cận dựa trên một hệ thống mờ được phát triển dựa trên các hệ số và mức quan hệ

xám. Mô hình này xem xét tất cả các tiêu chí khác nhau, bao gồm cả sự không chắc chắn về trọng số và tầm quan trọng của các tiêu chí.

Phương pháp phân tích mối quan hệ mờ xám (FGRA) là một phương pháp tiếp cận dựa trên một hệ thống mờ được phát triển dựa trên các hệ số và mức quan hệ xám. Mô hình này xem xét tất cả các tiêu chí khác nhau, bao gồm cả sự không chắc chắn về trọng số và tầm quan trọng của các tiêu chí. Các bước thực hiện phân tích mối quan hệ mờ xám được sử dụng để đánh giá tác động của các yếu tố khác nhau lên độ nhám bề mặt gia công như sau:

Bước 1: Xác định ma trận tham chiếu và ma trận so sánh. Với ma trận tham chiếu được xác định như sau:

$$Y = [Y(1) \ Y(2) \ \dots \ Y(n)]$$

Nếu số phần tử cần khảo sát là m và các yếu tố cần khảo sát trong các điều kiện khác nhau là n , thì ma trận so sánh được hiển thị như sau:

$$X = \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ \vdots \\ X_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_1(1) & X_1(2) & \dots & X_1(n) \\ X_2(1) & X_2(2) & \dots & X_2(n) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ X_m(1) & X_m(2) & \dots & X_m(n) \end{bmatrix}$$

Bước 2: Hiển thị chuỗi không có tham số kích thước gốc. Khi các nhân tố được nghiên cứu và các biến tham chiếu có các tham số khác nhau hay không tham số được xác định bởi phương trình sau:

$$X_i(k)' = \frac{X_i(k) - \text{Min}[X_i(k)]}{\text{Max}[X_i(k)] - \text{Min}[X_i(k)]}$$

Bước 3: Tính giá trị cosin của các tập mờ. Phương pháp cosine góc đã được thông qua mà không bị ảnh hưởng bởi mối quan hệ của tỷ lệ tuyến tính của dữ liệu được xác định bằng công thức:

$$R_i = \frac{\sum_{k=1}^n Y(k)X(k)}{\sqrt{\sum_{k=1}^n Y(k)^2} \sqrt{\sum_{k=1}^n X(k)^2}}$$

Bước 4: Mức quan hệ xám được xác định:

$$\xi_{ij}(k) = \frac{l.\Delta_{\max} + \Delta_{\min}}{l.\Delta_{\max} + \Delta(k)}$$

Hệ số này phải thỏa mãn điều kiện làm việc và chống nhiễu vì các hệ số phân tán lớn hay nhỏ có thể không phản ánh chính xác mối quan hệ giữa các yếu tố được khảo sát. Phương pháp xác định hệ số phân tán được trình thể hiện như sau:

$$\Delta = \frac{1}{n.m} \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^n |Y_{ij}(k) - X_{ij}(k)|$$

Trong đó, Δ là giá trị trung bình của sai số tuyệt đối.

Khi đó $C = \Delta / \Delta_{\max}$, hệ số phân giải được xác định như sau:

$$L \in \begin{cases} [C; 1,5 \times C] & ; C < \frac{1}{3} \\ (1,5 \times C; 2C] & ; C \geq \frac{1}{3} \end{cases}$$

Nếu $C < 1/3$, khi đó $L = 1,25C$; nếu $C \geq 1/3$, khi đó $L = 1,75C$.

Bước 5: Áp dụng khoảng cách Euclide để chỉ ra sự khác biệt giữa ma trận tham chiếu và so sánh để cải thiện độ chính xác của các quá trình ước lượng. Do đó, vector trọng số của các yếu tố khác nhau trong ma trận tham chiếu được xác định như sau:

$W = (W_1, W_2, \dots, W_j)$ với $j = 1, 2, \dots, n$

Bước 6: Sau đó, các mức Euclidean R_2 màu xám được tính bằng công thức sau:

$$R_2 = 1 - 2 \sqrt{\sum_{k=1}^n [W \{1 - \xi_i(k)\}]^2}$$

Bước 7: Xếp hạng mức độ ảnh hưởng của các yếu tố khảo sát trên cơ sở mức độ quan hệ xám.

- Sử dụng phần mềm Minitab:

MiniTab là một phần mềm thống kê ứng dụng được phát triển ở Đại học Pennsylvania bởi *Barbara F. Ryan, Thomas A. Ryan, Jr. và Brian L. Joiner* năm 1972. MiniTab là phiên bản thu gọn của phần mềm OMNITAB, phần mềm phân tích thống kê của NIST. Phần mềm này ban đầu được thiết kế để phục vụ việc giảng dạy môn thống kê, sau đó đã được phát triển thành công cụ phân tích dữ liệu rất hiệu quả. Trong nhiều chương trình phần mềm thương mại dùng trong lĩnh vực thiết kế thí nghiệm như: SAS JMP, S-Plus, Genstat, State-Ease, Design-Expert, Echip, Statgraphics, Systat, StatSoft... MINITAB là một chương trình khá toàn diện và dễ sử dụng. Phần mềm này có thể giải những bài toán từ đơn giản nhất như xác định hệ số trong phương trình hồi quy, tới các bài toán phức tạp hơn như việc thiết kế thí nghiệm, xác định ảnh hưởng tương tác của các yếu tố bằng các phương pháp phân tích hồi qui, phương sai...

Chương 3

THỰC NGHIỆM XÁC ĐỊNH ẢNH HƯỞNG CỦA CÁC THÔNG SỐ CÔNG NGHỆ XUNG BỀ MẶT TRỤ ĐỊNH HÌNH ĐẾN ĐỘ MÒN ĐIỆN CỰC

Như phân tích ở phần trên, xung định hình là một quá trình gia công trong đó sự phóng điện xảy ra ngẫu nhiên và khó điều khiển. Do vậy, để đảm bảo chất lượng của chi tiết gia công và năng suất của quá trình một cách ổn định là đặc biệt quan trọng. Trong phần này nghiên cứu ảnh hưởng của các thông số công nghệ xung định hình nhằm đưa ra một chế độ công nghệ hợp lý nhất để đạt được lượng mòn điện cực là nhỏ nhất mà vẫn đảm bảo năng suất và hiệu quả.

3.1. Mục đích thí nghiệm

- Xác định được ảnh hưởng của các thông số công nghệ xung đến lượng mòn điện cực khi xung thép 90CrSi qua tôi.
- Đề xuất chế độ công nghệ xung hợp lý nhằm đạt lượng mòn điện cực nhỏ nhất.

3.2. Setup thí nghiệm

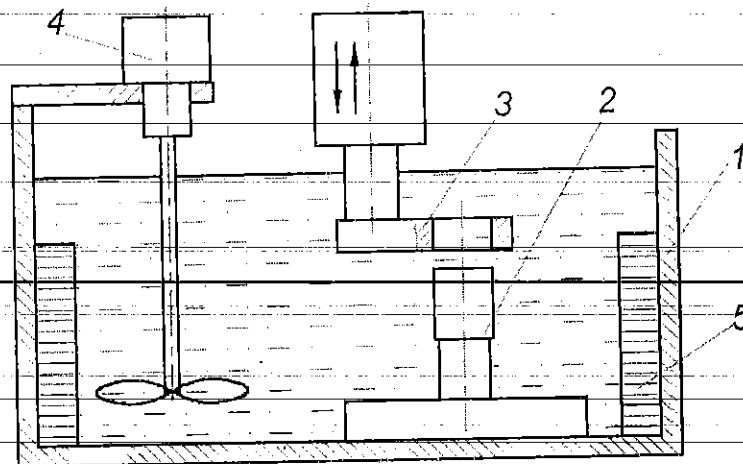
* Xây dựng mô hình thí nghiệm

Trong các nghiên cứu đã phân tích trong chương II cho thấy, quá trình xung định hình xảy ra ngẫu nhiên, tuy vậy qua các nghiên cứu thực nghiệm đã cho thấy một số thông số công nghệ xung có ảnh hưởng nhất định đến năng suất, chất lượng của quá trình này.

Sơ đồ thí nghiệm xung định hình được mô tả như trong hình 3.2

* Máy và thiết bị thí nghiệm

Để tiến hành thí nghiệm khảo sát. Các thí nghiệm được thực hiện tại Doanh nghiệp Cơ khí chính xác Thái Hà với máy và thiết bị đo được mô tả trong bảng 3.1. Thành phần hóa học của thép 9CrSi được mô tả trong bảng 3.2. Điện cực và chi tiết gia công để thí nghiệm như trong hình 3.3. Hệ thống thí nghiệm như hình 3.4.



Hình 3.1 Sơ đồ thí nghiệm

1) Bể chứa; 2) Chi tiết gia công; 3) Điện cực; 4) Cánh khuấy; 5) Nam châm

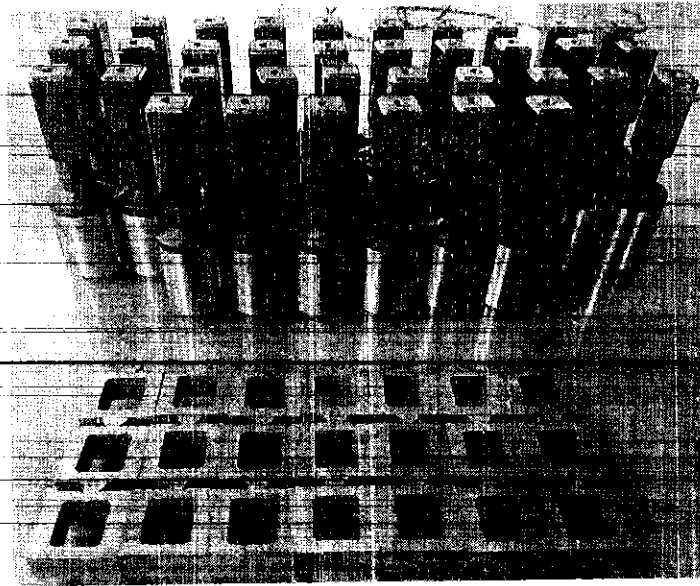
Bảng 3.1. Máy và thiết bị thí nghiệm

Máy và trang thiết bị	Thông số
Máy xung	Sodick A30
Dung dịch điện môi	Dầu xung HD-1
Điện cực xung	Graphite
Chi tiết gia công	Thép 9CrSi qua tôi đạt 58 – 60 HRC
Cân điện tử chính xác	Jadever - Taiwan
Máy đo nhám	Mitutoyo 178-923-2A, SJ-201

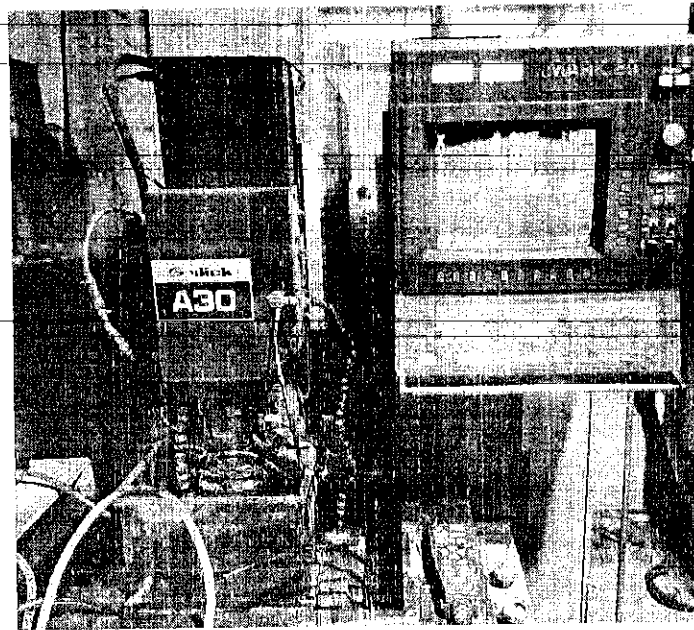
Bảng 3.2. Thành phần hóa học của thép 9XC/9SiCr

Thành phần hóa học thép 9XC

Nguyên tố	C	Cr	Si	Mn	Cu	Ti
Hàm lượng	0.85-0.95	0.95-1.25	1.2-1.6	0.3-0.6	0.03-0.55	0.03



Hình 3.2 Điện cực và chi tiết gia công



Hình 3.3 Máy và hệ thống thí nghiệm.

3.3. Thiết kế thí nghiệm

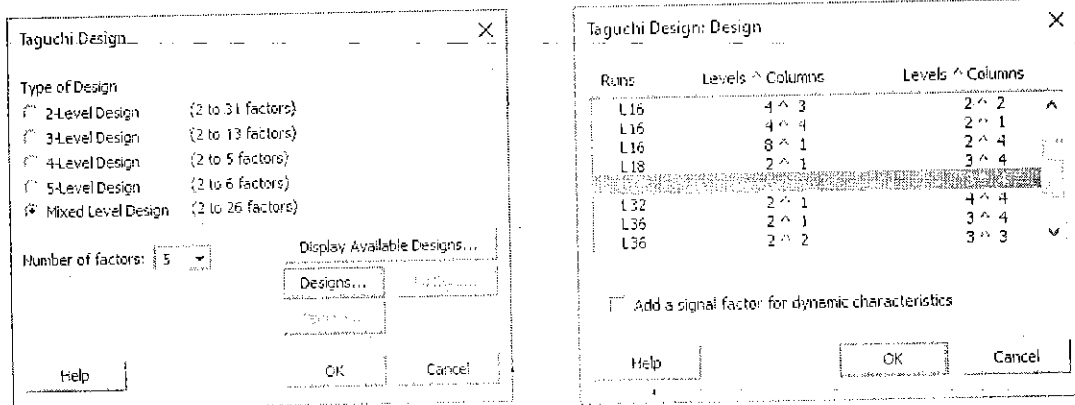
Trong nghiên cứu này 5 thông số công nghệ của quá trình xung bề mặt trụ định hình được lựa chọn để khảo sát bao gồm: cường độ dòng điện xung (IP) và điện áp khe hở phóng điện (SV), thời gian phát xung (Ton), thời gian ngừng phát xung (Toff), loại điện cực Graphite (TOG). Các thông số đầu vào và các mức khảo sát được mô tả như trong bảng 3.3.

Bảng 3.3. Các thông số đầu vào và mức khảo sát

TT	Thông số đầu vào	Ký hiệu	Đơn vị	Mức khảo sát					
				1	2	3	4	5	6
1	Dòng điện xung	IP	A	3.5	5	7.5	9.5	11.5	13.5
2	Điện áp servo	SV	V	4	5	6	-	-	-
3	Thời gian phát xung	Ton	μs	8	12	16	-	-	-
4	Thời gian ngừng phát xung	Toff	μs	8	12	16	-	-	-
5	Loại điện cực Graphite	TOG		HK0	HK15	HK20	-	-	-

Với số lượng thông số đầu vào và các mức khảo sát lớn, tác giả lựa chọn phương pháp quy hoạch thực nghiệm Taguchi để thiết kế thí nghiệm với thiết kế L18 ($1^6 + 4^3$). Phần mềm minitab R19 được sửa dụng để thiết kế ma trận thí nghiệm với trình tự khai báo biến thí nghiệm như hình 3.4. Ma trận thí nghiệm, các kết quả đo nhám bề mặt trung bình và tốc độ mòn điện cực trung bình được mô tả trong bảng 3.4.

Hình 3.4 Phần mềm minitab R19 được sửa dụng để thiết kế ma trận thí nghiệm với trình tự khai báo biến thí nghiệm



Taguchi Design

Design Summary

Taguchi Array L18(6¹ 3⁴)
 Factors: 5
 Runs: 18

Columns of L18(6¹ 3⁴) array: 1 2 3 4 5

Hình 3.5 Khai báo biến thí nghiệm theo phương pháp Taguchi (L18 = 6¹ 3⁴ = 18 thí nghiệm)

Bảng 3.4: Ma trận thí nghiệm

TT	Biến mã hóa					Biến thực nghiệm				
	X1	X2	X3	X4	X5	IP (A)	SV (V)	T-on (μs)	T-off (μs)	TypeG
1	1	1	1	1	1	3.5	4	8	8	HK0
2	1	2	2	2	2	3.5	5	12	12	HK15
3	1	3	3	3	3	3.5	6	16	16	HK20
4	2	1	1	2	2	5.5	4	8	12	HK15
5	2	2	2	3	3	5.5	5	12	16	HK20
6	2	3	3	1	1	5.5	6	16	8	HK0
7	3	1	2	1	3	7.5	4	12	8	HK20
8	3	2	3	2	1	7.5	5	16	12	HK0
9	3	3	1	3	2	7.5	6	8	16	HK15
10	4	1	3	3	2	9.5	4	16	16	HK15
11	4	2	1	1	3	9.5	5	8	8	HK20
12	4	3	2	2	1	9.5	6	12	12	HK0
13	5	1	2	3	1	11.5	4	12	16	HK0
14	5	2	3	1	2	11.5	5	16	8	HK15
15	5	3	1	2	3	11.5	6	8	12	HK20
16	6	1	3	2	3	13.5	4	16	12	HK20
17	6	2	1	3	1	13.5	5	8	16	HK0
18	6	3	2	1	2	13.5	6	12	8	HK15

3.4. Thí nghiệm đánh giá ảnh hưởng của các thông số công nghệ đến mòn điện cực

Từ ma trận thí nghiệm ở bảng 3.4 mục 3.3. Các thí nghiệm được tiến hành. Kết quả đo mòn điện cực được mô tả trong bảng 3.5.

Bảng 3.5. Kết quả đo mòn điện cực (EWR) và tỉ số S/N

TT	IP	SV	T _{on}	T _{off}	TOG	EWR [mg/phút]				
						Lần 1	Lần 2	Lần 3	S/N	Mean
1	3.5	4	8	8	HK0	2.28	2.33	2.69	-7.75	2.43
2	3.5	5	12	12	HK15	0.73	0.78	0.93	1.72	0.82
3	3.5	6	16	16	HK20	0.61	0.38	0.75	4.42	0.58
4	5.5	4	8	12	HK15	1.64	1.86	1.49	-4.45	1.66
5	5.5	5	12	16	HK20	0.97	1.11	0.97	-0.17	1.02
6	5.5	6	16	8	HK0	3.26	3.38	2.95	-10.10	3.19
7	7.5	4	12	8	HK20	1.70	2.01	1.37	-4.69	1.70
8	7.5	5	16	12	HK0	5.54	5.19	5.91	-14.89	5.55
9	7.5	6	8	16	HK15	2.20	2.73	2.52	-7.93	2.48
10	9.5	4	16	16	HK15	0.92	1.05	0.70	0.89	0.89
11	9.5	5	8	8	HK20	0.60	0.89	0.93	1.74	0.80
12	9.5	6	12	12	HK0	2.47	2.21	2.65	-7.78	2.44
13	11.5	4	12	16	HK0	3.55	3.62	3.26	-10.83	3.47
14	11.5	5	16	8	HK15	1.63	1.75	1.46	-4.18	1.61
15	11.5	6	8	12	HK20	0.94	1.04	0.92	0.29	0.97
16	13.5	4	16	12	HK20	1.69	1.92	1.56	-4.75	1.72
17	13.5	5	8	16	HK0	4.64	4.78	4.38	-13.26	4.60
18	13.5	6	12	8	HK15	2.55	2.30	2.79	-8.14	2.55

Dựa vào bảng trên, tác giả tiến hành 18 thí nghiệm với 18 chế độ xung khác nhau. Để tăng độ chính xác của thực nghiệm, tiến hành lặp 3 lần với mỗi chế độ xung. Tốc độ mòn điện cực được xác định bằng thương của lượng mòn điện cực với thời gian gia công. Lượng mòn điện cực được xác định bằng hiệu của khối lượng điện cực trước và sau khi xung.

Phương pháp Taguchi sử dụng tỷ số tín hiệu/nhiều (signal-to-noise) S/N Tỷ số S/N: Thí nghiệm có giá trị tỷ số S/N cao nhất sẽ cho kết quả tối ưu ít bị ảnh hưởng bởi nhiễu nhất. Tỷ số S/N dùng để xác định mức cho kết quả đầu ra tối ưu. Với mục tiêu tốc độ mòn điện cực nhỏ hơn thì tốt hơn, tỷ số S/N của các kết quả đầu ra được xác định như sau.

$$S/N = -10 \text{Log}_{10} [MSD] \quad (1)$$

MSD – Tổng bình phương trung bình của các giá trị đo.

$$MSD = \frac{y_1^2 + y_2^2 + \dots + y_n^2}{n}$$

Trong mọi trường hợp, tỷ số S/N càng lớn thì đặc tính nhận được càng tốt. Phương pháp thực nghiệm Taguchi do không sử dụng toàn bộ các tổ hợp thí nghiệm nên không đưa ra được một con số chính xác về ảnh hưởng của một thông số đầu vào nào đó đến kết quả đầu ra mà chỉ mang tính chất định hướng. Mặc dù vậy, bằng việc đánh giá qua tỷ số S/N giúp những nhà công nghệ biết xu hướng và mức độ ảnh hưởng của từng thông số công nghệ đến kết quả đầu ra. Từ các nhận biết này sẽ giúp các nhà nghiên cứu nhanh chóng tìm ra các thông số công nghệ và phạm vi cần tác động để nhận được hiệu quả đầu ra tốt nhất. Trên cơ sở đánh giá ảnh hưởng riêng lẻ các thông số có thể tìm ra được tổ hợp các thông số công nghệ tối ưu cho kết quả đặc tính đầu ra mong muốn.

Từ các kết quả thí nghiệm đo được để tiến hành đánh giá ảnh hưởng của các thông số đầu vào đến mòn điện cực. Phương pháp phân tích ANOVA tỉ số nhiễu (Signal to Noise Ratio – S/N) của từng thông số. Với mục tiêu đặt ra là độ mòn điện cực nhỏ nhất. Tỷ số S/N của mục tiêu được tính toán theo công thức 3.1. Giá trị tính toán tỉ số S/N cũng được mô tả trong bảng 3.5.

S	R-Sq	R-Sq(adj)
0.473	97.21	88.13%
0	%	

Bảng 3.7 và Hình 3.6 cho thấy:

Cường độ dòng điện IP có ảnh hưởng mạnh đến tốc độ mòn điện cực. Cường độ dòng điện ở mức giá trị 3.5 A có tốc độ mòn thấp nhất.

Thời gian phát xung tăng thì tốc độ mòn điện cực giảm rồi tăng và đạt trị số nhỏ nhất tại mức 2 (12 μ s). Nguyên nhân là do Thời gian phát xung ngắn làm giảm thời gian ion hóa dung môi, điều này tạo ra quá trình gia công không ổn định và làm giảm sự tác động của các điện tử và ion lên bề mặt điện cực dẫn đến tốc độ mòn giảm. Khi thời gian phát xung dài dẫn đến năng lượng của các tia lửa điện tăng nên EWR tăng.

Thời gian ngừng phát xung tăng thì tốc độ mòn điện cực tăng và trị số nhỏ nhất tại mức 1 (8 μ s). Điều này có thể là do thời gian ngừng xung ngắn có thể làm của dung dịch điện môi phục hồi không hoàn toàn dẫn đến quá trình gia công không ổn định, sự phóng tia lửa điện chỉ xảy ra trong thời gian rất ngắn và điều này sẽ làm EWR giảm. Khi thời gian ngừng phát xung càng lớn càng làm ổn định dung dịch điện môi nên làm tăng số lượng điện tử và ion tác dụng lên bề mặt điện cực dẫn đến EWR tăng.

Cường độ dòng phóng điện tăng thì tốc độ mòn điện cực tăng và trị số nhỏ nhất tại mức 1 (4 A). Nguyên nhân là do Năng lượng của các tia lửa điện tăng khi cường độ dòng điện tăng nên khi cường độ dòng điện tăng sẽ làm EWR tăng theo.

Hiệu điện thế phóng điện tăng thì tốc độ mòn điện cực tăng rồi giảm và trị số nhỏ nhất tại mức 1 (4 V). Nguyên nhân là do tăng hiệu điện thế thì năng lượng tia lửa điện cũng tăng theo, làm tăng tốc độ mòn điện cực. Tuy nhiên, nếu tăng hiệu điện thế quá sẽ làm năng lượng phân tán vào các điện tử và ion dẫn đến lượng mòn giảm.

Có thể nhận thấy, vật liệu điện cực có ảnh hưởng rất lớn đến tốc độ mòn điện cực. Điện cực bằng HK20 có tốc độ mòn thấp nhất.

Nguyên nhân là do HK20 có kích cỡ hạt nhỏ hơn, mịn hơn nên tốc độ mòn thấp hơn.

5. Xác định bộ thông số chế độ xung đá hợp lý

Theo Bảng 2, thí nghiệm số 3 với chế độ xung: Điện cực xung là HK20, thời gian phát xung $T_{on} = 16 \mu s$, thời gian ngừng phát xung $T_{off} = 16 \mu s$, cường độ dòng phóng điện $IP = 3,5 A$, hiệu điện thế xung $SV = 6 V$ cho kết quả tốc độ mòn mòn điện cực nhỏ nhất $EWR = 0,58 mg/ph$, tỉ số $S/N = 4,42$ lớn nhất. Nghĩa là tác động của thí nghiệm này đến tốc độ mòn điện cực là lớn nhất và chịu ảnh hưởng của nhiễu là nhỏ nhất. Đây chưa phải mức hợp lý của các thông số nhằm đạt tốc độ mòn điện cực nhỏ nhất. Vì vậy, cần phân tích phương sai tỉ số S/N của EWR để tìm ra mức hợp lý của các thông số xung được khảo sát.

Trong Bảng 3.6 và Hình 3.7 cho thấy:

Điện cực HK20 (TOG3), thời gian phát xung $T_{on} = 12 \mu s (T_{on2})$, thời gian ngừng phát xung $T_{off} = 8 \mu s (T_{off1})$, cường độ dòng phóng điện $IP = 3,5 A (IP1)$, hiệu điện thế xung $SV = 4 V (SV1)$ là những mức và trị số của các thông số sửa đá cho tỉ số S/N lớn nhất. Đây là mức và trị số hợp lý của các thông số xung nhằm đạt được tốc độ mòn điện cực là nhỏ nhất.

Tính toán dự đoán giá trị tốc độ mòn

Từ Bảng 3.6 cho thấy: T_{on} , T_{off} và SV có ảnh hưởng thấp đến EWR. Do đó, trị số tốc độ mòn trung bình dự đoán (\overline{EWR}_{OP}) được xác định bởi các mức của các thông số có ảnh hưởng mạnh đến S/N của tốc độ mòn theo công thức:

$$\overline{EWR}_{OP} = \overline{TOG}_3 + \overline{IP}_1 - \overline{T}_{EWR}$$

Trong đó, theo Model Summary

S	R-Sq	R-Sq(adj)
0.473	97.21	88.13%
0	%	

Bảng 3.7:

\overline{TOG}_3 là tốc độ mòn trung bình ứng với TOG ở mức 3

\overline{IP}_1 là năng suất bóc tách trung bình ứng với IP ở mức 3

\overline{T}_{MRR} là năng suất bóc tách trung bình của toàn thí nghiệm.

$$\overline{T}_{EWR} = \frac{\sum_{i=1}^{18} MRR_I + \sum_{i=1}^{18} MRR_{II} + \sum_{i=1}^{18} MRR_{III}}{54} = 2,14 \text{ mg/ph}$$

Thay số vào được

$$\overline{EWR}_{OP} = 0,27 \text{ mg/ph}$$

Kết quả khi đưa các thông số Ton, Toff và SV vào phân tích lỗi:

Analysis of Variance for Means

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
IP	5	9.750	9.750	1.9501	10.84	0.001
TOG	2	20.502	20.502	10.2508	56.97	0.000
Residual Error	10	1.799	1.799	0.1799		
Total	17	32.051				

Khoảng tin cậy CI được tính như sau:

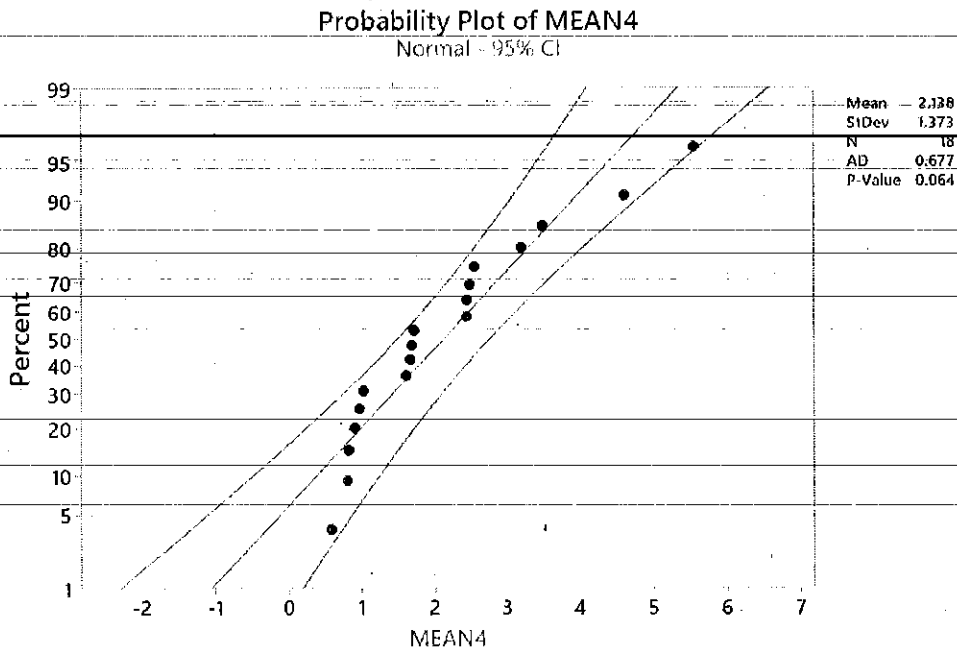
$$CI = \pm \sqrt{F_{\alpha}(1, f_e) \cdot V_e \cdot \left(\frac{1}{N_e} + \frac{1}{R} \right)}$$

Trong đó, $f_e = 10$ là bậc tự do của lỗi, $V_e = 0.1799$ là sai số trung bình của lỗi, $F_{\alpha}(1, 10) = 3,285$ là hệ số tra bảng với mức ý nghĩa 90%, N_e là số lần lặp hiệu quả, R là số lần lặp của một thí nghiệm.

$$N_e = \frac{\text{Tổng số thí nghiệm}}{1 + \text{tổng bậc tự do của tất cả các thông số tính trung bình}} = \frac{54}{1 + 4 + 1} = 9$$

Kết quả thực nghiệm với bộ thông số xung: Điện cực HK20, thời gian phát xung $T_{on} = 12 \mu s$, thời gian ngừng phát xung $T_{off} = 8 \mu s$, cường độ dòng phóng điện $IP = 3,5 \text{ A}$ (IP1), hiệu điện thế xung $SV = 4 \text{ V}$, tốc mòn điện cực trung bình nhận được sau 3 lần thực nghiệm là $0,478 \text{ mg/ph}$.

*** Đánh giá số dư và xác định dạng phân phối của tập kết quả
(sai lệch giữa giá trị được nhập và mô hình)**



Hình 3.7 Biểu đồ phân phối chuẩn cho EWR

Quan sát biểu đồ phân phối chuẩn (Hình 3.8), nhận thấy giá trị $p=0,064 > 0,05$. Điều này chứng tỏ tập giá trị mòn của toàn bộ thí nghiệm tuân theo quy luật phân phối chuẩn.

3.6. Kết luận chương III

- Trong phần nghiên cứu thực nghiệm này đã đánh giá ảnh hưởng của các thông số công nghệ xung định hình có trộn bột thép 9XC đến hiệu suất và chất lượng của quá trình xung.

- 5 thông số công nghệ đã được đưa vào khảo sát bao gồm: cường độ dòng điện xung (IP) và điện áp khe hở phóng điện (SV), thời gian phát xung (Ton), thời gian ngừng phát xung (Toff), loại điện cực Graphite (TOG).

Chương IV

KẾT LUẬN CHUNG

Qua các kết quả nghiên cứu đã được phân tích ở những phần trên, đã rút ra được những kết luận sau:

- Trong nghiên cứu này đã tổng hợp tổng quan các nghiên cứu trước đây về xung định hình và xung định hình có trộn bột, từ đó xác định mục tiêu nghiên cứu và các thông số công nghệ xung để đưa vào khảo sát.

- 6 thông số công nghệ bao gồm cường độ dòng điện xung (IP) và điện áp khe hở phóng điện (SV), thời gian phát xung (Ton), thời gian ngừng phát xung (Toff), loại điện cực Graphite (TOG) với nhiều mức khác nhau đã được đưa vào nghiên cứu và khảo sát ảnh hưởng của chúng đến các mục tiêu đầu ra.

- Nghiên cứu đã khảo sát được ảnh hưởng của các thông số đầu vào và xây dựng được bài toán đơn mục tiêu nhằm đạt được độ mòn điện cực là nhỏ nhất. Ảnh hưởng cụ thể của các thông số đầu vào đến mục tiêu này như sau: loại điện cực xung TOG có ảnh hưởng lớn nhất đến EWR (63,97%), tiếp đến là cường độ dòng điện (30,42%), hiệu điện thế (1,95%), thời gian phát xung (0,64%) và cuối cùng thời gian ngừng phát xung (0,23%). Nghiên cứu cũng đưa ra được bộ thông số tối ưu nhằm thỏa mãn độ mòn điện cực nhỏ nhất cụ thể: là điện cực HK20, thời gian phát xung $T_{on} = 12 \mu s$, thời gian ngừng phát xung $T_{off} = 8 \mu s$, cường độ dòng phóng điện $IP = 3,5 A (IP1)$, hiệu điện thế xung $SV = 4 V$, tốc mòn điện cực trung bình nhận được sau 3 lần thực nghiệm là $0,478 mg/ph$.

- Kết quả dự đoán tỉ số R_{sm} ứng với bộ thông số tối ưu đã tìm được của mô hình thực nghiệm đã đề xuất là $0.0932218 \mu m$, thấp hơn so với tỉ số R_{sm} trung bình (0.1775), với mức độ tin cậy là 95%.

- Các mô hình thực nghiệm đã đề xuất đều được đánh giá qua các biểu đồ phân bố và phương pháp Anderson – Darling và cho kết quả là phù hợp với mức ý nghĩa 95%.

- Kết quả nghiên cứu của đề tài có ý nghĩa khoa học và thực tiễn trong việc nâng cao hiệu quả của quá trình xung các bề mặt trụ định hình thép 9XC. Chế độ công nghệ tối ưu đã đề xuất có thể nâng cao chất lượng của chi tiết gia công và năng suất gia công, giảm lượng mòn điện cực. Kết quả nghiên cứu đã được công bố trong 01 bài báo khoa học trên tạp chí uy tín trong danh mục ISSN.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Kasman Ş., 2013. *Multi-response optimization using the Taguchi-based grey relational analysis: a case study for dissimilar friction stir butt welding of AA6082-T6/AA5754-H111*. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology 68 (1-4):795-804. doi:10.1007/s00170-012-4720-0
- [2]. Singh S., 2012. *Optimization of machining characteristics in electric discharge machining of 6061Al/Al₂O₃p/20P composites by grey relational analysis*. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology 63 (9-12):1191-1202. doi:10.1007/s00170-012-3984-8
- [3]. Li G-D., Yamaguchi D., Nagai M., 2007. *A grey-based rough decisionmaking approach to supplier selection*. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology 36 (9-10):1032-1040. doi:10.1007/s00170-006-0910-y
- [4]. Abhang LB., Hameedullah M., 2012. *Determination of optimum parameters for multi-performance characteristics in turning by using grey relational analysis*. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology 63 (1-4):13-24. doi:10.1007/s00170-011-3857-6.
- [5]. Younas M., Jaffery SHI., Khan M., Khan MA., Ahmad R., Mubashar A., Ali L., 2019. *Multi-objective optimization for sustainable turning Ti6Al4V alloy using grey relational analysis (GRA) based on analytic hierarchy process (AHP)*. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology 105 (1):1175- 1188. doi:10.1007/s00170-019-04299-5
- [6] N. Đ. B. Nguyễn Văn Dự, *Quy hoạch thực nghiệm trong kỹ thuật*.: NXB khoa học kỹ thuật, 2011.
- [7] B. Q. K. Phạm Văn Lang, *Cơ sở lý thuyết qui hoạch thực nghiệm và Ứng dụng trong kỹ thuật nông nghiệp*. Hà Nội: NXB Nông nghiệp, 1998.
- [8] T. K. Tuan, D. T. Tam, T. N. H. Thinh, L. H. Anh, N. H. Quang, B. T. Danh, *et al.*, "Influence of EDM Factors on Surface Roughness and Material Removal

Speed When Machining SKD11 Steel," in *International Conference on Engineering Research and Applications*, 2021, pp. 517-526.

[9] P. S. K. Krishnaish, *Applied design of experiments and Taguchi methods*: New Selhi, 2012.

[10] V. Q. Hà, "Nghiên cứu ảnh hưởng của chế độ công nghệ đến năng suất và chất lượng bề mặt khi gia công bằng phương pháp cắt dây," Luận án Tiến sĩ, Đại học Bách Khoa Hà Nội, 2012.

[11] T. Q. Huy, "Nghiên cứu mòn biên dạng điện cực và chất lượng bề mặt gia công bằng phương pháp xung tia lửa điện," Luận án Tiến sĩ, Trường Đại học Bách Khoa Hà Nội, 2019.

[12] Le Hong Ky, Bui Thanh Danh, Nguyen Van Cuong, Nguyen Hong Linh, Tran Thi Hong, Tran Ngoc Giang, Do Thi Tam, Vu Ngoc Pi, *Multi-objective Optimization of Surface Roughness and Electrode Wear in EDM Cylindrical Shaped Parts*, Materials Science Forum, Vol. 1018, pp 59-64.

[13] Tran Thi Hong, Nguyen Van Cuong, Bui Thanh Danh, Nguyen Hong Linh, Le Hong Ky, Nguyen Thi Thanh Nga, Do Thi Tam, and Vu Ngoc Pi, *Effects of Input Parameters on Electrode Wear Rate When EDM Cylindrical Shaped Parts*, Materials Science Forum, Vol. 1018, pp 79-83.

[14] Tran Thi Hong, Nguyen Anh Tuan, Bui Thanh Danh, Nguyen Van Cuong, Le Hong Ky, Nguyen Hong Linh, Tran Ngoc Giang, and Vu Ngoc Pi, *Evaluating influences of input parameters on surface roughness in sinking EDM Cylindrical Shaped Parts*, Materials Science Forum, Vol. 1018, pp 85-90.

[15] Tran Thi Hong, Nguyen Hong Linh, Bui Thanh Danh, Le Hong Ky, Vu Thi Lien, Tran Ngoc Giang, Vu Ngoc Pi, and Do Thi Tam, *Influence of Process Parameters on Material Removal Rate in Electrical Discharge Machining Cylindrical Shaped Parts*, Materials Science Forum, Vol. 1018, pp 91-95.

[16] Tran Thi Hong, Bui Thanh Danh, Nguyen Van Cuong, Le Hong Ky, Nguyen Hong Linh, Nguyen Thi Thanh Nga, Tran Ngoc Giang, and Nguyen Manh Cuong, *A Study on Influence of Input Parameters on Surface Roughness*

in *PMEDM Cylindrical Shaped Parts*, Materials Science Forum, Vol. 1018, 2021, pp 65-70.

[17] Nguyen Huu Quang, Le Thu Quy, Pham Duc Lam, Le Hoang Anh, Bui Thanh Danh, Nguyen Anh Tuan, Nguyen Manh Cuong, and Hoang Xuan Tu, *Effect of Process Parameters on Ratio of Material Removal Rate to Electrode Wear Rate when PMEDM SKD11 Tool Steel*, AMA, Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America, October 2021

[18] Trinh Kieu Tuan, Do Thi Tam, Le Thu Quy, Dang Quoc Cuong, Le Hoang Anh, Bui Thanh Danh, Nguyen Thanh Tu, Hoang Xuan Tu, *Multi-Objective Optimization of PMEDM Process for Minimum Surface Roughness and Minimum Electrode Wear Rate when Machining SKD11 Tool Steel*, AMA, Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America, October 2021

[19] Trinh Kieu Tuan, Nguyen Hong Linh, Pham Duc Lam, Le Hoang Anh, Bui Thanh Danh, Nguyen Huu Quang, Hoang Xuan Tu, and Nguyen Manh Cuong, *Three-objective Optimization of PMEDM Process for Machining SKD11 Tool Steel*, AMA, Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America, October 2021

[20] V. Q. Hà, "Nghiên cứu ảnh hưởng của chế độ công nghệ đến năng suất và chất lượng bề mặt khi gia công bằng phương pháp cắt dây," Luận án Tiến sĩ, Đại học Bách khoa Hà nội, 2012.

[21] N. H. Phần, "Nâng cao hiệu quả gia công của phương pháp tia lửa điện bằng biện pháp trộn bột Titan vào dung dịch điện môi," Luận án Tiến sĩ, Đại học Kỹ thuật Công nghiệp - Đại học Thái Nguyên, 2016.

[22] P. S. K. Krishnaish, *Applied design of experiments and Taguchi methods*: New Selhi, 2012.

[23] X. Yang, K. Yang, Y. Liu, and L. Wang, "Study on characteristic of multi-spark EDM method by using capacity coupling," *Procedia Cirp*, vol. 42, pp. 40-45, 2016

[33]. Singh S., 2012. *Optimization of machining characteristics in electric discharge machining of 6061Al/Al₂O₃p/20P composites by grey relational analysis*. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology 63 (9-12):1191-1202. doi:10.1007/s00170-012-3984-8

[34]. Li G-D., Yamaguchi D., Nagai M., 2007. *A grey-based rough decisionmaking approach to supplier selection*. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology 36 (9-10):1032-1040. doi:10.1007/s00170-006-0910-y

[35]. Abhang LB., Hameedullah M., 2012. *Determination of optimum parameters for multi-performance characteristics in turning by using grey relational analysis*. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology 63 (1-4):13-24. doi:10.1007/s00170-011-3857-6.

[36]. Younas M., Jaffery SHI., Khan M., Khan MA., Ahmad R., Mubashar A., Ali L., 2019. *Multi-objective optimization for sustainable turning Ti6Al4V alloy using grey relational analysis (GRA) based on analytic hierarchy process (AHP)*. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology 105 (1):1175- 1188. doi:10.1007/s00170-019-04299-5

[37] N. Đ. B. Nguyễn Văn Dữ, *Quy hoạch thực nghiệm trong kỹ thuật*.: NXB khoa học kỹ thuật, 2011.

[38] B. Q. K. Phạm Văn Lang, *Cơ sở lý thuyết qui hoạch thực nghiệm và Ứng dụng trong kỹ thuật nông nghiệp*. Hà Nội: NXB Nông nghiệp, 1998.

[39] T. K. Tuan, D. T. Tam, T. N. H. Thinh, L. H. Anh, N. H. Quang, B. T. Danh, *et al.*, "Influence of EDM Factors on Surface Roughness and Material Removal Speed When Machining SKD11 Steel," in *International Conference on Engineering Research and Applications*, 2021, pp. 517-526.

ĐẠI HỌC THÁI NGUYÊN
TRƯỜNG ĐẠI HỌC KỸ THUẬT CÔNG NGHIỆP

THUYẾT MINH
ĐỀ TÀI KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ CẤP TRƯỜNG
NĂM 2022

TÊN ĐỀ TÀI
ANH HƯỞNG CỦA CÁC THÔNG SỐ QUÁ TRÌNH ĐÉN MỠN ĐIỆN CỰC KHI
XUNG CHI TIẾT TRỤ CÓ BIÊN DẠNG ĐỊNH HÌNH LÀM BẰNG THÉP 9XC
VỚI ĐIỆN CỰC GRAPHITE
MÃ SỐ: T.2022 - B15

Chủ nhiệm đề tài: LÊ THỊ PHƯƠNG THẢO

THÁI NGUYÊN, NĂM 2022

ĐẠI HỌC THÁI NGUYÊN
TRƯỜNG ĐẠI HỌC KỸ THUẬT CÔNG NGHIỆP

THUYẾT MINH
ĐỀ TÀI KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ CẤP TRƯỜNG
NĂM 2022



TÊN ĐỀ TÀI
ẢNH HƯỞNG CỦA CÁC THÔNG SỐ QUÁ TRÌNH ĐẾN MÒN ĐIỆN CỰC KHI
XUNG CHI TIẾT TRỤ CÓ BIÊN DẠNG ĐỊNH HÌNH LÀM BẰNG THÉP 9XC
VỚI ĐIỆN CỰC GRAPHITE
MÃ SỐ:

Chủ nhiệm đề tài: **LÊ THỊ PHƯƠNG THẢO**

THÁI NGUYÊN, NĂM 2022

**THUYẾT MINH ĐỀ TÀI
KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ CẤP TRƯỜNG NĂM 2022**

1. TÊN ĐỀ TÀI <i>Anh hưởng của các thông số quá trình đèn mèn điện cực khi xung chi tiết trụ có biên dạng định hình làm bằng thép 9XC với điện cực graphite.</i>		2. MÃ SỐ		
3. LĨNH VỰC NGHIÊN CỨU		4. LOẠI HÌNH NGHIÊN CỨU		
Khoa học Tự nhiên <input type="checkbox"/>	Khoa học Kỹ thuật và Công nghệ <input type="checkbox"/>	Cơ bản <input type="checkbox"/>	Ứng dụng <input type="checkbox"/>	
Khoa học Y, dược <input type="checkbox"/>	Khoa học Nông nghiệp <input type="checkbox"/>	Triển khai <input type="checkbox"/>		
Khoa học Xã hội <input type="checkbox"/>	Khoa học Nhân văn <input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
5. THỜI GIAN THỰC HIỆN DỰ KIẾN: 12 tháng				
Từ tháng 4 năm 2022 đến tháng 4 năm 2023				
6. CHỦ NHIỆM ĐỀ TÀI				
Họ và tên: Lê Thị Phương Thảo		Học vị: Thạc sĩ		
Chức danh khoa học:		Năm sinh: 1987		
Địa chỉ cơ quan: Số 666 Đường 3-2, P. Tích Lương, TP. Thái Nguyên - Tỉnh Thái Nguyên		Điện thoại di động: 0378667828 Fax: 02083847403		
Điện thoại cơ quan:				
E-mail: lethao828@tnut.edu.vn				
7. NHỮNG THÀNH VIÊN THAM GIA NGHIÊN CỨU ĐỀ TÀI				
TT	Họ và tên	Đơn vị công tác và lĩnh vực chuyên môn	Nội dung nghiên cứu cụ thể được giao	Chữ ký
8. ĐƠN VỊ PHỐI HỢP CHÍNH				
Tên đơn vị trong và ngoài nước	Nội dung phối hợp nghiên cứu		Họ và tên người đại diện đơn vị	

18/08/2022

9. TỔNG QUAN TÌNH HÌNH NGHIÊN CỨU THUỘC LĨNH VỰC CỦA ĐỀ TÀI Ở TRONG VÀ NGOÀI NƯỚC

9.1. Trong nước (phân tích, đánh giá tình hình nghiên cứu thuộc lĩnh vực của đề tài ở Việt Nam, liệt kê danh mục các công trình nghiên cứu, tài liệu có liên quan đến đề tài được trích dẫn khi đánh giá tổng quan)

Gia công xung điện (viết tắt tiếng Anh là EDM) là phương pháp gia công không truyền thống dùng rất hiệu quả để gia công lòng khuôn dập, khuôn đúc, các chi tiết có dạng hốc vv... Phương pháp này có những ưu điểm như có thể gia công những vật liệu khó gia công mà các phương pháp gia công không truyền thống khác không làm được như thép tôi, thép hợp kim khó gia công, hợp kim cứng. EDM không tiếp xúc giữa điện cực và bề mặt chi tiết, do đó các vấn đề về tiếng ồn, rung động và ứng suất cơ học có thể được bỏ qua trong quá trình gia công. Do vậy nên đã có một số nghiên cứu về EDM ở trong nước như nghiên cứu về mòn điện cực [1, 2]. Đánh giá ảnh hưởng của các thông số quá trình đến nhám bề mặt [3]. Ảnh hưởng của các thông số đầu vào đến tốc độ bóc tách vật liệu khi gia công cũng được khảo sát trong [4]. Tuy nhiên, gia công xung điện cũng có một số nhược điểm như năng suất bóc tách vật liệu thấp; điện cực mòn nhanh và chất lượng bề mặt gia công không cao... Vì thế cho nên giải pháp EDM với dung dịch điện môi có trộn bột (tên tiếng Anh là PMEDM) đã được đề xuất. Hiện đã có một số nghiên cứu của các tác giả trong nước về PMEDM. Cụ thể như đánh giá ảnh hưởng của các thông số quá trình PMEDM đến độ nhám bề mặt sau khi gia công [5], đến tốc độ bóc tách khi gia công [6]. Bài toán tối ưu hóa đa mục tiêu quá trình PMEDM chi tiết có biên dạng hình trụ ngoài cũng đã được giải quyết trong [7], [8] và [9].

[1] Le Hong Ky, Bui Thanh Danh, Nguyen Van Cuong, Nguyen Hong Linh, Tran Thi Hong, Tran Ngoc Giang, Do Thi Tam, Vu Ngoc Pi, Multi-objective Optimization of Surface Roughness and Electrode Wear in EDM Cylindrical Shaped Parts, Materials Science Forum, Vol. 1018, pp 59-64.

[2] Tran Thi Hong, Nguyen Van Cuong, Bui Thanh Danh, Nguyen Hong Linh, Le Hong Ky, Nguyen Thi Thanh Nga, Do Thi Tam, and Vu Ngoc Pi, Effects of Input Parameters on Electrode Wear Rate When EDM Cylindrical Shaped Parts, Materials Science Forum, Vol. 1018, pp 79-83.

[3] Tran Thi Hong, Nguyen Anh Tuan, Bui Thanh Danh, Nguyen Van Cuong, Le Hong Ky, Nguyen Hong Linh, Tran Ngoc Giang, and Vu Ngoc Pi, Evaluating influences of input parameters on surface roughness in sinking EDM Cylindrical Shaped Parts, Materials Science Forum, Vol. 1018, pp 85-90.

[4] Tran Thi Hong, Nguyen Hong Linh, Bui Thanh Danh, Le Hong Ky, Vu Thi Lien, Tran Ngoc Giang, Vu Ngoc Pi, and Do Thi Tam, Influence of Process Parameters on Material Removal Rate in Electrical Discharge Machining Cylindrical Shaped Parts, Materials Science Forum, Vol. 1018, pp 91-95.

[5] Tran Thi Hong, Bui Thanh Danh, Nguyen Van Cuong, Le Hong Ky, Nguyen Hong

Linh, Nguyen Thi Thanh Nga, Tran Ngoc Giang, and Nguyen Manh Cuong, A Study on Influence of Input Parameters on Surface Roughness in PMEDM Cylindrical Shaped Parts, Materials Science Forum, Vol. 1018, 2021, pp 65-70.

[6] Nguyen Huu Quang, Le Thu Quy, Pham Duc Lam, Le Hoang Anh, Bui Thanh Danh, Nguyen Anh Tuan, Nguyen Manh Cuong, and Hoang Xuan Tu. Effect of Process Parameters on Ratio of Material Removal Rate to Electrode Wear Rate when PMEDM SKD11 Tool Steel, AMA, Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America, October 2021

[7] Trinh Kieu Tuan, Do Thi Tam, Le Thu Quy, Dang Quoc Cuong, Le Hoang Anh, Bui Thanh Danh, Nguyen Thanh Tu, Hoang Xuan Tu, Multi-Objective Optimization of PMEDM Process for Minimum Surface Roughness and Minimum Electrode Wear Rate when Machining SKD11 Tool Steel, AMA, Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America, October 2021

[8] Tran Thi Hong, Nguyen Van Cuong, Tran Ngoc Hien, Bui Thanh Danh, Le Hong Ky, Nguyen Hong Linh, Nguyen Thai Vinh, and Do Thi Tam, Multi-objective Optimization of PMEDM input factors for Processing Cylindrical Shaped Parts, Materials Science Forum, Vol. 1018, pp 71-77.

[9] Trinh Kieu Tuan, Nguyen Hong Linh, Pham Duc Lam, Le Hoang Anh, Bui Thanh Danh, Nguyen Huu Quang, Hoang Xuan Tu, and Nguyen Manh Cuong, Three-objective Optimization of PMEDM Process for Machining SKD11 Tool Steel, AMA, Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America, October 2021

9.2. Ngoài nước (phân tích, đánh giá tình hình nghiên cứu thuộc lĩnh vực của đề tài trên thế giới, liệt kê danh mục các công trình nghiên cứu, tài liệu có liên quan đến đề tài được trích dẫn khi đánh giá tổng quan)

Ảnh hưởng của các thông số quá trình đến độ mòn của điện cực đã được nghiên cứu trong [10]. Ngoài ra, ảnh hưởng của các thông số quá trình xung đến chất lượng bề mặt gia công cũng được khảo sát trong [11, 12, 13]. Thêm vào đó, công thức để xác định độ nhám bề mặt khi xung trong đó kể đến ảnh hưởng của cường độ dòng điện, điện áp khi xung, chu trình xung, thời gian xung v.v... cũng được đề xuất [13].

[10] Barenji, R.V., II.H. Pourasl, and V.M. Khojastehnezhad. Electrical discharge machining of the AISI D6 tool steel: Prediction and modeling of the material removal rate and tool wear ratio. Precision Engineering, 2016. 45: p. 435-444.

[11] Chhaniyara, P.N., et al., A Review Paper on EDM and ECM of Stainless Steel, International Journal of Engineering Development and Research, 2014. 2(4).

[12] Mascaraque-Ramirez, C. and P. Franco, Numerical modelling of surface quality in EDM processes. Procedia engineering, 2015. 132: p. 671-678.

[13] Torres, A., I. Puertas, and C. Luis, Modelling of surface finish, electrode wear and material removal rate in electrical discharge machining of hard-to-machine alloys. Precision Engineering, 2015. 40: p. 33-45.

9.3. Danh mục các công trình đã công bố thuộc lĩnh vực của đề tài của chủ nhiệm và những thành viên tham gia nghiên cứu (họ và tên tác giả; bài báo; ấn phẩm; các yếu tố về xuất bản)

a) Của chủ nhiệm đề tài

b) Của các thành viên tham gia nghiên cứu

(Những công trình được công bố trong 5 năm gần nhất)

10. TÍNH CẤP THIẾT CỦA ĐỀ TÀI

Từ các phân tích trên ta thấy mặc dù đã có nhiều nghiên cứu của các tác giả trong và ngoài nước về gia công EDM và PMEDM các chi tiết có biên dạng trụ định hình nhưng cho đến nay vẫn chưa có nghiên cứu nào về ảnh hưởng của các thông số quá trình xung điện đến mòn điện cực khi gia công chi tiết trụ có biên dạng định hình với điện cực graphite. Chính vì vậy "Ảnh hưởng của các thông số quá trình đến mòn điện cực khi xung chi tiết trụ có biên dạng định hình làm bằng thép 9XC với điện cực graphite" là đề tài có tính cấp thiết.

11. MỤC TIÊU ĐỀ TÀI

Khảo sát ảnh hưởng của các thông số quá trình đến mòn điện cực khi xung chi tiết trụ có biên dạng định hình làm bằng thép 9XC với điện cực graphite.

12. ĐỐI TƯỢNG, PHẠM VI NGHIÊN CỨU

12.1. Đối tượng nghiên cứu

- Độ mòn điện cực khi EDM chi tiết trụ có biên dạng định hình bằng điện cực graphite.

12.2. Phạm vi nghiên cứu

- Nghiên cứu công nghệ gia công tia lửa điện bề mặt trụ định hình, sử dụng điện cực graphite để gia công bề mặt trụ định hình vật liệu 90CrSi.

13. CÁCH TIẾP CẬN, PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

13.1. Cách tiếp cận

- Xác định hàm mục tiêu; sử dụng phương pháp thực nghiệm để đánh giá ảnh hưởng của các thông số đến mòn điện cực khi xung.

13.2. Phương pháp nghiên cứu

Thực nghiệm.

14. NỘI DUNG NGHIÊN CỨU VÀ TIẾN ĐỘ THỰC HIỆN

14.1. Nội dung nghiên cứu (Mô tả chi tiết những nội dung nghiên cứu của đề tài, ghi rõ nội dung là: báo cáo các bài báo bằng tiếng Anh (nếu sản phẩm là bài báo quốc tế) tại hội thảo đơn vị)

14.2. Tiến độ thực hiện

STT	Các nội dung, công việc thực hiện	Sản phẩm	Thời gian (bắt đầu-kết thúc)	Người thực hiện
1	Xây dựng thuyết minh đề tài	Báo cáo	4/2022-5/2022	Lê Thị Phương Thảo
2	Nghiên cứu tổng quan về EDM;	Báo cáo	5/2022-6/2022	Lê Thị Phương Thảo
3	- Xác định hàm mục tiêu cho bài toán tối ưu.	Báo cáo	6/2022-7/2022	Lê Thị Phương Thảo
4	- Thiết kế thí nghiệm	Báo cáo	7/2022-8/2022	Lê Thị

Lần sửa đổi: 00

				Phương Thảo
5	- Tiến hành thí nghiệm	Báo cáo	08/2022-10/2022	Lê Thị Phương Thảo
6	- Phân tích, đánh giá kết quả thí nghiệm	Báo cáo	10/2022-12/2022	Lê Thị Phương Thảo
7	- Viết báo 01 bài ISI/Scopus Q4	Bài báo	01/2023-02/2023	Lê Thị Phương Thảo
8	- Báo cáo kết quả tại hội thảo đơn vị	Báo cáo	02/2023-3/2023	Lê Thị Phương Thảo
9	- Viết báo cáo tổng kết và nghiệm thu đề tài	Báo cáo	3/2023-4/2023	Lê Thị Phương Thảo

15. SẢN PHẨM

Stt	Tên sản phẩm	Số lượng	Yêu cầu chất lượng sản phẩm (mô tả chi tiết chất lượng sản phẩm đạt được như nội dung, hình thức, các chỉ tiêu, thông số kỹ thuật,...)
I	Sản phẩm khoa học (Các công trình khoa học sẽ được công bố: sách, bài báo khoa học, ..)		
I.1	Bài báo ISI/Scopus	01	Trong danh mục ISI/Scopus Q4
...			
II	Sản phẩm đào tạo (cử nhân, thạc sĩ, tiến sĩ,...)		
2.1			
..			
III	Sản phẩm ứng dụng		
3.1			
...			

KHOA CÔNG NGHỆ

16. PHƯƠNG THỨC CHUYỂN GIAO KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ ĐỊA CHỈ ỨNG DỤNG

16.1. Phương thức chuyển giao

16.2. Địa chỉ ứng dụng

17. TÁC ĐỘNG VÀ LỢI ÍCH MANG LẠI CỦA KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

17.1. Đối với lĩnh vực giáo dục và đào tạo

17.2. Đối với lĩnh vực khoa học và công nghệ có liên quan

17.3. Đối với phát triển kinh tế-xã hội

17.4. Đối với tổ chức chủ trì và các cơ sở ứng dụng kết quả nghiên cứu

18. KINH PHÍ THỰC HIỆN ĐỀ TÀI

Tổng kinh phí: Không

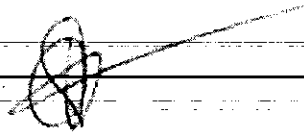
Bằng chữ:

(Dự toán chi tiết các mục chi định kèm có xác nhận của các đơn vị liên quan.)

Ngày tháng năm 2022

Chủ nhiệm đề tài

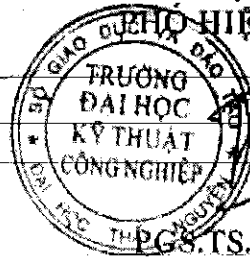
PHÒNG KHCN&HTQT


Lê Thị Phương Thảo

HỘI ĐỒNG KHOA CƠ KHÍ

KT. HIỆU TRƯỞNG
HIỆU TRƯỞNG





PGS.TS. Vũ Ngọc Pi





Influence of Process Factors on Electrode Wear Rate when EDM 90CrSi Steel using Graphite Electrodes

Tran Huu Danh¹, Le Thi Phuong Thao², Nguyen Thi Quoc Dung², Vu Trung Tuyen³ and Luu Anh Tung²

1. Vinh Long University of Technology Education, Vinh Long City 85110, Vietnam

2. Thai Nguyen University of Technology, Thai Nguyen city 251750, Vietnam

3. National Research Institute of Mechanical Engineering, Hanoi City 511309, Vietnam

Abstract: The findings of a study on the optimization of Electric Discharge Machining (EDM) procedure for processing cylindrically shaped components with graphite electrodes are presented in this paper. Tool steel 90CrSi was the material of choice for the study's workpiece. Additionally, the Electrode Wear Rate (EWR) was chosen as the optimization problem's objective function. An experiment using the Taguchi design was conducted to address this issue. Additionally, experiments were created and their outcomes were analyzed using the Minitab R19 program. The impact of the input process factors on EWR was investigated, including the powder concentration, the pulse on and off times, the servo current, and the servo voltage. Additionally, the best process variables for a minimal EWR were provided.

Key words: EDM, process factor, EWR, 90CrSi.

1. Introduction

The most popular non-traditional machining technique in the mechanical engineering sector is EDM (Electrical Discharge Machining). This technique is excellent for machining materials that are challenging to machine as well as recessed items like forgings and dies. However, this approach is constrained by its low rate of material removal and poor surface quality. These restrictions were removed by incorporating conductive powder into the dielectric solution, which changed the EDM technique into the PMEDM (Powder Mixture Electric Discharge Machining) process.

Numerous study findings on the EDM process have so far been published. How EDM process variables affected the output parameters was investigated. The influence of input parameters on SR (Surface Roughness) was presented in Refs. [1-4]. In Refs. [5-8], it was discovered how process variables affected the MRR (Material Removal Rate). The effect of input factors on the EWR (Electrode Wear Rate) was

documented in Refs. [9, 10]. The effects of process variables on machining time when processing 90CrSi tool steel were discovered in Ref. [11]. Multi-objective optimization studies of the EDM process are also reported when machining SKD11 [12, 13] and 90CrSi [14, 15].

The findings of a study on EDM process optimization when treating 90CrSi tool steel with graphite electrodes are presented in this publication. The EWR was examined in relation to the EDM process parameters. Furthermore, ideal input process variables for the lowest EWR have been suggested.

2. Experimental Work

An experiment was conducted to assess the impact of input factors on EWR during the production of 90CrSi tool steel cylindrical pieces. The input parameters and their levels are shown in Table 1. Additionally, the experiment was designed and the data were analyzed using the Taguchi method in Minitab R19 software. Furthermore, for this experiment, the

design L18 ($6^1 + 3^4$) was used. A Sodick A30 EDM, 90CrSi tool steel samples, graphite electrodes, 100 nm SiC powder, and Diel MS 7000 dielectric solution were

utilized in the experimental setup, which is depicted in Fig. 1. The experimental design and EWR results are displayed in Table 2.

Table 1 Input factors and their levels.

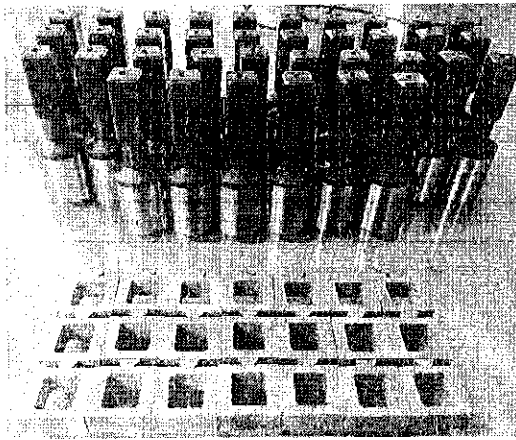
No.	Input factors	Code	Unit	Level					
				1	2	3	4	5	6
1	Servo current	IP	A	3.5	3.5	7.5	9	11.5	13.5
2	Servo voltage	SV	V	4	5	6	-	-	-
3	Pulse on time	T_{on}	μs	8	12	16	-	-	-
4	Pulse off time	T_{off}	μs	8	12	16	-	-	-
5	Electrode type	TOG	-	HK0	HK15	HK20	-	-	-

Table 2 Experimental plan, EWR and S/N.

No.	IP	SV	T_{on}	T_{off}	TOG	EWR (mg/min)				
						Run 1	Run 2	Run 3	S/N	Mean
1	3.5	4	8	8	HK0	2.28	2.33	2.69	-7.75	2.43
2	3.5	5	12	12	HK15	0.73	0.78	0.93	1.72	0.82
3	3.5	6	16	16	HK20	0.61	0.38	0.75	4.42	0.58
4	5.5	4	8	12	HK15	1.64	1.86	1.49	-4.45	1.66
5	5.5	5	12	16	HK20	0.97	1.11	0.97	-0.17	1.02
6	5.5	6	16	8	HK0	3.26	3.38	2.95	-10.10	3.19
7	7.5	4	12	8	HK20	1.70	2.01	1.37	-4.69	1.70
8	7.5	5	16	12	HK0	5.54	5.19	5.91	-14.89	5.55
9	7.5	6	8	16	HK15	2.20	2.73	2.52	-7.93	2.48
10	9.5	4	16	16	HK15	0.92	1.05	0.70	0.89	0.89
11	9.5	5	8	8	HK20	0.60	0.89	0.93	1.74	0.80
12	9.5	6	12	12	HK0	2.47	2.21	2.65	-7.78	2.44
13	11.5	4	12	16	HK0	3.55	3.62	3.26	-10.83	3.47
14	11.5	5	16	8	HK15	1.63	1.75	1.46	-4.18	1.61
15	11.5	6	8	12	HK20	0.94	1.04	0.92	0.29	0.97
16	13.5	4	16	12	HK20	1.69	1.92	1.56	-4.75	1.72
17	13.5	5	8	16	HK0	4.64	4.78	4.38	-13.26	4.60
18	13.5	6	12	8	HK15	2.55	2.30	2.79	-8.14	2.55



(a) EDM machine



(b) Samples and electrodes.

Fig. 1 Experimental setup.

3. Results and Analysis

The Minitab R19 software and the ANOVA (Analysis of Variance) method were utilized to assess the impact of the input process factors on EWR. Given that the EWR is as small as better, the subsequent prerequisite must be met:

$$S/N = -10 \log_{10} \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right) \quad (1)$$

Tables 3, 4, and Fig. 2 display the average EWR (\overline{EWR}) as determined by ANOVA. The results show that the electrode type TOG has the biggest impact on EWR (63.97%), followed by the servo voltage (1.95%), servo current (30.42%), pulse on time (0.64%), and pulse off time (0.23%).

It is evident from Table 4 and Fig. 2 that IP has a significant impact on EWR. When IP is 3.5 A, the EWR is lowest. The EWR drops, grows, and reaches the least value at level 2 (12 μ s) as the pulse production time

increases. The short T_{on} shortens the time it takes for the solvent to ionize. As a result, there is less of an impact from ions and electrons on the electrode surface, which lowers EWR and produces an unstable machining process. EWR rises when T_{on} is large because the spark's energy increases.

EWR increases with T_{off} , with level 1 (8 μ s) having the lowest value. This could be because of the short T_{off} , which prevents the dielectric solution from fully recovering and results in unstable machining. The spark discharge at this point only lasts a very brief period of time, which causes the EWR to drop. The dielectric solution is more stable the larger the T_{off} . As a result, the amount of ions and electrons acting on the electrode surface increases, raising the EWR.

EWR rises with increasing I_p , with level 1 (4 A) having the lowest value. The spark's energy grows as I_p increases, which is why EWR will also increase.

Table 3 ANOVA's results for S/N .

Analysis of variance for means							
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P	C (%)
IP	5	9.7503	9.7503	1.9501	8.72	0.028	30.42
SV	2	0.6246	0.6246	0.3123	1.40	0.347	1.95
T_{on}	2	0.2052	0.2052	0.1026	0.46	0.662	0.64
T_{off}	2	0.0746	0.0746	0.0373	0.17	0.852	0.23
TOG	2	20.5016	20.5016	10.2508	45.82	0.002	63.97
Residual error	4	0.8948	0.8948	0.2237			2.79
Total	17	32.0512					100.00
Model summary							
	S	R-Sq	R-Sq(adj)				
	0.4730	97.21%	88.13%				

Table 4 Effect order of process factors on S/N .

Response table for means						
Level	IP	SV	T_{on}	T_{off}	TOG	
1	1.277	1.980	2.159	2.048	3.615	
2	1.958	2.400	1.998	2.192	1.668	
3	3.241	2.035	2.258	2.175	1.131	
4	1.379					
5	2.018					
6	2.956					
Delta	1.964	0.420	0.259	0.145	2.484	
Rank	2	3	4	5	1	

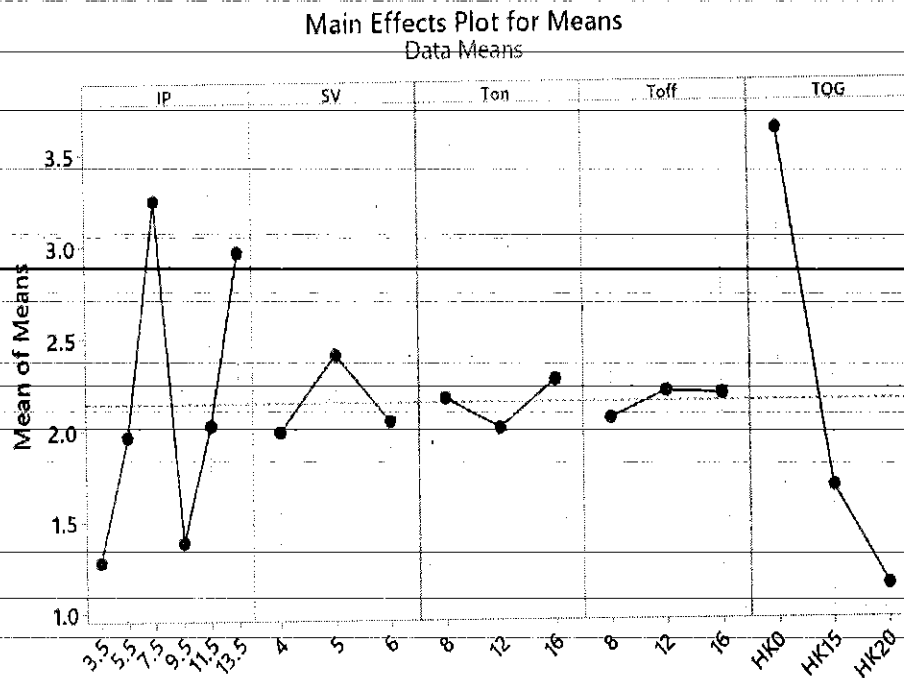


Fig. 2 Effect of process factors on \overline{EWR} .

EWR rises with increasing SV, then falls and reaches its minimum value at level 1 (4 V). The explanation is that when SV rises, so does spark energy, which raises EWR. But if SV is raised too high, the energy will be split up into ions and electrons, which will lower EWR.

Furthermore, it is evident that the electrode material significantly affects EWR. The electrode with the lowest EWR is HK20. The smaller and finer grain size of HK20 contributes to its decreased wear rate.

+) Determining optimum input factors:

As can be seen in Table 2, experiment number 3 yielded the lowest EWR, $EWR = 0.58 \text{ mg/min}$ (highest S/N ratio = 4.42) with the following input parameters: pulse electrode is HK20; $T_{on} = 16 \mu\text{s}$; $T_{off} = 16 \mu\text{s}$; $IP = 3.5 \text{ A}$; $SV = 6 \text{ V}$. This indicates that noise has the least effect and this experiment has the greatest impact on EWR. To get the least EWR, these parameters are not feasible. Consequently, in order to determine an appropriate amount of input parameters, it is important to assess the variation of the S/N ratio of EWR.

From Table 4 and Fig. 2, it can be seen that electrode HK20 (TOG3), $T_{on} = 12 \mu\text{s}$ (T_{on2}), $T_{off} = 8 \mu\text{s}$ (T_{off1}), IP

= 3.5 A (IP1), $SV = 4 \text{ V}$ (SV1) are the values and levels of the input parameters which give the largest S/N ratio. This is a reasonable level and value of input parameters to achieve the smallest EWR.

+) Predicting EWR value:

Table 4 demonstrates that SV, T_{on} and T_{off} have little effect on EWR. Accordingly, the levels of the parameters that have a significant impact on the S/N of the wear rate determine the anticipated average wear rate (\overline{EWR}_{OP}) value using the following formula:

$$\overline{EWR}_{OP} = \overline{TOG}_3 + \overline{IP}_1 - \overline{T}_{EWR} \quad (2)$$

in which, \overline{TOG}_3 is the average EWR corresponding to TOG at level 3; \overline{IP}_1 is the average MRR corresponding to IP at level 3; \overline{T}_{MRR} is the average MRR of the entire experiment. And we have:

$$\begin{aligned} \overline{T}_{EWR} &= \frac{\sum_{i=1}^{18} MRR_I + \sum_{i=1}^{18} MRR_{II} + \sum_{i=1}^{18} MRR_{III}}{54} \quad (3) \\ &= 2.14 \text{ mg/min} \end{aligned}$$

Substituting the values of the input parameters into Eq. (2) we have:

$$\overline{EWR}_{OP} = 0.27 \text{ mg/min}$$

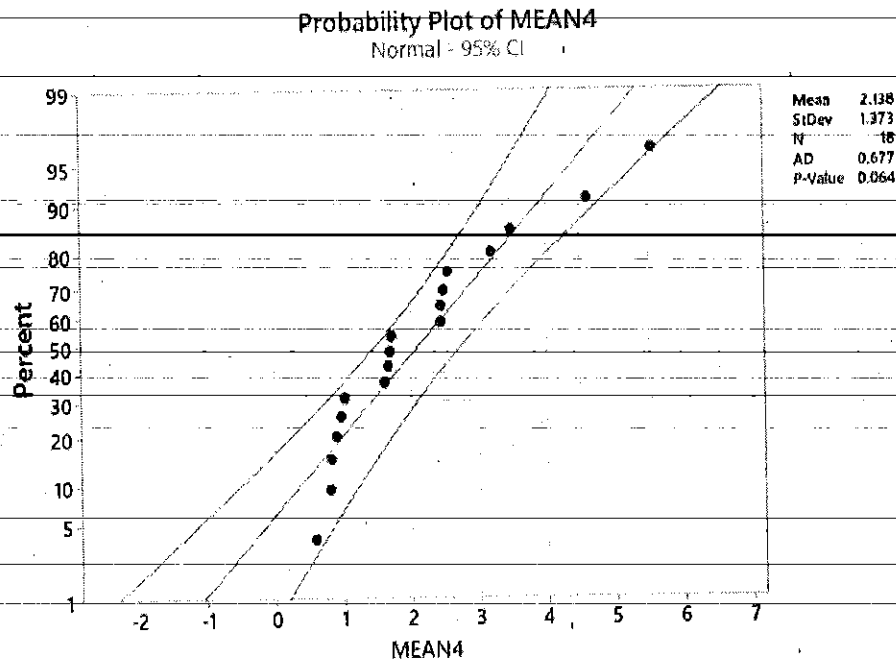


Fig. 3 Probability plot of MEAN.

An evaluation experiment was conducted with the input parameters: electrode HK20, $T_{on} = 12 \mu s$, $T_{off} = 8 \mu s$, $IP = 3.5 A$, $SV = 4 V$. The results were obtained average EWR after 3 experimental time is 0.478 mg/min.

Using Minitab R19 and the Anderson-Darling approach, the appropriateness of the experimental model with the suggested ideal process parameters was assessed. The experimental points, represented by the blue dots in Fig. 3, were found to be within the 95% significance level of the results. Furthermore, the p -value of 0.064 is higher than $\alpha = 0.05$. This demonstrates that the applied empirical model is in line with the significance level mentioned above.

4. Conclusions

The optimization study conducted on EDM cylindrical shaped parts manufactured of 90CrSi tool steel in order to obtain the lowest EWR is presented in this paper. Graphite was the electrode material employed in this investigation. Additionally, five input parameters were selected for the study: the servo

voltage, servo current, the pulse on time, the pulse off time, and the electrode type. These included counting the powder concentrate. An assessment was conducted on the impact of the input process parameters on the S/N ratio. Electrode type TOG was shown to have the most effect on EWR (63.97%), with servo voltage (1.95%), servo current (30.42%), pulse on time (0.64%), and pulse off time (0.23%) following closely behind. Furthermore, SV has a negligible effect on EWR (0.12%). Additionally, the best input values for obtaining the lowest EWR were suggested.

Acknowledgment

This work was supported by Thai Nguyen University of Technology.

References

- [1] Ojha, K., Garg, R., and Singh, K. 2011. "Effect of Chromium Powder Suspended Dielectric on Surface Roughness in PMEDM Process." *Tribology-Materials, Surfaces & Interfaces* 5 (4): 165-71.
- [2] Ahmad, S., Lajis, M. A., Haq, R. H. A., Arifin, A. M. T., Rahman, M. N. A., Haw, H. D., Abdullah, H., and Hassan,

- M. F. 2018. "Surface Roughness and Surface Topography of Inconel 718 in Powder Mixed Dielectric Electrical Discharge Machining (PMEDM)." *International Journal of Integrated Engineering* 10 (5): 181.
- [3] Tran, T.-H., Nguyen, M.-C., Luu, A.-T., Do, T.-V., Le, T.-Q., Vu, T.-T., Tran, N.-G., Do, T.-T., and Vu, N.-P. 2020. "Electrical Discharge Machining with SiC Powder-Mixed Dielectric: An Effective Application in the Machining Process of Hardened 90CrSi Steel." *Machines* 8 (3): 36.
- [4] Nguyen, H. Q., Nguyen, M. C., Le, T. Q., Nguyen, T. T., Tran, Q. H., Nguyen, T. H., Vu, N. P., and Hoang, X. T. 2021. "Influence of PMEDM Factors on Surface Roughness When Processing SKD11 Steel." In *International Conference on Engineering Research and Applications*. New York: Springer.
- [5] Long, B. T., Phan, N. H., Cuong, N., and Jatti, V. S. 2016. "Optimization of PMEDM Process Parameter for Maximizing Material Removal Rate by Taguchi's Method." *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 87: 1929-39.
- [6] Cuong, N. M., Tung, L. A., Danh, B. T., Nguyen, C., Hong, T. T., Linh, N., Thu, Q. L., and Vu, N. 2020. "Influence of Input Factors on Material Removal Rate in PMEDM Cylindrical Shaped Parts with Silicon Carbide Powder Suspended Dielectric." *Key Engineering Materials* 861: 129-35.
- [7] Hong, T. T., Tam, D. T., Vinh, D. T., Tung, L. A., Quy, L. T., Muthuramalingam, T., Pi, V. N., and Cuong, N. M. 2021. "Optimization of PMEDM Parameters for Improving MMR in Machining 90CrSi Steel—A Taguchi Approach." In *Advances in Engineering Research and Application: Proceedings of the International Conference on Engineering Research and Applications, ICERA 2020*. New York: Springer.
- [8] Anh, L. H., Tu, H. X., Quy, L. T., Lam, P. D., Tuan, T. K., Giang, T. N., Cuong, N. M., and Pi, V. N. 2021. "Impact of Input Parameters on Material Removal Speed When PMEDM SKD11 Tool Steel." In *International Conference on Engineering Research and Applications*. New York: Springer.
- [9] Anh, L. H., Cuong, N. M., Thinh, T. N. H., Tuan, T. K., Tuan, N. A., Hoang, T. T., Giang, T. N., and Tu, N. T. 2021. "Effects of EDM Parameters on Electrode Wear Rate When Machining SKD11 Steel." In *International Conference on Engineering Research and Applications*. New York: Springer.
- [10] Nguyen, A. T., Do, T. T., Le, T. Q., Dang, Q. C., Trinh, K. T., Nguyen, T. T., Vu, N. P., and Hoang, X. T. 2021. "Optimization of PMEDM Parameters for Minimizing Electrode Wear Rate When Processing SKD11 Steel." In *International Conference on Engineering Research and Applications*. New York: Springer.
- [11] Hong, T. T., Linh, N., Nguyen, C., Danh, B. T., Ky, L. H., Thu, Q. L., Cuong, N. M., Vu, N., and Tam, D. T. 2021. "Effect of Process Parameters on Machining Time in PMEDM Cylindrical Shaped Parts with Silicon Carbide Powder Suspended Dielectric." In *Materials Science Forum*. Bâch, SZ: Trans-Tech Publ.
- [12] Nguyen, H. Q., Nguyen, M. C., Le, T. Q., Tran, N. H. T., Le, H. A., Tran, N. G., Vu, N. P., and Hoang, X. T. 2021. "Multi-objective Optimization of PMEDM Process for Minimum Surface Roughness and Maximum Material Removal Speed when Processing SKD11 Steel." In *International Conference on Engineering Research and Applications*. New York: Springer.
- [13] Nguyen, A. T., Do, T. T., Le, T. Q., Tran, N. H. T., Le, H. A., Tran, N. G., Vu, N. P., and Hoang, X. T. 2022. "Multi-objective Optimization of PMEDM Process for Maximum Material Removal Speed and Minimum Electrode Wear Rate When Machining SKD11 Steel." In *Advances in Engineering Research and Application: Proceedings of the International Conference on Engineering Research and Applications, ICERA 2021*. New York: Springer.
- [14] Quang, N. H., Tu, H. X., Luan, N. H., Huy, T. Q., Cuong, N. M., Hung, L. X., and Pi, V. N. 2023. "Multi-objective Optimization of PMEDM of Cylindrical Parts with Graphite Electrodes." In *Emerging Trends in Mechanical and Industrial Engineering: Select Proceedings of ICETMIE 2022*. New York: Springer, pp. 677-88.
- [15] Hong, T. T., Cuong, N. M., Ngoc, N. D., Tung, L. A., Giang, T. N., Quy, L. T., Tu, N. T., and Tam, D. T. 2021. "Multi-objective Optimization of Process Parameters during Electrical Discharge Machining of Hardened 90CrSi Steel by Applying Taguchi Technique with Grey Relational Analysis." In *Advances in Engineering Research and Application: Proceedings of the International Conference on Engineering Research and Applications, ICERA 2020*. New York: Springer.