

# Nghiên cứu ảnh hưởng của thời gian xung và thời gian ngừng xung đến năng suất và nhám bề mặt gia công thép SKD11 nhiệt luyện bằng xung định hình với điện cực graphit

Studying the influence of pulse-on time and the pulse-off time on productivity and surface roughness for the heat treatment of SKD11 steel using pulse shaping with graphite electrodes

Trương Chí Công<sup>1,\*</sup>, Nguyễn Việt Thao<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Khoa Cơ khí, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

<sup>2</sup>Trung tâm Hồng Hải, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

\*Email: [truongchicong@hau.edu.vn](mailto:truongchicong@hau.edu.vn)

Số điện thoại: 0868453639

---

## Tóm tắt

### Từ khóa:

Nhám bề mặt; Máy xung điện CM323C CHMER; Thép SKD11 nhiệt luyện; Thời gian xung; Thời gian ngừng xung.

Nội dung bài báo trình bày kết quả nghiên cứu ảnh hưởng của thời gian xung ( $T_{on}$ ) và thời gian ngừng xung ( $T_{of}$ ) khi sử dụng điện cực than chì trên máy xung điện CM323C CHMER đến năng suất và nhám bề mặt gia công đối với thép SKD11 nhiệt luyện. Bài báo đã xác định được các phương trình và các đồ thị thể hiện mối quan hệ giữa các thông số công nghệ với năng suất và nhám bề mặt. Kết quả nghiên cứu giúp người làm công nghệ có thể xác định được một bộ thông số để đảm bảo được năng suất và chất lượng chi tiết gia công theo yêu cầu.

## Abstract

### Keywords:

Roughness; CM323C CHMER electrical impulse generator; Steel material SKD11 heat treatment; The pulse-on time, The pulse-off time.

The paper presents the results of research of the influence of pulse on time ( $T_{on}$ ) and the pulse-off time ( $T_{of}$ ) when using graphite electrodes on the CM323C CHMER electrical pulse generator on productivity and surface roughness for heat-treated SKD11 steel. The paper identified equations and graphs that show the relationship between technological parameters, yield and surface roughness. Research results enable technicians to define a set of parameters ensuring the productivity and quality of the machined parts required.

Ngày nhận bài: 06/07/2018

Ngày nhận bài sửa: 05/9/2018

Ngày chấp nhận đăng: 15/9/2018

---

## 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong phương pháp gia công xung định hình ta thấy độ kéo dài xung của máy phát xung hay thời gian xung ( $T_{ON}$ ) và khoảng cách xung hay thời gian ngừng xung ( $T_{OF}$ ) là những tham số điều khiển có ảnh hưởng đến năng suất cắt và nhám bề mặt chi tiết gia công. Khi kéo dài xung  $T_{ON}$  lớn thì có lợi cho năng suất do lượng hót vật liệu cao, tuy nhiên bề mặt gia công lại thô (tương tự xảy ra với  $T_{OF}$  nhỏ). Ngoài ra, nếu khoảng cách xung  $T_{OF}$  quá nhỏ, có thể chất điện

môi sẽ không đủ thời gian để thổi ion hoá, phần tử vật liệu bóc tách do điện và nhiệt không kịp được đẩy ra khỏi vùng khe hở, điều đó có thể gây nên các lỗi phóng điện như ngắn mạch, phóng hồ quang, bề mặt các lỗ gia công bị ngâm xỉ,...

Về mối quan hệ thời gian xung/khoảng ngắt ta có tỉ lệ  $T_{ON} / T_{OF} \sim 10$  phù hợp cho gia công thô, tỉ lệ  $T_{ON} / T_{OF} \sim 5 \div 10$  cho gia công tinh và  $T_{ON} / T_{OF} < 1$  cho gia công bề mặt siêu tinh [1]

Để nâng cao chất lượng bề mặt gia công và tăng năng suất cắt, việc xác định được mối liên hệ giữa nhám bề mặt  $R_a$ , năng suất cắt  $Q$  với các tham số điều khiển  $T_{ON}$ ,  $T_{OF}$  là rất cần thiết.

Ở Việt Nam chưa có nghiên cứu nào xét sự ảnh hưởng của thời gian xung ( $T_{ON}$ ) và thời gian ngừng xung ( $T_{OF}$ ) đến năng suất cắt và chất lượng bề mặt gia công vật liệu thép SKD11 dùng phương pháp gia công xung định hình, sử dụng điện cực than chì trên máy gia công xung điện CHMER CM323C. Trong nghiên cứu này nhóm tác giả đã tìm ra được sự ảnh hưởng và xây dựng được mối quan hệ giữa các đại lượng đó thông qua phương pháp thực nghiệm.

## 2. HỆ THỐNG THÍ NGHIỆM

### 2.1. Máy thí nghiệm

Máy thí nghiệm là máy gia công xung điện tại trường Đại học Công nghiệp Hà Nội (hình 1), ký hiệu máy: CHMER CM323C (Hãng CHMEREDM - Đài Loan).

### 2.2. Vật liệu thí nghiệm và phôi thí nghiệm

+ Vật liệu thí nghiệm là thép SKD 11 là loại thép làm khuôn gia công nguội với độ chống mài mòn cao. Thép SKD 11 có độ thấm tôi tốt và ứng suất tôi thấp thường sử dụng trong gia công khuôn mẫu, các chi tiết chịu mài mòn cao, rất phù hợp với gia công tia lửa điện.. Kết quả phân tích thành phần hóa học của mẫu thép thí nghiệm như bảng 1.

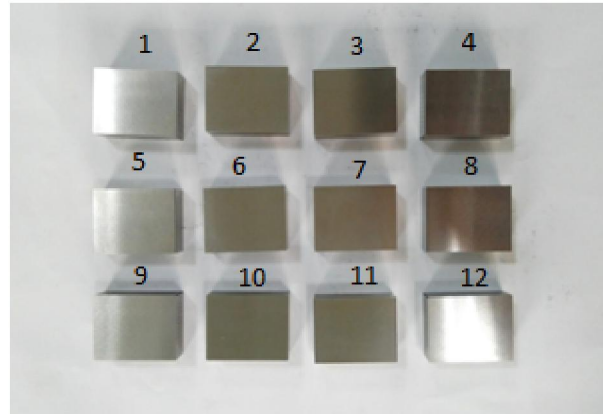


**Hình 1.** Máy gia công xung điện CHMER CM323C

**Bảng 1.** Kết quả phân tích thành phần hóa học của mẫu thép SKD 11

TP. Hóa học	%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Cr
Tỷ lệ nguyên tố	1,4 ÷ 1,6	0,4 max	0,6 max	≤ 0,03	≤ 0,03	11,0 ÷ 13,0
TP. Hóa học	%Mo	%W	%V	%Ni	%Cu	
Tỷ lệ nguyên tố	0,8 ÷ 1,2	0,2 ÷ 0,5	≤ 0,25	0,5 max	≤ 0,25	

+ Phôi thí nghiệm là mẫu thép SKD 11 và gia công có kích thước:  $30 \times 20 \times 10\text{mm}$ , đã qua nhiệt luyện với độ cứng 56 HRC, và tiến hành mài phẳng bề mặt (hình 2).



**Hình 2.** Các mẫu phôi thí nghiệm thép SKD11

### 2.3. Dụng cụ đo

Dụng cụ đo là máy đo nhám Mitutoyo SJ - 400 của hãng Misubisi Nhật Bản có độ tin cậy cao (hình 3).



**Hình 3.** Máy đo nhám Mitutoyo SJ - 400

Đánh giá nhám bề mặt theo chỉ tiêu  $R_a$ , tiêu chuẩn ISO. Kiểu đo tiếp xúc, áp lực đo 0,75 N, tốc độ đo 0,05 mm/s. Chia làm 5 khoảng, chiều dài đo trong thí nghiệm mỗi khoảng là 4 mm.

### 2.4. Điều kiện và các giả thiết thí nghiệm

- Thí nghiệm được thiết kế với những giới hạn sau [3],[4],[5];
- + Chất lượng và dòng chảy dung môi không thay đổi.
  - + Tiết diện cực than chì là không đổi trong suốt quá trình thí nghiệm, với 12 mẫu điện cực cùng vật liệu và kích thước, điện cực được gia công trên máy phay CNC với các thông số trong quá trình gia công là như nhau.
  - + Nhiệt độ môi trường ổn định trong suốt quá trình thí nghiệm.
  - + Rung động và nhiễu coi như không đáng kể và ổn định trong suốt quá trình thí nghiệm.

## 2.5. Số thí nghiệm

Do khảo sát hai biến đầu vào nên số thí nghiệm cần thiết là:  $2^k$  [3]. Số thí nghiệm chính cho mỗi trường hợp là  $N = 2^2 = 4$ . Trong nghiên cứu xét cho 3 trường hợp nên tổng số thí nghiệm là  $N = 12$ .

## 3. KẾT QUẢ

Kết quả thí nghiệm của các trường hợp được trình bày trong các bảng 2, 3 và 4.

**Bảng 2.** Kết quả đo nhám bề mặt và năng suất cắt 4 mẫu 1,2,3 và 4 trường hợp cố định  $T_{OF}$

Mẫu thí nghiệm	$T_{ON}(\mu s)$	$T_{OF}(\mu s)$	$R_a(\mu m)$	$Q(mm^3/ph)$
1	25	25	3,43	1,26
2	50		3,55	1,38
3	75		3,69	1,42
4	100		3,79	1,49

Trong trường hợp xét ảnh hưởng của thời gian xung  $T_{ON}$  ta có  $Q = V/T_{ON}$

$V = a.b.h$  trong đó  $a$  là chiều dài vết xung (mm),  $b$  là chiều rộng vết xung (mm),  $h$  là chiều sâu vết xung (mm).

Đối với mẫu thí nghiệm đã chọn, gia công trên các kích thước điển cực bằng nhau:  $a = 20$  (mm);  $b = 15$  (mm);  $h = 0,3$ (mm)

**Bảng 3.** Kết quả đo nhám bề mặt và năng suất cắt 4 mẫu 5, 6, 7 và 8 trường hợp cố định  $T_{ON}$

Mẫu thí nghiệm	$T_{ON}(\mu s)$	$T_{OF}(\mu s)$	$R_a(\mu m)$	$Q(mm^3/ph)$
5	50	12	3,89	1,79
6		18	3,65	1,65
7		25	3,43	1,57
8		37	3,24	1,48

**Bảng 4.** Kết quả đo nhám bề mặt và năng suất cắt 4 mẫu 9, 10, 11 và 12 trường hợp cả  $T_{ON}$ ,  $T_{OF}$  thay đổi

Mẫu thí nghiệm	$T_{ON}(\mu s)$	$T_{OF}(\mu s)$	$Q(mm^3/ph)$	$R_a(\mu m)$
9	25	37	1,31	3,25
10	25	12	2,03	2,88
11	100	37	1,29	3,83
12	100	12	1,44	4,09

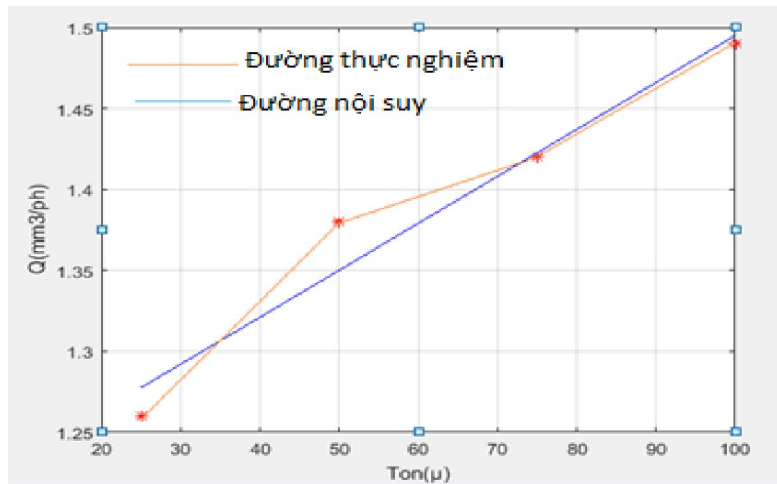
## 4. THẢO LUẬN

Trường hợp cố định  $T_{OF}$  cho  $T_{ON}$  thay đổi và  $T_{ON}$  cố định cho  $T_{OF}$  thay đổi, theo [3] ta xây dựng được các công thức thực nghiệm dạng:

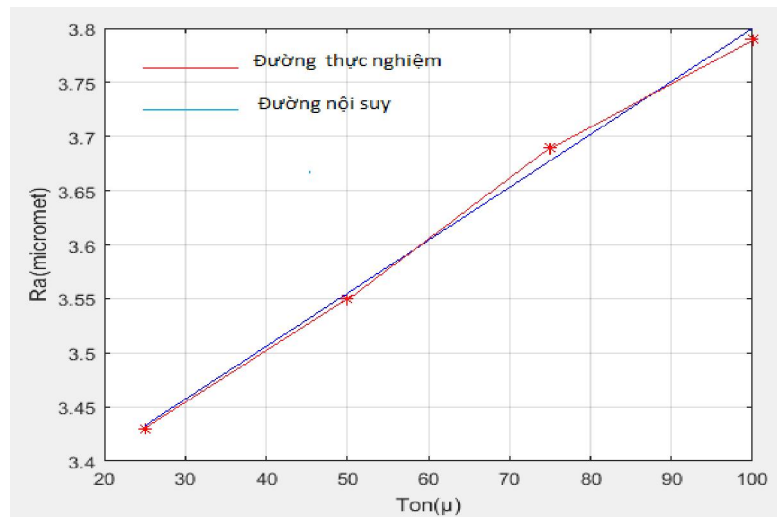
$$Q = a_1 + b_1.T_{ON}; R_a = c_1 + d_1.T_{ON}; Q = a_2 + b_2.T_{OF}; R_a = c_2 + d_2.T_{OF} \quad (1)$$

Lập trình sử dụng phần mềm Matlab vẽ được các đồ thị biểu diễn mối quan hệ giữa thời gian xung ( $T_{ON}$ ), thời gian ngừng xung ( $T_{OF}$ ) với năng suất cắt  $Q$  hoặc với nhám bề mặt  $R_a$  thể hiện qua công thức (2) và các hình 4, 5, 6, 7.

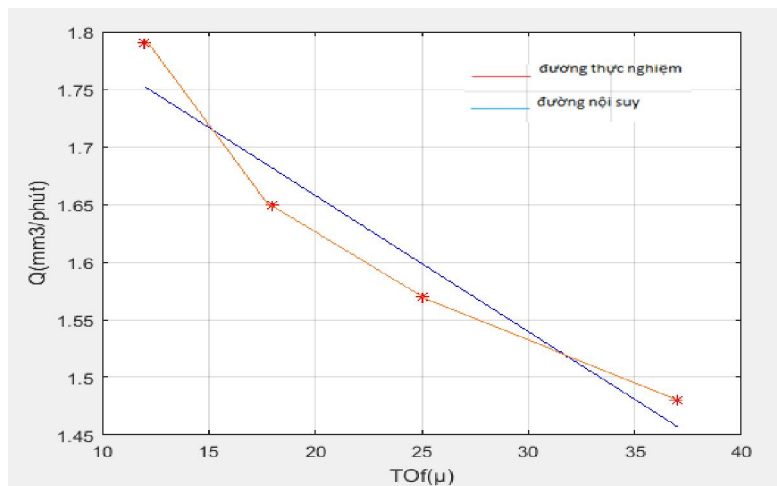
$$\begin{cases} Q = 1,2050 + 0,0029.T_{ON}; R_a = 3,3100 + 0,0049.T_{ON} \\ Q = 1,8937 - 0,0118.T_{OF}; R_a = 4,1388 - 0,0255.T_{OF} \end{cases} \quad (2)$$



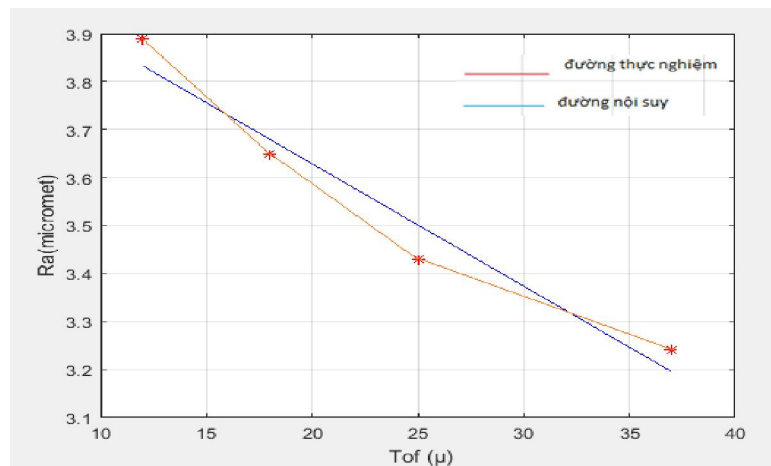
**Hình 4.** Đồ thị biểu diễn mối quan hệ giữa Q và  $T_{ON}$



**Hình 5.** Đồ thị biểu diễn mối quan hệ giữa  $R_a$  và  $T_{ON}$



**Hình 6.** Đồ thị biểu diễn mối quan hệ giữa Q và  $T_{OF}$



Hình 7. Đồ thị biểu diễn mối quan hệ giữa  $R_a$  và  $T_{OF}$

Trường hợp  $T_{ON}$  và  $T_{OF}$  đều thay đổi, theo [3] ta xây dựng được các công thức thực nghiệm dạng:

$$Q = a.T_{ON}^b.T_{OF}^c; R_a = d.T_{ON}^e.T_{OF}^f \quad (3)$$

Áp dụng phương pháp quy hoạch thực nghiệm trực giao để xác định các hệ số  $a, b, c, d, e$  và  $f$  trong công thức (3).

Bảng 5. Kết quả logarit các thông số thí nghiệm

Mẫu TN	Biến mã hóa		Biến thực		Q (mm <sup>3</sup> /ph)	R <sub>a</sub> (μm)	ln(T <sub>ON</sub> )	ln(T <sub>OF</sub> )	ln(Q)	ln(R <sub>a</sub> )
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	T <sub>ON</sub> (μs)	T <sub>OF</sub> (μs)			X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	y	y <sub>1</sub>
9	-1	+1	75	2	1,31	4,09	3,218	3,611	0,270	1,408
10	-1	-1	75	5	2,03	2,88	3,218	2,485	0,708	1,057
11	+1	+1	105	2	1,29	3,83	4,605	3,611	0,255	1,342
12	+1	-1	105	5	1,44	3,25	4,605	2,485	0,365	1,178

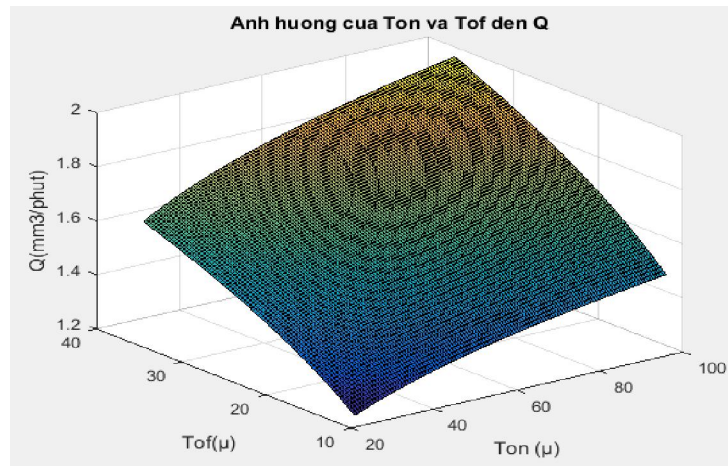
Kết quả thu được  $a = 0,399, b = 0,140, c = 0,263, d = 0,051, e = 0,829, f = 0,227$

Sau khi đánh giá độ tin cậy của hàm hồi quy thực nghiệm nhóm tác giả xác định được độ tin cậy cho 2 trường hợp tương ứng là  $r = 99,48\%$  và  $99,63\%$ . Từ đó xác định được mối quan hệ giữa năng suất cắt  $Q$  và nhám bề mặt  $R_a$  với thời gian xung  $T_{ON}$  và thời gian ngừng xung  $T_{OF}$ :

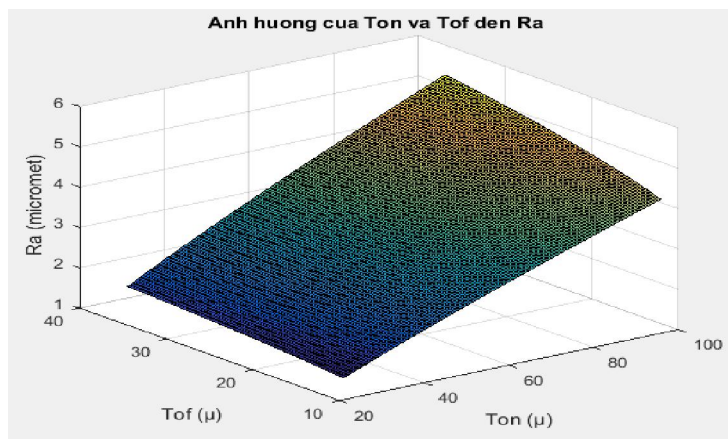
$$Q = 0,399.T_{ON}^{0,140}.T_{OF}^{0,263} \quad (4)$$

$$R_a = 0.051.T_{ON}^{0,829}.T_{OF}^{0,227} \quad (5)$$

Sử dụng phần mềm Matlab vẽ được đồ thị biểu diễn mối quan hệ giữa năng suất cắt ( $Q$ ), nhám bề mặt ( $R_a$ ) với thời gian xung  $T_{ON}$  và thời gian ngừng xung  $T_{OF}$  như hình 8, 9.



**Hình 8.** Đồ thị mô tả quan hệ giữa Q với  $T_{ON}$ ,  $T_{OF}$



**Hình 9.** Đồ thị mô tả quan hệ giữa  $R_a$  với  $T_{ON}$ ,  $T_{OF}$

Năng suất Q và nhám bề mặt  $R_a$  tăng khi thời gian xung  $T_{ON}$  tăng. Khi thời gian kéo dài xung lâu hơn, lượng bóc tách vật liệu lớn ảnh hưởng trực tiếp đến bề mặt chi tiết và nhám bề mặt cũng tăng lên. Nếu tiếp tục tăng  $T_{ON}$  thì năng lượng phóng điện không còn được sử dụng thêm để hút vật liệu mà sẽ làm tăng nhiệt độ của các điện cực và dung dịch chất điện môi, khi đó sự thoát phoi không tốt.

Năng suất Q và nhám bề mặt  $R_a$  tăng khi thời gian ngừng xung  $T_{OF}$  giảm do thời gian ngừng xung ít, nhưng ngược lại khoảng cách các bước xung cũng phải đủ lớn để có đủ thời gian thổi ion hoá chất điện môi trong khe hở phóng điện. Nhờ đó sẽ tránh được lỗi của quá trình như 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.

Qua kết quả thí nghiệm ta lựa chọn dải tham số  $T_{ON} = 25\mu$ , và  $T_{OF} = 12\mu$  và điều kiện gia công S025 với (cường độ dòng phóng  $I_e = 3A$ , điện áp đánh lửa  $U_e = 1,5v$ ) thì ta đạt được  $R_a = 2,88(\mu m)$  tương đương với mài thô (cấp độ 5-6).

## 5. KẾT LUẬN

Bằng thực nghiệm nhóm tác giả đã xác định được mối quan hệ toán học giữa năng suất cắt (Q), nhám bề mặt ( $R_a$ ) với thời gian xung  $T_{ON}$  và thời gian ngừng xung  $T_{OF}$ .

$$Q = 1,2050 + 0,0029.T_{ON}, R_a = 3,3100 + 0,0049T_{ON}$$

$$Q = 1,8937 - 0,0118.T_{OF}, R_a = 4,1388 - 0,0255.T_{OF}$$

$$Q = 0,399.T_{ON}^{0,140}.T_{OF}^{0,263}$$

$$R_a = 0,051.T_{ON}^{0,829}.T_{OF}^{0,227}$$

Kết quả cho thấy, khi xét ảnh hưởng riêng của thời gian xung  $T_{ON}$  hoặc thời gian ngừng xung  $T_{OF}$  thì năng suất cắt ( $Q$ ) và nhám bề mặt ( $R_a$ ) của vật liệu SKD11 sẽ tỷ lệ thuận với thời gian xung và tỷ lệ nghịch với thời gian ngừng xung. Nếu xét ảnh hưởng đồng thời của thời gian xung  $T_{ON}$  và thời gian ngừng xung  $T_{OF}$  thì năng suất cắt ( $Q$ ) và nhám bề mặt ( $R_a$ ) của vật liệu SKD11 sẽ tỷ lệ thuận với thời gian xung và thời gian ngừng xung.

Kết quả nghiên cứu phù hợp với một số kết quả nghiên cứu lý thuyết của các công trình khoa học đã công bố. Điều này góp phần rất quan trọng cho người đứng máy và giúp cho các doanh nghiệp tìm phương pháp tối ưu hóa quá trình gia công đối vật liệu là thép SKD 11 nhiệt luyện khi gia công trên máy CHMER CM323C.

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Vũ Hoài Ân, *Gia công tia lửa điện CNC*, NXB Khoa học và kỹ thuật, Hà Nội, 2005.
- [2]. Nhóm tác giả: *Lý thuyết thực hành gia công xung điện*, tài liệu trung tâm đào tạo Đại học Công nghiệp Hà Nội - Tập đoàn Khoa học Kỹ thuật Hồng Hải, 2007.
- [3]. Nguyễn Doãn Ý, *Xử lý số liệu thực nghiệm trong kỹ thuật*, Nhà xuất bản khoa học kỹ thuật, Hà Nội, 2009.
- [4]. Nghiêm Văn Luật: *Nghiên cứu ảnh hưởng của một số yếu tố công nghệ đến năng suất và chất lượng chi tiết được gia công bằng tia lửa điện. (cụ thể là ảnh hưởng của cường độ dòng điện)*. Luận văn thạc sĩ Đại học Bách khoa, 2011.
- [5]. Tô Cẩm Tú, Trần Văn Diễm, Nguyễn Đình Hiên, Phạm Chí Thành, *Thiết kế và phân tích thí nghiệm*, NXB Khoa học kỹ thuật, Hà Nội (1999).
- [6]. Nguyễn Mạnh Linh, *Đánh giá chất lượng bề mặt thép SKD61 khi gia công bằng phương pháp tia lửa điện với điện cực đồng và dung môi dầu*, Luận văn thạc sĩ kỹ thuật, Đại học Kỹ thuật Công nghiệp - Đại học Thái Nguyên, 2013.
- [7]. CHMEREDM, Wire cut cutting data manual.
- [8]. James Madison, *CNC Machining Handbook*, Industrial Press Inc, NewYork, NY.10016, 1996.
- [9]. DIBTONTOD.D (1986), "Theoretical models and electrical discharge machining process. A single cathode erosion model", *Jurnal of applicated Physics* 66, pp .4095 - 4103.
- [10]. Abbas G. N. M., Solomon D. G., Bahari M. F. (2007), *A review on current research trends in electrical discharge machining (EDM)*, *International Journal of Machine Tools & Manufacture* 47, pp. 1214.
- [11]. Amorim F. L., Stedile L. J., Torres R. D., Soares P. C., Laurindo C. A. H. (2014), *Performance and Surface Integrity of Ti6Al4V After Sinking EDM with Special Graphite Electrodes*, *Journal of Materials Engineering and Performance*, 23, pp. 1480-1488.