

**ĐẠI HỌC THÁI NGUYÊN  
TRƯỜNG ĐẠI HỌC KỸ THUẬT CÔNG NGHIỆP**

**BÁO CÁO TÌNH HÌNH THỰC HIỆN  
ĐỀ TÀI KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ CẤP TRƯỜNG  
NĂM 2019**

**TÊN ĐỀ TÀI :  
MÃ SỐ :T2019 – B29**

**Nghiên cứu mòn của điện cực khí xung định hình ngược thép  
SKD11 qua tôi.**

**Chủ nhiệm đề tài: Trần Thanh Hoàng**

**THÁI NGUYÊN, NĂM 2020**

## MỞ ĐẦU

### 1. TÍNH CẤP THIẾT CỦA ĐỀ TÀI

Gia công bằng xung tia lửa điện (còn gọi là gia công xung điện) là một trong các phương pháp gia công tiên tiến được sử dụng khá rộng rãi để gia công các khuôn mẫu, dụng cụ như khuôn đột, khuôn đùn, ép kim loại, các loại cối định hình vv... . Phương pháp này đặc biệt hiệu quả khi gia công các lỗ nhỏ và sâu, các lỗ, rãnh có thành mỏng trên vật liệu khó gia công, thép đã tôi vv... Trong gia công xung điện, độ chính xác gia công và độ nhám bề mặt cũng như năng suất khi gia công xung điện phụ thuộc vào nhiều yếu tố trong đó có độ mòn điện cực. Do đó mòn của điện cực khi xung được các nhà nghiên cứu quan tâm nhiều.

Ảnh hưởng của các thông số quá trình (bao gồm điện áp đánh lửa, cường độ dòng điện xung và thời gian xung Ton) đến khả năng gia công của điện cực làm bằng đồng thau khi xung Inconel X750 đã được nêu ra trong [1]. Trong [2] đã khảo sát độ mòn của các vật liệu điện cực khác nhau khi xung thép không gỉ SS-202. Các vật liệu điện cực được khảo sát gồm đồng thau, đồng thanh và hợp kim đồng – vonfram. Độ mòn của điện cực ứng với từng loại vật liệu đã nêu được đánh giá khi các thông số của quá trình thay đổi. Trong 3 vật liệu điện cực đã nêu thì đồng – vonfram cho độ mòn ít nhất. Tiếp đó là đồng thau và đến đồng thanh [2].

Độ mòn của điện cực hình trụ bằng đồng thau khi xung thép làm khuôn dập D-3 đã được đánh giá qua hai chỉ tiêu là khối lượng và chiều dài của điện cực với các biến đầu vào là cường độ dòng điện, thời gian phát xung và thời gian ngừng xung [3]. Cũng nghiên cứu này đã đưa ra kết luận điện cực hình trụ bằng đồng thau có thể cho tuổi thọ cao mà không cần sửa mới lại bề mặt. Các tác giả của [4] đã đề xuất một tỉ số mòn mới cho điện cực khi xung. Theo đó, một lớp tinh thể đa phương của các bon với các pha ngẫu nhiên màu đen xuất hiện và bám chặt trên điện cực. Lớp này không chỉ có các bon mà còn có các nguyên tố khác như sắt, crom, vanadi và molip đen. Các tác giả cũng cho rằng các nguyên tố này

ở dạng các bon tương đương là nguyên nhân chính gây nên giảm mòn cho điện cực. Thêm vào đó, các tác giả cũng đề xuất biện pháp giảm mài mòn của điện cực bằng cách lựa chọn các tham số đầu vào của quá trình xung hợp lý.

Trong [5] đã tiến hành nghiên cứu về ảnh hưởng của vật liệu điện cực đến chất lượng bề mặt gia công và độ mòn của điện cực. Vật liệu điện cực được khảo sát trong nghiên cứu này là đồng và graphite. Các tác giả đã đưa ra kết luận rằng vật liệu điện cực bằng đồng cho phép độ mòn điện cực nhỏ, có thể tạo được độ nhám nhỏ nhưng năng suất gia công thấp. Bên cạnh đó, vật liệu graphite cho năng suất bóc tách cao, độ mòn và tốc độ mòn lớn và độ nhám bề mặt lớn.

Từ các phân tích ở trên, có thể nói cho đến nay đã có khá nhiều nghiên cứu về mòn của điện cực khi xung tia lửa điện. Tuy nhiên, cho đến nay vẫn chưa có nghiên cứu nào về mòn của điện cực khi xung định hình ngược thép SKD11 qua tôi. Chính vì vậy “Nghiên cứu mòn của điện cực khi xung định hình ngược thép SKD11 qua tôi” là rất cần thiết.

## **2. MỤC ĐÍCH, ĐỐI TƯỢNG VÀ PHẠM VI NGHIÊN CỨU**

### **Mục đích nghiên cứu**

Xác định vật liệu điện cực thích hợp để gia công chày dập thuộc viên định hình bằng phương pháp xung tia lửa điện nhằm đạt được năng suất gia công lớn nhất mà vẫn đảm bảo được chất lượng gia công.

### **Đối tượng và phạm vi nghiên cứu**

Đề tài giới hạn phạm vi nghiên cứu ở vấn đề sau:

- + Nghiên cứu tổng quan về mòn của điện cực khi xung định hình ngược thép SKD11 qua tôi.
- + Thiết kế thí nghiệm xác định mòn của điện cực khi xung định hình ngược thép SKD11 qua tôi.

## **3. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU**

Nghiên cứu lý thuyết kết hợp với nghiên cứu thực nghiệm. Việc nghiên cứu lý thuyết dựa trên sự phân tích và tổng hợp các kết quả đã công bố, đưa ra các giả thiết và các tính

toán biến đổi phù hợp để xây dựng cơ sở lý thuyết và thiết lập các mô hình thực nghiệm.

Nghiên cứu thực nghiệm được tiến hành với hệ thống thiết bị thực nghiệm được thiết kế, chế tạo có đủ độ tin cậy, sử dụng các thiết bị đo hiện đại có độ chính xác cao nhằm kiểm chứng các mô hình lý thuyết, tìm ra các mối quan hệ hoặc đối chiếu, kiểm chứng với các kết quả nghiên cứu đã có.

Thực hiện thí nghiệm nghiên cứu mòn của điện cực khí xung định hình ngược.

Phân tích và đánh giá kết quả thí nghiệm.

#### **4. Ý NGHĨA KHOA HỌC VÀ THỰC TIỄN CỦA ĐỀ TÀI**

##### **Ý nghĩa khoa học**

Kết quả nghiên cứu là cơ sở khoa học để ứng dụng công nghệ xung định hình trong chế tạo các sản phẩm đòi hỏi bề mặt làm việc có chất lượng cao, góp phần tăng tính ổn định và độ tin cậy của một phương pháp gia công tinh sau nhiệt luyện, nâng cao hiệu quả và mở rộng phạm vi ứng dụng công nghệ xung tia lửa điện.

##### **Ý nghĩa thực tiễn**

Việc nghiên cứu được thực hiện với một sản phẩm cụ thể đó là chày dập thuốc viên định hình bằng phương pháp xung tia lửa điện. Những kết quả nghiên cứu của đề tài có thể ứng dụng tại các nhà máy, phân xưởng sản xuất cơ khí gia công các sản phẩm, chi tiết được chế tạo bằng các loại thép hợp kim, chủ yếu là thép crôm, yêu cầu cao về độ bền, độ cứng và độ chịu nhiệt.

Quá trình ứng dụng các kết quả nghiên cứu sẽ cho phép mở rộng phạm vi gia công của ngành chế tạo máy nói chung và của công nghệ xung tia lửa điện nói riêng, góp phần tạo ra những sản phẩm có chất lượng tốt, giá thành hạ và nâng cao khả năng ứng dụng vào thực tiễn một phương pháp gia công tinh linh hoạt, thân thiện với môi trường, chi phí đầu tư thấp, phù hợp với điều kiện sản xuất ở Việt Nam.

#### **5. NỘI DUNG CÁC VẤN ĐỀ SẼ ĐI SÂU NGHIÊN CỨU**

Nội dung nghiên cứu sẽ đi sâu vào các vấn đề sau:

- + Nghiên cứu tổng quan về mòn của điện cực xung định hình ngược thép SKD11 qua tôi
- + Thiết kế thí nghiệm để nghiên cứu mòn của điện cực khí xung định hình ngược .
- Phân tích các cơ chế mòn và dạng mòn điện cực khí xung định hình ngược thép

9CrSi qua tôi. Khảo sát ảnh hưởng của vật liệu phôi, tốc độ xung và chiều dài gia công tới mòn điện cực và chất lượng bề mặt gia công.

- Ứng dụng giải thuật di truyền trong quá trình tối ưu hóa đa mục tiêu chế độ cắt để xác định tập hợp các thông số tối ưu khi xung định hình ngược thép SKD11 qua tôi bằng vật liệu làm điện cực là: đồng đỏ, ... Sử dụng phương pháp phân tích hồi quy để xây dựng các mô hình nhám bề mặt gia công và tuổi thọ điện cực

- Phần kết luận chung và phương hướng nghiên cứu tiếp theo.

# CHƯƠNG I

## TỔNG QUAN VỀ ĐỘ MÒN CỦA ĐIỆN CỤC KHI XUNG

### 1.1 Khái quát về phương pháp gia công tia lửa điện (EDM)

Phương pháp gia công tia lửa điện là phương pháp gia công không truyền thống và được sử dụng rất rộng rãi trong ngành chế tạo máy, đặc biệt trong công nghệ chế tạo khuôn mẫu. Phương pháp này 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 dưới dạng nóng chảy và bay hơi. Ưu điểm nổi bật của phương pháp này so với các phương pháp gia công truyền thống là có thể gia công được tất cả các loại vật liệu dẫn điện có độ bền và độ cứng bất kỳ, các bề mặt có hình dạng rất phức tạp như: khuôn dập, khuôn đúc, các chi tiết máy quan trọng trong ngành hàng không vũ trụ, ngành công nghiệp ô tô và các dụng cụ dùng trong phẫu thuật... [18] Trong phương pháp EDM không tồn tại mối quan hệ về độ cứng giữa phôi và dụng cụ, các vấn đề như: rung động, ứng suất cơ học, tiếng ồn không xuất hiện trong suốt quá trình gia công [18]. Tuy nhiên phương pháp gia công tia lửa điện vẫn tồn tại một số hạn chế như: Chất lượng bề mặt sau gia công chưa cao, năng suất gia công còn thấp và bị hạn chế về phạm vi ứng dụng.

#### 1.1.1. Lịch sử ra đời và phát triển của phương pháp gia công tia lửa điện

Nhà vật lý người Anh Joseph Priestley (1733 – 1809) là người đầu tiên đã phát hiện ra khả năng ăn mòn của kim loại bởi sự phóng điện. Tiếp sau đó, vào năm 1943, hai vợ chồng nhà khoa học Lazarenko người Nga đã tìm ra công nghệ “Gia công tia lửa điện” hay “Electrical Discharge Machining (EDM)”. Công nghệ này sử dụng tia lửa điện để hốt đi một lớp vật liệu mà không phụ thuộc độ cứng của vật liệu đó. Khi các tia lửa điện phóng ra năng lượng nhiệt từ các tia này sẽ làm nóng chảy và bay hơi vật liệu gia công từ đó làm vật liệu trên bề mặt phôi sẽ bị hốt đi. Quá trình gia công EDM rất phức tạp do liên quan đến rất nhiều yếu tố như: Khoảng cách khe phóng điện( $\delta$ ), đến thông tin kênh plasma, về sự hình thành của cầu phóng điện giữa hai điện cực... Chính những yếu tố đó đã làm tốc độ của việc ứng dụng phương pháp gia công mới này vào ngành công nghệ chế tạo vẫn còn nhiều hạn chế.

Tiếp những năm sau, nhờ sự tiến bộ của khoa học kỹ thuật đã giúp việc đưa công nghệ gia công EDM vào trong cuộc sống và ngày càng phát triển. Đặc biệt những năm gần đây, với sự phát triển như vũ bão của các công nghệ mới, sự trợ giúp đắc lực của máy tính và hệ điều hành CNC, các máy gia công tia lửa điện đầu tiên bán tự động và không

mỏng làm bằng các vật liệu dòn.

## **1.2 Các phương pháp gia công tia lửa điện**

Hiện nay có hai phương pháp gia công tia lửa điện chủ yếu trong gia công cơ khí trên thế giới là: phương pháp gia công xung định hình và phương pháp gia công cắt dây tia lửa điện (WEDM). Các phương pháp này được ứng dụng rộng rãi và góp phần đáng kể cho sự phát triển về khoa học kỹ thuật của nhân loại.

### **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 (âm bản) của nó lên bề mặt phôi. Phương pháp này được dùng để chế tạo bề mặt các khuôn có hình dạng phức tạp như: các khuôn ép định hình, khuôn ép nhựa, khuôn đúc áp lực, lỗ không thông...

### **1.2.2 Phương pháp gia công cắt dây tia lửa điện**

WEDM là phương pháp dùng một dây dẫn điện có đường kính nhỏ (0,1-0,3 mm) cuốn 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... Ngoài ra, phương pháp này còn được ứng dụng khá rộng rãi trong việc chế tạo các chi tiết có biên dạng rất phức tạp và đòi hỏi độ chính xác cao như các điện cực dùng cho gia công xung định hình, gia công các rãnh hẹp, gấp khúc, các đường kiểm...

### **1.2.3 Một số phương pháp sử dụng nguyên lý gia công tia lửa điện**

Ngoài hai phương pháp gia công chủ yếu trên, ngày nay trên thế giới còn có một số phương pháp gia công sử dụng nguyên lý gia công tia lửa điện như sau:

- *Gia công tia lửa điện dạng phay (milling EDM)*: là phương pháp sử dụng một điện cực chuẩn, hình trụ quay để thực hiện ăn mòn tia lửa điện theo kiểu phay. Phương pháp này thường dùng để gia công các hình dáng phức tạp do không phải chế tạo điện cực phức tạp (để xung) mà sử dụng điện cực để gia công theo chương trình gia công.

- *Gia công EDM trợ giúp của siêu âm (ultrasonic aided edm)*: là phương pháp bóc tách vật liệu bằng tia lửa điện kết hợp với việc rung điện cực dụng cụ với tần số rung bằng tần số siêu âm. Việc rung điện cực với tần số siêu âm giúp nâng cao khả năng công nghệ và tăng đáng kể tốc độ gia công các lỗ nhỏ và siêu nhỏ.

- *Mài xung điện (abrasive electrical discharge grinding-AEDG)*: là phương pháp

gia công trong đó vật liệu được bóc tách nhờ tác dụng kết hợp của ăn mòn tia lửa điện và ăn mòn cơ khí.

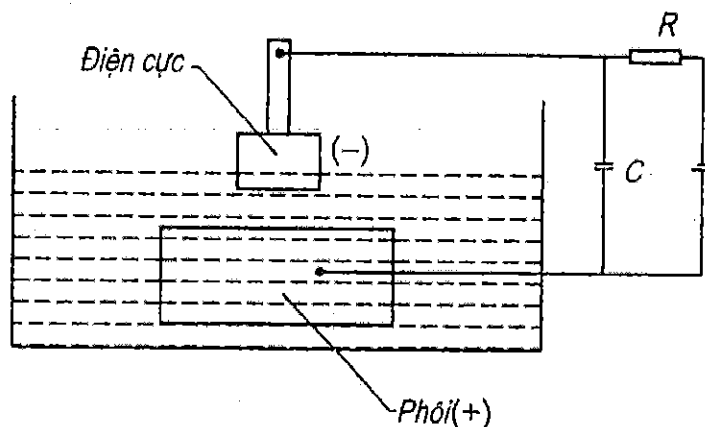
- *Gia công xung định hình siêu nhỏ (MEDM)*: là một dạng xung định hình đặc biệt trong đó điện cực được quay với tốc độ lớn (tới 10.000 vg/ph). điện cực sử dụng trong MEDM có kích thước nhỏ và được chế tạo bằng các phương pháp gia công tia lửa điện khác. Phương pháp này dùng để gia công các lỗ siêu nhỏ với độ chính xác rất cao.

- *Cắt dây tia lửa điện siêu nhỏ (MWEDM)*: là phương pháp cắt dây sử dụng điện cực vonfram có đường kính dây nhỏ dưới 10  $\mu\text{m}$ . Phương pháp này dùng để gia công cắt dây các lỗ siêu nhỏ có kích thước từ (0,1 - 1)mm, các vật liệu khó gia công, các chi tiết có chiều dày mỏng,... hoặc dùng trong công nghệ chế tạo các chi tiết bán dẫn.

- *Gia công tia lửa điện theo kiểu đê chắn (mole EDM)*: là một quá trình gia công đặc biệt cho phép gia công các hốc, rãnh dạng đường cong hoặc đường xuyên. Hình dáng điện cực được sử dụng trong phương pháp này giống như một thanh dẫn có thể uốn cong và một hệ thống nhận dạng. Người ta sử dụng sóng siêu âm để nhận dạng các đường hầm gia công trong chi tiết.

- *Xung định hình với 2 điện cực quay*: là phương pháp sử dụng một điện cực quay để ăn mòn một phôi quay. Khi phối hợp chuyển động của điện cực và phôi sẽ tạo ra các hình dạng chi tiết khác nhau theo yêu cầu. Đây là phương pháp gia công siêu chính xác và cho độ bóng siêu cao.

### 1.3 Nguyên lý của phương pháp gia công tia lửa điện.



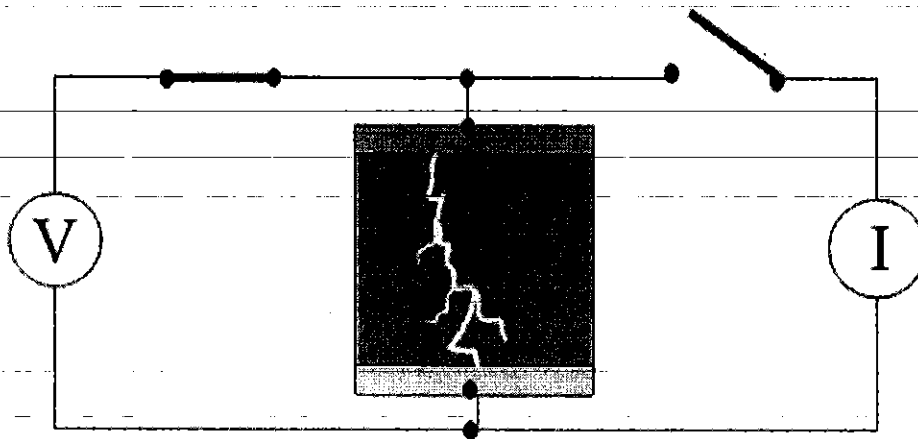
Hình 1.1. Sơ đồ nguyên lý gia công tia lửa điện [15]

Sơ đồ nguyên lý của gia công tia lửa điện được mô tả trên hình 1.1. Một điện áp một



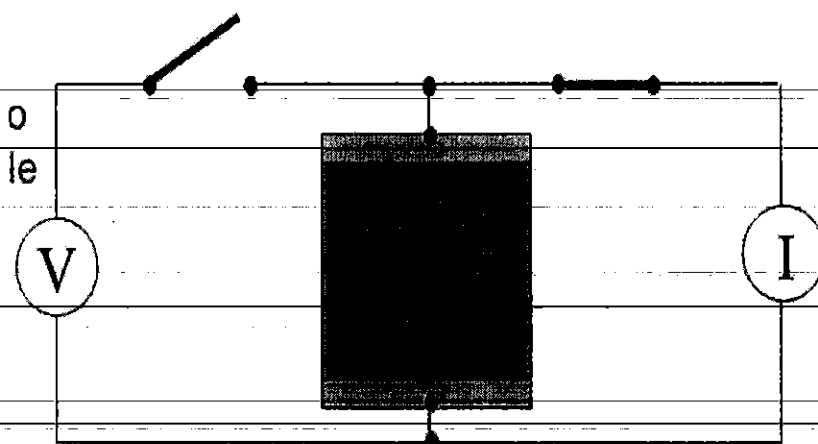
chiều (80V – 200V) được đặt vào vào giữa điện cực và phôi ngâm trong dung dịch cách điện (dung dịch điện môi), hình 1.1. Khi đưa điện cực và phôi tiến lại gần nhau đến một khoảng cách đủ nhỏ thì xuất hiện sự phóng tia lửa điện. Nhiệt độ của vùng này tăng lên rất lớn (khoảng  $10.000^{\circ}\text{C}$ ) làm nóng chảy và bay hơi vật liệu của cả điện cực và phôi. Điều này được giải thích qua 2 bước:

**Bước 1:** Giai đoạn đánh thủng dung dịch điện môi. Ở giai đoạn này do điện trường trong khe hở đủ lớn (khoảng  $10^4$  V/mm) làm ion hóa dung dịch điện môi và biến nó thành dung dịch dẫn điện.



**Hình 1.2. Quá trình ion hóa dung dịch điện môi**

**Bước 2:** Khi năng lượng tập trung đủ lớn một dòng điện hình thành do sự chuyển dịch của các ion, điện tử trong dung dịch điện môi – gọi là kênh dẫn điện và kèm theo sự xuất hiện của các tia lửa điện do hiện tượng ion hóa mãnh liệt của dung dịch điện môi. Năng lượng nhiệt rất lớn do một tia lửa sinh ra sẽ làm xuất hiện hai hố lõm trên bề mặt điện cực và phôi. Nguồn điện được ngắt đột ngột làm cho tia lửa điện biến mất. Dung dịch lạnh 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 nhiệt được cung cấp lại và các tia lửa điện lại xuất hiện.



**Hình 1.3. Quá trình phóng tia lửa điện**

### **1.4 Các thông số công nghệ của phương pháp gia công xung định hình**

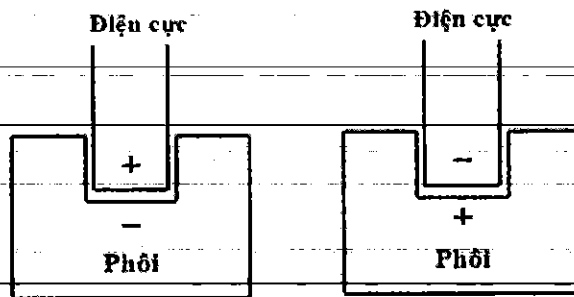
#### **Điện áp**

Điện áp phóng tia lửa điện ( $U_e$ ) là điện áp trung bình trong suốt quá trình phóng điện.  $U_e$  là hằng số vật lý phụ thuộc vào cặp vật liệu điện cực/phôi,  $U_e$  không điều chỉnh được. Khi bắt đầu phóng tia lửa điện thì điện áp ban đầu  $U_i$  giảm đến  $U_e$ .

Nguồn cung cấp điện áp 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 nhỏ sẽ làm dung dịch điện môi luôn ở trạng thái dẫn điện. Điều làm cho tia lửa điện phát triển thành hồ quang gây hỏng bề mặt chi tiết và điện cực.

#### **Phân cực của điện cực**

Việc phân cực cho điện cực (âm hoặc dương) phụ thuộc vào việc sử dụng phương pháp gia công này. Vì khi phân cực cho điện cực có ảnh hưởng trực tiếp đến việc hình thành chiều của dòng điện sinh ra và liên quan trực tiếp đến 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).



a. Phân cực ngược      b. Phân cực thuận

**Hình 1.4. Phân cực cho điện cực [15]**

### **Cường độ dòng phóng tia lửa 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 giá trị  $I_e$  kèm theo sự bốc cháy kim loại. Theo nhiều nghiên cứu thì  $I_e$  là nhân tố ảnh hưởng lớn nhất đến ăn mòn vật liệu, độ ăn mòn điện cực và đến chất lượng bề mặt gia công. Thông thường khi  $I_e$  tăng thì lượng hót vật liệu tăng, độ nhám gia công lớn.

Đặc trưng cho dòng phóng tia lửa điện, ở một số hệ điều khiển còn dùng khái niệm “bước dòng điện”. Bước dòng điện càng lớn tức là dòng phóng tia lửa điện càng lớn. Phụ thuộc vào kiểu máy, có thể 18 hoặc 20 bước dòng điện, sẽ có dòng phóng tia lửa điện từ 0,5 - 80A.

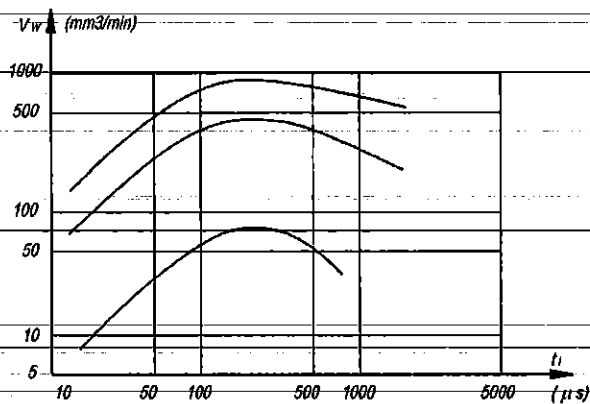
### **Thời gian xung ( $t_i$ ) và thời gian ngừng xung ( $t_0$ )**

Mỗi chu kỳ xung ( $t_e$ ) được xác định bởi hai thông số là thời gian ngừng xung và thời gian xung được tính bằng s.

### **Thời gian xung $t_i$**

Thời gian xung ( $t_i$ ) là khoảng thời gian giữa hai lần đóng ngắt của máy phát trong cùng một chu kỳ phóng tia lửa điện. Trị số của  $t_i$  ảnh hưởng tới nhiều yếu tố quan trọng liên quan trực tiếp đến năng suất và chất lượng gia công như:

**- Tốc độ bóc tách vật liệu:**

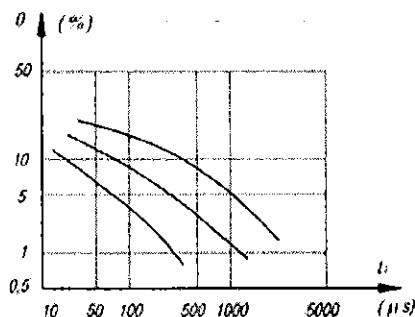


**Hình 1.5. Mối quan hệ giữa  $V_w$  với  $\mu s, t_p$  [15]**

Thực nghiệm chứng tỏ rằng khi giữ nguyên dòng điện  $I_e$  và khoảng cách xung  $t_0$  thì ban đầu  $V_w$  tăng nhưng chỉ tăng đến giá trị cực đại ở  $t_p$  nhất định nào đó sau đó  $V_w$  giảm đi, nếu tiếp tục tăng  $t_p$  thì năng lượng phóng điện không còn được sử dụng thêm nữa để hớt vật liệu phôi mà nó lại làm tăng nhiệt độ của các điện cực và dung dịch chất điện môi. Mối quan hệ giữa lượng hớt vật liệu với  $t_p$  được biểu thị ở Hình 1.5

**- Độ mòn điện cực:**

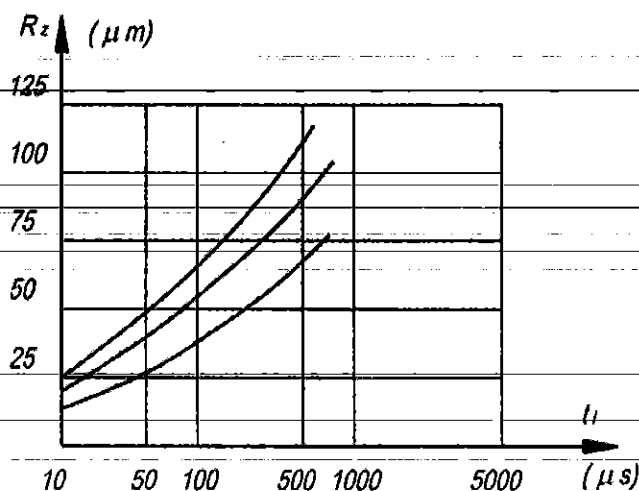
Độ mòn của điện cực ( $\theta$ ) sẽ giảm đi khi  $t_p$  tăng thậm chí cả sau khi đạt lượng hớt vật liệu cực đại. Nguyên nhân do mật độ điện tử tập trung ở bề mặt phôi (cực dương) cao hơn nhiều lần so với mật độ ion dương tập trung tới bề mặt dụng cụ (cực âm), trong khi mức độ tăng của dòng điện lại rất lớn. Đặc biệt là dòng ion dương chỉ đạt tới cực (+) trong những  $\mu s$  đầu tiên mà thôi. Do vậy mà  $\theta$  ngày càng giảm. Mối quan hệ giữa độ mòn điện cực với  $t_p$  được biểu thị ở hình 1.6.



**Hình 1.6. Mối quan hệ giữa  $\theta$  với  $\mu s, t_p$  [15]**

**- Độ nhám bề mặt:**

Khi tăng  $t_i$  thì độ nhám  $R_z$  cũng tăng do tác dụng của dòng điện được duy trì lâu hơn làm cho lượng hót vật liệu tăng lên ở một số vị trí và làm cho  $R_z$  tăng lên. Mối quan hệ giữa  $t_i$  với độ nhám bề mặt gia công được biểu thị ở hình 1.7.



Hình 1.7. Mối quan hệ giữa  $R_z$  và  $t_i$  (với  $t_i = t_d + t_e$ ) [15]

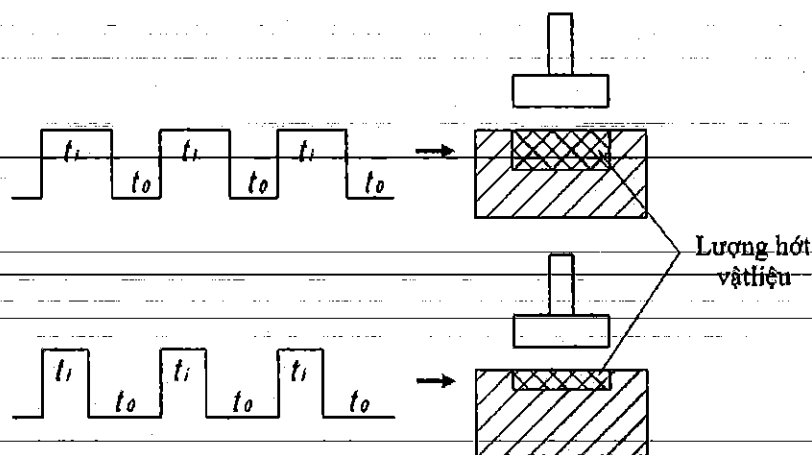
**Thời gian ngừng xung  $t_0$**

Thời gian ngừng xung ( $t_0$ ) là khoảng thời gian giữa hai lần đóng ngắt của máy phát giữa hai chu kỳ phóng tia lửa điện kế tiếp nhau,  $t_0$  còn được gọi là độ kéo dài nghỉ của xung.

Cùng với tỷ lệ  $t_i/t_0$ ,  $t_0$  có ảnh hưởng rất lớn đến lượng hót vật liệu. Khoảng cách  $t_0$  càng lớn thì lượng hót vật liệu  $V_w$  càng nhỏ và ngược lại. Phải chọn  $t_0$  nhỏ như có thể được nhằm đạt một lượng hót vật liệu tối đa. Nhưng ngược lại khoảng cách xung phải đủ lớn để có đủ thời gian thổi ion hóa chất điện môi trong khe hở phóng điện. Nhờ đó sẽ tránh được lỗi quá trình tạo hồ quang hoặc dòng ngắn mạch. Cũng trong thời gian nghỉ của các xung điện, dòng chảy sẽ đẩy các vật liệu đã bị ăn mòn ra khỏi khe hở phóng điện. Do đó, tùy thuộc vào kiểu máy và mục đích gia công cụ thể mà người ta chọn  $t_0$ ,  $t_i$  phù hợp thông qua việc lựa chọn tỷ lệ giữa thời gian xung và thời gian nghỉ  $t_i/t_0$ . Cụ thể như sau:

- Khi gia công rất thô chọn:  $t_i/t_0 > 10$ .
- Khi gia công thô chọn:  $t_i/t_0 = 10$ .

- Khi gia công tinh chọn:  $t_i/t_0 = 5 \div 10$ .
- Khi gia công rất tinh chọn:  $t_i/t_0 < 5$ .



**Hình 1.8. Ảnh hưởng của  $t_i$  đến năng suất gia công [15]**

### Khe hở phóng điện ( $\delta$ )

Các thông số điều chỉnh như:  $I$ ,  $t_i$ ,  $t_0$ ,  $U$ , ... chỉ tác động lên sự phóng tia lửa điện. Để xác định được lượng hớt vật liệu từ đầu đến cuối sau một số lần phóng tia lửa điện thì vấn đề là phải duy trì khe hở với một chiều rộng tối ưu. Quá trình đó gọi là sự điều chỉnh khe hở phóng điện. Đó là cách để đảm bảo chắc chắn rằng điện cực tiếp tục ăn xuống để xâm nhập vào phôi.

Trên máy gia công EDM, việc đo khe hở được thực hiện gián tiếp thông qua việc đo  $U_e$ . Để duy trì độ lớn khe hở phóng điện là hằng số thì tương ứng với nó là một giá trị danh nghĩa của  $U_e$ .

- Nếu ( $\delta$ ) nhỏ thì  $U_e^{\max}$  cũng nhỏ thì tần số xung lớn vì [15]:

$$f = \frac{1}{RC} = \frac{I}{U_e \cdot C} \Rightarrow U_e \downarrow \rightarrow f \uparrow \quad (1.1)[1]$$

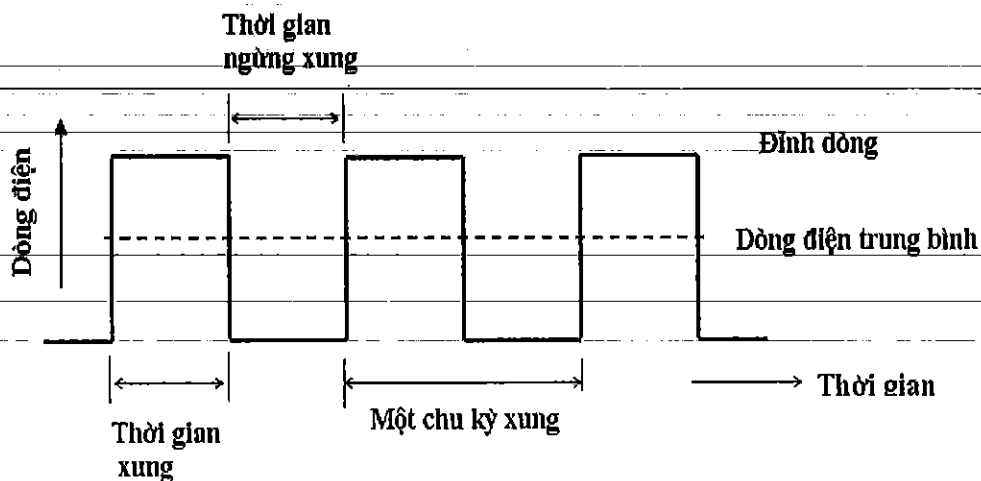
Do tần số  $f$  tăng nên chu kỳ phóng tia lửa điện  $t_e$  nhỏ. Như vậy, ( $\delta$ ) nhỏ dẫn đến  $U_e$  giảm và  $t_e$  giảm, cho dù  $I_e$  có lớn thì năng lượng tích lũy trong xung điện  $W_e$  (năng lượng bóc tách vật liệu) vẫn nhỏ dẫn đến năng suất cũng bị thấp [11]:

$$W_e = U_e \cdot I_e \cdot t_e \quad (1.2)$$

- Nếu  $(\delta)$  lớn thì  $U_e^{\max}$  lớn dẫn đến  $f$  nhỏ.

Việc chọn  $(\delta)$  tối ưu sao cho việc phóng tia lửa điện diễn ra đều đặn để có năng suất gia công phù hợp là rất cần thiết.

### Dạng sóng xung



**Hình 1.9. Dạng sóng xung hình chữ nhật [21]**

Sóng xung có dạng hình chữ nhật là loại được sử dụng phổ biến nhất trong các máy xung. Tuy nhiên, hiện nay xuất hiện một số máy phát xung tạo ra xung dạng hình thang và có ảnh hưởng rất tốt đến việc giảm hao mòn điện cực (Hình 1.9).

### 1.5 Dung dịch điện môi

#### Nhiệm vụ của dung dịch chất điện môi

- Trong gia công tia lửa điện ngoài dụng cụ cắt và phôi thì yếu tố không thể thiếu để có thể tạo ra sự bóc tách phoi và vận chuyển phoi ra khỏi vùng cắt đó là dung dịch điện môi.

- 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 phoi.

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

- Sau thời gian gia công trong dung dịch điện môi có lẫn các hạt phoi, điều này gây

ra những ảnh hưởng không tốt cho quá trình gia công như: dòng ngắn mạch, gây ra hồ quang. Mặt khác nhiệt độ chất điện môi cũng ảnh hưởng tới độ chính xác gia công. Và để tái sử dụng chất điện môi người ta sử dụng hệ thống lọc.

### Các loại chất điện môi

Việc sử dụng các chất điện môi phụ thuộc vào phương pháp gia công:

- Chất hydrocacbon: chủ yếu dùng cho phương pháp gia công xung định hình, gồm các loại: Parafin, dầu khoáng, các dẫn xuất của xăng.
- Nước khử khoáng: chủ yếu dùng cho phương pháp gia công công cắt dây.

### Các loại dòng chảy của chất điện môi

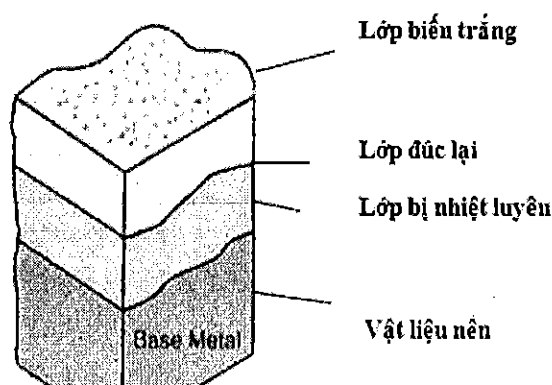
Các phương pháp tạo dòng chảy chất điện môi: dòng chảy bên ngoài, dòng chảy áp lực, dòng chảy hút, dòng chảy phối hợp, dòng chảy nhấp, dòng chảy chuyển động cục.

### Chất lượng bề mặt gia công tia lửa điện

Chất lượng bề mặt gia công của một sản phẩm gia công tia lửa điện được đánh giá dựa trên các tiêu chí sau: Nhám ( $R_z$ ,  $R_a$ ), độ cứng tế vi, cấu trúc tế vi, thành phần hóa học và tính chất của lớp bề mặt.

### Cấu trúc mặt cắt ngang lớp bề mặt sau gia công tia lửa điện

Mặt cắt ngang lớp bề mặt sau gia công bằng phương pháp tia lửa điện được chia thành nhiều lớp, hình 1.10. Chiều sâu của các lớp này phụ thuộc vào năng lượng và thời gian chu kỳ xung.



Hình 1.10. Lớp bề mặt sau gia công tia lửa điện [21]



- Lớp trên cùng của bề mặt (lớp biến trắng) là lớp được hình thành từ kết quả của việc vật liệu phôi và một lượng nhỏ vật liệu điện cực bị nóng chảy và bay hơi mà không bị dung dịch điện môi cuốn đi và kết tinh ở các dạng hạt hình cầu bám dính lên trên bề mặt gia công. Lớp này có độ cứng không cao, xuất hiện nhiều vết nứt tế vi đồng thời có cấu trúc tế vi và thành phần hóa học khác với lớp nền.

- Dưới lớp biến trắng là lớp kim loại bị nung đến trạng thái nóng chảy và được làm nguội với tốc độ cao bởi dung dịch điện môi và được gọi là lớp đúc lại. Lớp này có sự thay đổi về cấu trúc hóa học và pha.

- Lớp tiếp theo là lớp bị nung nóng đến trạng thái làm thay đổi các pha của vật liệu nền và được làm nguội bởi dung dịch điện môi nên gọi là lớp bị nhiệt luyện.

- Cuối cùng là lớp vật liệu nền.

### **Topography bề mặt**

Khi gia công bằng phương pháp tia lửa điện vật liệu phôi được bóc tách do sự xói mòn của các tia lửa điện gây ra, vì vậy bề mặt sau ra công là tập hợp của rất nhiều các vết lõm do các tia lửa điện tạo ra. Mặt khác, lại có sự xuất hiện của các hạt kim loại bám dính trên bề mặt làm cho bề mặt gia công có trị số nhấp nhô lớn.

## **1.6 Các hiện tượng xấu xuất hiện trong gia công tia lửa điện**

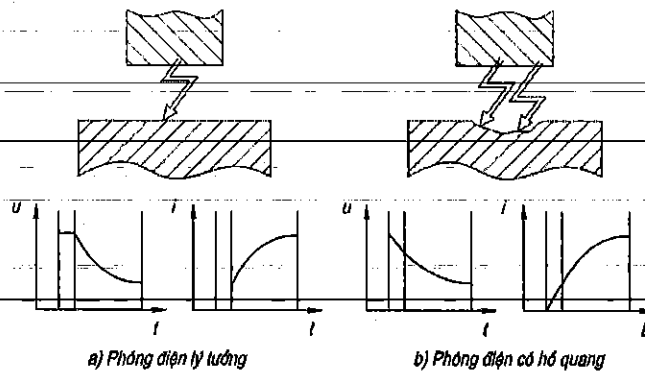
### **Hiện tượng hồ quang điện**

Sự phóng điện lặp lại ở cùng một chỗ mà không có thời gian trễ đốt cháy được gọi là hồ quang điện (Hình 1.11). Nó được phát hiện khi đo và kiểm tra máy phát bằng hệ thống điện tử dựa vào các đường đặc tính thời gian của đường cong điện áp.

Nguyên nhân:

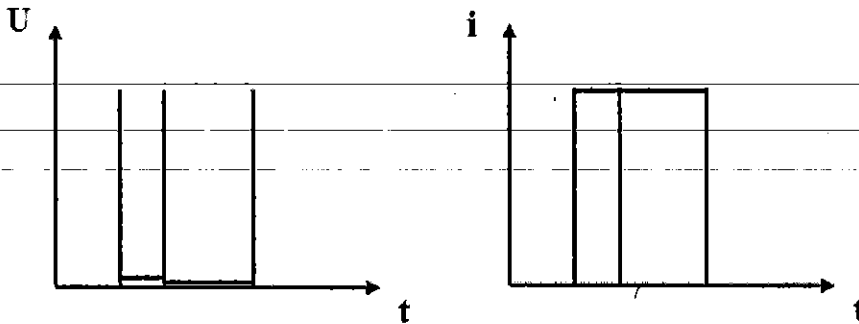
Trong dung dịch chất điện môi tồn tại những phần tử vật liệu đã bị ăn mòn và các ion dương chưa bị dòng dung dịch điện môi đẩy ra khỏi khe hở phóng điện.

Chính các phần tử và ion này là nguyên nhân gây ra hiện tượng hồ quang điện trước khi chúng mất điện và bị đẩy ra khỏi khe hở phóng điện. Hiện tượng hồ quang điện xảy ra giữa các xung. Do đó, nếu trong quá trình gia công khoảng cách xung quá ngắn sẽ xảy ra hiện tượng xung tiếp theo sẽ bị đốt cháy cùng một điểm với xung phía trước (sẽ không có khoảng thời gian trễ để phóng điện tại các đỉnh nhấp nhô cao nhất) dẫn đến điểm xói mòn sẽ bị khoét sâu và không đều trên bề mặt phôi.



**Hình 1.11. Hiện tượng hồ quang điện[1]**

### Hiện tượng ngắn mạch và sụt áp



**Hình 1.12. Hiện tượng ngắn mạch và sụt áp[1]**

Dòng điện chạy từ điện cực sang phôi mà không có sự phóng tia lửa điện được gọi là dòng ngắn mạch. Các phép đo và kiểm tra bằng điện tử sẽ phát hiện được dòng ngắn mạch khi điện áp sụt đến một giá trị rất thấp (gần bằng không) trong khi dòng điện đạt giá trị lớn nhất (Hình 1.12)

Sự ngắn mạch không chỉ ngăn cản sự hút vật liệu phôi mà còn làm hư hại cấu trúc của phôi do dòng điện sẽ tạo ra nhiệt làm ảnh hưởng đến phôi.

Nguyên nhân:

- Do sự tiếp xúc trực tiếp của điện cực vào phôi.
- Tồn tại một phần tử bị kẹt trong khe hở phóng điện.
- Chiều rộng khe hở quá nhỏ, dòng chảy chất điện môi quá yếu.

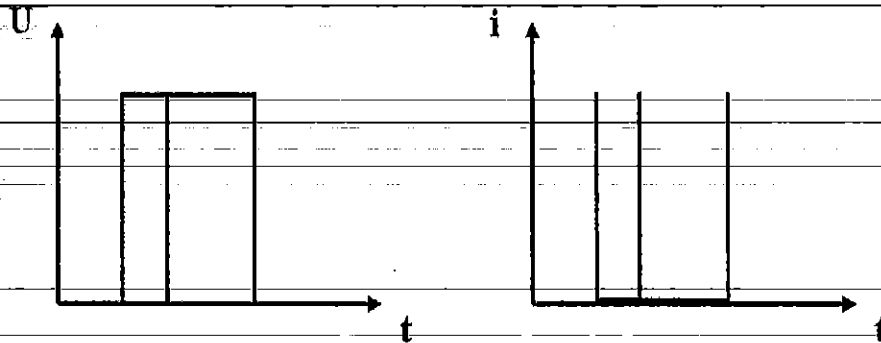
### Hiện tượng xung mạch hở, không có dòng điện

Các xung không gây ra hiện tượng phóng điện được gọi là xung mạch hở. Phép đo điện tử cho thấy xung mạch hở xuất hiện khi điện áp đánh lửa không sụt giảm (Hình 1.13). Khi số lượng xung mạch hở tăng sẽ làm giảm hiệu quả phóng điện dẫn đến làm

giảm năng suất gia công.

Nguyên nhân:

- Chiều rộng khe hở phóng điện( $\delta$ ) quá lớn.
- Dòng chảy chất điện môi quá mạnh (nên đã thổi hết các ion ra khỏi vùng gia công).



Hình 1.13. Hiện tượng xung mạch hồ [1]

### Hiện tượng quá nhiệt của dung dịch điện môi

Hiện tượng: quá trình gia công bị nhiễu loạn bởi hồ quang thường xuyên, ngoài ra còn không ổn định do ngắn mạch.

Nguyên nhân: khi vùng gia công rất rộng nhưng khe hở phóng điện lại quá nhỏ (gia công tinh các khuôn lớn), chất điện môi trở nên nóng đến mức nó bị phân hủy mạnh thành cacbon. Các phần tử cacbon này sẽ làm tăng tính dẫn điện của chất điện môi khiến cho quá trình gia công bị nhiễu loạn. Nếu cacbon bị lắng đọng trên mặt điện cực thì nó sẽ gây ra sự không ổn định.

### 1.7 Nâng cao chất lượng bề mặt gia công bằng phương pháp tia lửa điện

Phương pháp gia công tia lửa điện rất cần thiết cho việc ứng dụng trong ngành chế tạo máy, đặc biệt trong ngành chế tạo khuôn mẫu. Gần đây đã và đang có nhiều nghiên cứu việc sử dụng phương pháp này để nâng cao chất lượng lớp bề mặt như: nhiệt luyện bề mặt bằng EDM hoặc tạo lớp phủ trên bề mặt gia công bằng EDM.

Hiện nay các nghiên cứu về gia công EDM nhằm nâng cao chất lượng bề mặt thường tập trung vào những vấn đề sau:

#### 1.7.1 Ảnh hưởng của vật liệu điện cực đến chất lượng bề mặt

Gia công xung định hình là dùng các điện đã được tạo hình sẵn để in hình (âm bản) của nó lên bề mặt phôi và thường được dùng để chế tạo bề mặt các khuôn có hình dạng phức tạp, yêu cầu độ chính xác cao như: các khuôn ép định hình, khuôn ép nhựa, khuôn

đúc áp lực, lỗ không thông[1, 2]... Thêm vào đó, việc lựa chọn vật liệu phù hợp làm điện cực trong gia công này là rất quan trọng vì chất lượng điện cực quyết định đến chất lượng, độ chính xác bề mặt chi tiết gia công.

Các vật liệu điện cực thường được sử dụng là graphite, đồng, đồng- vonfram, bạc- vonfram, thép, đồng thau... Trong đó graphite là vật liệu hay được dùng làm điện cực nhất bởi đặc tính mòn ít và dễ gia công, khả năng dẫn điện tốt có thể khoan các lỗ nhỏ để dẫn điện môi trên các điện cực graphite. Tuy nhiên do graphite có điện trở lớn, khi xung cho năng suất thấp, và khi gia công thường làm bắn dung dịch điện môi nên cần phải có hệ thống hút chân không. Điện cực đồng mòn ít, có tính dẫn điện tốt hơn graphite và có tính kinh tế. Nó thường được dùng cho gia công bề mặt cần chất lượng cao với độ nhám khoảng  $Ra = 0,5\mu m$  đặc biệt là khi gia công cacbit-vonfram. Tuy nhiên gia công điện cực đồng khó hơn graphite. Đối với điện cực Cu-W; Ag-W là các vật liệu đắt tiền nhưng cho tốc độ gia công cao và mòn điện cực ít tuy nhiên lại giòn nên không rèn được sau khi thiêu kết. Nhóm này thường chủ yếu ứng dụng để gia công các rãnh sâu trong điều kiện rửa trôi phoi kém đặc biệt là khi gia công cacbit-vonfram. Đồng-graphite (đồng trộn bột graphite) lại phù hợp với điện cực có mặt cắt ngang (điện cực có tiết diện mỏng), loại điện cực này có tính dẫn điện tốt hơn graphite, độ bền uốn cao nhưng lại có nhược điểm là các góc dễ bị mòn. Đồng thau dễ gia công nhưng lại chịu mòn kém, thép chỉ phù hợp với các mặt phẳng phân khuôn trong các khuôn có một nửa khuôn là điện cực và một nửa khuôn là phôi. Điện cực vonfram chỉ phù hợp trong gia công các lỗ nhỏ ( $< 0,2mm$ ) cho các điện cực không có các lỗ ngang[1, 2].

Từ các phân tích trên nhận thấy rằng các điện cực đã và đang được sử dụng trên thực tế có nhiều ưu điểm để nâng cao chất lượng bề mặt (nhám bề mặt, cấu trúc tế vi, hình thái tế vi, thành phần hóa học...). Tuy nhiên, bên cạnh đó vẫn tồn tại những nhược điểm làm ảnh hưởng trực tiếp đến chất lượng bề mặt gia công như: Độ cứng, khả năng chịu mòn còn hạn chế, bề mặt còn xuất hiện nhiều vết nứt tế vi khiến cho chi tiết sau gia công xung trong một số trường hợp yêu cầu cao về độ nhám không thể sử dụng được ngay mà phải trải qua công đoạn đánh bóng. Vấn đề đó đã làm ảnh hưởng đến tiến độ, công sức và tính kinh tế.

Vì những nhược điểm đó mà gần đây đã có rất nhiều nghiên cứu của các nhà khoa học trên thế giới như: Furutani và cộng sự[19, 24], đã quyết định sử dụng một điện cực nhỏ gọn màu xanh lá cây hoặc bán nung làm từ hợp kim titan (Ti) hoặc bột cacbua vonfram(WC). Kết quả cho thấy trên bề mặt gia công xuất hiện một lớp TiC hoặc WC có

độ cứng cao (có thể đạt 2000HV) và khả năng chịu mài mòn tốt.

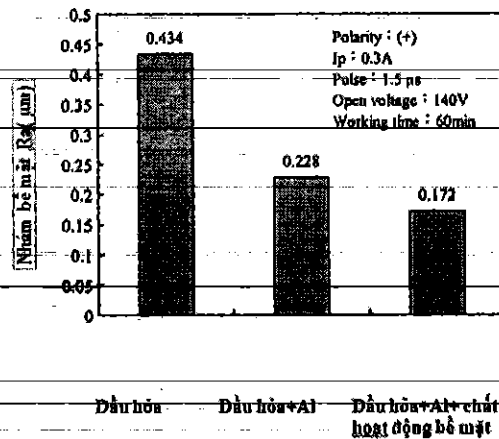
### 1.7.2 Ảnh hưởng của môi trường gia công đến chất lượng bề mặt

Trong gia công tia lửa điện ngoài dụng cụ cắt và phôi thì yếu tố không thể thiếu để tạo ra sự bóc tách phoi và vận chuyển phoi ra khỏi vùng cắt đó là môi trường gia công. Ngoài nhiệm vụ chính là cách điện giữa hai điện cực (phôi và điện cực), ion hóa, làm nguội và vận chuyển phoi mà nó còn đóng vai trò là môi trường gây ra sự phóng điện ảnh hưởng đến năng suất và chất lượng bề mặt gia công.

Sau một thời gian gia công, trong dung dịch điện môi sẽ lẫn các hạt phoi. Việc đó sẽ gây ra ảnh hưởng không tốt cho quá trình gia công như dòng ngắn mạch, xảy ra hồ quang và sẽ dẫn đến nhiệt độ chất điện môi tăng và làm giảm độ chính xác gia công. Bởi vậy để nâng cao chất lượng bề mặt gia công thì ngoài việc lựa chọn vật liệu điện cực cho phù hợp chúng ta còn phải lựa chọn môi trường gia công cho hợp lý.

Trong những năm gần đây đã có nhiều nghiên cứu nhằm nâng cao chất lượng bề mặt gia công bằng việc sử dụng bột trộn trong dung dịch điện môi, nhiều nghiên cứu cho rằng khi trộn bột kim loại hoặc hợp kim đặc biệt (Si, W, Ti, SiC, WC...) kết hợp với dung dịch điện môi hợp lý sẽ giúp cải thiện chất lượng (hình dạng, trị số nhám, độ cứng tế vi bề mặt) và nâng cao hiệu quả gia công (năng suất, độ mòn dụng cụ, thời gian gia công) [17]. Thêm vào đó, việc sử dụng dung dịch điện môi hydro các bon cao tạo ra lớp bề mặt có độ cứng cao giúp nâng cao độ bền mòn của lớp bề mặt... là hướng nghiên cứu được quan tâm của nhiều đề tài.

Tác giả Kun Ling Wu và cộng sự [22] tiến hành thí nghiệm trên máy EDM có gắn hệ thống tuần hoàn dung dịch điện môi. Bột nhôm được trộn với chất hoạt động bề mặt theo một tỷ lệ nhất định và hỗn hợp này được trộn vào dung dịch điện môi. Quá trình gia công được khảo sát với sáu tham số độc lập bao gồm: phân cực gia công, dòng điện xung cực đại, thời gian xung, điện áp mở, điện áp khoảng cách và nồng độ chất hoạt động bề mặt.



**Hình 1.14. Ảnh hưởng của chất điện môi đến nhám bề mặt [22]**

Kết quả trên đồ thị cho thấy rõ ràng độ nhám bề mặt giảm một cách đáng kể khi thêm bột nhôm vào dầu hỏa. Dầu hỏa có chứa bột nhôm và chất hoạt động bề mặt có hiệu quả tốt nhất trong việc giảm độ nhám bề mặt.

Pecas và Henriques [23] đã sử dụng bột silicon để nghiên cứu mức độ cải thiện chất lượng gia công. Kết quả cho thấy với 2g/l nồng độ Si có thể gia công được các khe hở mịn và bóng với độ nhám bề mặt trung bình (Ra) từ 0.09 µm đối với điện cực 1cm<sup>2</sup> đến 0,57 µm với điện cực 64cm<sup>2</sup>.

Furutani và cộng sự [9] đã nghiên cứu ảnh hưởng đến quá trình gia công PMEDM của việc trộn thêm bột nhôm vào hỗn hợp bột disulfide molybden (MoS<sub>2</sub>) và dầu gia công. Jeswani [6, 8] phát hiện ra rằng nếu thêm khoảng 4g/l bột graphite loại tốt vào dầu hỏa thì sẽ làm tăng 60% khả năng bóc tách vật liệu và giảm 15% lượng hao mòn điện cực. Tác giả còn so sánh hiệu quả của dầu hỏa và nước cất trong phạm vi xung năng lượng 72-288 mJ. Kết quả cho thấy gia công với nước cất có khả năng bóc tách vật liệu cao hơn và lượng hao mòn điện cực thấp hơn so với dầu hỏa. Với nước cất, độ chính xác gia công thấp nhưng bề mặt gia công lại mịn và tốt hơn.

Tariq Jilani và Pandey [8] nghiên cứu hiệu quả của việc sử dụng nước làm điện môi trong gia công EDM. Sử dụng nước cất, nước máy và hỗn hợp 25% nước máy và 75% nước cất. Kết quả cho thấy khả năng gia công tốt nhất khi sử dụng nước máy và gia công trong nước có cho lượng hao mòn điện cực nhỏ nhất nếu sử dụng điện cực đồng phân cực âm.

Bề mặt Ti được biến đổi sau khi gia công EDM sử dụng chất điện môi là dung dịch Urê trong nước [18] khi đó các phân tử Nitơ bị phân hủy từ chất điện môi có chứa urê di

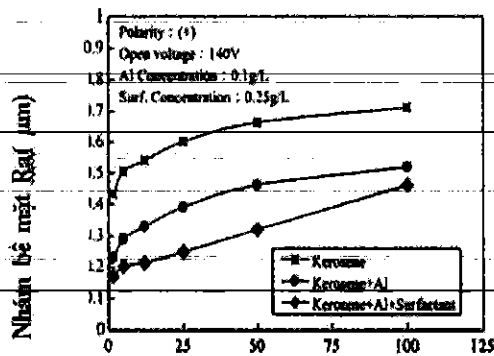
chuyển đến phiê hình thành một lớp TiN cứng và có khả năng chịu mài mòn tốt.

Kun Ling Wu và cộng sự [16] đã chỉ ra rằng khi thêm bột nhôm và chất hoạt tính bề mặt với tỷ lệ lần lượt là 0,1 và 0,25g/l có thể gia công đạt độ nhám tối ưu ( $Ra=0,172\mu\text{m}$ ) khi gia công với các tham số sau: phân cực dương, cường độ dòng điện 0,3(A), thời gian xung 1,5( $\mu\text{s}$ ), điện thế mở mạch 140(V), khoảng cách điện áp 90(V). Tình trạng nhám bề mặt được cải thiện đến 60% so với độ nhám  $Ra=0,434\mu\text{m}$  nếu sử dụng dung dịch điện môi nguyên chất.

### 1.7.3. Ảnh hưởng của chế độ gia công đến chất lượng bề mặt

Ngoài ảnh hưởng của vật liệu điện cực, môi trường gia công đến chất lượng bề mặt chi tiết thì chế độ gia công cũng là một trong các thông số có ảnh hưởng rất lớn đến chất lượng bề mặt và năng suất gia công. Chẳng hạn như: cường độ dòng điện(I) càng lớn dẫn đến lượng nhiệt vật liệu càng lớn kết quả là năng suất tăng đồng thời nhám bề mặt cũng tăng theo. Bên cạnh đó, với điện áp gia công cao khi đó khe hở giữa điện cực và khuôn tăng sẽ gây khó khăn cho quá trình phóng tia lửa điện làm dòng điện và tốc độ gia công giảm [1]. Bởi vậy nếu chọn điện áp quá cao thì có thể chập mạch không thể phóng điện còn điện áp thấp thì có thể làm cho điện cực bị hỏng. Ngoài ra, thời gian ngừng xung( $T_{off}$ ) là một thông số ảnh hưởng đến năng suất thổi phoi ra khỏi vùng xung. Nếu thời gian thổi rửa quá ngắn sẽ làm cho vùng gia công bị bẩn, dẫn đến ảnh hưởng quá trình gia công và tăng độ mòn điện cực cũng như làm giảm chất lượng bề mặt gia công.

Nghiên cứu về tác dụng của dòng điện và thời gian xung lên quá trình hội tụ TiC của Katsushi Furutani [19] đã chỉ ra rằng độ dày của lớp TiC sẽ đạt cực đại khi cường độ dòng điện và thời gian xung đạt giá trị nhất định. Giá trị tốt nhất là thời gian xung trong khoảng (2÷4)  $\mu\text{s}$  và cường độ dòng điện đạt từ ( 8÷14)A. Để làm rõ hơn ảnh hưởng của thời gian xung đến chất lượng bề mặt Kun Ling Wu và cộng sự [22] cho thấy rằng khi tăng thời gian xung thì độ nhám bề mặt cũng được tăng theo trong vì khi kéo dài thời gian xung thì năng lượng phóng điện sẽ tăng làm tăng khả năng bóc tách vật liệu dẫn đến bề mặt gia công sẽ gồ ghề hơn. Thêm vào đó, tác giả cũng lưu ý rằng, độ nhám bề mặt gia công đạt giá trị tốt nhất khi điện môi có chứa Al và chất hoạt động bề mặt (Hình1.15).



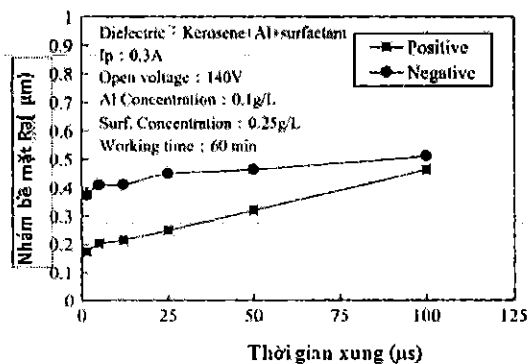
Hình 1.15 Ảnh hưởng của chế độ gia công đến chất lượng bề mặt [22]

#### Thời gian xung (μs)

Hình 1.15. biểu diễn ảnh hưởng của thời gian xung đến nhám bề mặt trong các môi trường gia công khác nhau [22].

#### 1.7.4. Ảnh hưởng phân cực của phôi đến chất lượng bề mặt:

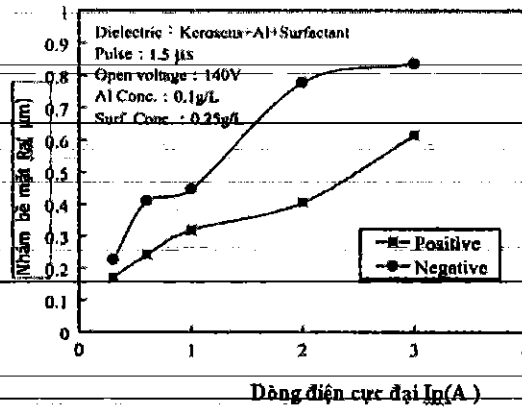
Phân cực khác nhau của phôi có thể tạo ra sự khác biệt đáng kể trong việc phân phối năng lượng xung phóng điện. Hình 1.16 và 1.17 mô tả độ nhám bề mặt với thời gian xung và dòng điện cực đại theo các cách phân cực khác nhau. Phân cực âm của phôi nhìn chung có độ nhám bề mặt kém hơn so với phân cực dương trong gia công EDM[22]. Tỷ lệ dòng ion tăng với thời gian xung, do đó dòng ion tác động mạnh lên phôi mang điện tích âm và gây ra độ nhám bề mặt lớn.



Hình 1.16. Mối quan hệ giữa nhám bề mặt và thời gian xung Trường hợp phân cực dương và âm [22]

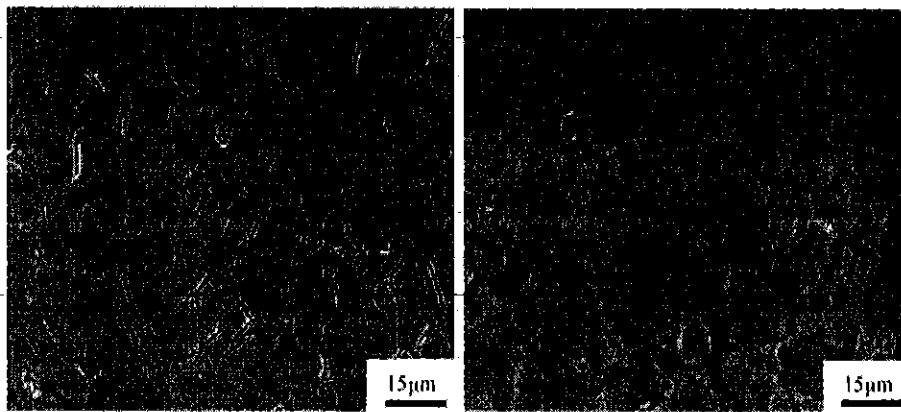
Hình 1.16 Mối quan hệ giữa nhám bề mặt và thời gian xung



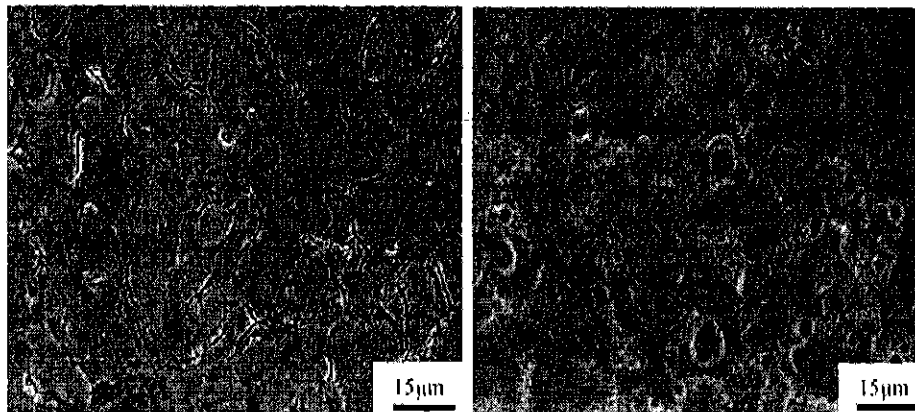


Hình 1.17. Mối quan hệ giữa nhám bề mặt và dòng điện cực đại theo các cách phân cực khác nhau [22]

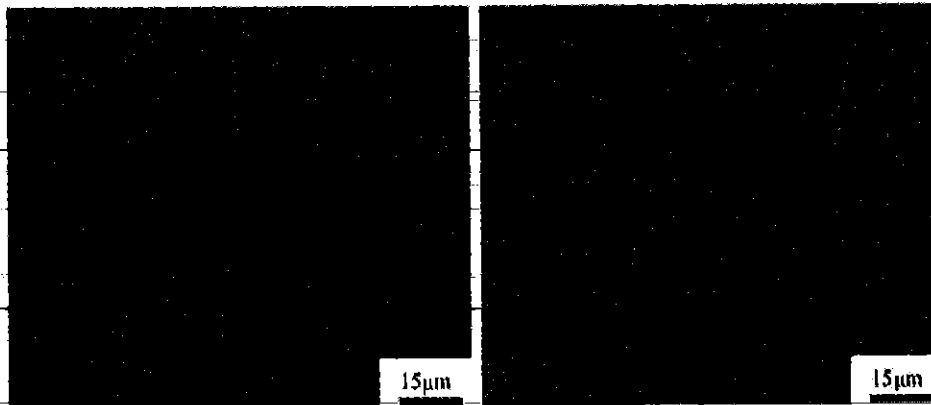
Hình 1.17 Mối quan hệ giữa nhám bề mặt và dòng điện cực đại



a) Môi trường gia công là Dầu hỏa



b) Môi trường gia công là Dầu hỏa + Al



c) *Môi trường gia công là Dầu hỏa + Al + chất hoạt động bề mặt*

**Hình 1.18. Ảnh SEM bề mặt phôi với các phân cực và dung dịch điện môi khác nhau [22]**

Hình 1.18 lại cho thấy hình ảnh của bề mặt phôi theo các phân cực và các chất điện môi khác nhau. Khi phôi được gia công với điện môi chứa bột nhôm và kết nối với cực dương, bề mặt của phôi cứng lại nhanh chóng trước khi các phôi nóng chảy đã được loại bỏ điều đó đã làm giảm khả năng bám dính của phôi dẫn đến nhám của bề mặt cũng giảm theo. Ngược lại, các vết nứt nhỏ sẽ xuất hiện trên phôi khi gia công với dầu hỏa nguyên chất và phân cực dương. Khi gia công với phân cực âm hiện tượng phóng điện tập trung xuất hiện khi môi trường gia công là dầu hỏa nguyên chất và phóng điện đồng đều xuất hiện trên bề mặt phôi khi môi trường gia công có thêm bột Al, quan sát thấy rằng bề mặt gia công tốt nhất khi dung dịch điện môi có thêm cả bột Al và chất hoạt động bề mặt [22].

#### **1.7.5 Ảnh hưởng của kích cỡ hạt đến chất lượng bề mặt.**

Yih-fong và Fu-chen [17] nghiên cứu ảnh hưởng của những đặc tính của bột lên chất lượng bề mặt gia công vật liệu SKD-11 với việc sử dụng bột nhôm Al, crôm (Cr), đồng (Cu) và SiC. Kết quả cho thấy các hạt nhỏ nhất (70-80 nm) mang lại bề mặt tốt nhất và trong các bột nêu trên thì bột Al cho chất lượng bề mặt cao nhất.

#### **1.8. Xác định hướng nghiên cứu của đề tài**

Trong gia công xung định hình, điện cực dụng cụ đóng vai trò cực kì quan trọng vì độ chính xác gia công một phần phụ thuộc vào độ chính xác của điện cực. Việc lựa chọn hợp lý vật liệu điện cực là một yếu tố quan trọng. Điều này không những ảnh hưởng đến độ chính xác gia công, mà còn ảnh hưởng đến tính kinh tế thông qua năng suất và độ hao mòn điện cực trung bình. Giá của điện cực có thể chiếm 80% chi phí gia công.

Các loại vật liệu có thể dùng làm điện cực cho gia công xung định hình thường là

đồng đỏ, đồng – volfram, bạc-volfram, đồng thau, volfram, nhôm, môlipđen, hợp kim cứng, thép... Trong đó đồng đỏ và đồng-volfram là thường dùng nhất. Các loại vật liệu volfram, nhôm, môlipđen, hợp kim cứng, thép... chỉ được sử dụng trong một số trường hợp đặc biệt.

Trên máy cắt dây người ta thường sử dụng dây cắt làm bằng đồng đỏ, đồng thau, môlipđen, volfram, bạc hay kẽm có đường kính dây cắt thường từ 0,1 – 0,3mm. Các dây cắt có thể được phủ một lớp kẽm, oxyt kẽm hoặc graphit... để nâng cao độ bền của dây cũng như cải thiện khả năng sục chất điện môi vào khu vực cắt.

#### Khả năng công nghệ, ưu nhược điểm và phạm vi ứng dụng

##### **Khả năng công nghệ**

Bề mặt chi tiết được gia công EDM có thể đạt  $Ra = 0,63\mu\text{m}$  khi gia công thô và  $Ra = 0,16\mu\text{m}$  khi gia công tinh. Thông thường độ chính xác gia công vào khoảng 0,01mm. Ở các máy khoan tọa độ EDM độ chính xác gia công đạt đến 0,0025mm.

Phương pháp này có thể gia công những vật liệu khó gia công mà các phương pháp gia công không truyền thống không làm được như thép tôi, thép hợp kim khó gia công, hợp kim cứng. Nó cũng gia công được các chi tiết hệ lỗ có hình dáng phức tạp.

##### **Ưu nhược điểm**

##### **Ưu điểm**

- Gia công được các loại vật liệu có độ cứng tùy ý
- Điện cực có thể sao chép hình dạng bất kì, chế tạo và phục hồi các khuôn dập bằng thép đã tôi
- Chế tạo các lưới sàn, rây bằng cách gia công đồng thời các lỗ bằng những điện cực rất mảnh.
- Gia công các lỗ có đường kính rất nhỏ, các lỗ sâu với tỉ số chiều dài trên đường kính lớn.
- Do không có lực cơ học nên có thể gia công hầu hết các loại vật liệu dễ vỡ, mềm... mà không sợ bị biến dạng
- Do có dầu trong vùng gia công nên bề mặt gia công được tôi trong dầu

##### **Nhược điểm**

- Phôi và dụng cụ (điện cực) đều phải dẫn điện
- Vì tốc độ cắt gọt thấp nên phôi trước gia công EDM thường phải gia công thô trước.
- Do vùng nhiệt độ tại vùng làm việc cao nên gây biến dạng nhiệt.

## **Ứng dụng**

Có thể sử dụng phương pháp này trong một số trường hợp sau:

- Biên cứng bề mặt chi tiết làm tăng khả năng mài mòn
- Chế tạo và phục hồi các khuôn dập đã tôi và khuôn bằng hợp kim cứng
- Các lưới sàng, rây bằng cách gia công đồng thời các lỗ bằng điện cực rất mảnh
- Mài phẳng, mài tròn, mài sắc hoặc làm rộng lỗ
- Gia công các lỗ có đường kính nhỏ  $\varnothing 0,15\text{mm}$  của các vòi phun cao áp có năng suất cao (từ 15 đến 30s/chiếc), gia công lỗ sâu từ 60mm cho sai số  $5\mu\text{m}$ . Các lỗ  $\varnothing 0,05\text{mm} - 1\text{mm}$  với chiều sâu lớn như các lỗ làm mát trong cánh tuabin làm bằng hợp kim siêu cứng, các lỗ sâu với tỉ số chiều dài trên đường kính lên đến 67.
- Lấy các dụng cụ bị gãy và kẹp trong chi tiết (bulông, tarô...)
- Gia công khuôn mẫu và các chi tiết cần độ chính xác cao bằng vật liệu hợp kim cứng

## **Gia công điện cực**

Việc gia công điện cực đóng vai trò cực kỳ quan trọng trong gia công tia lửa điện. Độ chính xác gia công một mặt phụ thuộc vào độ chính xác của điện cực, mặt khác điện cực khi gia công bị hư hỏng do đó phải chỉnh lại cho phù hợp với vật gia công. Chi phí chế tạo ảnh hưởng lớn đến tính kinh tế của công nghệ.

Những phương pháp gia công chủ yếu là : cắt gọt, đúc (đúc chính xác), ép, cắt, phun kim loại, mạ điện phân.

+ Phương pháp cắt gọt: Nguyên lý cơ sở của việc gia công điện cực bằng cắt gọt là chế tạo vật có dạng lõi thường dễ hơn chế tạo lỗ của nó. Bên cạnh đó, dao cắt có thể chế tạo từ nhiều bộ phận đều cạnh, dễ gọt cắt. Với điện cực để khoan hoặc khoét, thì cần chú ý là khi gia công, để tránh sinh ra những đường gân dọc, vì những gân này sẽ in hình trên lỗ. Phương pháp cắt gọt chủ yếu dùng để gia công điện cực có hình dạng đơn giản, hoặc chúng chỉ sử dụng trong sản xuất đơn chiếc. Cần phải nói rằng, với phương pháp này thì không thể gia công chính xác điện cực bằng đồng hồ.

+ Ép : Chủ yếu sử dụng để gia công điện cực dùng trong gia công lỗ sâu. Trong phần lớn trường hợp người ta ép những điện cực mà sau này sẽ sử dụng để gia công một khuôn mới. Trường hợp gia công số lượng lớn điện cực, thì cũng có thể làm khuôn riêng cần phải chú ý đến độ cắt gọt của điện cực sau khi ép.

+ Phương pháp cắt dùng để chế tạo điện cực, bằng cách dùng một cái chày có sẵn để cắt từ tấm kim loại ra những miếng giống nhau; sau đó ghép chúng lại thành cây là tán

đình lại. Có thể dùng hóa chất để sửa chữa kích thước theo yêu cầu.

Trường hợp gia công lỗ phức tạp thì dùng loại điện cực chế tạo bằng công nghệ phun kim loại. Có thể làm nhiều khuôn bằng thạch cao từ một điện cực mẫu. Bằng phun kim loại lên khuôn thạch cao chúng ta có được điện cực. cần chú ý rằng bề sâu của lỗ không được lớn hơn hai lần bề rộng. Để tránh hiện tượng phát nóng quá mức, phải tiến hành phun kim loại từng bước. Mức độ chính xác bằng với điện cực làm bằng phương pháp ép. Điện cực được phun kim loại có độ xốp, do đó nếu dùng vật liệu đặc để chế tạo thì điện cực có độ mòn ít hơn.

Bằng công nghệ điện phân, có thể chế tạo điện cực có độ chính xác 0,01-0,02mm.

Nguyên lý của phương pháp này là điện phân, ví dụ đồng để làm đầy khuôn thạch cao. Vật liệu điện phân rất tinh, đó là điều có lợi. Không phải đầu tư nhiều công, bởi vì có thể tiến hành điện phân qua nhiều ngày mà không cần trông coi. Ở nước chúng ta thì công nghệ này ít phổ biến.

Chọn điện cực theo phương pháp khác :

Trong quá trình gia công tia lửa điện có nhiều khí sinh ra với số lượng lớn. Chất khí này có thể làm xấu quá trình gia công trong trường hợp gia công lỗ hoặc bộng sâu. Do đó phải làm lỗ thoát khí trên điện cực.

Trường hợp gia công lỗ dài, sâu, thì gắn điện cực trên thanh dẫn và từng giai đoạn thay đổi trên điện cực. Ưu điểm là dễ sửa chữa, dễ chỉnh, và mặc dầu lỗ dài không cần để nhú ra nhiều đầu điện cực, tức là không cần dùng tấm đệm dày. Ngoài ra có thể thay điện cực gia công thô và gia công tinh tiếp nhau với nhiều mức điều chỉnh như nhau. Có thể giảm đến tối thiểu độ ồn của thành lỗ hoặc bộng bằng điện cực có rãnh bậc thang. Phoi kim loại lọt vào rãnh vì thế nó không làm rộng lỗ ra. Chiều cao của vai thay đổi dần theo bậc thang. Chỉ có vai trước phải cắt gọt nhiều, còn những vai sau chỉ gọt đi vài phần trăm milimét. Độ ồn có thể giảm xuống 3’.

Một số đầu điều chỉnh. Có thể gia công một lần nhiều lỗ song song bằng điện cực nhóm mà vẫn có thể bảo đảm Vị trí chính xác... Để đảm bảo tiếp xúc tốt, người ta hàn những tấm điện cực trên một cam cặp.

- Như đã phân tích ở phần trên, việc xác định được độ mòn điện cực khi gia công bằng phương pháp xung tia lửa điện nhằm đạt được năng suất gia công cao mà vẫn đảm bảo được chất lượng gia công là nhiệm vụ hết sức cấp thiết. Vì vậy, trong khuôn khổ đề tài, tác giả chọn hướng nghiên cứu mòn điện cực trên hai vật liệu phổ biến nhất khi xung là graphit và đồng đỏ. Với các lý do trên, tác giả chọn đề tài: **“Nghiên cứu mòn của điện**

**cực khi xung định hình ngược thép SKD11 qua tôi.”**

- **Đối tượng nghiên cứu:** Mòn điện cực khi xung định hình ngược thép SKD11 qua tôi với điện cực là đồng đỏ.

- **Mục đích nghiên cứu:**

+ Xác định mức độ mòn của vật liệu điện cực là đồng đỏ khi xung định hình ngược thép SKD11 qua tôi.

+ Đưa ra lời khuyên về chọn vật liệu điện cực khi xung chày dập viên định hình bằng thép SKD11 qua tôi.

### **Kết luận chương I**

- Phương pháp gia công tia lửa điện là phương pháp gia công tiên tiến với nhiều đặc điểm ưu việt cho gia công khuôn mẫu. Chính vì vậy việc nghiên cứu để nâng cao năng suất, chất lượng gia công xung tia lửa điện đã và đang được các nhà khoa học quan tâm nghiên cứu.

- Các nghiên cứu nâng cao chất lượng bề mặt gia công bằng tia lửa điện tập trung vào những hướng sau: xác định trị số hợp lý của các thông số gia công khi sử dụng các vật liệu điện cực thông dụng như graphit, Cu, Al, Cu-W, Ag-W...; sử dụng vật liệu điện cực đặc biệt (kim loại hoặc hợp kim đặc biệt); trộn bột kim loại hoặc hợp kim vào chất điện môi...

- Việc xác định mức độ mòn điện cực khi xung định hình ngược thép SKD11 qua tôi là nhiệm vụ hết sức cấp thiết và đã được chọn là nội dung nghiên cứu của đề tài này.

## CHƯƠNG II

### THIẾT KẾ THÍ NGHIỆM XÁC ĐỊNH ĐỘ MÒN CỦA ĐIỆN CỰC KHÍ XUNG

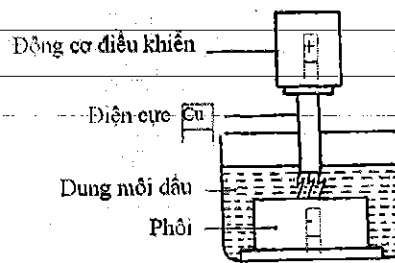
#### 2.1. Mục đích của thí nghiệm

Nghiên cứu mòn của điện cực đồng khí xung định hình ngược thép SKD11 qua tôi.

#### 2.2. Mô tả hệ thống thí nghiệm

##### a) Sơ đồ thí nghiệm

Sơ đồ thực hiện thí nghiệm thể hiện trên hình 2.1. Dụng cụ gia công (điện cực) và Phôi đều được ngâm trong dung dịch điện môi. Quá trình phân cực khí gia công là phân cực ngược (điện cực phân cực dương (+) – phôi phân cực âm (-)).



**Hình 2.1. Sơ đồ thí nghiệm**

##### b) Máy thí nghiệm

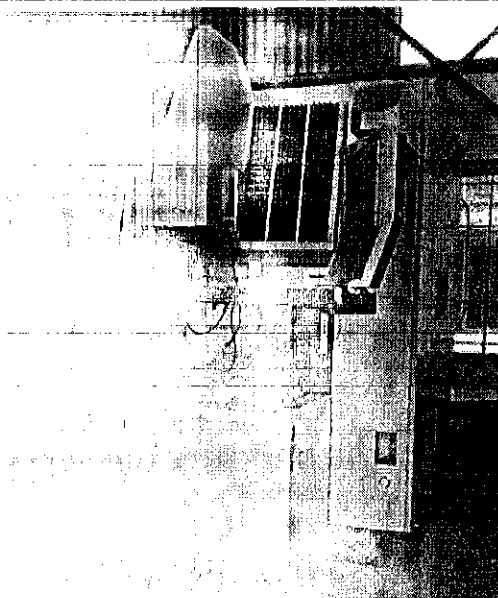
###### - Máy dùng làm thí nghiệm:

Máy xung CNC-AG40L của Hãng Sodick – Nhật Bản là máy xung điện công nghiệp hiện đang được sử dụng ở phòng thí nghiệm – Trường ĐH Kỹ Thuật Công Nghiệp, Thái Nguyên.

###### - Đặc tính kỹ thuật của máy:

Hành trình X, Y, Z (mm)	400 x 300 x 270 mm
Kích thước bàn đá Ceramic (mm)	600 x 400 mm
Kích thước tank làm việc (mm)	750 x 620 x 350 mm
Mức điện môi (min~max, mm)	100 ~ 300
Khối lượng máy (kg)	550
Khối lượng điện cực (kg)	50
Khoảng cách bàn tới gầm bàn (mm)	830

Kích thước máy (mm) (WxDxH)	1550 x 2410 x 2330 mm
Độ phân giải (mm)	0.0001
Khối lượng máy (kg)	3900 kg
Số lượng trục điều khiển	4
Áp suất khí nén (Mpa)	0.65 Mpa
<b>Trục C (option)</b>	
Độ phân giải	0.001°
Tốc độ vòng quay (min-max rpm)	2~20
<b>Tank điện môi</b>	
Kích thước mở rộng (WxDxH, mm)	-
Khối lượng khi không có dầu (kg)	-
Chất điện môi	dầu
Dung tích (l)	190 lít
Phương pháp lọc	Bằng giấy lọc MF-2400



Hình 2. Máy xung CNC – AG40L



**c) Vật liệu thí nghiệm**

Thép SKD11 là loại thép hợp kim được sử dụng rất phổ biến để làm khuôn dập, khuôn ép, cối dập thuốc, dụng cụ cắt gọt như mũi khoan ... nhờ tính tôi và thấm tôi tốt, chi tiết sau khi tôi ít bị cong vênh, biến dạng. Đây là vật liệu có sự phân bố cacbit đồng đều trên toàn tiết diện. Điều này cho phép sử dụng nó để chế tạo dụng cụ có kích thước lớn, các dụng cụ có profin không mài lại sau nhiệt luyện, các dụng cụ gia công ren – đặc biệt là ren bước nhỏ. Thêm vào đó, vật liệu này có sự tổ hợp hợp lý các nguyên tố hợp kim (chủ yếu là silic, crom, mangan) và có sự phân bố đồng đều cacbit nên tính bền nóng của nó có thể đến 250<sup>o</sup>.

Bảng 2.1 trình bày thành phần hóa học và bảng 2.2 trình bày chế độ nhiệt luyện thép SKD11.

**Bảng 2.1: Thành phần hóa học các nguyên tố.**

Mác vật liệu	Thành phần hóa học (%)										
	C	Si	Mn	P≤	S≤	Cr≤	Mo≤	Ni≤	V≤	W≤	Nguyên tố khác
SKD11	0.85~0.95	1.00	0.20	0.03	0.03	0.95-1.25	0.2	0.35	0.15	0.2	Cu≤0.3; Ti≤0.03

**Bảng 2.2: Chế độ nhiệt luyện.**

Mác thép	Nhiệt ủ (°C)	Độ cứng trước tôi (HRC)	Tôi (°C)	Làm nguội	Độ cứng sau tôi (HRC)	Ram (°C)	Độ cứng sau ram (HRC)
SKD11	790~810	20~30	850~880	Dầu	65~61	150~200	65~63
						200~300	63~59
						300~400	59~54
						400~500	54~47
						500~600	47~39

- **Hình dáng phôi:** Hình 2.1 thể hiện các phôi được sử dụng để làm thí nghiệm. Để thuận tiện cho chế tạo, phôi có thể gia công bằng phương pháp đúc. Phôi này sau khi xung sẽ có hình then bằng đầu tròn.



**Hình 2.3. Hình dáng mẫu thí nghiệm**

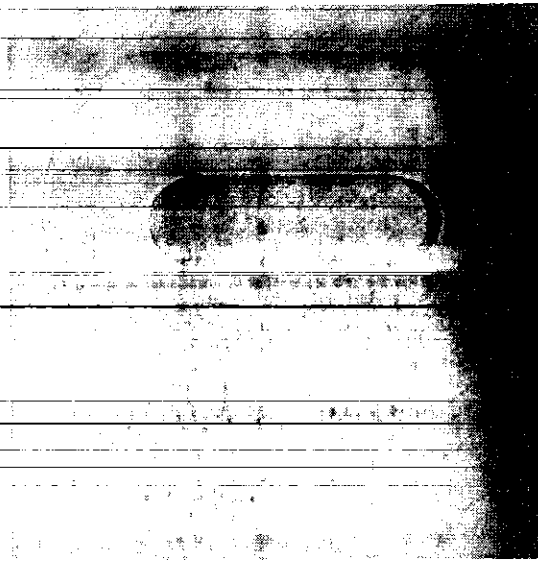
**d) Điện cực dụng cụ**

Vật liệu điện cực sử dụng trong các thí nghiệm là đồng đỏ. Đây là các vật liệu phổ biến nhất trong xung quanh. Bảng 2.3 nêu ra bảy những thông số cơ bản của các vật liệu này như thành phần hóa học, điện trở suất, khối lượng riêng, nhiệt độ nóng chảy...

- Số lượng điện cực:
- Hình dáng và kích thước của điện cực dụng cụ phụ thuộc vào hình dáng và kích thước chày đập thuốc. Hình dáng của điện cực dụng cụ trong thí nghiệm được mô tả trên hình 2.5.

**Bảng 2.3. Thành phần hóa học (%) và các thông số cơ bản của đồng đỏ**

TT	Thông số (đơn vị)	Cu
1	Thành phần hóa học (%)	99.78
2	Điện trở suất ( $\mu\Omega.m$ )	9
3	Nhiệt độ nóng chảy ( $^{\circ}C$ )	1083
4	Khối lượng riêng ( $g/cm^3$ )	8.96
5	Điểm sôi ( $^{\circ}C$ )	100
6	Điểm sôi ( $^{\circ}C$ )	-



**e) Dung dịch điện môi**

Dung dịch điện môi là chất lỏng (hoặc chất điện môi) UNITRANS OIL của hãng ELECTROL. Đặc tính kỹ thuật của dung dịch điện môi được trình bày trong bảng 2.4.

**Bảng 2.4. Chỉ tiêu kỹ thuật của dung dịch điện môi**

TT	Chỉ tiêu kỹ thuật	Chỉ số
1	Tỷ trọng ở 20 °C (air. ) (kg/l)	0,89
2	Nhiệt độ chớp nháy (max) (°C)	140
3	Nhiệt độ đông đặc (max) (°C)	-30
5	Điện áp đánh lửa (kV) (MV)	45
6	Độ nhớt động học ở 40 °C (max) (cST)	16,5
7	Hệ số giãn nở thể tích (1/°C)	0,005

**f) Thiết bị đo lường và dụng cụ thí nghiệm**

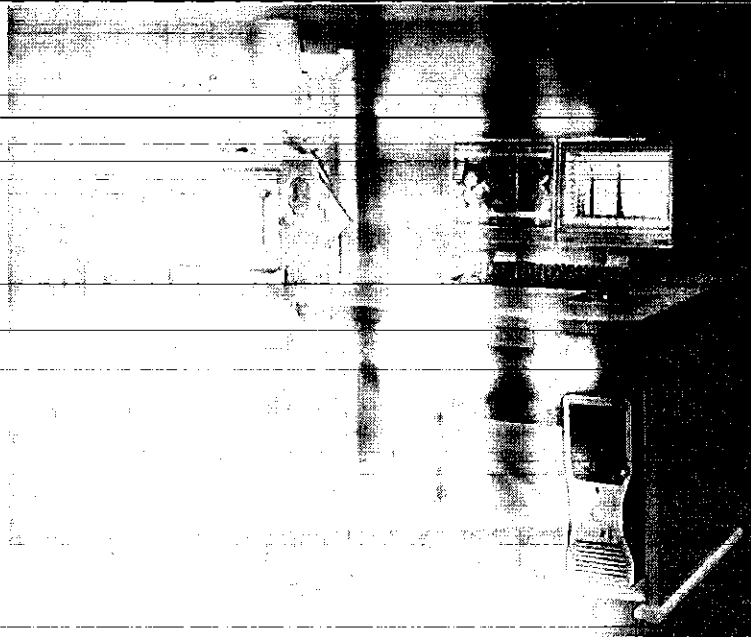
**1. Máy đo độ ẩm ẩm**

Độ nhám bề mặt của dầu (Ra, Rz) được đo bằng máy đo biên dạng kiểu đầu dò tiếp xúc SJ-301 (Hãng sản xuất: Mitutoyo, Nhật). Chiều dài chuẩn sử dụng cho mỗi lần đo là

5mm, thực hiện 3 lần đo trên mỗi mẫu thí nghiệm và kết quả độ nhám là giá trị trung bình của mỗi lần đo.

## 2. Máy chụp hình thái bề mặt (SEM)

Khảo sát hình thái bề mặt gia công (SEM) bằng kính hiển vi điện tử quét Jeol 6490 JED2300 (Hãng JEOL - JAPAN).



Hình 1. Máy chụp hình thái bề mặt SEM 490 JED2300

Đã xây dựng phòng thí nghiệm để nghiên cứu ảnh hưởng của vật liệu điện cực đến độ nhám bề mặt của các điện cực chế tạo bằng thép SKD11 của công nghệ mạ điện. Các thiết bị thí nghiệm được sử dụng trong phòng thí nghiệm có độ tin cậy cao.

### CHƯƠNG III

## NGHIÊN CỨU ĐỘ MÒN ĐIỆN CỰC KHI XUNG ĐỊNH HÌNH NGƯỢC THÉP SKD11 QUA TÔI

### 3.1 Thiết kế thí nghiệm

Mục tiêu của phần này là xây dựng thí nghiệm nghiên cứu độ mòn của điện cực khi xung định hình ngược chày đập thuốc viên bằng thép SKD11 qua tôi.

### 3.2 Các giả thiết của thí nghiệm

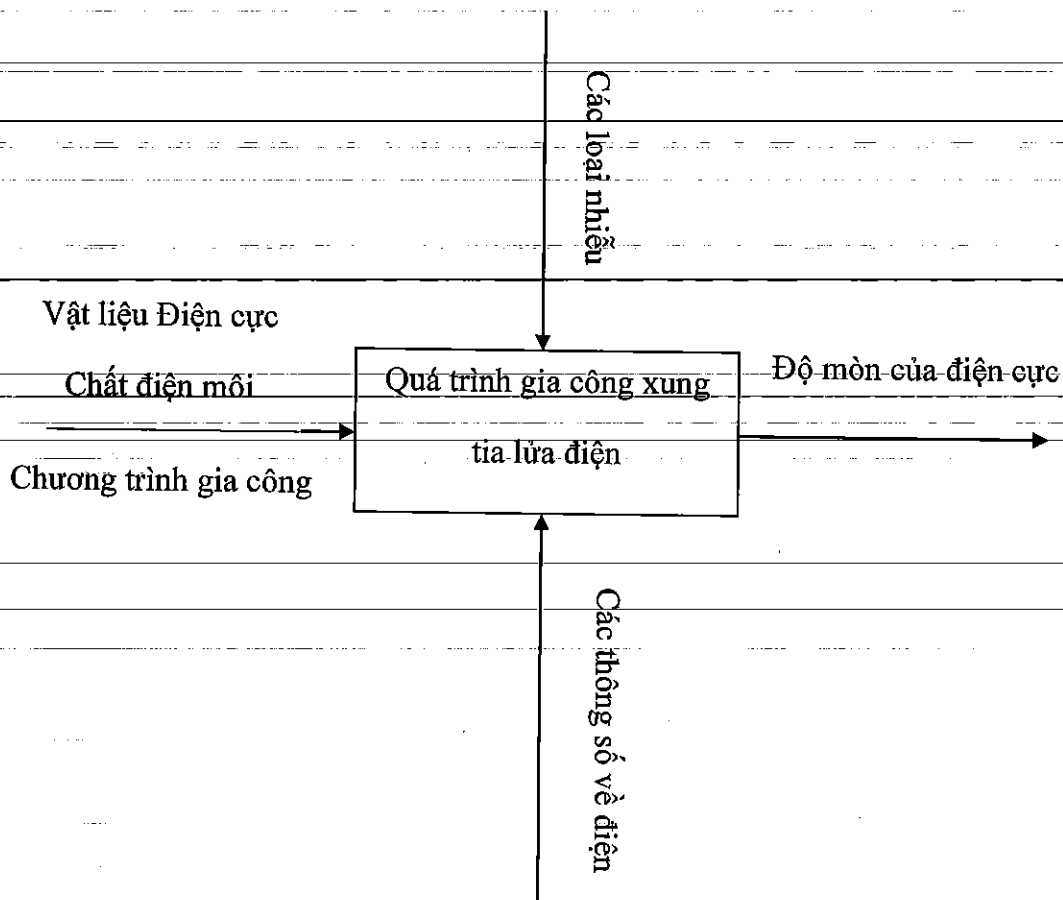
Thí nghiệm được xây dựng theo những giả thiết sau:

- Chất lượng chất dung môi và điều kiện dòng chảy chất điện môi trong tất cả các thí nghiệm là như nhau.
- Nhiệt độ môi trường thí nghiệm luôn luôn ổn định và bằng nhiệt độ trong phòng gia công.
- Tổng hợp các nhiễu ảnh hưởng tới độ chính xác kích thước là ổn định và không thay đổi trong suốt quá trình thực hiện thí nghiệm.

### 3.3 Xây dựng mô hình nghiên cứu độ mòn của điện cực khi xung định hình ngược thép SKD11 sau khi tôi.

#### 3.3.1. Mô hình định tính của quá trình xung tia lửa điện.

Quá trình xung tia lửa điện có thể mô tả gồm các thông số đầu vào là các thông số về điện như dòng điện cực, điện áp xung, độ bão hòa dài xung  $t_1$ , khoảng cách xung  $t_0$  ... và các thông số điện cực như góc điện cực, độ bóng bề mặt gia công và các loại nhiễu trong quá trình gia công. Kết quả là độ mòn điện cực sau khi xung. Quá trình này có thể mô hình hóa như sau:



**Hình 3.1: Mô hình hóa quá trình gia công tia lửa điện.**

Trong toán học, thuật ngữ **tối ưu hóa** dùng để chỉ việc nghiên cứu các bài toán có dạng:

*Cho trước:* một hàm  $f: A \rightarrow \mathbf{R}$  từ tập hợp  $A$  tới tập số thực

*Tìm:* một phần tử  $x_0$  thuộc  $A$  sao cho  $f(x_0) \leq f(x)$  với mọi  $x$  thuộc  $A$  ("cực tiểu hóa") hoặc sao cho  $f(x_0) \geq f(x)$  với mọi  $x$  thuộc  $A$  ("cực đại hóa").

Một phát biểu bài toán như vậy còn được gọi là một **quy hoạch toán học** (*mathematical program*). Nhiều bài toán thực tế và lý thuyết có thể được mô hình theo cách tổng quát trên.

Miền xác định  $A$  của hàm  $f$  được gọi là **không gian tìm kiếm**. Thông thường,  $A$  là một tập con của không gian Euclid  $\mathbf{R}^n$ , thường được xác định bởi một tập các *ràng buộc*, các đẳng thức hay bất đẳng thức mà các thành viên của  $A$  phải thỏa mãn. Các phần tử của  $A$  được gọi là các *lời giải khả thi*. Hàm  $f$  được gọi là **hàm mục tiêu**, hoặc **hàm chi phí**.

Lời giải khả thi nào cực tiểu hóa (hoặc cực đại hóa, nếu đó là mục đích) hàm mục tiêu được gọi là lời giải tối ưu.

Thông thường, sẽ có một vài cực tiểu địa phương và cực đại địa phương, trong đó một cực tiểu địa phương  $\mathbf{x}^*$  được định nghĩa là một điểm thỏa mãn điều kiện:

với giá trị  $\delta > 0$  nào đó và với mọi giá trị  $\mathbf{x}$  sao cho:

$$\|\mathbf{x} - \mathbf{x}^*\| \leq \delta,$$

công thức sau luôn đúng:

$$f(\mathbf{x}^*) \leq f(\mathbf{x})$$

Nghĩa là, tại vùng xung quanh  $\mathbf{x}^*$ , mọi giá trị của hàm đều lớn hơn hoặc bằng giá trị tại điểm đó. Cực đại địa phương được định nghĩa tương tự. Thông thường, việc tìm cực tiểu địa phương là dễ dàng – cần thêm các thông tin về bài toán (chẳng hạn, hàm mục tiêu là hàm lồi) để đảm bảo rằng lời giải tìm được là cực tiểu toàn cục.

Trên thực tế có nhiều phương pháp tối ưu hóa. Trong đó các phương pháp thông dụng gồm:

- Phương pháp leo đồi ngẫu nhiên (Random-restart hill climbing)
- Phương pháp luyện thép (*simulated annealing*)
- Dò tìm ngẫu nhiên (Stochastic tunneling)
- Phương pháp giải thuật di truyền
- Phương pháp chiến lược tiến hóa
- Phương pháp tối ưu hóa bầy đàn (Particle swarm optimization)
- Phương pháp bề mặt chỉ tiêu (Response Surface Methodology – RSM)

Đối với các phương pháp gia công cắt gọt, hàm mục tiêu và các hàm giới hạn thường được xây dựng dưới dạng các hàm số phụ thuộc vào các thông số chế độ cắt cần tối ưu.

Hàm mục tiêu biểu diễn mối quan hệ giữa các chỉ tiêu cần tối ưu với các thông số công nghệ cần tối ưu. Thông thường, mục tiêu kinh tế, mà trước hết là chi phí gia công và thời gian gia công chính là các chỉ tiêu cần tối ưu. Theo quan điểm này, các chỉ tiêu tối ưu có thể là:

- Giá thành gia công chi tiết là nhỏ nhất;
- Thời gian gia công chi tiết nhỏ nhất;
- Sự tổ hợp giữa giá thành và thời gian nhỏ nhất;
- Năng suất gia công là lớn nhất;
- Lợi nhuận của quá trình gia công là lớn nhất.

Tuy nhiên, trong thực tiễn theo yêu cầu kỹ thuật làm việc của chi tiết và yêu cầu của khách hàng, chỉ tiêu tối ưu mà đề tài này phải giải quyết là:

- Độ nhám mòn điện cực sau gia công là thấp nhất.

Với các giới hạn về trị số thời gian đóng xung ( $T_{on}$ ), thời gian ngắt xung ( $T_{off}$ ) và  $S_v$  nhỏ nhất và lớn nhất trong phạm vi thực tế của máy xung hiện có, vật liệu gia công là thép SKD11 đã tôi với độ cứng HRC(55-60), nhóm đề tài có thể sử dụng khi nghiên cứu thực nghiệm.

Với quan điểm này, hàm mục tiêu để thực hiện quá trình tối ưu khi này là quan hệ giữa nhám bề mặt, năng suất gia công với các thông số  $T_{on}$ ,  $T_{off}$ ,  $U$ :

$$Ra = f(T_{on}, T_{off}, U) (*)$$

$$\text{Với: } 1\mu s \leq T_{on} \leq 2\mu s$$

$$15\mu s \leq T_{off} \leq 25\mu s$$

$$40v \leq U \leq 50v$$

$$V = f(T_{on}, T_{off}, U) (**)$$

$$\text{Với: } 1\mu s \leq T_{on} \leq 2\mu s$$

$$15\mu s \leq T_{off} \leq 25\mu s$$

$$40v \leq U \leq 50v$$

Trong phạm vi của đề tài này, tác giả sẽ sử dụng phương pháp bề mặt chỉ tiêu để tối ưu hóa thông số công nghệ trong gia công xung tia lửa điện thép SKD11 sau khi tôi.

Nội dung chính của RSM là sử dụng một chuỗi thí nghiệm được thiết kế với các mục đích sau:

- Chỉ ra tập giá trị đầu vào (điều kiện vận hành, thực thi) sao cho tạo ra ứng xử của đối tượng nghiên cứu là tốt nhất;

- Tìm kiếm các giá trị biến đầu vào nhằm đạt được các yêu cầu cụ thể về ứng xử của đối tượng nghiên cứu;

- Xác định điều kiện vận hành mới đảm bảo cải thiện chất lượng hoạt động của đối tượng so với tình trạng cũ;

- Mô tả hóa quan hệ giữa các biến đầu vào với ứng xử của đối tượng nghiên cứu, dùng làm cơ sở để dự đoán hay điều khiển quá trình hay hệ thống.

Để đạt được các mục đích trên, phương pháp RSM thực hiện hàm mô tả bề mặt chỉ tiêu (Response Surface) phụ thuộc các thông số đầu vào.

- Một tiến trình tự nhiên của RSM thường bao gồm các bước sau đây:



theo nó nhám bề mặt sẽ tăng lên. Trong thực nghiệm ta chọn  $T_{on}$  nằm trong khoảng  $6\mu s \leq T_{on} \leq 14\mu s$

- Khoảng cách xung  $T_{off}$  (off time): Đây là tham số có ảnh hưởng không nhỏ đến năng suất, chất lượng bề mặt cũng như độ chính xác kích thước. Khi khoảng cách xung càng lớn thì lượng hót vật liệu phôi càng nhỏ và ngược lại. Tuy nhiên, nếu khoảng cách xung phải đủ lớn để dung dịch chất điện môi có đủ thời gian thôi ion hóa và dòng chảy điện môi có đủ thời gian vận chuyển hết phoi ra khỏi vùng gia công cũng như làm nguội bề mặt gia công. Trong thực nghiệm ta chọn  $T_{off}$  nằm trong khoảng  $14\mu s < T_{off} < 30\mu s$

- Vật liệu gia công: Vật liệu gia công có ảnh hưởng lớn độ chính xác gia công, năng suất cũng như chất lượng bề mặt gia công. Ở đây tác giả chọn vật liệu thường dùng trong chế tạo khuôn mẫu, dụng cụ... để nghiên cứu đó là thép SKD11 có kích thước  $23,5 \times 8,5 \times 15$ (mm) đã được gia công.

- Điện cực và dòng chảy chất điện môi: Để tập trung nghiên cứu ảnh hưởng của các thông số công nghệ  $T_{on}$ ,  $T_{off}$ ,  $S_v$ ,  $I$  đến độ mòn và độ nhám. Ở đây tác giả tiến hành các thí nghiệm với điện cực đồng đỏ (Cu), được ngâm trong dung dịch điện môi. Các điều kiện này phù hợp với điều kiện thực tế tại phòng thí nghiệm. Bảng 3.1 thể hiện phạm vi khảo sát các biến thực nghiệm:

**Bảng 3.1 Phạm vi khảo sát các biến thực nghiệm:**

Biến \ Mức	Mức	Mức	Mức
	1	2	3
Mã hóa	-1	0	+1
$S_v$	3	4	5
Độ kéo dài xung $T_{on}$ (on time):	6	10	14
Khoảng cách xung $T_{off}$ (off time):	14	21	30
Cường độ dòng điện $I$	6	9	12

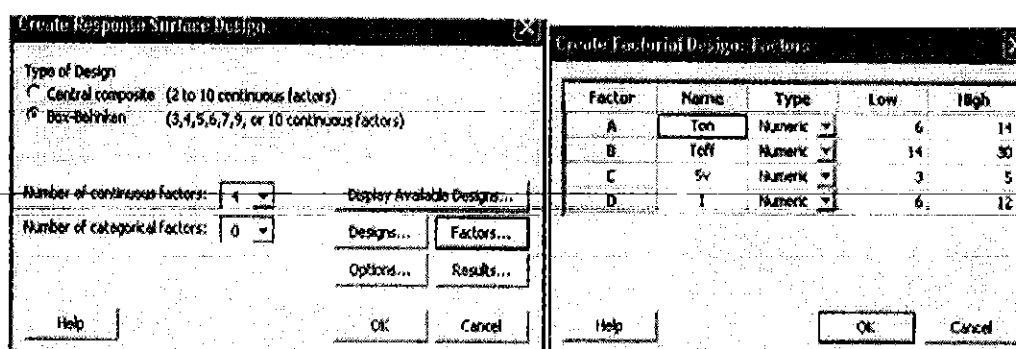
### 3.4. Ảnh hưởng của các thông số gia công đến độ mòn điện cực.

Để khảo sát chi tiết ảnh hưởng của các thông số thí nghiệm đến hàm mục tiêu, một phương pháp thực nghiệm “bề mặt chi tiêu” (Response Surface Methodology-RSM) đã

được áp dụng. Phương pháp bề mặt chỉ tiêu (RSM) là cách thức khảo sát và tìm vùng cực trị hoặc vùng đáp ứng các giá trị xác định cho hàm mục tiêu bằng cách xây dựng các bề mặt chỉ tiêu. Kế hoạch thực nghiệm Box-Behnken dạng tâm xoay-mặt (Face-centered Design) được lựa chọn do các ưu việt của nó, bao gồm:

- Số điểm thí nghiệm cho mỗi thông số là 5, đủ mịn để xây dựng hàm hồi quy bậc cao cho quan hệ vào-ra;
- Số thí nghiệm cho mỗi lần lặp ít;
- Không có điểm thí nghiệm vượt ra ngoài khoảng giữa hai mức đã thiết lập cho mỗi biến. Nguyên nhân là do RSM được thiết kế với mục đích tối ưu hóa, nhưng vị trí điểm cực trị lại chưa biết trước. Thiết kế tâm xoay-mặt đảm bảo cơ hội ngang bằng cho các dự đoán về vị trí điểm cực trị theo mọi phương.

Phần mềm Minitab được chọn để xây dựng kế hoạch thí nghiệm và phân tích số liệu. Cách thức khai báo các biến thí nghiệm cho bước khởi tạo kế hoạch thí nghiệm được minh họa trên hình 3.2



**Hình 3.2 Khai báo biến thí nghiệm cho thiết kế Box-Behnken**

Trên hình 3.2, ta khai báo các giá trị giới hạn cho vùng khảo sát cho mỗi biến thí nghiệm. Thông số Độ kéo dài xung  $T_{on}$  được gán cho biến A (Factor A), có tên (Name) được đặt là  $T_{on}$ , giá trị dưới (Low) là 6; giá trị trên (High) là 14. Tương tự như vậy cho biến B, được gán cho thông số khoảng cách xung  $T_{off}$  (off time); biến C được gán cho thông số Sv. Biến D được gán cho thông số I. Kết quả ma trận thí nghiệm thu được được trình bày trong bảng 3.2

Trong bảng 3.2, cột thứ nhất, StdOrder hiển thị thứ tự các thí nghiệm theo “tiến trình chuẩn” (Standard Order). Tiến trình chuẩn là thứ tự các thí nghiệm được xác lập theo lý thuyết quy hoạch thực nghiệm. Để đảm bảo nguyên tắc ngẫu nhiên hóa, ta thực hiện các thí nghiệm theo thứ tự được liệt kê trong cột RunOrder. Cột PtType cho biết

thông tin về dạng điểm thí nghiệm (Point Type). Giá trị 0 cho biết, điểm thí nghiệm là điểm nằm ở tâm thí nghiệm CCD; các giá trị 2 cho biết các điểm thí nghiệm tương ứng là điểm nằm ở góc thiết kế thí nghiệm (các thông số có giá trị giới hạn như đã xác lập). Các điểm thí nghiệm này nằm cách tâm thí nghiệm (điểm 0) một khoảng  $\alpha=1$ , được xác định nhằm đảm bảo tính chất “xoay được” của thiết kế Box-Behnken.

Toàn bộ 27 thí nghiệm có thể thực hiện trong cùng một ca máy, trong điều kiện gia công như nhau. Ta đã xác lập số khối thí nghiệm bằng 1. Do vậy, cột Blocks trong bảng 3.2 có giá trị các ô như nhau và bằng 1.

Các cột  $T_{on}$  ( $\mu s$ ),  $T_{off}$  ( $\mu s$ ),  $S$  (v),  $I$  có tên là tên biến thí nghiệm đã khai báo. Các giá trị trong cột này được tính toán theo mức xác lập cho các biến tại từng điểm thí nghiệm.

Bảng kế hoạch 3.2 có 27 hàng, tức là ta cần thực hiện ít nhất 27 thí nghiệm theo thứ tự đã liệt kê trong cột RunOrder. Mỗi thí nghiệm có các biến  $T_{on}$ ,  $T_{off}$ ,  $Sv$ ,  $I$  được xác lập theo giá trị đã ghi trong ô tương ứng của các cột  $T_{on}$ ,  $T_{off}$ ,  $Sv$ ,  $I$  trong bảng 3.2.

Lần lượt tiến hành các thí nghiệm với từng loại điện cực, thu thập kết quả và ghi lại giá trị vào cột bổ xung của bảng thí nghiệm đã có, ta thu được kết quả như trình bày trong bảng 3.3; 3.4.

Việc xác định độ mòn được đo tại các điểm trên bề mặt điện cực và tính độ mòn bằng giá trị trung bình.

**Bảng 3.2. Kế hoạch thí nghiệm tối ưu hóa độ mòn điện cực theo các thông số  $T_{on}$ ,  $T_{off}$ ,  $Sv$ ,  $I$ .**

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
	StdOrder	RunOrder	PCType	Blocks	Ton	Tonf	Sv	J
1	22	1	2	1	10	30	4	6
2	24	2	2	1	10	30	4	12
3	10	3	2	1	14	21	5	6
4	20	4	2	1	14	21	5	9
5	2	5	2	1	14	14	4	12
6	6	6	2	1	10	21	5	6
7	27	7	0	1	10	21	4	9
8	17	8	2	1	6	21	4	9
9	26	9	0	1	10	21	3	9
10	19	10	2	1	6	21	6	9
11	25	11	0	1	10	21	4	12
12	11	12	2	1	6	21	4	12
13	3	13	2	1	6	30	5	12
14	16	14	2	1	10	30	5	9
15	23	15	2	1	10	14	4	12
16	15	16	2	1	10	14	5	9
17	13	17	2	1	10	14	3	9
18	4	18	2	1	14	30	3	9
19	9	19	2	1	6	21	4	6
20	5	20	2	1	10	21	3	6
21	8	21	2	1	10	21	6	12
22	12	22	2	1	14	21	4	12
23	14	23	2	1	10	30	3	9
24	21	24	2	1	10	14	4	6
25	1	25	2	1	6	14	3	6
26	7	26	2	1	10	21	3	12
27	18	27	2	1	14	21	3	9

### 3.4.1 Mòn điện cực trong quá trình xung tia lửa điện

Độ tăng kích thước điện cực

$$\Delta\phi_c = \phi_{dc} \text{ sau xung} - \phi_{dc} \text{ trước xung}$$

Trong đó:

$\Delta\phi_c$ : độ tăng kích thước điện cực (mm)

$\phi_{dc}$  trước xung: đường kính điện cực trước xung (mm)

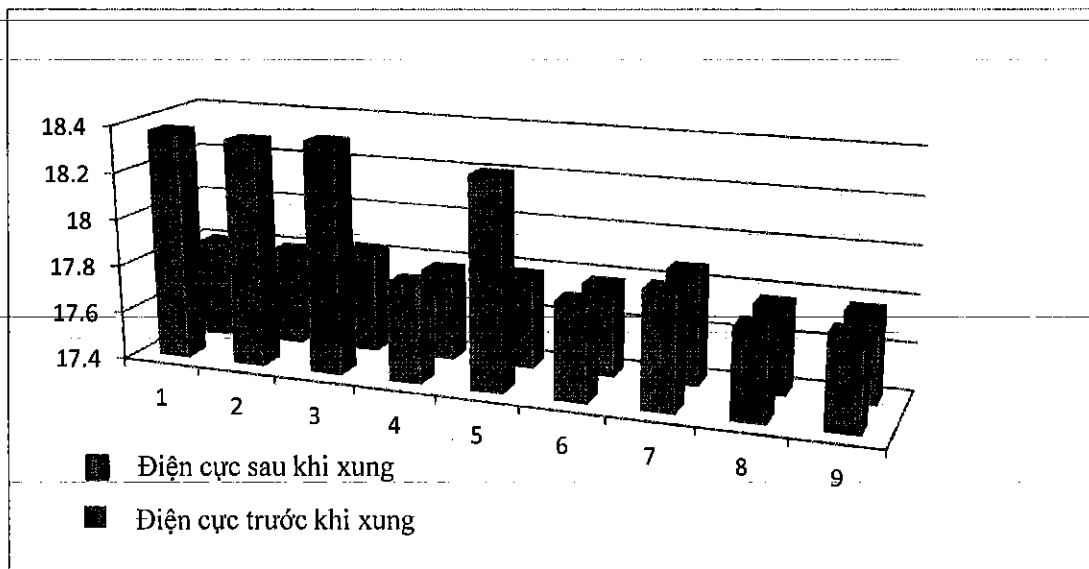
$\phi_{dc}$  sau xung: đường kính điện cực sau xung (mm)

**Bảng 3.3 Kích thước của điện cực trước và sau khi xung**

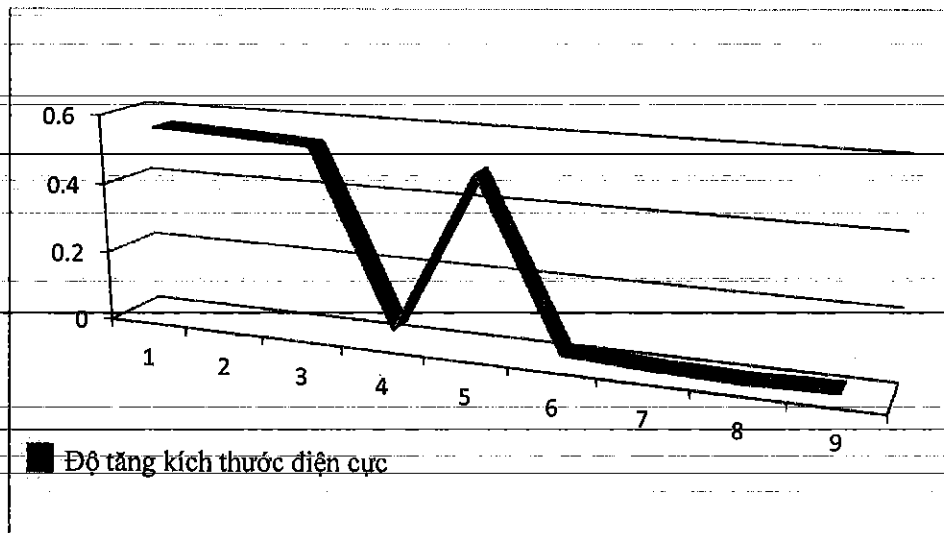
ST	Điện cực Cu		
	$\phi_{dc}$ trước	$\phi_{dc}$ sau	$\Delta\phi_c$
1	17.8104	18.3712	0.5608
2	17.8026	18.3542	0.5516
3	17.8340	18.3721	0.5381
4	17.7785	17.8172	0.0387
5	17.7876	18.2852	0.4976
6	17.7831	17.8078	0.0247

7	17.8770	17.8896	0.0126
8	17.7705	17.7772	0.0067
9	17.7753	17.7878	0.0125

Run order	T.on	T.off	IP	SV	Điện cực số	Thời	TQ xung (phút)	Chiều dài xung (mm)	Tốc độ xung (mm/phút)	K.lượng điện cực trước xung (Gram)	K.lượng điện cực sau xung (gram)	K.lượng môn điện cực (gram)	Đường kính lỗ điện cực (mm)		Trên - dưới
													Sau xung	Trước xung	
1	6	14	6	3	10	1	321	40	0.124610592	69,452	68,627	0.825	18.3712	17.8104	-0.5608
2	6	21	9	4	9	2	1656	40	0.024154589	69,157	68,415	0.742	18.3542	17.8026	-0.5516
3	6	30	12	5	8	3	83	40	0.481927711	68,760	67,859	0.801	18.3721	17.8340	-0.5381
4	10	14	9	5	7	4	179	40	0.223463687	69,035	68,937	0.098	17.8172	17.7785	-0.0387
5	10	21	12	3	6	5	126	40	0.317460317	67,245	67,464	0.361	18.2852	17.7876	-0.4976
6	10	30	6	4	5	6	42	40	0.952380952	68,594	68,507	0.087	17.8078	17.7831	-0.0247
7	14	14	12	4	4	7	49	40	0.816326531	68,888	68,836	0.052	17.8896	17.8770	-0.0126
8	14	21	6	5	3	8	99	40	0.404040404	68,650	68,617	0.033	17.7772	17.7705	-0.0067
9	14	30	9	3	2	9	151	40	0.264900662	69,025	68,992	0.033	17.7878	17.7753	-0.0125



Hình 3.3 Kích thước điện cực Cu trước và sau



**Hình 3.4 Độ tăng kích thước của điện cực Cu**

### 3.4.2. Phân tích kết quả độ mòn điện cực đồng.

Việc phân tích số liệu thí nghiệm sử dụng phần mềm Minitab,

**Bảng 3.4 Giá trị độ mòn điện cực trung bình của ba lần lặp đã thực hiện.**

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
	StdOrder	RunOrder	PType	Blocks	Tot	Toff	Sv	I	YCC
1	22	1	2	1	10	30	4	6	0.0247
2	24	2	2	1	10	30	4	12	0.0345
3	10	3	2	1	14	21	5	6	0.0067
4	20	4	2	1	14	21	5	9	0.0083
5	2	5	2	1	14	14	4	12	0.0126
6	6	6	2	1	10	21	5	6	0.4523
7	27	7	0	1	10	21	4	9	0.4766
8	17	8	2	1	6	21	4	9	0.0516
9	26	9	0	1	10	21	3	9	0.4723
10	19	10	2	1	6	21	5	9	0.0588
11	25	11	0	1	10	21	4	12	0.4875
12	11	12	2	1	6	21	4	12	0.0632
13	3	13	2	1	6	30	5	12	0.5381
14	16	14	2	1	10	30	5	9	0.0354
15	23	15	2	1	10	14	4	12	0.0418
16	15	16	2	1	10	14	5	9	0.0367
17	13	17	2	1	10	14	3	9	0.0318
18	4	18	2	1	14	30	3	9	0.0125
19	9	19	2	1	6	21	4	6	0.0567
20	5	20	2	1	10	21	3	6	0.4521
21	8	21	2	1	10	21	5	12	0.3972
22	12	22	2	1	14	21	4	12	0.0094
23	14	23	2	1	10	30	3	9	0.0318
24	21	24	2	1	10	14	4	6	0.0469
25	1	25	2	1	6	14	3	6	0.5068
26	7	26	2	1	10	21	3	12	0.4976
27	18	27	2	1	14	21	3	9	0.0079

Trong Hình 3.4 cột YCC thống kê các giá trị đường kính lỗ điện cực, ứng với từng thí nghiệm đã được thực hiện. Để giảm bớt sai số, toàn bộ 27 thí nghiệm đã được lặp lại 3 lần. Sau khi thực hiện hết 27 thí nghiệm và ghi lại kết quả. 27 thí nghiệm khác cũng đã được thực hiện lại hai lần nữa. Để tiết kiệm không gian trình bày, kết quả đường kính lỗ điện cực trong hình 3.6 là giá trị trung bình của ba lần lặp đã thực hiện.

Sử dụng chức năng phân tích kết quả thí nghiệm (Analyze factoria Design) của phần mềm thiết kế thí nghiệm Minitab, thu được kết quả như trên hình 3.5.

## Coded Coefficients

Term	Effect	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant		0.1237	0.0974	1.27	0.001	
Ton	-0.1718	-0.0859	0.0539	-1.59	0.030	1.20
Toff	-0.0013	-0.0007	0.0501	-0.01	0.009	1.04
Sv	-0.0850	-0.0425	0.0440	-0.97	0.002	1.06
I	0.0644	0.0322	0.0450	0.72	0.001	1.10
Sv*Sv	0.3531	0.1765	0.0757	2.33	0.002	1.29
I*I	0.3201	0.1600	0.0734	2.18	0.001	1.21
Sv*I	0.1861	0.0931	0.0735	1.27	0.001	1.29

## Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	9	0.70757	0.078619	2.71	0.007
Linear	4	0.09675	0.024187	0.83	0.005
Ton	1	0.07375	0.073746	2.54	0.031
Toff	1	0.00000	0.000005	0.00	0.009
Sv	1	0.02717	0.027169	0.94	0.021
I	1	0.01491	0.014915	0.51	0.003
Square	4	0.53126	0.132816	4.57	0.011
Sv*Sv	1	0.15793	0.157934	5.44	0.032
I*I	1	0.13793	0.137933	4.75	0.044
2-Way Interaction	1	0.04658	0.046576	1.60	0.003
Sv*I	1	0.04658	0.046576	1.60	0.023
Error	17	0.49383	0.029050		
Total	26	1.20142			

## Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.170440	98.89%	97.13%	96.710%

**Hình 3.5 Phân tích kết quả tối ưu nhám bề mặt theo  $T_{on}$ ,  $T_{off}$ , I,  $S_v$  với điện cực Cu**

Quan sát kết quả phân tích phương sai (Analysis of Variance), nhận thấy thành phần bậc nhất (Linear) của mô hình hồi quy có ý nghĩa thống kê (giá trị p bằng 0,051; tương đương so với mức ý nghĩa thông thường là 0,05). Quan sát giá trị p của phân tích mức độ không phù hợp của mô hình (Lack-of-Fit), do giá trị p (bằng 0,871) lớn hơn nhiều so với mức thông thường (0,05), do vậy có thể kết luận là dạng mô hình hồi quy kiểu bậc 2 là phù hợp. Chấp nhận kết quả này, ta thu được phương trình hồi quy mô tả quan hệ giữa hàm mục tiêu độ mòn và các thông số đầu vào  $T_{on}$ ,  $T_{off}$ ,  $S_v$ , I như sau:

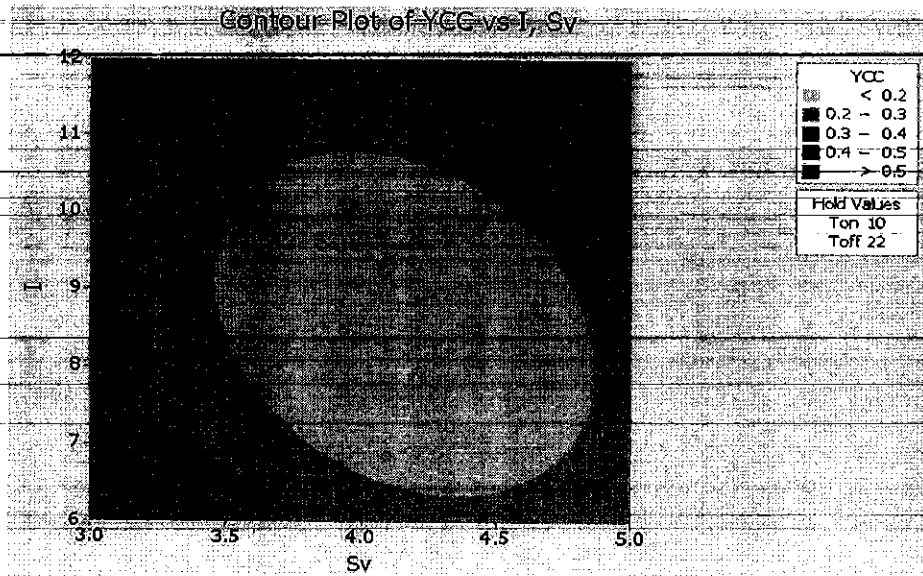
$$Y = 0,1237 - 0,0859 T_{on} - 0,0007 T_{off} - 0,0425 S_v + 0,0322 I + 0,0931 S_v I + 0,1765 S_v^2 + 0,1600 I^2$$

Từ quan hệ giữa Y với các thông số  $T_{on}$ ,  $T_{off}$ ,  $S_v$ , I ta thấy cường độ dòng điện I và  $S_v$  ảnh hưởng nhiều nhất đến độ mòn điện cực cả thành phần bậc 1 và bậc 2; Thời gian ngắt xung  $T_{off}$  và thời gian bật xung  $T_{on}$  có mức độ ảnh hưởng ít hơn.

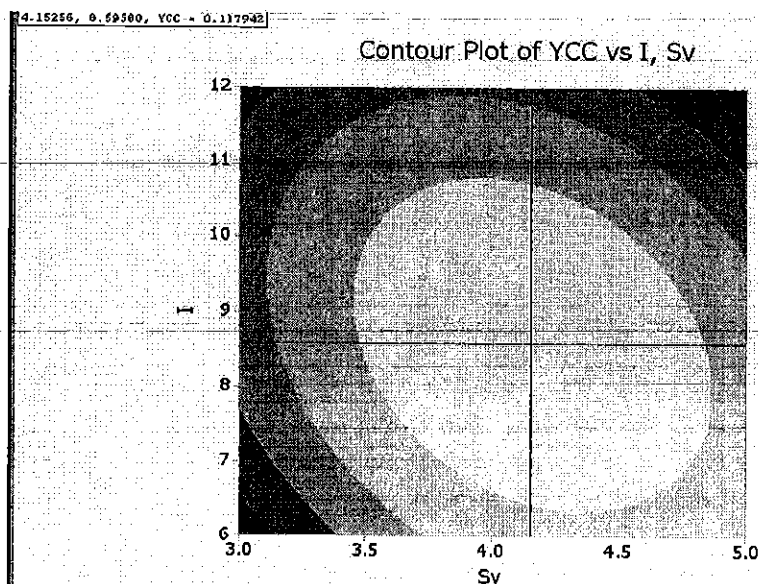


Kết quả này được biểu diễn dưới dạng “bề mặt chi tiêu” (Response surface) vì với hàm mục tiêu có nhiều hơn 2 biến ta chỉ có thể vẽ trên mỗi đồ thị cho hàm mục tiêu phụ thuộc và một cặp 2 biến. Do đó tác giả đã vẽ đồ thị ứng với hai biến có ảnh hưởng nhiều nhất tới hàm mục tiêu độ mòn điện cực là biến  $S_v$  và  $I$  như trên hình 3.6

**Hình 3.6 Đồ thị quan hệ nhám bề mặt phụ thuộc  $S_v$  và  $I$  với điện cực Cu**



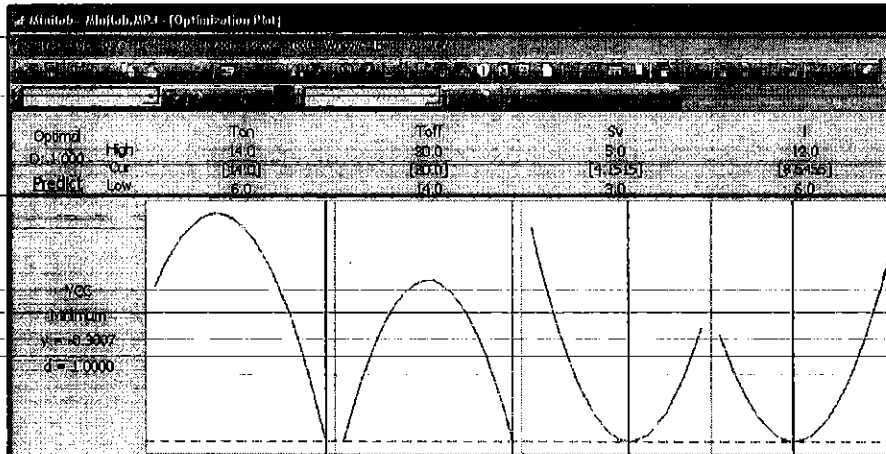
Từ đồ thị Contour Plot ta có thể tìm thấy điểm có giá trị YCC nhỏ nhất tương ứng với độ mòn ít nhất là:  $Y = 0,117942$



**Hình 3.7 Đồ thị contour Plot quan hệ độ mòn dụng cụ phụ thuộc  $S_v$  và  $I$  với điện cực Cu**

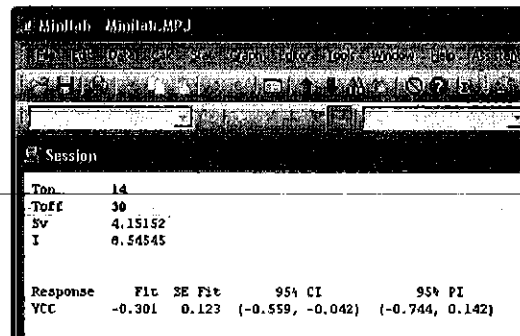
### 3.4.3 Tối ưu hóa đa mục tiêu

Đồ thị tối ưu với mục tiêu tối đa hóa độ mòn được trình bày trên các hình 3.15



Hình 3.8 Đồ thị tối ưu với mục tiêu tối ưu hóa độ mòn

Căn cứ các kết quả khảo sát, ta có thể chọn các thông số xung thỏa mãn độ mòn là ít nhất.



Quan sát đồ thị trên hình 3.8, ta thấy có thể lựa chọn các thông số cắt để đồng thời đạt được chỉ tiêu về nhám bề mặt và năng suất cắt. Khi đó, sẽ chọn thông số công nghệ tối ưu như sau:

$$T_{on} = 14 \mu s$$

$$T_{off} = 30 \mu s$$

$$S_v = 4,15152$$

$$I = 8.54545$$

### KẾT LUẬN CHƯƠNG III

Chương này đã tập trung vào nghiên cứu ảnh hưởng của các thông số đến độ mòn điện cực khi xung tia lửa điện thép SKD11 qua tôi. Tất cả các thí nghiệm được thực hiện tại trường Đại học Kỹ thuật Công nghiệp, Đại học Thái Nguyên. Kết quả thu được như sau:

- Đã xây dựng được mô hình định tính của quá trình gia công xuất phát từ các thông số đầu vào đến khi thực hiện và kết thúc quá trình;

- Đã tiến hành thực nghiệm thành công;

- Đã xây dựng được mối quan hệ giữa các thông số công nghệ ( $T_{on}$ ,  $T_{off}$ ,  $S_v$ ,  $I$ ) đến độ mòn điện cực khi gia công xung thép SKD11 sau khi tôi trên máy xung với điện cực Cu cụ thể như sau:

+ Khi xung với điện cực Cu

$$Y = 0,1237 - 0,0859 T_{on} - 0,0007T_{off} - 0,0425S_v + 0,0322I + 0,0931 S_v I + 0,1765 S_v^2 + 0,1600 I^2$$

- Đã tối ưu hóa đa mục tiêu tìm ra trị số các thông số ( $T_{on}$ ,  $T_{off}$ ,  $S_v$ ,  $I$ ) khi gia công đạt độ mòn nhỏ nhất  $Y = 0,3007$  mm là :

$$T_{on} = 14 \mu s$$

$$T_{off} = 30 \mu s$$

$$S_v = 4,15152$$

$$I = 8.54545 \text{ A}$$