

## Tối ưu hóa chế độ cắt khi mài tròn ngoài thép SKD11 theo chỉ tiêu nhám bề mặt

Optimization of cutting parameters for minimum the surface roughness when grinding SKD11 steel on cylindrical grinder

Trần Quốc Hùng\*, Dương Văn Đức, Nguyễn Hoài Sơn

Khoa Cơ khí, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

\*Email: tranquochung.tn@gmail.com

Mobile: 0972142864

---

### Tóm tắt

#### Từ khóa:

Chế độ cắt; Nhám bề mặt; Thép SKD11; Tối ưu hóa,

Bài báo này trình nghiên cứu tối ưu hóa chế độ cắt khi mài tròn ngoài thép SKD11 bằng đá mài Hải Dương theo chỉ tiêu nhám bề mặt ( $R_a$ ). Sử dụng ma trận thực nghiệm dạng Box-Behken với 15 điểm thí nghiệm để xác định giá trị tối ưu của các thông số vận tốc chi tiết ( $v_{ct}$ ), chiều sâu cắt ( $t$ ) và lượng chạy dao dọc ( $S_d$ ). Kết quả xác định được giá trị tối ưu của các thông số  $v_{ct}$ ,  $t$ ,  $S_d$  có giá trị tương ứng  $26 \left(\frac{m}{ph}\right)$ ,  $0,09(mm)$  và  $2(mm/vg)$ . Ứng với giá trị này của bộ thông số chế độ cắt, nhám bề mặt đạt giá trị  $R_a = 0,4732 (\mu m)$ .

---

### Abstract

#### Keywords:

Cutting parameters, Surface roughness; SKD11 steel; Optimization.

This paper presents the research on the optimization of cutting parameters for minimum surface roughness of SKD11 steel on cylindrical grinder using Hai Duong grinding wheel. We used Box-Behken matrix with 15 runs for selecting optimization value of velocity of workpiece ( $v_{ct}$ ), depth of cut ( $t$ ) and feed rate ( $S_d$ ). The results showed that optimization value of  $v_{ct}$ ,  $t$ ,  $S_d$  are  $26 \left(\frac{m}{min}\right)$ ,  $0,09(mm)$  and  $2(mm/rev)$  respectively and  $R_a = 0.4732(\mu m)$ .

---

Ngày nhận bài: 15/8/2018

Ngày nhận bài sửa: 05/9/2018

Ngày chấp nhận đăng: 15/9/2018

---

## 1. GIỚI THIỆU

Trong gia công cơ khí, mài tròn ngoài là phương pháp được sử dụng phổ biến, thường được sử dụng để gia công tinh các bề mặt quan trọng [1, 2]. Chất lượng bề mặt khi mài tròn ngoài được đánh giá qua nhiều thông số như: độ nhám, ứng suất dư lớp bề mặt, độ cứng tế vi lớp bề mặt,... Trong đó, nhám bề mặt là yếu tố có ảnh hưởng nhiều đến khả năng làm việc của chi tiết máy và thường được sử dụng là chỉ tiêu đánh giá chất lượng của vật mài [1, 2].

Thép SKD11 là loại vật được sử dụng rộng rãi trong chế tạo máy để chế tạo khuôn dập, dao cắt,...nhờ những ưu điểm nổi trội: độ cứng cao, độ chống mài mòn cao, ứng suất tôi thấp... [3]. Nghiên cứu khi mài tinh thép SKD11 đã được thực hiện bởi một số nghiên cứu: Ảnh hưởng

của chế độ cắt đến lực cắt khi mài bằng đá mài gián đoạn (đá mài không liên tục) [4]; Nghiên cứu về lực cắt, nhám bề mặt và chiều dày phoi mài khi sử dụng công nghệ bôi trơn – làm nguội tối thiểu [5]; Ảnh hưởng của chế độ cắt đến độ cứng lớp bề mặt khi mài bằng đá CBN [6, 7]; Ảnh hưởng của chế độ cắt đến nhám bề mặt khi mài bằng đá CBN [8]; Đánh giá khả năng cắt gọt của đá mài CBN liên kết kim loại bằng phương pháp mạ điện chế tạo tại Việt Nam [9];...

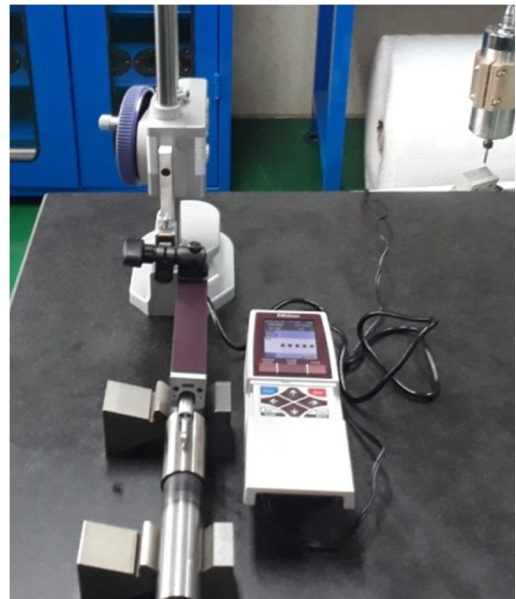
Trong bài báo này, tiến hành nghiên cứu thực nghiệm để xác định giá trị tối ưu hóa của các thông số chế độ cắt  $v_{ct}$ ,  $t$ ,  $S_d$  nhằm đảm bảo nhám bề mặt có giá trị nhỏ nhất khi mài thép SKD11 trên máy mài tròn ngoài bằng đá mài Hải Dương

## 2. HỆ THỐNG THÍ NGHIỆM

- Máy thí nghiệm: Sử dụng máy mài tròn ngoài tại Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội có ký hiệu MEG - 1120, Hãng sản xuất: MAGNUM CUT (Hình 1).



Hình 1. Máy mài tròn ngoài MEG – 1120



Hình 2. Máy đo độ nhám SJ301

- Đá mài có ký hiệu Cn60MV1x400x50x203mmx30m/s.  
 - Vật liệu thí nghiệm là loại thép SKD11. Trước khi thí nghiệm, mẫu được gia công qua các bước tiện - nhiệt luyện đạt độ cứng  $48 \div 50\text{HRC}$  - mài bán tinh giống như trong thực tế sản xuất, mẫu thí nghiệm có đường kính  $\varnothing 27$ . Thành phần hóa học một số nguyên tố chính của thép SKD11 sau nhiệt luyện được trình bày trong bảng 1.

- Thiết bị đo: Máy đo độ nhám SJ301 của hãng Mitutoyo - Nhật Bản (hình 2).  
 - Dung dịch trơn nguội: Dung dịch Emusil 10%, phương pháp tưới tràn, lưu lượng 25 lít/phút.

- Dụng cụ sửa đá: Đầu sửa đá loại đa điểm có ký hiệu 3908-0088C (Liên Xô).

Bảng 1. Thành phần hóa học một số nguyên tố chính của thép SKD11

Nguyên tố	C	Mn	Si	Cr	Va	Mo	Ni
%	1,5	0,3	0,25	11,5	0,25	0,3	0,35

### 3. QUI HOẠCH THỰC NGHIỆM

Thí nghiệm được tiến hành theo ma trận dạng Box-Behnken, đây là dạng qui hoạch thực nghiệm được sử dụng phổ biến trong thí nghiệm tối ưu hóa [10]. Giá trị của các thông số đầu vào được lựa chọn phù hợp cho điều kiện mài tinh loại vật liệu có độ cứng cao và phù hợp với khả năng công nghệ của máy thí nghiệm. Giá trị tại các mức mã hóa của các biến thí nghiệm được thể hiện trong bảng 2.

**Bảng 2.** Giá trị tại các mức mã hóa của các biến thí nghiệm

Thông số	Đơn vị	Giá trị tại các mức mã hóa		
		Mức dưới	Mức cơ sở	Mức trên
		-1	0	1
Vận tốc chi tiết ( $v_{ct}$ )	m/ph	18	22	26
Chiều sâu cắt ( $t$ )	mm	0,005	0,015	0,025
Lượng chạy dao dọc ( $S_d$ )	mm/vg	2	4	6

Ma trận thí nghiệm dạng Box-Behnken cho 3 biến thí nghiệm ( $v_{ct}, t, S_d$ ) ở dạng mã hóa của các thông số được lập bằng phần mềm Minitab 16 như trong bảng 3.

**Bảng 3.** Ma trận thí nghiệm

TT	Giá trị mã hóa		
	$v_{ct}$	$t$	$S_d$
1	-1	-1	0
2	1	-1	0
3	-1	1	0
4	1	1	0
5	-1	0	-1
6	1	0	-1
7	-1	0	1
8	1	0	1
9	0	-1	-1
10	0	1	-1
11	0	-1	1
12	0	1	1
13	0	0	0
14	0	0	0
15	0	0	0

**Bảng 4.** Kết quả thí nghiệm

TT	$v_{ct}$	$t$	$S_d$	$R_a(\mu m)$
1	-1	-1	0	2,80
2	1	-1	0	1,11
3	-1	1	0	1,27
4	1	1	0	0,66
5	-1	0	-1	1,96
6	1	0	-1	0,88
7	-1	0	1	0,49
8	1	0	1	1,12
9	0	-1	-1	2,41
10	0	1	-1	0,66
11	0	-1	1	0,47
12	0	1	1	1,61
13	0	0	0	1,23
14	0	0	0	0,96
15	0	0	0	0,99

### 4. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Tiến hành thí nghiệm mài thép SKD11 theo thứ tự như trong bảng 3. Tại mỗi điểm thí nghiệm được tiến hành mài trên 3 mẫu, với mỗi mẫu tiến hành đo độ nhám ít nhất 3 lần. Giá trị độ nhám tại mỗi điểm thí nghiệm là giá trị trung bình của các lần đo liên tiếp, được thể hiện trong bảng 4.

Từ kết quả trong bảng 4, sử dụng phần mềm Minitab 16 để xử lý số liệu, được kết quả phân tích mô hình hồi qui như trong bảng 5.

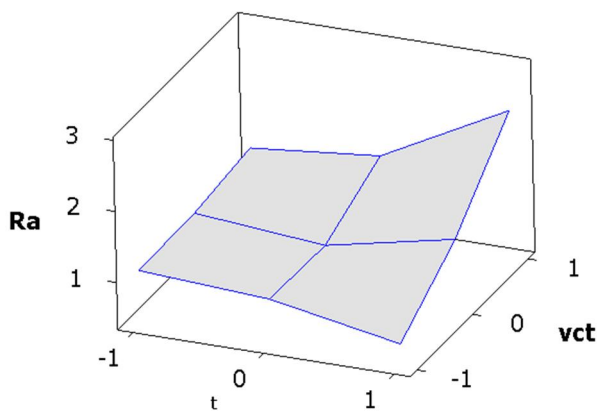
**Bảng 5.** Kết quả phân tích mô hình hồi qui

Response Surface Regression: Ra versus vct, t, Sd				
The analysis was done using coded units.				
Estimated Regression Coefficients for Ra				
Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	1.00583	0.09633	10.441	0.000
vct	0.27063	0.05846	4.630	0.004
t	0.05938	0.05846	1.016	0.349
Sd	0.58438	0.05846	9.997	0.000
vct*vct	0.10115	0.08692	1.164	0.289
t*t	0.11865	0.08692	1.365	0.221
Sd*Sd	0.09365	0.08692	1.077	0.323
vct*t	0.23626	0.08036	2.940	0.026
vct*Sd	0.37126	0.08036	4.620	0.004
t*Sd	0.15376	0.08036	1.913	0.104

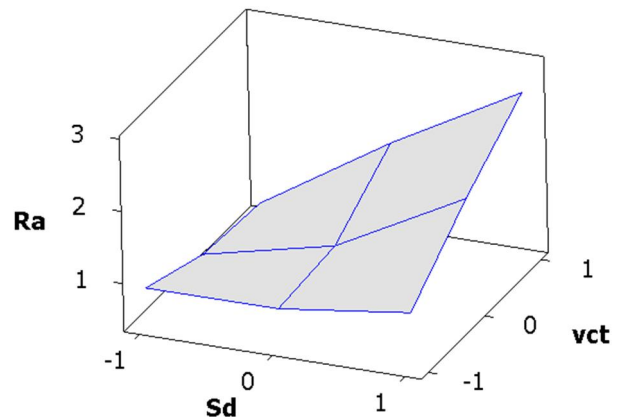
Từ kết quả phân tích trong bảng 5, quan sát các giá trị cột P cho thấy:

- Trong 3 thông số chế độ cắt:  $v_{ct}$ ,  $t$ ,  $S_d$  thì giá trị P của  $S_d$  là nhỏ nhất (0,000) sau đó đến giá trị P của  $v_{ct}$  (0,004) và cuối cùng giá trị P của  $t$  là cao nhất (0,349) do vậy, lượng chạy dao  $S_d$  có ảnh hưởng lớn nhất đến  $R_a$ , tiếp theo là đến mức độ ảnh hưởng của vận tốc chi tiết  $v_{ct}$ , và cuối cùng là đến ảnh hưởng của chiều sâu cắt  $t$ .

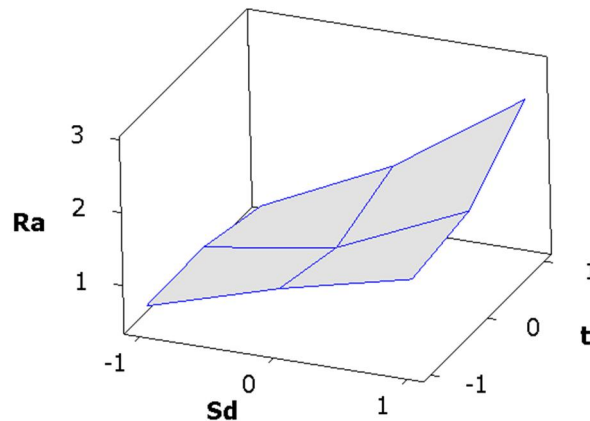
- Tương tự, xét về sự ảnh hưởng tương tác giữa các thông số đến  $R_a$ : tương tác giữa vận tốc chi tiết và lượng chạy dao ( $v_{ct} * S_d$ ) có ảnh hưởng lớn nhất, tiếp theo là đến mức độ ảnh hưởng của  $v_{ct} * t$ ,  $t * S_d$ . Biểu đồ thể hiện ảnh hưởng tương tác giữa các thông số này đến  $R_a$  (hình 3, hình 4, hình 5) sẽ làm sáng tỏ hơn những nhận định này.



**Hình 3.** Ảnh hưởng tương tác giữa  $v_{ct}$  và  $t$  đến  $R_a$



**Hình 4.** Ảnh hưởng tương tác giữa  $v_{ct}$  và  $S_d$  đến  $R_a$



**Hình 5.** Ảnh hưởng tương tác giữa  $t$  và  $S_d$  đến  $R_a$

Mặc dù chiều sâu cắt  $t$  và các thông số  $v_{ct}^2$ ,  $t^2$ ,  $S_d^2$ ,  $t * S_d$  ảnh hưởng không nhiều đến  $R_a$  (vì có giá trị tương ứng ở cột P trong bảng 5 lớn hơn mức ý nghĩa  $\alpha = 0,05$ ). Tuy nhiên theo Phạm Văn Lang và Bạch Quốc Khang [12] ta cũng không nên loại những thông số này ra khỏi mô hình hồi qui, vì khi loại các thông số này ra khỏi mô hình hồi qui sẽ làm yếu đi độ tương thích của mô hình cho dù có tính lại các hệ số của phương trình hồi qui. Căn cứ vào giá trị hệ số hồi quy được phần mềm đưa ra ở cột (Coef) trong bảng 5 cho hệ số tự do và hệ số của các thông số đầu vào, ta có được phương trình (1) thể hiện mối quan hệ giữa  $R_a$  với các thông số  $v_{ct}$ ,  $t$ ,  $S_d$ .

$$R_a = 1,00583 + 0,27063v_{ct} + 0,05938t + 0,58438S_d + 0,10115v_{ct}^2 + 0,11865t^2 + 0,09365S_d^2 + 0,23626v_{ct}.t + 0,37126v_{ct}.S_d + 0,15376t.S_d \quad (1)$$

## 5. TỐI ƯU HÓA

Tối ưu hóa quá chế độ cắt khi mài thép SKD11 theo chỉ tiêu nhám bề mặt được thực hiện trên cơ sở mối quan hệ giữa  $R_a$  với các thông số  $v_{ct}$ ,  $t$  và  $S_d$  (công thức 1). Việc giải bài toán tối ưu hóa trong gia công cắt gọt đã được thực hiện bởi nhiều nghiên cứu, sử dụng nhiều thuật toán khác nhau: thuật toán Nead-Mead, thuật toán di truyền (GA - Genetic Algorithm), thuật toán bầy đàn (PSO - Particle Swarm Optimization),... Trong nghiên cứu này thuật toán giảm gradient tổng quát (GRG - Generalized Reduced Gradient) được sử dụng. Sử dụng thuật toán GRG có ưu điểm là không phải lập trình vì GRG được tích hợp trong Excel của bất kỳ bộ office nào [11].

Bài toán tối ưu hóa dưới dạng mã hóa của các thông số đầu vào được viết như sau:

$$\begin{cases} R_a = f(v_{ct}, t, S_d) \rightarrow \min \\ -1 \leq v_{ct}, t, S_d \leq 1 \\ R_a > 0 \end{cases} \quad (2)$$

Sử dụng thuật toán GRG để giải bài toán (2) thu được giá trị tối ưu dạng mã hóa của các thông số  $v_{ct}$ ,  $t$ ,  $S_d$  có giá trị tương ứng là 1,0000; -0,5960 và -1,0000. Giá trị thực của các thông số  $v_{ct}$ ,  $t$ ,  $S_d$  có giá trị tương ứng là 26(m/ph), 0,09(mm) và 2(mm/vg). Khi đó nhám bề mặt có giá trị  $R_a = 0,4732(\mu m)$ .

## 6. KẾT LUẬN

Thí nghiệm tối ưu hóa quá trình mài tinh thép SKD11 bằng đá mài Hải Dương đã được thực hiện trong nghiên cứu này. Kết quả nghiên cứu đã xác định được giá trị tối ưu của các thông số chế độ cắt  $v_{ct}$ ,  $t$ ,  $S_d$  có giá trị tương ứng là  $26 \left(\frac{m}{ph}\right)$ ,  $0,09(mm)$  và  $2(mm/vg)$ . Ứng với bộ giá trị này của các thông số  $v_{ct}$ ,  $t$ ,  $S_d$ , nhám bề mặt có giá trị  $R_a = 0,4732(\mu m)$ .

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Marinescu Loan D., Eckart Uhlmann and Brian Rowe W., (2006), *Handbook of machining with grinding wheels*, CRC Press Taylor & Francis Group.
- [2]. Stephen Malkin, Changsheng Guo, (2008), *Grinding technology - theory and applications of machining with abrasives – Second editor*, Industrial Press, New Yourk, 2008.
- [3]. Ashton Acton Q., (2012), *Advances in Nanotechnology Research and Application*, Scholarly Editions, Atlanta, Georgia.
- [4]. Nguyen Thi Phuong, Nguyen Thi Phuong Giang, Nguyen Tien Dong, (2017), *A research on the effect of cutting parameters on cutting force in flat grinding using segmented grinding wheel*, Vietnam Journal of Science and Technology 55 (6), pp. 793-802.
- [5]. Bobby O. P. Soepangkat, H. C. Kis Agustin, and H. Subiyanto, (2017), *An investigation of force, surface roughness and chip in surface grinding of SKD 11 tool steel using minimum quantity lubrication-MQL technique*, American Institute of Physics, pp.1-7.
- [6]. Ming WW, Liu G, Chen M, (2007), *Experimental study on the hardened surface layer of grinding SKD-11 hardened steel*, Key Eng Mater 359–360:224–228.
- [7]. Ming WW, Liu G, Chen M (2007), *Study on surface grind-hardening of SKD-11 hardened steel*. Int J Manuf Tech Manag 12(1/2/3), pp. 236-242.
- [8]. Chih Hsiang Chang, Jhy Cherng Tsai, Neng Hsin Chiu, Rei Yu Chein, (2010), *Modeling Surface Roughness and Hardness of Grinding SKD11 Steel Using Adaptive Network Based Fuzzy Inference*, Advanced Materials Research, vol. 126, pp. 171-176.
- [9]. Trần Thị Vân Nga, (2017), *Nghiên cứu chế tạo và đánh giá khả năng cắt gọt của đá mài CBN liên kết kim loại bằng phương pháp mạ điện*, Luận án tiến sĩ kỹ thuật, Trường Đại học Giao thông vận tải.
- [10]. Nguyễn Văn Dữ, Nguyễn Đăng Bình (2011), *Qui hoạch thực nghiệm trong kỹ thuật*, Nxb Khoa học Kỹ thuật, Hà Nội.
- [11]. Phạm Thành Long, Nguyễn Thị Hồng Cẩm, Nguyễn Thành Chung (2012), *Ứng dụng phương pháp giảm Gradient tổng quát (GRG) khảo sát động học robot song song*, Tạp chí Cơ khí Việt Nam, số 10, tr. 47-52.
- [12]. Phạm Văn Lang, Bạch Quốc Khang (1998), *Cơ sở lý thuyết qui hoạch thực nghiệm và Ứng dụng trong kỹ thuật nông nghiệp*, NXB Nông nghiệp, Hà Nội.