

# NGHIÊN CỨU CẢI TIẾN ĐỘ BÓNG BỀ MẶT CỦA THÉP SKD61 SỬ DỤNG CÁC THÔNG SỐ PHAY TỐI ƯU BẰNG PHƯƠNG PHÁP TAGUCHI

PHẠM HỮU LỘC\*<sup>1</sup>, NGUYỄN THI XUÂN CHINH<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Khoa Công nghệ cơ khí, Trường Đại học Công nghiệp Thành phố Hồ Chí Minh,

<sup>2</sup> Khoa Công nghệ cơ khí, Trường Cao đẳng Lý Tự Trọng;

\*Tác giả liên hệ: phamhuuloc@iuh.edu.vn

DOIs: <https://doi.org/10.46242/jstiuh.v67i01.5021>

**Tóm tắt.** Độ bóng bề mặt của Thép SKD61 được cải tiến bằng phương pháp gia công phay CNC. Phương pháp Taguchi được đề xuất để điều tra các thông số phay tối ưu. Dựa vào kết quả thực nghiệm và giá trị tỉ số (S/N), giá trị tối ưu các thông số phay CNC được nhận dạng như sau: vận tốc cắt 63 (m/phút), bước tiến bàn máy 200 (mm/phút), chiều sâu cắt 0,25 (mm), dụng cụ cắt hợp kim cứng 4F. Độ bóng bề mặt mẫu thử thép SKD61 được cải thiện từ 6,23  $\mu$ m đến 1,30  $\mu$ m tương ứng với 79,1 %.

**Từ khóa.** Phương pháp Taguchi, phay CNC, thép SKD61, tối ưu, độ bóng bề mặt, tỉ số S/N.

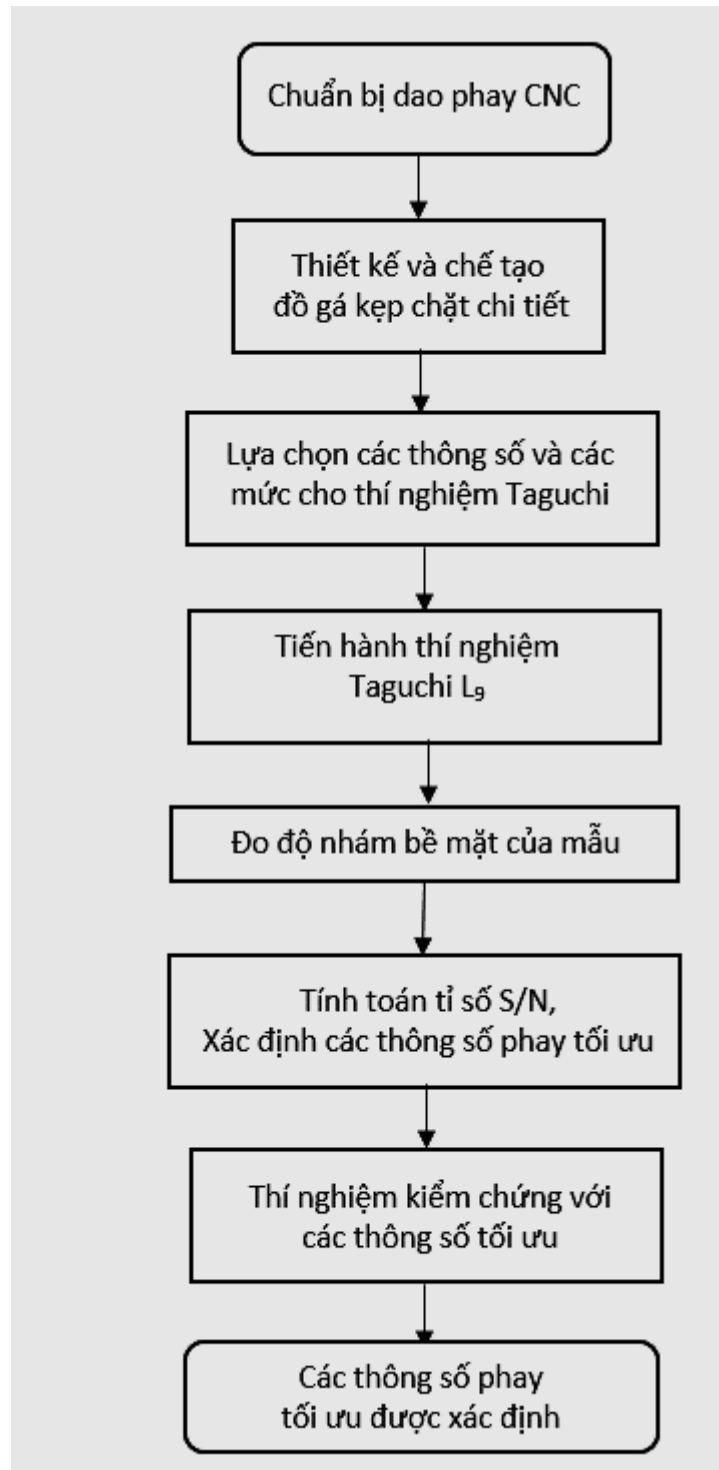
## 1 GIỚI THIỆU

Thép SKD61 được ứng dụng phổ biến trong các ngành công nghiệp cơ khí như: làm khuôn đúc áp lực, khuôn rèn dập, xy lanh ngành nhựa,... Đặc biệt trong ngành khuôn đúc, độ chính xác khuôn đúc cũng như độ bóng bề mặt lòng khuôn ảnh hưởng lớn đến chất lượng sản phẩm. Để cải thiện độ bóng bề mặt lòng khuôn với vật liệu thép SKD61, người ta sử dụng một số phương pháp gia công khác nhau như: đánh bóng, lăn ép, mài,...[1,2,3]. Trong nghiên cứu này, nhóm tác giả đề xuất phương pháp gia công phay CNC để cải thiện độ bóng bề mặt thép SKD61. Phương pháp thực nghiệm Taguchi được ứng dụng để tìm ra các thông số phay tối ưu trên vật liệu thép SKD61. Các thông số phay được chọn để khảo sát thí nghiệm là: vận tốc cắt của dao, bước tiến bàn máy, chiều sâu cắt, vật liệu làm dao. Sau khi các thí nghiệm ma trận  $L_9$  được tiến hành, dựa vào giá trị tỉ số S/N, giá trị tối ưu các thông số phay CNC hoàn toàn được xác định. Trình tự các bước để nhận dạng các thông số phay CNC tối ưu được trình bày trong Hình 1.

## 2 NỘI DUNG THỰC NGHIỆM

### 2.1 Dụng cụ Phay CNC

Trong thực nghiệm này, dụng cụ dao phay được chọn 3 loại vật liệu khác nhau như sau: dao phay ngón (vật liệu thép gió); dao phay ngón (dao hợp kim cứng Micro Crain Carbide End Mill(<55HRC)); dao phay ngón (Dao hợp kim cứng: 4F (<63HRC)). (Hình 2).



Hình 1. Trình tự các bước nhận dạng các thông số phay tối ưu bằng phương pháp thực nghiệm Taguchi.

## NGHIÊN CỨU CẢI TIẾN ĐỘ BÓNG BỀ MẶT....



Dao thép gió



Dao hợp kim cứng Micro Crain Carbide End Mill(<55HRC)



Dao hợp kim cứng: 4F (<63HRC)

Hình 2: Dụng cụ thí nghiệm.

### 2.2 Vật liệu của mẫu thí nghiệm

Trong bài báo này, thép SKD61 làm mẫu thử để tiến hành phay CNC (Hình 3). Mẫu thử có kích thước như sau: 54x30x15 mm. Tính chất cơ học và công thức hóa học mẫu thí nghiệm được giới thiệu trong Bảng 1. Mẫu thí nghiệm trước khi phay CNC có độ nhám bề mặt ( $R_a$ ) 6,23  $\mu$ m. Mẫu đo được tiến hành trên máy đo độ nhám Mitutoyo SJ-310. (Hình 4)



Hình 3: Mẫu thí nghiệm thép SKD61.

Bảng 1. Tính chất cơ học và công thức hóa học của vật liệu SKD61. [4]

Tính chất	Giá trị
Thành phần hóa học	C 0,40%, Si 1,0%, Cr 5,3%, Mo 1,4%, V 1,0 %
Đặc điểm	Thuộc nhóm thép hợp kim Crôm Molybden Vanadium gia công nóng, độ chống mài mòn nóng cao, độ dai nóng cao, truyền nhiệt tốt, không bị nứt khi nhiệt độ cao
Độ cứng	54 HRC sau khi nhiệt luyện



Hình 4: Máy đo độ nhám Mitutoyo SJ-310.

### 2.3 Thiết lập thí nghiệm

Mẫu thí nghiệm thép SKD61 được phay trên máy trung tâm gia công 3 trục, loại LEADWELL V30 Đài Loan [5] (Hình 5). Chương trình gia công NC được tạo tự động bằng phần mềm NX12 và được đưa vào máy trung tâm gia công 3 trục qua thẻ nhớ compact flash (CF).



Hình 5: Phay mặt phẳng với SKD61 trên máy Phay CNC 3 trục LEADWELL V30.

### 2.4 Ma trận qui hoạch thực nghiệm Taguchi

Ma trận qui hoạch thực nghiệm được tiến hành để điều tra tác động của các thông số phay lên thép SKD61 [6,7]. Trong gia công phay CNC, những thông số tác động nhiều nhất đến độ nhám bề mặt của mẫu thí nghiệm là: vận tốc cắt của dao, bước tiến bàn máy, chiều sâu cắt và vật liệu dụng cụ cắt [8]. Những thông số này được lựa chọn để tìm ra các giá trị tối ưu dựa vào phương pháp thực nghiệm Taguchi. Bảng 2 giới thiệu các thông số thí nghiệm phay CNC. Bốn thông số và ba mức được lựa chọn phay CNC được biểu thị

Bảng 2. Từ 4 thông số và 3 mức giá trị nên mạng trực giao  $L_9$  ( $3^4$ ) được xác định [6]. Do đó, 9 thí nghiệm riêng biệt tiến hành thí nghiệm Taguchi.(Bảng 3)

Bảng 2. Thông số gia công phay CNC trên máy LEADWELL V30.

Thông số thí nghiệm	Mức giá trị		
	1	2	3
A. Vận tốc cắt (m/phút)	47	54	63
B. Bước tiến bàn máy (mm/phút)	200	250	300
C. Chiều sâu cắt (mm)	0.1	0.25	0.5
D. Vật liệu dao	Thép gió	Hợp kim cứng 4F (<63HRC)	Hợp kim cứng Micro Crain Carbide End Mill (<55HRC)

Trong thiết kế thực nghiệm Taguchi, có 3 loại cơ bản thiết kế thí nghiệm: ‘Nhỏ hơn là tốt hơn’ (smaller is better), ‘Trung bình là tốt nhất’ (nominal is best) và ‘Lớn hơn là tốt hơn’ (larger is better) [6,7]. Hàm mục tiêu cho thiết kế thực nghiệm Taguchi là tỷ số S/N (Signal to Noise Ratio). Mẫu thí nghiệm được phay CNC phải có độ nhám bề mặt nhỏ hơn giá trị ban đầu. Do đó, quá trình phay CNC là một mô hình của bài toán ‘nhỏ hơn là tốt hơn’. Tỷ số S/N ( $\eta$ ) được xác định bằng công thức [6]:

$$\eta = -10 \log_{10} \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right] \quad (dB) \quad (1)$$

n: Số các lần đo trong 1 mẫu thí nghiệm.

$y_i$ : Độ nhám bề mặt mẫu thử ở lần đo thứ i.

Bài toán ‘nhỏ hơn là tốt hơn’ có mục tiêu tối ưu là xác định giá trị lớn nhất của tỉ số S/N ( $\eta$ ) với từng thông số phay CNC [6]. Điều kiện tối ưu cho quá trình phay CNC được tìm thấy dựa vào giá trị lớn nhất của tỉ số S/N. Gọi  $\eta_{opt}$  là giá trị tỷ số S/N trong điều kiện tối ưu và được xác định bằng công thức [6]:

$$\eta_{opt} = m + \sum (m_i - m) \quad (2)$$

$\eta_{opt}$ : tỷ số S/N trong điều kiện tối ưu; m: giá trị trung bình của tỷ số S/N ( $\eta$ );  $m_i$ : giá trị tỷ số S/N trong điều kiện tối ưu cho thông số thứ i.

Nếu giá trị  $\eta_{op}$  gần bằng giá trị tỷ số S/N của thí nghiệm kiểm chứng (xấp xỉ 90%) thì các thông số phay CNC được xem độc lập, không ảnh hưởng lẫn nhau.[6,7]

### 3 KẾT QUẢ PHÂN TÍCH THỰC NGHIỆM

#### 3.1 Giá trị tối ưu các thông số phay CNC

Kết quả đo các mẫu thử sau khi phay CNC được minh họa Bảng 3. Mỗi mẫu thí nghiệm tiến hành đo 3 vị trí khác nhau và giá trị tỷ số S/N được xác định dựa vào **công thức (1)**. Bảng 4 minh họa kết quả giá trị trung bình tỷ số S/N của bốn thông số tương ứng với các mức 1,2 và 3. Mỗi thông số có mức tối ưu khi giá trị tỷ số S/N ( $\eta$ ) tại mức đó là lớn nhất. Dựa vào kết quả tính toán Bảng 4, các mức tối ưu cho 4 thông số đó là:  $A_3B_1C_2D_2$  (Hình 6). Như vậy, giá trị tối ưu các thông số phay CNC đối với thép SKD61 như sau: vận tốc cắt 63 (m/phút), bước tiến bàn máy 200 (mm/phút), chiều sâu cắt 0,25 (mm), dụng cụ cắt hợp kim cứng 4F minh họa trong Bảng 5.

Bảng 3: Kết quả các mẫu thí nghiệm phay CNC.

Mẫu thí nghiệm	Thông số				Độ nhám $R_a$ ( $\mu m$ )			Tỷ số S/N (dB)	Độ nhám $R_a$ trung bình ( $\mu m$ )
	A	B	C	D	1	2	3		
1	1	1	1	1	1,63	1,33	1,39	-3,262	1,47
2	1	2	2	2	1,72	1,54	1,43	-3,906	1,56
3	1	3	3	3	1,82	1,59	1,40	-4,150	1,60
4	2	1	2	3	1,35	1,43	1,26	-2,597	1,35

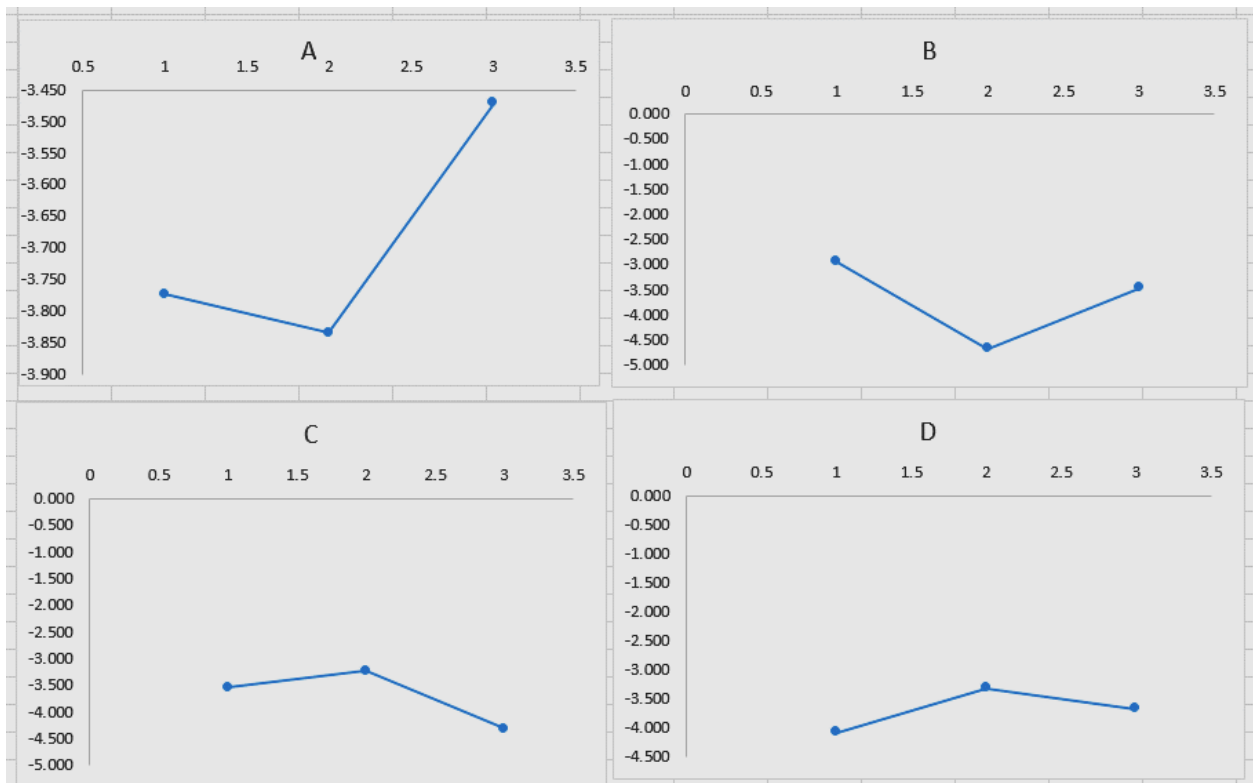
5	2	2	3	1	1,89	1,99	1,98	-5,818	1,95
6	2	3	1	2	1,41	1,42	1,45	-3,087	1,43
7	3	1	3	2	1,21	1,53	1,46	-2,964	1,4
8	3	2	1	3	1,69	1,49	1,72	-4,278	1,63
9	3	3	2	1	1,46	1,48	1,38	-3,171	1,44

Bảng 4: Kết quả giá trị tỷ số S/N (dB).

Thông số	A	B	C	D
Mức 1	-3,773	<b>-2,941</b>	-3,542	-4,084
Mức 2	-3,834	-4,668	<b>-3,225</b>	<b>-3,319</b>
Mức 3	<b>-3,471</b>	-3,469	-4,311	-3,675
Trung bình	-3,693			

Bảng 5: Thông số phay tối ưu cho thép SKD61.

Thông số	Giá trị
A. Vận tốc cắt (m/phút)	63
B. Bước tiến bàn máy (mm/phút)	200
C. Chiều sâu cắt (mm)	0.25
D. Vật liệu dao	Hợp kim cứng 4F (<63HRC)



Hình 6: Giá trị tỷ số S/N của A, B, C và D.

### 3.2 Thí nghiệm kiểm chứng

Sau khi tìm được giá trị tối ưu các thông số phay CNC, nhóm tác giả tiến hành thí nghiệm kiểm chứng nhằm mục đích xác định độ chính xác của kết quả thí nghiệm. 3 mẫu thí nghiệm phay CNC được tiến hành với các thông số phay tối ưu. Giá trị  $R_a$  của thép SKD61 sau thí nghiệm kiểm chứng là  $1,30\mu\text{m}$  (Bảng 6). Như vậy, độ bóng bề mặt của thép SKD61 sau khi phay CNC được cải thiện khoảng 79,1 %.

Bảng 6: Độ nhám bề mặt của thép SKD61 sau thí nghiệm kiểm chứng.

Mẫu thí nghiệm	Độ nhám $R_a$ ( $\mu\text{m}$ )			Tỷ số S/N (dB)	$R_a$ trung bình ( $\mu\text{m}$ )
	1	2	3		
1	1,38	1,32	1,29	-2,480	1,33
2	1,23	1,35	1,41	-2,491	1,33
3	1,23	1,25	1,26	-1915	1,25
Trung bình				<b>-2,296</b>	<b>1,30</b>

Từ số liệu Bảng 4, giá trị trung bình của tỷ số S/N là  $m = -3,693$ . Giá trị  $\eta_{\text{opt}}$  được tính toán bằng **công thức (2)**:

$$\eta_{\text{opt}} = m + \sum(m_i - m) = -1,878 \text{ (dB)}$$

So sánh giá trị tỷ số S/N của thí nghiệm kiểm chứng  $\eta = -2,296$  (dB) (Bảng 6) với giá trị  $\eta_{\text{opt}} = -1,878$  (dB), ta nhận thấy 2 giá trị này tương đối gần nhau. Như vậy, các thông số gia công phay CNC xem như độc lập với nhau.

#### 4 KẾT LUẬN

Bài báo ứng dụng phương pháp phay CNC để cải tiến độ bóng bề mặt thép SKD61 dựa vào phương pháp thực nghiệm Taguchi. Các thông số phay CNC tối ưu được xác định dựa vào kết quả thực nghiệm, đó là: vận tốc cắt 63 (m/phút), bước tiến bàn máy 200 (mm/phút), chiều sâu cắt 0,25 (mm), dụng cụ cắt hợp kim cứng 4F. Bên cạnh đó, kết quả thí nghiệm cho thấy phương pháp phay CNC có thể cải thiện đáng kể độ bóng bề mặt thép SKD61 từ giá trị 6,23  $\mu\text{m}$  đến 1,30  $\mu\text{m}$  sử dụng các thông số phay tối ưu.

#### LỜI CẢM ƠN

Nhóm nghiên cứu chân thành cảm ơn các đồng nghiệp tại Khoa công nghệ Cơ khí của trường Đại học Công Nghiệp Tp.HCM đã tạo điều kiện để hoàn thành nghiên cứu này và xin chân thành cảm ơn Trung tâm Kỹ thuật Tiêu chuẩn Đo lường Chất lượng 3 đã hỗ trợ phân đo độ bóng bề mặt các mẫu Phay CNC.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] B.H. Yan, F.C. Tsai, L.W. Sun and R.T. Hsu, "Abrasive jet polishing on skd61 mold steel using SiC coated with Wax," *Journal of Materials Processing Technology*, pp. 318-329, 2008.
- [2] T.T.Nguyen, L.H.Cao, X.P.Dang, T.A.Nguyen and Q.H.Trinh, "Multi-objective optimization of the flat burnishing process for energy efficiency and surface characteristics," *Materials and Manufacturing Processes*, vol. 34, 2019.
- [3] Nguyễn Văn Hùng, "Nghiên cứu ứng dụng mạng nơron để xác định các thông số chế độ cắt của quá trình gia công mặt phẳng trên máy phay CNC ba trục bằng mảnh dao hợp kim phủ TiALN đối với thép tấm skd61," *Tạp Chí Khoa Học-Đại Học Đồng Nai*, số 23, 2022.
- [4] Thép công nghiệp Phú Thịnh. (2018, 08/22) Thép SKD61 là gì? Available: <https://thepphuthinh.com/tin-tuc/thep-skd61-la-gi-86.html>
- [5] Leadwell CNC Machine MFG., Corp. (2023) VE Series. Available: [https://www.leadwell.com.tw/eng\\_products\\_view.asp?Fkindno=F002669&Skindno=S004876&Pidno=20130402000](https://www.leadwell.com.tw/eng_products_view.asp?Fkindno=F002669&Skindno=S004876&Pidno=20130402000)
- [6] K. Krishnaiah, P. Shahabudeen, *Applied Design of Experiments and Taguchi Methods*, PHI Learning Pvt. Ltd, New Delhi, 2012.
- [7] H. L. Nguyen, *Giáo Trình Qui Hoạch và Phân Tích Thực Nghiệm*, NXB Đại Học Quốc Gia Tp.HCM, 2021.
- [8] T. T. Nguyen, T. N. Nguyen, "Tối ưu hóa đa mục tiêu quá trình phay khô thép skd61 để giảm công suất cắt và độ nhám bề mặt," *Tạp Chí Khoa Học & Công Nghệ - Đại Học Công Nghiệp Hà Nội*, 2018.

## RESEARCH FOR IMPROVEMENT OF THE SURFACE FINISH OF SKD61 STEEL USING OPTIMAL MILLING PARAMETERS BY TAGUCHI METHODS

HUU LOC PHAM \*<sup>1</sup>, XUAN CHINH NGUYEN THI <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Faculty of Mechanical Engineering, Industrial University of Ho Chi Minh City,

<sup>2</sup> Faculty of Mechanical Engineering, Ly Tu Trong College;  
phamhuuloc@iuh.edu.vn, nguyenthixuanchinh@littc.edu.vn

\*Corresponding author: phamhuuloc@iuh.edu.vn

**Abstract.** The surface finish of SKD61 steel is improved by CNC milling. The Taguchi method was used to investigate optimal milling parameters. The optimal milling parameters were determined by the results of the Taguchi experiment and the ratio (S/N). Based on the results of the Taguchi L<sub>9</sub> experiment, the milling parameters are determined as follows: cutting speed of 63 (m/min), feed rate of 200 (mm/min), cut of depth of 0.25 (mm), materials of cutting tool: 4F hard alloy. The surface finish of the SKD61 steel was improved from 6.23 μm to 1.30 μm, corresponding to 79.1%.

**Keywords.** Taguchi method, CNC milling, SKD61 steel, optimal, surface finish, the ratio S/N.

Ngày nhận bài: 20/03/2023

Ngày chấp nhận đăng: 25/05/2023