

**BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO
ĐẠI HỌC THÁI NGUYÊN**

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

**NGHIÊN CỨU NÂNG CAO HIỆU QUẢ QUÁ TRÌNH GIA CÔNG
XUNG ĐIỆN ĐỊNH HÌNH VỚI DUNG DỊCH ĐIỆN MÔI CÓ TRỘN
BỘT NANO**

Mã số: B2019-TNA-03

Chủ nhiệm đề tài: TS. Đỗ Thị Tám

Thái Nguyên, tháng 5-2021

**BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO
ĐẠI HỌC THÁI NGUYÊN**

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

**NGHIÊN CỨU NÂNG CAO HIỆU QUẢ QUÁ TRÌNH GIA CÔNG
XUNG ĐIỆN ĐỊNH HÌNH VỚI DUNG DỊCH ĐIỆN MÔI CÓ TRỘN
BỘT NANO**

Mã số: B2019-TNA-03

Xác nhận của tổ chức chủ trì

Chủ nhiệm đề tài

TS. Đỗ Thị Tám

Thái Nguyên, tháng 5-2021

DANH SÁCH NHỮNG THÀNH VIÊN THAM GIA NGHIÊN CỨU ĐỀ TÀI:

stt	Họ và tên	Đơn vị công tác	Nhiệm vụ
1	TS. Đỗ Thị Tám	Trường Đại học Kỹ thuật Công nghiệp - ĐHTN	Chủ nhiệm đề tài
2	PGS.TS. Vũ Ngọc Pi	Trường Đại học Kỹ thuật Công nghiệp - ĐHTN	Thành viên chính
3	TS. Lê Xuân Hưng	Trường Đại học Kỹ thuật Công nghiệp - ĐHTN	Thành viên chính
4	NCS. Hoàng Xuân Tứ	Trường Đại học Kỹ thuật Công nghiệp - ĐHTN	Thành viên chính
5	NCS. Nguyễn Mạnh Cường	Trường Đại học Kỹ thuật Công nghiệp - ĐHTN	Thành viên chính
6	TS. Lê Anh Tùng	Trường Đại học Kỹ thuật Công nghiệp - ĐHTN	Thành viên chính
7	NCS. Lý Việt Anh	Trường Đại học Kỹ thuật Công nghiệp - ĐHTN	Thành viên chính

ĐƠN VỊ PHỐI HỢP CHÍNH:

1. Doanh nghiệp tư nhân Cơ khí chính xác Thái Hà: Số 234, Tổ 11, Phường Phú Xá, Thành phố Thái Nguyên, tỉnh Thái Nguyên

MỤC LỤC

MỤC LỤC.....	i
THÔNG TIN KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU	v
1. Thông tin chung:.....	v
2. Mục tiêu:.....	v
3. Tính mới và sáng tạo:	v
4. Kết quả nghiên cứu:.....	v
5. Sản phẩm:	v
5.2. Sản phẩm đào tạo:	vi
6. Phương thức chuyển giao, địa chỉ ứng dụng, tác động và lợi ích mang lại của kết quả nghiên cứu:.....	vii
6.3. Tác động và lợi ích mang lại của kết quả nghiên cứu:.....	vii
INFORMATION ON RESEARCH RESULTS	ix
1.General information:	ix
2. Objectives:.....	ix
3. Creativeness and innovativeness:.....	ix
4. Research results:	ix
5.1. Scientific products:.....	x
MỞ ĐẦU	1
CHƯƠNG 1:.....	3
TỔNG QUAN VỀ GIA CÔNG XUNG ĐIỆN VÀ GIA CÔNG XUNG ĐIỆN CÓ TRỘN BỘT	3
1.1. Giới thiệu về gia công xung điện.....	3
1.2. Thực trạng của gia công xung điện và gia công xung điện có trộn bột.....	5
1.2.1 Ảnh hưởng của vật liệu điện cực đến chất lượng bề mặt xung	6
1.2.2 Ảnh hưởng của chế độ xung đến chất lượng bề mặt gia công	8
1.2.3 Ảnh hưởng của dung dịch điện môi đến chất lượng bề mặt gia công.....	9
1.3. Kết luận chương 1	14
CHƯƠNG 2:.....	16
NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM XÁC ĐỊNH CÁC THÔNG SỐ TỐI ƯU KHI GIA CÔNG XUNG ĐIỆN THÉP 90CrSi VỚI DUNG DỊCH ĐIỆN MÔI CÓ TRỘN BỘT SiC NHẪM ĐẠT NHÁM BỀ MẶT NHỎ NHẤT.....	16
2.1. Mục đích thí nghiệm.....	16
2.2. Setup thí nghiệm.....	16
2.3. Thiết kế thí nghiệm.....	21
2.4. Ảnh hưởng của các thông số đến nhám bề mặt Ra	24
2.5. Xác định bộ thông số chế độ xung hợp lý	27
2.6. Tính toán dự đoán giá trị nhám bề mặt.....	28
2.7. Kết luận.....	30
CHƯƠNG 3:.....	32

THỰC NGHIỆM XÁC ĐỊNH ẢNH HƯỞNG CỦA CÁC THÔNG SỐ CÔNG NGHỆ ĐẾN NĂNG SUẤT BÓC TÁCH VẬT LIỆU KHI XUNG THÉP 90CrSi VỚI VIỆC CÓ SỬ DỤNG BỘT NANO	32
3.1. Mục đích thí nghiệm.....	32
3.2. Setup thí nghiệm.....	32
3.3. Phương pháp quy hoạch thực nghiệm	32
3.4. Kết quả và nhận xét	35
3.5. Kết luận chương 3	40
CHƯƠNG 4:.....	41
TỐI ƯU HÓA ĐA MỤC TIÊU CÁC THÔNG SỐ CÔNG NGHỆ KHI XUNG THÉP 90CrSi QUA TÔI BẰNG PHÂN TÍCH QUAN HỆ XÁM TRONG PHƯƠNG PHÁP TAGUCHI.	41
4.1. Đặt vấn đề.....	41
4.2. Setup thí nghiệm.....	41
4.3. Phương pháp quy hoạch thực nghiệm	41
4.4. Kết luận chương 4	50
CHƯƠNG 5.....	51
TỐI ƯU HÓA ĐA MỤC TIÊU MÒN ĐIỆN CỰC VÀ NĂNG SUẤT BÓC TÁCH KHI XUNG THÉP 90CrSi QUA TÔI SỬ DỤNG BỘT NANO BẰNG PHÂN TÍCH QUAN HỆ XÁM TRONG PHƯƠNG PHÁP TAGUCHI	69
5.1. Đặt vấn đề.....	69
5.2. Setup Thí nghiệm	69
5.3. Tiến hành thí nghiệm.....	68
5.4. Kết luận.....	70
KẾT LUẬN VÀ ĐỀ XUẤT	616
1. Kết luận.....	616
2. Đề xuất.....	616
TÀI LIỆU THAM KHẢO	637

DANH MỤC BẢNG BIỂU

Stt	Tên bảng	Trang
1	Bảng 2.1. Các mức thí nghiệm của các thông số đầu vào C_p , T_{on} , T_{off} , IP và SV	37
2	Bảng 2.2 Kế hoạch thí nghiệm và kết quả thí nghiệm xung theo các thông số đầu vào C_p , T_{on} , T_{off} , IP và SV	37
3	Bảng 2.3. Mục tiêu đánh giá khi xung thông qua nhám bề mặt	40
4	Bảng 2.4. ANOVA giá trị \bar{R}_a sau khi xung	41
5	Bảng 2.5. Mức độ ảnh hưởng của các yếu tố đến \bar{R}_a khi xung	41
6	Bảng 2.6. ANOVA tỉ số S/N của \bar{R}_a khi xung	43
7	Bảng 2.7. Mức độ ảnh hưởng của các yếu tố đến tỉ số S/N của R_a khi xung	43
8	Bảng 3.1. Mức và các thông số đầu vào	49
9	Bảng 3.2. Kế hoạch thí nghiệm theo thiết kế Taguchi L18 ($2^1 3^4$)	49
10	Bảng 3.3. Kết quả trị số MRR và tỉ số S/N của chỉ tiêu	51
11	Bảng 3.4. Thứ tự ảnh hưởng của các thông số đến trị số MRR trung bình.....52	53
12	Bảng 3.5. ANOVA cho giá trị trị số MRR trung bình	53
13	Bảng 3.6. Thứ tự ảnh hưởng của các thông số đến tỉ số S/N của MRR trung bình	54
14	Bảng 3.7. Kết quả tính toán và thực nghiệm	56
15	Bảng 4.1. Các mức thí nghiệm của các thông số đầu vào C_p , T_{on} , T_{off} , IP và SV	58
16	Bảng 4.2: Kế hoạch và kết quả của thí nghiệm L18	59
17	Bảng 4.3 Các giá trị của S/N, Z_{ij} và $\Delta_j(k)$	61
18	Bảng 4.4. Hệ số quan hệ xám và các mức độ quan hệ xám $\bar{\gamma}$	62
19	Bảng 4.5. Mức độ ảnh hưởng của các thông số đến hệ số quan hệ xám	63
20	Table 4.6. Kết quả phân tích ANOVA của các mức quan hệ xám	65
21	Bảng 4.7. Kết quả so sánh giữa tính toán và thực nghiệm	66

DANH MỤC CÁC CHỮ VIẾT TẮT

AISI - American Iron and Steel Institute

ANOVA - Analysis of Variance

CNC - Computer Numerical Control

Cp – Nồng độ bột

EDM - Electro-Discharge machining

IP - Cường độ dòng phóng điện

PMEDM - Powder Mixed Electro-Discharge Machining

RSM - Response Surface Methodology

SiC – các bit silic

SV - Hiệu điện thế

Ton - Thời gian phát xung

Toff - Thời gian ngừng phát xung

THÔNG TIN KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

1. Thông tin chung:

- Tên đề tài: Nghiên cứu nâng cao hiệu quả quá trình gia công xung điện định hình với dung dịch điện môi có trộn bột nano.
- Mã số: B2019-TNA-03
- Chủ nhiệm đề tài: TS. Đỗ Thị Tám
- Tổ chức chủ trì: Đại học Thái Nguyên
- Thời gian thực hiện: từ tháng 1/2019 đến tháng 12/2020.

2. Mục tiêu:

- Mục tiêu của đề tài là nghiên cứu nâng cao hiệu quả quá trình gia công xung điện định hình ngược với dung dịch điện môi có trộn bột nano.

3. Tính mới và sáng tạo:

Tính mới: Đã tìm ra được chế độ xung tối ưu khi xung điện với dung dịch điện môi có trộn bột SiC với 2 hàm đơn mục tiêu gồm độ nhám bề mặt nhỏ nhất và tốc độ bóc tách lớn nhất và hàm đa mục tiêu với 2 hàm đơn mục tiêu kể trên.

Tính sáng tạo: Đã gia công được chày dập viên định hình bằng phương pháp xung điện với dung dịch điện môi có trộn bột.

4. Kết quả nghiên cứu:

- Đã lựa chọn loại bột nano để trộn vào dung dịch điện môi trong gia công xung điện định hình ngược (chi tiết gia công có dạng trụ định hình);
- Đã xác định được chế độ xung hợp lý để đạt nhám bề mặt nhỏ nhất. Cụ thể: nồng độ bột nano $C_p = 4\text{g/l}$, thời gian phát xung $T_{on} = 6\mu\text{s}$, thời gian ngừng phát xung $T_{off} = 21\mu\text{s}$, cường độ dòng phóng điện $IP = 8\text{A}$, hiệu điện thế xung $SV = 4\text{V}$.
- Chế độ xung tối ưu nhằm đạt năng suất bóc tách lớn nhất là: $T_{on} = 14\mu\text{s}$ (A2); $C_p = 0,06\text{g/l}$ (B3) $T_{off} = 14\mu\text{s}$ (C1); $IP = 12\text{A}$ (D3); $SV = 3\text{V}$ (E1).
- Chế độ xung tối ưu nhằm đạt cả nhám bề mặt nhỏ nhất và năng suất bóc tách vật liệu lớn nhất (hàm đa mục tiêu) là: $C_p = 4,0\text{g/lit}$, $T_{on} = 6\mu\text{s}$, $T_{off} = 30\mu\text{s}$, $IP = 12\text{A}$, $SV = 5\text{V}$.

5. Sản phẩm:

5.1. Sản phẩm khoa học:

- Đã công bố được 06 bài báo quốc tế (04 bài trong danh mục Scopus):
 1. Vu Ngoc Pi, Do Thi Tam, Nguyen Manh Cuong, Thi-Hong Tran (2020), “Multi-Objective Optimization of PMEDM Process Parameters for Processing Cylindrical Shaped Parts using Taguchi Method and Grey Relational Analysis”, International

Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development(IJMPERD), Vol. 10, Issue 2, Apr 2020, 669-678. Scopus Q3.

2. Tran Thi Hong, Do Thi Tam, Do, The Vinh, Luu Anh Tung, Le Thu Quy, Thangaraj Muthuramalingam, Vu Ngoc Pi, Nguyen Manh Cuong (2021) “Optimization of PMEDM Parameters for Improving MMR in Machining 90CrSi Steel - A Taguchi Approach”, In: Sattler KU., Nguyen D.C., Vu N.P., Long B.T., Puta H. (eds) Advances in Engineering Research and Application. ICERA 2020. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 178. Springer. Scopus.

3. Tran Thi Hong, Nguyen Manh Cuong, Tran Ngoc Giang, Nguyen Anh Tuan, Le Thu Quy, Thangaraj Muthuramalingam, Ngoc Pi Vu and Do Thi Tam (2020), “Multi-response optimization in sinking EDM process using Taguchi-Grey method”, In: Sattler KU., Nguyen D.C., Vu N.P., Long B.T., Puta H. (eds) Advances in Engineering Research and Application. ICERA 2020. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 178. Springer, Cham. Scopus.

4. Tran Thi Hong, Nguyen Manh Cuong, Nguyen Dinh Ngoc, Luu Anh Tung, Tran Ngoc Giang, Le Thu Quy, Nguyen Thanh Tu, Do Thi Tam (2021), “Multi-objective Optimization of Process Parameters During Electrical Discharge Machining of Hardened 90CrSi Steel by Applying Taguchi Technique with Grey Relational Analysis” In: Sattler KU., Nguyen D.C., Vu N.P., Long B.T., Puta H. (eds) Advances in Engineering Research and Application. ICERA 2020. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 178. Springer. Scopus.

5. Tran Thi Hong, Nguyen Manh Cuong, Le Thu Quy, Nguyen Dinh Ngoc, Nguyen Thanh Tu, Tran Ngoc Giang, Bui Thanh Danh, and Do Thi Tam (2020), “Applying Grey Relational Analysis to Optimize Machining Parameters during PMEDM Process of Hardened 90CrSi steels”, Technology Reports of Kansai University, Volume 62, Issue 10, November, 2020.

6. Tran Thi Hong, Do Thi Tam, Nguyen Dinh Ngoc, Nguyen Manh Cuong, Le Thu Quy, Nguyen Thanh Tu, Tran Ngoc Giang, and Bui Thanh Danh (2020), “Optimize Machining Parameters using Taguchi Method Combined to Grey Relational Analysis for EDM Hardened 90CrSi Steel”, Technology Reports of Kansai University, Volume 62, Issue 11, December, 2020, 6475-6485.

5.2. Sản phẩm đào tạo:

01 NCS đã bảo vệ được 03 chuyên đề NCS:

Chuyên đề 1: Tổng quan về phương pháp gia công bằng tia lửa điện (9 điểm).

Chuyên đề 2: Ảnh hưởng của các thông số công nghệ đến độ nhám bề mặt khi gia công xung điện thép 90CrSi với dung dịch điện môi có trộn bột SiC (9 điểm).

Chuyên đề 3: Tối ưu hóa các thông số công nghệ khi xung thép 90CrSi qua tôi có sử dụng bột nano bằng phân tích quan hệ xám trong phương pháp Taguchi (9 điểm).

5.3. Sản phẩm ứng dụng:

1. Quy trình công nghệ gia công chày dập viên định hình bằng phương pháp xung điện với dung dịch điện môi có trộn bột nano.

2. Các công thức chế độ xung tối ưu khi xung thép 90CrSi với dung dịch điện môi có trộn bột:

- Chế độ xung tối ưu để đạt năng suất bóc tách lớn nhất: nồng độ bột nano $C_p = 3,5$ g/l, thời gian phát xung $T_{on} = 6\mu s$, thời gian ngừng phát xung $T_{off} = 30 \mu s$, cường độ dòng phóng điện $IP = 12A$, hiệu điện thế xung $SV = 5V$.

- Chế độ xung hợp lý để đạt nhám bề mặt nhỏ nhất. Cụ thể: nồng độ bột nano $C_p = 4g/l$, thời gian phát xung $T_{on} = 6\mu s$, thời gian ngừng phát xung $T_{off} = 21\mu s$, cường độ dòng phóng điện $IP = 8A$, hiệu điện thế xung $SV = 4V$.

- Chế độ xung tối ưu để đạt đa mục tiêu nhằm vừa đạt độ nhám bề mặt nhỏ nhất và năng suất bóc tách lớn nhất: nồng độ bột nano $C_p = 6,0$ g/l, thời gian phát xung $T_{on} = 6\mu s$, thời gian ngừng phát xung $T_{off} = 30 \mu s$, cường độ dòng phóng điện $IP = 12A$, hiệu điện thế xung $SV = 5V$.

3. Sản phẩm thật: 20 cặp chày định hình.

6. Phương thức chuyển giao, địa chỉ ứng dụng, tác động và lợi ích mang lại của kết quả nghiên cứu:

6.1. Phương thức chuyển giao:

Kết quả nghiên cứu được chuyển giao cho Doanh nghiệp tư nhân Cơ khí chính xác Thái Hà tiếp tục nghiên cứu phát triển sản phẩm thương mại.

6.2. Địa chỉ ứng dụng:

Doanh nghiệp tư nhân Cơ khí chính xác Thái Hà: Số 234, Tổ 11, Phường Phú Xá, Thành phố Thái Nguyên, tỉnh Thái Nguyên.

6.3. Tác động và lợi ích mang lại của kết quả nghiên cứu:

+ Đối với lĩnh vực giáo dục và đào tạo

- Đề tài nghiên cứu có ý nghĩa gắn kết giữa lý thuyết về phương pháp gia công tiên tiến với thực tế ứng dụng trong sản xuất công nghiệp của nội dung đề tài.

- Tạo điều kiện cho các nghiên cứu sinh, các học viên cao học có được mô hình nghiên cứu và thử nghiệm thực tế về thiết bị công nghệ và đối tượng nghiên cứu của đề tài. Góp phần đào tạo thạc sỹ và NCS tiến sỹ.

- Kết quả nghiên cứu của đề tài góp phần vào quá trình hiện đại hóa quá trình sản xuất công nghiệp trong nước. Mang lại hiệu quả kinh tế cao, góp phần nâng cao

năng suất và chất lượng sản phẩm của doanh nghiệp chế tạo chày cối dập thuốc viên.

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

- Kết quả nghiên cứu của đề tài đã đóng góp vào việc cải tiến quy trình công nghệ, nâng cao năng suất và chất lượng gia công chày dập định hình.
- Kết quả nghiên cứu của đề tài cũng là cơ sở, tư liệu cho việc nghiên cứu cải tiến, nâng cao năng suất và chất lượng của gia công PMEDM nói chung.

+ Đối với phát triển kinh tế - xã hội

- Khi áp dụng kết quả nghiên cứu của đề tài đã nâng cao năng suất và nâng cao chất lượng sản phẩm khi chế tạo chày cối dập viên định hình.
- Góp phần thực hiện hiện đại hóa sản xuất công nghiệp; góp phần giảm yêu cầu đòi hỏi thợ bậc cao trong quy trình sản xuất.
- Kết quả nghiên cứu của đề tài đã đóng góp vào việc nghiên cứu cải tiến quy trình công nghệ, nâng cao chất lượng hệ thống, tăng tính cạnh tranh cho các nhà sản xuất sản phẩm thương mại.

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

* Đối với đơn vị chủ trì (Đại học Thái Nguyên):

- Tạo điều kiện phát triển cho các nhà khoa học trong tổ chức;
- Tăng cường sự hợp tác trong nghiên cứu khoa học và chuyển giao công nghệ;
- Gia tăng các sản phẩm nghiên cứu được chuyển giao, nhằm xây dựng và khẳng định uy tín, thương hiệu của tổ chức;

* Đơn vị phối hợp (Doanh nghiệp tư nhân Cơ khí chính xác Thái Hà):

- Tăng cường sự hợp tác trong nghiên cứu khoa học và chuyển giao công nghệ;
- Tiếp nhận được các kết quả nghiên cứu để tiếp tục nghiên cứu phát triển sản phẩm thương mại;

Tổ chức hoạt động chuyển giao công nghệ và sản xuất thiết bị công nghệ.

Ngày 15 tháng 4 năm 2021

Tổ chức chủ trì

Chủ nhiệm đề tài

TS. Đỗ Thị Tám

INFORMATION ON RESEARCH RESULTS

1. General information:

- Project title: Research to improve the efficiency of electrical discharge machining with the use of dielectric solution mixed with nano powder.
- Code number: B2019-TNA-03
- Coordinator: Dr. Do Thi Tam
- Implementing institution: Thai Nguyen University
- Duration: from January 2019 to December 2020.

2. Objectives:

- The objective of the research is to study to improve the efficiency of the electrical discharge machining with the use of dielectric solution mixed with nano powder.

3. Creativeness and innovativeness:

Innovativeness: Determination of optimum process parameter for two single objective – minimum surface roughness and maximum material removal rate and for multi-objective - getting both the minimum surface roughness and the maximum material removal rate.

Creativeness: The shaped tablet punches have been machined by means of electrical discharge machining with dielectric fluid mixed with powder.

4. Research results:

- Selection of the type of nano powder to use in the electrical discharge machining with the use of dielectric solution mixed with nano powder.
- Finding optimum process parameter for getting the minimum surface roughness. They are: the powder concentration $C_p = 4\text{g/l}$; the pulse on time $T_{on} = 6\mu\text{s}$; the pulse-off-time $T_{off} = 21\mu\text{s}$; the pulse current $IP=8\text{A}$, and the servo voltage $SV=4\text{V}$.
- Finding optimum process parameter for getting the maximum material removal rate: $T_{on} = 14\mu\text{s}$ (A2); $C_p = 0,06\text{ g/l}$ (B3) $T_{off} = 14\mu\text{s}$ (C1); $IP = 12\text{ A}$ (D3); $SV = 3\text{ V}$ (E1).

- Finding optimum process parameter for getting both the minimum surface roughness and the maximum material removal rate: $C_p = 4,0$ g/lit, $T_{on} = 6$ μ s, $T_{off} = 30$ μ s, $IP = 12$ A, $SV = 5$ V.

5. Products

5.1. Scientific products:

- Published 06 Scopus papers:

1. Vu Ngoc Pi, Do Thi Tam, Nguyen Manh Cuong, Thi-Hong Tran, Multi-Objective Optimization of PMEDM Process Parameters for Processing Cylindrical Shaped Parts using Taguchi Method and Grey Relational Analysis, International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development (IJMPERD), Vol. 10, Issue 2, Apr 2020, 669-678. Scopus Q3.
2. Tran Thi Hong, Do Thi Tam, Do, The Vinh, Luu Anh Tung, Le Thu Quy, Thangaraj Muthuramalingam, Vu Ngoc Pi, Nguyen Manh Cuong, (2021) Optimization of PMEDM Parameters for Improving MMR in Machining 90CrSi Steel - A Taguchi Approach. In: Sattler KU., Nguyen D.C., Vu N.P., Long B.T., Puta H. (eds) Advances in Engineering Research and Application. ICERA 2020. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 178. Springer. Scopus.
3. Tran Thi Hong, Nguyen Manh Cuong, Tran Ngoc Giang, Nguyen Anh Tuan, Le Thu Quy, Thangaraj Muthuramalingam, Ngoc Pi Vu and Do Thi Tam, Multi-response optimization in sinking EDM process using Taguchi-Grey method, In: Sattler KU., Nguyen D.C., Vu N.P., Long B.T., Puta H. (eds) Advances in Engineering Research and Application. ICERA 2020. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 178. Springer, Cham. Scopus.
4. Tran Thi Hong, Nguyen Manh Cuong, Nguyen Dinh Ngoc, Luu Anh Tung, Tran Ngoc Giang, Le Thu Quy, Nguyen Thanh Tu, Do Thi Tam, (2021) Multi-objective Optimization of Process Parameters During Electrical Discharge Machining of Hardened 90CrSi Steel by Applying Taguchi Technique with Grey Relational Analysis. In: Sattler KU., Nguyen D.C., Vu N.P., Long B.T., Puta H. (eds) Advances in Engineering Research and Application. ICERA 2020. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 178. Springer. Scopus.

5. Tran Thi Hong, Nguyen Manh Cuong, Le Thu Quy, Nguyen Dinh Ngoc, Nguyen Thanh Tu, Tran Ngoc Giang, Bui Thanh Danh, and Do Thi Tam, Applying Grey Relational Analysis to Optimize Machining Parameters during PMEDM Process of Hardened 90CrSi steels, Technology Reports of Kansai University, Volume 62, Issue 10, November, 2020.

6. Tran Thi Hong, Do Thi Tam, Nguyen Dinh Ngoc, Nguyen Manh Cuong, Le Thu Quy, Nguyen Thanh Tu, Tran Ngoc Giang, and Bui Thanh Danh, Optimize Machining Parameters using Taguchi Method Combined to Grey Relational Analysis for EDM Hardened 90CrSi Steel, Accepted for Technology Reports of Kansai University.

5.2. Training products:

01 PhD student has defended 03 PhD topics:

Topic 1: An overview of the electric discharge machining method (9 points).

Topic 2: Effects of process parameters on surface roughness when electric discharge machining of 90CrSi steel with dielectric solution mixed with SiC powder (9 points).

Topic 3: Optimizing process parameters when EDM 90CrSi steel with the use of nano powder by analyzing gray relation in Taguchi method (9 points).

5.3. Applied products:

1. Technological process for manufacturing shaped tablet punches.

2. Formula for determining optimum process parameter when PMEDM 90CrSi steel:

- For getting the maximum removal rate. They are: the powder concentration $C_p = 3.5$ g/l; the pulse on time $T_{on} = 6\mu s$; the pulse-off-time $T_{off} = 30 \mu s$; the pulse current $I_p=12A$, and the servo voltage $SV=5$ V.

- For getting the minimum surface roughness. They are: the powder concentration $C_p = 4\text{g/l}$; the pulse on time $T_{on} = 6\mu\text{s}$; the pulse-off-time $T_{off} = 21\mu\text{s}$; the pulse current $IP=8\text{A}$, and the servo voltage $SV=4\text{ V}$.

- Finding optimum process parameter for getting both the minimum surface roughness and the maximum material removal rate: $C_p = 6.0\text{ g/lit}$, $T_{on} = 6\ \mu\text{s}$, $T_{off} = 30\ \mu\text{s}$, $IP = 12\ \text{A}$, $SV = 5\ \text{V}$.

3. Real products: 20 pairs of shaped tablet punches.

6. Transfer alternatives, application institutions, impacts and benefits of research results:

+ For the field of education and training:

- The research topic has meaningful links between the theory of advanced machining methods with practical applications in industrial production of the topic.

- Create favorable conditions for graduate students and graduate students to have actual research and testing models on technological equipment and research objects of the topic. Contribute to the training of masters and PhD students.

- The research results of the topic contribute to the modernization of the domestic industrial production process. Bring about high economic efficiency, contribute to improve productivity and product quality of the enterprise manufacturing pill mortar and stamping tablets.

+ For related science and technology fields:

- The research results of the topic have contributed to improving the technological process, improving productivity and quality of forming stamping pestle.

- The research results of the topic are also the basis and materials for the research to improve, improve productivity and quality of PMEDM processing in general.

+ For socio-economic development:

- Applying the research results of the topic has improved productivity and improved product quality when manufacturing shaped pellets.

- Contribute to the modernization of industrial production; Contributing to reducing the need for advanced craftsmen in the production process.

- The research results of the topic have contributed to the research to improve the technological process, improve the quality of the system, and increase the competitiveness for manufacturers of commercial products.

+ For organizations presiding over and establishments applying research results

* For Thai Nguyen University:

- Facilitate the development of scientists in the organization;

- Strengthening cooperation in scientific research and technology transfer;

- Increase transferred research products, in order to build and confirm the reputation and brand of the organization;

* For collaboration unit (Thai Ha Precision Engineering Private Enterprise):

- Strengthening cooperation in scientific research and technology transfer;

- To receive research results to continue researching and developing commercial products;

- Organizing technology transfer activities and manufacturing technological equipment;

MỞ ĐẦU

Gia công xung điện (hay xung bằng tia lửa điện) là phương pháp gia công không truyền thống được sử dụng rộng rãi để gia công các vật liệu khó gia công, các chi tiết có hình dáng phức tạp, đặc biệt là các lòng, lõi của khuôn dập và khuôn đúc... Phương pháp này cho phép gia công được các vật liệu dẫn điện khó gia công, các loại thép, thép hợp kim sau khi tôi. Thêm vào đó, phương pháp này có chi phí dụng cụ gia công thấp, rung động, tiếng ồn trong quá trình gia công thấp. Đặc biệt, quá trình xung điện không gây ứng suất dư trên bề mặt chi tiết gia công.

Bên cạnh các ưu điểm nêu trên, gia công xung điện cũng tồn tại một số hạn chế như: Năng suất bóc tách vật liệu thấp; điện cực bị mòn khá nhanh và chất lượng bề mặt gia công không cao. Để hạn chế các nhược điểm này, trong những năm gần đây, nhiều giải pháp đã được đưa ra nhằm cải thiện các chỉ tiêu kinh tế, kỹ thuật của quá trình xung điện. Trong những giải pháp đã được đề xuất, gia công xung điện với dung dịch điện môi có trộn bột dẫn điện (bột micro/nano) (PMEDM) là biện pháp cho kết quả rất khả quan. Biện pháp này đã và đang được nhiều nhà khoa học trên thế giới và trong nước quan tâm.

Việc trộn bột nano vào dung dịch điện môi đã làm tăng đáng kể năng suất gia công cũng như tăng độ cứng tế vi và độ bền mòn của bề mặt gia công. Thêm vào đó, trộn bột vào dung dịch điện môi làm giảm độ mòn điện cực. Hơn thế nữa, trộn bột vào dung dịch điện môi có thể làm thay đổi đáng kể tính chất cơ lý của bề mặt gia công. Nó làm tăng độ bền mòn và khả năng chống oxy hóa do nhiệt của chi tiết gia công.

Từ các phân tích trên ta thấy, việc trộn bột micro/nano vào dung dịch điện môi khi xung cho phép khắc phục được một số hạn chế của gia công xung điện, nâng cao được năng suất và tăng chất lượng bề mặt gia công. Chính vì vậy, cho đến nay nghiên cứu về gia công xung điện sử dụng điện môi có trộn bột micro/nano đã và đang trở thành mối quan tâm của các nhà nghiên cứu trong và ngoài nước. Tuy nhiên, cho đến nay chưa có công trình nghiên cứu nào về xung điện với dung dịch điện môi có trộn bột khi xung định hình ngược (chi tiết gia công có dạng trụ định hình).

Trên thực tế sản xuất, có nhiều chi tiết ở dạng trụ định hình như chày dập thuốc viên định hình, chày đột lỗ thép tấm định hình vv... Các chi tiết này thuộc dạng chi tiết khó gia công, đặc biệt khi chúng có hình dáng bất kỳ mà biên dạng không lồi (như chày dập thuốc viên hình trái tim, hình Đô-rê-mon, hình khúc xương, chày đột lỗ thép hình các loại vv...) (các chi tiết có biên dạng lồi có thể dễ dàng gia công bằng phương pháp mài). Các chi tiết dạng này cho đến nay trên thế giới thường được gia công bằng phay tốc độ siêu cao (micro milling) còn ở nước ta thường được gia công bằng phương pháp nguội. Gia công bằng micro milling cho năng suất không cao, đặc biệt là với chi tiết đã tôi cứng còn gia công bằng phương pháp nguội cả năng suất và chất lượng gia công đều thấp. Do vậy, đề xuất giải pháp gia công chi tiết dạng trụ định hình bằng phương pháp xung định hình ngược (xung tạo ra chi tiết gia công có dạng trụ định hình - như trên đã nêu) là giải pháp rất hiệu quả vì nó cho độ chính xác và năng suất cao. Như đã nêu trên, việc trộn bột vào dung dịch điện môi giúp tăng năng suất, tăng chất lượng gia công cũng như tăng tuổi bền của điện cực và dẫn đến làm giảm giá thành gia công. Tuy nhiên, cho đến nay chưa có nghiên cứu nào về PMEDM khi xung định hình ngược trong dung môi có trộn bột micro/nano. Chính vì thế, ***"Nghiên cứu nâng cao hiệu quả quá trình gia công xung điện định hình với dung dịch điện môi có trộn bột nano"*** là cấp thiết.

CHƯƠNG 1

TỔNG QUAN VỀ GIA CÔNG XUNG ĐIỆN VÀ GIA CÔNG XUNG ĐIỆN CÓ TRỘN BỘT

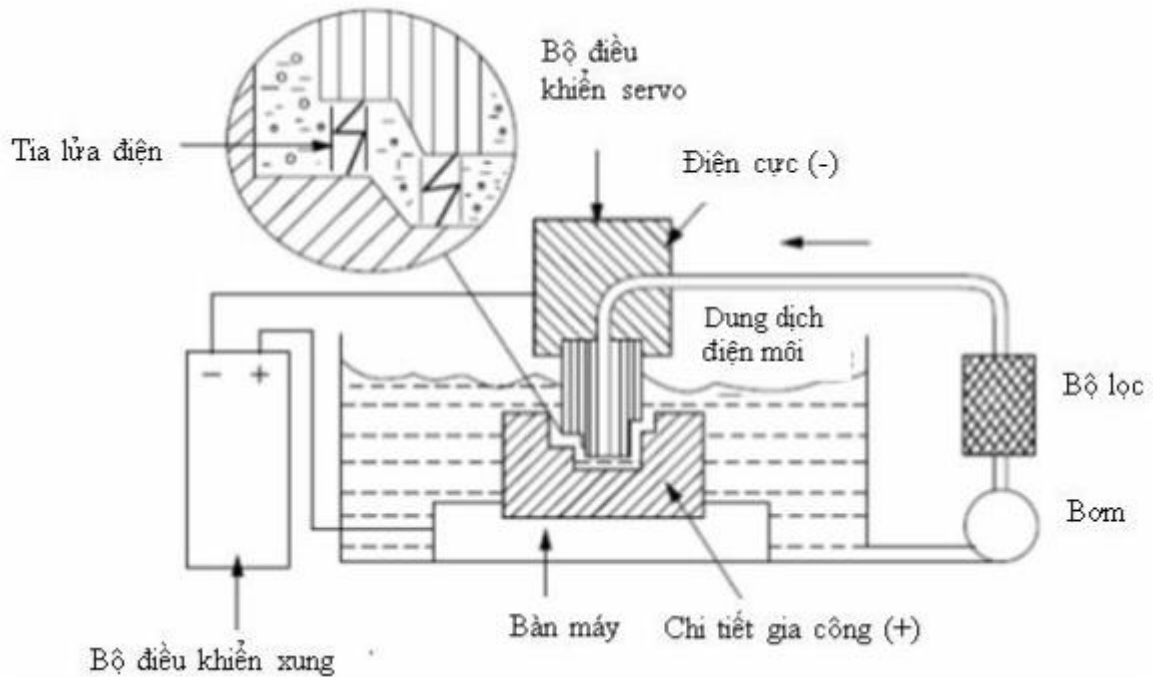
1.1. Giới thiệu về gia công xung điện

Gia công xung điện hay gia công bằng tia lửa điện (tiếng Anh là Electrical Discharge Machining – viết tắt là EDM) là phương pháp gia công không truyền thống phổ biến nhất [1]. Năm 1770, Joseph Priestly (nhà khoa học người Anh) là người đầu tiên phát hiện ra hiện tượng ăn mòn vật liệu do phóng điện gây ra. Hiện tượng này được cho là nguồn gốc của gia công xung điện. Sau nhiều nỗ lực cố gắng, hai vợ chồng B. R. Lazarenko và N. I. Lazarenko của Nga đã nghiên cứu thành công sự hình thành các tia lửa điện trong gia công kim loại và đã đưa ra sơ đồ cấu trúc của máy EDM vào năm 1943. Loại mạch này đã liên tục cải tiến và được ứng dụng rộng rãi trong bộ nguồn cung cấp của máy EDM.

Những năm 1950, tại Mỹ đã sử dụng mạch điện điều khiển servo để điều chỉnh thành công khoảng cách giữa điện cực và phôi khi xung điện [2]. Tuy nhiên, chỉ tới những năm 1980 với sự xuất hiện điều khiển servo của máy CNC thì hiệu quả của gia công xung điện mới được khẳng định. Với sự cải tiến liên tục, các máy xung điện ngày nay đã làm việc rất ổn định và chính xác và được sử dụng rất rộng rãi, đặc biệt khi gia công các chi tiết dạng hốc, lõm như khuôn nhựa, khuôn dập vv...

Trong gia công xung điện, dụng cụ là điện cực có hình dạng bề mặt là âm bản của bề mặt gia công (hình 1.1). Khe hở phóng điện giữa điện cực và chi tiết gia công được điều khiển tự động động cơ servo gắn với điện cực. Dung dịch điện môi được sử dụng làm môi trường phóng điện đồng thời lấy đi các hạt phoi vụn và vật liệu bị phân hủy trong quá trình gia công.

Trong gia công xung điện, quá trình bóc tách vật liệu được dựa trên hiệu ứng ăn mòn xung điện do xuất hiện các tia lửa điện giữa điện cực và chi tiết gia công (Hình 1.2). Các tia lửa điện này tác dụng riêng rẽ nhờ chất điện môi. Trong gia công xung điện, việc bóc tách vật liệu xảy ra nhờ sự phóng điện đã tạo ra nhiệt độ rất cao làm nóng chảy và bốc hơi hai điện cực.

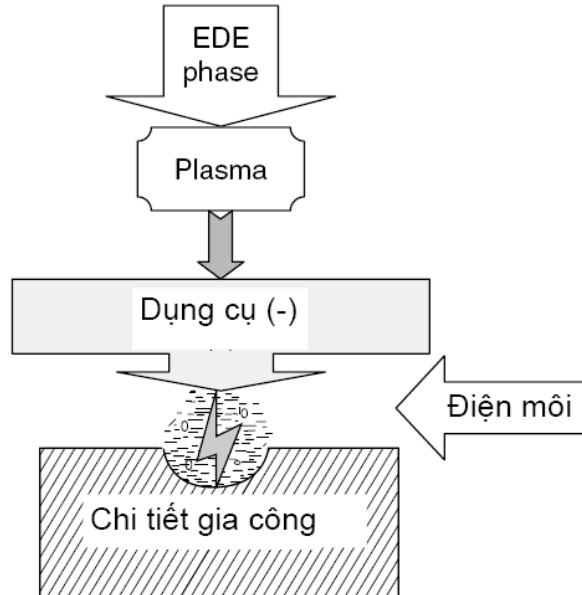


Hình 1.1: Sơ đồ gia công xung điện [3]

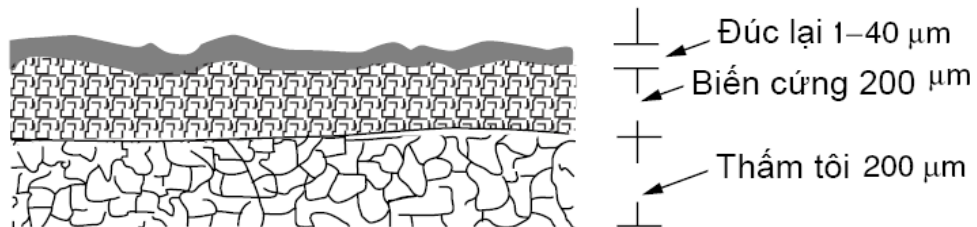
Do tác động của xung áp nên có hiện tượng ngắt dòng trong chất điện phân trong một kênh có bán kính $10\ \mu\text{m}$ [3]. Hiện tượng ngắt dòng tăng do các electron phát ra từ catốt gia tốc về phía anốt và do các electron nằm rải rác trong khe hở giữa điện cực và phôi va chạm với các nguyên tử neutron của chất điện môi tạo nên các ion dương và các electron. Khi các electron và các ion dương tiến đến anốt và catốt, động năng của chúng sẽ chuyển hoá thành nhiệt năng. Nhiệt độ này lên đến 8000 đến 12000°C và chúng toả ra nhiệt lượng đến $10^{17}\ \text{W/m}^2$ [3]. Do sự phóng điện xảy ra trong thời gian rất ngắn (từ $0,1$ đến $2000\ \mu\text{s}$), nên nhiệt độ của anốt và catốt tăng cục bộ đến nhiệt độ cao hơn điểm sôi của chúng. Do sự bay hơi của các điện cực, áp suất của kênh plasma tăng nhanh đến khoảng $200\ \text{atm}$ ởphe. Áp suất cao này đã chống lại sự bay hơi của kim loại bị nung nóng.

Trong gia công xung điện, tổ chức kim loại của lớp bề mặt chi tiết gia công bị thay đổi do nhiệt độ khi phóng điện rất cao (từ 8000 đến 12000°C). Bên cạnh đó, bề mặt gia công tồn tại một lớp đúc lại do bề mặt được tráng một lớp mỏng kim loại. Lớp đúc lại này thường có độ dày từ 1 đến $25\ \mu\text{m}$ [3]. Lớp này được hình thành do một phần kim loại nóng chảy không được cuốn ra khỏi vùng gia công nên đã được tôi và tạo nên một lớp bề mặt rất cứng. Chiều sâu của lớp thấm tôi này từ

50 -100 μm tùy theo xung thô hay tinh [3]. Các vùng ảnh hưởng nhiệt khi gia công xung điện được biểu diễn trên Hình 1.3.



Hình 1.2: Các phần tử của gia công xung điện [3]



Hình 1.3: Vùng ảnh hưởng nhiệt khi gia công xung điện [3]

Độ chính xác của gia công xung điện phụ thuộc vào nhiều thông số như vật liệu gia công, hình dáng kết cấu bề mặt gia công, độ mòn của điện cực, khe hở phóng điện giữa dụng cụ và bề mặt gia công vv... Gia công bằng xung điện dễ dàng đạt được độ chính xác $\pm 0.05\text{mm}$. Đặc biệt có thể đạt được dung sai $\pm 0.003\text{mm}$ với các máy xung CNC hiện đại [3].

1.2. Thực trạng của gia công xung điện và gia công xung điện có trộn bột

Gia công xung điện là gia công không truyền thống phổ biến nhất. Chính vì vậy cho đến nay đã có khá nhiều nghiên cứu về gia công xung điện. Các nghiên cứu

này tập trung vào các vấn đề như ảnh hưởng của vật liệu điện cực, ảnh hưởng của chế độ gia công và ảnh hưởng của dung dịch điện môi đến chất lượng và năng suất khi xung.

1.2.1 Ảnh hưởng của vật liệu điện cực đến chất lượng bề mặt xung

Gia công xung điện thường được dùng để chế tạo bề mặt các khuôn có hình dạng phức tạp, độ chính xác cao như các khuôn ép nhựa, khuôn đúc, hoặc các lỗ không thông [3, 4, 5]. Trong gia công xung điện, các điện cực đã được tạo hình sẵn để tạo hình (âm bản) của nó lên bề mặt chi tiết gia công. Việc lựa chọn vật liệu điện cực thích hợp khi xung là rất quan trọng vì nó quyết định đến độ chính xác, năng suất cũng như chất lượng bề mặt xung.

Trong xung điện, các loại vật liệu thường dùng làm điện cực gồm có đồng đỏ, đồng graphite, đồng vonfram, graphite, bạc vonfram, đồng thau, vonfram vv... Trong các loại vật liệu nói trên thì đồng đỏ và graphite là hai loại vật liệu được dùng phổ biến hơn cả.

Đồng đỏ có khả năng chịu mòn tốt, độ dẫn điện cao và giá thành rẻ. Tuy nhiên, gia công đồng đỏ không dễ như gia công graphite hay đồng thau. Mặc dù vậy nó vẫn được dùng nhiều gần như graphite, nhất là khi gia công các bit vonfram. Đồng đỏ thường dùng để gia công tinh với Ra nhỏ hơn $0,5 \mu\text{m}$ [3].

Graphite dùng để làm điện cực thường có cỡ hạt từ 0,001 đến 0,1 mm [3]. Vật liệu này dễ dàng gia công bằng các phương pháp truyền thống như tiện, phay, bào, nguội vv... Thêm vào đó, có thể dễ dàng tạo các lỗ dẫn chất điện môi trong lòng điện cực bằng vật liệu graphite. Tuy nhiên, graphite có nhược điểm là nó tạo bụi bẩn, ô nhiễm môi trường khi gia công nên cần có hệ thống hút chân không khi gia công vật liệu này.

Đồng vonfram và bạc vonfram là các vật liệu được tạo ra bằng cách ép bột vonfram và thiêu kết sau đó cho thấm thấu với đồng hay bạc. Điện cực làm bằng các vật liệu này có tính gia công khá tốt nhưng chúng không tạo hình được sau khi đã thiêu kết. Các vật liệu này rất đắt tiền (đắt gấp 18 đến 100 lần so với vật liệu

đồng đỏ) nên thường chỉ được dùng trong trường hợp đặc biệt như gia công các rãnh sâu (điều kiện bôi trơn và thoát phoi kém) [3].

Đồng graphite được tạo ra bằng cách thấm thấu đồng đỏ vào graphite. Điện cực làm bằng loại vật liệu này có độ bền uốn cao hơn điện cực graphite nên hay được dùng khi điện cực có tiết diện mỏng. Đồng graphite có tính dẫn điện tốt nhưng tính chịu mòn kém hơn điện cực graphite nguyên chất cùng cỡ hạt [3]. Điện cực đồng graphite thích hợp khi xung các bit vonfram.

Đồng thau rẻ và dễ gia công nhưng có độ chịu mòn kém. Loại vật liệu này thường dùng làm điện cực để khoan các lỗ đặc biệt nhỏ vì nó cho phép độ mòn điện cực cao như khi khoan môi để cắt dây tia lửa điện.

Điện cực vonfram được coi là vật liệu điện cực có tính mòn tốt nhất. Loại vật liệu này thường dùng để gia công các lỗ nhỏ ($<0,2$ mm) khi không thể tạo các lỗ bôi trơn bên trong điện cực. Nhược điểm của loại vật liệu này là khả năng gia công kém, tạo hình điện cực khó và giá thành cao [3].

Trong [6] đã khảo sát ảnh hưởng của các thông số quá trình đến khả năng gia công của điện cực làm bằng đồng thau khi gia công Inconel X750. Các thông số quá trình gồm điện áp đánh lửa, cường độ dòng điện xung và thời gian xung Ton đã được khảo sát. Thêm vào đó, độ mòn của điện cực đồng thau và độ nhám bề mặt chi tiết gia công cũng đã được đánh giá.

Trong [7] đã trình bày kết quả nghiên cứu độ mòn của các vật liệu điện cực khác nhau khi gia công thép không gỉ SS-202. Các vật liệu điện cực dùng trong nghiên cứu này gồm đồng thau, đồng thanh và đồng – vonfram. Kết quả nghiên cứu cho thấy trong các vật liệu điện cực nêu trên thì đồng – vonfram có độ mòn nhỏ nhất; tiếp đó là đồng thau và đồng thanh. Bên cạnh đó, nghiên cứu cũng chỉ ra rằng các điện cực làm bằng đồng – vonfram có độ mòn góc không đáng kể.

Trong [8] nghiên cứu độ mòn điện cực hình trụ với vật liệu đồng thau khi xung thép làm khuôn D-3 với hai chỉ tiêu là khối lượng và chiều dài của điện cực. Trong nghiên cứu này, các biến đầu vào của quá trình gồm cường độ dòng điện,

thời gian phát xung và thời gian ngừng xung. Kết quả nghiên cứu cho thấy điện cực bằng đồng thau cho tuổi thọ cao mà không cần sửa mới lại bề mặt.

Trong [9] đã đề xuất một tỉ số mòn mới cho điện cực khi xung. Theo đó, một lớp tinh thể đa phương của các bon với các pha ngẫu nhiên màu đen xuất hiện và bám chặt trên điện cực. Nghiên cứu cũng chỉ ra lớp này không chỉ có các bon mà còn có các nguyên tố khác như sắt, crom, vanadi và molip đen. Đa số các nguyên tố này ở dạng các bon tương đương là nguyên nhân chính gây nên giảm mòn cho điện cực. Bên cạnh đó, các tác giả cũng đề xuất biện pháp giảm mài mòn của điện cực bằng cách lựa chọn các tham số đầu vào của quá trình xung hợp lý.

Trong [10] đã nghiên cứu ảnh hưởng của vật liệu điện cực đến chất lượng bề mặt gia công và độ mòn của điện cực khi xung với điện cực đồng và graphite. Từ kết quả nghiên cứu, vật liệu điện cực bằng đồng cho phép độ mòn điện cực nhỏ hơn điện cực graphite nhưng năng suất gia công thấp hơn. Bên cạnh đó, vật liệu graphite cho năng suất bóc tách cao, độ mòn và tốc độ mòn lớn và độ nhám bề mặt lớn.

1.2.2 Ảnh hưởng của chế độ xung đến chất lượng bề mặt gia công

Cho đến nay đã có nhiều nghiên cứu về ảnh hưởng của các tham số quá trình khi xung đến chất lượng bề mặt gia công. Các nghiên cứu đã khảo sát ảnh hưởng của chế độ xung đến chất lượng bề mặt và năng suất bóc tách khi gia công các loại vật liệu khác nhau như thép dụng cụ Inconel X750 [6], SS-202 [7], EN31 [11], Inconel 625 [12], Tungsten Carbide [13], thép dụng cụ HPM38 [14], AISI 4340 [15], Al 7075/B 4 3 c/Gr Hybrid Composite [16], thép hợp kim thấp EN24 [17], thép dụng cụ AISI D6 [18] vv...

Trong [15] và [17] đã nêu kết quả nghiên cứu xác định công thức xác định tốc độ bóc tách và độ nhám bề mặt khi xung thép AISI 4340. Ngoài ra, trong [17] còn xây dựng công thức tính độ mòn của điện cực.

Cho đến nay đã có nhiều nghiên cứu về ảnh hưởng của vật liệu điện cực đến chất lượng gia công. Hầu hết các nghiên cứu tập trung cho điện cực bằng đồng thau [1, 6-9]. Bên cạnh đó cũng có các nghiên cứu về điện cực đồng thanh [7], đồng -

volfram [7] và graphite [9].

Việc nghiên cứu ảnh hưởng của các thông số quá trình đến chất lượng gia công đã được thực hiện bằng nhiều phương pháp khác nhau như phương pháp bề mặt chỉ tiêu (Response Surface Methodology - RSM) [6, 15, 16], phương pháp nghiệm toàn phần (full factorial design) [18] hay phương pháp Taguchi [19].

1.2.3 Ảnh hưởng của dung dịch điện môi đến chất lượng bề mặt gia công

Dung dịch điện môi trong gia công xung điện được sử dụng để thực hiện một số chức năng sau [20]:

- Là môi trường cách ly giữa điện cực và chi tiết gia công;
- Dẫn nhiệt, làm mát cho điện cực và chi tiết gia công;
- Làm thoát phoi sinh ra trong quá trình gia công.

Để thực hiện được tốt các chức năng trên, dung dịch điện môi cần phải đáp ứng các yêu cầu sau:

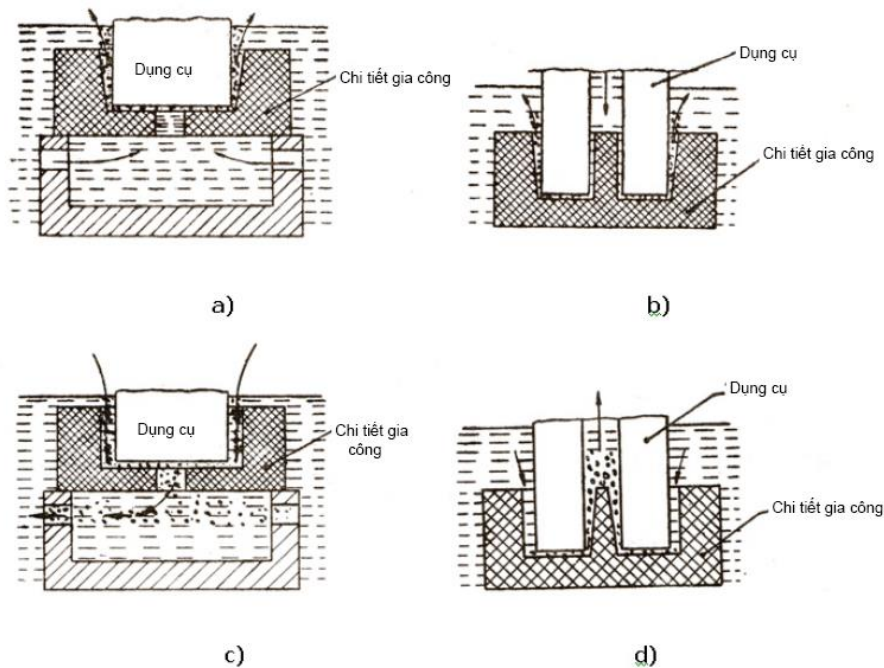
- Có độ bền cách điện cao;
- Dẫn nhiệt tốt;
- Ít bị phân huỷ, bay hơi do tia lửa điện;
- Có khả năng khử ion nhanh;
- Có độ nhớt thấp để dễ điền đầy khe hở giữa điện cực và chi tiết gia công và dễ dàng thoát phoi;
- Giá thành rẻ.

Dung dịch điện môi hay sử dụng là dầu hoả vì nó cách điện tốt, độ nhớt nhỏ và có khả năng điều khiển khe hở gia công tốt. Tuy nhiên, dầu hoả dễ bị cháy và hay mang theo phoi kim loại. Do đó khi dùng chất điện môi là dầu hoả cần phải có bộ lọc tốt. Ngoài ra còn có các loại dung dịch điện môi khác như Kerosene, dầu

silicone và dung dịch điện môi cơ sở nước.

Trong gia công xung điện, lưu thông dung dịch điện môi ảnh hưởng lớn đến quá trình gia công. Lưu thông dung dịch điện môi tốt làm tăng độ chính xác gia công, tăng hiệu suất của máy và làm giảm thời gian cũng như chi phí gia công. Khi thiết kế lưu thông chất điện môi cần chú ý như sau [20]:

- Nên lưu thông dung dịch điện môi qua lòng điện cực;
- Nhiều lỗ lưu thông dung dịch điện môi nhỏ tốt hơn một lỗ lớn. Lưu thông qua nhiều lỗ lưu thông nhỏ cho phép phân phối dung dịch tốt hơn. Thêm vào đó, việc loại bỏ các bột kim loại bám trong các lỗ lưu thông cũng dễ dàng hơn.
- Nên tạo dòng chảy dung dịch điện môi ổn định và bao trùm cả điện cực và chi tiết gia công.
- Nên tránh các điểm chết (không có dung dịch lưu thông) do áp suất từ một vật cản nào đó ở phía đối diện tạo nên.
- Nên có lỗ thông cho các chi tiết dạng hàm ếch để tránh sự tập trung của các khí dễ nổ.



Hình 1.4: Các phương pháp lưu thông chất điện môi [20]

Hình 1.4 trình bày một số sơ đồ thông dụng về lưu thông dung dịch điện môi. Chất điện môi được lưu thông qua lỗ khoan xuyên qua chi tiết với hai kiểu bao gồm lưu thông từ dưới lên (hình 1.4a) và lưu thông từ trên xuống (hình 1.4c). Ngoài ra, chất điện môi cũng có thể lưu thông qua lỗ khoan suốt qua lòng điện cực với lưu thông từ trong lỗ khoan ra ngoài bể chứa dung dịch (hình 1.4b) hoặc lưu thông từ ngoài bể chứa vào lòng lỗ khoan (hình 1.4c). Lưu thông dung dịch điện môi ảnh hưởng lớn đến sự thành công của gia công xung điện. Lưu thông dung dịch điện môi tốt làm tăng độ chính xác gia công, tăng hiệu suất của máy và làm giảm thời gian cũng như chi phí gia công.

Gia công xung điện có nhiều ưu điểm so với gia công truyền thống như: dụng cụ (điện cực) không cần độ cứng cao hơn độ cứng của chi tiết gia công; không gây biến dạng chi tiết gia công do điện cực và phôi không tiếp xúc nhau trong suốt quá trình gia công. Bên cạnh đó, năng lượng nhiệt dùng để bóc tách vật liệu gia công không lớn nên ít gây biến dạng nhiệt cho chi tiết gia công. Thêm vào đó, dạng gia công này 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 của máy khá đơn giản.

Bên cạnh đó, gia công xung điện cũng có một số hạn chế như: Nó chỉ gia công được các loại vật liệu dẫn điện. Bên cạnh đó, năng suất và chất lượng bề mặt gia công không cao. Thêm vào đó, trong quá trình gia công điện cực bị mòn làm ảnh hưởng xấu đến độ chính xác gia công. Để khắc phục các nhược điểm này, trong những năm gần đây, nhiều giải pháp đã được đưa ra nhằm cải thiện các chỉ tiêu kinh tế, kỹ thuật của quá trình. Trong những giải pháp đã được đề xuất, gia công xung điện với dung dịch điện môi có trộn bột dẫn điện là biện pháp cho kết quả rất khả quan. Biện pháp này đã và đang được nhiều nhà khoa học quan tâm.

Cho đến nay, phương pháp trộn bột vào dung dịch điện môi trong gia công xung điện (PMEDM) đã được nghiên cứu với các loại bột khác nhau (như bột Al, Cr, Si, Gr, Cu...) và đã cho các kết quả rất khả quan về khả năng nâng cao năng suất và chất lượng bề mặt gia công [21], [22]. Liew P. J. và các cộng sự đã nghiên cứu

ảnh hưởng của nồng độ bột nano các bon (C) trong dung dịch điện môi tới kích thước khe hở phóng điện, tốc độ bóc tách, độ mòn của điện cực và chất lượng bề mặt gia công khi xung thép không gỉ SUS304 với điện cực W [23]. Kết quả cho thấy việc trộn bột nano C vào dung dịch điện môi đã làm tăng đáng kể kích thước khe hở phóng điện, năng suất gia công, độ cứng tế vi và độ bền mài mòn của bề mặt gia công, đồng thời lượng mòn điện cực giảm.

Kích thước, tính chất của bột và loại dung dịch điện môi đóng vai trò quan trọng với PMEDM [24]. Kết quả nghiên cứu cũng cho thấy việc trộn bột nano C vào dung dịch điện môi đã làm tăng đáng kể kích thước khe hở phóng điện, năng suất gia công, độ cứng tế vi và độ bền mài mòn của bề mặt gia công, đồng thời lượng mòn điện cực giảm. Kích thước, đặc trưng của bột và loại dung dịch điện môi đóng vai trò quan trọng trong PMEDM [24]. Kết quả của [25] cho thấy kích thước khe hở phóng điện phụ thuộc vào nồng độ bột, kiểu bột và các thông số công nghệ khác. Theo đó, tăng nồng độ bột làm kích thước khe hở phóng điện tăng theo. Tuy nhiên, nồng độ bột tăng quá giới hạn cho phép sẽ làm kích thước khe hở không tăng mà có thể làm xuất hiện các hiện tượng: Ngắn mạch, sụt áp, dung môi bị quá nhiệt... Kích thước bột là thông số có ảnh hưởng lớn đến quá trình PMEDM. Nó không chỉ ảnh hưởng đến tốc độ bóc tách vật liệu, độ mòn điện cực, độ nhám bề mặt gia công mà còn ảnh hưởng đến chiều dày lớp bề mặt bị thay đổi do nhiệt xung gây ra [22]. Ảnh hưởng của các loại bột khác nhau đến quá trình gia công cũng đã được đề cập đến trong [21, 26]. Thêm vào đó, mức độ sử dụng các loại dung dịch điện môi như dầu xung, nước khử ion, hỗn hợp khí ga và dầu khi PMEDM cũng đã được khảo sát trong [23].

Việc trộn bột vào dung dịch điện môi làm thay đổi đáng kể tính chất cơ lý của bề mặt gia công [26]. Nó làm tăng độ bền mòn và khả năng chống oxi hóa do nhiệt của chi tiết gia công [28, 29]. Gia công PMEDM với bột Gr, Si, Al cho lớp bề mặt có độ bền mòn cao hơn so với gia công bằng EDM [30].

Từ các phân tích trên ta thấy, việc trộn bột nano vào dung dịch điện môi khi xung cho phép khắc phục được một số hạn chế của gia công xung điện, nâng cao

được năng suất và tăng chất lượng bề mặt gia công. Chính vì vậy, cho đến nay nghiên cứu về gia công xung điện sử dụng điện môi có trộn hạt nano đã và đang trở thành mục tiêu của nhiều nghiên cứu. Tuy nhiên, nghiên cứu về PMEDM khi xung chi tiết gia công có biên dạng trụ định hình hiện còn chưa có công trình nào.

Trên thực tế sản xuất, có nhiều chi tiết ở dạng trụ định hình như chày dập thuốc viên định hình, chày đột lỗ thép tấm định hình vv... Các chi tiết này thuộc dạng chi tiết khó gia công, đặc biệt khi chúng có hình dáng bất kỳ - gọi là có biên dạng định hình (như chày dập thuốc viên hình trái tim, hình Đô-rê-mon, hình khúc xương, chày đột lỗ thép hình các loại vv...) (Hình 1.5). Các chi tiết dạng này cho đến nay trên thế giới thường được gia công bằng phương pháp phay tốc độ siêu cao (micro milling). Ở nước ta các chi tiết này thường được gia công bằng phương pháp nguội nên năng suất và chất lượng gia công thấp. Do vậy, hướng giải quyết là gia công bằng phương pháp xung định hình ngược (xung tạo ra chi tiết gia công có dạng trụ định hình - như trên đã nêu). Đặc biệt, năng suất và chất lượng xung loại chi tiết này có thể được cải thiện đáng kể nếu sử dụng PMEDM. Gần đây, ở nước ta đã có nghiên cứu về xung bề mặt trụ biên dạng định hình (hay xung định hình ngược) để gia công chày dập viên định hình với việc sử dụng điện cực bằng đồng [31] và điện cực graphite [32]. Tuy nhiên, như trên đã nêu, cho đến nay chưa có nghiên cứu nào về PMEDM khi xung định hình ngược trong dung môi có trộn bột nano. Chính vì thế, "Nghiên cứu nâng cao hiệu quả quá trình xung định hình ngược với dung dịch điện môi có trộn bột (micro/nano)" là cấp thiết.



Hình 1.5: Chày dập viên nén định hình

1.3. Kết luận chương 1

- Nâng cao năng suất và chất lượng gia công của phương pháp tia lửa điện bằng biện pháp trộn bột vào dung dịch điện môi (PMEDM) là hướng nghiên cứu có nhiều triển vọng.
- Có rất nhiều yếu tố ảnh hưởng đến năng suất và chất lượng gia công của PMEDM (vật liệu bột, kích thước bột, nồng độ bột, vật liệu điện cực, các thông số công nghệ ...). Đã có những nghiên cứu về quy luật ảnh hưởng của các yếu tố và bản chất của các hiện tượng xảy ra trong quá trình gia công của PMEDM. Nhiều loại bột đã được khảo sát, một số chỉ dẫn sử dụng bột trong các điều kiện cụ thể đã được đưa ra (như vật liệu bột, trị số hợp lý của các thông số công nghệ, của kích thước và nồng độ bột...). Tuy nhiên, còn nhiều vấn đề trong quá trình gia công chưa được làm rõ, số liệu đưa ra trong các nghiên cứu khác nhau lại có sự khác nhau khá lớn, điều này gây khó khăn cho việc ứng dụng kết quả nghiên cứu vào thực tiễn sản xuất.
- Một số nghiên cứu về PMEDM với bột SiC đã được công bố nhưng mới chỉ dừng ở khảo sát chất lượng bề mặt gia công với một số vật liệu gia công. Cần có nghiên cứu đầy đủ hơn về sử dụng loại bột này trong PMEDM.

- Thép 90CrSi là một trong những mác thép được sử dụng phổ biến làm khuôn rèn, khuôn dập, đặc biệt là làm khuôn ép viên nén. Nghiên cứu về PMEDM với bột SiC và mác thép này vì vậy sẽ có ý nghĩa khoa học và thực tiễn.

CHƯƠNG 2

NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM XÁC ĐỊNH CÁC THÔNG SỐ TỐI ƯU KHI GIA CÔNG XUNG ĐIỆN THÉP 90CrSi VỚI DUNG DỊCH ĐIỆN MÔI CÓ TRỘN BỘT SiC NHẪM ĐẠT NHÁM BỀ MẶT NHỎ NHẤT

2.1. Mục đích thí nghiệm

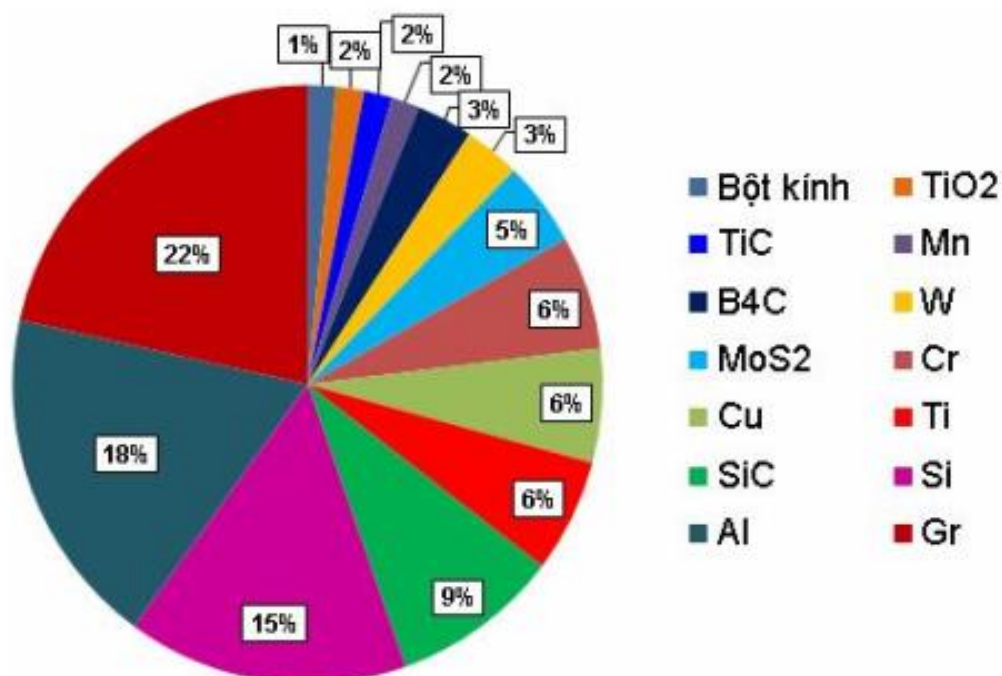
- Xác định các thông số công nghệ tối ưu của quá trình xung nhằm đạt độ nhám bề mặt nhỏ nhất khi xung thép 90CrSi qua tôi với dung dịch điện môi có trộn bột.

- Đề xuất chế độ công nghệ xung hợp lý nhằm đạt nhám bề mặt nhỏ nhất.

2.2. Setup thí nghiệm

2.2.1 Chọn loại bột

Trên thực tế có nhiều loại bột có thể sử dụng để trộn vào dung dịch điện môi để dùng cho gia công xung điện. Ví dụ như bột Titan (Ti), bột crom (Cr), bột Mangan (Mn), bột Silic (Si), bột đồng (Cu), bột nhôm (Al), bột TiO_2 , bột MoS_2 , B_4C , SiC, TiC vv... Hình 2.1 [33] đã khảo sát mức độ sử dụng các loại bột trong nghiên cứu PMEDM theo số liệu thống kê từ năm 1981÷2015.



Hình 2.1. Bột trong nghiên cứu PMEDM [1].



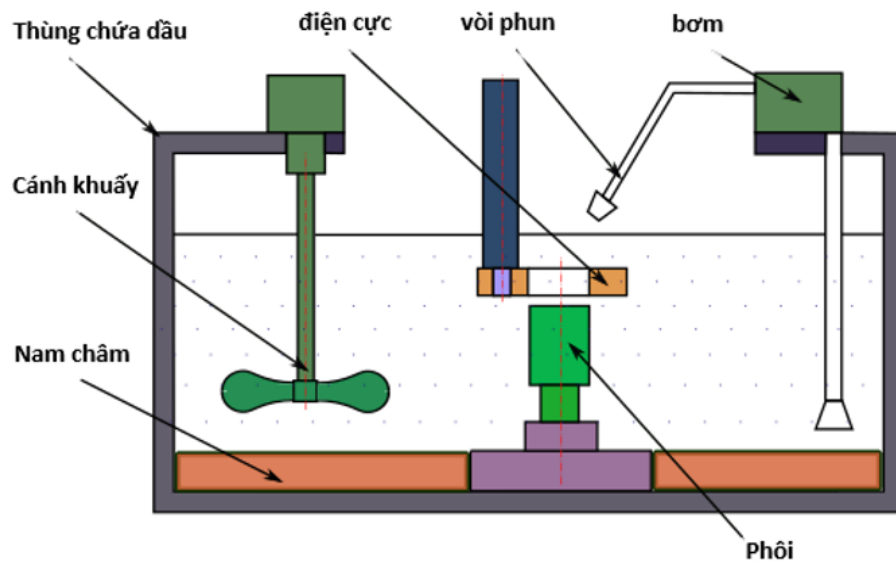
Hình 2.2. Bột SiC

Gia công xung điện với sử dụng dung dịch điện môi có trộn bột đã được quan tâm bởi nhiều nhà nghiên cứu. Quá trình gia công đã được khảo sát với các loại bột khác nhau, với kích thước hạt và nồng độ hạt khác nhau. Cụ thể, các loại bột khác nhau đã được nghiên cứu và đánh giá như bột titan, bột nhôm, bột vonfram, bột kẽm (Zn), bột crôm, Al_2O_3 , bột SiC, bột graphite [34], bột $\gamma-Fe_2O_3$ [35], ống cacbon nano [36] vv... Không chỉ các loại hạt khác nhau, các kích thước hạt khác nhau cũng là mục tiêu khảo sát. Trong [37] đã nghiên cứu gia công với hạt wolfram cỡ 10-15 μm còn trong [38] lại khảo sát với hạt crôm có kích thước 45-55 μm . Bên cạnh đó, hạt Al_2O_3 với kích đã được nghiên cứu trong [39] với thước 0,51 μm và trong [40-41] với kích thước 45-50 μm . Thêm vào đó, các nghiên cứu còn tập trung vào đánh giá quá trình gia công với các nồng độ bột khác nhau trong dung dịch điện môi. Cụ thể, khi gia công với bột Al có mật độ 6 g/l [42]; với bột vonfram với nồng độ 4 g/l [37]; với bột Zn với nồng độ thay đổi từ 2 đến 6 g/l [43], với bột Al_2O_3 nồng độ từ 1 đến 2 g/l [39], từ 2.5 đến 2.8 g/l [40] hoặc từ 2,5 đến 2,8 g/l [41], với bột titan từ 10 đến 20 g/l [44] vv...

Silicon, bột crom và một số bột khác sử dụng tốt để trộn vào dung dịch điện môi cho dạng gia công này. Tuy nhiên, những chất phụ gia này đắt tiền, khó xử lý và có coi là kim loại nặng độc hại [45]. Bên cạnh đó, bột vonfram và bột titan dùng khá hiệu quả nhưng giá thành của chúng khá cao. Vì thế cho nên, trong nghiên cứu này, bột nano SiC (cỡ hạt 500nm) đã được chọn để trộn vào dung dịch điện môi. Loại bột này đã được đánh giá sử dụng rất hiệu quả cho dạng gia công này [45].

2.2.2. Setup thí nghiệm

a. Sơ đồ thí nghiệm



Hình 2.3: Sơ đồ setup thí nghiệm



Hình 2.4. Setup thí nghiệm

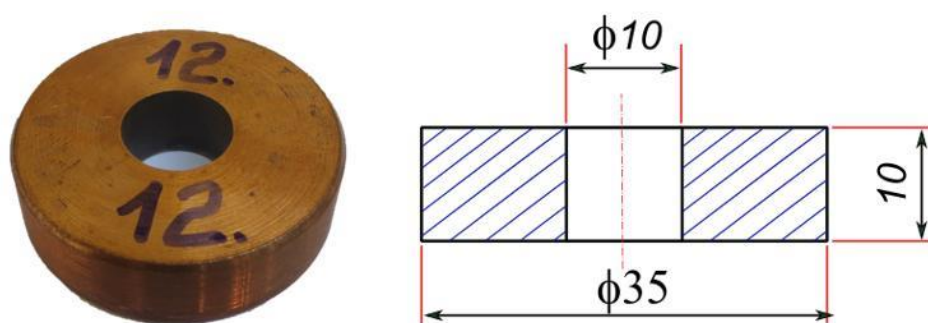
Setup thí nghiệm được biểu diễn trên Hình 2.1 ở dạng sơ đồ và trên hình 2.2 là ảnh chụp thực tế. Cụ thể setup như sau :

- Máy xung Sodick A30 (Hình 2.5) MODEL: Mark20-A30 do Nhật Bản sản xuất;
- Dung dịch điện môi: dầu xung Diel MS 7000 (hãng Total);

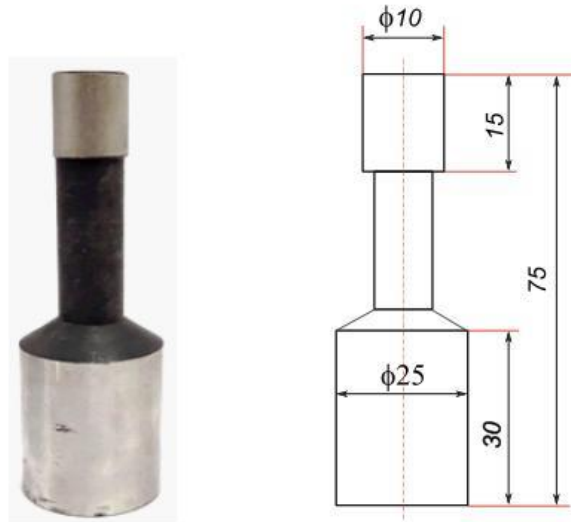
- Điện cực: vật liệu đồng đỏ. Hình 2.6 biểu diễn hình dáng và kích thước của điện cực.
- Chi tiết gia công: Thép 90CrSi tôi và ram đạt 58-60 HRC (Hình 2.7);
- Bột nano SiC, cỡ hạt 500nm ;
- Cân điện tử WT3003NE, độ chính xác 0,001g (Hình 2.8)
- Máy đo nhám bề mặt: SV3100 – Mitutoyo – Japan (Hình 2.9).



Hình 2.5: Máy xung



Hình 2.6. Điện cực



Hình 2.7. Chi tiết gia công



Hình 2.8. Cân điện tử



Hình 2.9. Máy đo nhám bề mặt SV3100

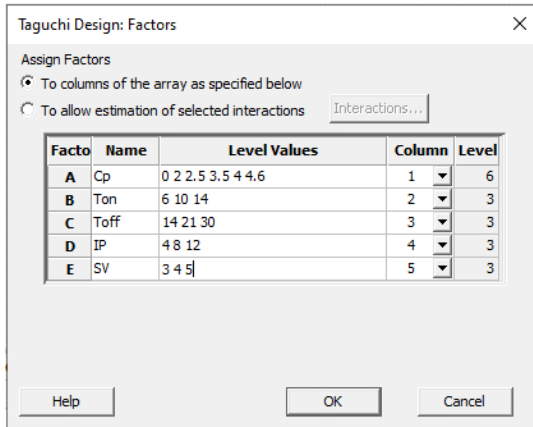
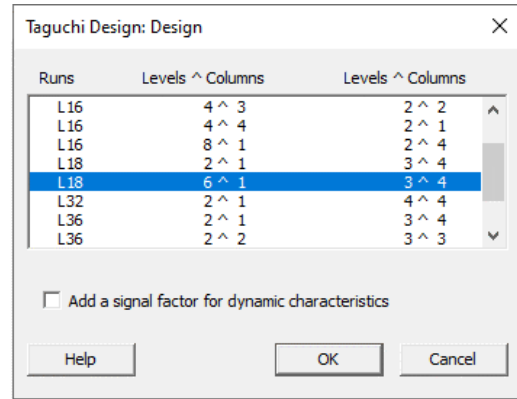
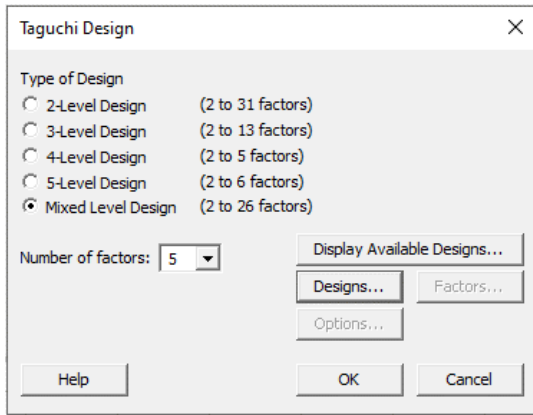
2.3. Thiết kế thí nghiệm

Thí nghiệm được thiết kế theo phương pháp thực nghiệm Taguchi [24]. Phương pháp này cho các ma trận thí nghiệm được thiết kế dựa vào các ma trận trực giao định. Phương pháp cho phép có các thông số đầu vào có số lượng lớn (từ 3 đến 50) và các mức có thể khác nhau (cả trị số và số lượng). Điều này cho phép xác định được ảnh hưởng của hầu hết các thông số đến giá trị trung bình của kết quả đầu ra với số lượng thí nghiệm nhỏ nhất, thời gian và chi phí ít nhất. Đồng thời xác định được các thông số ảnh hưởng mạnh nhất đến các kết quả đầu ra, từ đó đưa ra những thử nghiệm tiếp theo và loại bỏ những thông số có ảnh hưởng không đáng kể (ảnh hưởng yếu). Mục đích là điều chỉnh các thông số đến mức tối ưu để quá trình/sản phẩm ổn định ở mức chất lượng tốt nhất. Do đó phương pháp này cho phép sử dụng tối thiểu các thí nghiệm cần thiết để để nghiên cứu ảnh hưởng của các thông số lên một đặc tính được lựa chọn nào đó của một quá trình/sản phẩm từ đó nhanh chóng điều chỉnh các thông số tiến đến tối ưu nhanh nhất.

Phần mềm Minitab 19 được sử dụng để thiết kế thí nghiệm - Taguchi L18 ($6^1 3^4$). Bảng 2.1 thể hiện các thông số và các mức thí nghiệm. Hình 2.10 biểu diễn khai báo các biến thí nghiệm cho bước khởi tạo kế hoạch thí nghiệm và bảng 2.2 thể hiện kế hoạch và kết quả thí nghiệm.

Bảng 2.1. Các mức thí nghiệm của các thông số đầu vào C_p , T_{on} , T_{off} , IP và SV

Mức Biến	1	2	3	4	5	6
Nồng độ bột C_p [g/lít]	0	2,0	2,5	3,5	4,0	4,5
Thời gian phát xung T_{on} [μ s]	6	10	14	-	-	-
Thời gian ngừng phát xung T_{off} [μ s]	14	21	30	-	-	-
Cường độ dòng phóng điện IP [A]	4	8	12	-	-	-
Hiệu điện thế SV [V]	3	4	5	-	-	-



Taguchi Design

Design Summary

Taguchi Array L18(6¹3⁴)

Factors: 5

Runs: 18

Columns of L18(6¹3⁴) array: 1 2 3 4 5

(b)

Hình 2.10. Khai báo biến thí nghiệm theo phương pháp Taguchi (L18 = 6¹3⁴=18 thí nghiệm)

Bảng 2.2 Kế hoạch thí nghiệm và kết quả thí nghiệm xung theo các thông số đầu vào C_p , T_{on} , T_{off} , IP và SV

TT	C_p	T_{on}	T_{off}	IP	SV	Ra [μ m]				
						Lần 1	Lần 2	Lần 3	S/N	Mean
1	0	6	14	4	3	2.960	2.930	2.928	-9.3651	2.93933
2	0	10	21	8	4	2.239	2.161	2.383	-7.0932	2.26100
3	0	14	30	12	5	5.066	5.117	5.125	-14.1561	5.10267
4	2	6	14	8	4	2.411	2.434	2.482	-7.7567	2.44233
5	2	10	21	12	5	2.749	2.839	2.601	-8.7278	2.72967
6	2	14	30	4	3	4.942	5.200	5.174	-14.1627	5.10533
7	2.5	6	21	4	5	2.158	2.232	2.196	-6.8308	2.19533
8	2.5	10	30	8	3	3.895	3.882	3.868	-11.7804	3.88167
9	2.5	14	14	12	4	3.840	3.733	3.790	-11.5680	3.78767
10	3.5	6	30	12	4	2.791	2.620	2.528	-8.4602	2.64633
11	3.5	10	14	4	5	3.421	3.559	3.490	-10.8576	3.49000
12	3.5	14	21	8	3	2.685	3.068	2.906	-9.2198	2.88633
13	4	10	30	4	4	2.959	2.795	2.763	-9.0673	2.83900

TT	C _p	T _{on}	T _{off}	IP	SV	Ra [μm]				
						Lần 1	Lần 2	Lần 3	S/N	Mean
14	4	14	14	8	5	2.646	2.670	2.785	-8.6305	2.70033
15	4	6	30	8	5	1.614	1.655	1.741	-4.4587	1.67000
16	4.5	10	14	12	3	3.752	3.613	3.926	-11.5172	3.76367
17	4.5	14	21	4	4	4.404	4.298	4.491	-12.8658	4.39767
18	4.5	14	30	8	3	2.864	2.732	2.795	-8.9355	2.79700

Từ kế hoạch thực nghiệm nêu trên, 18 thí nghiệm với 18 chế độ xung đã được tiến hành. Mỗi thí nghiệm được làm lặp 3 lần để tăng độ chính xác của thực nghiệm.

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. Tỷ số S/N của các kết quả đầu ra được xác định như sau.

- Phân tích bài toán: Trong quá trình tối ưu hóa bài toán tĩnh ta có thể sử dụng 3 hệ số (S/N) tương ứng với các trường hợp sau:

+ *Nhỏ hơn là tốt hơn*

$$S/N = -10 \text{Log}_{10} [\text{MSD}] \quad (2.1)$$

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

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

Công thức trên thường được sử dụng trong các trường hợp xuất hiện các hiện tượng không mong như: các khuyết tật, sai số... mà trị số lí tưởng là bằng không. Ngoài ra khi giá trị lí tưởng là một trị số hữu hạn và một giá trị lớn nhất hoặc nhỏ nhất được xác định bởi k, tiếp theo sự khác nhau giữa giá trị đo và giá trị lí tưởng dự kiến sẽ càng nhỏ càng tốt. Và hệ số S/N sẽ trở thành:

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

$$MSD = \frac{(y_1 - k)^2 + (y_2 - k)^2 + \dots + (y_n - k)^2}{n}$$

+ *Lớn hơn là tốt hơn:*

$$S/N = -10 \text{Log}_{10} [\text{MSD}] \quad (2.2)$$

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

$$MSD = \frac{\frac{1}{y_1^2} + \frac{1}{y_2^2} + \dots + \frac{1}{y_n^2}}{n}$$

+ Giá trị danh nghĩa là tốt nhất:

$$S/N = -10 \text{Log}_{10} [MSD] \quad (2.3)$$

$$MSD = \frac{(y_1 - m)^2 + (y_2 - m)^2 + \dots + (y_n - m)^2}{n}$$

m – Giá trị mục tiêu.

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.

Trong nghiên cứu này, trị số của tỉ số S/N của đặc trưng nhám bề mặt là: Nhỏ hơn thì tốt hơn thể hiện như trong bảng 2.3.

Bảng 2.3. Mục tiêu đánh giá khi xung thông qua nhám bề mặt

TT	Thông số đánh giá	Mục tiêu
1	Nhám bề mặt Ra (μm)	Nhỏ hơn thì tốt hơn

2.4. Ảnh hưởng của các thông số đến nhám bề mặt Ra

Nhám bề mặt mong muốn nhỏ hơn thì tốt hơn nên tỉ số S/N được xác định theo biểu thức (1). Kết quả tính toán tỉ số S/N ứng với kết quả của mỗi thí nghiệm được thể hiện như trong bảng 2.2.

ANOVA trị số của nhám bề mặt trung bình (\overline{Ra}) được thể hiện như Bảng 2.4, Bảng 2.5 và Hình 2.11. Theo phần trăm đóng góp ảnh hưởng, thời gian ngừng phát xung có đóng góp lớn nhất đến Ra (29,71%), tiếp đến là nồng độ bột nano (18,65%), hiệu điện thế (15,43%), cường độ dòng phóng điện (11,05%) và cuối cùng là thời gian phát xung (10,79%).

Bảng 2.4. ANOVA giá trị \bar{R}_a sau khi xung.

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P	C%
Cp	5	2.972	2.972	0.5944	1.04	0.499	18.65
Ton	2	1.720	1.720	0.8601	1.50	0.326	10.79
Toff	2	4.736	4.736	2.3679	4.14	0.106	29.71
IP	2	1.762	1.762	0.8809	1.54	0.319	11.05
SV	2	2.460	2.460	1.2301	2.15	0.232	15.43
Residual Error	4	2.289	2.289	0.5722			14.36
Total	17	15.939					100.00

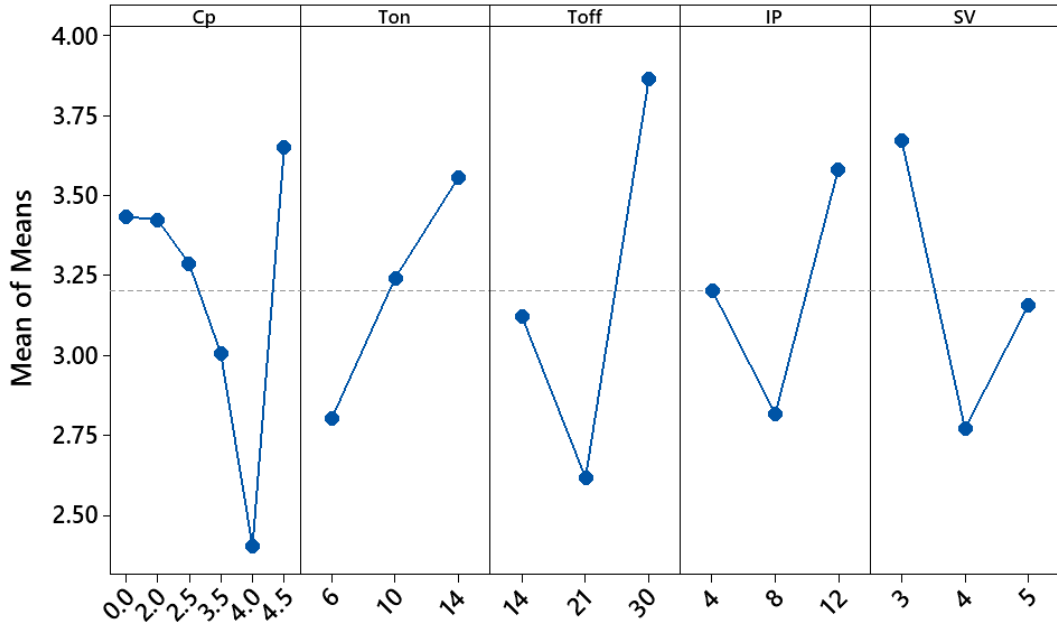
Bảng 2.5. Mức độ ảnh hưởng của các yếu tố đến \bar{R}_a khi xung.

Level	Cp	Ton	Toff	IP	SV
1	3.434	2.804	3.121	3.205	3.675
2	3.426	3.243	2.618	2.817	2.772
3	3.288	3.558	3.867	3.584	3.159
4	3.008				
5	2.403				
6	3.653				
Delta	1.250	0.754	1.249	0.766	0.902
Rank	1	5	2	4	3

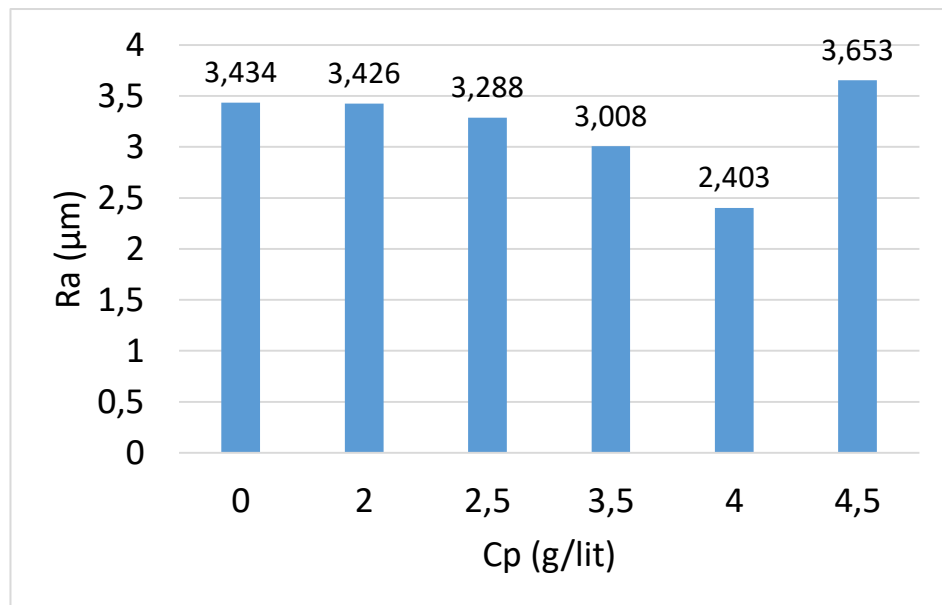
Từ bảng 2.5 và hình 2.11 cho thấy:

Rõ ràng có bột nano thì nhám bề mặt nhỏ hơn không có bột.

Nồng độ bột nano Cp tăng thì nhám bề mặt giảm sau đó tăng và đạt trị số nhỏ nhất tại mức 5 (4 g/lít). Thời gian phát xung tăng thì nhám bề mặt tăng và đạt trị số nhỏ nhất tại mức 1 (6 μ s). Thời gian ngừng phát xung tăng thì nhám bề mặt giảm sau đó tăng và đạt trị số nhỏ nhất tại mức 2 (2 μ s). Cường độ dòng phóng điện tăng thì nhám bề mặt giảm sau đó tăng và đạt trị số nhỏ nhất tại mức 2 (8A). Hiệu điện thế phóng điện tăng thì nhám bề mặt giảm sau đó tăng và đạt trị số nhỏ nhất tại mức 2 (4V).



Hình 2.11. Biểu đồ các ảnh hưởng chính của các yếu tố đến \bar{Ra} khi xung



Hình 2.12. Ảnh hưởng của nồng độ bột SiC đến nhám bề mặt khi xung

Quan hệ giữa nồng độ bột với độ nhám bề mặt gia công (hình 2.12): R_a giảm khá mạnh khi trộn bột SiC vào dung dịch điện môi và khi tăng nồng độ bột thì R_a giảm. Nguyên nhân có thể là do: Năng lượng của các tia lửa điện giảm đã tạo ra các vết lõm có đường kính và chiều sâu nhỏ hơn trên bề mặt gia công làm cho R_a giảm theo. Kích thước khe hở phóng điện tăng đã tạo thuận lợi để dòng dung dịch điện môi đẩy phoi ra khỏi vùng gia công, điều này làm giảm kích thước và số lượng các hạt vụn bám trên bề mặt gia công. Tiếp tục tăng nồng độ bột nano trong dung dịch

điện môi thì nhám bề mặt lại tăng. Điều này là do nồng độ bột cao có thể xuất hiện hiện tượng phóng điện liên tục tại một số vị trí nên độ nhám bề mặt gia công tăng.

Hình 2.12 cho thấy quan hệ giữa nồng độ bột với R_a : Khi nồng độ bột tăng từ 2÷4,0g/l thì đồ thị có độ dốc xuống rất lớn tức R_a giảm mạnh (29,86%) từ 3,426 μ m xuống 2,403 μ m.

2.5. Xác định bộ thông số chế độ xung hợp lý

Theo Bảng 2.2, thí nghiệm số 15 với chế độ xung: Nồng độ bột nano $C_p = 4$ g/lít, thời gian phát xung $T_{on} = 6\mu$ s, thời gian ngừng phát xung $T_{off} = 30\mu$ s, cường độ dòng phóng điện $IP = 8$ A, hiệu điện thế xung $SV = 5$ V cho kết quả nhám bề mặt nhỏ nhất $R_a = 1,670 \mu$ m, tỉ số $S/N = - 4,4587$ lớn nhất. Nghĩa là tác động của thí nghiệm này đến nhám bề mặt là lớn nhất và chịu ảnh hưởng của nhiễu là nhỏ nhất. Đây chưa phải mức hợp lý của các thông số nhằm đạt nhám bề mặt nhỏ nhất. Vì vậy, cần phân tích phương sai tỉ số S/N của R_a để tìm ra mức hợp lý của các thông số xung được khảo sát.

ANOVA trị số S/N của R_a được thể hiện trong Bảng 2.6,

Bảng 2.7 và hình 2.13.

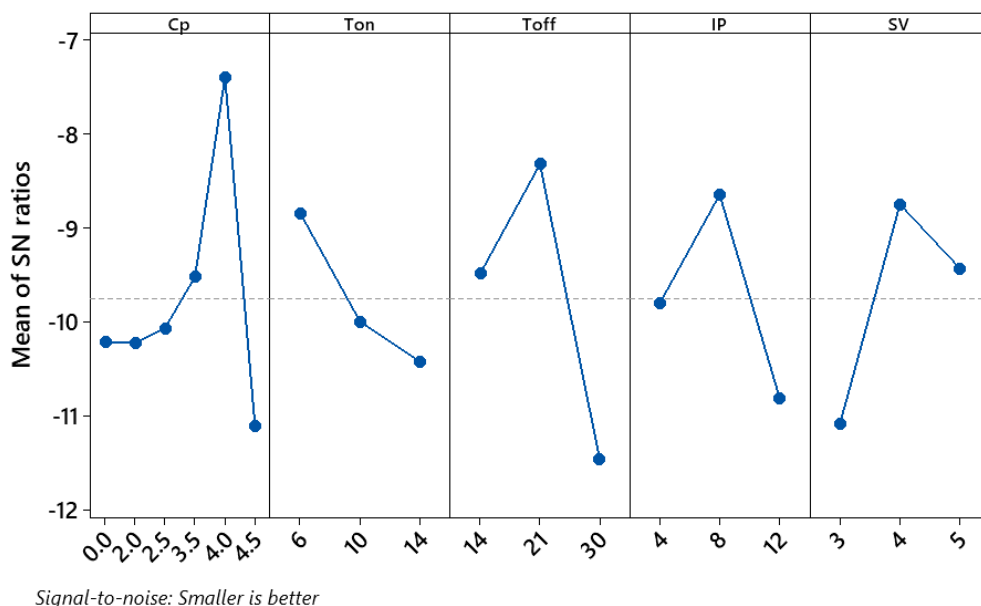
Kết quả cho thấy: Nồng độ bột nano $C_p = 4$ g/l (C_{p5}), thời gian phát xung $T_{on} = 6 \mu$ s (T_{on1}), thời gian ngừng phát xung $T_{off} = 21\mu$ s (T_{off2}), cường độ dòng phóng điện $IP = 8$ A ($IP2$), hiệu điện thế xung $SV = 4$ V ($SV2$) là những mức và trị số của các thông số xung cho tỉ số S/N lớn nhất. Đây là mức và trị số hợp lý của các thông số xung nhằm đạt được nhám bề mặt nhỏ nhất.

Bảng 2.6. ANOVA tỉ số S/N của \bar{R}_a khi xung

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Cp	5	24.018	24.018	4.804	0.98	0.524
Ton	2	8.067	8.067	4.033	0.82	0.503
Toff	2	30.207	30.207	15.103	3.07	0.156
IP	2	14.147	14.147	7.074	1.44	0.339
SV	2	17.310	17.310	8.655	1.76	0.283
Residual Error	4	19.694	19.694	4.924		
Total	17	113.443				

Bảng 2.7. Mức độ ảnh hưởng của các yếu tố đến tỉ số S/N của R_a khi xung

Level	Cp	Ton	Toff	IP	SV
1	-10.205	-8.833	-9.479	-9.797	-11.077
2	-10.216	-9.993	-8.312	-8.638	-8.741
3	-10.060	-10.417	-11.451	-10.808	-9.425
4	-9.513				
5	-7.386				
6	-11.106				
Delta	3.721	1.584	3.139	2.170	2.336
Rank	1	5	2	4	3



Hình 2.13. Biểu đồ ảnh hưởng chính của các yếu tố đến tỉ số S/N của Ra khi xung

2.6. Tính toán dự đoán giá trị nhám bề mặt

Trị số bề mặt trung bình dự đoán (\overline{Ra}_{OP}) được xác định bởi các mức của các thông số có ảnh hưởng mạnh đến S/N của nhám bề mặt theo công thức:

$$\overline{Ra}_{OP} = \overline{C}_{p5} + \overline{T}_{off2} + \overline{SV}_2 - 2 * \overline{T}_{Ra}$$

Trong đó, theo Bảng 2.5:

\overline{C}_{p5} là nhám bề mặt trung bình ứng với Cp ở mức 5: $\overline{C}_{p5} = 2,403 \mu m$

\overline{T}_{off2} là nhám bề mặt trung bình ứng với Toff ở mức 2: $\overline{T}_{off2} = 2,618 \mu m$

\overline{SV}_2 là nhám bề mặt trung bình ứng với SV ở mức 2: $\overline{SV}_2 = 2,772 \mu m$

\overline{T}_{Ra} là nhám bề mặt trung bình của toàn thí nghiệm.

$$\overline{T}_{Ra} = \frac{\sum_{i=1}^{18} Ra_I + \sum_{i=1}^{18} Ra_{II} + \sum_{i=1}^{18} Ra_{III}}{54} = 3,202 \mu m$$

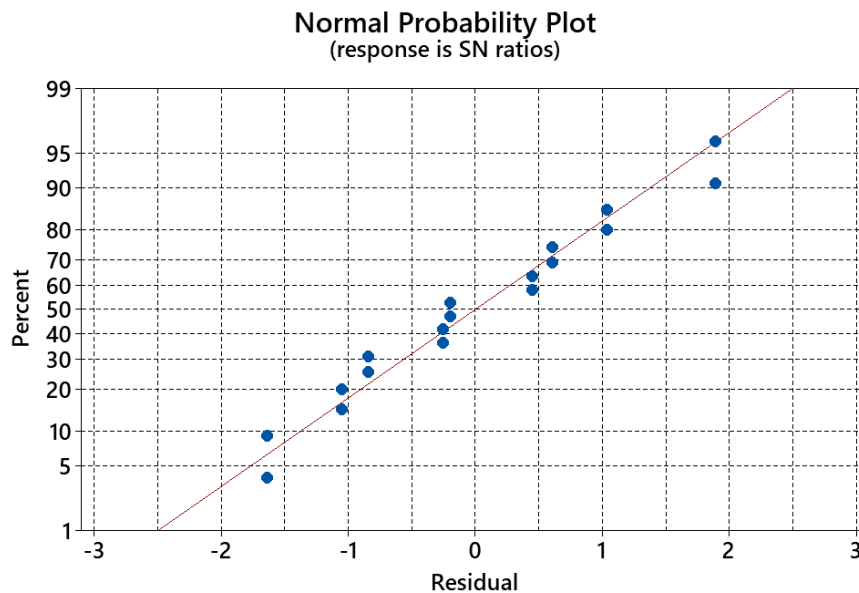
Thay số:

$$\overline{Ra}_{OP} = 2,403 + 2,618 + 2,772 - 2 * 3,202 = 1,39 \mu m$$

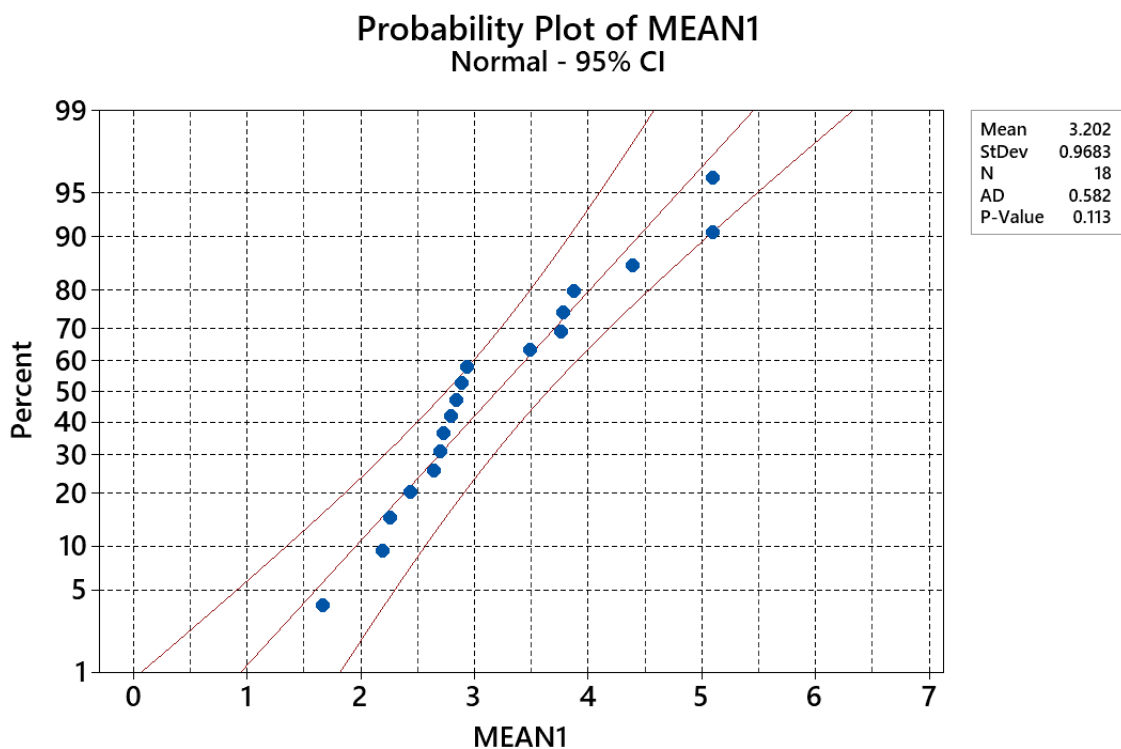
Kết quả thực nghiệm với bộ thông số xung: Nồng độ bột nano Cp = 4 g/lít, thời gian phát xung Ton = 6 μs , thời gian ngừng phát xung Toff = 21 μs , cường độ dòng phóng điện IP = 8 A, hiệu điện thế xung SV = 4 V, nhám bề mặt trung bình nhận được sau 3 lần thực nghiệm là 1,51 μm . Giá trị này sai khác 8,6% so với giá trị dự đoán. Kết quả này cho thấy: Ở chế độ xung tối ưu (có sử dụng bột nano),

nhám bề mặt giảm 2,27 lần (55,98%) so với mức trung bình khi không sử dụng bột nano.

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



a) Biểu đồ xác xuất thông thường



b) Đồ thị phân phối của Ra

Hình 2.14. Biểu đồ xác xuất thông thường và đồ thị phân phối Ra

Quan sát hình 2.14a cũng cho thấy các số dư phân bố rất gần với phân phối chuẩn, các điểm phân phối nằm dọc theo đường chuẩn và nằm trong khoảng giới hạn, có thể coi như các dữ liệu tuân theo quy luật phân phối chuẩn. Các điểm của tập dữ liệu trên đồ thị thỏa mãn điều này. Thêm nữa, các thông tin thống kê của R_a được trình bày phía bên phải đồ thị hình 2.14b, cho thấy giá trị p của phép kiểm định thống kê là 0,113 - lớn hơn nhiều so với mức ý nghĩa α là 0,05. Do vậy, có thể kết luận là tập dữ R_a tuân theo quy luật phân phối chuẩn.

2.7. Kết luận

1. Đã khảo sát được ảnh hưởng của các thông số quá trình gồm nồng độ bột, thời gian phát xung, thời gian ngừng phát xung, dòng điện, hiệu điện thế đến nhám bề mặt bằng phương pháp Taguchi.
2. Nghiên cứu đã chứng tỏ việc sử dụng dung dịch điện môi có trộn bột SiC làm cải thiện chất lượng bề mặt gia công - làm giảm độ nhám bề mặt gia công tới 29,86%, từ 3,426 μ m xuống 2,403 μ m.
3. Đã tìm được chế độ xung hợp lý để đạt nhám bề mặt nhỏ nhất. Cụ thể: nồng độ bột nano $C_p = 4\text{g/l}$, thời gian phát xung $T_{on} = 6\mu\text{s}$, thời gian ngừng phát xung $T_{off} = 21\mu\text{s}$, cường độ dòng phóng điện $IP = 8\text{A}$, hiệu điện thế xung $SV = 4\text{V}$.
4. Đã đề xuất công thức dự đoán giá trị nhám bề mặt gia công (\overline{Ra}_{OP}) khi xung với dung dịch điện môi có trộn bột SiC:

$$\overline{Ra}_{OP} = \overline{C}_{p5} + \overline{T}_{off2} + \overline{SV}_2 - 2 * \overline{T}_{Ra}$$

CHƯƠNG 3

THỰC NGHIỆM XÁC ĐỊNH ẢNH HƯỞNG CỦA CÁC THÔNG SỐ CÔNG NGHỆ ĐẾN NĂNG SUẤT BÓC TÁCH VẬT LIỆU KHI XUNG THÉP 90CrSi VỚI VIỆC CÓ SỬ DỤNG BỘT NANO

3.1. Mục đích thí nghiệm

- Xác định được ảnh hưởng của các thông số công nghệ khi xung đến năng suất bóc tách vật liệu khi xung thép 90CrSi.

- Đề xuất chế độ công nghệ xung hợp lý khi xung vật liệu 90CrSi bằng điện cực đồng nhằm đạt năng suất bóc tách lớn nhất.

3.2. Setup thí nghiệm

- Giống như trong chương 2.

3.3. Phương pháp quy hoạch thực nghiệm

Phương pháp Taguchi được sử dụng cho thiết kế thí nghiệm này. Phương pháp này cho phép xác định được ảnh hưởng của nhiều thông số đầu vào đến giá trị trung bình của kết quả đầu ra với số lượng thí nghiệm nhỏ nhất, thời gian và chi phí ít nhất. Đồng thời xác định được các thông số ảnh hưởng mạnh nhất đến các kết quả đầu ra, từ đó đưa ra những thử nghiệm tiếp theo và loại bỏ những thông số có ảnh

hưởng không đáng kể (ảnh hưởng yếu). Mục đích là điều chỉnh các thông số đến mức tối ưu để quá trình/sản phẩm ổn định ở mức chất lượng tốt nhất. Do đó phương pháp Taguchi cho phép sử dụng ít thí nghiệm nhất để nghiên cứu ảnh hưởng của các thông số lên một đặc tính được lựa chọn nào đó của một quá trình/sản phẩm. Qua đó nhanh chóng tìm được các giá trị tối ưu nhất.

Sơ đồ thí nghiệm thiết kế theo phương pháp Taguchi được sử dụng để nghiên cứu ảnh hưởng của các thông số chế độ xung (Thời gian phát xung, nồng độ bột nano, thời gian ngừng phát xung, cường độ dòng điện và hiệu điện thế server) đến năng suất bóc tách vật liệu khi xung chi tiết vật liệu 90CrSi bằng điện cực đồng có trộn bột nano vào dung dịch điện môi.

Sử dụng Minitab 18 để thiết kế Taguchi L18 ($2^1 3^4$), kế hoạch thí nghiệm như bảng 4.2. Từ bảng này, 18 thí nghiệm với 18 chế độ xung khác nhau đã được tiến hành. Để tăng độ chính xác, mỗi chế độ thí nghiệm được tiến hành lặp 3 lần.

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. Tỷ số S/N của các kết quả đầu ra được xác định như sau.

Bảng 3.1. *Mức và các thông số đầu vào*

STT	Yếu tố	Ký hiệu	Mức của yếu tố		
			Mức 1	Mức 2	Mức 3
1	Thời gian phát xung (μ s)	T_{on}	6	14	-
2	Nồng độ bột nano (g/l)	C_p	0	0,03	0,06
3	Thời gian ngừng phát xung (μ s)	T_{off}	14	21	30
4	Cường độ dòng phóng điện (A)	IP	4	8	12
5	Hiệu điện thế Server (V)	SV	3	4	5

Bảng 3.2. *Kế hoạch thí nghiệm theo thiết kế Taguchi L18 ($2^1 3^4$)*

TT	Ton	Cp	Toff	IP	SV
1	6	0	14	4	3
2	6	0	21	8	4

3	6	0	30	12	5
4	6	0,03	14	4	4
5	6	0,03	21	8	5
6	6	0,03	30	12	3
7	6	0,06	14	8	3
8	6	0,06	21	12	4
9	6	0,06	30	4	5
10	14	0	14	12	5
11	14	0	21	4	3
12	14	0	30	8	4
13	14	0,03	14	8	5
14	14	0,03	21	12	3
15	14	0,03	30	4	4
16	14	0,06	14	12	4
17	14	0,06	21	4	5
18	14	0,06	30	8	3

- Phân tích bài toán: Trong quá trình tối ưu hóa bài toán tĩnh ta có thể sử dụng 3 hệ số (S/N) tương ứng với các trường hợp sau:

+ *Nhỏ hơn là tốt hơn*

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

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

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

Công thức trên thường được sử dụng trong các trường hợp xuất hiện các hiện tượng không mong như: các khuyết tật, sai số... mà trị số lí tưởng là bằng không. Ngoài ra khi giá trị lí tưởng là một trị số hữu hạn và một giá trị lớn nhất hoặc nhỏ nhất được xác định bởi k, tiếp theo sự khác nhau giữa giá trị đo và giá trị lí tưởng dự kiến sẽ càng nhỏ càng tốt. Và hệ số S/N sẽ trở thành:

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

$$MSD = \frac{(y_1 - k)^2 + (y_2 - k)^2 + \dots + (y_n - k)^2}{n}$$

+ *Lớn hơn là tốt hơn:*

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

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

$$MSD = \frac{\frac{1}{y_1^2} + \frac{1}{y_2^2} + \dots + \frac{1}{y_n^2}}{n}$$

+ Giá trị danh nghĩa là tốt nhất:

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

$$MSD = \frac{(y_1 - m)^2 + (y_2 - m)^2 + \dots + (y_n - m)^2}{n}$$

m – Giá trị mục tiêu.

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.

Trong nghiên cứu này, trị số của tỉ số S/N của đặc trưng năng suất bóc tách vật liệu (MRR) được xác định là: lớn hơn thì tốt hơn.

3.4. Kết quả và nhận xét

Bảng 3.3. Kết quả trị số MRR và tỉ số S/N của chỉ tiêu.

TT	Ton	Cp	Toff	IP	SV	MRR (g/min)	S/N
1	6	0	14	4	3	0.0111	-39.125
2	6	0	21	8	4	0.0026	-51.629
3	6	0	30	12	5	0.0701	-23.082
4	6	3	14	4	4	0.0113	-38.954
5	6	3	21	8	5	0.0033	-49.511
6	6	3	30	12	3	0.0712	-22.949
7	6	6	14	8	3	0.0065	-43.728
8	6	6	21	12	4	0.0114	-38.876
9	6	6	30	4	5	0.0477	-26.423
10	14	0	14	12	5	0.0768	-22.298

11	14	0	21	4	3	0.0207	-33.685
12	14	0	30	8	4	0.0071	-42.938
13	14	3	14	8	5	0.0063	-43.966
14	14	3	21	12	3	0.0720	-22.855
15	14	3	30	4	4	0.0160	-35.910
16	14	6	14	12	4	0.0827	-21.647
17	14	6	21	4	5	0.0194	-34.260
18	14	6	30	8	3	0.0071	-43.031

Từ kết quả thực nghiệm, năng suất bóc tách vật liệu (MRR) và tính toán tỉ số S/N của MRR được cho trong bảng 3.4, phần mềm Minitab 18 được sử dụng để phân tích dữ liệu theo quy hoạch thực nghiệm của Taguchi.

Mức độ ảnh hưởng của các thông số đến MRR

Thứ tự ảnh hưởng của các thông số đầu vào và ANOVA giá trị trung bình của MRR được thể hiện trong bảng 3.4, bảng 3.5 và hình 3.2. Từ kết quả ANOVA cho thấy thứ tự ảnh hưởng của các thông số khảo sát theo thứ tự giảm dần: Cường độ dòng phát xung IP, thời gian ngừng phát xung T_{off} , hiệu điện thế server SV, nồng độ bột nano có trong chất điện môi C_p và cuối cùng là thời gian phát xung T_{on} với mức độ trùng khớp của mô hình rất cao (nhỏ nhất là 92.53%).

Bảng 3.4. Thứ tự ảnh hưởng của các thông số đến trị số MRR trung bình

Level	Ton	Cp	Toff	IP	SV
1	0.026141	0.031397	0.032445	0.021024	0.031418
2	0.034228	0.030028	0.021564	0.005499	0.021860
3		0.029129	0.036545	0.064031	0.037276
Delta	0.008087	0.002268	0.014980	0.058532	0.015417
Rank	4	5	3	1	2

Từ bảng 3.4 và Hình 3.2 ta thấy:

Thời gian phát xung tăng thì năng suất bóc tách trung bình tăng. Trị số năng suất trung bình lớn nhất khi thời gian phát xung là $14\mu s$ (tương ứng với mức 2).

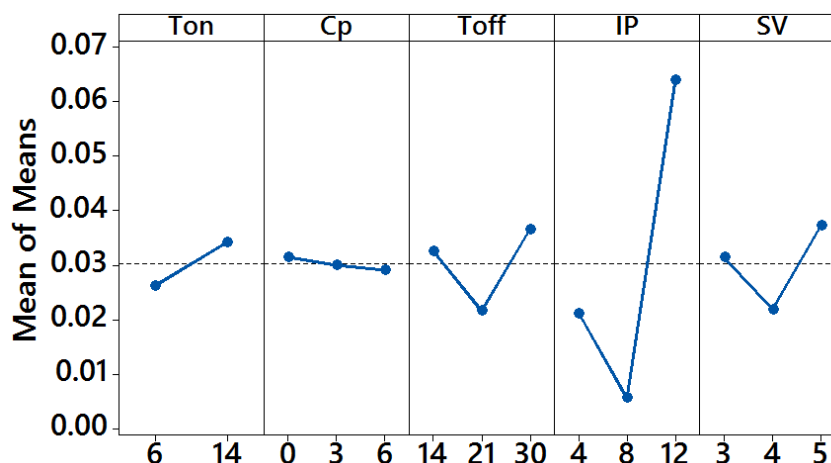
Có bột nano, nồng độ bột nano tăng thì năng suất bóc tách vật liệu trung bình giảm. Điều này không hoàn toàn đúng với thí nghiệm số 16 (nồng độ bột nano là 0,06g/l) cho năng suất trung bình cao nhất (0,0827 g/min).

Bảng 3.5. ANOVA cho giá trị trị số MRR trung bình

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Ton	1	0.000294	0.000294	0.000294	0.89	0.372
Cp	2	0.000016	0.000016	0.000008	0.02	0.977
Toff	2	0.000719	0.000719	0.000360	1.09	0.381
IP	2	0.011033	0.011033	0.005517	16.75	0.001
SV	2	0.000727	0.000727	0.000363	1.10	0.377
Residual Error	8	0.002635	0.002635	0.000329		
Total	17	0.015424				

Model Summary

S	R-Sq	R-Sq(adj)
0.0181	82.92%	63.70%



Hình 3.2. Ảnh hưởng của các thông số đến MRR

Thời gian ngưng phát xung tăng năng suất bóc tách vật liệu trung bình giảm sau đó tăng. Trị số năng suất xung trung bình lớn nhất khi thời gian phát xung là 30 μ s (tương ứng mức 3).

Cường độ dòng phóng điện tăng thì năng suất bóc tách vật liệu trung bình giảm rồi tăng mạnh. Trị số năng suất xung trung bình lớn nhất khi cường độ dòng phóng điện là 12 A (tương ứng mức 3).

Hiệu điện thế server tăng thì năng suất bóc tách vật liệu trung bình giảm sau đó tăng. Trị số năng suất bóc tách vật liệu trung bình lớn nhất khi hiệu điện thế server là 5V (tương ứng mức 3).

Tối ưu hóa MRR

Bảng 3.6. Thứ tự ảnh hưởng của các thông số đến tỉ số S/N của MRR trung bình

Response Table for Signal to Noise Ratios

Larger is better

Level	Ton	Cp	Toff	IP	SV
1	-37.14	-35.46	-34.95	-34.73	-34.23
2	-33.40	-35.69	-38.47	-45.80	-38.33
3		-34.66	-32.39	-25.28	-33.26
Delta	3.74	1.03	6.08	20.52	5.07
Rank	4	5	2	1	3

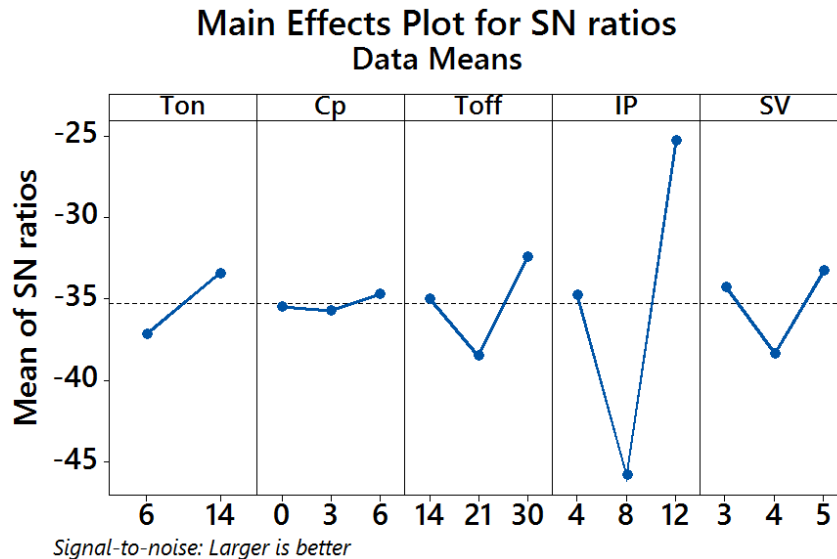
Bảng 3.7. ANOVA cho tỉ số S/N của MRR trung bình

Analysis of Variance for SN ratios

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Ton	1	63.05	63.05	63.046	3.65	0.092
Cp	2	3.51	3.51	1.753	0.10	0.905
Toff	2	111.81	111.81	55.906	3.24	0.093
IP	2	1265.36	1265.36	632.681	36.68	0.000
SV	2	86.85	86.85	43.423	2.52	0.142
Residual Error	8	138.00	138.00	17.250		
Total	17	1668.57				

Model Summary

S	R-Sq	R-Sq(adj)
4.1534	91.73%	82.42%



Hình 3.3. Ảnh hưởng của các thông số đến tỉ số S/N của MRR

Với phương pháp quy hoạch thực nghiệm theo phương pháp Taguchi, trị số của tỉ số S/N lớn cho kết quả tốt hơn. Kết quả phân tích mức độ ảnh hưởng của các thông số chế độ công nghệ xung đến tỉ số S/N của MRR thể hiện trong bảng 3.6, bảng 3.7 và hình 3.3.

Theo đó, thứ tự ảnh hưởng của các thông số khảo sát đến tỉ số S/N của năng suất xung trung bình: Cường độ dòng phát xung IP, thời gian ngừng phát xung Toff, hiệu điện thế server SV, thời gian phát xung Ton và cuối cùng là nồng độ bột nano Cp.

Bảng 3.6 và hình 3.3 cho thấy: Bộ thông số công nghệ khi xung nhằm đạt trị số MRR lớn hơn thì tốt hơn là: $T_{on} = 14\mu s$ (A3); $C_p = 6\%$ (B3), $T_{off} = 30\mu s$ (C3); $IP = 12A$ (D3); $SV = 5V$ (E3).

Giá trị tối ưu của MRR:

Trị số tối ưu năng suất bóc tách trung bình (\overline{MRR}_{OP}) được xác định bởi các mức của các thông số có ảnh hưởng mạnh đến S/N của nhám bề mặt theo công thức:

$$\overline{MRR}_{OP} = \bar{A}_2 + \bar{B}_3 + \bar{C}_3 + \bar{D}_3 + \bar{E}_3 - 4 * \bar{T}_g$$

Trong đó theo bảng 3.4:

\bar{A}_2 là năng suất xung trung bình ứng với T_{on} ở mức 2: $\bar{A}_2 = 0,034228 g/min$

\bar{B}_3 là năng suất xung trung bình ứng với Cp ở mức 3: $\bar{B}_3 = 0,029129 g/min$

\bar{C}_3 là năng suất xung trung bình ứng với T_{off} ở mức 3: $\bar{C}_3 = 0,036545 g/min$

\bar{D}_3 là năng suất xung trung bình ứng với IP ở mức 3: $\bar{D}_3 = 0,066031 g/min$

\bar{E}_3 là năng suất xung trung bình ứng với SV ở mức 3: $\bar{E}_3 = 0,037276 g/min$

\bar{T}_g là năng suất xung trung bình của toàn thí nghiệm.

$$\bar{T}_g = \frac{\sum_{i=1}^{18} MRR_I + \sum_{i=1}^{18} MRR_{II} + \sum_{i=1}^{18} MRR_{III}}{54} = 0,030185 \text{ g/min}$$

Thay số:

$$\overline{MRR}_{OP} = 0,0805 \text{ g/min}$$

Khoảng tin cậy CI được tính như sau:

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

Trong đó, $f_e = 8$ là bậc tự do của lỗi, $V_e = 0.000329$ là sai số trung bình của lỗi, $F_{\alpha}(1,8) = 3,4579$ 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.

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

$$= \frac{54}{1 + 1 + 2 + 2 + 2 + 2} = 5,4$$

Thay số:

$$CI = \sqrt{3,4579 * 0.000329 * \left(\frac{1}{5,4} + \frac{1}{3}\right)} = 0.0243$$

Theo đó, với mức ý nghĩa $\alpha = 90\%$ thì năng suất bóc tách được dự đoán với mức tối ưu của các thông số đầu vào $T_{on}2/C_p3/T_{off}3/IP3/SV3$ như sau:

$$(0.0805 - 0.0243) \text{ g/min} \leq \overline{MRR}_{op} \leq (0.0805 + 0.0243) \text{ g/min}$$

Để kiểm chứng kết quả, tiến hành thực nghiệm với chế độ xung tối ưu: $T_{on} = 14 \mu s$ (A2); $C_p = 0,06 \text{ g/l}$ (B3) $T_{off} = 14 \mu s$ (C1); $IP = 12 \text{ A}$ (D3); $SV = 3 \text{ V}$ (E1). Kết quả tính toán và thực nghiệm được thể hiện như bảng 3.7. Từ kết quả, sự khác biệt của năng suất bóc tách vật liệu giữa hai phương pháp là 10,43% và sai số này là có thể chấp nhận được. Do đó, mô hình tối ưu có thể được sử dụng để tính toán năng suất bóc tách vật liệu tối ưu.

Bảng 3.7. Kết quả tính toán và thực nghiệm

Đặc trưng gia công	Thông số tối ưu		
	Tính toán	Thực nghiệm	% sai lệch
	$T_{on}2/C_p3 / T_{off}1/IP3/SV1$	$T_{on}2/C_p3 / T_{off}1/IP3/SV1$	
Năng suất bóc tách	0,0805	0,0889	10,43

(g/ph)			
--------	--	--	--

3.5. Kết luận chương 3

- Đã nghiên cứu thực nghiệm ảnh hưởng của các thông số quá trình đến năng suất bóc tách vật liệu khi xung có trộn bột các chi tiết có biên dạng trụ định hình. Các thông số này gồm có: thời gian phát xung đúng, nồng độ bột, thời gian tắt xung, dòng điện xung và điện áp xung đã được lựa chọn cho quá trình khảo sát.
- Thí nghiệm đã tiến hành với bột silicon carbide cỡ hạt 450-550 (nm) dùng để trộn vào chất điện môi và thép hợp kim dụng cụ 90CrSi được chọn làm vật liệu phiê. Thêm vào đó, phương pháp Taguchi đã được sử dụng để thiết kế thí nghiệm với 18 lần chạy - dựa trên thiết kế trực giao L18 (21 và 34).
- Từ kết quả phân tích ANOVA, một mô hình tối ưu cho năng suất bóc tách vật liệu khi PMEDM đã được đề xuất và kết quả kiểm chứng bởi so sánh kết quả thí nghiệm và tính toán là đảm bảo. Chế độ xung tối ưu nhằm đạt năng suất bóc tách lớn nhất là: $T_{on} = 14 \mu s$ (A2); $C_p = 0,06 \text{ g/l}$ (B3) $T_{off} = 14 \mu s$ (C1); $IP = 12 \text{ A}$ (D3); $SV = 3 \text{ V}$ (E1).

CHƯƠNG 4

TỐI ƯU HÓA ĐA MỤC TIÊU NHÁM BỀ MẶT VÀ NĂNG SUẤT BÓC TÁCH KHI XUNG THÉP 90CrSi QUA TỐI SỬ DỤNG BỘT NANO BẰNG PHÂN TÍCH QUAN HỆ XÁM TRONG PHƯƠNG PHÁP TAGUCHI.

4.1. Đặt vấn đề

Các bài toán tối ưu đơn mục tiêu nhằm xác định chế độ xung tối ưu để đạt độ nhám bề mặt nhỏ nhất và tốc độ bóc tách vật liệu lớn nhất đã được trình bày tương ứng trong chương 2 và chương 3 với việc sử dụng phương pháp Taguchi. Phương pháp này được ứng dụng để giải bài toán tối ưu hóa chỉ duy nhất một kết quả đầu ra hay bài toán đơn mục tiêu. Tuy nhiên, một thuật toán tối ưu mạnh thì phải giải quyết được đồng thời càng nhiều mối quan hệ đầu ra càng tốt. Một số nghiên cứu gần đây [46-47] đã tối ưu hóa thành công đồng thời nhiều kết quả đầu ra bằng sự kết hợp giữa phân tích

quan hệ mờ (Grey Relational Analysis – viết tắt là GRA) với phương pháp Taguchi. Trong phân tích kết hợp Taguchi - GRA, một cấp quan hệ mờ thu được sử dụng để đánh giá đồng thời các kết quả đầu ra. Điều này đã cho phép chuyển bài toán tối ưu hóa nhiều đặc tính phức tạp thành tối ưu hóa cấp quan hệ xám duy nhất.

Trong nghiên cứu này, sự kết hợp giữa phương pháp Taguchi và GRA được sử dụng để tối ưu hóa thương lượng đồng thời 2 kết quả đầu ra của chế độ xung điện thép 90CrSi có sử dụng bột nano SiC kích thước hạt 500 nm nhằm đạt đồng thời cả hai mục tiêu vừa nhám bề mặt Ra nhỏ nhất và năng suất bóc tách khi xung MRR lớn nhất.

4.2. Setup thí nghiệm

Giống như trong chương 2.

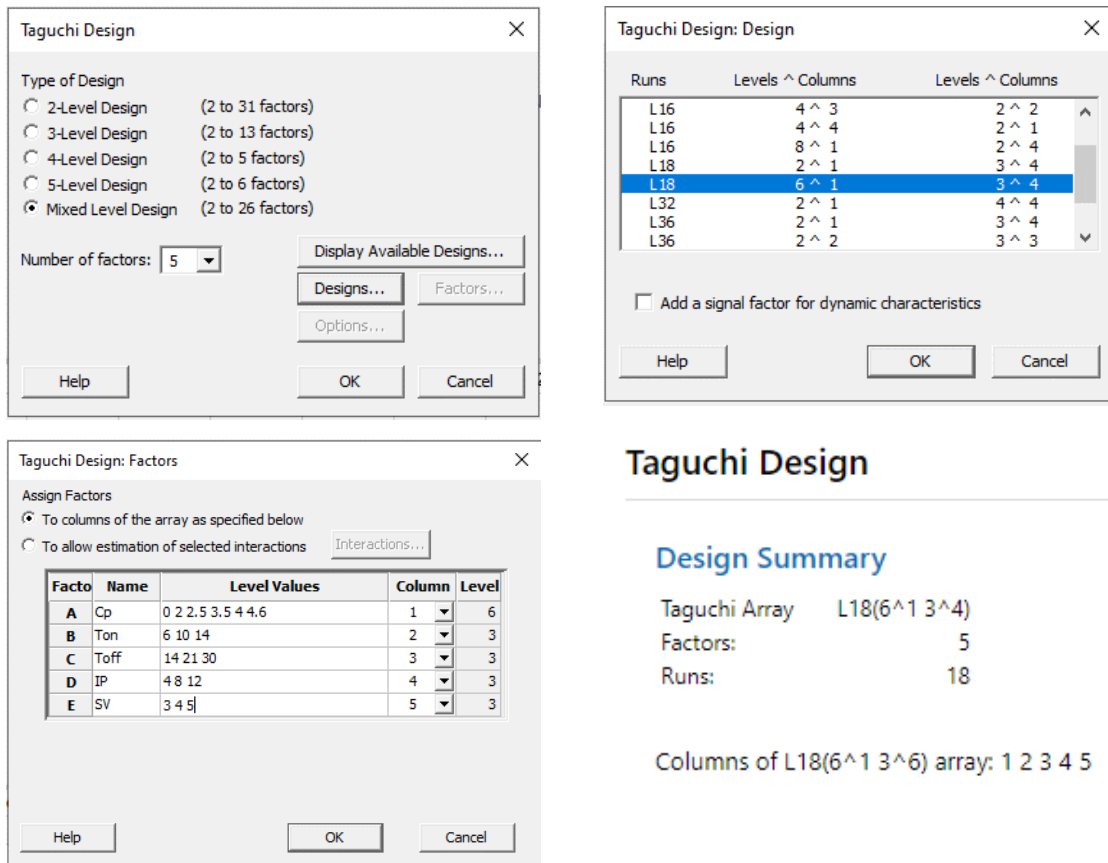
4.3. Phương pháp quy hoạch thực nghiệm

Các yếu tố và các mức của chúng được xem xét trong nghiên cứu này được thể hiện trong bảng 4.1.

Bảng 4.1. Các mức thí nghiệm của các thông số đầu vào C_p , T_{on} , T_{off} , IP và SV

Mức Biến	1	2	3	4	5	6
Nồng độ bột C_p [g/lít]	0	2,0	2,5	3,5	4,0	4,5
Thời gian phát xung T_{on} [μ s]	6	10	14	-	-	-
Thời gian ngừng phát xung T_{off} [μ s]	14	21	30	-	-	-
Cường độ dòng phóng điện IP [A]	4	8	12	-	-	-
Hiệu điện thế SV [V]	3	4	5	-	-	-

Phần mềm Minitab 19 được sử dụng để thiết kế thí nghiệm Taguchi L18 ($6^1 3^4$). Cách thức khai báo các biến thí nghiệm cho bước khởi tạo kế hoạch thí nghiệm được minh họa trên hình 4.1; Kế hoạch và kết quả thí nghiệm được thể hiện như bảng 4.2.



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 4.1. Khai báo biến thí nghiệm theo phương pháp Taguchi
($L18 = 6^1 3^4 = 18$ thí nghiệm).

Bảng 4.2. Kế hoạch và kết quả của thí nghiệm L18

TT	C _p	T _{on}	T _{off}	IP	SV	Ra (μm)	MRR (mm/ph)
1	0	6	14	4	3	2.939	0.197
2	0	10	21	8	4	2.261	0.144
3	0	14	30	12	5	5.103	1.012
4	2	6	14	8	4	2.442	0.119
5	2	10	21	12	5	2.730	0.661
6	2	14	30	4	3	5.105	0.323
7	2.5	6	21	4	5	2.195	0.086
8	2.5	10	30	8	3	3.882	0.389
9	2.5	14	14	12	4	3.788	1.024
10	3.5	6	30	12	4	2.646	1.304

11	3.5	10	14	4	5	3.490	0.431
12	3.5	14	21	8	3	2.886	0.097
13	4	10	30	4	4	2.839	0.893
14	4	14	14	8	5	2.700	0.080
15	4	6	30	8	5	1.670	0.317
16	4.5	10	14	12	3	3.764	1.259
17	4.5	14	21	4	4	4.398	0.323
18	4.5	14	30	8	3	2.797	0.103

Tiến hành làm 18 thí nghiệm theo thứ tự trong bảng 4.2. Các phôi được xung đạt chiều dài 15 mm. Tốc độ bóc tách khi xung MRR bằng tỉ số giữa chiều dài xung (15 mm) và thời gian xung. Mỗi thí nghiệm được lặp lại 3 lần, rồi lấy giá trị trung bình làm kết quả đo.

Các bước tối ưu hóa sử dụng quan hệ xám cho tỉ số S/N

Bước 1: Xác định tỉ số S/N: Trong các thí nghiệm được tiến hành của ma trận thí nghiệm, Kết quả mong muốn đối với nhám bề mặt là “Nhỏ hơn thì tốt hơn”, tỉ số này xác định như sau:

$$SN = -10 \log_{10} \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right) \quad (4.1)$$

Còn với tốc độ xung mong muốn là “Lớn hơn thì tốt hơn”, tỉ số này là:

$$SN = -10 \log_{10} \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right) \quad (4.2)$$

Trong đó: n là số lần lặp ở mỗi thí nghiệm

y_i là giá trị đo được ở lần đo thứ $i = 1, 2, \dots, n$ ($n=3$)

Bước 2: Tỉ số S/N lớn hơn sẽ cho kết quả đáng tin cậy nhất và ít bị ảnh hưởng bởi nhiễu nhất. Tỉ số này được chuẩn hóa bằng Z_{ij} ($0 \leq Z_{ij} \leq 1$) theo công thức sau đây để tránh ảnh hưởng của việc sử dụng các đơn vị khác nhau và để giảm sự biến đổi.

$$Z_{ij} = \frac{SN_{ij} - \min(SN_{ij, j=1,2,..,k})}{\max(SN_{ij, j=1,2,..,n}) - \min(SN_{ij, j=1,2,..,n})} \quad (4.3)$$

Trong đó: j là số thí nghiệm ($j=16$).

Tỉ số SN và giá trị chuẩn hóa Z ứng với mỗi mục tiêu đầu ra được thể hiện trong bảng 4.3.

Bảng 4.3 Các giá trị của S/N, Z_{ij} và $\Delta_j(k)$

TT	S/N		Zij		$\Delta_j(k)$	
	Ra	MRR	Ra	MRR	Ra	MRR
			Trị số tham chiếu			
			1.000	1.000		
1	-9.365	-14.100	0.494	0.324	0.506	0.676
2	-7.093	-16.849	0.729	0.211	0.271	0.789
3	-14.156	0.107	0.001	0.909	0.999	0.091
4	-7.757	-18.457	0.660	0.144	0.340	0.856
5	-8.728	-3.592	0.560	0.757	0.440	0.243
6	-14.163	-9.809	0.000	0.501	1.000	0.499
7	-6.831	-21.336	0.756	0.026	0.244	0.974
8	-11.780	-8.199	0.246	0.567	0.754	0.433
9	-11.568	0.205	0.267	0.913	0.733	0.087
10	-8.460	2.308	0.588	1.000	0.412	0.000
11	-10.858	-7.310	0.341	0.604	0.659	0.396
12	-9.220	-20.306	0.509	0.068	0.491	0.932
13	-9.067	-0.984	0.525	0.864	0.475	0.136
14	-8.631	-21.958	0.570	0.000	0.430	1.000
15	-4.459	-9.988	1.000	0.493	0.000	0.507
16	-11.517	1.999	0.273	0.987	0.727	0.013
17	-12.866	-9.827	0.134	0.500	0.866	0.500
18	-8.936	-19.742	0.539	0.091	0.461	0.909

Bước 3: Tính toán hệ số tương tác trong quan hệ mờ đối với các tỉ số SN chuẩn hóa:

$$\gamma(k) = \frac{\Delta_{min} + \zeta \Delta_{max}}{\Delta_j(k) + \zeta \Delta_{max}} \quad (4.4)$$

Trong đó:

+) $j=1, 2, \dots, n$; $k=1, 2, \dots, m$, n là số thí nghiệm, k là số mục tiêu đầu ra.

Δ_{0j} is the deviation sequence (là trị số sai lệch của dãy tham chiếu).

$\Delta_{0j} = \|Z_0(k) - Z_j(k)\|$ là giá trị tuyệt đối của sai lệch giữa $Z_0(k)$ (trị số tham chiếu) và $Z_j(k)$ (trị số Z của thí nghiệm thứ j của mục tiêu thứ k).

+) $\Delta_{min} = \min_{j \in i} \min_{v_k} \|Z_0(k) - Z_j(k)\|$ là giá trị nhỏ nhất của Δ_{0j}

+) $\Delta_{max} = \max_{j \in i} \max_{v_k} \|Z_0(k) - Z_j(k)\|$ là giá trị lớn nhất của Δ_{0j}

+) ζ là hệ số phân biệt, được xác định trong khoảng $0 \leq \zeta \leq 1$ (giá trị có thể được điều chỉnh dựa trên yêu cầu thực tế của hệ thống, $\zeta=0.5$ được sử dụng tính toán trong nghiên cứu này).

Bước 4: Xác định mức độ quan hệ xám theo công thức:

$$\bar{\gamma}_j = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^m \gamma_{ij} \quad (4.5)$$

Đây là giá trị trung bình của các tương tác trong quan hệ xám đã xác định ở bước 3. k là số mục tiêu cần tối ưu (trong bài toán này là 2).

Bảng 4.4 thể hiện trị số quan hệ xám ứng với các mục tiêu và trị số quan hệ xám trung bình.

Bảng 4.4. Hệ số quan hệ xám và các mức độ quan hệ xám $\bar{\gamma}$

TT	Hệ số quan hệ xám γ_i		$\bar{\gamma}$
	Ra	MRR	
1	0.497	0.425	0.461
2	0.648	0.388	0.518
3	0.333	0.846	0.590
4	0.595	0.369	0.482
5	0.532	0.673	0.602
6	0.333	0.500	0.417
7	0.672	0.339	0.505
8	0.399	0.536	0.467
9	0.406	0.852	0.629
10	0.548	1.000	0.774
11	0.431	0.558	0.495
12	0.505	0.349	0.427
13	0.513	0.787	0.650
14	0.538	0.333	0.436
15	1.000	0.497	0.748
16	0.407	0.975	0.691
17	0.366	0.500	0.433
18	0.520	0.355	0.438

Bước 5: Xác định mức tối ưu của các yếu tố tối ưu:

Trị số quan hệ xám cao hơn hàm ý chất lượng sản phẩm tốt hơn. Do đó, dựa trên mức độ quan hệ xám, có thể ước lượng tác động của yếu tố và mức độ tối ưu cho mỗi yếu tố có thể kiểm soát. Bảng 4.5 cho thấy trị số quan hệ xám cho mỗi thí nghiệm và trị số quan hệ xám tương tác. Theo đó, thí nghiệm số 10 (C_p4 , T_{on1} ,

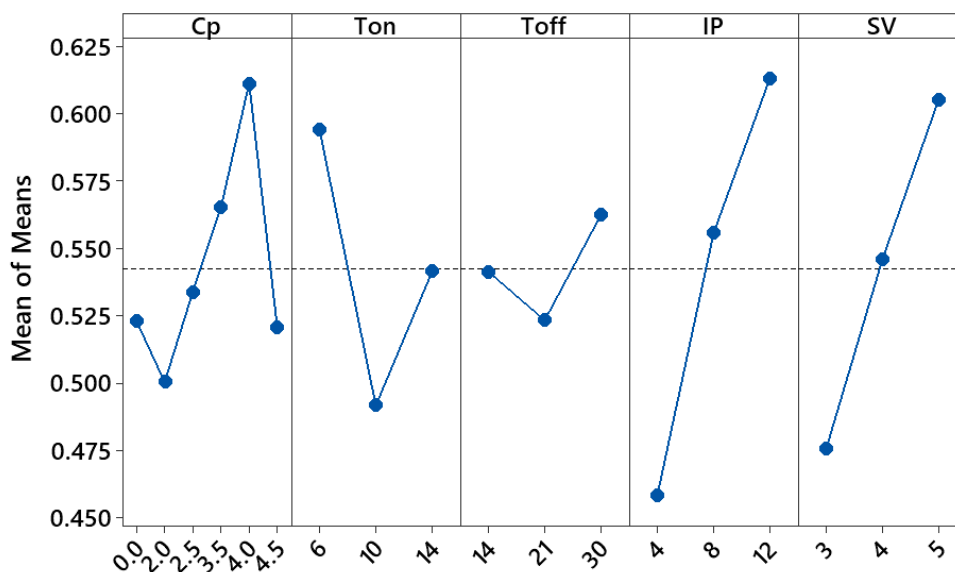
T_{off3} , IP3, SV2) tương ứng với chế độ xung có $C_p = 3,5$ g/lit, $T = 6 \mu s$, $T_{off} = 30 \mu s$, $IP = 12$ A, $SV = 4$ V, có trị số quan hệ xám tương tác lớn nhất (0,774). Điều đó chỉ ra rằng thí nghiệm số 10 thu được có tỉ số SN tương ứng gần với tỉ số SN được chuẩn hóa và nó có nhiều đặc tính tốt trong số 18 thí nghiệm. Tuy nhiên, đây chưa phải là mức độ tối ưu của các yếu tố. Theo phương pháp của Taguchi, cần xác định trị số quan hệ xám trung bình cho mỗi yếu tố ở các mức khác nhau. Trị số quan hệ xám trung bình tại các mức của mỗi yếu tố được xác định trong bảng 4.5 và hình 4.2 (sử dụng phần mềm Minitab 19 để phân tích).

Bảng 4.5. Mức độ ảnh hưởng của các thông số đến hệ số quan hệ xám

Response Table for Means

Level	Cp	Ton	Toff	IP	SV
1	0.5230	0.5939	0.5413	0.4585	0.4758
2	0.5004	0.4918	0.5233	0.5556	0.5460
3	0.5339	0.5414	0.5625	0.6130	0.6053
4	0.5652				
5	0.6112				
6	0.5206				
Delta	0.1108	0.1022	0.0392	0.1545	0.1295
Rank	3	4	5	1	2
$\bar{\gamma} = 0,542$					

Main Effects Plot for Means
Data Means



Hình 4.2. Đồ thị các ảnh hưởng chính của các thông số

Trị số quan hệ xám của mỗi yếu tố ở mức nào là lớn nhất là mức tối ưu của yếu tố đó. Do đó, theo bảng 4.5 và hình 4.2, bộ thông số tối ưu của quá trình gia công đáp ứng cả nhám bề mặt “nhỏ hơn thì tốt hơn” trong khi tốc độ xung “lớn hơn thì tốt hơn” là: $C_p5/T_{on}1/T_{off}3/IP3/SV3$ tương ứng với $C_p = 4,0$ g/lit, $T_{on} = 6$ μ s, $T_{off} = 30$ μ s, $IP = 12$ A, $SV = 5$ V.

Bước 6: Thực hiện phân tích hồi quy phương sai (Analysis of Variance – ANOVA) để xác định các yếu tố quan trọng (Step 6 Perform ANOVA for identifying the significant factors).

Phân tích hồi quy phương sai là áp dụng phương pháp thống kê để xác định ảnh hưởng của mỗi yếu tố. Qua đó xác định được tác động của từng yếu tố đến mục tiêu của quá trình. Tỷ lệ đóng góp khi sử dụng ANOVA sẽ bù đắp cho việc không đánh giá được ảnh hưởng của các thông số trên toàn bộ quá trình của phương pháp Taguchi.

Kết quả phân tích hồi quy phương sai được thể hiện trong bảng 4.6.

Kết quả ANOVA trong bảng 4.6 cho thấy: Cường độ dòng phóng điện IP có ảnh hưởng mạnh nhất đến mục tiêu chung (32,29%), tiếp theo là hiệu điện thế SV (22.24%), thời gian phát xung T_{on} (13.82%), nồng độ bột nano C_p (10.50%), cuối cùng là thời gian ngừng phát xung T_{off} (2.03%).

Bảng 4.6. Kết quả phân tích ANOVA của các mức quan hệ xám

Analysis of Variance for Means

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P	C%
Cp	5	0.023809	0.023809	0.004762	0.44	0.804	10.50
Ton	2	0.031330	0.031330	0.015665	1.45	0.337	13.82
Toff	2	0.004609	0.004609	0.002304	0.21	0.817	2.03
IP	2	0.073203	0.073203	0.036601	3.38	0.138	32.29
SV	2	0.050428	0.050428	0.025214	2.33	0.214	22.24
Residual Error	4	0.043360	0.043360	0.010840			19.12
Total	17	0.226739					100.00

Bước 8: Tính toán tối ưu hóa và kiểm nghiệm

Xác định trị số quan hệ mờ tối ưu được xác định:

$$\bar{y}_{op} = \eta_m + \sum_{i=1}^4 (\bar{\eta} - \eta_m) = C_{p5} + T_{on1} + T_{off3} + IP_3 + SV_3 - 4 * T \quad (4.6)$$

Trong đó: T là trị số quan hệ xám trung bình $T = 0.542$, các trị số C_{p5} , T_{on1} , T_{off3} , IP_3 , SV_3 là trị số quan hệ xám của các thông số ứng với mức tối ưu hóa tương ứng và được lấy từ bảng 4.6. Theo đó, $\bar{y}_{op} = 0.816$.

Khoảng tin cậy CI được tính như sau:

$$CI = \pm \sqrt{F_{\alpha}(1, f_e) \cdot V_e \cdot \left(\frac{1}{N_e} + \frac{1}{R} \right)} = \pm 0,244$$

Trong đó: $F_{\alpha}(1, f_e) = 5,448$ là hệ số tra bảng với mức ý nghĩa $\alpha\% = 90\%$, $f_e = 4$ là bậc tự do của lỗi, $V_e = 0,01084$ là sai số trung bình của lỗi, N_e là số lần lặp hiệu quả, $R = 3$ là số lần lặp của một thí nghiệm.

$$N_e = \frac{\text{Tổng số thí nghiệm}}{1 + \text{tổng bậc tự do của các yếu tố đưa vào tính toán tối ưu}}$$

$$= \frac{54}{1 + 5 + 2 + 2 + 2 + 2} = 3,857$$

Do đó, với mức ý nghĩa $\alpha = 90\%$ thì trị số quan hệ xám được dự đoán với mức hợp lý của các thông số đầu vào $C_{p5}/T_{on1}/T_{off3}/IP_3/SV_3$ như sau:

$$0,572 \leq \bar{y}_{op} \leq 1,00$$

Tính toán dự đoán kết quả tối ưu.

Căn cứ vào mức tối ưu của các thông số đầu vào, giá trị tối ưu của các kết quả đầu ra Ra và MRR được xác định theo công thức sau:

$$(Ra, MRR)_{op} = \bar{C}_{p5} + \bar{T}_{on1} + \bar{T}_{off3} + \bar{IP}_3 + \bar{SV}_3 - 4 * \bar{T}$$

Trong đó:

$(Ra, MRR)_{op}$ là trị số nhám bề mặt hoặc tốc độ xung tối ưu

\bar{C}_{p5} là trị số trung bình nhám bề mặt hoặc tốc độ xung khi nồng độ bột nano ở mức 5

\bar{T}_{on1} là trị số trung bình nhám bề mặt hoặc tốc độ xung khi thời gian phát xung ở mức 1

\bar{T}_{off3} là trị số trung bình nhám bề mặt hoặc tốc độ xung khi thời gian ngừng phát xung ở mức 3

\bar{IP}_3 là trị số trung bình nhám bề mặt hoặc tốc độ xung khi cường độ dòng điện ở mức 3

\bar{SV}_3 là trị số trung bình nhám bề mặt hoặc tốc độ xung khi hiệu điện thế ở mức 3

\bar{T} là trị số trung bình nhám bề mặt hoặc tốc độ xung của toàn bộ thí nghiệm.

Theo đó:

$$(Ra)_{op} = 3,009 \mu m$$

$$(MRR)_{op} = 1.35 \text{ mm/min}$$

Để đánh giá độ chính xác của việc tính toán, tiến hành thực nghiệm kiểm chứng với bộ thông số xung tối ưu đã tìm được với số lần lặp 2 lần. Bộ thông số thực nghiệm là: $C_p = 4,0 \text{ g/lit}$, $T_{on} = 6 \mu\text{s}$, $T_{off} = 30 \mu\text{s}$, $IP = 12 \text{ A}$, $SV = 5 \text{ V}$. Kết quả thực nghiệm và so sánh với kết quả tính toán tối ưu được thể hiện trong bảng 4.7.

Bảng 4.7. Kết quả so sánh giữa tính toán và thực nghiệm.

Đặc trưng gia công	Thông số tối ưu		
	Tính toán	Thực nghiệm	% sai lệch
	$C_p5/T_{on}1/T_{off}3/IP3/SV3$	$C_p5/T_{on}1/T_{off}3/IP3/SV3$	
Nhám bề mặt Ra (μm)	3,009	2,783	7,51
Tốc độ xung MRR (mm/min)	1.35	1.304	3.41
Giá trị quan hệ mờ	0,816		

Kết quả thực nghiệm cho thấy, sai số lớn nhất so với tính toán là 7,51% ứng với tính toán năng suất bóc tách vật liệu nên phương pháp tính toán hoàn toàn có thể được sử dụng để dự báo chính xác đồng thời hai đặc trưng là nhám bề mặt và năng suất bóc tách vật liệu.

4.4. Kết luận chương 4

- Phân tích quan hệ xám trong phương pháp Taguchi để tối ưu hóa đa mục tiêu là một công cụ rất hữu ích để dự đoán nhám bề mặt và năng suất bóc tách vật liệu trong quá trình xung thép 90CrSi qua tôi bằng bằng điện cực đồng có sử dụng bột nano.

- Từ phân tích này, cường độ dòng phóng điện IP có ảnh hưởng mạnh nhất đến mục tiêu chung (32,29%), tiếp theo là hiệu điện thế SV (22,24%), thời gian phát xung Tom (13,82%), nồng độ bột nano C_p (10,50%), cuối cùng là thời gian ngừng phát xung T_{off} (2,03%).

- Chế độ xung tối ưu khi xung thép 90CrSi qua tôi bằng điện cực đồng có sử dụng bột nano SiC 450-500 nm nhằm đạt cả nhám bề mặt “nhỏ hơn thì tốt hơn” trong khi năng suất bóc tách vật liệu “lớn hơn thì tốt hơn” là: $C_p = 4,0 \text{ g/lit}$, $T_{on} = 6 \mu\text{s}$, $T_{off} = 30 \mu\text{s}$, $IP = 12 \text{ A}$, $SV = 5 \text{ V}$.

- Kết quả thực nghiệm đã chứng minh rằng sự phù hợp của kết quả mô hình tính toán tối ưu với yêu cầu thực tế xung thép 90CrSi qua tôi bằng điện cực đồng có sử dụng bột nano SiC 500nm.

CHƯƠNG 5

TỐI ƯU HÓA ĐA MỤC TIÊU MÒN ĐIỆN CỰC VÀ NĂNG SUẤT BÓC TÁCH KHI XUNG THÉP 90CrSi QUA TÔI SỬ DỤNG BỘT NANO BẰNG PHÂN TÍCH QUAN HỆ XÁM TRONG PHƯƠNG PHÁP TAGUCHI

5.1. Đặt vấn đề

Phương pháp Taguchi được ứng dụng để giải bài toán tối ưu hóa chỉ duy nhất một kết quả đầu ra. Tuy nhiên, một thuật toán tối ưu mạnh thì phải giải quyết được đồng thời càng nhiều mối quan hệ đầu ra càng tốt. Một số nghiên cứu gần đây đã tối ưu hóa thành công đồng thời nhiều kết quả đầu ra khi mài phẳng bằng sự kết hợp giữa phân tích quan hệ mờ (GRA- Grey Relational Analysis) với phương pháp Taguchi. Trong phân tích kết hợp Taguchi - GRA, một cấp quan hệ mờ thu được sử dụng để đánh giá đồng thời các kết quả đầu ra. Điều này đã biến bài toán tối ưu hóa nhiều đặc tính phức tạp thành tối ưu hóa cấp quan hệ xám duy nhất. Trong

ngiên cứu này, sự kết hợp giữa phương pháp Taguchi và GRA được sử dụng để tối ưu hóa thương lượng đồng thời 2 kết quả đầu ra của chế độ xung thép 90CrSi có sử dụng bột nano TiC 500 nm nhằm cả hai mục tiêu vừa tốc độ mòn EWR nhỏ nhất và năng suất bóc tách vật liệu MRR lớn nhất.

5.2. Setup thí nghiệm

Giống chương 2

5.3. Tiến hành thí nghiệm

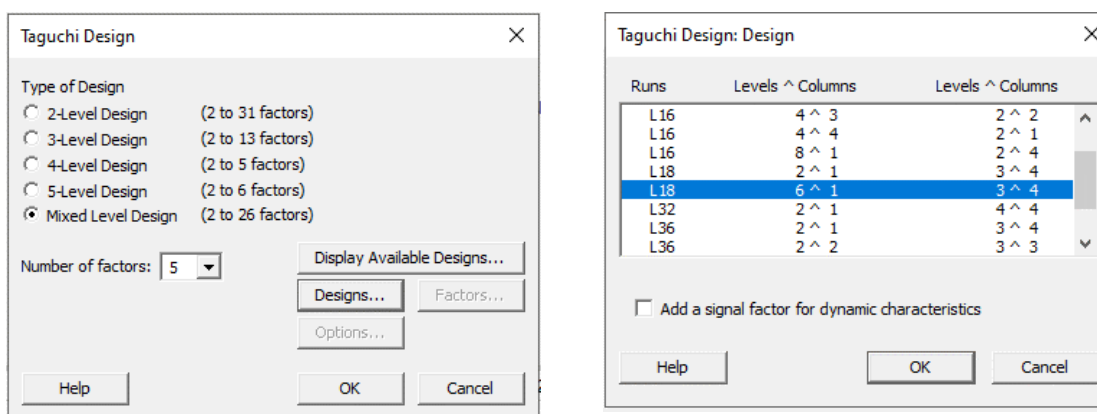
5.3.1. Thiết kế thí nghiệm

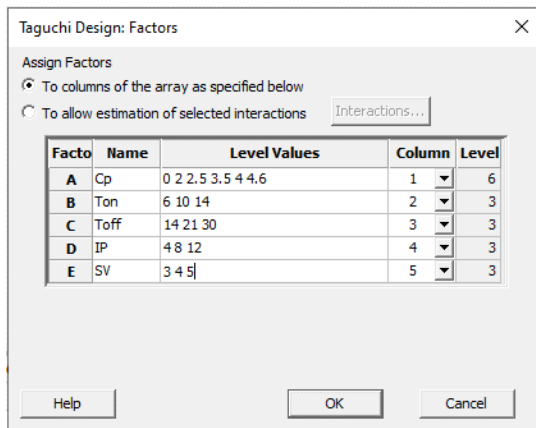
Các yếu tố và các mức của chúng được xem xét trong nghiên cứu này được thể hiện trong bảng 5.1.

Bảng 5.1. Các mức thí nghiệm của các thông số đầu vào C_p , T_{on} , T_{off} , IP và SV

Mức Biến	1	2	3	4	5	6
Nồng độ bột C_p [g/lít]	0	2,0	2,5	3,5	4,0	4,5
Thời gian phát xung T_{on} [μ s]	6	10	14	-	-	-
Thời gian ngừng phát xung T_{off} [μ s]	14	21	30	-	-	-
Cường độ dòng phóng điện IP [A]	4	8	12	-	-	-
Hiệu điện thế SV [V]	3	4	5	-	-	-

Sử dụng Minitab 19 để thiết kế Taguchi $L_{18}(6^1 3^4)$, Cách thức khai báo các biến thí nghiệm cho bước khởi tạo kế hoạch thí nghiệm được minh họa trên hình 5.1, Kế hoạch và kết quả thí nghiệm thể hiện như bảng 5.2.





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

Bảng 5.2: Kế hoạch và kết quả của thí nghiệm L18

TT	C _p	T _{on}	T _{off}	IP	SV	Electrode Wear EWR (mg/h)			Material Remove Rate MRR (mg/h)		
						Trial 1	Trial 2	Trial 3	Trial 1	Trial 2	Trial 3
1	0	6	14	4	3	94.675	91.519	97.041	730.572	732.150	732.150
2	0	10	21	8	4	14.947	16.672	18.972	527.755	528.330	528.330
3	0	14	30	12	5	72.891	64.792	48.594	5013.273	5013.273	5009.224
4	2	6	14	8	4	47.299	46.344	46.821	428.560	426.171	427.605
5	2	10	21	12	5	179.868	174.578	171.932	2806.466	2795.885	2801.176
6	2	14	30	4	3	16.810	18.103	12.931	1490.948	1490.948	1492.241
7	2.5	6	21	4	5	60.709	58.651	59.680	313.148	311.776	312.805
8	2.5	10	30	8	3	43.580	38.911	40.467	1512.840	1509.728	1506.615
9	2.5	14	14	12	4	69.625	57.338	53.242	4840.956	4836.860	4836.860
10	3.5	6	30	12	4	641.739	657.391	636.522	5217.391	5201.739	5206.957
11	3.5	10	14	4	5	41.379	37.931	36.207	1758.621	1760.345	1756.897
12	3.5	14	21	8	3	5.792	5.020	4.634	394.637	393.865	393.865
13	4	10	30	4	4	75.000	64.286	71.429	3696.429	3692.857	3696.429
14	4	14	14	8	5	5.428	6.067	6.705	326.634	325.996	325.676
15	4	6	30	8	5	69.669	60.802	64.602	1162.843	1161.576	1165.376
16	4.5	10	14	12	3	317.203	292.028	312.168	5462.937	5457.902	5467.972
17	4.5	14	21	4	4	14.194	10.323	12.903	1459.355	1456.774	1454.194
18	4.5	14	30	8	3	6.181	9.477	7.005	419.870	418.221	419.045

5.3.2. Các bước tối ưu hóa sử dụng quan hệ xám cho tỉ số S/N

Step 1: Xác định tỉ số S/N: Trong các thí nghiệm được tiến hành của ma trận thí nghiệm, Kết quả mong muốn đối với lượng mòn điện cực EWR là “Nhỏ hơn thì tốt hơn”, tỉ số này xác định như sau [16]:

$$SN = -10\log_{10}\left(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^n y_i^2\right) \quad (5.1)$$

Còn với năng suất bóc tách vật liệu mong muốn là “Lớn hơn thì tốt hơn”, tỉ số này là:

$$SN = -10\log_{10}\left(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2}\right) \quad (5.2)$$

Trong đó: n là số lần lặp ở mỗi thí nghiệm

y_i là giá trị đo được ở lần đo thứ $i = 1, 2, \dots, n$ ($n=3$)

Step 2: Tỉ số S/N lớn hơn sẽ cho kết quả đáng tin cậy nhất và ít bị ảnh hưởng bởi nhiễu nhất. Tỉ số này được chuẩn hóa bằng Z_{ij} ($0 \leq Z_{ij} \leq 1$) theo công thức sau đây để tránh ảnh hưởng của việc sử dụng các đơn vị khác nhau và để giảm sự biến đổi.

$$Z_{ij} = \frac{SN_{ij} - \min(SN_{ij}, j=1, 2, \dots, k)}{\max(SN_{ij}, j=1, 2, \dots, n) - \min(SN_{ij}, j=1, 2, \dots, n)} \quad (5.3)$$

Trong đó: j là số thí nghiệm ($j=16$).

Tỉ số S/N và giá trị chuẩn hóa Z ứng với mỗi mục tiêu đầu ra được thể hiện trong bảng 5.3.

Bảng 5.3. Các giá trị của S/N, Z_{ij} và $\Delta_j(k)$

TT	S/N		Z _{ij}		Δ _j (k)	
	EWR	MRR	EWR	MRR	EWR	MRR
			Trị số tham chiếu			
			1.000	1.000		
1	-39.503	57.286	0.398	0.297	0.602	0.703
2	-24.580	54.455	0.754	0.183	0.246	0.817
3	-35.974	74.000	0.482	0.970	0.518	0.030
4	-33.409	52.618	0.544	0.109	0.456	0.891
5	-44.885	68.947	0.270	0.767	0.730	0.233
6	-24.136	63.472	0.765	0.546	0.235	0.454
7	-35.517	49.899	0.493	0.000	0.507	1.000
8	-32.262	63.578	0.571	0.550	0.429	0.450
9	-35.631	73.694	0.491	0.958	0.509	0.042

TT	S/N		Z _{ij}		Δ _j (k)	
	EWR	MRR	EWR	MRR	EWR	MRR
			Trị số tham chiếu			
			1.000	1.000		
10	-56.195	74.335	0.000	0.983	1.000	0.017
11	-31.724	64.903	0.584	0.604	0.416	0.396
12	-14.272	51.913	1.000	0.081	0.000	0.919
13	-36.949	71.353	0.459	0.863	0.541	0.137
14	-15.691	50.267	0.966	0.015	0.034	0.985
15	-36.275	61.314	0.475	0.459	0.525	0.541
16	-49.752	74.749	0.154	1.000	0.846	0.000
17	-21.991	63.268	0.816	0.538	0.184	0.462
18	-17.711	52.445	0.918	0.102	0.082	0.898

Bước 3: Tính toán hệ số tương tác trong quan hệ mờ đối với các tỉ số SN chuẩn hóa:

$$\gamma(k) = \frac{\Delta_{min} + \zeta \Delta_{max}}{\Delta_j(k) + \zeta \Delta_{max}} \quad (5.4)$$

Trong đó:

+) $j=1, 2, \dots, n$; $k=1, 2, \dots, m$, n là số thí nghiệm, k là số mục tiêu đầu ra.

Δ_{0j} is the deviation sequence (là trị số sai lệch của dãy tham chiếu).

$\Delta_{0j} = \|Z_0(k) - Z_j(k)\|$ là giá trị tuyệt đối của sai lệch giữa $Z_0(k)$ (trị số tham chiếu) và $Z_j(k)$ (trị số Z của thí nghiệm thứ j của mục tiêu thứ k).

+) $\Delta_{min} = \min_{j \in i} \min_{v_k} \|Z_0(k) - Z_j(k)\|$ là giá trị nhỏ nhất của Δ_{0j}

+) $\Delta_{max} = \max_{j \in i} \max_{v_k} \|Z_0(k) - Z_j(k)\|$ là giá trị lớn nhất của Δ_{0j}

+) ζ là hệ số phân biệt, được xác định trong khoảng $0 \leq \zeta \leq 1$ (giá trị có thể được điều chỉnh dựa trên yêu cầu thực tế của hệ thống, $\zeta=0.5$ được sử dụng tính toán trong nghiên cứu này).

Bước 4: Xác định mức độ Quan hệ xám theo công thức:

$$\bar{\gamma}_j = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^m \gamma_{ij} \quad (5.5)$$

Đây là giá trị trung bình của các tương tác trong quan hệ xám đã xác định ở bước 3. k là số mục tiêu cần tối ưu.

Bảng 5.4 thể hiện trị số quan hệ xám ứng với các mục tiêu và trị số quan hệ xám trung bình.

Bảng 5.4. Hệ số quan hệ xám và các mức độ quan hệ xám $\bar{\gamma}$

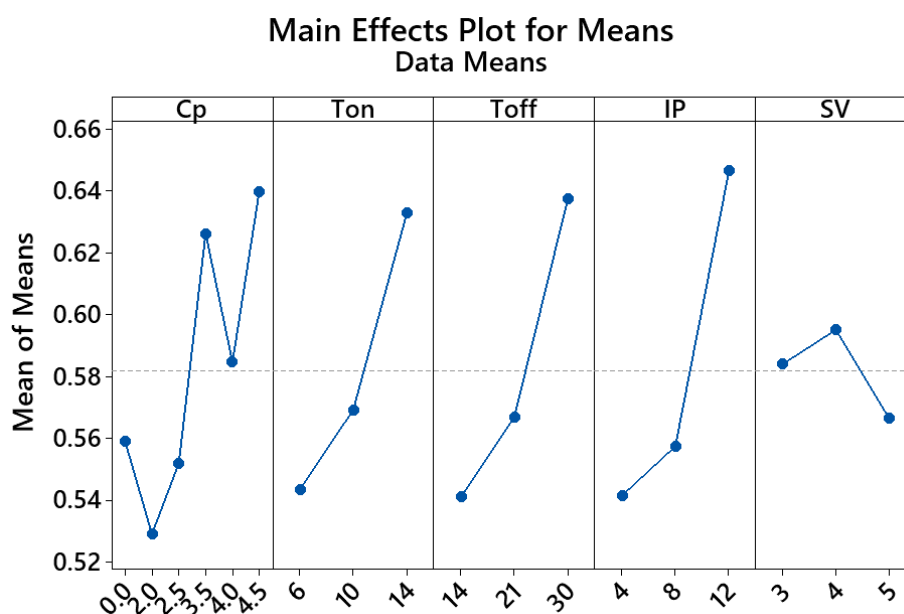
TT	Grey relational co-efficient		$\bar{\gamma}$
	γ_i		
	EWR	MRR	
1	0.454	0.416	0.435
2	0.670	0.380	0.525
3	0.491	0.943	0.717
4	0.523	0.360	0.441
5	0.406	0.682	0.544
6	0.680	0.524	0.602
7	0.497	0.333	0.415
8	0.538	0.527	0.532
9	0.495	0.922	0.709
10	0.333	0.968	0.651
11	0.546	0.558	0.552
12	1.000	0.352	0.676
13	0.480	0.785	0.633
14	0.937	0.337	0.637
15	0.488	0.480	0.484
16	0.371	1.000	0.686
17	0.731	0.520	0.625
18	0.859	0.358	0.608

Bước 5: Xác định mức tối ưu của các yếu tố tối ưu:

Trị số quan hệ xám cao hơn hàm ý chất lượng sản phẩm tốt hơn. Do đó, dựa trên mức độ quan hệ xám, có thể ước lượng tác động của yếu tố và mức độ tối ưu cho mỗi yếu tố có thể kiểm soát. Bảng 5.4 cho thấy trị số quan hệ xám cho mỗi thí nghiệm và trị số quan hệ xám tương tác. Theo đó, thí nghiệm số 9 (C_p3 , $T_{on}3$, $T_{off}1$, IP3, SV2) tương ứng với chế độ xung có $C_p = 2,5$ g/lit, $T_{on} = 14$ μ s, $T_{off} = 1$ μ s, IP = 12 A, SV = 4 V, có trị số quan hệ xám tương tác lớn nhất (0,709). Điều đó chỉ ra rằng thí nghiệm số 9 thu được có tỉ số S/N tương ứng gần với tỉ số S/N được chuẩn hóa và nó có nhiều đặc tính tốt trong số 18 thí nghiệm. Tuy nhiên, đây chưa phải là mức độ tối ưu của các yếu tố. Theo phương pháp của Taguchi, cần xác định trị số quan hệ xám trung bình cho mỗi yếu tố ở các mức khác nhau. Trị số quan hệ xám trung bình tại các mức của mỗi yếu tố được xác định trong bảng 5.5 và hình 5.2 (sử dụng phần mềm Minitab 19 để phân tích).

Bảng 5.5. Mức độ ảnh hưởng của các thông số đến hệ số quan hệ xám

Level	Cp	Ton	Toff	IP	SV
1	0.5590	0.5433	0.5409	0.5414	0.5839
2	0.5291	0.5692	0.5669	0.5574	0.5950
3	0.5520	0.6328	0.6374	0.6464	0.5663
4	0.6262				
5	0.5845				
6	0.6398				
Delta	0.1107	0.0895	0.0965	0.1050	0.0287
Rank	1	4	3	2	5
$\bar{\gamma} = 0,582$					



Hình 5.2. Đồ thị các ảnh hưởng chính của các thông số

Trị số quan hệ xám của mỗi yếu tố ở mức nào là lớn nhất là mức tối ưu của yếu tố đó. Do đó, theo bảng 5.5 và hình 5.2, bộ thông số tối ưu của quá trình xung đáp ứng cả lượng mòn điện cực “nhỏ hơn thì tốt hơn” trong khi năng suất gia công “lớn hơn thì tốt hơn” là: $C_p6/T_{on}3/T_{off}3/IP3/SV2$ tương ứng với $C_p = 4,5$ g/lit, $T_{on} = 14\mu s$, $T_{off} = 30\mu s$, $IP = 12$ A, $SV = 4$ V.

Bước 6: Thực hiện phân tích hồi quy phương sai (Analysis of Variance – ANOVA) để xác định các yếu tố quan trọng Phân tích hồi quy phương sai là áp dụng phương pháp thống kê để xác định ảnh hưởng của mỗi yếu tố. Qua đó xác định được tác động của từng yếu tố đến mục tiêu của quá trình. Tỷ lệ đóng góp khi

sử dụng ANOVA sẽ bù đắp cho việc không đánh giá được ảnh hưởng của các thông số trên toàn bộ quá trình của phương pháp Taguchi.

Kết quả phân tích hồi quy phương sai được thể hiện trong bảng 5.6.

Table 5.6. Kết quả phân tích ANOVA của các mức quan hệ xám

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P	C%
Cp	5	0.028582	0.028582	0.005716	0.78	0.613	18.54
Ton	2	0.025426	0.025426	0.012713	1.73	0.287	16.49
Toff	2	0.029905	0.029905	0.014952	2.03	0.246	19.39
IP	2	0.038380	0.038380	0.019190	2.61	0.188	24.89
SV	2	0.002518	0.002518	0.001259	0.17	0.848	1.63
Residual Error	4	0.029390	0.029390	0.007348			19.06
Total	17	0.154201					100.00

Kết quả ANOVA trong bảng 5.6 cho thấy: Cường độ dòng phóng điện IP có ảnh hưởng mạnh nhất đến mục tiêu chung (24.89%), tiếp theo là thời gian ngừng phát xung T_{off} (19.39%), nồng độ bột nano C_p (18.54%), thời gian phát xung T_{on} (16.49%), cuối cùng là hiệu điện thế SV (1.63%). Có thể nhận thấy rằng hiệu điện thế SV ít ảnh hưởng đến mục tiêu chung. Do đó có thể đưa thông số SV vào phân tích lỗi (thể hiện như trong Bảng 5.7).

Table 5.7. Kết quả phân tích ANOVA của các mức quan hệ xám

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P	C%
Cp	5	0.02858	0.02858	0.005716	1.07	0.457	18.53
Ton	2	0.02543	0.02543	0.012713	2.39	0.172	16.49
Toff	2	0.02990	0.02990	0.014952	2.81	0.138	19.39
IP	2	0.03838	0.03838	0.019190	3.61	0.094	24.89
SV	(2)	(0.002518)	-pool-	-	-	-	-
Residual Error	6	0.03191	0.03191	0.005318			20.69
Total	17	0.15420					100.00

Bước 8: Tính toán tối ưu hóa và kiểm nghiệm

Xác định trị số quan hệ mờ tối ưu được xác định:

$$\bar{y}_{op} = \eta_m + \sum_{i=1}^4 (\bar{\eta} - \eta_m) = C_{p6} + T_{on3} + T_{off3} + IP_3 - 3 * T \quad (5.6)$$

Trong đó: T là trị số quan hệ xám trung bình $T = 0.582$, các trị số C_{p5} , T_{on3} , T_{off3} , IP_3 là trị số quan hệ xám của các thông số ứng với mức tối ưu hóa tương ứng và được lấy từ bảng 5.5. Theo đó, $\bar{\gamma}_{op} = 0.811$.

Khoảng tin cậy CI được tính như sau:

$$CI = \pm \sqrt{F_{\alpha}(1, f_e) \cdot V_e \cdot \left(\frac{1}{N_e} + \frac{1}{R} \right)} = \pm 0,11$$

Trong đó: $F_{\alpha}(1, f_e) = 3.776$ là hệ số tra bảng với mức ý nghĩa $\alpha\% = 90\%$, $f_e = 6$ là bậc tự do của lỗi, $V_e = 0.005318$ là sai số trung bình của lỗi, N_e là số lần lặp hiệu quả, $R = 3$ là số lần lặp của một thí nghiệm.

$$N_e = \frac{\text{Tổng số thí nghiệm}}{1 + \text{tổng bậc tự do của các yếu tố đưa vào tính toán tối ưu}}$$

$$= \frac{54}{1 + 5 + 2 + 2 + 2} = 4.5$$

Do đó, với mức ý nghĩa $\alpha = 90\%$ thì trị số quan hệ xám được dự đoán với mức hợp lý của các thông số đầu vào $C_{p5}/T_{on3}/T_{off3}/IP_3/(SV2)$ như sau:

$$0,7 \leq \bar{\gamma}_{op} \leq 0.91$$

Tính toán dự đoán kết quả tối ưu.

Căn cứ vào mức tối ưu của các thông số đầu vào, giá trị tối ưu của các kết quả đầu ra Ra và MRR được xác định theo công thức sau:

$$(EWR, MRR)_{op} = \bar{C}_{p6} + \bar{T}_{on3} + \bar{T}_{off3} + \bar{IP}_3 - 3 * \bar{T}$$

Trong đó:

$(Ra, MRR)_{op}$ là trị số nhám bề mặt hoặc năng suất bóc tách vật liệu tối ưu

\bar{C}_{p6} là trị số trung bình lượng mòn điện cực hoặc năng suất bóc tách vật liệu khi nồng độ bột nano ở mức 6

\bar{T}_{on3} là trị số trung bình lượng mòn điện cực hoặc năng suất bóc tách vật liệu khi thời gian phát xung ở mức 3

\bar{T}_{off3} là trị số trung bình lượng mòn điện cực hoặc năng suất bóc tách vật liệu khi thời gian ngừng phát xung ở mức 3

\bar{IP}_3 là trị số trung bình lượng mòn điện cực hoặc năng suất bóc tách vật liệu khi cường độ dòng điện ở mức 3

\bar{T} là trị số trung bình nhám bề mặt hoặc năng suất bóc tách vật liệu của toàn bộ thí nghiệm.
Theo đó:

$$(EWR)_{op} = 207.228 \text{ mg/h}$$

$$(MRR)_{op} = 5413.631 \text{ mg/h}$$

Để đánh giá độ chính xác của việc tính toán, tiến hành thực nghiệm kiểm chứng với bộ thông số sửa đã tối ưu đã tìm được với số lần lặp 2 lần. Bộ thông số thực nghiệm là: $C_p = 4,5 \text{ g/lit}$, $T_{on} = 614\mu\text{s}$, $T_{off} = 30 \mu\text{s}$, $IP = 12 \text{ A}$, $SV = 4 \text{ V}$. Kết quả thực nghiệm và so sánh với kết quả tính toán tối ưu được thể hiện trong bảng 5.8.

Bảng 5.8. Kết quả so sánh giữa tính toán và thực nghiệm.

Đặc trưng gia công	Thông số tối ưu		
	Tính toán	Thực nghiệm	% sai lệch
	$C_p 6/T_{on} 3/T_{off} 3/IP 3/(SV 2)$	$C_p 6/T_{on} 1/T_{off} 3/IP 3/SV 3$	
Lượng mòn điện cực EWR (mg/h)	207.228	196.031	5.4
Năng suất bóc tách vật liệu MRR (mg/h)	5413.631	5016.972	7,3
Giá trị quan hệ mờ	0,811		

Kết quả thực nghiệm cho thấy, sai số lớn nhất so với tính toán là 7,3% ứng với tính toán năng suất bóc tách vật liệu nên phương pháp tính toán hoàn toàn có thể được sử dụng để dự báo chính xác đồng thời hai đặc trưng là lượng mòn điện cực và năng suất bóc tách vật liệu.

5.4. Kết luận

- Tối ưu hóa đa mục tiêu mòn điện cực nhỏ nhất và năng suất bóc tách lớn nhất cho kết quả tại như sau: Cường độ dòng phóng điện IP có ảnh hưởng mạnh nhất đến mục tiêu chung (24.89%), tiếp theo là thời gian ngừng phát xung T_{off} (19.39%), nồng độ bột nano C_p (18.54%), thời gian phát xung T_{on} (16.49%), cuối cùng là hiệu điện thế SV (1.63%).

- Chế độ xung tối ưu khi xung thép 90CrSi qua tôi bằng điện cực đồng có sử dụng bột nano SiC 500 nm nhằm đạt cả lượng mòn điện cực “nhỏ hơn thì tốt hơn” trong khi năng suất bóc tách vật liệu “lớn hơn thì tốt hơn” là: $C_p = 4,5 \text{ g/lit}$, $T_{on} = 614\mu\text{s}$, $T_{off} = 30 \mu\text{s}$, $IP = 12 \text{ A}$, $SV = 4 \text{ V}$.
- Kết quả thực nghiệm đã chứng minh rằng sự phù hợp của kết quả mô hình tính toán tối ưu với yêu cầu thực tế xung thép 90CrSi qua tôi bằng điện cực đồng có sử dụng bột nano SiC 500nm.

KẾT LUẬN VÀ ĐỀ XUẤT

1. Kết luận

- Đã tiến hành nghiên cứu tổng quan về xung điện và xung điện có trộn bột và thấy rằng cần thiết phải tiến hành “Nghiên cứu nâng cao hiệu quả quá trình gia công xung điện định hình với dung dịch điện môi có trộn bột nano.” để có thể gia công xung điện hiệu quả các chi tiết có biên dạng trụ định hình vật liệu 90CrSi
- Bột SiC 450-500 nm đã được lựa chọn đưa vào nghiên cứu;
- Đã xác định được chế độ xung hợp lý để đạt nhám bề mặt nhỏ nhất. Cụ thể: nồng độ bột nano $C_p = 4\text{g/l}$, thời gian phát xung $T_{on} = 6\mu\text{s}$, thời gian ngừng phát xung $T_{off} = 21\mu\text{s}$, cường độ dòng phóng điện $IP = 8\text{A}$, hiệu điện thế xung $SV = 4\text{V}$.
- Đã xác định được chế độ xung hợp lý để đạt Năng suất bóc tách lớn nhất, cụ thể: $T_{on} = 14 \mu\text{s}$ (A2); $C_p = 0,06 \text{ g/l}$ (B3) $T_{off} = 14\mu\text{s}$ (C1); $IP = 12 \text{ A}$ (D3); $SV = 3 \text{ V}$ (E1).
- Đã xác định được chế độ xung hợp lý để đạt đa mục tiêu dựa trên phân tích quan hệ Taguchi xám: Nhám bề mặt nhỏ nhất và Năng suất bóc tách lớn nhất, cụ thể: $C_p = 4,0 \text{ g/lit}$, $T_{on} = 6 \mu\text{s}$, $T_{off} = 30 \mu\text{s}$, $IP = 12 \text{ A}$, $SV = 5 \text{ V}$.
- Tối ưu hóa đa mục tiêu mòn điện cực nhỏ nhất và năng suất bóc tách lớn nhất cho kết quả như sau: Cường độ dòng phóng điện IP có ảnh hưởng mạnh nhất đến mục tiêu chung (24.89%), tiếp theo là thời gian ngừng phát xung T_{off} (19.39%), nồng độ bột nano C_p (18.54%), thời gian phát xung T_{on} (16.49%), cuối cùng là hiệu điện thế SV (1.63%).

- Chế độ xung tối ưu khi xung thép 90CrSi qua tô bằng điện cực đồng có sử dụng bột nano SiC 500 nm nhằm đạt cả lượng mòn điện cực “nhỏ hơn thì tốt hơn” trong khi năng suất bóc tách vật liệu “lớn hơn thì tốt hơn” là: $C_p = 4,5 \text{ g/lit}$, $T_{on} = 614\mu\text{s}$, $T_{off} = 30 \mu\text{s}$, $IP = 12 \text{ A}$, $SV = 4 \text{ V}$.

2. Đề xuất

Đối tượng của nghiên cứu này là nghiên cứu nâng cao hiệu quả khi xung điện bề mặt định hình lõi các chi tiết làm bằng thép 90CrSi qua tô với dung dịch điện môi có trộn bột SiC với vật liệu điện cực bằng đồng đỏ. Do đó, để có thể gia công hiệu quả các vật liệu khác như thép SKD11, thép gió vv... cần thiết phải tiến hành nghiên cứu xung bề mặt trụ định hình các vật liệu khác như thép SKD11, thép gió vv... Thêm vào đó, nghiên cứu xung với điện cực vật liệu khác như graphite – là vật liệu dùng rất phổ biến - cũng là vấn đề cần quan tâm.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Vũ Hoài Ân (2005), *Gia công tia lửa điện*, Nxb Khoa học Kỹ thuật, Hà Nội.
- [2]. Schumacher B. M. (2004), *After 60 years of EDM the discharge process remains still disputed*, J Mater Process Technol, 149, pp. 376-381.
- [3]. Hassan El-Hofy (2005), *Advanced Machining Processes*, Mc. Graw-Hill.
- [4]. P.C. Pandey, H.S. Shan (1980), *Modern Machining Processes*, Mc. Graw-Hill
- [5] J.A. McGeough, A. De Silva (1988), *Advanced Methods of Machining*, London, New York: Chapman and Hall, 1988.
- [6] K. J. Sabareesaan, Dr. R. Varahamoorthi, Dr. Habeeb Al Ani (2014), “Analysis of the Effect of Process parameters in Electric Discharge Machining of Inconel X750 using brass Electrode”, *International Journal of Engineering Research & Technology*, Vol. 3 - Issue 9 (September - 2014).
- [7] Shyam Narayan Pandey, Shahnawaz Alam (2015), “An Experimental Investigation of Electrode Wear Rate (EWR) on EDM of SS-202 using Different Electrodes”, *International Journal of Engineering Research & Technology*, Volume. 4 - Issue. 05, May – 2015.
- [8] Bharat Raj Bundel (2014), “Experimental Study of Electrode Wear in Die-Sinking EDM using Cylindrical Copper Electrode”, *International Journal of Engineering Research & Technology*, Vol. 3 - Issue 10 (October - 2014).

- [9] J. Marafona (2007), “Black layer characterisation and electrode wear ratio in electrical discharge machining (EDM)”, *Journal of Materials Processing Technology* 184 (2007) 27–31.
- [10] Mikó B.; Drégelyi-Kiss Á.; Poór A (2014), “Study on surface quality and electrode wear in EDM technology”, *Development in machining technology* Vol.4., *Cracow University of Technology*, Cracow 2014. ISBN 978-83-7242-765-6, p.194-211.
- [11] Sanjeev Sharma, Rajdeep Singh, Sandeep Jindal (2015), “Study the Effect of Machining Parameters in Electric Discharge Machining of EN 31 Die Steel”, *International Journal of Engineering Research & Technology*, Volume. 4 - Issue. 11 , November - 2015.
- [12] Niteen P. Tippe, S. M. Pise, B. S. Kamble (2017), “Effects of Process Parameters on Machining Characteristics using WEDM of Inconel 625: A Review”, *International Journal of Engineering Research & Technology*, Volume. 6 - Issue. 04 , April - 2017.
- [13] Subhakanta Nayak (2014), “Study on Machining Characteristics of Tungsten Carbide in Electro-Discharge Machining Process”, *International Journal of Engineering Research & Technology*, Vol. 3 - Issue 3 (March - 2014).
- [14] Amirul Akbar, Bobby O. P. Soepangkat and Arif Wahjudi (2016), “Optimization of multiple performance characteristics in EDM process of HPM 38 tool steel using response surface”, *ARPJ Journal of Engineering and Applied Sciences*, VOL. 11, NO. 2, January 2016.
- [15] N. Annamalai, V. Sivaramakrishnan, B. Suresh kumar, N. Baskar (2014), “Investigation and Modeling of Electrical Discharge Machining Process Parameters for AISI 4340 steel”, *International Journal of Engineering and Technology (IJET)*, Vol 5 No 6 Dec 2013-Jan 2014.
- [16] Naresh Kolli, Tirumala Rao Chinka, Murahari Kolli (2017), “Experimental Studies on EDM of Al 7075/B 4 3 c/Gr Hybrid Composite using RSM Box- Behnken Approach”, *International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology (IJRASET)*, Volume 5 Issue VIII, August 2017.

- [17] N. Annamalai, V. Sivaramakrishnan, N. Baskar (2014), “Response Surface Modeling of Electric Discharge Machining Process Parameters for EN 24 Low Alloy Steel”, *5 th International & 26 th All India Manufacturing Technology, Design and Research Conference (AIMTDR 2014)* December 12-14th, 2014, IIT Guwahati, Assam, India.
- [18] Reza Vantakhah, Hamed P. Pourasl, Vahid M. Khojastehnezhad (2016), “Electrical discharge machining of the AISI D6 tool steel: Prediction and modeling of the material removal rate and tool wear ratio”, *Precision Engineering*, Volume 45, 2016, 435-444.
- [19] Mohit Tiwari, Kuwar Mausam, Kamal Sharma, Ravindra Pratap Singh (2013), “Experimental Analysis of Electro-Discharge Machining Parameters for Minimum Tool Wear Rate on Machinability of Carbon Fiber/Epoxy Composites Using Taguchi Method”, *International Journal of Engineering Research & Technology*, Vol.2 - Issue 10 (October - 2013).
- [20] Nguyễn Quốc Tuấn, Vũ Ngọc Pi, Nguyễn Văn Hùng (2009), *Các phương pháp gia công tiên tiến*, Nhà xuất bản Khoa học Kỹ thuật, Hà Nội, 2009.
- [21] Kansal H. K., Singh S., Kumar P. (2007), “Technology and research developments in powder mixed electric discharge machining (PMEDM)”, *J Mater Process Technol* 184, pp. 32-41.
- [22] Zhang Y., Liu Y., Shen Y., Ji R., Cai B., Li H., Wang F.(2012), “A Review of the Current Understanding and Technology of Powder Mixed Electrical Discharge Machining (PMEDM)”, *2012 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation*, pp. 2240 - 2247.
- [23] Marashi H., Davoud M. J., Ahmed A. D. S., Mohd H. (2016), State of the art in powder mixed dielectric for EDM applications, *Precision Engineering*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.precisioneng.2016.05.010>.
- [24] Bhattacharya A., Batish A., Kumar N. (2013), “Surface characterization and material migration during surface modification of die steels with silicon, graphite and tungsten powder in EDM process”, *Journal of Mechanical Science and Technology* 27, pp.133-140.

- [25] Uno Y., Okada A. (1997), “Surface generation mechanism in electrical discharge machining with silicon powder mixed fluid”, *Int. J.Elec.2*, pp.13-18.
- [26] Klocke F., Lung D., Antonoglou G., Thomaidis D. (2004), “The effects of powder suspended dielectrics on the thermal influenced zone by electrodischarge machining with small discharge energies”, *Journal of Materials Processing Technology* 149, pp. 191–197.
- [27] Kumar A., Maheshwari S., Sharma C., Beri N. (2010), “Research Developments in Additives Mixed Electrical Discharge Machining (AEDM): A State of Art Review”, *Materials and Manufacturing Processes*, 25 (10), pp. 1166-1180.
- [28] Janmanee P., Muttamara A. (2012), “Surface modification of tungsten carbide by electrical discharge coating (EDC) using a titanium powder suspension”, *Aplied Surface Science* 258, pp. 7255- 7265.
- [29] Khedkar, Nitin K., Singh T. P., Vijaykumar S. J. (2014), “Material migration and surface improvement of OHNS die steel material by EDM method using tungsten powder-mixed dielectric”, *WSEAS Transactions on Applied & Theoretical Mechanics*, 9, pp. 161.
- [30] Uno Y., Okada A., Cetin S. (2001), “Surface Modification of EDMed Surface with Powder Mixed Fluid”, *2nd International Conference on Design and Production of Dies and Molds*.
- [31] Tran Thanh Hoang, Tran Anh Duc, Nguyen Manh Cuong, Luu Anh Tung, Le Xuan Hung, Vu Ngoc Pi (2017), “Modelling Surface Finish in Electrical Discharge Machining Tablet Shape Punches Using Response Surface Methodology”, *SSRG International Journal of Mechanical Engineering (SSRG - IJME)* – Volume 4 Issue 9 September 2017.
- [32] Le Xuan Hung, Tran Thanh Hoang, Vu Ngoc Pi (2017), “A Study on Modelling Surface Finish in Electrical Discharge Machining Tablet Shape Punches Using Response Surface Methodology”, *Journal of Environmental Science and Engineering B* 6 (2017) 387-390.

- [33] Marashi H., Davoud M. J., Ahmed A. D. S., Mohd H. (2016), "State of the art in powder mixed dielectric for EDM applications", *Precision Engineering*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.precisioneng.2016.05.010>.
- [34] Kansal, H., S. Singh, and P. Kumar (2005), "Application of Taguchi method for optimisation of powder mixed electrical discharge machining", *International Journal of Manufacturing Technology and Management*, 2005. 7(2-4): p. 329-341.
- [35] Elsit, N.M., et al. (2017), "Optimization of maghemite (γ -Fe₂O₃) nano-powder mixed micro-EDM of CoCrMo with multiple responses using gray relational analysis (GRA)", in *Journal of Physics: Conference Series*. 2017. IOP Publishing.
- [36] Prabhu, S. and B. Vinayagam (2016), "Multiresponse optimization of EDM process with nanofluids using TOPSIS method and genetic algorithm", *Archive of Mechanical engineering*, 2016. 63(1): p. 45-71.
- [37] Singh, B., J. Kumar, and S. Kumar (2014), "Experimental investigation on surface characteristics in powder-mixed electrodischarge machining of AA6061/10% SiC composite", *Materials and Manufacturing Processes*, 2014. 29(3): p. 287-297.
- [38] Ojha, K., R. Garg, and K. Singh (2011), "Experimental investigation and modeling of PMEDM process with chromium powder suspended dielectric", *International Journal of Applied Science and Engineering*, 2011. 9(2): p. 65-81.
- [39] Kansal, H., S. Singh, and P. Kumar (2006), Performance parameters optimization (multi-characteristics) of powder mixed electric discharge machining (PMEDM) through Taguchi's method and utility concept.
- [40] Assarzadeh, S. and M. Ghoreishi (2013), "A dual response surface-desirability approach to process modeling and optimization of Al₂O₃ powder-mixed electrical discharge machining (PMEDM) parameters", *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2013. 64(9-12): p. 1459-1477.
- [41] Assarzadeh, S., M. Ghoreishi, and M. Shariyyat (2010), "Response surface methodology approach to process modeling and optimization of powder mixed electrical discharge machining (PMEDM)", in *Proceedings of the 16th International Symposium on Electromachining (ISEM-XVI)* April. 2010.

- [42] Singh, P., et al. (2010), "Influence of electrical parameters in powder mixed electric discharge machining (PMEDM) of hastelloy", *Journal of Engineering Research and Studies*, 2010. 1(2): p. 93-105.
- [43] Khundrakpam, N.S., et al. (2014), "Study and analysis of Zinc PMEDM process parameters on MRR", *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 2014. 4(3): p. 541-546.
- [44] Nguyen, P., et al. (2018), "Multi-response optimization of process parameters for powder mixed electro-discharge machining according to the surface roughness and surface micro-hardness using Taguchi-TOPSIS", *International Journal of Data and Network Science*, 2018. 2(4): p. 109-119.
- [45] Makino, The Case For Additive Technology In EDM, <https://www.makino.com/resources/content-library/article/archive/the-case-for-additive-technology-in-edm-/299>
- [46] Moghaddam, F.K.a.M.A. (2014), The use of Taguchi method with grey relational analysis to optimize the EDM process parameters with multiple quality characteristics.
- [47] Mondal, S., et al. (2012), "Application of Taguchi-based gray relational analysis for evaluating the optimal laser cladding parameters for AISI1040 steel plane surface", *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2012. 66(1-4): p. 91-96.

Phụ lục

QUY TRÌNH CÔNG NGHỆ GIA CÔNG CHÀY ĐỊNH HÌNH

5.1. Đặt vấn đề

Quy trình công nghệ mới gia công chày định hình về cơ bản giống với quy trình công nghệ cũ. Điểm khác biệt ở quy trình công nghệ mới là thay nguyên công gia công đầu chày bằng phương pháp nguội bằng nguyên công xung điện với dung dịch điện môi có trộn bột để gia công đầu chày. Nội dung cụ thể của quy trình này được trình bày trong phần sau.

5.2. Quy trình công nghệ gia công chày định hình

Quy trình công nghệ chế tạo chày dập viên định hình như sau:

➤ ***Nguyên công 1: Cưa phôi***

Nội dung: Cưa phôi theo kích thước theo quy định của cơ sở sản xuất;

Yêu cầu: Kích thước phải đạt chiều dài; Phôi đúng đường kính; đúng vật liệu.

➤ ***Nguyên công 2: Tiện thô phôi***

Nội dung: Tiện thô và vát mép đầu phôi.

Yêu cầu: Đúng bản vẽ.

➤ ***Nguyên công 3: Mài phôi vào gá***

Nội dung: Mài đường kính ngoài phôi.

Yêu cầu: Khít với ống gá.

- **Nguyên công 4: Ép chày**
 Nội dung: Ép đầu chày định hình
 Yêu cầu: Chày ép phải cân; Chú ý không ép quá lực để tránh nứt phôi.
- **Nguyên công 5: Tiện bán tinh hình dáng**
 Nội dung: Tiện tạo hình dáng sơ bộ của chày
 Yêu cầu: Đúng bản vẽ (tùy theo loại chày).
- **Nguyên công 6: Phay bớt lượng dư đầu chày**
 Nội dung: Phay để tạo lượng dư hợp lý cho nguyên công xung tia lửa điện;
 Yêu cầu: Biên dạng phay phù hợp với từng loại chày định hình.
- **Nguyên công 7: Nhiệt luyện**
 Nội dung: Tôi 840-860⁰C; Ram 150-170⁰C;
 Yêu cầu: Độ cứng sau khi nhiệt luyện đạt HRC56-58.
- **Nguyên công 8: Mài thân chày**
 Nội dung: Mài đường kính thân chày
 Yêu cầu: Dung sai +0,01mm; Độ nhám <0,5 μm.
- **Nguyên công 9: Xung đầu chày**
 Nội dung: Xung điện với dung dịch điện môi có trộn bột để gia công đầu chày;
 Yêu cầu: Kiểm tra gá điện cực và chi tiết đảm bảo độ chính xác vị trí tương quan giữa điện cực và chi tiết.
- **Nguyên công 10: Chuẩn kích thước chiều dài**
 Nội dung: Tiện chuẩn kích thước chiều dài chày;
 Yêu cầu: Dung sai <0,02 mm;
- **Nguyên công 11: Đánh bóng chày**
 Nội dung: Đánh bóng đầu chày
 Yêu cầu: Đầu chày bóng đẹp;
- **Nguyên công 12: Mạ crom**
 Nội dung: Mạ crom chày
 Yêu cầu: Bề mặt mạ bóng, đẹp.
- **Nguyên công 13: Tổng kiểm tra**
 Nội dung: Kiểm tra tất cả các kích thước gồm kích thước đường kính, kích

thước chiều dài; kiểm tra mặt đầu chày; kiểm tra khe hở giữa chày và cối.

Yêu cầu: Kiểm tra 100% tất cả các chày.

➤ ***Nguyên công 14: Bao gói, nhập kho***

Nội dung: bôi mỡ chày và đóng hòm

Yêu cầu: Bôi mỡ kín hết đầu và thân chày; Xếp cẩn thận trong hòm gỗ rồi nhập kho.