

ĐẠI HỌC THÁI NGUYÊN
TRƯỜNG ĐẠI HỌC KỸ THUẬT CÔNG NGHIỆP

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

**TỐI ƯU HÓA QUÁ TRÌNH GIA CÔNG XUNG ĐIỆN CHI TIẾT TRỤ
CÓ BIÊN DẠNG ĐỊNH HÌNH LÀM BẰNG THÉP SKD11 VỚI DUNG
DỊCH CÓ TRỘN BỘT**

Mã số: T2019-B33

Xác nhận của tổ chức chủ trì

KT. HIỆU TRƯỞNG
PHÓ HIỆU TRƯỞNG



PGS.TS. Vũ Ngọc Pi

Chủ nhiệm đề tài

ThS. Nguyễn Mạnh Cường

Thái Nguyên, tháng 7/2021

Danh sách những người tham gia nghiên cứu đề tài:

1. ThS. Nguyễn Mạnh Cường, Trường ĐH Kỹ thuật Công nghiệp, Chủ nhiệm đề tài
2. ThS. Nguyễn Phương Vân, Trường ĐH Kỹ thuật Công nghiệp, Thành viên
3. TS. Nguyễn Văn Trang, Trường ĐH Kỹ thuật Công nghiệp, Thành viên
4. ThS. Đào Liên Tiến, Trường ĐH Kỹ thuật Công nghiệp, Thành viên.
5. TS. Trần Ngọc Giang, Trường ĐH Kỹ thuật Công nghiệp, Thành viên.
6. ThS. Nguyễn Quang Hưng, Trường ĐH Kỹ thuật Công nghiệp, Thành viên.
7. ThS. Trần Thị Huệ, Trường ĐH Kỹ thuật Công nghiệp, Thành viên.
8. ThS. Lê Thị Phương Thảo, Trường ĐH Kỹ thuật Công nghiệp, Thành viên.
9. ThS. Lưu Anh Tùng, Trường ĐH Kỹ thuật Công nghiệp, Thành viên.
10. ThS. Nguyễn Văn Tùng, Trường ĐH Kỹ thuật Công nghiệp, Thành viên.
11. ThS. Bùi Thanh Hiền, Trường ĐH Kỹ thuật Công nghiệp, Thành viên.



MỤC LỤC

Danh sách những người tham gia thực hiện đề tài:	2
Danh mục bảng biểu.....	5
Danh mục các cụm từ viết tắt.....	6
THÔNG TIN KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU.....	7
INFORMATION ON RESEARCH RESULTS.....	9
Chương 1: Giới thiệu về gia công xung điện.....	11
1.1. Giới thiệu về gia công xung điện.....	11
1.2. Các phương pháp gia công tia lửa điện.....	13
1.3. Nguyên lý của gia công xung điện.....	13
1.4. Các thông số của gia công xung điện.....	14
1.5. Dung dịch điện môi.....	15
1.6. Kết luận chương 1.....	18
Chương 2: Tổng quan về gia công xung điện có trộn bột.....	20
2.1. Tổng quan về gia công xung điện có trộn bột.....	20
2.2. Kết luận chương 2.....	23
Chương 3: Thực nghiệm xác định ảnh hưởng của các thông số công nghệ đến mòn điện cực khi xung thép 90CrSi có sử dụng bột nano.....	25
3.1. Mục đích thí nghiệm.....	25
3.2. Setup thí nghiệm.....	25
3.3. Phương pháp quy hoạch thực nghiệm.....	26
3.4. Phân tích và đánh giá quả thí nghiệm	30
3.5. Đánh giá mô hình thực nghiệm.....	35
3.6. Kết luận chương 3.....	36
Chương 4: Thực nghiệm xác định ảnh hưởng của các thông số công nghệ đến năng suất bóc tách vật liệu khi xung thép skd11 có trộn bột trong dung dịch điện môi	38
4.1. Mục đích thí nghiệm.....	38

4.2. Setup thí nghiệm.....	38
4.3. Thiết kế thí nghiệm	38
4.4. Phân tích và đánh giá kết quả thí nghiệm	38
4.5. Đánh giá mô hình thực nghiệm	40
4.6. Kết luận chương 4.....	45
Chương 5: Thực nghiệm xác định ảnh hưởng của các thông số công nghệ đến nhám bề mặt (Ra) và tốc độ bóc tách vật liệu (MRR) khi xung PMEDM thép SKD11	47
5.1. Mục đích thí nghiệm.....	47
5.2. Setup thí nghiệm.....	47
5.3. Phương pháp quy hoạch thực nghiệm.....	47
5.4. Tối ưu hóa đa mục tiêu.....	48
5.5. Phân tích và đánh giá kết quả thí nghiệm	51
5.6. Đánh giá mức độ phù hợp của mô hình	55
5.7. Kết luận chương 5... ..	56
Chương 6: Kết luận và kiến nghị	57
Tài liệu tham khảo	59
Phụ lục A. Thuyết minh đề tài	60
Phụ lục B. Bài báo đã xuất bản.....	61

DANH MỤC BẢNG BIỂU

TT	Bảng	Nội dung
1	Bảng 3.1	Thành phần hóa học của thép 90SKD11
2	Bảng 3.2	Mức và các thông số đầu vào
3	Bảng 3.3	Kế hoạch thí nghiệm theo thiết kế Taguchi L18 ($1^6 \times 5^3$)
4	Bảng 3.4	Kết quả phân tích (ANOVA) ảnh hưởng của các thông số đầu vào đến tỉ số S/N
5	Bảng 3.5	Thứ tự ảnh hưởng của các thông số đầu vào đến S/N
6	Bảng 3.6	Chế độ xung PMEDM hợp lý
7	Bảng 3.7	Kết quả dự đoán nhám bề mặt Ra ứng với bộ thông số tối ưu
8	Bảng 4.1	Mức và các thông số đầu vào
9	Bảng 4.2	Ma trận thí nghiệm và kết quả
10	Bảng 4.3	Kết quả phân tích (ANOVA) ảnh hưởng của các thông số đầu vào đến tỉ số S/N
11	Bảng 4.4	Thứ tự ảnh hưởng của các thông số đầu vào đến S/N
12	Bảng 4.5	Chế độ xung định hình ngược hợp lý để đạt MRS lớn nhất
13	Bảng 4.6	Kết quả dự đoán tốc độ bóc tách vật liệu MRS ứng với bộ thông số hợp lý
14	Bảng 5.1	Các thông số đầu vào và các mức khảo sát
15	Bảng 5.2	Ma trận thí nghiệm và kết quả đo
16	Bảng 5.3	Trị số S/N của các thông số đầu ra
17	Bảng 5.4	Trị số S/N, giá trị chuẩn hóa S/N Z_i , giá trị tuyệt đối của sai lệch Δ_i (k) và trị số quan hệ xám \bar{y}_i
18	Bảng 5.5	Ảnh hưởng của các thông số đến trị số quan hệ xám qua tỉ số S/N của \bar{y}_i
19	Bảng 5.6	Thứ tự ảnh hưởng của các thông số đầu vào đến \bar{y}_i
20	Bảng 5.7	Bộ thông số công nghệ xung tối ưu
21	Bảng 5.8	Kết quả dự đoán nhám bề mặt và tốc độ bóc tách ứng với bộ thông số hợp lý

DANH MỤC CÁC CỤM TỪ VIẾT TẮT

EDM – Electrical discharge machining	Gia công bằng tia lửa điện
PMEDM – Powder mixed electrical discharge machining	Gia công bằng tia lửa điện có trộn bột vào dung dịch điện môi
WEDM– Wire Electrical discharge machining	Gia công bằng cắt dây tia lửa điện
MRR – Material removal rate	Năng suất bóc tách vật liệu
TWR – Tool wear rate	Lượng mòn điện cực
EWR - Electrode wear rate	Tốc độ mòn điện cực
MSD - Mean square displacement	Tổng nghịch đảo bình phương trung bình của các giá trị đo
SV – Servo voltage	Hiệu điện thế servo
SR – Surface roughness	Độ nhám bề mặt
GRA - Grey relational analysis	Phân tích quan hệ xám
S/N - Signal to Noise ratio	Tỷ số tín hiệu/nhiều
ANOVA - Analysis of variance	Phân tích phương sai
RSM- Response surface methodology	Phương pháp bề mặt đáp ứng

THÔNG TIN KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

1. Thông tin chung:

- Tên đề tài: Tối ưu hóa quá trình gia công xung điện chi tiết trụ có biên dạng định hình làm bằng thép SKD11 với dung dịch có trộn bột.
- Mã số: T2019-B33
- Chủ nhiệm: ThS. Nguyễn Mạnh Cường
- Cơ quan chủ trì: Trường Đại học Kỹ thuật Công nghiệp
- Thời gian thực hiện: Từ 7/2019 - 7/2021

2. Mục tiêu:

- Mục tiêu của đề tài là nghiên cứu về tối ưu hóa các thông số công nghệ khi xung chi tiết trụ có biên dạng định hình làm bằng thép SKD11 với dung dịch có trộn bột.

3. Kết quả nghiên cứu:

- Nghiên cứu tổng quan về gia công PMEDM;
- Nghiên cứu ảnh hưởng của các thông số đầu vào đến độ nhám bề mặt khi xung khí xung chi tiết trụ có biên dạng định hình làm bằng thép SKD11 với dung dịch có trộn bột;
- Nghiên cứu ảnh hưởng của các thông số đầu vào đến năng suất bóc tách vật liệu khi xung khí xung chi tiết trụ có biên dạng định hình làm bằng thép SKD11 với dung dịch có trộn bột;
- Tối ưu hóa đa mục tiêu khi xung khí xung chi tiết trụ có biên dạng định hình làm bằng thép SKD11 với dung dịch có trộn bột với chỉ tiêu là nhám bề mặt nhỏ nhất và đạt năng suất bóc tách vật liệu cao nhất;
- Công bố kết quả nghiên cứu trên các tạp chí quốc tế.

4. Sản phẩm:

Sản phẩm khoa học:

03 bài báo đăng tạp chí Scopus Q4:

1. Nguyen Huu Quang, **Nguyen Manh Cuong**, Le Thu Quy, Nguyen Thanh Tu, Tran Quoc Hoang, Nguyen Thanh Hoang, Vu Ngoc Pi and Hoang Xuan Tu, *Influence of PMEDM Factors on Surface Roughness when Processing SKD11 Steel*, Accepted for ICERA 2021, Scopus Q4.
2. Le Hoang Anh, Hoang Xuan Tu, Le Thu Quy, Pham Duc Lam, Trinh Kieu Tuan, Tran Ngoc Giang, Nguyen Manh Cuong, Vu Ngoc Pi, *Impact of Input Parameters on Material Removal Speed when PMEDM SKD11 Tool Steel*, Accepted for ICERA 2021, Scopus Q4.
3. Nguyen Huu Quang, Nguyen Manh Cuong, Le Thu Quy, Tran Ngoc Huy Thinh, Le Hoang Anh, Tran Ngoc Giang, Vu Ngoc Pi, Hoang Xuan Tu, *Multi-Objective Optimization of PMEDM Process for Minimum Surface Roughness and Maximum Material Removal Speed when Processing SKD11 Steel*, Accepted for ICERA 2021, Scopus Q4.

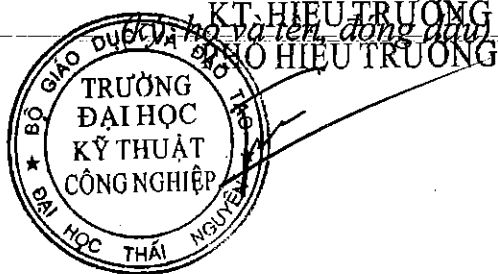
5. Hiệu quả:

- Kết quả của đề tài có thể sử dụng để xác các chế độ xung tối ưu khi xung chi tiết trụ có biên dạng định hình làm bằng thép SKD11 với dung dịch có trộn bột với chỉ tiêu là nhám bề mặt nhỏ nhất và đạt năng suất bóc tách vật liệu cao nhất.

Ngày tháng năm 2021

Cơ quan chủ trì

Chủ nhiệm đề tài



Nguyễn Mạnh Cường

PGS.TS. Vũ Ngọc Pi

INFORMATION ON RESEARCH RESULTS

1. General information:

Project title: Study on optimization of input parameters when PMEDM Cylindrical Shaped Parts SKD11 tool steel.

Code number: T2019-B33

Coordinator: Msc. Nguyen Manh Cuong

Implementing institution: Thai Nguyen University of Technology

Duration: from 7/2019 to 07/2021

2. Objectives

- The objective of this project is to study the surface roughness, the wear of electrodes when PMEDM Cylindrical Shaped Parts SKD11 tool steel with dielectric solution mixed with nano powder

3. Research results:

- State of the art in PMEDM processing;
- Study the effect of the input parameters on the surface roughness when PMEDM Cylindrical Shaped Parts SKD11 tool steel with dielectric solution mixed with nano powder.
- Study the effect of the input parameters on the material removal rate when PMEDM Cylindrical Shaped Parts SKD11 tool steel with dielectric solution mixed with nano powder.
- Multi-Objective optimization of PMEDM process for minimum surface roughness and maximum material removal speed when processing SKD11 tool steel.
- Publication of research results in international journals.

4. Products

Scientific products: Three Scopus papers were published as the products of the project:

4. Nguyen Huu Quang, **Nguyen Manh Cuong**, Le Thu Quy, Nguyen Thanh Tu, Tran Quoc Hoang, Nguyen Thanh Hoang, Vu Ngoc Pi and Hoang Xuan Tu, *Influence of PMEDM Factors on Surface Roughness when Processing SKD11 Steel*, Accepted for ICERA 2021, Scopus Q4.
5. Le Hoang Anh, Hoang Xuan Tu, Le Thu Quy, Pham Duc Lam, Trinh Kieu Tuan, Tran Ngoc Giang, **Nguyen Manh Cuong**, Vu Ngoc Pi, *Impact of Input Parameters on Material Removal Speed when PMEDM SKD11 Tool Steel*, Accepted for ICERA 2021, Scopus Q4.
6. Nguyen Huu Quang, **Nguyen Manh Cuong**, Le Thu Quy, Tran Ngoc Huy Thinh, Le Hoang Anh, Tran Ngoc Giang, Vu Ngoc Pi, Hoang Xuan Tu, *Multi-Objective Optimization of PMEDM Process for Minimum Surface Roughness and Maximum Material Removal Speed when Processing SKD11 Steel*, Accepted for ICERA 2021, Scopus Q4.

5. Effectness:

The results of the project can be used to determine the optimal input factors when PMEDM cylindrical shaped parts SKD11 tool steel with dielectric solution mixed with nano powder.

Chương 1

GIỚI THIỆU VỀ GIA CÔNG XUNG ĐIỆN

1.1. Giới thiệu về phương pháp gia công xung điện

Gia công xung điện (EDM) (còn gọi là gia công tia lửa điện) là phương pháp gia công không truyền thống, được sử dụng rất rộng rãi trong ngành chế tạo máy để gia công các vật liệu dẫn điện, đặc biệt để chế tạo khuôn mẫu. Gia công xung điện sử dụng nguồn năng lượng nhiệt cao từ các tia lửa điện xuất hiện trong khe hở giữa phôi và dụng cụ để gia công kim loại nhờ làm nóng chảy và bay hơi vật liệu. Ưu điểm nổi bật của phương pháp này là nó có thể gia công được tất cả các loại vật liệu dẫn điện kể cả vật liệu có độ bền và độ cứng rất cao, các bề mặt có hình dạng phức tạp như bề mặt khuôn dập, khuôn đúc... [1]. Thêm vào đó, gia công EDM không phụ thuộc vào độ cứng của phôi và dụng cụ. Ngoài ra, phương pháp gia công này gần như không gây rung động, gây ứng suất cơ học và tiếng ồn trong quá trình gia công [1]. Tuy nhiên, phương pháp này vẫn có một số hạn chế như chất lượng bề mặt gia công chưa cao; năng suất gia công còn thấp và khả năng ứng dụng vẫn còn hạn chế.

1.1.1. Lịch sử ra đời và phát triển của gia công xung điện

Joseph Priestley (1733 – 1809) (Nhà vật lý người Anh) là người đầu tiên đã phát hiện ra khả năng ăn mòn của kim loại bởi sự phóng điện. Tiếp đó, năm 1943, hai nhà khoa học người Nga- vợ chồng Lazarenko - đã tìm ra công nghệ “Gia công xung điện” hay “Electrical Discharge Machining (EDM)” – là công nghệ sử dụng tia lửa điện để bóc tách vật liệu dẫn điện. Khi các tia lửa điện phóng ra, năng lượng nhiệt của các tia này sẽ làm nóng chảy và bay hơi vật liệu gia công – tạo ra bóc tách vật liệu. Quá trình gia công xung điện rất phức tạp do nó liên quan đến rất nhiều thông số như: Khe hở phóng điện, điện áp và dòng điện xung, vật liệu điện cực, vật liệu gia công, chất điện môi,...

Nhờ sự tiến bộ của khoa học kỹ thuật, gia công xung điện đã được ứng dụng ngày càng rộng rãi và ngày càng phát triển. Đặc biệt những năm gần đây, với sự phát

triển mạnh mẽ của các công nghệ mới, sự trợ giúp đắc lực của máy tính và điều khiển số CNC, các máy gia công xung điện thừa ban đầu bán tự động và không tiện dụng đã được thay thế bởi các máy gia công xung điện CNC. Những máy này đã chứng tỏ được khả năng rất lớn của mình nhờ điều khiển chính xác quỹ đạo, gia công được các vật liệu dẫn điện có độ bền và độ cứng bất kỳ, cũng như gia công các bề mặt có hình dạng rất phức tạp.

1.1.2. Đặc điểm của phương pháp gia công xung điện

- Điện cực (đóng vai trò là dụng cụ cắt) có độ cứng thấp hơn nhiều so với vật liệu phôi.
- Vật liệu dụng cụ điện cực và vật liệu phôi đều phải có tính dẫn điện tốt.
- Vật liệu phôi thường là những vật liệu cứng và đã qua nhiệt luyện như: thép đã qua tôi, các hợp kim cứng...
- Vật liệu điện cực thường dùng là đồng đỏ, đồng thau, graphite, đồng-vonfram, bạc-vonfram...
- Môi trường gia công xung điện là một chất điện môi - là dung dịch không dẫn điện ở điều kiện làm việc bình thường. Dung dịch điện môi thường là: nước cất, nước máy, dầu biến thế, dầu hỏa...

1.1.3. Khả năng công nghệ của gia công xung điện

- Phương pháp gia công xung điện có thể gia công được các bề mặt có hình dạng phức tạp như: bề mặt các lỗ, hốc phức tạp như các lỗ định hình, các khuôn rên, khuôn dập... cũng như các chi tiết có độ bền, độ cứng rất cao (chi tiết máy sử dụng trong ngành hàng không, lò phản ứng hạt nhân...)
- Bề mặt chi tiết được gia công bằng phương pháp EDM có thể đạt độ nhám $R_a = 0,63\mu\text{m}$ khi gia công thô và $R_a = 0,16\mu\text{m}$ khi gia công tinh. Độ chính xác kích thước gia công vào khoảng 0,01mm. Khi gia công bằng các máy khoan xung điện có thể đạt độ chính xác đạt đến 0,0025mm.
- Có thể gia công những vật liệu dẫn điện khó gia công mà các phương pháp gia công truyền thống khó hoặc không thể thực hiện được như: thép đã tôi cứng, thép hợp kim khó gia công, hợp kim cứng...

1.2. Các phương pháp gia công tia lửa điện

Có hai phương pháp gia công tia lửa điện chủ yếu là: phương pháp gia công xung định hình (sink EDM) và phương pháp gia công cắt dây tia lửa điện (WEDM).

1.2.1. Phương pháp gia công xung định hình

Phương pháp gia công xung định hình là phương pháp dùng các điện cực đã được tạo hình sẵn để in hình của nó lên bề mặt phôi. Phương pháp này thường dùng để chế tạo bề mặt các khuôn có hình dạng phức tạp như khuôn ép định hình, khuôn ép nhựa, khuôn đúc áp lực, lỗ không thông...

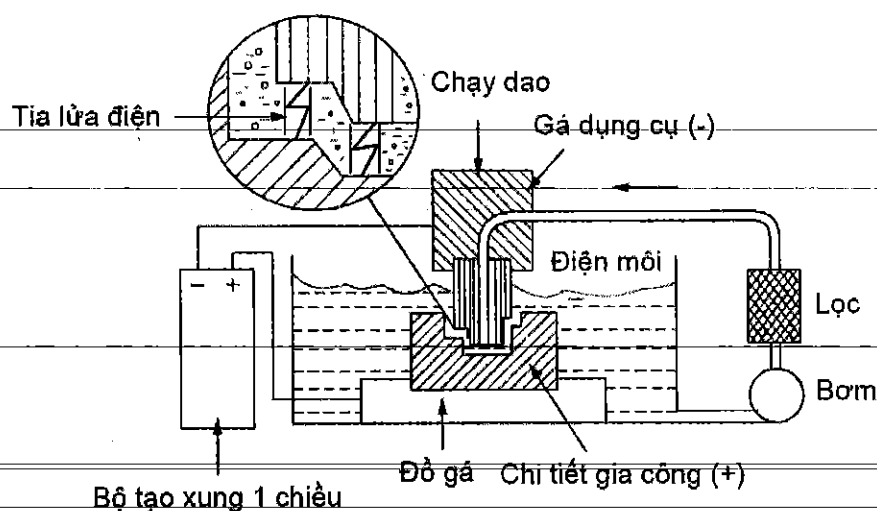
1.2.2. Phương pháp cắt dây tia lửa điện

Gia công cắt dây tia lửa điện (WEDM) là phương pháp dùng một dây dẫn điện có đường kính nhỏ -thường 0,1-0,3 (mm) – chạy liên tục và chạy theo một biên dạng định trước để tạo thành một vết cắt trên phôi. Phương pháp này thường dùng để gia công các lỗ thông suốt có biên dạng phức tạp như: lỗ trên khuôn dập, lỗ trên khuôn ép, lỗ khuôn đúc áp lực... Bên cạnh đó, nó còn được dùng khá rộng rãi để chế tạo các chi tiết có biên dạng rất phức tạp và đòi hỏi độ chính xác cao như các điện cực dùng cho xung định hình, các lỗ sâu và chính xác, các rãnh hẹp, rãnh hình bất kỳ, các dưỡng kiểm...

1.3. Nguyên lý của gia công xung điện

Sơ đồ nguyên lý của gia công xung điện được mô tả trên hình 1.1. Trong gia công này, điện áp một chiều (80V – 200V) được đặt vào vào giữa điện cực và phôi được ngâm trong dung dịch cách điện (hay dung dịch điện môi). Khi điện cực và phôi được đưa sát lại gần nhau đến một khoảng cách đủ nhỏ thì xuất hiện sự phóng tia lửa điện. Tại vùng phóng điện, nhiệt độ tăng lên rất lớn (khoảng 10.000⁰C) làm nóng chảy và bay hơi vật liệu của cả điện cực và phôi. Quá trình này có thể giải thích qua 2 bước:

Bước 1: Đánh thủng dung dịch điện môi: Ở giai đoạn này do điện trường trong khe hở giữa điện cực và phôi đủ lớn (khoảng 10⁴ V/mm) làm ion hóa dung dịch điện môi và biến nó thành dung dịch dẫn điện.



Hình 1.1. Sơ đồ gia công xung điện [2]

Bước 2: Khi năng lượng tập trung đủ lớn, xuất hiện một dòng điện do sự chuyển dịch của các ion và điện tử trong dung dịch điện môi. Dòng điện này gọi là kênh dẫn điện. Kèm theo là sự xuất hiện của các tia lửa điện do hiện tượng ion hóa mãnh liệt của dung dịch điện môi. Năng lượng nhiệt do tia lửa sinh ra rất lớn - làm xuất hiện hố lõm trên bề mặt điện cực và phôi. Khi này, nguồn điện được ngắt đột ngột làm cho tia lửa điện biến mất. Đồng thời, dung dịch từ ngoài tràn vào kênh dẫn điện do sự chênh lệch áp suất tạo ra tiếng nổ nhỏ và làm hóa rắn hơi vật liệu thành các oxit kim loại. Sau đó nguồn điện được cung cấp lại và các tia lửa điện lại xuất hiện. Quá trình cứ như vậy lặp đi lặp lại làm kim loại được bóc tách.

1.4. Các thông số của gia công xung định hình

+) Điện áp:

Điện áp phóng tia lửa điện (U_e): là điện áp trung bình trong suốt quá trình phóng điện. U_e phụ thuộc vào vật liệu điện cực/phôi. Điện áp được cung cấp bởi nguồn cung cấp dạng xung. Thời gian ngắt nguồn điện là khoảng thời gian cần thiết để dung dịch điện môi có thể khôi phục lại trạng thái không dẫn điện của nó và sẵn sàng cho xung gia công tiếp theo. Nếu thời gian này không có hoặc quá lớn sẽ làm dung dịch điện môi luôn ở trạng thái dẫn điện. Dẫn tới tia lửa điện phát triển thành hồ quang sẽ gây hỏng bề mặt chi tiết và điện cực.

+) Phân cực của điện cực:

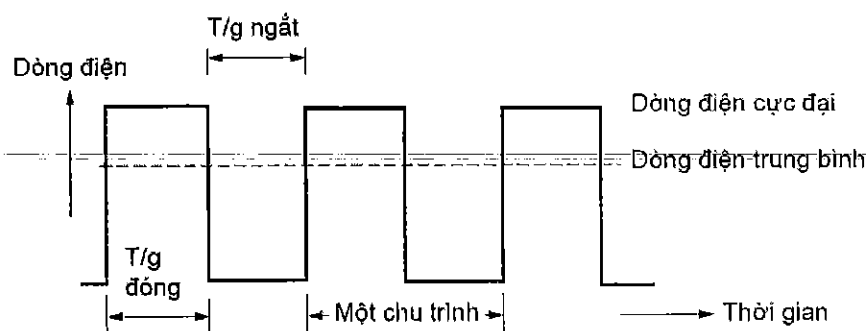
Việc phân cực cho điện cực mang giá trị âm hoặc dương có ảnh hưởng trực tiếp đến việc hình thành chiều của dòng điện sinh ra và quá trình hình thành và năng lượng của tia lửa điện. Có hai kiểu phân cực cho điện cực: Điện cực được phân cực âm (phương pháp phân cực thông thường), điện cực được phân cực dương (phương pháp phân cực ngược).

+) Cường độ dòng điện:

Cường độ dòng phóng tia lửa điện (I_e) là giá trị trung bình của dòng điện từ khi bắt đầu phóng tia lửa điện đến khi ngắt điện. Khi bắt đầu phóng điện, dòng điện tăng từ 0 đến I_e kèm theo sự bốc cháy kim loại. Người ta cho rằng I_e là nhân tố ảnh hưởng lớn nhất đến sự ăn mòn vật liệu, độ mòn của điện cực và đến chất lượng bề mặt gia công. Thông thường khi I_e tăng thì lượng bóc tách vật liệu tăng và độ nhám bề mặt gia công cũng tăng.

+) Thời gian phát xung (T_{on}) và thời gian ngừng phát xung (T_{off}):

Mỗi chu kỳ xung (t_e) được xác định bởi hai thông số là thời gian phát xung và thời gian ngừng phát (ngắt) xung; thời gian này được tính bằng micro giây. Hình 1.2 mô tả một chuỗi dòng điện xung điển hình với thời gian phát xung và thời gian ngắt xung và dòng điện xung.

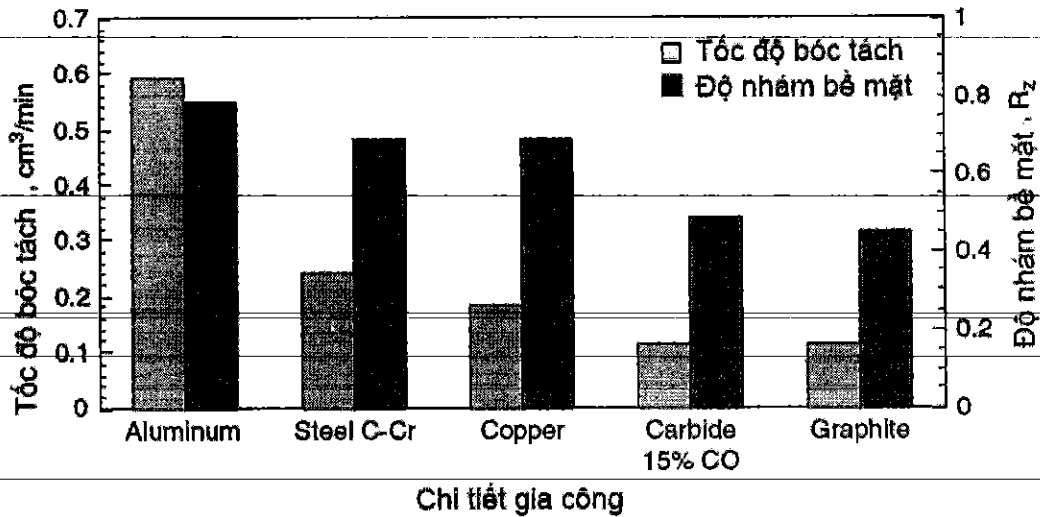


Hình 1.2. Chuỗi dòng điện xung điển hình trong gia công xung điện [2]

Thời gian ngừng phát xung (T_{off}) là khoảng thời gian giữa hai lần đóng ngắt của máy phát giữa hai chu kỳ phóng tia lửa điện kế tiếp nhau. T_{off} có ảnh hưởng rất lớn đến lượng hót vật liệu. T_{off} càng lớn thì lượng bóc tách vật liệu càng nhỏ và

ngược lại. Do đó cần chọn T_{off} đủ nhỏ để có thể đạt một lượng bóc tách vật liệu tối đa.

+) Tốc độ bóc tách vật liệu:



Hình 1.3. Tốc độ bóc tách và nhám bề mặt khi xung [3]

Trong gia công xung điện, tốc độ bóc tách vật liệu phụ thuộc vào nhiều thông số như vật liệu phôi, vật liệu điện cực, chất điện môi, tính phân cực của điện cực vv... Tốc độ bóc tách khi xung thường từ 0,1 đến 0,6 cm³/ph. Hình 1.3 biểu diễn tốc độ bóc tách và nhám bề mặt khi xung một số vật liệu khác nhau:

+) Độ mòn điện cực:

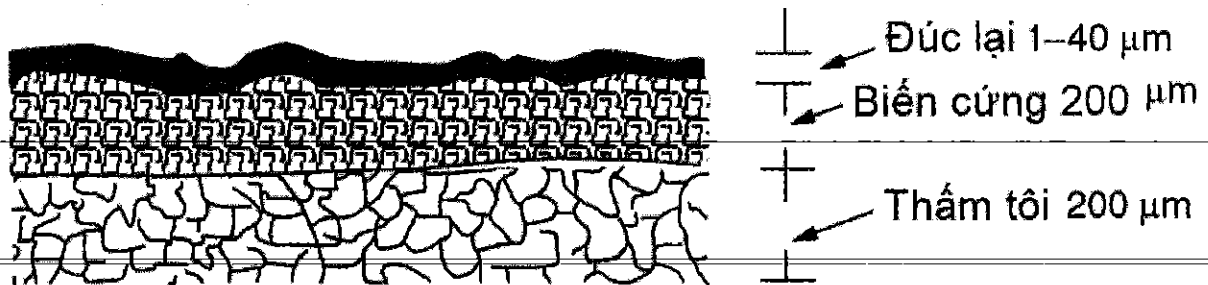
Độ mòn của điện cực giảm đi khi thời gian phát xung tăng. Nguyên nhân do mật độ các điện tử tập trung ở bề mặt phôi (cực dương) cao hơn nhiều lần so với mật độ ion dương tập trung tới bề mặt dụng cụ (cực âm), trong khi mức độ tăng của dòng điện lại rất lớn.

+) Bề mặt gia công xung điện:

Bề mặt gia công xung điện được tạo bởi vô số các hố bị bắn phá bởi các tia lửa điện. Các hố này phân bố ngẫu nhiên trên bề mặt gia công và có chiều sâu từ 2 đến 4 μm. Chất lượng bề mặt gia công phụ thuộc vào năng lượng của các lần phóng điện. Năng lượng phóng điện lớn sẽ tạo các hố sâu và dẫn đến độ nhám gia công kém.

Do nhiệt độ khi phóng điện rất cao (khoảng 8000 đến 12000°C) nên làm thay đổi tổ chức lớp bề mặt gia công. Trên bề mặt gia công tồn tại một lớp mỏng kim loại

– lớp đúc lại có độ dày từ 1 đến 25 μm . Một phần kim loại nóng chảy do không bị cuốn trôi khỏi vùng gia công nên đã bị tôi cứng và tạo nên lớp bề mặt rất cứng. Chiều sâu lớp thấm tôi này từ 50 đến 200 μm . Các vùng ảnh hưởng nhiệt của lớp bề mặt chi tiết khi gia công xung điện được biểu diễn trên hình 1.4.



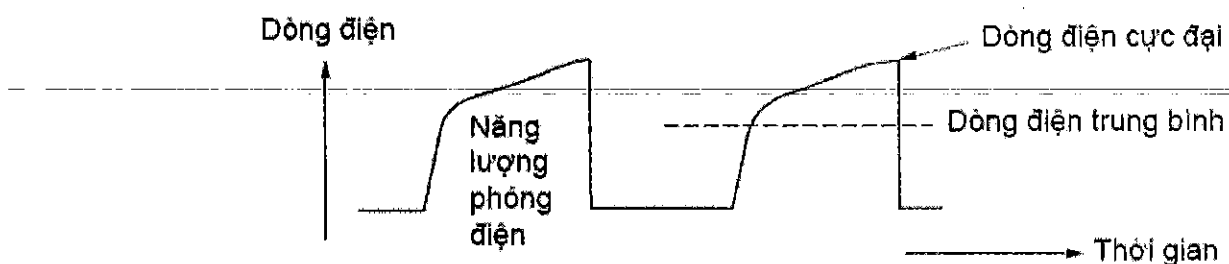
Hình 1.4. Vùng ảnh hưởng nhiệt khi gia công xung điện [2]

+) Khe hở phóng điện:

Để có thể duy trì quá trình bóc tách vật liệu ổn định, cần phải duy trì khe hở giữa điện cực và phôi với một khoảng cách cần thiết.

+) Dạng sóng xung:

Sóng xung có dạng hình chữ nhật (Hình 1.2) là loại được sử dụng phổ biến nhất trong các máy xung. Bên cạnh đó, hiện nay xuất hiện một số máy phát xung tạo ra xung dạng hình thang (Hình 1.5). Loại xung này có ảnh hưởng rất tốt đến việc giảm hao mòn điện cực.



Hình 1.5. Sóng xung hình thang [2]

1.5. Dung dịch điện môi

Trong gia công xung điện, dung dịch chất điện môi là yếu tố không thể thiếu để có thể tạo ra sự bóc tách phôi và vận chuyển phôi ra khỏi vùng cắt. Dung dịch điện môi có nhiệm vụ:

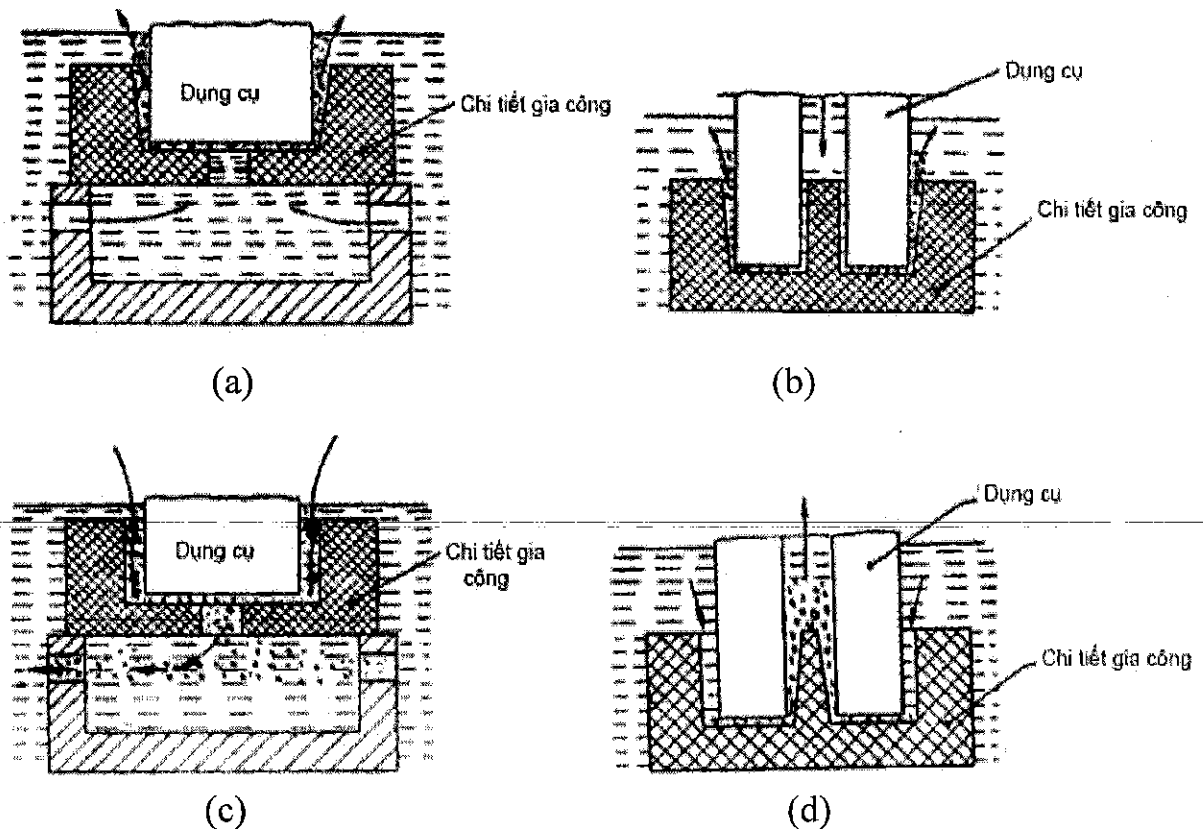
- Nhiệm vụ chính của dung dịch điện môi là cách điện giữa hai điện cực (giữa phôi và dụng cụ -điện cực), ion hóa, làm nguội và vận chuyển phôi;

- Chất điện môi không những đóng vai trò là môi trường tạo ra sự phóng điện mà còn ảnh hưởng đến năng suất và chất lượng gia công;

- Sau một thời gian gia công, trong dung dịch điện môi có lẫn các hạt phôi. Điều này gây ra ảnh hưởng không tốt cho quá trình gia công như ngăn mạch dòng điện, gây ra hồ quang và ảnh hưởng tới độ chính xác gia công. Do vậy, để tái sử dụng chất điện môi người ta sử dụng hệ thống lọc.

Việc sử dụng các chất điện môi phụ thuộc vào phương pháp gia công tia lửa điện. Cụ thể, hydrocacbon - chủ yếu dùng cho phương pháp gia công xung định hình. Loại này gồm có: Parafin, dầu khoáng, các dẫn xuất của xăng. Nước khử khoáng: chủ yếu dùng cho phương pháp gia công công cắt dây.

+) Lưu thông chất điện môi:



Hình 1.6. Các kiểu lưu thông chất điện môi [2]

Lưu thông chất điện môi ảnh hưởng lớn đến năng suất và chất lượng gia công xung điện. Một số nguyên tắc lưu thông chất điện môi như sau:

- Nên lưu thông qua lòng điện cực;
- Lưu thông nhiều lỗ nhỏ tốt hơn lưu thông một lỗ to;
- Nên tạo dòng chảy ổn định bao trùm lên cả điện cực và chi tiết gia công;
- Nên tránh các điểm chết; các hàm ếch.

Một số sơ đồ lưu thông chất điện môi thông dụng được thể hiện trên hình 1.6.

1.6. Kết luận chương 1

Gia công tia lửa điện là phương pháp gia công không truyền thống dựa trên hiệu ứng ăn mòn xung điện của tia lửa điện xuất hiện giữa hai điện cực. Phương pháp gia công này có nhiều ưu điểm như có thể gia công tất cả các vật liệu dẫn điện; không phụ thuộc độ cứng của điện cực cũng như chi tiết; có thể gia công các chi tiết dạng hốc, rãnh khó gia công ... Tuy nhiên, phương pháp này có hạn chế là năng suất và chất lượng gia công thấp. Để nâng cao năng suất, chất lượng gia công cũng như hạn chế mài mòn điện cực, người ta trộn các bột kim loại có kích thước rất nhỏ (cỡ micro hoặc nano) vào dung dịch điện môi. Phương pháp này gọi là gia công xung điện có trộn bột (PMEDM) – sẽ được trình bày cụ thể hơn ở phần sau.

Chương 2

TỔNG QUAN VỀ GIA CÔNG XUNG ĐIỆN CÓ TRỘN BỘT

2.1. Tổng quan về gia công xung điện có trộn bột

Do gia công xung điện có trộn bột (PMEDM) có nhiều ưu điểm như đã nêu ở chương 1 nên cho đến nay đã có nhiều nhà nghiên cứu quan tâm đến dạng gia công này. Các nghiên cứu tập trung vào các biện pháp nâng cao năng suất bóc tách, tăng chất lượng bề mặt cũng như giảm độ mòn của quá trình gia công. Cụ thể như sau:

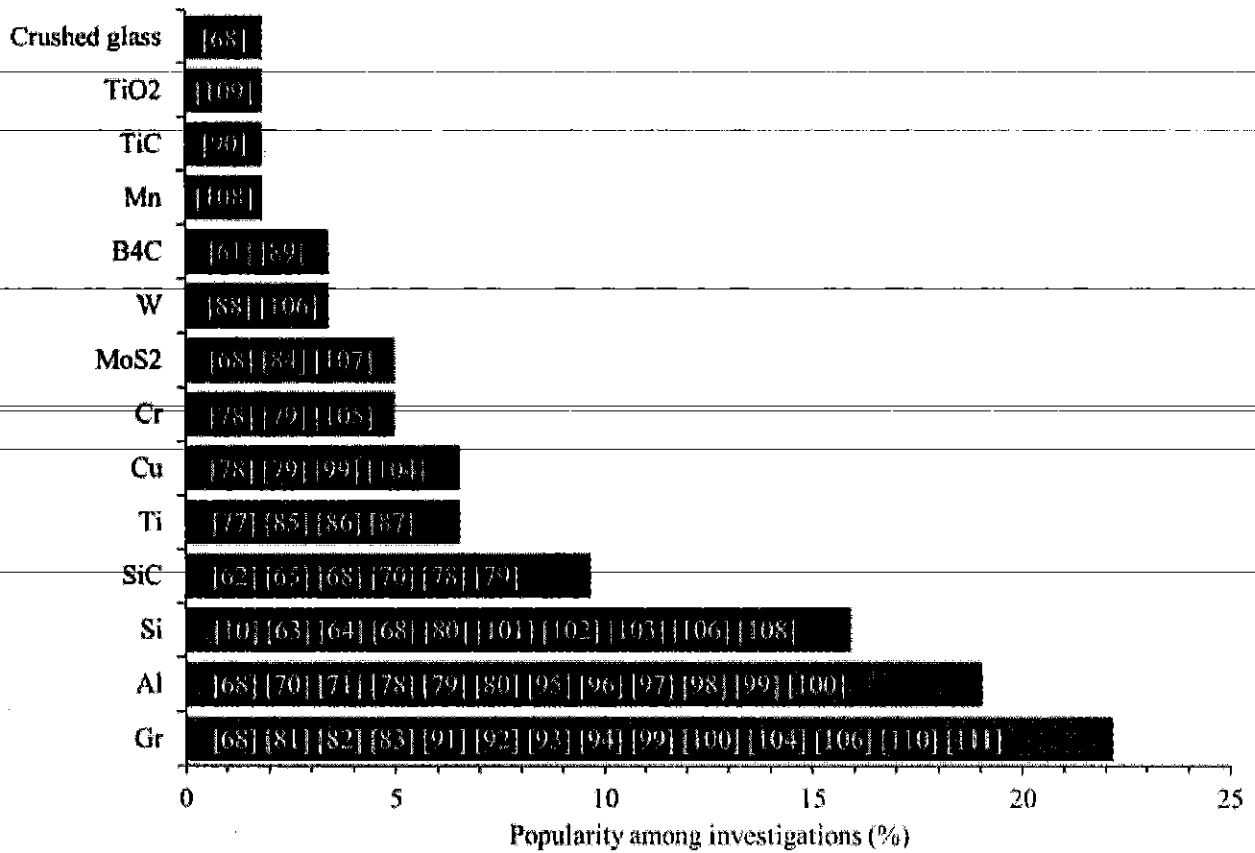
Trong [4] đã giới thiệu về lịch sử toàn diện và đánh giá về các nghiên cứu đã được thực hiện trong lĩnh vực PMEDM. Bên cạnh đó, cơ chế gia công, các vấn đề hiện tại, ứng dụng của dạng gia công này cũng được thảo luận trong nghiên cứu này.

Việc trộn bột vào dung dịch điện môi tạo điều kiện cho việc phóng tia lửa điện dễ dàng và làm tăng kích thước khe hở phóng điện so với EDM không có bột [5]. Thêm vào đó, hiện tượng phóng điện giữa các hạt kim loại (bột) dẫn đến số lượng tia lửa điện tăng nên cường độ của chúng sẽ bị giảm và do làm tăng số vết lõm bề mặt gia công nhưng nhưng đường kính và chiều sâu vết lõm lại giảm. Điều này dẫn đến trị số nhám bề mặt gia công giảm [5]. Việc trộn bột vào dung dịch điện môi không chỉ tạo ra bề mặt gia công đồng nhất mà còn ngăn cản sự xuất hiện hiện tượng phóng hồ quang điện tại một vài vị trí. Kích thước khe hở phóng điện phụ thuộc vào nồng độ bột, loại bột và một số thông số khác [5].

Các yêu cầu đối với bột trộn vào dung dịch điện môi trong PMEDM như sau: Có khả năng dẫn điện và dẫn nhiệt tốt, không bị hòa tan, khối lượng riêng không quá lớn... Các tác giả trong [6] đã đưa ra số liệu thống kê (trong khoảng 1981÷2015) về mức độ sử dụng các loại bột trong nghiên cứu PMEDM.

Kích thước bột là thông số có ảnh hưởng rất mạnh đến các chỉ tiêu chất lượng của PMEDM. Kích thước bột không chỉ ảnh hưởng đến MRR, TWR, Ra mà còn tác động đến chiều dày lớp bề mặt bị thay đổi do nhiệt xung gây ra [7]. Kích thước bột có ảnh hưởng khác nhau đến khả năng gia công của PMEDM và thông số này thường được lựa chọn theo chỉ tiêu đánh giá trong nghiên cứu. Kích thước tối

ưu của bột trong PMEDM phụ thuộc nhiều vào yếu tố như: hình dạng bột, vật liệu bột,... và cho đến nay còn ít kết quả nghiên cứu được công bố về vấn đề này [6].



Hình 2.1. Lượng sử dụng các loại bột trong PMEDM [6]

Nồng độ bột khi trộn vào chất điện môi trong PMEDM ảnh hưởng đến hiệu quả và sự ổn định trong PMEDM. Việc tăng nồng độ bột sẽ làm tăng kích thước khe hở phóng điện và số lượng tia lửa điện. Điều này sẽ làm tăng năng suất và chất lượng gia công [8]. Tuy nhiên, khi nồng độ bột quá lớn sẽ gây ra hiện tượng ngắn mạch, làm phóng hồ quang và gây ra sự mất ổn định trong PMEDM. Giá trị tối ưu của nồng độ bột phụ thuộc vào kích thước, vật liệu, hình dạng... của bột [6].

Trong [9] đã nghiên cứu quá trình PMEDM khi gia công thép SKD61, SKD11 và SKT4 với trộn bột titan vào dung dịch điện môi. Nghiên cứu này đã sử dụng phương pháp Taguchi và phân tích phương sai để xác định ảnh hưởng của các thông số quá trình đến tốc độ bóc tách vật liệu (MRR). Các thông số quá trình được xem xét trong nghiên cứu này gồm vật liệu điện cực, vật liệu phiôi, độ phân cực điện cực, thời gian bật xung, thời gian tắt xung, cường độ dòng điện và nồng độ bột titan. Kết quả nghiên cứu chỉ ra rằng dòng điện, vật liệu điện cực và nồng độ bột là những

thông số quan trọng nhất ảnh hưởng đến MRR. Nồng độ bột 20 g/l làm tăng MRR lên 42,1%, so với gia công không bột. Hơn nữa, giá trị tối ưu của MRR được xác định là 45,734 mm³ / phút [9].

Trong [10] đã tiến hành khảo sát độ nhám bề mặt, tốc độ loại bỏ vật liệu và khả năng chống ăn mòn trong PMEDM vật liệu đa kim γ -TiAl. Kết quả của nghiên cứu này cũng cho thấy, khả năng chống ăn mòn của các mẫu được gia công bằng điện cực graphite và crôm gấp khoảng hai đến ba lần so với mẫu khi gia công EDM không có bột.

Trong [11] đã trình bày kết quả nghiên cứu tối ưu hóa tham số cho tốc độ bóc tách vật liệu (MRR) và độ nhám bề mặt (SR) khi PMEDM thép EN-8. Trong nghiên cứu này, phương pháp bề mặt đáp ứng (RSM) đã được sử dụng để lập kế hoạch và phân tích các thí nghiệm. Dòng điện trung bình, chu kỳ làm việc, đường kính điện cực và nồng độ bột micro-niken cho vào chất lỏng điện môi của EDM đã được chọn làm các thông số đầu vào để nghiên cứu PMEDM về MRR và SR.

Trong [12] đã báo cáo về nghiên cứu tỷ về năng suất bóc tách vật liệu (MRR) và tốc độ mòn điện cực (EWR) khi PMEDM của cacbit vonfram và coban (WC-Co). Loại vật liệu này được sử dụng rộng rãi làm vật liệu đúc kim loại hình thành, rèn, đúc ép và đúc áp lực cao. Phương pháp bề mặt đáp ứng (RSM) đã được sử dụng để lập kế hoạch và phân tích các thí nghiệm.

Kích thước, tính chất của bột và loại dung dịch điện môi đóng vai trò quan trọng khi PMEDM [13]. 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 [13]. Kết quả nghiên cứu trong [5] 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 [14]. Ảnh hưởng của các loại bột khác nhau đến quá trình gia công cũng đã được đề cập đến trong [4]. 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 khí PMEDM cũng đã được khảo sát trong [6].

Việc trộn bột vào dung dịch điện môi khi PMEDM làm thay đổi đáng kể tính chất cơ lý của bề mặt gia công [4]. Nó làm tăng độ bền mòn và khả năng chống oxy hóa do nhiệt của chi tiết gia công [4]. Gia công PMEDM với bột Gr, Si, Al cho lớp bề mặt có độ bền mòn cao hơn so với gia công bằng EDM [15].

2.2. Kết luận chương 2

Từ các phân tích nêu trên, việc trộn bột nano vào dung dịch điện môi khi xung cho phép khắc phục được một số nhược điểm của gia công xung điện, nâng cao được năng suất và tăng chất lượng bề mặt gia công. Vì những lý do đó, 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 các chi tiết gia công có dạng trụ định hình hiện còn chưa có nhiều công công bố.

Trên thực tế, 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 hay còn gọi là có biên dạng định hình (như chày dập thuốc viên hình Đô-rê-mon, hình khúc xương, chày đột lỗ thép hình các loại vv...). 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, 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) là một hướng khả thi cao. Đặc biệt, năng suất và chất lượng xung loại chi tiết này có thể được cải thiện tốt nếu sử dụng PMEDM.

Gần đây, ở nước ta đã có một vài nghiên cứu về xung định hình ngược để gia công chày dập viên định hình với việc sử dụng điện cực bằng đồng [16] và điện cực graphite [17]. Tuy nhiên, như đã nêu, cho đến nay chưa có nghiên cứu nào về PMEDM khí xung chi tiết trụ có biên dạng định hình làm bằng vật liệu là thép dụng cụ SKD11 với dung dịch điện môi có trộn bột nano. Chính vì thế, việc nghiên cứu "Tối ưu hóa quá trình gia công xung điện chi tiết trụ có biên dạng định hình làm bằng thép SKD11 với dung dịch có trộn bột " là cấp thiết.

Chương 3

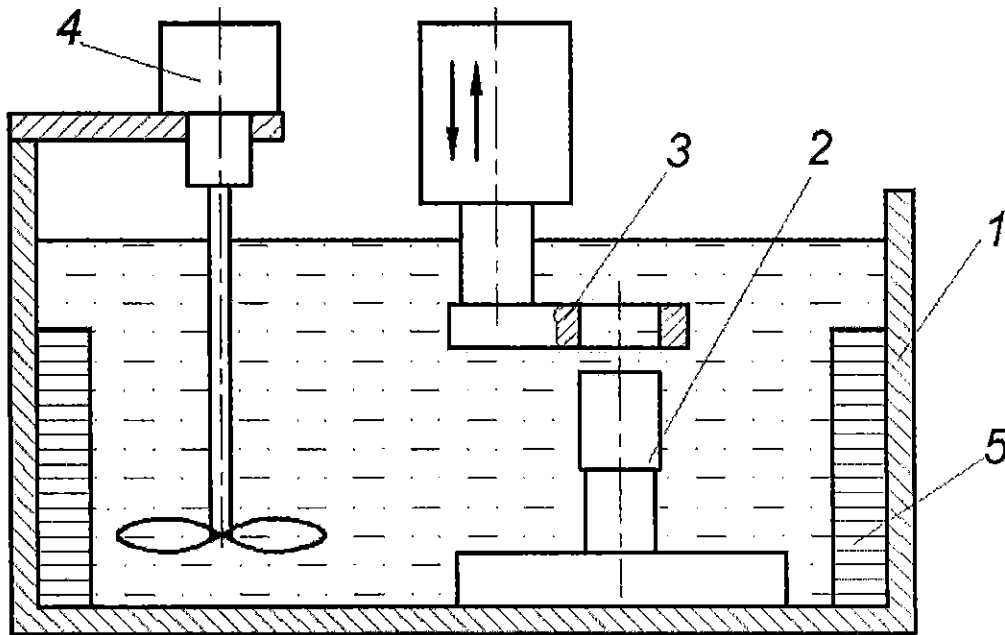
THỰC NGHIỆM XÁC ĐỊNH ẢNH HƯỞNG CỦA CÁC THÔNG SỐ CÔNG NGHỆ ĐẾN ĐỘ NHÁM BỀ MẶT KHI XUNG THÉP SKD11 SỬ DỤNG DUNG DỊCH ĐIỆN MÔI TRỘN BỘT SiC

3.1. Mục đích thí nghiệm

- Xác định được ảnh hưởng của các thông số công nghệ khi xung đến độ nhám bề mặt chi tiết gia công khi xung thép SKD11 sử dụng dung dịch điện môi trộn bột SiC.

- Đề xuất chế độ công nghệ xung hợp lý khi xung vật liệu SKD11 bằng điện cực là đồng đỏ nhằm đạt độ nhám bề mặt nhỏ nhất.

3.2. Setup thí nghiệm



Hình 3.1. Sơ đồ thí nghiệm

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

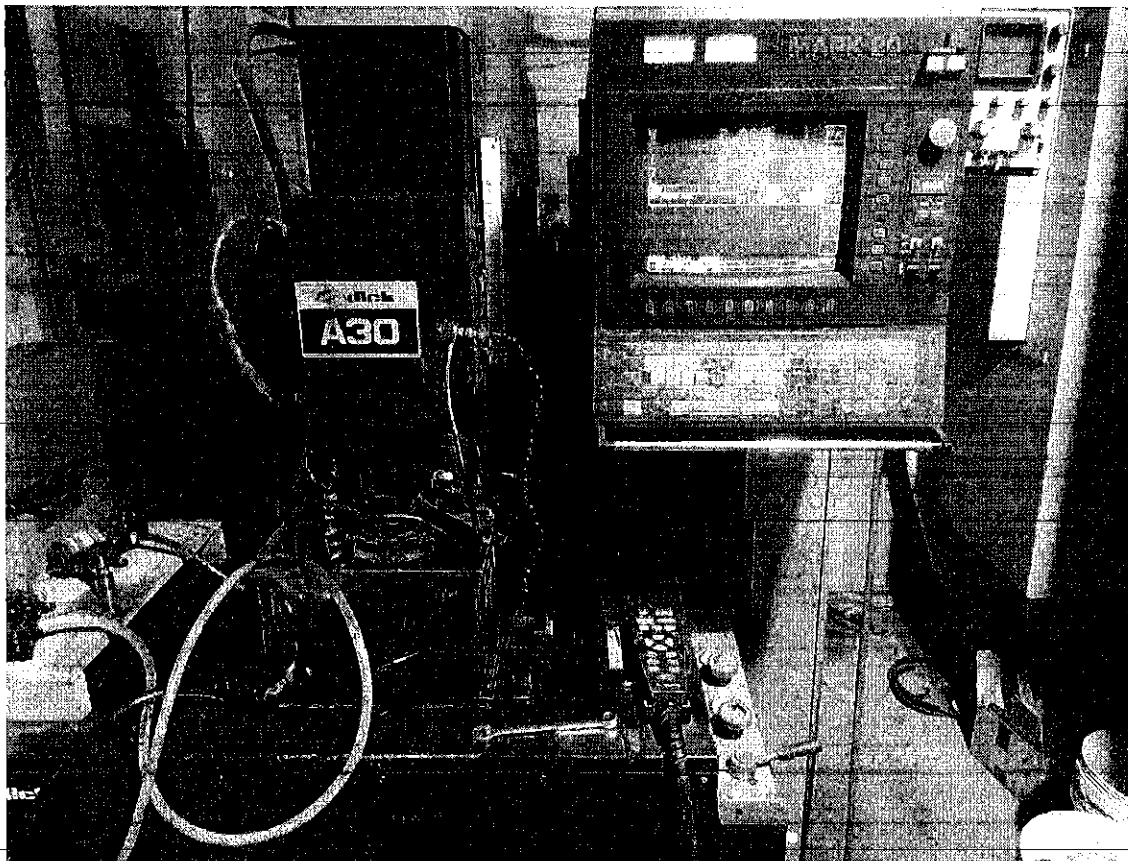
- Điện cực xung: đồng đỏ (hình 3.2);
- Dung dịch điện môi: dầu xung HD-1 ;
- Bột nano : SiC với các kích thước 100nm, 500nm và 1000nm ;
- Chi tiết gia công: SKD11 (hình 3.2); thành phần của thép cho trong bảng 3.1;
- Máy xung: máy CNC Sodick A30 (hình 3.3);

Bảng 3.1. Thành phần hóa học của thép 90CrSi

Mác thép	Thành phần hoá học (%)										
	C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	W	V	Cu	P	S
SKD11	1.4 ~ 1.6	0.4 max	0.6 max	0.5 max	11.0 ~ 13.0	0.8 ~ 1.2	0.2 ~ 0.5	≤ 0.25	≤ 0.25	≤ 0.03	≤ 0.03



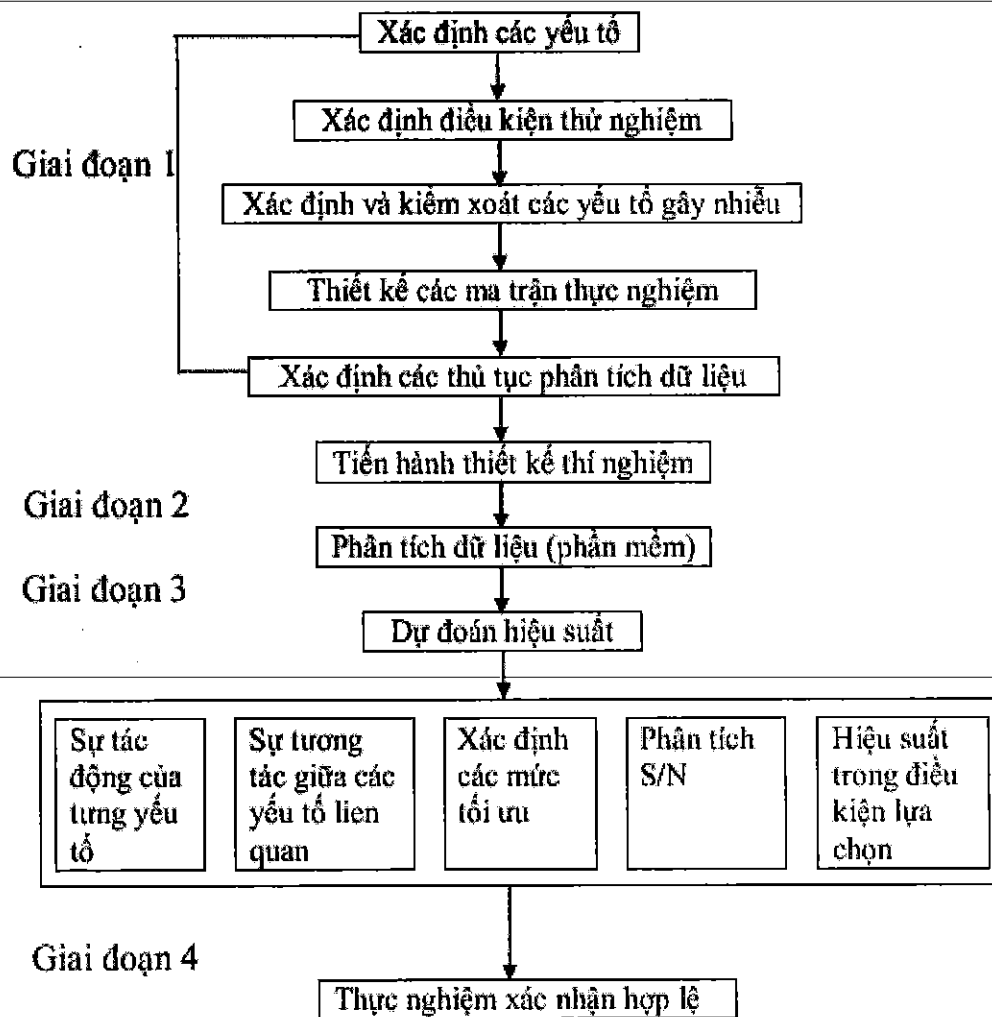
Hình 3.2. Điện cực và chi tiết gia công



Hình 3.3. Máy xung Sodick A30

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 nhanh nhất. Việc thiết kế thí nghiệm theo Taguchi được tiến hành theo sơ đồ hình 3.4



Hình 3.4. Sơ đồ thiết kế thực nghiệm theo phương pháp Taguchi

Tác giả chọn 6 thông số đầu vào bao gồm nồng độ bột (C_p), cỡ hạt (S_p), thời gian phát xung (T_{on}), thời gian ngừng phát xung (T_{off}), cường độ dòng phóng điện (IP), hiệu điện thế khe hở phóng điện (SV) để đánh giá ảnh hưởng của chúng khi gia công PMEDM đến độ nhám bề mặt. Các thông số và các mức được thể hiện trong bảng 3.2. Setup thí nghiệm được thể hiện trên hình 3.1.

Bảng 3.2. Mức và các thông số đầu vào

TT	Thông số đầu vào	Ký hiệu	Đơn vị	Các mức của yếu tố					
				1	2	3	4	5	6
1	Nồng độ bột	C_p	g/l	0	2	3	4	5	6
2	Cỡ hạt	S_p	nm	100	500	1000	-	-	-
3	Thời gian phát xung	T_{on}	μs	10	20	30	-	-	-
4	Thời gian ngừng phát xung	T_{off}	μs	10	20	30	-	-	-
5	Cường độ dòng phóng điện	IP	A	4	8	12	-	-	-
6	Hiệu điện thế Servo	SV	V	3	5	7	-	-	-

Tác giả sử dụng sơ đồ thí nghiệm thiết kế theo phương pháp Taguchi 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 servo) đến độ nhám bề mặt chi tiết gia công với vật liệu là thép dụng cụ SDK11 bằng điện cực đồng có trộn bột SiC vào dung dịch điện môi.

Sử dụng Minitab R19 để thiết kế Taguchi L18 ($1^6 \times 5^3$) kế hoạch thí nghiệm như bảng 3.3. 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.

Bảng 3.3. Kế hoạch thí nghiệm theo thiết kế Taguchi L18 ($1^6 \times 5^3$)

TT	Thông số đầu vào						Ra (μm)			Mean	S/N
	C_p	S_p	T_{on}	T_{off}	IP	SV	Trial 1	Trial 2	Trial 3		
1	0	100	10	10	4	3	2.285	2.130	1.405	1.94000	-5.9226
2	0	500	20	20	8	5	2.315	2.390	2.749	2.48467	-7.9305
3	0	1000	30	30	12	7	3.321	2.802	3.459	3.19400	-10.1206
4	2	100	10	20	8	7	2.047	1.972	2.010	2.00967	-6.0635
5	2	500	20	30	12	3	1.634	2.698	2.279	2.20367	-7.0309
6	2	1000	30	10	4	5	1.180	1.247	1.290	1.23900	-1.8672
7	3	100	20	10	12	5	2.437	2.345	2.146	2.30933	-7.2817
8	3	500	30	20	4	7	1.120	1.181	1.076	1.12567	-1.0345

9	3	1000	10	30	8	3	2.202	2.134	2.230	2.18867	-6.8051
10	4	100	30	30	8	5	2.736	2.034	2.397	2.38900	-7.6264
11	4	500	10	10	12	7	2.004	1.776	1.751	1.84367	-5.3302
12	4	1000	20	20	4	3	0.935	1.023	1.135	1.03100	-0.2925
13	5	100	20	30	4	7	2.193	1.649	1.709	1.85033	-5.4196
14	5	500	30	10	8	3	2.064	2.267	2.675	2.33533	-7.4181
15	5	1000	10	20	12	5	1.121	1.379	1.132	1.21067	-1.7023
16	6	100	30	20	12	3	3.234	2.420	2.848	2.83400	-9.1074
17	6	500	10	30	4	5	1.148	1.142	1.417	1.23567	-1.8846
18	6	1000	20	10	8	7	2.613	2.288	2.815	2.57200	-8.2363

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*

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

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.

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

+ *Giá trị danh nghĩa là tốt nhất:*

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

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

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 trị số độ nhám bề mặt Ra được xác định là: Nhỏ hơn thì tốt hơn.

3.4. Phân tích và đánh giá quả thí nghiệm

Để đánh giá ảnh hưởng của các thông số đầu vào đến độ nhám bề mặt. Phương pháp phân tích ANOVA được sử dụng trên phần mềm Minitab 19, với hàm mục tiêu là độ nhám bề mặt nhỏ nhất là tốt nhất:

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

Kết quả phân tích ANOVA được mô tả trong bảng 3.4 cho thấy: IP có ảnh hưởng lớn nhất đến Ra (49.99%), tiếp đó là lần lượt ảnh hưởng của nồng độ bột C_p (17.91%); cỡ bột S_p (10.02%), thời gian ngừng phát xung T_{off} (9.89%), thời gian phát xung T_{on} (5.97%) và ảnh hưởng ít nhất là điện áp SV (4.83%). Phần trăm ảnh hưởng của các thông số này cũng được mô tả rõ trong biểu đồ hình 3.5.

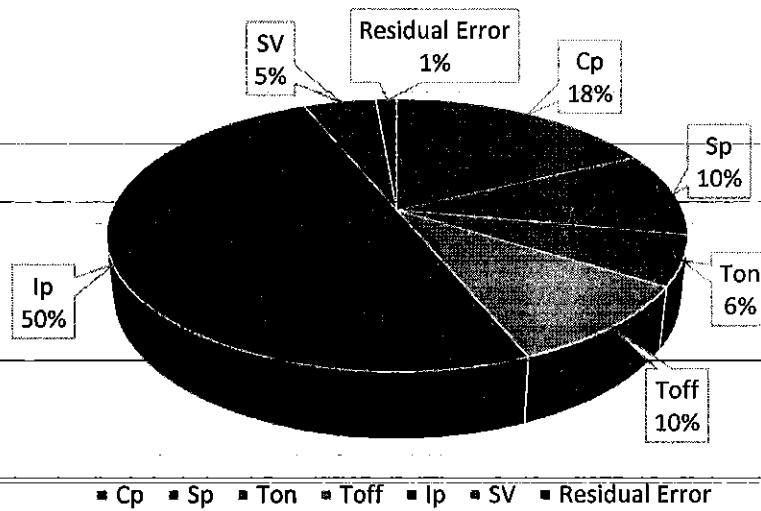
Bảng 3.4. Kết quả phân tích (ANOVA) ảnh hưởng của các thông số đầu vào đến tỉ số S/N

Analysis of Variance for SN ratios							
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P	C (%)
Cp	5	27.087	27.087	5.417	5.15	0.171	17,91
Sp	2	15.152	15.152	7.576	7.20	0.122	10,02
Ton	2	9.030	9.030	4.515	4.29	0.189	5,97
Toff	2	14.959	14.959	7.479	7.10	0.123	9,89
Ip	2	75.591	75.591	37.796	35.90	0.027	49,99
SV	2	7.298	7.298	3.649	3.47	0.224	4,83
Residual Error	2	2.106	2.106	1.053			1,39
Total	17	151.222					

Model Summary

S	R-Sq	R-Sq(adj)
1.0261	98.61%	88.16%

Ảnh hưởng của các thông số đầu vào đến tỷ số S/N (%)



Hình 3.5. Mức độ ảnh hưởng của các thông số đầu vào đến tỷ số S/N của Ra (%).

Thứ tự ảnh hưởng của các thông số đầu vào được mô tả cụ thể trong bảng 3.5.

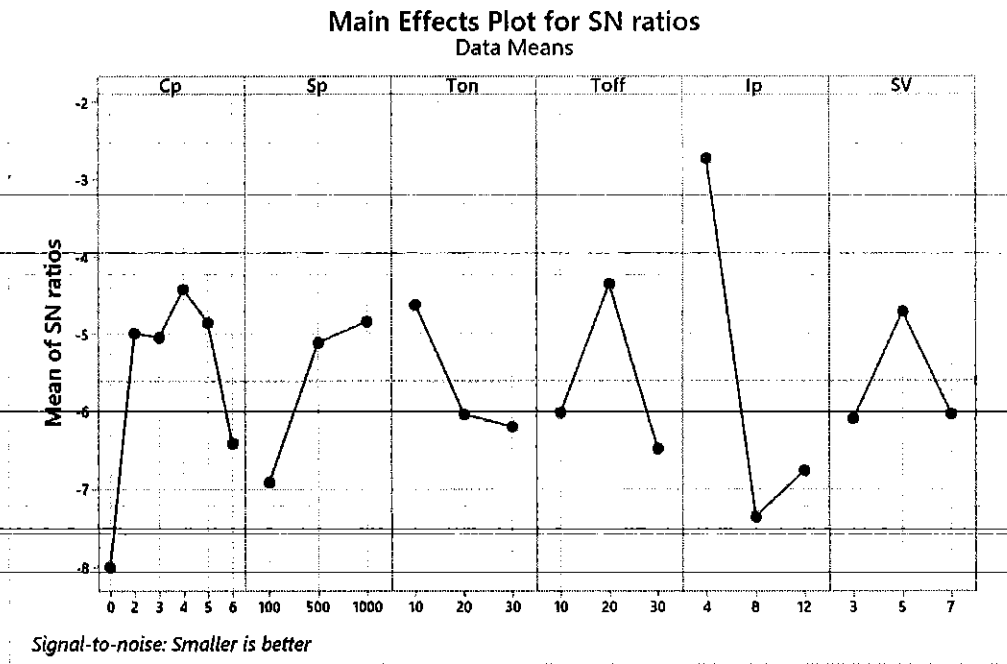
Bảng 3.5: Thứ tự ảnh hưởng của các thông số đầu vào đến S/N

Response Table for Signal to Noise Ratios

Smaller is better

Level	Cp	Sp	Ton	Toff	Ip	SV
1	-7.991	-6.904	-4.618	-6.009	-2.737	-6.096
2	-4.987	-5.105	-6.032	-4.355	-7.347	-4.715
3	-5.040	-4.837	-6.196	-6.481	-6.762	-6.034
4	-4.416					
5	-4.847					
6	-6.409					
Delta	3.575	2.066	1.578	2.126	4.610	1.381
Rank	2	4	5	3	1	6

Từ bảng 3.5 cho thấy thứ tự theo mức độ ảnh hưởng của các thông số đến S/N lần lượt là IP, Cp, Toff, Sp, Ton và SV.



Hình 3.6: Ảnh hưởng của các thông số đầu vào đến tỉ số S/N

Biểu đồ hình 3.6 mô tả ảnh hưởng của các thông số đến trị số S/N, với mục tiêu nhám bề mặt càng nhỏ càng tốt sẽ ứng với trị số S/N có giá trị càng lớn. Trong hình 3.6 cho thấy ảnh hưởng của các thông số này qua các mức, cụ thể: Đối với nồng độ bột C_p cho thấy việc thêm bột phụ gia vào quá trình xung làm giảm đáng kể nhám bề mặt thể hiện rõ qua kết quả Ra cao nhất ở mức $C_p = 0$ và giảm khi thêm bột phụ gia, quan sát biểu đồ cho thấy khi C_p tăng từ 2 đến 4% thì Ra giảm, nhưng nếu tiếp tục tăng C_p đến 5 và 6% thì Ra lại tăng. Kích cỡ hạt cũng có ảnh hưởng đáng kể tới Ra với xu hướng khi kích cỡ hạt tăng thì Ra giảm tuy nhiên khi tăng cỡ hạt 500 đến 1000 nm thì Ra giảm không đáng kể. Với trị số thời gian phát xung thì với T_{on} càng tăng làm cho nhám bề mặt tăng. Đối với thời gian ngừng phóng điện T_{off} thì nhám bề mặt tăng khi T_{off} tăng từ 10 đến 20 μs nhưng Ra giảm khi T_{off} tiếp tục tăng từ 20 đến 30 μs . Với cường độ dòng điện cực đại thì nhám bề mặt nhỏ nhất khi IP ở mức thấp 4 (A), IP tăng từ 4 đến 8 A làm Ra tăng, tiếp tục tăng IP thì Ra giảm nhẹ. Điện áp khe hở phóng điện SV cho thấy Ra giảm khi SV tăng từ 3 đến 5 V nhưng Ra lại tăng khi tiếp tục tăng SV từ 5 đến 7V. Như hàm mục tiêu đã đề ra ở trên, để đạt được độ nhám bề mặt là nhỏ nhất, thì giá trị S/N lớn nhất ứng với từng thông số đầu vào. Từ biểu đồ hình 3.6 có thể xác định được bộ thông số chế độ công nghệ gia công

xung định hình ngược có trộn bột hợp lý cho trị số Ra nhỏ nhất trong nghiên cứu này như trong bảng 3.6.

Bảng 3.6. Chế độ xung PMEDM hợp lý

TT	Thông số đầu vào	Ký hiệu	Đơn vị	Mức tối ưu	Giá trị tối ưu
1	Nồng độ bột	C _p	g/l	4	4
2	Cỡ hạt	S _p	nm	3	1000
3	Thời gian phát xung	T _{on}	μs	1	10
4	Thời gian ngừng phát xung	T _{off}	μs	2	20
5	Cường độ dòng phóng điện	IP	A	1	4
6	Hiệu điện thế Servo	SV	V	2	5

Giá trị nhám bề mặt ứng với bộ thông số công nghệ hợp lý được tính toán dựa trên phương pháp dự đoán bằng cách sử dụng phần mềm Minitab 19. Kết quả tính toán như trong bảng 3.7.

Bảng 3.7. Kết quả dự đoán nhám bề mặt Ra ứng với bộ thông số tối ưu

Settings

Variable	Setting
C _p	4
S _p	1000
T _{on}	10
T _{off}	20
I _p	4
SV	5

Prediction

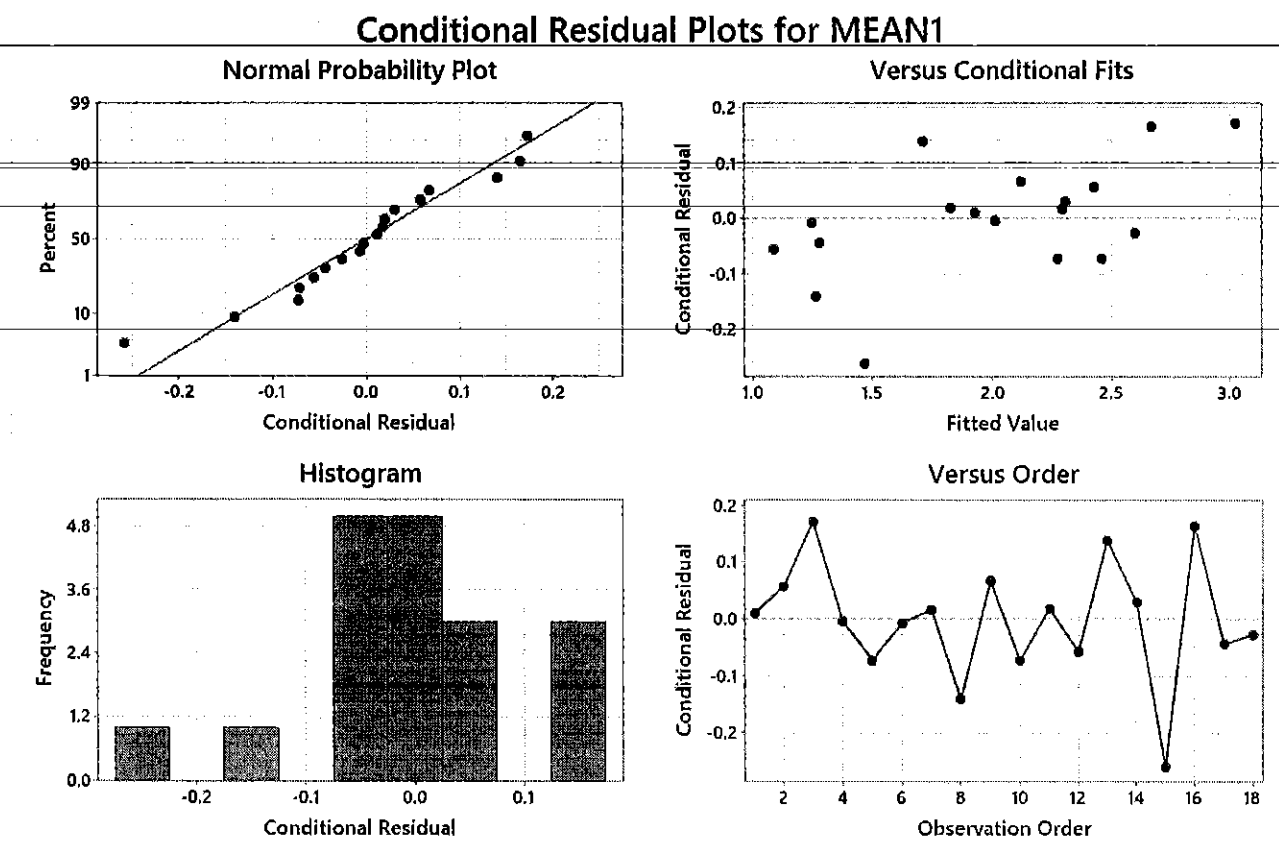
Type	Fit	SE Fit	CI DF	95% CI	PI DF	95% PI
Conditional	0.593	0.181	2.90	(0.004, 1.181)	2.33	(-0.447, 1.632)

Như vậy qua kết quả dự đoán trong bảng 3.7 cho thấy nhám bề mặt ứng với bộ thông số tối ưu đã tìm được của mô hình thực nghiệm đã đề xuất là 0.593 μm. Với mức tin cậy là 95% thì kết quả nhám bề mặt đạt được có thể xuất hiện trong

khoảng 0.004 đến 1.181 μm . Do đó, 95% nhám bề mặt đạt được ứng với bộ thông số tối ưu nhỏ hơn 1.181 μm .

3.5. Đánh giá mô hình thực nghiệm

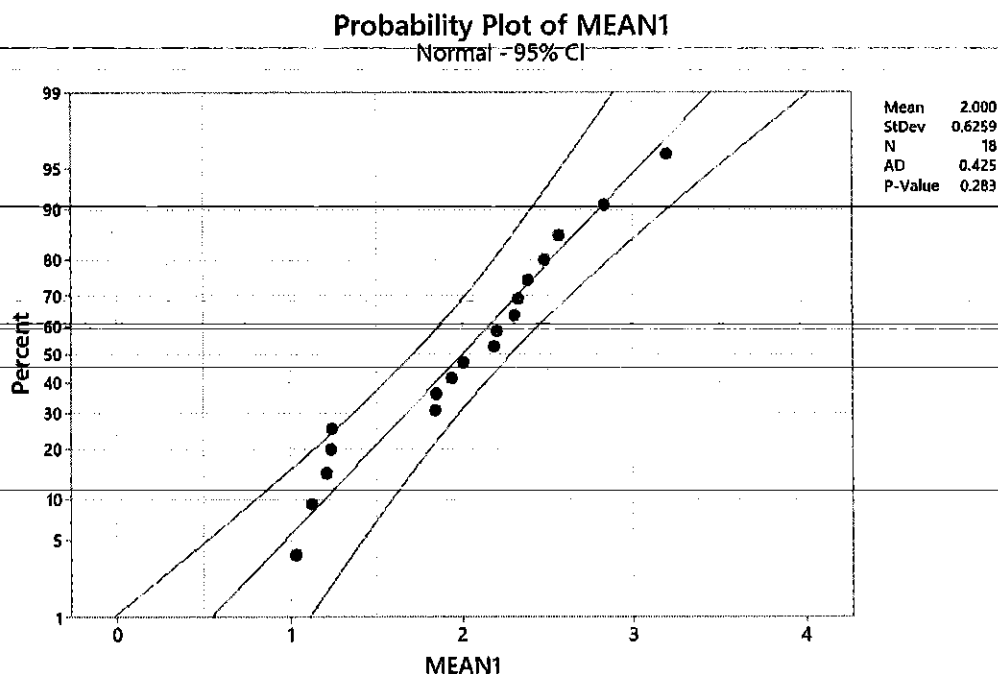
Mô hình thực nghiệm được đánh giá qua các biểu đồ phân bố sai số như trong hình 3.7



Hình 3.7. Các biểu đồ phân bố đánh giá sai số

Từ biểu đồ trong hình 3.7 có thể thấy: trong biểu đồ phân bố sai số phân bố chuẩn, các sai số của các điểm thí nghiệm ứng với các điểm màu xanh trên biểu đồ nằm sát với đường phân phối chuẩn (nét liền màu đỏ) chứng tỏ mức sai lệch là rất nhỏ. Biểu đồ Histogram biểu thị tần suất xuất hiện sai số cho thấy các sai số xuất hiện trong khoảng -0.1 đến 0.1 chiếm tỉ lệ lớn. Ở hai biểu đồ còn lại cho thấy sự phân bố ngẫu nhiên của các sai số thí nghiệm có nghĩa là mô hình đã xây dựng chịu ảnh hưởng phần lớn bởi các thông số đầu vào đã lựa chọn và không bị ảnh hưởng bởi thứ tự các thí nghiệm.

Mức độ phù hợp của mô hình thực nghiệm và bộ thông số tối ưu nhận được kiểm tra qua phương pháp Anderson-Darling bằng phần mềm Minitab 19 trong hình 3.8.



Hình 3.8. Đồ thị xác suất về mức độ phù hợp của mô hình thực nghiệm đối với Ra

Quan sát biểu đồ hình 3.8 cho thấy các dữ liệu ứng với các điểm thí nghiệm (chấm màu xanh) đều nằm trong vùng giới hạn bởi 2 đường giới hạn trên dưới với mức ý nghĩa 95%, đồng thời giá trị P là 0.283 lớn hơn giá trị $\alpha = 0.05$, điều này chỉ ra rằng mô hình thực nghiệm đã áp dụng là phù hợp với mức ý nghĩa trên.

3.6. Kết luận chương 3

Chương này đã nghiên cứu thực nghiệm ảnh hưởng của các tham số đầu vào của quá trình PMEDM đến độ nhám bề mặt chi tiết gia công có biên dạng trụ định hình. Trong nghiên cứu này, sáu thông số đầu vào bao gồm nồng độ bột, cỡ bột, thời gian phát xung đúng, thời gian tắt xung, dòng điện xung và điện áp xung đã được lựa chọn cho quá trình khảo sát. Bên cạnh đó, bột silicon carbide với 3 loại cỡ hạt đã được dùng để trộn vào chất điện môi; thép hợp kim dụng cụ SKD11 qua tôi được chọn làm vật liệu phôi. Thí nghiệm được tiến hành với 18 lần chạy đã được thiết kế và tiến hành dựa trên thiết kế trực giao L18 ($1^6 \times 5^3$). Từ kết quả phân tích ANOVA,

một mô hình tối ưu cho thời gian xung khi PMEDM đã được đề xuất và kết quả kiểm chứng bởi so sánh kết quả thí nghiệm và tính toán là đảm bảo.

Bộ thông số tối ưu nhằm giảm Ra đến mức nhỏ nhất được thể hiện trong bảng 3.6. Để nhám bề mặt của chi tiết gia công nhận được nhỏ hơn thì tốt hơn thì chế độ công nghệ khi xung là: $C_p = 4g/l$; $S_p = 1000nm$ $T_{on}=10 \mu s$; $T_{off} = 20 \mu s$; $IP = 4 A$; $SV = 5 V$; Kết quả ở bảng 2.7 cho thấy Ra ứng với bộ thông số tối ưu đã tìm được có thể đạt đến $0.593 \mu m \mu m$

Chương 4

THỰC NGHIỆM XÁC ĐỊNH ẢNH HƯỞNG CỦA CÁC THÔNG SỐ CÔNG NGHỆ ĐẾN NĂNG SUẤT BÓC TÁCH VẬT LIỆU KHI XUNG THÉP SKD11 CÓ TRỘN BỘT TRONG DUNG DỊCH ĐIỆN MÔI

4.1. Mục đích thí nghiệm

Xác định được ảnh hưởng của các thông số công nghệ khi xung PMEDM đến năng suất bóc tách vật liệu (MRS) khi xung thép SKD11.

Đề xuất chế độ công nghệ xung hợp lý khi xung vật liệu SKD11 bằng điện cực đồng nhằm đạt năng suất bóc tách cao nhất.

4.2. Setup thí nghiệm

Giống như chương 3

4.3. Thiết kế thí nghiệm

Để đánh giá ảnh hưởng của các thông số công nghệ khi xung chi tiết trụ biên dạng định hình vật liệu thép SKD11 có trộn bột đến tốc độ bóc tách vật liệu, 6 thông số công nghệ xung có trộn bột bao gồm: nồng độ bột (C_p), kích cỡ hạt (S_p), thời gian phát xung (T_{on}), thời gian ngừng phát xung (T_{off}), cường độ dòng điện xung (IP) và điện áp khe hở phóng điện (SV), được đưa vào khảo sát với các mức khảo sát được mô tả trong bảng 4.1.

Bảng 4.1. Các thông số đầu vào và các mức khảo sát

TT	Thông số đầu vào	Ký hiệu	Đơn vị	Các mức khảo sát					
				1	2	3	4	5	6
1	Nồng độ bột	C_p	g/l	0	2	3	4	5	6
2	Cỡ hạt	S_p	nm	100	500	1000	-	-	-
3	Thời gian phát xung	T_{on}	μs	10	20	30	-	-	-
4	Thời gian ngừng phát xung	T_{off}	μs	10	20	30	-	-	-
5	Cường độ dòng phóng điện	IP	A	4	8	12	-	-	-
6	Hiệu điện thế Servo	SV	V	3	5	7	-	-	-

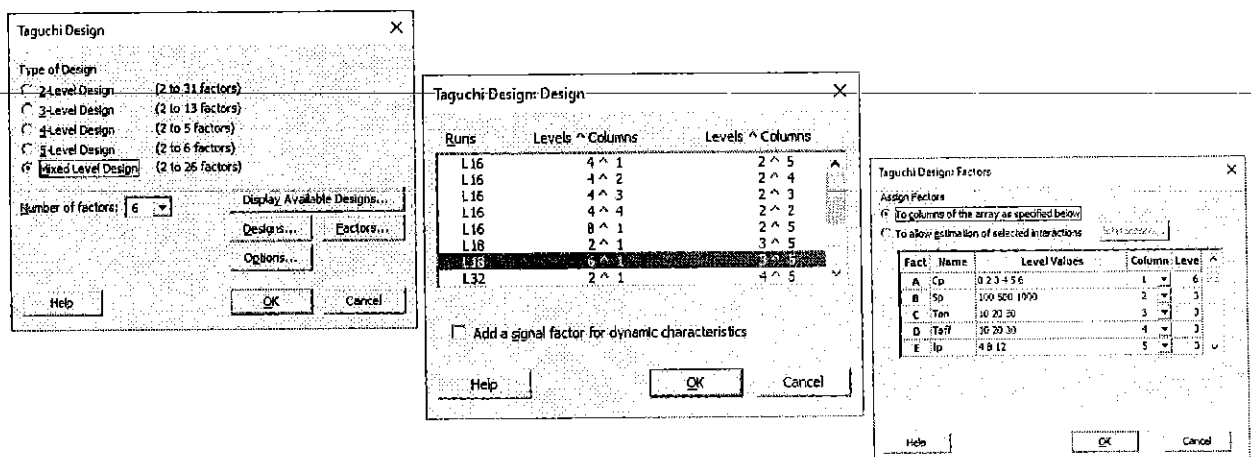
Với số biến đầu vào và các mức khảo sát như trên bảng 4.1 thì số bậc tự do của mô hình thí nghiệm là 15. Ma trận thí nghiệm được thiết kế dựa trên các mức khảo sát của các biến và sử dụng phương pháp quy hoạch thực nghiệm Taguchi với thiết kế $L_{18} (1^6 \times 5^3)$ đảm bảo số thí nghiệm lớn hơn số bậc tự do. Phần mềm minitab

R19 được sử dụng để thiết kế ma trận thí nghiệm. Trình tự khai báo biến thí nghiệm như hình 1.

Ma trận thí nghiệm và kết quả đo tốc độ bóc tách vật liệu được mô tả trong bảng 2.

Bảng 4.2. Ma trận thí nghiệm và kết quả

Exp. No	Input Parameters						MRS (g/h)	Mean	S/N
	Cp	Sp	Ton	Toff	Ip	SV			
1	0	100	10	10	4	3	9.8773	9.8773	19.8928
2	0	500	20	20	8	5	16.0979	16.0979	24.1354
3	0	1000	30	30	12	7	49.6445	49.6445	33.9174
4	2	100	10	20	8	7	6.7254	6.7254	16.5544
5	2	500	20	30	12	3	15.8857	15.8857	24.0201
6	2	1000	30	10	4	5	41.9831	41.9831	32.4615
7	3	100	20	10	12	5	32.4869	32.4869	30.2342
8	3	500	30	20	4	7	12.4249	12.4249	21.8858
9	3	1000	10	30	8	3	11.8259	11.8259	21.4567
10	4	100	30	30	8	5	28.2703	28.2703	29.0266
11	4	500	10	10	12	7	8.1986	8.1986	18.2748
12	4	1000	20	20	4	3	5.2888	5.2888	14.4672
13	5	100	20	30	4	7	5.3288	5.3288	14.5327
14	5	500	30	10	8	3	15.1998	15.1998	23.6368
15	5	1000	10	20	12	5	7.3727	7.3727	17.3525
16	6	100	30	20	12	3	30.8676	30.8676	29.7901
17	6	500	10	30	4	5	5.6500	5.6500	15.0409
18	6	1000	20	10	8	7	5.2931	5.2931	14.4741



Hình 4.1. Trình tự khai báo biến thí nghiệm

4.4. Phân tích và đánh giá kết quả thí nghiệm

Để đánh giá ảnh hưởng của các thông số đầu vào đến tốc độ bóc tách vật liệu. Phương pháp phân tích ANOVA được sử dụng trên phần mềm Minitab 19, với hàm mục tiêu là tốc độ bóc tách vật liệu lớn nhất là tốt nhất:

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

Kết quả phân tích ANOVA được mô tả trong bảng 4.3 cho thấy: T_{on} có ảnh hưởng lớn nhất đến Ra (49.13%), tiếp đó là ảnh hưởng của C_p (19.16%), IP (14.97%), SV (9.40%), T_{off} (3.14%) và S_p (1.96%). Phần trăm ảnh hưởng của các thông số này cũng được mô tả trong biểu đồ hình 4.2.

Bảng 4.3. Kết quả phân tích (ANOVA) ảnh hưởng của các thông số đầu vào đến tỉ số S/N

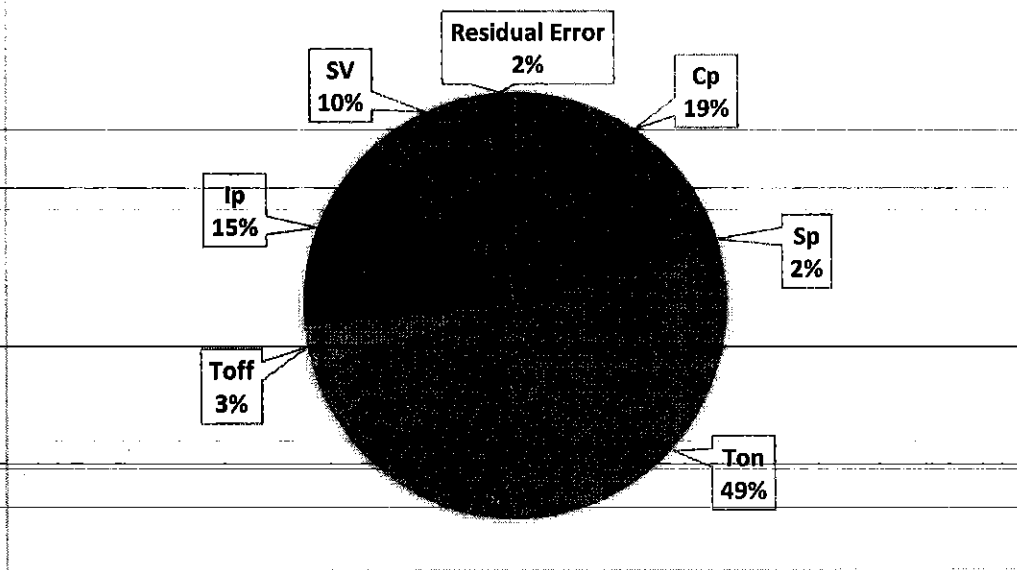
Analysis of Variance for SN ratios

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P	C (%)
Cp	5	139.23	139.23	27.847	3.41	0.242	19.16
Sp	2	14.21	14.21	7.103	0.87	0.535	1.96
Ton	2	356.98	356.98	178.488	21.85	0.044	49.13
Toff	2	22.80	22.80	11.399	1.40	0.417	3.14
Ip	2	108.80	108.80	54.402	6.66	0.131	14.97
SV	2	68.27	68.27	34.136	4.18	0.193	9.40
Residual Error	2	16.34	16.34	8.168			2.25
Total	17	726.62					

Model Summary

S	R-Sq	R-Sq(adj)
2.8579	97.75%	80.89%

Ảnh hưởng của các thông số đầu vào đến S/N (%)



Hình 4.2. Mức độ ảnh hưởng của các thông số đầu vào đến tỷ số S/N của MRS (%).

Thứ tự ảnh hưởng của các thông số đầu vào được mô tả cụ thể trong bảng 4.

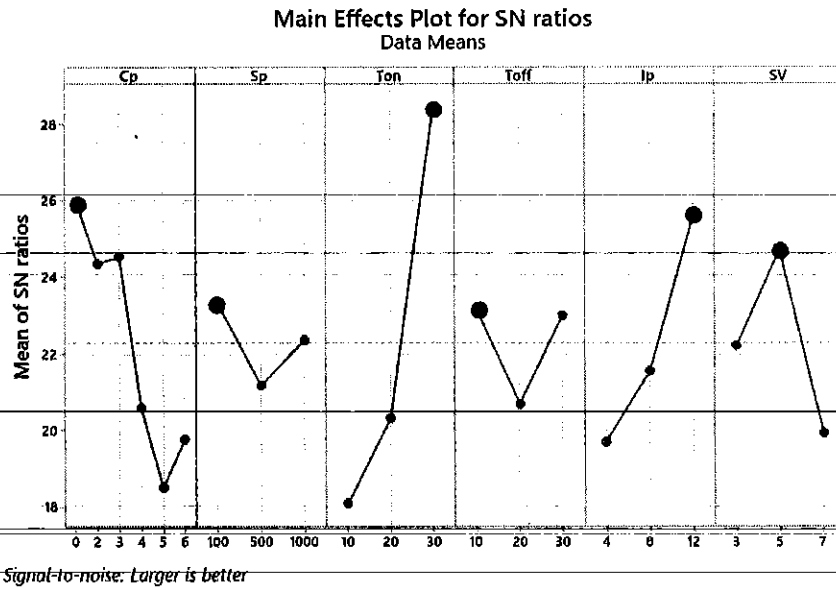
Bảng 4.4 Thứ tự ảnh hưởng của các thông số đầu vào đến S/N

Response Table for Signal to Noise Ratios

Larger is better

Level	Cp	Sp	Ton	Toff	Ip	SV
1	25.98	23.34	18.10	23.16	19.71	22.21
2	24.35	21.17	20.31	20.70	21.55	24.71
3	24.53	22.35	28.45	23.00	25.60	19.94
4	20.59					
5	18.51					
6	19.77					
Delta	7.47	2.17	10.36	2.46	5.88	4.77
Rank	2	6	1	5	3	4

Từ bảng 4.4 cho thấy thứ tự theo mức độ ảnh hưởng của các thông số đến S/N lần lượt là T_{on} , C_p , I_p , S_V , T_{off} và S_p .



Hình 4.3. Ảnh hưởng của các thông số đầu vào đến tỉ số S/N

Biểu đồ hình 4.3 mô tả ảnh hưởng của các thông số đến trị số S/N, với mục tiêu MRS càng lớn càng tốt sẽ ứng với trị số S/N có giá trị càng lớn. Trong hình 4.3 cho thấy ảnh hưởng của các thông số này qua các mức, cụ thể: Đối với nồng độ bột Cp cho thấy việc thêm bột phụ gia vào quá trình xung làm giảm đáng kể tốc độ bóc tách vật liệu, ở mức nồng độ 2 đến 3g/l thì MRS giảm ít, khi tăng Cp từ 3 đến 5 g/l thì MRS tiếp tục giảm sâu và tăng nhẹ ở nồng độ 6 g/l. Kích cỡ hạt cũng có ảnh hưởng không đáng kể tới MRS với xu hướng khi kích cỡ hạt tăng từ 100 đến 500 μm thì MRS giảm tuy nhiên khi tăng cỡ hạt 500 đến 1000 nm thì MRS tăng. Với thời gian phát xung thì với Ton càng tăng làm thì MRS càng tăng đây cũng là thông số có ảnh hưởng lớn nhất tới MRS. Đối với thời gian ngừng phóng điện T_{off} thì MRS giảm khi T_{off} tăng từ 10 đến 20 μs nhưng MRS tăng khi T_{off} tiếp tục tăng từ 20 đến 30 μs . Với cường độ dòng điện cực đại IP cũng có ảnh hưởng tương tự như Ton, khi IP tăng từ mức 1 đến mức 3 cũng làm cho MRS tăng. Điện áp khe hở phóng điện SV cho thấy MRS tăng khi SV tăng từ 3 đến 5 V nhưng MRS lại giảm khi tiếp tục tăng SV từ 5 đến 7V. Như hàm mục tiêu đã đề ra ở trên, để đạt được tốc độ bóc tách lớn nhất, thì giá trị S/N lớn nhất ứng với từng thông số đầu vào. Từ biểu đồ hình 3 có thể xác định được bộ thông số chế độ công nghệ gia công xung định hình ngược có trộn bột hợp lý cho trị số MRS lớn nhất trong nghiên cứu này như trong bảng 4.5.

Điều này có nghĩa là tốc độ bóc tách vật liệu ở chế độ xung không trộn bột lớn hơn khi trộn thêm bột phụ gia, nguyên nhân có thể do bột phụ gia làm phân tán dòng điện xung và giảm năng lượng xung.

Bảng 4.5. Chế độ xung định hình ngược hợp lý để đạt MRS lớn nhất

TT	Thông số đầu vào	Ký hiệu	Đơn vị	Mức tối ưu	Giá trị tối ưu
1	Nồng độ bột	C _p	g/l	1	0
2	Cỡ hạt	S _p	nm	1	100
3	Thời gian phát xung	T _{on}	μs	3	30
4	Thời gian ngừng phát xung	T _{off}	μs	1	10
5	Cường độ dòng phóng điện	IP	A	3	12
6	Hiệu điện thế Servo	SV	V	2	5

Giá trị MRS ứng với bộ thông số công nghệ hợp lý được tính toán dựa trên phương pháp dự đoán bằng cách sử dụng phần mềm Minitab 19. Kết quả tính toán như trong bảng 6.

Bảng 4.6. Kết quả dự đoán tốc độ bóc tách vật liệu MRS ứng với bộ thông số hợp lý

Settings

Variable	Setting
C _p	0
S _p	100
T _{on}	30
T _{off}	10
Ip	12
SV	5

Prediction

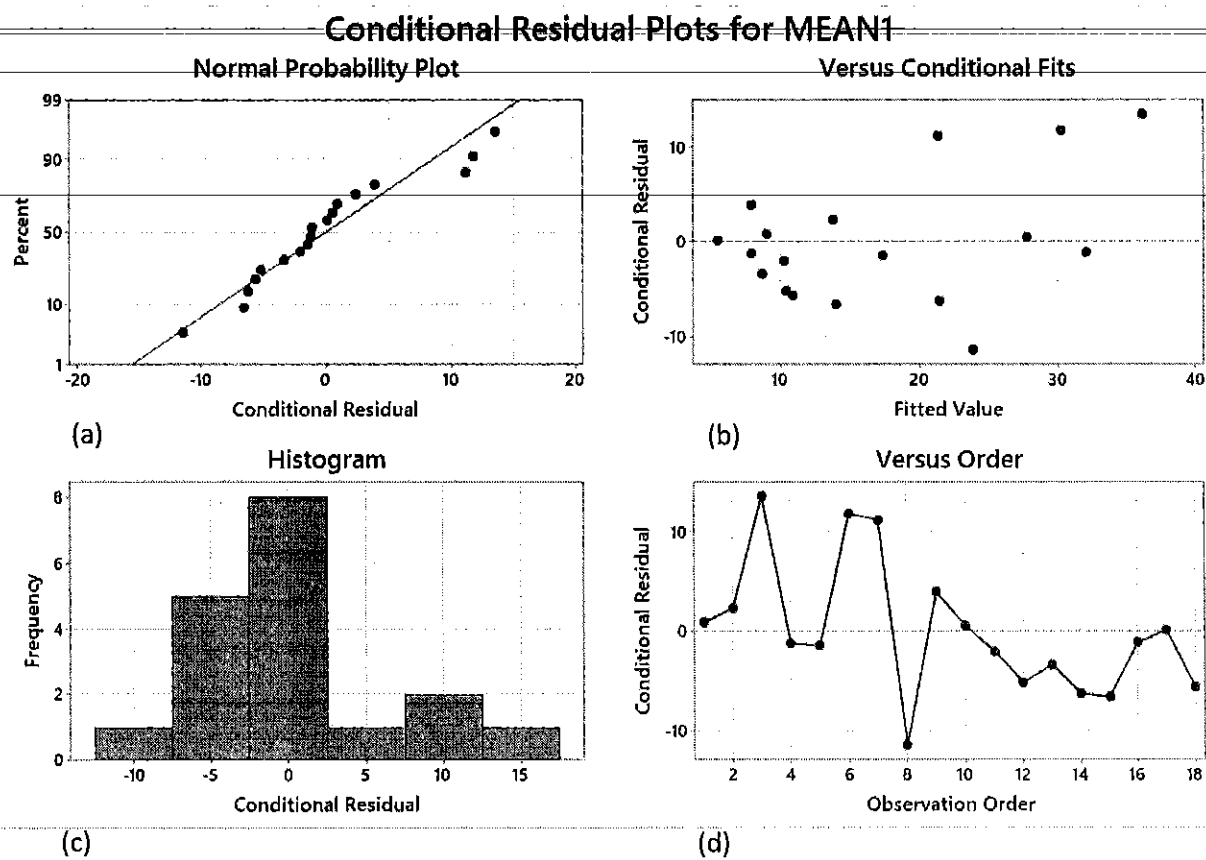
Type	Fit	SE Fit	CI DF	95% CI	PI DF	95% PI
Conditional	38.11	5.29	6.93	(25.56, 50.65)	4.52	(11.81, 64.41)
Marginal	17.13	7.49	2.65	(-8.60, 42.87)	4.98	(-26.56, 60.83)

Như vậy qua kết quả dự đoán trong bảng 6 cho thấy MRS ứng với bộ thông số hợp lý đã tìm được của mô hình thực nghiệm đã đề xuất là 38.11 (g/h). Với mức

tin cậy là 95% thì tốc độ bóc tách vật liệu ứng với bộ thông số trên có thể xuất hiện trong khoảng 25.56 (g/h) đến 50.65 (g/h) cao hơn nhiều so với tốc độ bóc tách vật liệu trung bình của quy hoạch thực nghiệm đã khảo sát. Do đó, 95% tốc độ bóc tách vật liệu đạt được ứng với bộ thông số hợp lý cao hơn 25.56 (g/h).

4.5. Đánh giá mô hình thực nghiệm

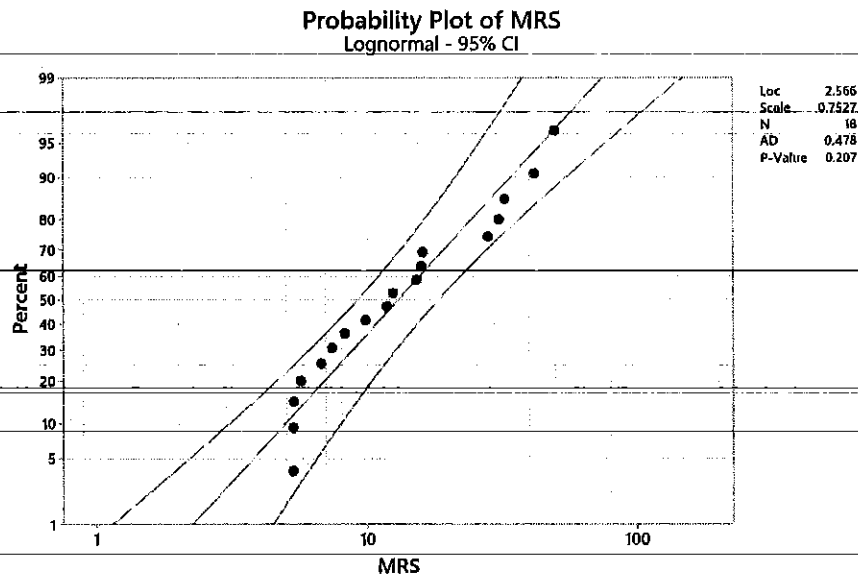
Mô hình thực nghiệm được đánh giá qua các biểu đồ phân bố sai số như trong hình 4.4.



Hình 4.4. Các biểu đồ phân bố đánh giá sai số

Hình 4.4 biểu diễn các biểu đồ phân bố sai số để đánh giá mô hình thực nghiệm. Từ hình này có thể thấy, các sai số của các điểm thí nghiệm (các điểm màu xanh) trên biểu đồ phân bố sai số phân bố chuẩn (Hình 4.4a) nằm gần với đường phân phối chuẩn (nét liền màu đỏ). Điều đó cho thấy mức sai lệch nhỏ. Bên cạnh đó, biểu đồ Histogram (Hình 4.4c) biểu thị tần suất xuất hiện sai số cho thấy các sai số xuất hiện trong khoảng lân cận 0 chiếm tỉ lệ lớn. Ở hai biểu đồ còn lại (Hình 4.4b và 4.4d) cho sai số thí nghiệm phân bố ngẫu nhiên. Như thế có nghĩa là mô hình thí

nghiệm chịu ảnh hưởng phần lớn bởi các thông số đầu vào đã lựa chọn và không bị ảnh hưởng bởi thứ tự các thí nghiệm.



Hình 4.5. Đồ thị xác suất về mức độ phù hợp của mô hình thực nghiệm đối với MRS

Mức độ phù hợp của mô hình thực nghiệm với bộ thông số tối ưu nhận được kiểm tra qua phương pháp Anderson-Darling bằng phần mềm Minitab 19 (Hình 4.5). Từ hình 4.5 có thể thấy rằng các điểm số liệu ứng với các điểm thí nghiệm (chấm màu xanh) đều nằm trong vùng giới hạn bởi 2 đường giới hạn trên dưới với mức ý nghĩa 95%. Thêm vào đó, giá trị P (0.207) là lớn hơn giá trị $\alpha = 0.05$. Điều đó cho phép có thể kết luận rằng mô hình thực nghiệm đã áp dụng là phù hợp với mức ý nghĩa trên.

4.6. Kết luận chương 4

Chương này tác giả đã nghiên cứu thực nghiệm ảnh hưởng của các tham số đầu vào của quá trình PMEDM đến năng suất bóc tách vật liệu khi PMEDM các chi tiết định hình. Trong nghiên cứu này, sáu thông số đầu vào bao gồm thời gian phát xung, nồng độ bột, cỡ hạt, thời gian tắt xung, dòng điện xung và điện áp xung đã được lựa chọn cho quá trình khảo sát. Bột silicon carbide với 3 cỡ hạt đã được dùng để trộn vào chất điện môi; thép hợp kim dụng cụ SKD11 qua tôi độ cứng 58-60 HRC

được chọn làm vật liệu phôi. Bên cạnh đó, thí nghiệm với 18 lần chạy đã được thiết kế và tiến hành dựa trên thiết kế trực giao $L_{18}(1^6 \times 5^3)$.

Từ kết quả phân tích ANOVA, một thông số tối ưu cho năng suất bóc tách vật liệu khi PMEDM đã được đề xuất. Cụ thể: $C_p = 0g/l$; $S_p = 100nm$; $T_{on} = 30 \mu s$; $T_{off} = 10 \mu s$; $IP = 12 A$ và $SV = 5V$. Với bộ thông số tối ưu đưa ra tốc độ bóc tách vật liệu có thể đạt đến 38.11 (g/h). Kết quả kiểm chứng bởi so sánh kết quả thí nghiệm và tính toán là đảm bảo.

Chương 5

THỰC NGHIỆM XÁC ĐỊNH ẢNH HƯỞNG CỦA CÁC THÔNG SỐ CÔNG NGHỆ ĐẾN NHÁM BỀ MẶT (R_a) VÀ TỐC ĐỘ BÓC TÁCH VẬT LIỆU (MRS) KHI XUNG PMEDM THÉP SKD11

5.1. Mục đích thí nghiệm

Xác định, đánh giá được ảnh hưởng của các thông số công nghệ xung PMEDM đến đồng thời cả trị số nhám bề mặt và tốc độ bóc tách khi xung thép SKD11.

Đề xuất chế độ công nghệ xung hợp lý để đạt đồng thời trị số độ nhám bề mặt nhỏ nhất và năng suất bóc tách lớn nhất khi xung vật liệu SKD11 bằng điện cực đồng đỏ.

5.2. Setup thí nghiệm

Giống như chương 3

5.3. Phương pháp quy hoạch thực nghiệm

Để đánh giá ảnh hưởng của các thông số công nghệ xung định hình ngược có trộn bột đến nhám bề mặt (R_a) và tốc độ bóc tách vật liệu (MRS). nồng độ bột (C_p), kích cỡ hạt (S_p), thời gian phát xung (T_{on}), thời gian ngừng phát xung (T_{off}), cường độ dòng điện xung (IP) và điện áp khe hở phóng điện (SV), được đưa vào khảo sát với các mức khảo sát được mô tả trong bảng 5.1.

Bảng 5.1. Các thông số đầu vào và các mức khảo sát

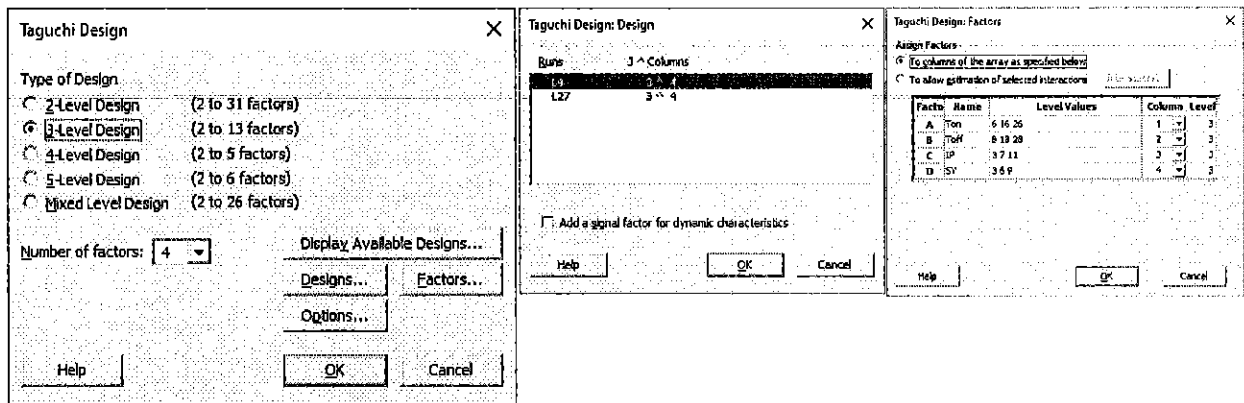
TT	Thông số đầu vào	Ký hiệu	Đơn vị	Các mức khảo sát					
				1	2	3	4	5	6
1	Nồng độ bột	C_p	g/l	0	2	3	4	5	6
2	Cỡ hạt	S_p	nm	100	500	1000	-	-	-
3	Thời gian phát xung	T_{on}	μs	10	20	30	-	-	-
4	Thời gian ngừng phát xung	T_{off}	μs	10	20	30	-	-	-
5	Cường độ dòng phóng điện	IP	A	4	8	12	-	-	-
6	Hiệu điện thế Servo	SV	V	3	5	7	-	-	-

Ma trận thí nghiệm được thiết kế dựa trên các mức khảo sát của các biến và sử dụng phương pháp quy hoạch thực nghiệm Taguchi với thiết kế L_9 (3^4). Phần mềm minitab R19 được sử dụng để thiết kế ma trận thí nghiệm với trình tự khai

báo biến thí nghiệm như hình 1. Ma trận thí nghiệm, các kết quả đo nhám bề mặt trung bình và tốc độ bóc tách vật liệu trung bình được mô tả trong bảng 5.2.

Bảng 5.2. Ma trận thí nghiệm và kết quả đo

Exp. No.	Input Factors						Ra (μm)		MRS (g/h)	
	Cp	Sp	Ton	Toff	Ip	SV	Mean	S/N	Mean	S/N
1	0	100	10	10	4	3	1.94000	-5.9226	9.8773	19.8928
2	0	500	20	20	8	5	2.48467	-7.9305	16.0979	24.1354
3	0	1000	30	30	12	7	3.19400	-10.1206	49.6445	33.9174
4	2	100	10	20	8	7	2.00967	-6.0635	6.7254	16.5544
5	2	500	20	30	12	3	2.20367	-7.0309	15.8857	24.0201
6	2	1000	30	10	4	5	1.23900	-1.8672	41.9831	32.4615
7	3	100	20	10	12	5	2.30933	-7.2817	32.4869	30.2342
8	3	500	30	20	4	7	1.12567	-1.0345	12.4249	21.8858
9	3	1000	10	30	8	3	2.18867	-6.8051	11.8259	21.4567
10	4	100	30	30	8	5	2.38900	-7.6264	28.2703	29.0266
11	4	500	10	10	12	7	1.84367	-5.3302	8.1986	18.2748
12	4	1000	20	20	4	3	1.03100	-0.2925	5.2888	14.4672
13	5	100	20	30	4	7	1.85033	-5.4196	5.3288	14.5327
14	5	500	30	10	8	3	2.33533	-7.4181	15.1998	23.6368
15	5	1000	10	20	12	5	1.21067	-1.7023	7.3727	17.3525
16	6	100	30	20	12	3	2.83400	-9.1074	30.8676	29.7901
17	6	500	10	30	4	5	1.23567	-1.8846	5.6500	15.0409
18	6	1000	20	10	8	7	2.57200	-8.2363	5.2931	14.4741



Hình 5.1. Trình tự khai báo biến thí nghiệm

5.4. Tối ưu hóa đa mục tiêu

Để tối ưu hóa đa mục tiêu trong nghiên cứu này sử dụng phương pháp phân tích quan hệ xám kết hợp với Taguchi. Ở trong nghiên cứu này tiến hành tối ưu hóa hai mục tiêu đó là độ nhám bề mặt là nhỏ nhất và tốc độ bóc tách vật liệu là lớn nhất.

Chỉ số S/N của Ra và MRS được tính theo các công thức dưới đây:

Với nhám bề mặt là nhỏ nhất: $S/N = -10 \log_{10} \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right)$ (1)

Với tốc độ bóc tách vật liệu là lớn nhất: $S/N = -10 \log_{10} \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right)$ (2)

Chỉ số S/N tính toán được của hai mục tiêu đầu ra được mô tả trong bảng 5.3.

Bảng 5.3. Trị số S/N của các thông số đầu ra

Exp. No.	Input Factors						Ra (µm)		MRS (g/h)	
	Cp	Sp	Ton	Toff	Ip	SV	Mean	S/N	Mean	S/N
1	0	100	10	10	4	3	1.94000	-5.9226	9.8773	19.8928
2	0	500	20	20	8	5	2.48467	-7.9305	16.0979	24.1354
3	0	1000	30	30	12	7	3.19400	-10.1206	49.6445	33.9174
4	2	100	10	20	8	7	2.00967	-6.0635	6.7254	16.5544
5	2	500	20	30	12	3	2.20367	-7.0309	15.8857	24.0201
6	2	1000	30	10	4	5	1.23900	-1.8672	41.9831	32.4615
7	3	100	20	10	12	5	2.30933	-7.2817	32.4869	30.2342
8	3	500	30	20	4	7	1.12567	-1.0345	12.4249	21.8858
9	3	1000	10	30	8	3	2.18867	-6.8051	11.8259	21.4567
10	4	100	30	30	8	5	2.38900	-7.6264	28.2703	29.0266
11	4	500	10	10	12	7	1.84367	-5.3302	8.1986	18.2748
12	4	1000	20	20	4	3	1.03100	-0.2925	5.2888	14.4672
13	5	100	20	30	4	7	1.85033	-5.4196	5.3288	14.5327
14	5	500	30	10	8	3	2.33533	-7.4181	15.1998	23.6368
15	5	1000	10	20	12	5	1.21067	-1.7023	7.3727	17.3525
16	6	100	30	20	12	3	2.83400	-9.1074	30.8676	29.7901
17	6	500	10	30	4	5	1.23567	-1.8846	5.6500	15.0409
18	6	1000	20	10	8	7	2.57200	-8.2363	5.2931	14.4741

Để có thể phân tích quan hệ xám thì dựa trên trị số S/N cần phải chuyển đổi thành chuỗi so sánh với các đại lượng không có thứ nguyên do vậy cần phải chuẩn hóa dữ liệu. Ở đây, các kết quả tính toán chỉ số S/N được chuẩn hóa trong khoảng (0 ÷ 1). Chỉ số S/N được chuẩn hóa bằng trị số Z_i với $0 \leq Z_i \leq 1$. Z_i được xác định theo công thức sau nhằm tránh sự ảnh hưởng của việc sử dụng các thứ nguyên khác nhau và để giảm sự biến đổi:

$$Z_i = \frac{S/N_i - \min(S/N_i, i=1,2,\dots,n)}{\max(S/N_i, i=1,2,\dots,n) - \min(S/N_i, i=1,2,\dots,n)} \quad (3)$$

Trong đó n là số thí nghiệm, n = 18

Xác định trị số quan hệ xám

Hệ số quan hệ xám $y_i(k)$ được xác định bằng công thức:

$$y_i(k) = \frac{\Delta_{\min}(k) + \zeta \cdot \Delta_{\max}(k)}{\Delta_i(k) + \zeta \cdot \Delta_{\max}(k)}, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (4)$$

Trong đó:

- n : là số thí nghiệm ($n=18$); k là số mục tiêu đầu ra ($k=2$)

- $\Delta_i(k)$ là trị số tuyệt đối sai lệch của dãy tham chiếu. Được xác định theo công thức:

- $\Delta_i(k) = \|Z_0(k) - Z_i(k)\|$, là giá trị tuyệt đối của sai lệch giữa $Z_0(k)$ (trị số tham chiếu $Z_0(k) = 1$) và $Z_i(k)$ (trị số Z của thí nghiệm thứ i của mục tiêu thứ k).

- $\Delta_{\min}(k)$ là giá trị nhỏ nhất của $\Delta_i(k)$

- $\Delta_{\max}(k)$ là giá trị lớn nhất của $\Delta_i(k)$

- ζ là hệ số phân biệt, được xác định trong khoảng $0 \leq \zeta \leq 1$, trong nghiên cứu thực nghiệm $\zeta = 0.5$.

Mức độ quan hệ xám được xác định qua trị số quan hệ xám trung bình của các mục tiêu đầu ra:

$$\bar{y}_i = \frac{1}{k} \sum_{j=0}^k y_{ij}(k) \quad (5)$$

Trong đó:

- k là số mục tiêu đầu ra.

- y_{ij} là trị số quan hệ xám của các mục tiêu đầu ra thứ j ở thí nghiệm thứ i .

Kết quả tính toán trị số quan hệ xám y_i và trị số quan hệ xám trung bình \bar{y}_i của các thí nghiệm được thể hiện trong bảng 4.

Bảng 5.4. Trị số S/N, giá trị chuẩn hóa S/N Z_i , giá trị tuyệt đối của sai lệch $\Delta_i(k)$ và trị số quan hệ xám \bar{y}_i

Exp. No	S/N		Z_i		$\Delta_i(k)$		Trị số quan hệ xám y_i		\bar{y}_i
	Ra	MRS	\bar{R}_a	MRS	\bar{R}_a	MRS	\bar{R}_a	MRS	
			Trị số tham chiếu						
			1.000	1.000					
1	-5.9226	19.8928	0.4271	0.2789	0.573	0.721	0.466	0.409	0.438
2	-7.9305	24.1354	0.2228	0.4971	0.777	0.503	0.391	0.499	0.445
3	-10.1206	33.9174	0.0000	1.0000	1.000	0.000	0.333	1.000	0.667
4	-6.0635	16.5544	0.4128	0.1073	0.587	0.893	0.460	0.359	0.409
5	-7.0309	24.0201	0.3144	0.4911	0.686	0.509	0.422	0.496	0.459
6	-1.8672	32.4615	0.8398	0.9251	0.160	0.075	0.757	0.870	0.814
7	-7.2817	30.2342	0.2889	0.8106	0.711	0.189	0.413	0.725	0.569
8	-1.0345	21.8858	0.9245	0.3814	0.075	0.619	0.869	0.447	0.658
9	-6.8051	21.4567	0.3373	0.3594	0.663	0.641	0.430	0.438	0.434
10	-7.6264	29.0266	0.2538	0.7485	0.746	0.251	0.401	0.665	0.533
11	-5.3302	18.2748	0.4874	0.1958	0.513	0.804	0.494	0.383	0.439
12	-0.2925	14.4672	1.0000	0.0000	0.000	1.000	1.000	0.333	0.667
13	-5.4196	14.5327	0.4783	0.0034	0.522	0.997	0.489	0.334	0.412
14	-7.4181	23.6368	0.2750	0.4714	0.725	0.529	0.408	0.486	0.447
15	-1.7023	17.3525	0.8566	0.1483	0.143	0.852	0.777	0.370	0.573
16	-9.1074	29.7901	0.1031	0.7878	0.897	0.212	0.358	0.702	0.530
17	-1.8846	15.0409	0.8380	0.0295	0.162	0.971	0.755	0.340	0.548
18	-8.2363	14.4741	0.1917	0.0004	0.808	1.000	0.382	0.333	0.358

5.5. Phân tích và đánh giá kết quả thí nghiệm

Để đảm bảo hài hòa giữa các thông số đầu ra thì trị số quan hệ xám trung bình càng cao càng tốt. Như vậy hàm mục tiêu của bài toán đa mục tiêu trở thành bài toán đơn mục tiêu với đầu ra là trị số quan hệ xám trung bình. Phương pháp Taguchi được sử dụng để đánh giá ảnh hưởng của các thông số công nghệ xung định hình ngược có trộn bột đến trị số quan hệ xám trung bình.

Với mục tiêu là trị số quan hệ xám trung bình càng lớn càng tốt, trị số S/N của \bar{y}_i được tính theo công thức 2.

Kết quả tính toán trị số S/N được phân tích bằng phương pháp ANOVA được thể hiện trong bảng 5.5.

Bảng 5.5. Ảnh hưởng của các thông số đến trị số quan hệ xám qua tỉ số S/N của \bar{y}_i

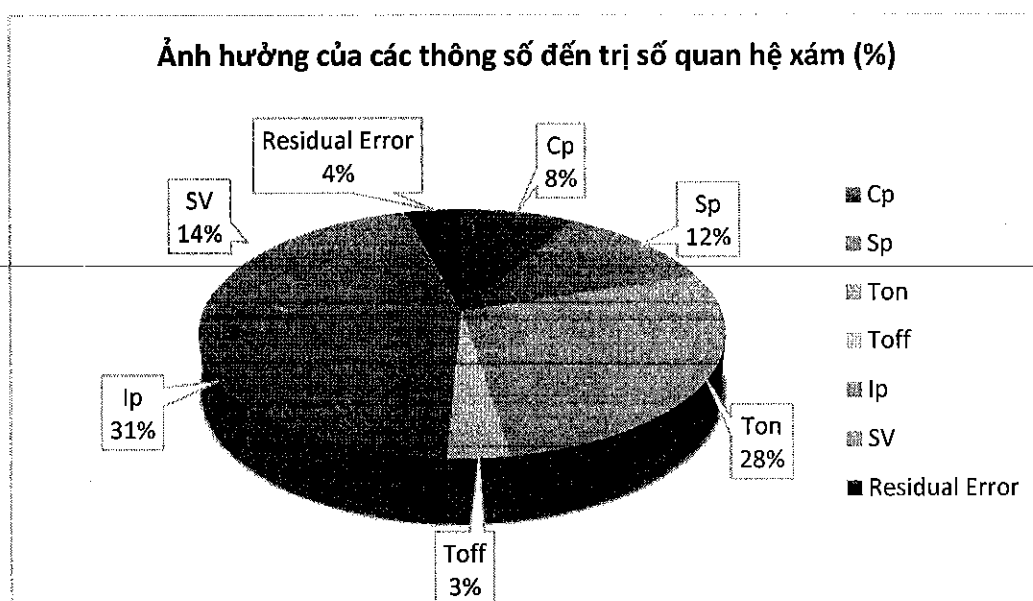
Analysis of Variance for SN ratios

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P	C (%)
C _p	5	5.027	5.027	1.0053	0.81	0.632	8.33
S _p	2	7.044	7.044	3.5218	2.85	0.260	11.68
T _{on}	2	16.585	16.585	8.2925	6.71	0.130	27.49
T _{off}	2	1.996	1.996	0.9980	0.81	0.553	3.31
l _p	2	18.558	18.558	9.2790	7.50	0.118	30.77
SV	2	8.638	8.638	4.3190	3.49	0.223	14.32
Residual Error	2	2.473	2.473	1.2367			4.10
Total	17	60.321					

Model Summary

S	R-Sq	R-Sq(adj)
1.1121	95.90%	65.15%

Từ kết quả phân tích ảnh hưởng của các thông số đến trị số quan hệ xám trung bình trong bảng 5.5 cho thấy: IP có ảnh hưởng lớn nhất tới \bar{y}_i (30.77%), tiếp đó là ảnh hưởng của T_{on} (27.49%) và SV (14.32%), S_p (11.68%), C_p (8.33%) và T_{off} có ảnh hưởng ít nhất (3.31%). Kết quả này cũng được thể hiện trong hình 5.2.



Hình 5.2. Mức độ ảnh hưởng của các thông số đầu vào đến \bar{y}_i (%)

Thứ tự ảnh hưởng của các thông số đầu vào xếp theo mức độ ảnh hưởng đến trị số quan hệ xám qua phân tích ANOVA được mô tả trong bảng 5.6.

Bảng 5.6. Thứ tự ảnh hưởng của các thông số đầu vào đến \bar{y}_i

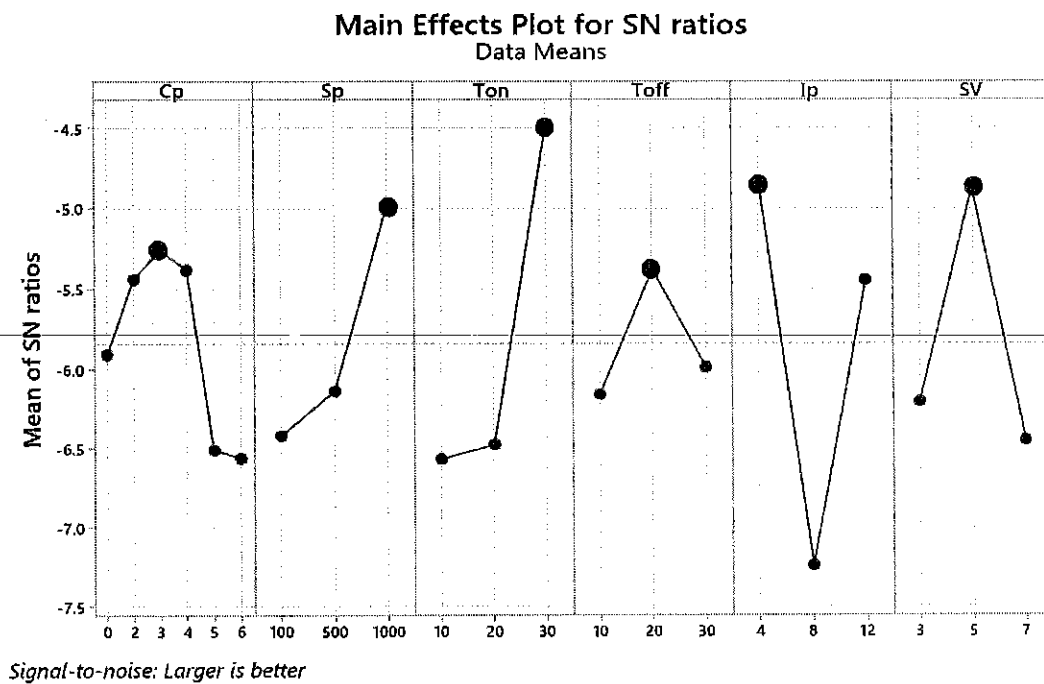
Response Table for Signal to Noise Ratios

Larger is better

Level	Cp	Sp	Ton	Toff	Ip	SV
1	-5.910	-6.418	-6.566	-6.157	-4.844	-6.203
2	-5.439	-6.137	-6.476	-5.382	-7.236	-4.874
3	-5.260	-4.973	-4.486	-5.989	-5.449	-6.451
4	-5.381					
5	-6.509					
6	-6.557					
Delta	1.297	1.445	2.080	0.775	2.392	1.578
Rank	5	4	2	6	1	3

Average gray relation value: 0.522

Để xác định được bộ thông số tối ưu ứng với trị số quan hệ xám trung bình lớn nhất, dựa vào biểu đồ phân tích ảnh hưởng của các thông số đến \bar{y} .



Hình 5.3. Biểu đồ ảnh hưởng của các thông số đến trị số S/N của \bar{y}

Như đã phân tích ở trên bộ thông số ứng với giá trị \bar{y} cao nhất với mỗi thông số đầu vào là bộ thông số hợp lý nhất. Từ biểu đồ hình 5.3 cho thấy xu hướng ảnh hưởng của từng thông số đầu vào đến \bar{y} và xác định được bộ thông số tối ưu đa mục tiêu, cụ thể trong bảng 5.7.

Bảng 6.7. Bộ thông số công nghệ xung định hình ngược tối ưu

TT	Thông số đầu vào	Ký hiệu	Đơn vị	Mức tối ưu	Giá trị tối ưu
1	Nồng độ bột	C _p	g/l	1	3
2	Cỡ hạt	S _p	nm	1	1000
3	Thời gian phát xung	T _{on}	μs	3	30
4	Thời gian ngừng phát xung	T _{off}	μs	1	20
5	Cường độ dòng phóng điện	I _p	A	3	4
6	Hiệu điện thế Servo	SV	V	2	5

Với bộ thông số tối ưu nhận được có thể tính toán dự đoán kết quả của các hàm mục tiêu bằng cách sử dụng phần mềm Minitab 19 để phân tích dự đoán, kết quả được mô tả trong bảng 5.8.

Bảng 5.8. Kết quả dự đoán nhám bề mặt và tốc độ bóc tách ứng với bộ thông số hợp lý

Settings

Variable	Setting
C _p	3
S _p	1000
T _{on}	30
T _{off}	20
I _p	4
SV	5

Prediction

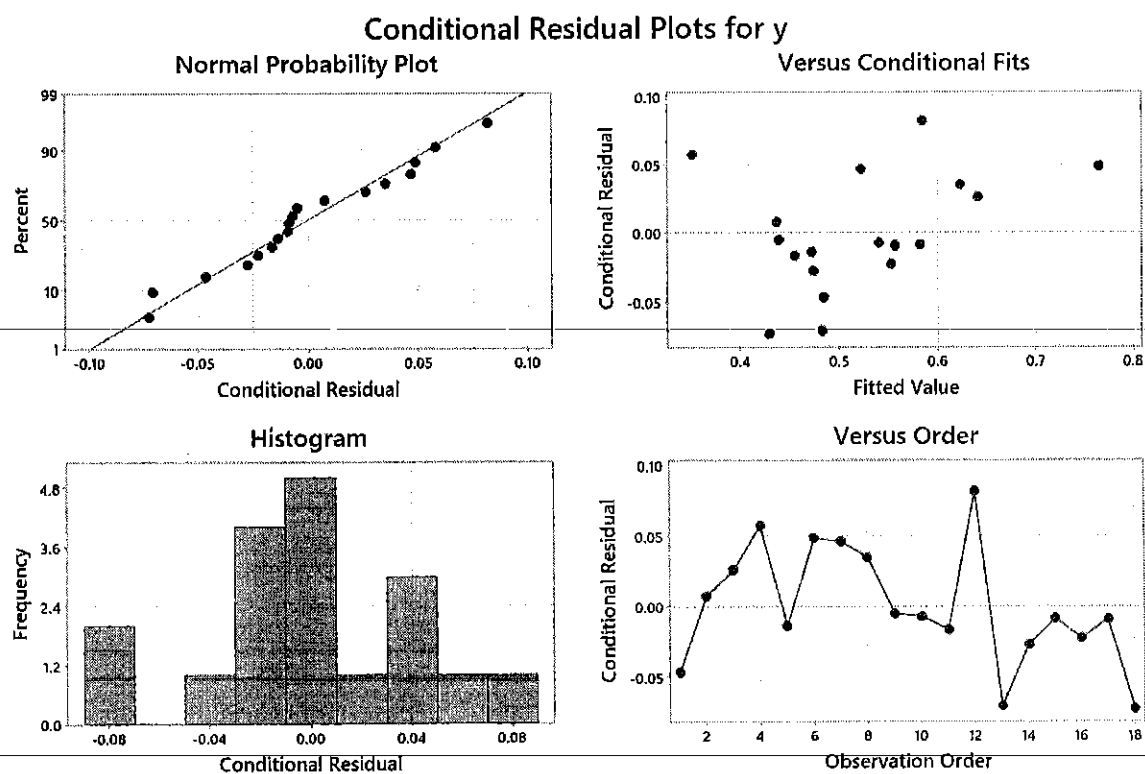
Ra	Fit	SE Fit	CI DF	95% CI	PI DF	95% PI
Conditional	1.083	0.181	2.900	(0.495, 1.672)	2.33	(0.044, 2.123)
Marginal	2	0.382	4.780	(1.003, 2.997)	6.07	(0.013, 3.986)
MRS	Fit	SE Fit	CI DF	95% CI	PI DF	95% PI
Conditional	29.21	5.290	6.930	(16.67, 41.75)	4.52	(2.91, 55.51)
Marginal	17.13	7.490	2.650	(-8.60, 42.87)	4.98	(-26.56, 60.83)

Từ kết quả phân tích dự đoán cho thấy, với bộ thông số công nghệ xung định hình ngược có trộn bột thép SKD11 với bộ thông số hợp lý nhận được sẽ cho ra kết quả nhám bề mặt Ra xấp xỉ $1.083 \mu\text{m}$. Đối với tốc độ bóc tách vật liệu MRS xấp xỉ 29.21 g/h .

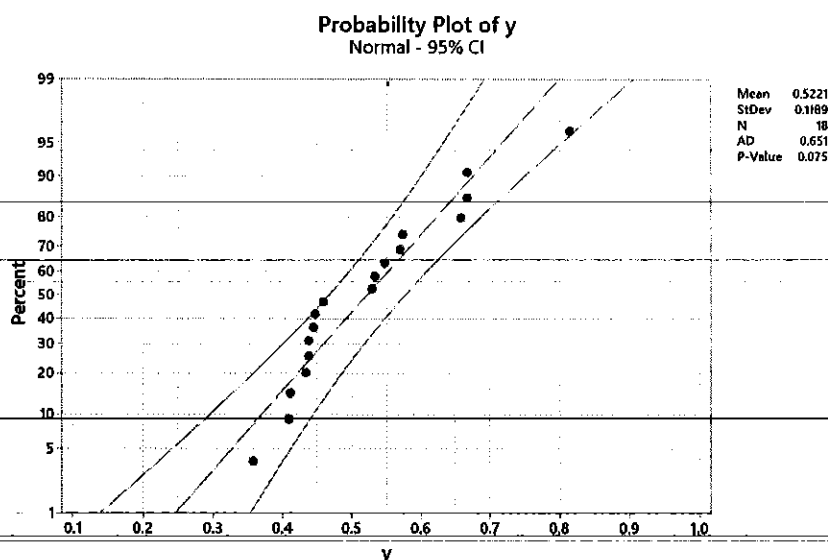
5.6. Đánh giá mức độ phù hợp của mô hình

Để đánh giá mức độ phù hợp của mô hình, dựa vào các biểu đồ phân bố sai số ở hình 5.4.

Từ biểu đồ trong hình 5.4 có thể thấy: trong biểu đồ phân bố sai số phân bố chuẩn, các sai số của các điểm thí nghiệm ứng với các điểm màu xanh trên biểu đồ nằm sát với đường phân phối chuẩn (nét liền màu đỏ) chứng tỏ mức sai lệch là rất nhỏ. Biểu đồ Histogram biểu thị tần suất xuất hiện sai số cho thấy những sai số lân cận 0 (-0.04 đến 0.04) xuất hiện với tần suất cao. Ở hai biểu đồ còn lại cho thấy sự phân bố ngẫu nhiên của các sai số thí nghiệm có nghĩa là mô hình đã xây dựng chịu ảnh hưởng phần lớn bởi các thông số đầu vào đã lựa chọn và không bị ảnh hưởng bởi thứ tự các thí nghiệm.



Hình 5.4. Các biểu đồ phân bố đánh giá sai số



Hình 5.5. Đồ thị xác suất về mức độ phù hợp của mô hình thực nghiệm đối với \bar{y}

Mức độ phù hợp của mô hình thực nghiệm kiểm chứng bằng phương pháp Anderson-Darling trong hình 5 cho thấy: các dữ liệu ứng với các điểm thí nghiệm (chấm màu xanh) đều nằm trong vùng giới hạn bởi 2 đường giới hạn trên dưới với độ lệch chuẩn giới hạn 95%, đồng thời giá trị P là 0.075 lớn hơn giá trị $\alpha = 0.05$, điều này chỉ ra rằng mô hình thực nghiệm đã áp dụng là phù hợp.

5.7. Kết luận chương 5

- Đã nghiên cứu ảnh hưởng của các thông số đến tốc độ bóc tách vật liệu và nhám bề mặt của chi tiết khi xung định hình thép SKD11 qua tôi với dung dịch điện môi có trộn bột.
- Đã xác định được ảnh hưởng của các thông số đầu vào đến đồng thời hai mục tiêu nhám bề mặt nhỏ hơn thì tốt hơn và tốc độ bóc tách vật liệu lớn hơn thì tốt hơn.
- Để đạt đồng thời hai mục tiêu nhám bề mặt nhỏ và tốc độ bóc tách vật liệu lớn thì chế độ công nghệ xung là : $C_p = 3\text{g/l}$; $S_p = 1000\text{nm}$; $T_{\text{on}}=30\ \mu\text{s}$; $T_{\text{off}} = 20\ \mu\text{s}$; $IP = 4\ \text{A}$; $SV = 5\ \text{V}$; Khi đó kết quả nhám bề mặt $Ra \approx 1.083\ \mu\text{m}$ và tốc độ bóc tách vật liệu $MRS \approx 29.21\ \text{g/h}$.

Chương 6

KẾT LUẬN VÀ ĐỀ XUẤT

Thực tế sản xuất ngày nay đòi hỏi phải tối ưu các công đoạn trong dây chuyền sản xuất như độ chính xác, độ bền, năng suất, tính kinh tế, chất lượng gia công... Điều này càng có ý nghĩa thiết thực khi gia công các thép đã tôi cũng như các vật liệu khó gia công. Với sự phát triển của khoa học công nghệ, nhiệm vụ này đang ngày càng được thực hiện hiệu quả. Đặc biệt, các thiết bị gia công ngày càng phức tạp và đòi hỏi phải có một chế độ tối ưu hơn để gia công nhằm mục đích nâng cao hiệu quả và hạ giá thành sản phẩm. Với mục đích đó tác giả đã tập trung đi sâu nghiên cứu và đánh giá ảnh hưởng của các thông số công nghệ đến độ nhám bề mặt và lượng mòn điện cực trong gia công xung điện.

Thép SKD11 là loại thép hiện đang được sử dụng rất nhiều trong chế tạo khuôn dập, xây dựng, bàn cán, dụng cụ gia công.... Việc gia công SKD11 sau khi tôi là gặp khó khăn đối với các phương pháp truyền thống do chi phí lớn, năng suất và chất lượng không cao và nhiều khi không thể thực hiện được. Tuy nhiên, với việc sử dụng gia công xung điện đã làm cho năng suất và chất lượng gia công được nâng lên rõ rệt trong nhiều trường hợp. Do vậy cần tiến hành nghiên cứu tìm ra các các trị số của các thông số công nghệ tối ưu để nâng cao tốc độ bóc tách vật liệu và độ nhám bề mặt khi gia công SKD11 sau khi tôi bằng PMEDM. Kết quả cụ thể của nghiên cứu này như sau:

1. Đã xây dựng một cách có hệ thống các tham số công nghệ đơn cũng như kết hợp các yếu tố công nghệ khác nhau ảnh hưởng đến độ nhám bề mặt và tốc độ bóc tách vật liệu. Nghiên cứu đã đưa ra các kết luận về ảnh hưởng của các thông số công nghệ đến độ nhám bề mặt và tốc độ bóc tách vật liệu, điều đó là cơ sở để lựa chọn chế độ gia công tối ưu nhằm nâng cao hiệu quả của quá trình gia công. Cụ thể là:

- Đã nghiên cứu ảnh hưởng của các thông số đến tốc độ bóc tách vật liệu và độ nhám bề mặt của chi tiết khi xung có trộn bột chi tiết trụ biên dạng định hình thép SKD11 qua tôi;

- Đã xác định được ảnh hưởng của các thông số đầu vào đến đồng thời hai mục tiêu độ nhám bề mặt và tốc độ bóc tách vật liệu;

- Bộ thông số tối ưu nhằm giảm Ra đến mức nhỏ nhất được thể hiện trong bảng 3.6. Để độ nhám bề mặt của chi tiết gia công nhận được nhỏ hơn thì tốt hơn thì chế độ công nghệ khi xung là: $C_p = 4g/l$; $S_p = 1000nm$ $T_{on}=10 \mu s$; $T_{off} = 20 \mu s$; $IP = 4 A$; $SV = 5 V$; Kết quả ở bảng 2.7 cho thấy Ra ứng với bộ thông số tối ưu đã tìm được có thể đạt đến $0.593 \mu m$

- Kết quả ở bảng 4.5 cho thấy bộ thông số tối ưu cho năng suất bóc tách vật liệu đạt lớn nhất khi PMEDM đó là: $C_p = 0\text{g/l}$; $S_p = 100\text{nm}$; $T_{\text{on}} = 30\ \mu\text{s}$; $T_{\text{off}} = 10\ \mu\text{s}$; $IP = 12\ \text{A}$ và $SV = 5\text{V}$. Với bộ thông số tối ưu đưa ra tốc độ bóc tách vật liệu có thể đạt đến $38.11\ (\text{g/h})$. Kết quả kiểm chứng bởi so sánh kết quả thí nghiệm và tính toán là đảm bảo.

- Kết quả ở bảng 5.7 cho thấy, để đạt đồng thời hai mục tiêu nhám bề mặt nhỏ hơn thì tốt hơn và tốc độ bóc tách vật liệu lớn hơn thì tốt hơn thì chế độ công nghệ xung là : $T_{\text{on}}=16\ \mu\text{s}$; $T_{\text{off}} = 18\ \mu\text{s}$; $IP = 3\ \text{A}$; $SV = 3\ \text{V}$; Khi đó kết quả nhám bề mặt $Ra \approx 2.31067\ \mu\text{m}$ và tốc độ bóc tách vật liệu $MRR \approx 2,87847\ \text{g/h}$.

Một số kiến nghị

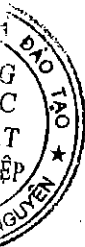
- Cần tiếp tục mở rộng nghiên cứu ảnh hưởng của các thông số phi công nghệ như: vật liệu gia công, vật liệu điện cực, ...

- Cần nghiên cứu ảnh hưởng của các thông số công nghệ đến quá trình gia công khi thực hiện với các vật liệu khác, các loại bột khác nhau.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. ABBS, N., *A review on current research trends in electrical discharge machining*. International journal of machine tools and manufacture, 2007. **47**: p. 1214-1228.
2. Nguyen Van Tuan, V.N.P., Nguyen Van Hung, *Advanced Machining Processes*. 2008, Hanoi: Science Publisher.
3. El-Hofy, H., *Machinability indices for some non-conventional machining processes*. Alexandria Eng J (AEJ), 1995. **34**(3): p. 231-245.
4. Kansal, H., S. Singh, and P. Kumar, *Technology and research developments in powder mixed electric discharge machining (PMEDM)*. Journal of materials processing technology, 2007. **184**(1-3): p. 32-41.
5. UNO, Y., A. OKADA, and I. KAMEKAWA, *Surface generation mechanism in electrical discharge machining with silicon powder mixed fluid*. Journal of The Japan Society of Electrical Machining Engineers, 1995. **29**(62): p. 9-17.
6. Marashi, H., et al., *State of the art in powder mixed dielectric for EDM applications*. Precision Engineering, 2016. **46**: p. 11-33.
7. Yan, B.H., H.C. Tsai, and F.Y. Huang, *The effect in EDM of a dielectric of a urea solution in water on modifying the surface of titanium*. International Journal of Machine Tools and Manufacture, 2005. **45**(2): p. 194-200.
8. Bajaj, R., A.K. Tiwari, and A.R. Dixit, *Current trends in electric discharge machining using micro and nano powder materials-A Review*. Materials Today: Proceedings, 2015. **2**(4-5): p. 3302-3307.
9. Long, B.T., et al., *Optimization of PMEDM process parameter for maximizing material removal rate by Taguchi's method*. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2016. **87**(5-8): p. 1929-1939.
10. Jabbaripour, B., et al., *Investigating surface roughness, material removal rate and corrosion resistance in PMEDM of γ -TiAl intermetallic*. Journal of Manufacturing Processes, 2013. **15**(1): p. 56-68.
11. Garg, R.K. and K. Ojha. *Parametric optimization of PMEDM process with chromium powder suspended dielectric for minimum surface roughness and maximum MRR*. in *Advanced Materials Research*. 2012. Trans Tech Publ.
12. Kung, K.-Y., J.-T. Horng, and K.-T. Chiang, *Material removal rate and electrode wear ratio study on the powder mixed electrical discharge machining of cobalt-bonded tungsten carbide*. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2009. **40**(1-2): p. 95-104.
13. Bhattacharya, A., A. Batish, and N. Kumar, *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, 2013. **27**(1): p. 133-140.
14. Zhang, Y., et al. *A review of the current understanding and technology of powder mixed electrical discharge machining (PMEDM)*. in *2012 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation*. 2012. IEEE.

15. Uno, Y., A. Okada, and S. Cetin. *Surface modification of EDMed surface with powder mixed fluid.* in *2nd International Conference on Design and Production of dies and molds.* 2001. Citeseer.
16. Hoang, T.T., et al., *Modelling Surface Finish in Electrical Discharge Machining Tablet Shape Punches using Response Surface Methodology.* in *International Journal of Mechanical Engineering.* Volume 4 Issue 9 (2017) 28-30.
17. Le Xuan Hung, T.T.H. and V.N. Pi, *A Study on Modelling Surface Finish in Electrical Discharge Machining Tablet Shape Punches Using Response Surface Methodology.* in *Journal of Environmental Science and Engineering.* B6 (2017) 387-390.



THUYẾT MINH ĐỀ TÀI
KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ CẤP TRƯỜNG

1. TÊN ĐỀ TÀI: Tối ưu hóa quá trình gia công xung điện chi tiết trụ có biên dạng định hình làm bằng thép SKD11 với dung dịch có trộn bột.		2. MÃ SỐ: T2019-B33		
3. LĨNH VỰC NGHIÊN CỨU Khoa học Tự nhiên <input type="checkbox"/> Khoa học KT và CN <input checked="" type="checkbox"/> Khoa học Y, dược <input type="checkbox"/> Khoa học Nông nghiệp <input type="checkbox"/> Khoa học Xã hội <input type="checkbox"/> Khoa học Nhân văn <input type="checkbox"/>		4. LOẠI HÌNH NGHIÊN CỨU Cơ bản <input type="checkbox"/> Ứng dụng <input checked="" type="checkbox"/> Triển khai <input type="checkbox"/>		
5. THỜI GIAN THỰC HIỆN 12 tháng Từ tháng 07 năm 2019 đến tháng 07 năm 2020				
6. CHỦ NHIỆM ĐỀ TÀI Họ và tên: Nguyễn Mạnh Cường Học vị: Thạc sỹ Chức danh khoa học: Năm sinh: 1979 Địa chỉ cơ quan: Số 666 Đường 3-2, P.Tích Lương, TP Thái Nguyên - Tỉnh Thái Nguyên Điện thoại di động: 0989 541 708 Điện thoại cơ quan: 02083847969 Fax: 02083847403 E-mail: nmcuong@tnut.edu.vn				
7. NHỮNG THÀNH VIÊN THAM GIA NGHIÊN CỨU ĐỀ TÀI				
TT	Họ và tên	Đơn vị công tác và lĩnh vực chuyên môn	Nội dung nghiên cứu cụ thể được giao	Chữ ký
1	Nguyễn Phương Vân	Khoa Cơ khí	+ Nghiên cứu tổng quan về xung điện có trộn bột	
2	Nguyễn Văn Trang	Khoa Cơ khí		
3	Đào Liên Tiến	Khoa Cơ khí		
4	Trần Ngọc Giang	Khoa Cơ khí	+ Xác định mục tiêu, thiết kế thí nghiệm	
5	Nguyễn Quang Hưng	Khoa Cơ khí	+ Làm các thí nghiệm	
6	Trần Thị Huê	Khoa Quốc tế	+ Phân tích đánh giá thí nghiệm	
7	Lê Thị Phương Thảo	Khoa Cơ khí		
8	Lưu Anh Tùng	Khoa Cơ khí	+ Công bố các kết quả nghiên cứu	
9	Nguyễn Văn Tùng	Phòng QTPV		
10	Bùi Thanh Hiền	Khoa Cơ khí	+ Viết báo cáo tổng kết đề tài	

8. ĐƠN VỊ PHỐI HỢP CHÍNH

Tên đơn vị trong và ngoài nước	Nội dung phối hợp nghiên cứu	Họ và tên người đại diện đơn vị
Không		

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

9.1. Tổng quan tình hình nghiên cứu thuộc lĩnh vực của đề tài: *(Mức độ đầy đủ, hợp lý trong việc đánh giá tình hình nghiên cứu trong và ngoài nước; thành công và hạn chế của công trình liên quan; mức độ cập nhật thông tin mới nhất về lĩnh vực nghiên cứu)*

Gia công xung điện (hay xung bằng tia lửa điện) là phương pháp gia công không truyền thống. Phương pháp này 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... Gia công xung điện có thể gia công vật liệu sau khi tôi, chi phí dụng cụ gia công thấp, giảm rung động, tiếng ồn trong quá trình gia công cũng như không gây ứng suất dư trên chi tiết gia công. Tuy nhiên, loại gia công này cũng tồn tại một số nhược điểm như: Năng suất bóc tách vật liệu thấp, điện cực bị mòn khá nhanh và chất lượng bề mặt gia công không cao (thường phải có thêm nguyên công gia công tinh). Để khắc phục các nhược điểm này, trong những năm gần đây, nhiều giải pháp nghiên cứu 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, biện pháp trộn bột vào dung dịch điện môi (PMEDM) đã được nghiên cứu với các loại bột khác nhau (như bột Al, Cr, Si, Gr, Cu...) và đã cho kết quả rất khả quan về khả năng nâng cao năng suất và chất lượng bề mặt gia công như trong [1], [2]. Liew P. J. và các cộng sự đã nghiên cứu ảnh hưởng của nồng độ bột nano cacbon (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 [3]. 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 (hình 1.11).

Kích thước, tính chất của bột và loại dung dịch điện môi đóng vai trò quan trọng với PMEDM [4]. 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 [4]. Kết quả của [5] 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 [2]. Ảnh hưởng của các loại bột khác nhau đến quá trình gia công cũng đã được đề cập đến trong [1, 6]. 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 khí PMEDM cũng đã được khảo sát trong [3].

Việc trộn bột vào dung dịch điện môi làm thay đổi đáng kể tính chất cơ lý của bề mặt gia công [7]. Nó làm tăng độ bền mòn và khả năng chống oxy hóa do nhiệt của chi tiết gia công [8, 9]. Gia công PMEDM với bột Gr, Si, Al cho lớp bề mặt có độ bền mòn cao hơn so với gia công bằng EDM [10].

Từ các phân tích trên ta thấy, việc trộn bột nano vào dung dịch điện môi khí 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 khí xung định hình ngược (chi tiết gia công có dạng trụ định hình) hiện còn chưa có công trình nào.

Tài liệu tham khảo

[1] 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.

[2] 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.

[3] 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>.

[4] 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.

[5] Uno Y., Okada A. (1997), Surface generation mechanism in electrical discharge machining with silicon powder mixed fluid, *Int. J. Elec.* 2, pp.13-18.

[6] 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.

[7] 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.

[8] 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.

[9] 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.

[10] 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*.

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

a) Của chủ nhiệm đề tài

1. Tran Thanh Hoang, Tran Anh Duc, **Nguyen Manh Cuong**, Luu Anh Tung, Le Xuan Hung, Vu Ngoc Pi, 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, pp. 28-30.

2. Vũ Ngọc Pi, **Nguyễn Mạnh Cường**, Luu Anh Tùng, Lê Xuân Hưng, Trần Thanh Hoàng, Trần Anh Đức; *Xác định chế độ xung tối ưu khi xung chày dập viên định hình thép 9XC qua tôi*; Tạp chí Cơ khí Việt Nam, số 4 năm 2018

3. Tran Anh Duc, **Nguyen Manh Cuong**, Luu Anh Tung, Le Xuan Hung, Vu Ngoc Pi; *Modelling Surface Finish in Wire Electrical Discharge Machining of 9CrSi Tool Steel*; International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT) – Volume 61 Number 2 – July 2018

b) Của các thành viên tham gia nghiên cứu

(*Những công trình tiêu biểu được công bố trong 3 năm gần nhất*)

Le Xuan Hung, Tran Thanh Hoang, Vu Ngoc Pi, 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.

10. TÍNH CẤP THIẾT CỦA ĐỀ TÀI

(Tính khoa học, cụ thể, rõ ràng của việc luận giải về tính cấp thiết đối với vấn đề nghiên cứu của đề tài)

Trên thực tế sản xuất ở nước ta cũng như trên thế giới, có nhiều chi tiết ở dạng trụ định hình như chày dập thuốc viên định hình, chày đột lỗ thép 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 này cho đến nay trên thế giới thường được gia công bằng nguội hoặc phay tốc độ siêu cao (micro milling). Ở Việt Nam chúng thường được gia công bằng phương pháp nguội nên năng suất thấp và chất lượng gia công không cao. Tuy nhiên, có thể dễ thấy rằng, các loại chi tiết này có thể dễ dàng 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). Năng suất và chất lượng gia công loại chi tiết này có thể được cải thiện đáng kể nếu sử dụng PMEDM. 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 "Tối ưu hóa quá trình gia công xung điện chi tiết trụ có biên dạng định hình làm bằng thép SKD11 với dung dịch có trộn bột" là cấp thiết.

11. MỤC TIÊU ĐỀ TÀI

(Mức độ cụ thể, rõ ràng về mặt khoa học, lý luận và thực tiễn của mục tiêu cần đạt được)

Mục tiêu của đề tài là nghiên cứu tối ưu hóa quá trình gia công xung điện chi tiết trụ có biên dạng định hình làm bằng thép SKD11 với dung dịch có trộn bột. Nói cách khác, nghiên cứu nhằm xác định chế độ công nghệ tối ưu (hay hợp lý) để nâng cao hiệu quả quá trình xung có trộn bột chi tiết dạng trụ định hình (nâng cao năng suất, giảm giá thành gia công mà vẫn đảm bảo chất lượng bề mặt gia công).

12. ĐỐI TƯỢNG, PHẠM VI NGHIÊN CỨU

12.1. Đối tượng nghiên cứu

Tối ưu hóa quá trình xung điện chi tiết có biên dạng định hình bằng thép SKD11 với dung dịch có trộn bột.

12.2. Phạm vi nghiên cứu

Quá trình xung điện chi tiết có biên dạng định hình bằng thép SKD11 với dung dịch có trộn bột.

13. CÁCH TIẾP CẬN, PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

13.1. Cách tiếp cận

Trên cơ sở nghiên cứu tổng quan sẽ tiến hành nghiên cứu xác định mục tiêu và thiết kế thí nghiệm cho bài toán tối ưu hóa quá trình xung điện chi tiết có biên dạng định hình bằng thép SKD11 với dung dịch có trộn bột.

Sau đó sẽ đi làm thực nghiệm và từ kết quả của thực nghiệm sẽ xác định chế độ xung tối ưu.

13.2. Phương pháp nghiên cứu

Thực nghiệm

14. NỘI DUNG NGHIÊN CỨU VÀ TIẾN ĐỘ THỰC HIỆN

14.1. Nội dung nghiên cứu (*Mô tả chi tiết những nội dung nghiên cứu phù hợp với mục tiêu của đề tài, ghi rõ nội dung là: báo cáo các bài báo bằng tiếng Anh (là sản phẩm của đề tài sau khi được chấp nhận đăng) tại hội thảo đơn vị*)

- Nghiên cứu tổng quan về xung điện có trộn bột;
- Nghiên cứu xác định chế độ xung điện chi tiết có biên dạng định hình bằng thép SKD11 với dung dịch có trộn bột.
- Công bố kết quả nghiên cứu trên các tạp chí quốc tế;
- Báo cáo nội dung các bài báo tại hội thảo cấp khoa (bằng tiếng Anh);
- Viết báo cáo và bảo vệ.

14.2. Tiến độ thực hiện

STT	Các nội dung, công việc thực hiện	Sản phẩm	Thời gian (bắt đầu-kết thúc)	Người thực hiện
1	Xây dựng thuyết minh đề tài	Thuyết minh	7/2019-8/2019	Nguyễn Mạnh Cường
2	Nghiên cứu tổng quan về xung điện có trộn bột	Báo cáo	7/2019-8/2019	Nguyễn Văn Trang Lê Thị Phương Thảo Bùi Thanh Hiền Trần Ngọc Giang
3	- Xác định mục tiêu, thiết kế thí nghiệm để xác định chế độ xung ưu khi xung chi tiết có biên dạng định hình bằng thép SKD11 qua tôi với dung dịch có trộn bột.	Báo cáo	8/2019-9/2019	Nguyễn Văn Trang Nguyễn Mạnh Cường Lê Thị Phương Thảo Nguyễn Quang Hưng Trần Thị Huệ Nguyễn Phương Vân Bùi Thanh Hiền Trần Ngọc Giang Lưu Anh Tùng
4	- Tiến hành làm thí nghiệm để xác định chế độ xung ưu khi xung chi tiết có biên dạng định hình bằng thép SKD11 qua tôi với dung dịch có trộn bột.	Báo cáo	9/2019-11/2019	Nguyễn Văn Trang Lê Thị Phương Thảo Nguyễn Quang Hưng Nguyễn Phương Vân Bùi Thanh Hiền Trần Ngọc Giang Lưu Anh Tùng Nguyễn Văn Tùng

5	- Phân tích, đánh giá kết quả.	Báo cáo	12/2019- 1/2020	Nguyễn Mạnh Cường Nguyễn Văn Trang Lê Thị Phương Thảo Đào Liên Tiến Trần Ngọc Giang
6	- Viết báo ISI/Scopus 03 bài	Báo cáo	2/2020- 4/2020	Nguyễn Mạnh Cường Nguyễn Văn Trang Trần Thị Huệ Trần Ngọc Giang
7	- Báo cáo kết quả tại hội thảo đơn vị	Báo cáo	4/2020- 5/2020	Nguyễn Mạnh Cường
8	- Viết báo cáo tổng kết đề tài	Báo cáo	5/2020- 7/2020	Nguyễn Mạnh Cường Nguyễn Văn Trang Lê Thị Phương Thảo Trần Ngọc Giang Trần Thị Huệ Lưu Anh Tùng

15. SẢN PHẨM

STT	Tên sản phẩm	Số lượng	Yêu cầu chất lượng sản phẩm (mô tả chi tiết chất lượng sản phẩm đạt được như nội dung, hình thức, các chỉ tiêu, thông số kỹ thuật,...)
I	Sản phẩm khoa học (Các công trình khoa học sẽ được công bố: sách, bài báo khoa học, ..)		
1.1	Bài báo ISI/Scopus	03	Trong danh mục ISI/Scopus 02 bài Q2 và 01 bài Q3
1.2			
...			
II	Sản phẩm đào tạo (cử nhân, thạc sĩ, tiến sĩ,...)		
2.1		0	
2.2			
...			
III	Sản phẩm ứng dụng		
3.1		0	
3.2			
...			

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

16.1. Phương thức chuyển giao

16.2. Địa chỉ ứng dụng

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

17.1. Đối với lĩnh vực giáo dục và đào tạo

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

17.3. Đối với phát triển kinh tế-xã hội

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

17. KINH PHÍ THỰC HIỆN ĐỀ TÀI

Tổng kinh phí: 170.000.000 đồng.

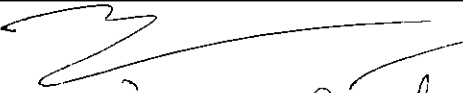
Bằng chữ: Một trăm bảy mươi triệu đồng chẵn.

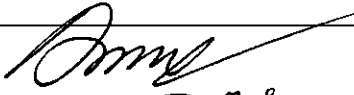
(Dự toán chi tiết các mục chi đính kèm có xác nhận của các đơn vị liên quan.)

Ngày 30 tháng 03 năm 2019

CHỦ NHIỆM ĐỀ TÀI

XÁC NHẬN CỦA ĐƠN VỊ

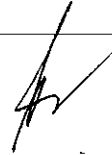

Nguyễn Thanh An


Ng 17/03

KT. HIỆU TRƯỞNG
PHÓ HIỆU TRƯỞNG

TRƯỞNG PHÒNG KHCN&HTQT





TS. Vũ Ngọc Pi

DỰ TOÁN KINH PHÍ ĐỀ TÀI KH&CN CẤP TRƯỜNG NĂM 2019

Tên đề tài: Tối ưu hóa quá trình gia công xung điện chi tiết trụ có biên dạng định hình làm bằng thép SKD11 với dung dịch có trộn bột

Mã số: T2019-B33

Chủ nhiệm đề tài: Nguyễn Mạnh Cường

Thành viên chính: Trần Ngọc Giang; Đào Liên Tiên; Trần Thị Huê; Nguyễn Văn Trang; Lê Thị Phương Thảo; Nguyễn Quang Hưng; Nguyễn Phương Vân; Lưu Anh Tùng; Nguyễn Văn Tùng; Bùi Thanh Hiền

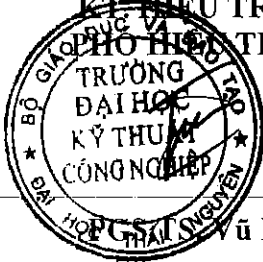
STT	Nội dung	Dự toán (ĐVT: VNĐ)			
		Người thực hiện	Số ngày công (2)	Hệ số tiền công theo ngày (3)	Thành tiền (4)
1	Mục chi tiền công lao động tham gia trực tiếp (1)				
1.1	Xây dựng thuyết minh đề tài	Nguyễn Mạnh Cường	7	0.45	4.378.500
1.2	Nghiên cứu tổng quan về xung điện có trộn bột	Nguyễn Văn Trang	5	0.3	2.085.000
		Lê Thị Phương Thảo	3	0.3	1.251.000
		Bùi Thanh Hiền	3	0.3	1.251.000
		Trần Ngọc Giang	2	0.3	834.000
1.3	Xác định mục tiêu, thiết kế thí nghiệm để xác định chế độ xung ưu khi xung chi tiết có biên dạng định hình bằng thép SKD11 qua tôi với dung dịch có trộn bột.	Nguyễn Văn Trang	2	0.3	834.000
		Nguyễn Mạnh Cường	2	0.45	1.251.000
		Lê Thị Phương Thảo	4	0.3	1.668.000
		Nguyễn Quang Hưng	11	0.3	4.587.000
		Trần Thị Huê	10	0.3	4.170.000
		Nguyễn Phương Vân	8	0.3	3.336.000
		Bùi Thanh Hiền	8	0.3	3.336.000
		Trần Ngọc Giang	3	0.3	1.251.000
1.4	Tiến hành thí nghiệm để xác định chế độ xung tối ưu khi xung chi tiết có biên dạng định hình bằng thép SKD11 qua tôi với dung dịch có trộn bột	Lê Thị Phương Thảo	10	0.3	4.170.000
		Đào Liên Tiên	15	0.3	6.255.000
		Nguyễn Phương Vân	14	0.3	5.838.000
		Trần Ngọc Giang	7	0.3	2.919.000
		Lưu Anh Tùng	8	0.3	3.336.000
		Bùi Thanh Hiền	8	0.3	3.336.000
		Nguyễn Văn Tùng	21	0.3	8.757.000
		Nguyễn Quang Hưng	12	0.3	5.004.000
1.5	Phân tích, đánh giá kết quả thí nghiệm	Nguyễn Mạnh Cường	3	0.45	1.876.500
		Nguyễn Văn Trang	8	0.3	3.336.000
		Lê Thị Phương Thảo	4	0.3	1.668.000
		Đào Liên Tiên	6	0.3	2.502.000
		Trần Ngọc Giang	5	0.3	2.085.000
1.6	Công bố kết quả nghiên cứu trên các tạp chí quốc tế	Nguyễn Mạnh Cường	3	0.45	1.876.500
		Nguyễn Văn Trang	5	0.3	2.085.000
		Trần Thị Huê	7	0.3	2.919.000
		Trần Ngọc Giang	4	0.3	1.668.000
1.7	Báo cáo kết quả tại hội thảo đơn vị	Nguyễn Mạnh Cường	5	0.45	3.127.500



1.8	Viết báo cáo tổng kết đề tài	Nguyễn Mạnh Cường	3	0.45	1.876.500
		Nguyễn Văn Trang	2	0.3	834.000
		Trần Ngọc Giang	2	0.3	834.000
		Lê Thị Phương Thảo	2	0.3	834.000
		Trần Thị Huệ	4	0.3	1.668.000
		Lưu Anh Tùng	7	0.3	2.919.000
		Bùi Thanh Hiền	4	0.3	1.668.000
Tổng 1			243		106.126.500
2	<i>Chi mua nguyên vật liệu, dịch vụ chuyên môn kỹ thuật</i>	<i>Đơn vị tính</i>	<i>Đơn giá</i>	<i>Số lượng</i>	<i>Thành tiền</i>
2.1	Mua điện cực	chiếc	300.000	32	9.600.000
2.2	Mua phôi để thí nghiệm	chiếc	240.000	60	14.400.000
2.3	Thuê ca máy	ca	1.000.000	30	30.000.000
Tổng 2					54.000.000
3	<i>Chi phí khác</i>	<i>Đơn vị tính</i>	<i>Đơn giá</i>	<i>Số lượng</i>	<i>Thành tiền</i>
3.2	Đánh giá, nghiệm thu				700.000
	Chủ tịch	Người	150.000	1	150.000
	Ủy viên hội đồng	Người	100.000	4	400.000
	Nhận xét của ủy viên phản biện	Người	150.000	1	150.000
3.3	Thư ký hành chính				300.000
3.4	Văn phòng phẩm, in ấn				373.500
3.5	Quản lý chung của cơ quan chủ trì (5%)				8.500.000
Tổng 3					9.873.500
Tổng 1+2+3					170.000.000

Cơ quan chủ trì

KIỂM THỬ TRƯỞNG
PHÒNG KIỂM THỬ TRƯỞNG



Nguyễn Ngọc Pi

CHỦ NHIỆM ĐỀ TÀI

Nguyễn Mạnh Cường



TRƯỞNG PHÒNG KHCN&HTQT

TRƯỞNG PHÒNG KH-TC

PHỤ LỤC B

CÁC BÀI BÁO ĐÃ XUẤT BẢN

1. Nguyen Huu Quang, **Nguyen Manh Cuong**, Le Thu Quy, Nguyen Thanh Tu, Tran Quoc Hoang, Nguyen Thanh Hoang, Vu Ngoc Pi and Hoang Xuan Tu, *Influence of PMEDM Factors on Surface Roughness when Processing SKD11 Steel*, Accepted for ICERA 2021, Scopus Q4.
2. Le Hoang Anh, Hoang Xuan Tu, Le Thu Quy, Pham Duc Lam, Trinh Kieu Tuan, Tran Ngoc Giang, **Nguyen Manh Cuong**, Vu Ngoc Pi, *Impact of Input Parameters on Material Removal Speed when PMEDM SKD11 Tool Steel*, Accepted for ICERA 2021, Scopus Q4.
3. Nguyen Huu Quang, **Nguyen Manh Cuong**, Le Thu Quy, Tran Ngoc Huy Thinh, Le Hoang Anh, Tran Ngoc Giang, Vu Ngoc Pi, Hoang Xuan Tu, *Multi-Objective Optimization of PMEDM Process for Minimum Surface Roughness and Maximum Material Removal Speed when Processing SKD11 Steel*, Accepted for ICERA 2021, Scopus Q4.

Acceptance Letter

International Conference on Engineering Research and Applications
(ICERA 2021)



TECHNISCHE UNIVERSITÄT
ILMENAU

tu



Springer

Paper ID: ICERA 56

Paper Title: Influence of PEDM Factors on Surface Roughness when Processing SKD11 Steel

Dear Huu Quang Nguyen, Manh Cuong Nguyen, Thu Quy Le, Thanh Tu Nguyen, Quoc Hoang Tran, Thanh Hoang Nguyen, Ngoc Pi Vu and Xuan Tu Hoang,

With heartiest congratulations, we are pleased to inform you that based on the recommendations of the reviewers and the Technical Program Committees, your paper identified above has been accepted for publication and oral presentation in the 4th International Conference on Engineering Research and Applications - ICERA 2021. **Please charge the conference fee within 10 days after receiving the acceptance letter.**

ICERA 2021 conference received more than 200 submissions from 17 countries and regions so far, reviewed by international experts; the acceptance ratio is controlled below 40%. Your paper will be published in the Conference Proceedings in the series “Lecture Notes in Networks and Systems” by **Springer, indexed in Scopus, Q4** after registration.

Herewith, the conference committee sincerely invites you to come to present your paper at ICERA 2021 to be held in Thai Nguyen University of Technology, Thai Nguyen, Vietnam, 1-2 December 2021.

For more information of the conference, please check the ICERA 2021 website at: <http://icera2021.tnut.edu.vn>

Your sincerely,

ICERA 2021 Organizing Committees

Please Finish the Following Six Steps to Register Your Paper

1. Revise your paper according to the Review Comments carefully (attached).

2. Format your paper according to the Template.

(see <http://icera2021.tnut.edu.vn/submit-papers/>)

3. Download, complete and title the Registration Form as *ICERA2021_PaperID_registrationform* (attached).

4. Finish the payment of Registration fee, scan the payment proof and title as *ICERA2021_PaperID_paymentproof*.

(see <http://icera2021.tnut.edu.vn/registration/>)

5. Finish Copyright Form (attached).

Steps: ① Fill in the blank as requested; ② Print the FORM; ③ Corresponding's handwriting signature; ④ Scanning the copyright form as (.pdf) file; ⑤ Title as *ICERA2021_PaperID_copyright*

6. Send your final papers (both .doc (.docx) and .pdf format), filled registration form (.doc format), signed copyright and the scanned payment proof to icera@tnut.edu.vn (Please send all above files within 10 days after receiving the acceptance letter).

If the above requirements are met by the set deadlines, your paper will be published in the Conference Proceedings by Springer, indexed in Scopus, Q4. The Conference Program will be available to download from the official website <http://icera2021.tnut.edu.vn> around late October.

Influence of PMEDM Factors on Surface Roughness when Processing SKD11 Steel

Nguyen Huu Quang¹, Nguyen Manh Cuong², Le Thu Quy³, Nguyen Thanh Tu², Tran
Quoc Hoang⁴, Nguyen Thanh Hoang⁵, Vu Ngoc Pi², Hoang Xuan Tu^{2,*}

¹University of Economics - Technology for Industries, Vietnam

²Thai Nguyen University of Technology, Thai Nguyen, Vietnam

³National Research Institute of Mechanical Engineering, Vietnam

⁴Nguyen Tat Thanh University, Ho Chi Minh City, Vietnam

⁵Bac Kan Colleges, Vietnam

hxt_dhktcn@tnut.edu.vn

Abstract. In this paper, the results of a study on the influence of process parameters on surface roughness (SR) when powder-mixed electrical discharge machining (PMEDM) of cylindrical shaped parts of SKD11 steel are studied. To conduct this work, an experiment was performed with the use of the Taguchi method for experimental design and results analysis. In this experiment, six input parameters including the powder concentration, the powder size, the pulse on time, the pulse off time, the current, and the servo voltage were investigated. The effect of the input parameters on the SR was evaluated by analysis of variance (ANOVA). In particular, optimal values of the input parameters to achieve the minimum SR were found.

Keywords: PMEDM, Electrical discharge machining, Surface roughness, Cylindrical shaped parts.

1 Introduction

Electrical discharge machining (EDM) is one of the most commonly non-traditional machining methods for machining electrically conductive materials. It is very popularly used for machining cavity-shaped parts, complex shapes, such as dies, cores of stamping dies, molds as well as for machining hard materials, etc. This processing method has many advantages such as it can process metals and alloys after heat treatment; low cutting force and noise, etc. On the other hand, EDM also has some disadvantages including low material removal rate (MRR); the electrode wears out quite quickly, and the machined surface quality is not high.

To overcome the disadvantages of EDM process as mentioned above, a highly effective solution is EDM with the use of a dielectric solution mixed with conductive powder (or PMEDM). Therefore, this processing method has been and is being studied by many scientists.

So far, there have been quite a few studies on PMEDM. Studies have evaluated the influence of PMEDM process parameters on SR [1-4], MMR [1, 4-7], electrode wear (EWR) [1, 4, 5, 7], etc... Studies on PMEDM have also been conducted when machining various types of workpiece materials such as 90CrSi [3, 4, 6, 8, 9], AISI D2 die steel [10, 11], Inconel 718 [12, 13], Ti-6Al-4V [14, 15], etc. Different electrode materials have been investigated during PMEDM such as copper [16-18], brass [19, 20], Cu-W [1, 16], or graphite [18, 21], etc. The use of different powders for this process has also been investigated such as machining with SiC [2, 10, 12, 14, 17], Ti [22], Al [2, 13], Al₂O₃ [16, 23, 24], silicon powder [1, 25], etc. The powder size is also the object of many studies such as tungsten powder with the size of 10-15 μm [22], chromium powder with size of 45-55 μm [5], Al₂O₃ with size of 0.51 μm [1], 45-50 μm [23, 24], etc. Recently, there have been several studies on PMEDM of cylindrical components [3, 6-9]. However, these studies were carried out with the processing material being 90CrSi steel.

This paper presents a study on optimization of PMEDM process to achieve the minimum SR when machining cylindrical parts made of SKD11 steel. The impact of the input factors on the SR was evaluated. In addition, optimal input parameters to achieve the minimum SR have been proposed.

2 Experimental setup

To evaluate the influence of the PMEDM factors on the SR, six input parameters including the powder concentration (C_p), particle size (S_p), time pulse generation time (T_{on}), pulse stop time (T_{off}), pulse current strength (IP) and discharge gap voltage (SV), were included in the survey. These parameters and their levels were described in the Table 1. The experimental setup is presented in Figure 1. In the experiment, the workpiece material was SKD11 steel and the electrode material was copper. Also, a sinker EDM (Sodick A30) was used for experiment.

Table 1: Input factors and their levels

No	Parameters	Code	Unit	Level					
				1	2	3	4	5	6
1	Powder concentration	C_p	g/l	0	2	3	4	5	6
2	Powder size	S_p	nm	100	500	1000	-	-	-
3	Pulse on time	T_{on}	s	10	20	30	-	-	-
4	Pulse-off time	T_{off}	s	10	20	30	-	-	-
5	Peak current	IP	A	4	8	12	-	-	-
6	Servo voltage	SV	V	3	5	7	-	-	-

The experimental matrix is designed based on the survey levels of the variables with the use of the Taguchi method with the design L18 ($1^6 \times 5^3$). Also, the Minitab R19 software was used to design the experimental matrix. The experimental matrix and the SR's results are described in Table 2.

Table 2: Experimental matrix and output SR

No	Input Parameters						Ra (m)			Mean	S/N
	C _p	S _p	T _{on}	T _{off}	IP	SV	Trial 1	Trial 2	Trial 3		
1	0	100	10	10	4	3	2.285	2.130	1.405	1.94000	-5.9226
2	0	500	20	20	8	5	2.315	2.390	2.749	2.48467	-7.9305
3	0	1000	30	30	12	7	3.321	2.802	3.459	3.19400	-10.1206
4	2	100	10	20	8	7	2.047	1.972	2.010	2.00967	-6.0635
5	2	500	20	30	12	3	1.634	2.698	2.279	2.20367	-7.0309
6	2	1000	30	10	4	5	1.180	1.247	1.290	1.23900	-1.8672
7	3	100	20	10	12	5	2.437	2.345	2.146	2.30933	-7.2817
8	3	500	30	20	4	7	1.120	1.181	1.076	1.12567	-1.0345
9	3	1000	10	30	8	3	2.202	2.134	2.230	2.18867	-6.8051
10	4	100	30	30	8	5	2.736	2.034	2.397	2.38900	-7.6264
11	4	500	10	10	12	7	2.004	1.776	1.751	1.84367	-5.3302
12	4	1000	20	20	4	3	0.935	1.023	1.135	1.03100	-0.2925
13	5	100	20	30	4	7	2.193	1.649	1.709	1.85033	-5.4196
14	5	500	30	10	8	3	2.064	2.267	2.675	2.33533	-7.4181
15	5	1000	10	20	12	5	1.121	1.379	1.132	1.21067	-1.7023
16	6	100	30	20	12	3	3.234	2.420	2.848	2.83400	-9.1074
17	6	500	10	30	4	5	1.148	1.142	1.417	1.23567	-1.8846
18	6	1000	20	10	8	7	2.613	2.288	2.815	2.57200	-8.2363

3 Results and analysis

To evaluate the influence of the input parameters on the SR, the ANOVA method is used with the support of Minitab 19 software. In addition, the objective function is the minimum surface texture is the best:



Figure 1: Experimental setup

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

The results of ANOVA described in Table 3. It was found from the Table that IP has the greatest influence on the SR (49.99%); followed by the influence of C_p (17.91%), S_p (10.02%), T_{off} (9.89%), T_{on} (5.97%) and SV (4.83%). The percentage influence of these parameters is also clearly depicted in Figure 2.

The order of influence of input parameters is described in detail in Table 4. From the Table, the order of influence of parameters on S/N is IP, C_p , T_{off} , S_p , T_{on} and SV.

Table 3: Analysis of variance for S/N ratios

Analysis of Variance for SN ratios

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P	C (%)
Cp	5	27.087	27.087	5.417	5.15	0.171	17,91
Sp	2	15.152	15.152	7.576	7.20	0.122	10,02
Ton	2	9.030	9.030	4.515	4.29	0.189	5,97
Toff	2	14.959	14.959	7.479	7.10	0.123	9,89
Ip	2	75.591	75.591	37.796	35.90	0.027	49,99
SV	2	7.298	7.298	3.649	3.47	0.224	4,83
Residual Error	2	2.106	2.106	1.053			1,39
Total	17	151.222					

Model Summary

S	R-Sq	R-Sq(adj)
1.0261	98.61%	88.16%

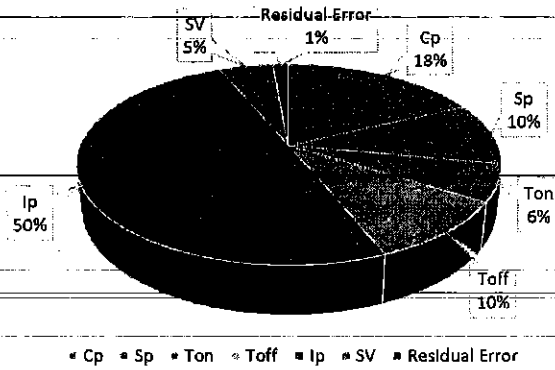


Figure 2: Influence of the input parameters on the S/N ratio of Ra

Table 4: Order of influence of input parameters on S/N
Smaller is better

Level	Cp	Sp	Ton	Toff	Ip	SV
1	-7.991	-6.904	-4.618	-6.009	-2.737	-6.096
2	-4.987	-5.105	-6.032	-4.355	-7.347	-4.715
3	-5.040	-4.837	-6.196	-6.481	-6.762	-6.034
4	-4.416					
5	-4.847					
6	-6.409					
Delta	3.575	2.066	1.578	2.126	4.610	1.381
Rank	2	4	5	3	1	6

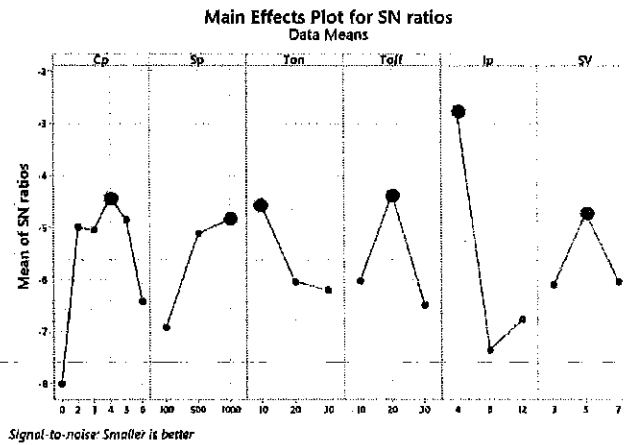


Figure 3. Effect of input parameters on the S/N ratios

Figure 3 depicts the influence of the parameters on the S/N value. Since the target surface roughness is as small as possible, the larger the S/N value. From Figure 3, it can be clearly seen that the influence of these parameters is as follows: For powder

concentration C_p : adding powder additive to the pulse process significantly reduces surface roughness. SR is highest when $C_p = 0$ and it will decrease when additive powder is added. When C_p increases from 2 to 4%, Ra decreases. However, if we continue to increase C_p to 5 and 6%, Ra will increase again. The powder size also had a significant effect on SR. As the powder size increased, Ra decreased, but when the powder size increased from 500 to 1000 nm, Ra decreased insignificantly. When T_{on} increases, SR increases. Besides, SR increased as T_{off} increased from 10 to 20 μ s but Ra decreased as T_{off} continued to increase from 20 to 30 μ s. Minimum SR when IP is low 4 (A). Ra arise when IP move up from 4 to 8A. If the IP continues to increase, Ra will decrease slightly. Besides, SR decreases when SV increases from 3 to 5 V, but SR increases again when SV increases from 5 to 7 V. As stated above, in order to achieve the minimum SR, the maximum S/N value corresponding to each input parameter. Therefore, from Figure 3, it is possible to determine the optimal set of PMEDM parameters to minimize Ra (Table 5). Using the Minitab 19 software, the SR value corresponding to the optimum input parameters was found (Table 6). From Table 6, the SR corresponding to the found optimal input parameters is 0.593 μ m. Also, with a confidence level of 95%, surface roughness results can be obtained in the range of 0.004 to 1,181 μ m. Therefore, 95% of the SR is achieved with the optimal input factors less than 1,181 μ m.

Table 5. Optimum input factors for minimum SR

Parameter	Code	Unit	Level	Value
Powder concentration	C_p	g/l	4	4
Powder size	S_p	nm	3	1000
Pulse on time	T_{on}	μ s	1	10
Pulse off time	T_{off}	μ s	2	20
Peak current	IP	A	1	4
Servo voltage	SV	V	2	5

Table 6. Predicted optimum SR

Type	Fit	SE Fit	CI DF	95% CI	PI DF	95% PI
Conditional	0.593	0.181	2.90	(0.004, 1.181)	2.33	(-0.447, 1.632)

Evaluation of experimental model:

The experimental model is evaluated through error distribution charts as shown in Figure 4. From the chart, it can be seen that the errors of the experimental points (the blue points) lying close to the normal distribution line (red solid line). That means the deviation level is very small. Besides, the frequency of errors (the Histogram chart) shows that the errors appear in the range -0.1 to 0.1, accounting for a large proportion. Also, the remaining two graphs show the random distribution of experimental errors. That means that the proposed model is largely influenced by the selected input parameters and is not affected by the order of the experiments.

The suitability of the experimental model and the optimal input parameters was checked by Anderson-Darling method using Minitab 19 software (Figure 5). It can be

found from the chart that all the experimental points (the blue dot) are in the region bounded by 2 upper and lower limits with 95% significance, and P value of 0.283 is larger than $\alpha = 0.05$. This indicates that the experimental model is consistent with the above significance level.

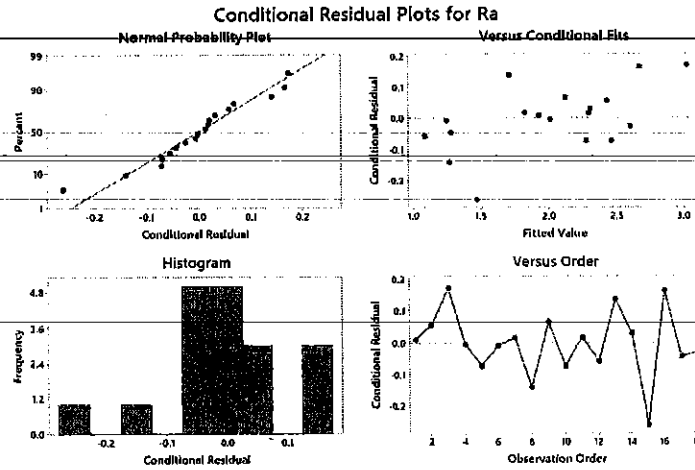


Figure 4. Residual Plots for SR

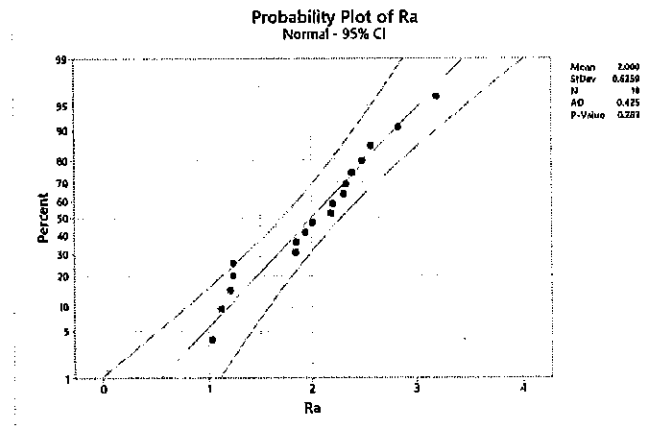


Figure 5. Probability plot of SR

4 Conclusions

In this paper, the results of a study on the effect of PMEDM's parameters on the SR when processing cylindrical shaped parts made from SKD11 tool steel. To solve this problem, an experiment was designed and implemented using the Taguchi method for

test design and result analysis. In addition, six key input factors including the powder size, the powder concentration, the pulse on time, the pulse off time, the current; and the servo voltage were selected for the investigation. The influence of the input parameters on the SR was evaluated using the ANOVA method. In addition, optimal input factors have been proposed to achieve the minimum SR.

Acknowledgment

This work was supported by Thai Nguyen University of Technology.

References

1. Kansal, H., S. Singh, and P. Kumar, *Performance parameters optimization (multi-characteristics) of powder mixed electric discharge machining (PMEDM) through Taguchi's method and utility concept*. 2006.
2. Ganachari, V., M. Kavade, and S. Mohite, *Effect of mixture of Al and SiC powder on surface roughness in PMEDM using Taguchi method with GRA optimization*. Int. J. Adv. Engg. Res. Studies, 2013. 2(4): p. 04-07.
3. Hong, T.T., et al. *A Study on Influence of Input Parameters on Surface Roughness in PMEDM Cylindrical Shaped Parts*. in *Materials Science Forum*. 2021. Trans Tech Publ.
4. Hong, T.T., et al. *Multi-Objective Optimization of PMEDM input Factors for Processing Cylindrical Shaped Parts*. in *Materials Science Forum*. 2021. Trans Tech Publ.
5. Ojha, K., R. Garg, and K. Singh, *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.
6. Nguyen, M.C., et al. *Influence of input factors on material removal rate in PMEDM cylindrical shaped parts with silicon carbide powder suspended dielectric*. in *Key Engineering Materials*. 2020. Trans Tech Publ.
7. Hong, T.T., et al. *Multi-Objective Optimization of PMEDM Process of 90CrSi Alloy Steel for Minimum Electrode Wear Rate and Maximum Material Removal Rate with Silicon Carbide Powder*. in *Materials Science Forum*. 2021. Trans Tech Publ.
8. Tran, T.-H., et al., *Electrical discharge machining with SiC powder-mixed dielectric: an effective application in the machining process of hardened 90CrSi steel*. Machines, 2020. 8(3): p. 36.
9. Hong, T.T., et al. *Effect of Process Parameters on Machining Time in PMEDM Cylindrical Shaped Parts with Silicon Carbide Powder Suspended Dielectric*. in *Materials Science Forum*. 2021. Trans Tech Publ.
10. Al-Khazraji, A., S.A. Amin, and S.M. Ali, *The effect of SiC powder mixing electrical discharge machining on white layer thickness, heat flux and fatigue life of AISI D2 die steel*. Engineering science and technology, an international journal, 2016. 19(3): p. 1400-1415.
11. Hosni, N. and M. Lajis. *The influence of Span-20 surfactant and micro/nano-Chromium (Cr) Powder Mixed Electrical Discharge Machining (PMEDM) on the surface characteristics of AISI D2 hardened steel*. in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2018. IOP Publishing.

12. Sahu, S.K., et al., *Effect of using SiC powder-added dielectric media during electro-discharge machining of Inconel 718 superalloys*. Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering, 2018. 40(7): p. 1-19.
13. Patel, S., D. Thesiya, and A. Rajurkar, *Aluminium powder mixed rotary electric discharge machining (PMEDM) on Inconel 718*. Australian Journal of Mechanical Engineering, 2018. 16(1): p. 21-30.
14. Yaşar, H. and B. Ekmekci. *Ti-6Al-4V surfaces in SiC powder mixed electrical discharge machining*. in *Advanced Materials Research*. 2014. Trans Tech Publ.
15. Shabgard, M. and B. Khosrozadeh, *Investigation of carbon nanotube added dielectric on the surface characteristics and machining performance of Ti-6Al-4V alloy in EDM process*. Journal of Manufacturing Processes, 2017. 25: p. 212-219.
16. Assarzadeh, S. and M. Ghoreishi. *Modeling and optimizing powder-mixed electrical discharge machining (PMEDM) process using neural networks*. in *Proceedings of the 2nd Tehran International Congress on Manufacturing Engineering (TICME 2007) Iran University of Science and Technology December. 2007*.
17. Hu, F., et al., *Surface properties of SiCp/Al composite by powder-mixed EDM*. Procedia CIRP, 2013. 6: p. 101-106.
18. Selvarajan, L., et al., *An experimental investigations and optimization of performance measures in EDM using copper and graphite electrodes*. Materials Today: Proceedings, 2020.
19. Ahmad, S., et al., *Surface roughness and surface topography of Inconel 718 in powder mixed dielectric electrical discharge machining (PMEDM)*. International Journal of Integrated Engineering, 2018. 10(5).
20. Surekha, B., et al., *Response surface modelling and application of fuzzy grey relational analysis to optimise the multi response characteristics of EN-19 machined using powder mixed EDM*. Australian Journal of Mechanical Engineering, 2021. 19(1): p. 19-29.
21. Long, B.T., et al., *Machining properties evaluation of copper and graphite electrodes in PMEDM of SKD61 steel in rough machining*. International Journal of Engineering and advance technology (IJEAT) ISSN, 2015: p. 2249-8958.
22. Singh, B., J. Kumar, and S. Kumar, *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.
23. Assarzadeh, S. and M. Ghoreishi, *A dual response surface-desirability approach to process modeling and optimization of Al 2 O 3 powder-mixed electrical discharge machining (PMEDM) parameters*. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2013. 64(9-12): p. 1459-1477.
24. Assarzadeh, S., M. Ghoreishi, and M. Shariyyat. *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*.
25. Luzia, C.A.O., et al., *Recast layer mechanical properties of tool steel after electrical discharge machining with silicon powder in the dielectric*. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2019. 103(1): p. 15-28.

ICERA 2021 - the 4th International Conference on Engineering Research and Applications
1-2 December 2021, Thai Nguyen, Vietnam

Acceptance Letter

International Conference on Engineering Research and Applications
(ICERA 2021)



tu
TECHNISCHE UNIVERSITÄT
ILMENAU



Springer

Paper ID: ICERA 63.

Paper Title: Impact of Input Parameters on Material Removal Speed when PMEDM
SKD11 Tool Steel

Dear Hoang Anh Le, Xuan Tu Hoang, Thu Quy Le, Duc Lam Pham, Kieu Tuan Trinh, Ngoc
Giang Tran, Manh Cuong Nguyen and Ngoc Pi Vu,

With heartiest congratulations, we are pleased to inform you that based on the recommendations of the reviewers and the Technical Program Committees, your paper identified above has been accepted for publication and oral presentation in the 4th International Conference on Engineering Research and Applications - ICERA 2021. **Please charge the conference fee within 10 days after receiving the acceptance letter.**

ICERA 2021 conference received more than 200 submissions from 17 countries and regions so far, reviewed by international experts; the acceptance ratio is controlled below 40%. Your paper will be published in the Conference Proceedings in the series "Lecture Notes in Networks and Systems" by **Springer, indexed in Scopus, Q4** after registration.

Herewith, the conference committee sincerely invites you to come to present your paper at ICERA 2021 to be held in Thai Nguyen University of Technology, Thai Nguyen, Vietnam, 1-2 December 2021.

For more information of the conference, please check the ICERA 2021 website at:
<http://icera2021.tnut.edu.vn>

Your sincerely,

ICERA 2021 Organizing Committees

Please Finish the Following Six Steps to Register Your Paper

1. Revise your paper according to the Review Comments carefully (attached).

2. Format your paper according to the Template.

(see <http://icera2021.tnut.edu.vn/submit-papers/>)

3. Download, complete and title the Registration Form as *ICERA2021_PaperID_registrationform* (attached).

4. Finish the payment of Registration fee, scan the payment proof and title as *ICERA2021_PaperID_paymentproof*.

(see <http://icera2021.tnut.edu.vn/registration/>)

5. Finish Copyright Form (attached).

*Steps: ① Fill in the blank as requested; ② Print the FORM; ③ Corresponding's handwriting signature; ④ Scanning the copyright form as (.pdf) file; ⑤ Title as *ICERA2021_PaperID_copyright**

6. Send your final papers (both .doc (.docx) and .pdf format), filled registration form (.doc format), signed copyright and the scanned payment proof to icera@tnut.edu.vn **(Please send all above files within 10 days after receiving the acceptance letter)**

If the above requirements are met by the set deadlines, your paper will be published in the Conference Proceedings by Springer, indexed in Scopus, Q4. The Conference Program will be available to download from the official website <http://icera2021.tnut.edu.vn> around late October.

Different types of electrode material such as copper [1, 3, 4, 9, 12], brass [15], graphite [9, 15, 16], etc. were used for the PMEDM process. In addition, various types of machining materials were also investigated such as 90CrSi [1, 12], SKD11 [6, 8, 14, 17], EN31 [4], H11 [4, 16], AISI D2 die steel [2], Ti-6Al-4V [10, 18], Inconel 718 [3, 11], etc. In an effort to machine cylindrical parts, recently, there have been some studies using PMEDM method [1, 12]. However, these studies have only been carried out when machining 90CrSi steel.

This paper introduces a study on optimization of PMEDM process to achieve minimum MRS when machining cylindrical shaped parts with SKD11 steel. In which, the influence of input factors on MRS was learned. Also, optimal process factors to obtain the minimum MRS have been found.

2 Experimental setup

An experiment to investigate the influence of PMEDM factors on MRS was performed. In this experiment, six input parameters including the powder concentration (C_p), the powder size (S_p), the pulse on time (T_{on}), the pulse off time (T_{off}), the current (IP), and the servo voltage (SV) are investigated. These parameters and their levels are shown in Table 1. The workpiece material is SKD11 steel and the electrode material was copper. Besides, SiC powder was used for mixing into the dielectric fluid. Also, a Sodick A30 EDM machine was used for testing. The setup of the experiment was described in Figure 1.

Table 1: Input factors and their levels

No	Parameters	Code	Unit	Level					
				1	2	3	4	5	6
1	Powder concentration	C_p	g/l	0	2	3	4	5	6
2	Powder size	S_p	nm	100	500	1000	-	-	-
3	Pulse on time	T_{on}	μ s	10	20	30	-	-	-
4	Pulse off time	T_{off}	μ s	10	20	30	-	-	-
5	Peak current	IP	A	4	8	12	-	-	-
6	Servo voltage	SV	V	3	5	7	-	-	-



Figure 1: Experimental setup

Taguchi method with design $L_{18} (1^6 \times 5^3)$ was used to design the experiment with the help of Minitab R19 software. Table 2 describes the experimental plan and results of the MRS.

Table 2: Experimental plan and the MRS

No	Input Parameters						MRS	S/N
	C_p	S_p	T_{on}	T_{off}	I_p	SV	(g/h)	
1	0	100	10	10	4	3	9.8773	19.8928
2	0	500	20	20	8	5	16.0979	24.1354
3	0	1000	30	30	12	7	49.6445	33.9174
4	2	100	10	20	8	7	6.7254	16.5544
5	2	500	20	30	12	3	15.8857	24.0201
6	2	1000	30	10	4	5	41.9831	32.4615
7	3	100	20	10	12	5	32.4869	30.2342
8	3	500	30	20	4	7	12.4249	21.8858
9	3	1000	10	30	8	3	11.8259	21.4567
10	4	100	30	30	8	5	28.2703	29.0266
11	4	500	10	10	12	7	8.1986	18.2748
12	4	1000	20	20	4	3	5.2888	14.4672
13	5	100	20	30	4	7	5.3288	14.5327
14	5	500	30	10	8	3	15.1998	23.6368
15	5	1000	10	20	12	5	7.3727	17.3525
16	6	100	30	20	12	3	30.8676	29.7901
17	6	500	10	30	4	5	5.6500	15.0409
18	6	1000	20	10	8	7	5.2931	14.4741

3 Results and analysis

To weigh the impact of the PMEDM factors on the MRS, the ANOVA method in Minitab 19 software was used. Besides, the target function is the maximum MRS is the best:

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

Table 3 shows the results obtained by conducting ANOVA. From this result, it is easy to see that IP has the greatest influence on MRS (49.99%). The parameters that affect the MRS following IP are C_p (17.91%), S_p (10.02%), T_{off} (9.89%), T_{on} (5.97%) and SV (4.83%). Figure 2 shows the influence level (%) of these parameters on MRS. Table 4 shows that the order of influence of parameters on S/N is T_{on} , C_p , IP, SV, T_{off} and S_p , respectively.

Table 3: Analysis of variance for S/N ratios

Analysis of Variance for SN ratios

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P	C (%)
C_p	5	139.23	139.23	27.847	3.41	0.242	19.16
S_p	2	14.21	14.21	7.103	0.87	0.535	1.96
T_{on}	2	356.98	356.98	178.488	21.85	0.044	49.13
T_{off}	2	22.80	22.80	11.399	1.40	0.417	3.14
IP	2	108.80	108.80	54.402	6.66	0.131	14.97
SV	2	68.27	68.27	34.136	4.18	0.193	9.40
Residual Error	2	16.34	16.34	8.168			2.25
Total	17	726.62					

Model Summary

S	R-Sq	R-Sq(adj)
2.8579	97.75%	80.89%

Figure 3 depicts the influence of the parameters on the S/N value. Since the objective function of MRS, the larger the better, the larger the S/N value, the better. Figure 3 shows the influence of these parameters on the MRS. Specifically as follows: When the concentration of C_p powder increased from 2 to 3g/l, the MRS decreased slightly; when C_p increased from 3 to 5 g/l, the MRS decreased deeply and it increased slightly at the concentration of 6 g/l. Besides, powder size has no significant influence on MRS. As the powder size increased from 100 to 500 μm , the MRS decreased. However, when increasing the powder size from 500 to 1000 nm, the MRS increased. In addition, T_{on} is the parameter that has the greatest influence on MRS. When T_{on} increases, MRS increases sharply: Unlike the effect of T_{on} , as T_{off} increases from 10 to 20 μs the MRS decreases; but then the MRS increases again as T_{off} continues to increase from 20 to 30 μs . IP has the same effect as T_{on} , but with a lesser degree of influence. When IP increases from level 1 to level 3, the MRS increases. When SV increases from 3 to 5 V SV, MRS increases. However, the MRS decreases with fur-

the increase of SV from 5 to 7V. As stated above, in order to achieve the maximum removal rate, the S/N value must be the maximum for each input parameter. From the chart in Figure 3, it is easy to determine the reasonable input parameters to achieve the maximum MRS value (Table 5). From Table 5, we see that the optimal pulse mode has $C_p=0$. That means the material removal rate in the unmixed pulse mode is greater than when the powder is mixed. The cause may be that the powder disperses the pulse current and reduces the pulse energy.

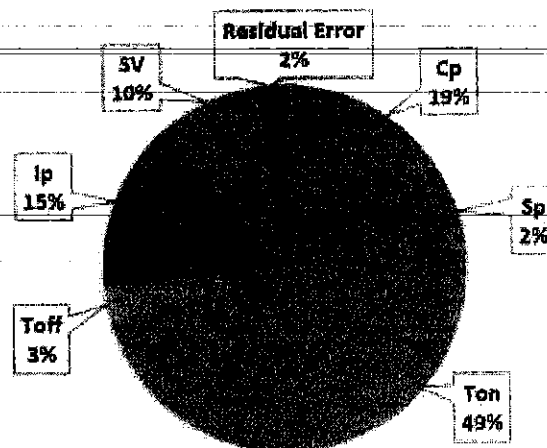


Figure 2: Influence of the PMEDM factors on the S/N ratio of MRS

Table 4: Order of influence of input parameters on S/N

Response Table for Signal to Noise Ratios

Larger is better

Level	Cp	Sp	Ton	Toff	Ip	SV
1	25.98	23.34	18.10	23.16	19.71	22.21
2	24.35	21.17	20.31	20.70	21.55	24.71
3	24.53	22.35	28.45	23.00	25.60	19.94
4	20.59					
5	18.51					
6	19.77					
Delta	7.47	2.17	10.36	2.46	5.88	4.77
Rank	2	6	1	5	3	4

The MRS value corresponding to optimum input factors is calculated based on the prediction method using **Minitab 19** software. The calculated results are as shown in Table 6. From Table 6, it can be seen that the MRS corresponding to the proposed optimum input parameters is 38.11 (g/h). With a confidence level of 95%, the MRS corresponding to the optimum parameters may appear in the range of 25.56 (g/h) to

50.65 (g/h). These values are much higher than the average MRS of the surveyed experimental plan. Therefore, 95% of MRS was achieved with the optimum input factors higher than 25.56 (g/h).

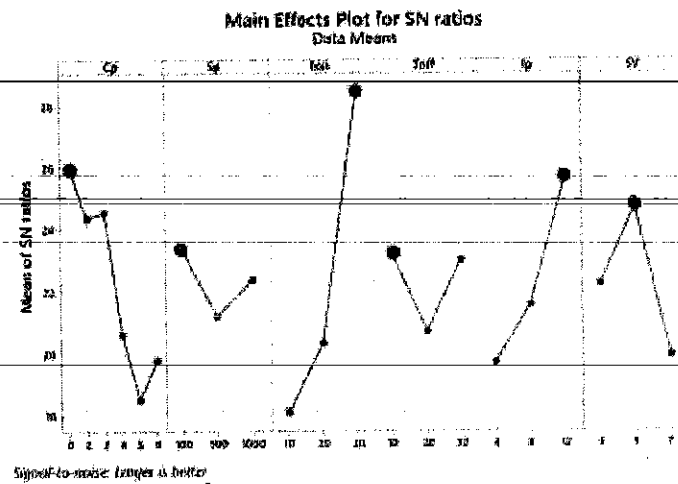


Figure 3. Effect of input parameters on the S/N ratios

Table 5. Optimum input factors for minimum MRS

Parameter	Code	Unit	Level	Value
Powder concentration	C_p	g/l	1	0
Powder size	S_p	nm	1	100
Pulse on time	T_{on}	μ s	3	30
Pulse off time	T_{off}	μ s	1	10
Peak current	IP	A	3	12
Servo voltage	SV	V	2	5

Table 6. Predicted optimum MRS

Settings

Variable	Setting
C_p	0
S_p	100
T_{on}	30
T_{off}	10
Ip	12
SV	5

Prediction

Type	Fit	SE Fit	CI DF	95% CI	PI DF	95% PI
Conditional	30.11	5.29	6.93	(25.56, 50.65)	4.57	(11.91, 54.41)
Marginal	17.13	7.49	2.65	(-8.60, 42.87)	1.98	(-26.56, 60.83)

Figure 4 shows error distribution histograms to evaluate the experimental model. From this figure, it can be seen that the errors of the experimental points (the blue points) on the normal distribution error distribution chart (Figure 4.a) are close to the normal distribution line (the red solid line). That shows that the model has a small error. Besides, the Histogram chart (Figure 4.c) (for the frequency of errors) shows that the errors appear in the vicinity of 0 accounting for a large proportion. In the remaining two charts (Figures 4.b and 4.d), the experimental errors are randomly distributed. This means that the experimental model is largely influenced by the selected input parameters and is not affected by the order of experiments.

The fit of the experimental model with the optimal input factors was checked by Anderson-Darling method by using Minitab 19 software (see Figure 5). From Figure 5, it can be seen that the data points corresponding to the experimental points (the blue dots) are all within the bounded area by 2 upper and lower limits with 95% significance level. In addition, the P value (0.207) is greater than the $\alpha = 0.05$ value. That allows it to be concluded that the applied empirical model is consistent with the above significance level.

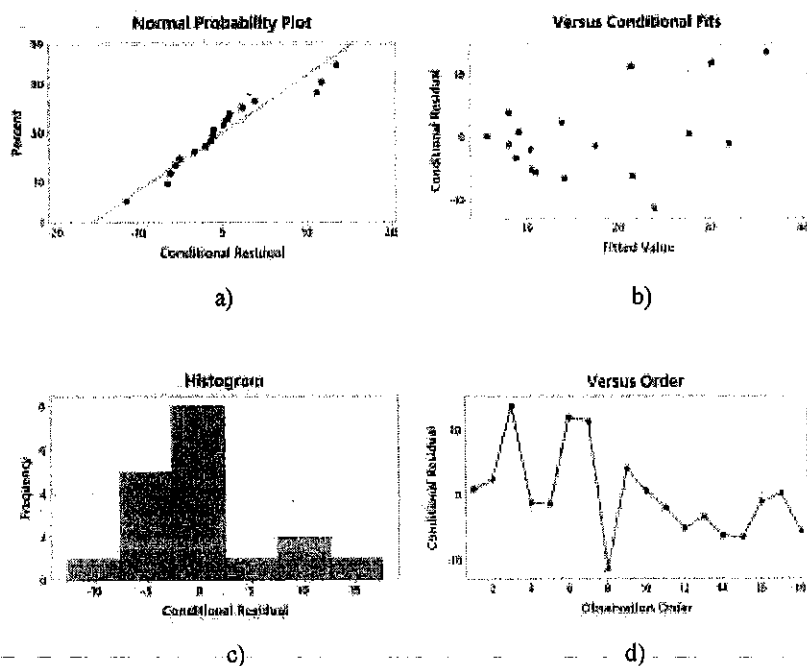


Figure 4. Conditional Residual Plots for MRS

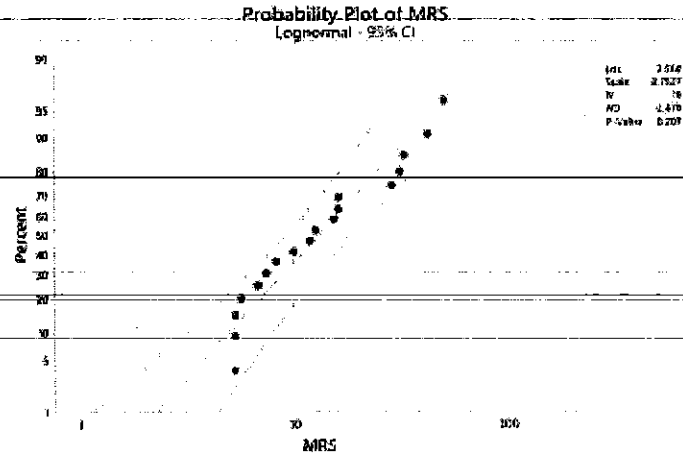


Figure 5. Probability plot of MRS

4 Conclusions

This paper reports the results of an optimization study on PMEDM when processing cylindrical shaped parts made from SKD11 tool steel to achieve the maximum MRS. In the study, an experiment was designed and performed. The Taguchi method was used to design the experiment and analyze the results. In addition, the influence of six main input factors including the powder size, the powder concentration, the pulse on time, the pulse off time, the current, and the servo voltage on the MRS was investigated. Furthermore, an optimal set of the input parameters was found to get the maximum MRS.

Acknowledgment

This work was supported by Thai Nguyen University of Technology.

References

1. Hong, T.T., et al. Multi-Objective Optimization of PMEDM Process of 90CrSi Alloy Steel for Minimum Electrode Wear Rate and Maximum Material Removal Rate with Silicon Carbide Powder. in Materials Science Forum. 2021. Trans Tech Publ.
2. Kansal, H., S. Singh, and P. Kumar, Effect of silicon powder mixed EDM on machining rate of AISI D2 die steel. *Journal of Manufacturing processes*, 2007. 9(1): p. 13-22.
3. Rathi, M.G. and D.V. Mane, Study on Effect of Powder Mixed dielectric in EDM of Inconel 718. *International Journal of Scientific and Research Publications*, 2014. 4(11): p. 1-7.

4. Bhattacharya, A., et al., Optimal parameter settings for rough and finish machining of die steels in powder-mixed EDM. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2012. 61(5): p. 537-548.
5. Kumar, A., et al., Performance evaluation of Al₂O₃ nano powder mixed dielectric for electric discharge machining of Inconel 825. *Materials and Manufacturing Processes*, 2018. 33(9): p. 986-995.
6. Yih-Fong, T. and C. Fu-Chen, Investigation into some surface characteristics of electrical discharge machined SKD-11 using powder-suspension dielectric oil. *Journal of Materials Processing Technology*, 2005. 170(1-2): p. 385-391.
7. Talla, G., S. Gangopadhyay, and C. Biswas, Influence of graphite powder mixed EDM on the surface integrity characteristics of Inconel 625. *Particulate Science and Technology*, 2017. 35(2): p. 219-226.
8. Mookam, N., et al., Effects of Graphite and Boron Carbide Powders Mixed into Dielectric Fluid on Electrical Discharge Machining of SKD 11 Tool Steel. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 2021. 46(3): p. 2553-2563.
9. Al-Khazraji, A., S.A. Amin, and S.M. Ali, The effect of SiC powder mixing electrical discharge machining on white layer thickness, heat flux and fatigue life of AISI D2 die steel. *Engineering science and technology, an international journal*, 2016. 19(3): p. 1400-1415.
10. Yaşar, H. and B. Ekmekci, Ti-6Al-4V surfaces in SiC powder mixed electrical discharge machining. in *Advanced Materials Research*. 2014. Trans Tech Publ.
11. Sahu, S.K., et al., Effect of using SiC powder-added dielectric media during electro-discharge machining of Inconel 718 superalloys. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 2018. 40(7): p. 1-19.
12. Hong, T.T., et al. Effect of Process Parameters on Machining Time in PMEDM Cylindrical Shaped Parts with Silicon Carbide Powder Suspended Dielectric. in *Materials Science Forum*. 2021. Trans Tech Publ.
13. Luzia, C.A.O., et al., Recast layer mechanical properties of tool steel after electrical discharge machining with silicon powder in the dielectric. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2019. 103(1): p. 15-28.
14. Sharma, R. and J. Singh, Effect of Powder Mixed Electrical Discharge Machining (PMEDM) on Difficult-to-machine Materials—a Systematic Literature Review. *Journal for Manufacturing Science and Production*, 2014. 14(4): p. 233-255.
15. Bhui, A.S., et al., Parametric optimization of ED machining of Ti-6Al-4V in CNTs mixed dielectric medium. *Materials Today: Proceedings*, 2019. 18: p. 1532-1539.
16. Batish, A. and A. Bhattacharya, Mechanism of material deposition from powder, electrode and dielectric for surface modification of H11 and H13 die steels in EDM process. in *Materials science forum*. 2012. Trans Tech Publ.
17. Kumar, H., Development of mirror like surface characteristics using nano powder mixed electric discharge machining (NPEDM). *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2015. 76(1-4): p. 105-113.
18. Li, L., et al., Surface characteristics of Ti-6Al-4V by SiC abrasive-mixed EDM with magnetic stirring. *Materials and Manufacturing Processes*, 2017. 32(1): p. 83-86.

ICERA 2021 – the 4th International Conference on Engineering Research and Applications
1-2 December 2021, Thai Nguyen, Vietnam

Acceptance Letter

International Conference on Engineering Research and Applications
(ICERA 2021)



TECHNISCHE UNIVERSITÄT
ILMENAU



Springer

Paper ID: ICERA 72

Paper Title: Multi-Objective Optimization of PMEDM Process for Minimum Surface Roughness and Maximum Material Removal Speed when Processing SKD11 Steel.

Dear Huu Quang Nguyen, Manh Cuong Nguyen, Thu Quy Le, Ngoc Huy Thinh Tran, Hoang Anh Le, Ngoc Giang Tran, Ngoc Pi Vu and Xuan Tu Hoang,

With heartiest congratulations, we are pleased to inform you that based on the recommendations of the reviewers and the Technical Program Committees, your paper identified above has been accepted for publication and oral presentation in the 4th International Conference on Engineering Research and Applications - ICERA 2021. **Please charge the conference fee within 10 days after receiving the acceptance letter.**

ICERA 2021 conference received more than 200 submissions from 17 countries and regions so far, reviewed by international experts; the acceptance ratio is controlled below 40%. Your paper will be published in the Conference Proceedings in the series “Lecture Notes in Networks and Systems” by Springer, indexed in Scopus, Q4 after registration.

Herewith, the conference committee sincerely invites you to come to present your paper at ICERA 2021 to be held in Thai Nguyen University of Technology, Thai Nguyen, Vietnam, 1-2 December 2021.

For more information of the conference, please check the ICERA 2021 website at: <http://icera2021.tnut.edu.vn>

Your sincerely,

ICERA 2021 Organizing Committee

Multi-Objective Optimization of PMEDM Process for Minimum Surface Roughness and Maximum Material Removal Speed when Processing SKD11 Steel

Nguyen Huu Quang¹, Nguyen Manh Cuong², Le Thu Quy³, Tran Ngoc Huy Thinh⁴,
Le Hoang Anh⁵, Tran Ngoc Giang², Vu Ngoc Pi², Hoang Xuan Tu^{2,*}

¹University of Economics - Technology for Industries, Vietnam

²Thai Nguyen University of Technology, Thai Nguyen, Vietnam

³National Research Institute of Mechanical Engineering, Vietnam

⁴Nguyen Tat Thanh University, Ho Chi Minh City, Vietnam

⁵Vinh Long University of Technology Education, Vietnam

hxt_dhktcn@tnut.edu.vn

Abstract. This paper introduces a study on multi-objective optimization of powder-mixed discharge machining (PMEDM) for machining cylindrical parts made of SKD11 steel to achieve the minimum surface roughness (SR) simultaneously and maximum material removal speed (MRS). In this study, an experiment was conducted with the design and analysis of the results according to the Taguchi method. Six input parameters including powder concentration, powder size, pulse generation time, pulse off time, servo current and voltage were selected to study the influence of input factors on SR and MRS. In particular, the optimal values of the input PMEDM parameters to achieve the minimum SR and maximum MRS simultaneously have been proposed.

Keywords: PMEDM, Electrical discharge machining, Material removal speed, Cylindrical shaped parts, SKD11.

1 Introduction

Non-traditional machining is a machining method where the cutting tool does not come into direct contact with the work piece during processing. This type of machining includes laser machining, electrical discharge machining (EDM), electrochemical machining, electrochemical grinding, etc. Among these methods, EDM is the most commonly used method for processing conductive parts. The reason is that this method has many advantages such as low cutting force and noise when machining; easily process parts with very complex surfaces; capable machine parts with high hardness etc... However, EDM also has some limitations such as low machined surface quality; the material removal rate (MRR) is not high; fast wear electrodes etc. In order to help the EDM process overcome these limitations, a solution has been proposed. The solution is that in the EDM process, metal powders are mixed into dielectric fluid when



Figure 1: Experimental setup

The experiment was built according to the design L18 ($1^6 \times 5^3$) with the use of the Taguchi method of Minitab R19 software. The experimental plan and the obtained test results (the SR and the MRS) are given in Table 2.

Table 2: Experimental plan and the response (SR and MRS)

No.	Input Factors						SR (m)		MRS (g/h)	
	Cp	Sp	T _{on}	T _{off}	IP	SV	Mean	S/N	Mean	S/N
1	0	100	10	10	4	3	1.94000	-5.9226	9.8773	19.8928
2	0	500	20	20	8	5	2.48467	-7.9305	16.0979	24.1354
3	0	1000	30	30	12	7	3.19400	-10.1206	49.6445	33.9174
4	2	100	10	20	8	7	2.00967	-6.0635	6.7254	16.5544
5	2	500	20	30	12	3	2.20367	-7.0309	15.8857	24.0201
6	2	1000	30	10	4	5	1.23900	-1.8672	41.9831	32.4615
7	3	100	20	10	12	5	2.30933	-7.2817	32.4869	30.2342
8	3	500	30	20	4	7	1.12567	-1.0345	12.4249	21.8858
9	3	1000	10	30	8	3	2.18867	-6.8051	11.8259	21.4567
10	4	100	30	30	8	5	2.38900	-7.6264	28.2703	29.0266
11	4	500	10	10	12	7	1.84367	-5.3302	8.1986	18.2748
12	4	1000	20	20	4	3	1.03100	-0.2925	5.2888	14.4672
13	5	100	20	30	4	7	1.85033	-5.4196	5.3288	14.5327
14	5	500	30	10	8	3	2.33533	-7.4181	15.1998	23.6368
15	5	1000	10	20	12	5	1.21067	-1.7023	7.3727	17.3525
16	6	100	30	20	12	3	2.83400	-9.1074	30.8676	29.7901
17	6	500	10	30	4	5	1.23567	-1.8846	5.6500	15.0409
18	6	1000	20	10	8	7	2.57200	-8.2363	5.2931	14.4741

To optimize multi-objectives, in this study, GRA combined with the Taguchi method is used. Also, the two objectives are the minimum SR and the maximum MRS.

The calculated results of GR value y_i and the mean GR value of the experiments are listed in Table 3.

Table 3: S/N, S/N Zi, Δ_i (k) and GR value \bar{y}_i

No	S/N		Zi		Δ_i (k)		GR value		\bar{y}_i
	Ra	MRS	Ra	MRS	\bar{Ra}	MRS	\bar{Ra}	MRS	
			Reference value						
			1.000	1.000					
1	-5.9226	19.8928	0.4271	0.2789	0.573	0.721	0.466	0.409	0.438
2	-7.9305	24.1354	0.2228	0.4971	0.777	0.503	0.391	0.499	0.445
3	-10.1206	33.9174	0.0000	1.0000	1.000	0.000	0.333	1.000	0.667
4	-6.0635	16.5544	0.4128	0.1073	0.587	0.893	0.460	0.359	0.409
5	-7.0309	24.0201	0.3144	0.4911	0.686	0.509	0.422	0.496	0.459
6	-1.8672	32.4615	0.8398	0.9251	0.160	0.075	0.757	0.870	0.814
7	-7.2817	30.2342	0.2889	0.8106	0.711	0.189	0.413	0.725	0.569
8	-1.0345	21.8858	0.9245	0.3814	0.075	0.619	0.869	0.447	0.658
9	-6.8051	21.4567	0.3373	0.3594	0.663	0.641	0.430	0.438	0.434
10	-7.6264	29.0266	0.2538	0.7485	0.746	0.251	0.401	0.665	0.533
11	-5.3302	18.2748	0.4874	0.1958	0.513	0.804	0.494	0.383	0.439
12	-0.2925	14.4672	1.0000	0.0000	0.000	1.000	1.000	0.333	0.667
13	-5.4196	14.5327	0.4783	0.0034	0.522	0.997	0.489	0.334	0.412
14	-7.4181	23.6368	0.2750	0.4714	0.725	0.529	0.408	0.486	0.447
15	-1.7023	17.3525	0.8566	0.1483	0.143	0.852	0.777	0.370	0.573
16	-9.1074	29.7901	0.1031	0.7878	0.897	0.212	0.358	0.702	0.530
17	-1.8846	15.0409	0.8380	0.0295	0.162	0.971	0.755	0.340	0.548
18	-8.2363	14.4741	0.1917	0.0004	0.808	1.000	0.382	0.333	0.358

3 Results and analysis

Theoretically, to ensure the harmony between output parameters, the higher the average gray relation value, the better. Thus, the objective function of the multi-objective problem becomes a single-objective problem with the output being the mean gray relation value. The Taguchi method was used to evaluate the influence of the PMEDM parameters on the mean GR value.

With the goal that the mean GR value is as large as possible, the S/N value of is calculated according to formula 2. Calculation results of S/N values analyzed by ANOVA method are shown in Table 4.

Table 4: Analysis of variance for S/N ratios of \bar{y}_i

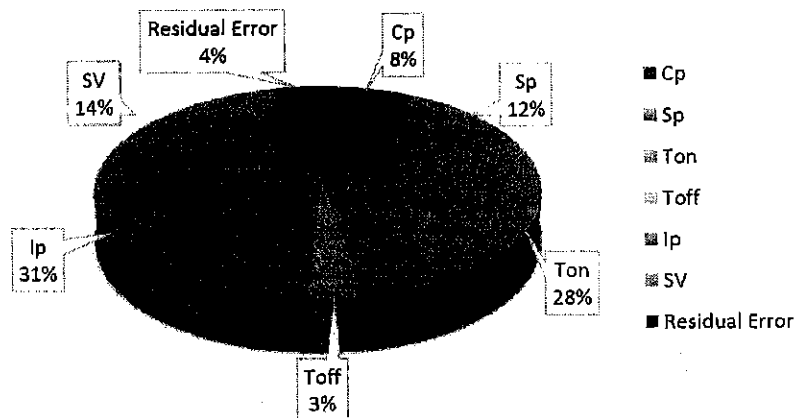
Analysis of Variance for SN ratios

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P	C (%)
Cp	5	5.027	5.027	1.0053	0.81	0.632	8.33
Sp	2	7.044	7.044	3.5218	2.85	0.260	11.68
Ton	2	16.585	16.585	8.2925	6.71	0.130	27.49
Toff	2	1.996	1.996	0.9980	0.81	0.553	3.31
Ip	2	18.558	18.558	9.2790	7.50	0.118	30.77
SV	2	8.638	8.638	4.3190	3.49	0.223	14.32
Residual Error	2	2.473	2.473	1.2367			4.10
Total	17	60.321					

Model Summary

S	R-Sq	R-Sq(adj)
1.1121	95.90%	65.15%

From the result in Table 4, it was noted that IP has the greatest influence on \bar{y}_i (30.77 %); followed by the influence of Ton (27.49%) and SV (14.32%), Sp (11.68%), Cp (8.33%) and Toff having the least influence (3.31%). This result is also shown in Figure 2.

Figure 2: Influence of input factors on \bar{y}_i (%)

The effect order of the input factors on the GR value obtained by ANOVA analysis is shown in Table 5.

As analyzed above, the parameter set with the highest value of y for each input parameter is the set of optimal parameters. From Figure 3, it can be found the influence trend of each input parameter on y and it is easy to determine the optimal set of input parameters for the multi-objective function (as shown in Table 6).

From the obtained optimal parameters, using the Minitab 19 software, it is possible to calculate the results of the objective functions (Table 7). From the predictive results, it is known that when processing with the optimal parameters, the output results are the SR of approximately 1.083 m, and the MRS of approximately 29.21 g/h.

Table 5: Effect order of input factors on S/N

Larger is better

Level	C _p	S _p	T _{on}	T _{off}	I _p	S _V
1	-5.910	-6.418	-6.566	-6.157	-4.844	-6.203
2	-5.439	-6.137	-6.476	-5.382	-7.236	-4.874
3	-5.260	-4.973	-4.486	-5.989	-5.449	-6.451
4	-5.381					
5	-6.509					
6	-6.557					
Delta	1.297	1.445	2.080	0.775	2.392	1.578
Rank	5	4	2	6	1	3

Average gray relation value: 0.522

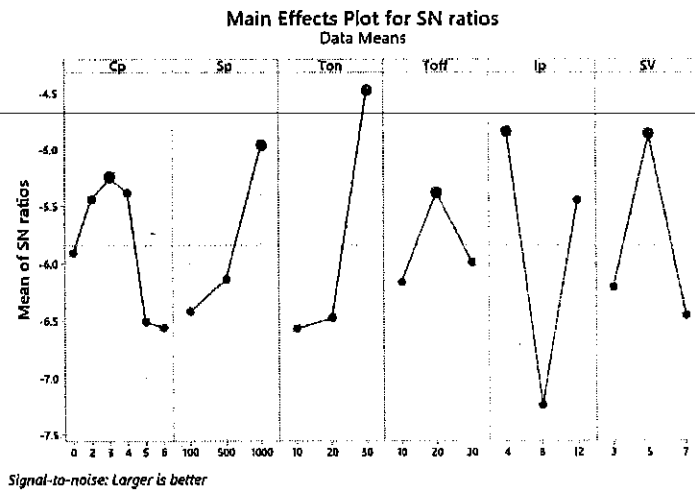
Figure 3. Effect of input factors on the S/N ratios of \bar{y}_i

Table 6. Optimum input factors

Parameter	Code	Unit	Level	Value
Powder concentration	C _p	g/l	3	3
Powder size	S _p	nm	3	1000
Pulse on time	T _{on}	μs	3	30
Pulse off time	T _{off}	μs	2	20
Peak current	I _p	A	1	4
Servo voltage	S _V	V	2	5

Figure 4 is used to evaluate the experimental model. Figure 4.a shows the error of experimental points (the blue points) on the normal distribution error distribution graph close to the normal distribution line (the red solid line). This result shows that the model has a small error. Figure 4.c (Histogram) shows the error frequency. The graph shows that the errors appearing in the vicinity of 0 account for a large proportion. Figures 4.b and 4.d show randomly distributed experimental errors. In other

words, the experimental model is largely influenced by the selected input parameters and it is not affected by the order of experiments.

Table 7. Predicted optimum R_a and MRS

Settings

Variable	Setting
Cp	3
Sp	1000
Ton	30
Toff	20
lp	4
SV	5

Prediction

R_a	Fit	SE Fit	CI DF	95% CI	PI DF	95% PI
Conditional	1.083	0.181	2.900	(0.495, 1.672)	2.33	(0.044, 2.123)
Marginal	2	0.382	4.780	(1.003, 2.997)	6.07	(0.013, 3.986)
MRS	Fit	SE Fit	CI DF	95% CI	PI DF	95% PI
Conditional	29.21	5.290	6.930	(16.67, 41.75)	4.52	(2.91, 55.51)
Marginal	17.13	7.490	2.650	(-8.60, 42.87)	4.98	(-26.56, 60.83)

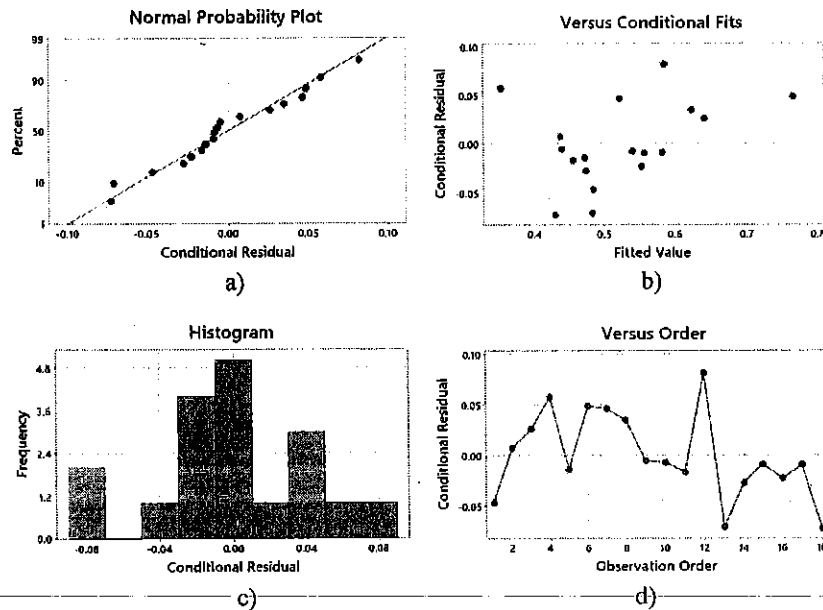


Figure 4. Conditional Residual Plots for \bar{y}_i

The fit of the experimental model was evaluated by the Anderson-Darling method (Figure 5). The results show that the experimental results (blue dots) are within the bounded area by two upper and lower limits with a standard deviation of 95%. In addition, the P-value of 0.075 is greater than the value of $\alpha = 0.05$, showing that the applied experimental model is suitable.

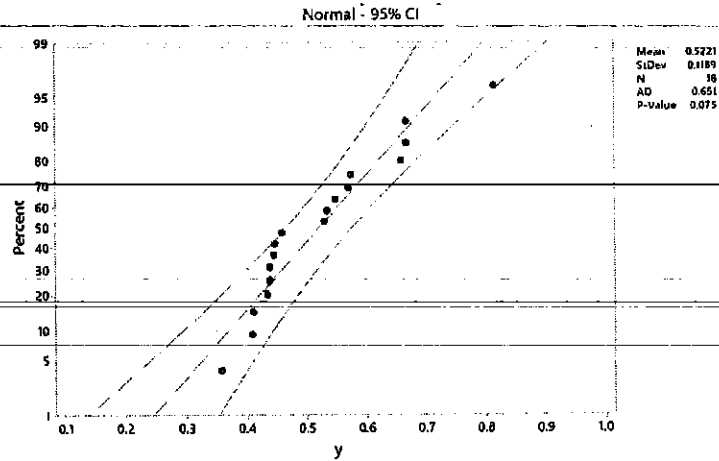


Figure 5. Probability plot for \bar{y}_i

4 Conclusions

This paper reports the results of a multi-objective optimization study of the PMEDM process when machining cylindrical parts made from SKD11 tool steel. Two single-objective functions, the smallest SR and the largest MRS, were chosen for the multi-objective optimization problem. To solve this problem, an experiment was designed and performed using the Taguchi method to design the experiment and analyze the results. The influence of six input PMEDM factors including the powder size, the powder concentration, the pulse on time, the pulse off time, the current, and the servo voltage on the multi-objective function was evaluated. The order of influence of input parameters on y is IP (30.77%), T_{on} (27.49%), SV (14.32%), S_p (11.68%), C_p (8.33%), and T_{off} (3.31%). In addition, optimal input parameters have been proposed to obtain the minimum SR and maximum MRS simultaneously. These parameters are $C_p=2$ (g/l), $S_p=1000$ (nm), $T_{on}=30$ (μ s), $T_{off}=20$ (μ s), IP=4 (A), and SV=5 (V).

Acknowledgment

This work was supported by Thai Nguyen University of Technology.

References

1. Hong, T.T., et al. Effect of Process Parameters on Machining Time in PMEDM Cylindrical Shaped Parts with Silicon Carbide Powder Suspended Dielectric. in Materials Science Forum. 2021. Trans Tech Publ.

2. Hong, T.T., et al. Multi-Objective Optimization of PMEDM Process of 90CrSi Alloy Steel for Minimum Electrode Wear Rate and Maximum Material Removal Rate with Silicon Carbide Powder. in Materials Science Forum. 2021. Trans Tech Publ.
3. Tripathy, S. and D. Tripathy, Multi-attribute optimization of machining process parameters in powder mixed electro-discharge machining using TOPSIS and grey relational analysis. Engineering Science and Technology, an International Journal, 2016. 19(1): p. 62-70.
4. Tran, T.-H., et al., Electrical discharge machining with SiC powder-mixed dielectric: an effective application in the machining process of hardened 90CrSi steel. Machines, 2020. 8(3): p. 36.
5. Long, B.T., et al., Machining properties evaluation of copper and graphite electrodes in PMEDM of SKD61 steel in rough machining. International Journal of Engineering and advance technology (IJEAT) ISSN, 2015: p. 2249-8958.
6. Al-Khazraji, A., S.A. Amin, and S.M. Ali, The effect of SiC powder mixing electrical discharge machining on white layer thickness, heat flux and fatigue life of AISI D2 die steel. Engineering science and technology, an international journal, 2016. 19(3): p. 1400-1415.
7. Bhattacharya, A., A. Batish, and N. Kumar, 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, 2013. 27(1): p. 133-140.
8. Yunpeng, Z., S. Guangbiao, and Z. Anzhou, Effect of mixed powder ultrasonic vibration on surface structure and mechanical properties of Ti-6Al-4V in Electro-Discharge Machining. Rare Met. Mater. Eng, 2014. 43(1): p. 189-193.
9. Ahmad, S., et al., Surface roughness and surface topography of Inconel 718 in powder mixed dielectric electrical discharge machining (PMEDM). International Journal of Integrated Engineering, 2018. 10(5).
10. Patel, S., D. Thesiya, and A. Rajurkar, Aluminium powder mixed rotary electric discharge machining (PMEDM) on Inconel 718. Australian Journal of Mechanical Engineering, 2018. 16(1): p. 21-30.
11. Talla, G., S. Gangopadhyay, and C. Biswas, Effect of powder-suspended dielectric on the EDM characteristics of Inconel 625. Journal of Materials Engineering and Performance, 2016. 25(2): p. 704-717.
12. Talla, G., S. Gangopadhyay, and C. Biswas, Influence of graphite powder mixed EDM on the surface integrity characteristics of Inconel 625. Particulate Science and Technology, 2017. 35(2): p. 219-226.
13. Long, B.T., et al., Optimization of PMEDM process parameter for maximizing material removal rate by Taguchi's method. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2016. 87(5): p. 1929-1939.
14. Banh, L.T., P.H. Nguyen, and C. Ngo, Tool wear rate optimization in PMEDM using titanium powder by Taguchi method for die steels. Science and Technology Development Journal, 2016. 19(2): p. 88-97.
15. Nguyen, M.C., et al. Influence of input factors on material removal rate in PMEDM cylindrical-shaped parts with silicon carbide powder suspended dielectric. in Key Engineering Materials. 2020. Trans Tech Publ.
16. Hong, T.T., et al. Multi-response Optimization in PMEDM Process Using Taguchi-Grey Method. in International Conference on Engineering Research and Applications. 2020. Springer.
17. Taherkhania, A., et al., Investigation of Surface Quality in Cost of Goods Manufactured (COGM) method of μ -Al₂O₃ Powder-Mixed-EDM Process on Machining of Ti-6Al-4V. 2021.

18. Hong, T.T., et al. A Study on Influence of Input Parameters on Surface Roughness in PMEDM Cylindrical Shaped Parts. in *Materials Science Forum*. 2021: Trans Tech Publ.
19. Kazi, F., C. Waghmare, and M. Sohani, Optimization and comparative analysis of silicon and chromium powder-mixed EDM process by TOPSIS technique. *Engineering and Applied Science Research*, 2021. 48(2): p. 190-199.
20. Dharmendra, B., S.P. Kodali, and B.N. Rao, A simple and reliable Taguchi approach for multi-objective optimization to identify optimal process parameters in nano-powder-mixed electrical discharge machining of INCONEL800 with copper electrode. *Heliyon*, 2019. 5(8): p. e02326.
21. Tripathy, S. and D. Tripathy, Surface Characterization and Multi-response optimization of EDM process parameters using powder mixed dielectric. *Materials Today: Proceedings*, 2017. 4(2): p. 2058-2067.
22. Rouniyar, A.K. and P. Shandilya, Multi-Objective optimization using Taguchi and grey relational analysis on machining of Ti-6Al-4V alloy by powder mixed EDM process. *Materials Today: Proceedings*, 2018. 5(11): p. 23779-23788.
23. Rajavel, R., et al., Investigation on machinability of Al 2024& 7.5% Si3N4 metal matrix composite with PMEDM using Taguchi based GRA. *Materials Today: Proceedings*, 2020.
24. Kumar, D., S. Payal, and N. Beri, Parameters optimized specifying for EDM with PM/conventional electrodes on M2 tool steel using Taguchi and TOPSIS. *Ind J Sci Technol*, 2017. 10(22): p. 1-8.
25. Nguyen, H.-P., V.-D. Pham, and N.-V. Ngo, Application of TOPSIS to Taguchi method for multi-characteristic optimization of electrical discharge machining with titanium powder mixed into dielectric fluid. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2018. 98(5): p. 1179-1198.