# TỐI ƯU CHẾ ĐỘ CẮT TRÊN MÁY PHAY CNC VỚI VẬT LIỆU THÉP SDK61

## OPTIMIZATION OF CUTTING MODE ON CNC MILLING MACHINE WITH SDK61 STEEL MATERIAL

**Nguyễn Văn Trúc**

*Khoa Cơ khí, Trường Đại học Kinh tế - Kỹ thuật Công nghiệp*

Đến Tòa soạn ngày 03/03/2024, chấp nhận đăng ngày 06/05/2024

**Tóm tắt:** Xác định chế độ cắt theo tiêu chí tối ưu độ nhám bề mặt khi gia công thép hợp kim SKD61 là một yêu cầu thiết yếu trong sản xuất. Kết hợp giữa lý thuyết và thực nghiệm tác giả đã xác định được mô hình toán học giữa độ nhám bề mặt và chế độ cắt khi gia công thép SKD61 trên máy phay X.mill M640, từ đó làm cơ sở tìm ra bộ thông số chế độ cắt theo tiêu chí tối ưu độ nhám bề mặt. Kết quả nghiên cứu có thể áp dụng trong sản xuất cũng như được sử dụng làm cơ sở để ứng dụng cho các vật liệu tương tự.

**Từ khóa:** Thép SDK61, phay, chế độ cắt tối ưu.

**Abstract:** Determining the cutting mode according to optimal surface roughness criteria when machining SKD61 alloy steel is an essential requirement in production By combining theory and experimentation, the authors have identified a mathematical model linking surface roughness and cutting parameters when machining SKD61 steel on the X.mill M640 milling machine, thus providing a basis for determining the set of cutting parameters according to the optimal criterion of surface roughness. The research results can be applied in production as well as serve as a foundation for application to similar materials.

**Keywords:** SKD61 alloy steel, milling, optimal cutting mode.

### 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Phương pháp gia công cắt gọt đóng một vai trò quan trọng và không thể thiếu trong quá trình sản xuất các chi tiết máy chính xác và đáng tin cậy. Phương pháp này đặc biệt phù hợp cho việc gia công các vật liệu kim loại như thép, nhôm và đồng, cung cấp khả năng tạo ra các chi tiết với độ chính xác kích thước cao, chất lượng bề mặt tốt và độ phức tạp hình dáng linh hoạt. Đặc điểm nổi bật của gia công cắt gọt là khả năng thực hiện quá trình gia công trong một thời gian ngắn, tối ưu hóa năng suất sản xuất. Ngoài ra, với sự tiến bộ của công nghệ và máy móc, các phương pháp gia công cắt gọt hiện đại ngày càng phát triển, giúp cải thiện hiệu quả sản xuất và giảm thiểu lỗi trong quá trình gia công [1].

Hiệu suất làm việc của chi tiết máy được ảnh hưởng đáng kể bởi chất lượng của lớp bề mặt. Trong quá trình gia công, việc đạt được chất lượng bề mặt mong muốn là mục tiêu quan trọng, đặc biệt là khi gia công tinh các bề mặt. Trong các tiêu chuẩn chất lượng bề mặt, độ nhám là một yếu tố quan trọng. Vì điều kiện làm việc khác nhau, nhu cầu về độ nhám của chi tiết sẽ khác nhau. Độ nhám của bề mặt đóng vai trò quan trọng trong việc xác định độ bền và hiệu suất của sản phẩm. Tuy nhiên, việc giảm độ nhám có thể dẫn đến tăng chi phí sản xuất. Trong quá trình gia công cắt gọt, có

nhiều yếu tố có thể ảnh hưởng đến độ nhám, nhưng chế độ cắt là yếu tố có ảnh hưởng lớn và quyết định nhất.

Trong nghiên cứu này làm rõ ảnh hưởng của ba thông số công nghệ cơ bản là chiều sâu cắt t, lượng chạy dao dọc S và vận tốc cắt V đến nhám bề mặt chi tiết khi gia công thép SKD61 trên máy phay CNC.

## 2. TRANG THIẾT BỊ THÍ NGHIỆM

### 2.1. Máy thí nghiệm

Máy được sử dụng trong nghiên cứu này là máy phay X.mill M640. Máy có các đặc tính kỹ thuật chủ yếu sau:

**Bảng 1. Thông số kỹ thuật máy X.mill M640**

| | |
|---|---|
| Tốc độ trục chính | 60÷8000 v/p |
| Tốc độ cắt | 10÷5000 mm/p |
| Công suất động cơ trục chính | 7,5 kW |
| Bàn máy | 750×360 mm |
| Kích thước máy | 2300×1800×2300 mm |
| Khối lượng | 4200 kg |



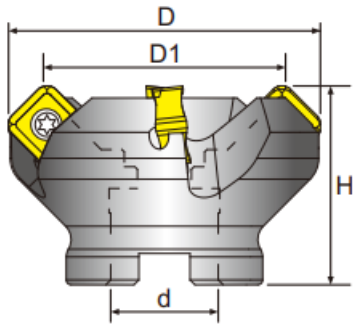
**Hình 1. Máy pháy X.mill M640**

### 2.2. Dụng cụ cắt

Dụng cụ cắt là dao phay mặt đầu gắn mảnh hợp kim của hãng Chain.

**Bảng 1. Thông số dao phay mặt đầu**

| Tên, thông số | Kí hiệu, kích thước |
|---|---|
| Đài dao | 63A05R/L-S45EC12A |
| Mảnh lưỡi cắt | EC1205-IO |
| D | 74 |
| D1 | 63 |
| H | 50 |
| d | 25,4 |




**Hình 2. Dao phay mặt đầu**

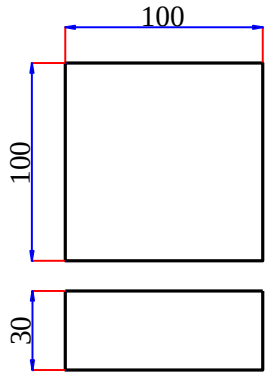
### 2.3. Mẫu thí nghiệm

Vật liệu thí nghiệm là thép SKD61 có độ cứng sau nhiệt luyện đạt 46÷52 HRC. Kết quả phân tích thành phần hóa học của mẫu thép SKD61 như bảng 2.

**Bảng 2. Thành phần hóa học mác vật liệu SKD61**

| Mác vật liệu | Thành phần hóa học trung bình các nguyên tố (%) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | *C* | *Mn* | *P* | *S* | *Si* | *Cr* | *V* | *Mo* |
| SKD61 | 0,32 ÷ 0,45 | 0,2 ÷ 0,6 | 0,03 | 0,03 | 0,8 ÷ 1,25 | 4,75 ÷ 5,5 | 0,8 ÷ 1,2 | 1,1 ÷ 1,75 |

Thép SKD61 sau khi nhiệt luyện cho cơ tính tốt: độ cứng cao, độ bền nén cao, độ dai va đập và tính chống biến dạng tốt. Mẫu thực nghiệm đáp ứng điều kiện thí nghiệm.




**Hình 3. Mẫu thí nghiệm**

### 2.4. Thiết bị đo

Độ nhám của bề mặt chi tiết sau khi gia công được khảo sát bằng máy đo nhám Mitutoyo SJ-310 (hình 4).

Mỗi lần dừng máy để đo, độ nhám được đo 4 lần. Từ đó tính giá trị trung bình $R_{atb}$ và phương sai $S^2$. Các giá trị đo nằm ngoài khoảng $R_{atb} \pm S^2$ sẽ bị loại và không được đưa vào cho các tính toán tiếp theo [3].



**Hình 4. Máy nhám SJ-310**

## 3. QUY HOẠCH THỰC NGHIỆM

### 3.1. Thông số thực nghiệm

▪ Qua nghiên cứu các thông số ảnh hưởng đến chỉ tiêu đánh giá quá trình cắt khi phay bao gồm nhiều yếu tố nhưng trong giới hạn của bài báo, tác giả chọn 3 thông số đầu vào sau:

*v*: vận tốc cắt (m/ph);

*s*: lượng chạy dao (mm/r);

*t*: chiều sâu cắt (mm).

Các thông số này đều có đặc tính là có khả năng điều chỉnh liên tục và sự điều chỉnh mỗi thông số không kéo theo sự thay đổi các thông số khác [1]. Sự thay đổi của các thông số này cũng ảnh hưởng tới thông số đầu ra là độ nhám bề mặt $R_a$ (µm). Như vậy việc nhóm các thông số *v*, *s*, *t* vào một kế hoạch thực nghiệm đã đáp ứng được các yêu cầu cơ bản của lý thuyết quy hoạch thực nghiệm.

### 3.2. Kế hoạch thực nghiệm

Ma trận thực nghiệm được xây dựng theo phương án thực nghiệm bậc 1 của Box-Wilson. Với ba thông số đầu vào sẽ thay đổi của quá trình thí nghiệm (v, s và t) sẽ có $2^k = 2^3 = 8$ điểm thí nghiệm gốc (ở mức mã hóa -1 và +1); và nên lựa chọn ít nhất 3 điểm trung tâm (ở mức mã hóa 0) [2]. Như vậy kế hoạch thí nghiệm sẽ bao gồm 11 điểm và được sắp xếp như trong bảng 3.

**Bảng 3. Ma trận quy hoạch thực nghiệm**

| TTTN | Biến đầu vào mã hóa | | | Hàm đầu ra |
|---|---|---|---|---|
| | $x_1$ | $x_2$ | | $x_1$ |
| 1 | -1 | -1 | -1 | $y_1$ |
| 2 | 1 | -1 | -1 | $y_2$ |
| 3 | -1 | +1 | -1 | $y_3$ |
| 4 | 1 | +1 | -1 | $y_4$ |
| 5 | -1 | -1 | +1 | $y_5$ |
| 6 | 1 | -1 | +1 | $y_6$ |
| 7 | -1 | +1 | +1 | $y_7$ |
| 8 | +1 | +1 | +1 | $y_8$ |
| 9 | 0 | 0 | 0 | $y_9$ |
| 10 | 0 | 0 | 0 | $y_{10}$ |
| 11 | 0 | 0 | 0 | $y_{11}$ |

▪ Giá trị các thông số v, s và t trong quá trình thí nghiệm được chọn theo kinh nghiệm thực tế trong sản xuất và phù hợp với loại máy đang sử dụng thí nghiệm [1].

▪ Vận tốc cắt: nằm trong khoảng 149 (m/ph)≤ v≤ 267 (m/ph). Đây là dải tốc độ đối với thép có độ cứng trên 46 HRC.

▪ Lượng chạy dao: Ứng với bước gia công tinh khi phay mặt đầu lượng chạy dao trong khoảng 0,03 (mm/r) ≤S≤ 0,07 (mm/r).

▪ Chiều sâu cắt: trong khoảng 0,2 (mm) ≤ t≤0,6 (mm) chiều sâu cắt nhỏ làm giảm lực cắt và rung động trong quá trình gia công tinh.

**Bảng 4. Các mức thông số**

| Các mức | Giá trị mã hoá | Các thông số ảnh hưởng | | |
|---|---|---|---|---|
| | | *t (mm)* | *s (mm/r)* | *v (m/ph)* |
| Mức trên | +1 | 0,6 | 0,07 | 267 |
| Mức cơ sở | 0 | 0,4 | 0,05 | 208 |
| Mức dưới | –1 | 0,2 | 0,03 | 149 |
| Khoảng thay đổi Δ | 1 | 0,2 | 0,02 | 59 |

**Bảng 5. Số liệu thực nghiệm**

| TT TN | t (mm) | s (mm/r) | v (m/ph) | $R_{atb}$ (μm) |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 0.2 | 0.03 | 149 | 0.1926 |
| 2 | 0.6 | 0.03 | 149 | 0.2818 |
| 3 | 0.2 | 0.07 | 149 | 0.3184 |
| 4 | 0.6 | 0.07 | 149 | 0.3745 |
| 5 | 0.2 | 0.03 | 267 | 0.1977 |
| 6 | 0.6 | 0.03 | 267 | 0.2323 |
| 7 | 0.2 | 0.07 | 267 | 0.2731 |
| 8 | 0.6 | 0.07 | 267 | 0.3207 |
| 9 | 0.4 | 0.05 | 208 | 0.2583 |
| 10 | 0.4 | 0.05 | 208 | 0.2438 |
| 11 | 0.4 | 0.05 | 208 | 0.2704 |

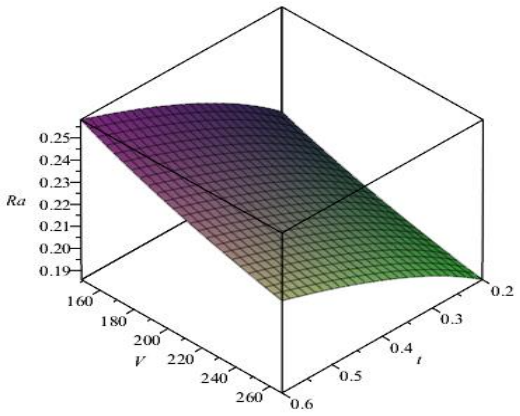
## 4. KẾT QUẢ

▪ Để mô tả mối quan hệ phi tuyến giữa chế độ cắt và độ nhám bề mặt thì mô hình hàm hồi quy dạng hàm mũ là thích hợp nhất. Sau khi xử lý số liệu, kiểm tra khả năng làm việc của mô hình và loại bỏ các hệ số không đủ mức ý nghĩa ta thu được mô hình độ nhám bề mặt gia công như sau:

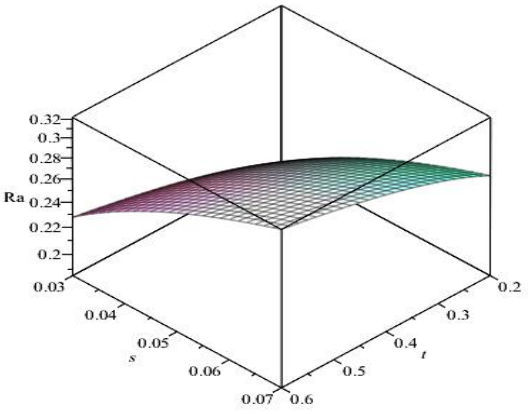
$$R_a=3{,}53.t^{0,\,185}.s^{0,\,411}.V^{-0,\,216}$$

▪ Trong mô hình hồi quy, lượng chạy dao ảnh hưởng đến độ nhám nhiều nhất phù hợp với các nghiên cứu lý thuyết trước đó. [4]

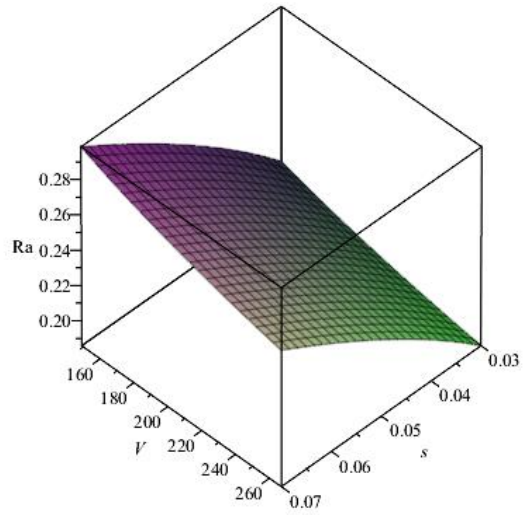
Giải quyết bài toán tối ưu, tìm bộ thông số chế độ cắt (V,s,t) để $R_{amin}$ là giải quyết bài toán đơn mục tiêu cho cả 3 thông số. Trên cơ sở mô hình toán học của độ nhám và điều kiện biên của các biến ta tìm được $R_{amin}$=0.1858 μm, tại V=267 m/ph, s=0,03 mm/r, t=0,2 mm.




**Hình 5. Quan hệ độ nhám $R_a$ với t, v (s tối ưu)**




**Hình 6. Quan hệ độ nhám $R_a$ với s, t (v tối ưu)**




**Hình 7. Quan hệ độ nhám $R_a$ với v, s (t tối ưu)**

## 5. KẾT LUẬN

Từ một số kết quả đã thực hiện trong nghiên cứu này, rút ra một số kết luận khi gia công thép SKD61 trên máy phay X.mill M640 bằng dao phay mặt đầu hợp kim cứng như sau:

- Các tham số công nghệ như vận tốc cắt (V), lượng chạy dao (s), và chiều sâu cắt (t) đều có ảnh hưởng đáng kể đến độ nhám bề mặt ($R_a$) của sản phẩm sau quá trình gia công cắt gọt. Trong đó, lượng chạy dao ảnh hưởng mạnh mẽ nhất đối nhám bề mặt khi gia công tinh. Lượng chạy dao càng lớn độ nhám càng cao ảnh hưởng không tốt đến chất lượng bề mặt. Vận tốc cắt càng lớn thì độ nhám càng nhỏ và ngược lại. Vận tốc cắt lớn giảm độ nhám bề mặt gia công tăng chất lượng bề mặt. Chiều sâu cắt không ảnh hưởng mạnh đến nhám bề mặt như lượng chạy dao và vận tốc cắt nhưng việc chọn chiều sâu cắt hợp lý sẽ giảm được lực cắt và rung động trong gia công tinh góp phần quan trọng giúp nâng cao chất lượng bề mặt.

- Bộ thông số chế độ cắt tối ưu: vận tốc cắt V = 267 m/ph, lượng chạy dao s = 0,03 mm/r và chiều sâu cắt t = 0,2 mm khi gia công thép SKD61 trên máy phay CNC sẽ cho độ nhám bề mặt $R_{amin}$=0.1858 µm.

Có thể ứng dụng kết quả trên vào trong thực tế sản xuất để nâng cao được năng suất và chất lượng bề mặt gia công.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Trần Văn Địch, “Nguyên lý cắt kim loại”, trang 201, Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội, lần thứ hai, 2009.

[2] Trần Văn Địch, “Nghiên cứu độ chính xác gia công bằng thực nghiệm”, trang 165, Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội, lần thứ nhất, 2003.

[3] Nguyễn Tiến Thọ, “Kỹ thuật đo lường và kiểm tra trong chế tạo máy”, trang 121, Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội, lần thứ tư, 2009.

[4] Turnad L. GINTA, A.K.M. Nurul AMIN, A.N. Mustafizul KARIM, M.H.ISHTIYAQ ”Modeling for Surface Roughness in End-Milling of Titanium Alloy Ti-6AI-4V”, January 2007 Proceedings of International Conference on Leading Edge Manufacturing in 21st century, page 24, (2007).

*Thông tin liên hệ:* **Nguyễn Văn Trúc**
Điện thoại: 0949259846 - Email: nvtruc@uneti.edu.vn
Khoa Cơ khí, Trường Đại học Kinh tế - Kỹ thuật Công nghiệp.