

# ẢNH HƯỞNG CỦA CÁC THÔNG SỐ CÔNG NGHỆ ĐẾN LỰC CẮT KHI GIA CÔNG HỢP KIM NHÔM A2024 TRÊN MÁY PHAY CNC

## EFFECT OF TECHNOLOGY PARAMETERS ON CUTTING FORCE DURING CNC MILLING OF A2024 ALUMINUM ALLOY

ThS. Nguyễn Văn Trúc

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

Email: nvtruc@uneti.edu.vn

### TÓM TẮT

Bài báo nghiên cứu ảnh hưởng của các thông số công nghệ đến lực cắt khi phay hợp kim nhôm A2024 trên máy phay CNC. Thí nghiệm được thực hiện với các thông số cắt gồm vận tốc cắt  $v$ , lượng chạy dao  $s$  và chiều sâu cắt  $t$ . Lực cắt trong quá trình gia công được đo để đánh giá mức độ ảnh hưởng của các thông số công nghệ. Từ kết quả thực nghiệm, mô hình toán học mô tả mối quan hệ giữa lực cắt thành phần  $P_x$  và các thông số  $v$ ,  $s$ ,  $t$  đã được xây dựng, làm cơ sở lựa chọn chế độ cắt hợp lý và nâng cao hiệu quả gia công.

**Từ khóa:** Thông số công nghệ; Lực cắt; Hợp kim nhôm A2024.

### ABSTRACT

This paper investigates the influence of technological parameters on cutting forces during the milling of A2024 aluminum alloy on a CNC milling machine. Experiments were conducted with cutting parameters including cutting speed  $v$ , feed rate  $s$ , and depth of cut  $t$ . The cutting force during the machining process was measured to evaluate the effects of these parameters. Based on the experimental results, a mathematical model describing the relationship between the cutting force component  $P_x$  and the parameters  $v$ ,  $s$  and  $t$  was developed, providing a basis for selecting appropriate cutting conditions and improving machining efficiency.

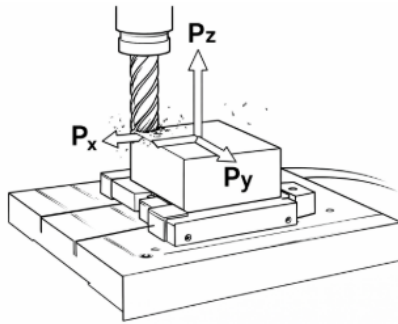
**Keywords:** Technological parameters; Cutting force; A2024 aluminum alloy.

### 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong các yếu tố ảnh hưởng đến độ chính xác gia công thì lực cắt đóng vai trò quan trọng. Lực cắt khi gia công bằng dao phay ngón gây ra: biến dạng hệ thống công nghệ, rung động, sinh nhiệt dẫn đến mòn dao làm giảm độ chính xác gia công [1].

Quá trình phay hợp kim nhôm bằng dao phay ngón xuất hiện ba thành phần lực:  $P_x$ ,  $P_y$ ,  $P_z$ . Thành phần lực  $P_x$  có ảnh hưởng lớn nhất đến độ chính xác gia công do gây uốn dao và biến dạng hệ thống công nghệ, từ đó làm sai lệch kích thước và hình dạng bề mặt gia công.





Hình 1. Các thành phần lực cắt khi phay

Các nghiên cứu đã kết luận có nhiều yếu tố ảnh hưởng đến lực cắt nhưng chế độ cắt ảnh hưởng sâu sắc và mạnh mẽ nhất. Do vậy, trong nghiên cứu này tác giả làm rõ ảnh hưởng của ba thông số công nghệ cơ bản là vận tốc cắt  $v$ , lượng chạy dao  $s$  và chiều sâu cắt  $t$  đến lực cắt  $P_x$  khi gia công hợp kim nhôm A2024 trên máy phay X.mill M640.

## 2. TRANG THIẾT BỊ VẬT LIỆU THÍ NGHIỆM

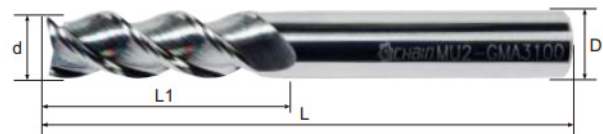
### 2.1. Máy và dao

Các thí nghiệm được tiến hành trên máy phay X.mill M640: Kích thước của máy (2300×1800×2300 mm) có tốc độ trục chính lên đến 8000 v/ph, tốc độ cắt đạt 5000 mm/ph, bước tiến nhanh 36000 mm/ph, công suất động cơ 7,5 kW.

Thiết kế hệ thống đo các thành phần của lực cắt gồm: Bàn đo lực, bộ khuếch đại điện tích, bộ thu thập dữ liệu, máy tính và phần mềm xử lý số liệu.



Hình 2. Hệ thống đo lực cắt



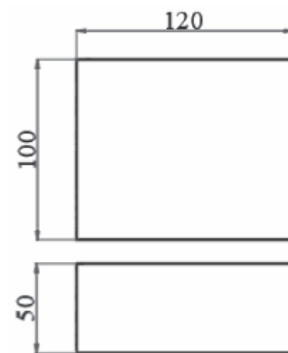
Hình 3. Dao phay ngón MU2-GMA3160

Bảng 1. Dao phay ngón MU2-GMA3160

| Thông số | Kích thước (mm) |
|----------|-----------------|
| D        | 16              |
| $L_1$    | 48              |
| L        | 100             |
| d        | 16              |

### 2.2. Mẫu thí nghiệm

Vật liệu thí nghiệm là hợp kim nhôm A2024 có độ bền rất cao, gia công tốt nhưng chống ăn mòn và khả năng hàn kém, thường dùng cho kết cấu chịu lực lớn và yêu cầu trọng lượng nhẹ. Kết quả phân tích thành phần hóa học của mẫu hợp kim nhôm A2024 như bảng 2.



Hình 4. Mẫu thí nghiệm

Bảng 2. Thành phần hóa học hợp kim nhôm A2024

| Mác vật liệu | Thành phần hóa học trung bình các nguyên tố (%) |           |           |           |        |        |        |        |
|--------------|-------------------------------------------------|-----------|-----------|-----------|--------|--------|--------|--------|
|              | Al                                              | Mn        | Cu        | Mg        | Si     | Fe     | Zn     | Ti     |
| Nhôm A2024   | 91 ÷ 93,4                                       | 0.3 ÷ 0.9 | 3.8 ÷ 4.9 | 1.2 ÷ 1.8 | ≤ 0.50 | ≤ 0.50 | ≤ 0.25 | ≤ 0.15 |

2.3 Thiết bị đo

Bảng 3. Thông số kỹ thuật bàn đo lực 9257A

| Thông số             | Giá trị                               |
|----------------------|---------------------------------------|
| Thành phần lực đo    | $F_x, F_y, F_z$                       |
| Dải đo lực           | $\pm 5 \text{ kN } (F_x, F_y, F_z)$   |
| Quá tải cho phép     | $\pm 7.5 \text{ kN } (F_x, F_y, F_z)$ |
| Ngưỡng phát hiện lực | $< 0.01 \text{ N}$                    |



Hình 5. Bàn đo lực 9257A Kistler [3].

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Thí nghiệm

Ma trận thực nghiệm được xây dựng theo phương án thực nghiệm bậc 1 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 4.

Bảng 4. Ma trận quy hoạch thực nghiệm

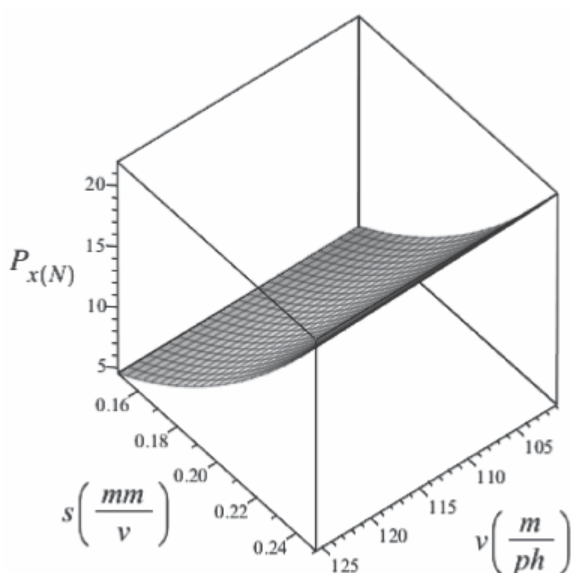
| TTTN | Biến đầu vào mã hóa |       |       | Biến thực nghiệm  |                    |                  | Giá trị đo        |
|------|---------------------|-------|-------|-------------------|--------------------|------------------|-------------------|
|      | $x_1$               | $x_2$ | $x_3$ | $v \text{ (m/p)}$ | $s \text{ (mm/v)}$ | $t \text{ (mm)}$ | $P_x \text{ (N)}$ |
| 1    | -1                  | -1    | -1    | 100.84            | 0.15               | 0.2              | 4.664             |
| 2    | +1                  | -1    | -1    | 125.6             | 0.15               | 0.2              | 4.546             |
| 3    | -1                  | +1    | -1    | 100.84            | 0.25               | 0.2              | 21.954            |
| 4    | +1                  | +1    | -1    | 125.6             | 0.25               | 0.2              | 21.4              |
| 5    | -1                  | -1    | +1    | 100.84            | 0.15               | 0.5              | 8.255             |
| 6    | +1                  | -1    | +1    | 125.6             | 0.15               | 0.5              | 8.047             |
| 7    | -1                  | +1    | +1    | 100.84            | 0.25               | 0.5              | 38.861            |
| 8    | +1                  | +1    | +1    | 125.6             | 0.25               | 0.5              | 37.88             |
| 9    | 0                   | 0     | 0     | 113.04            | 0.2                | 0.35             | 15.608            |
| 10   | 0                   | 0     | 0     | 113.04            | 0.2                | 0.35             | 15.612            |
| 11   | 0                   | 0     | 0     | 113.04            | 0.2                | 0.35             | 15.609            |

## 3.2. Kết quả

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 lực cắt như sau:

$$P_x = 6859,075 \cdot v^{-0,1164} \cdot s^{3,0326} \cdot t^{0,6232}$$

Quan hệ giữa lực cắt và chế độ gia công là hàm mũ, lượng chạy dao ảnh hưởng đến lực cắt nhiều hơn phù hợp với các nghiên cứu lý thuyết trước đó [4].



Hình 6. Quan hệ  $P_x$  với  $v$ ,  $s$  ( $t$  tối ưu)

## 4. KẾT LUẬN

Từ một số kết quả đã thực hiện trong nghiên cứu này, tác giả rút ra một số kết luận khi gia công thép hợp kim nhôm A2024 trên máy phay X.mill M640 bằng dao phay ngón thép như sau:

Lượng chạy dao  $s$  có ảnh hưởng lớn nhất đến lực cắt. Chiều sâu cắt  $t$  cũng có ảnh hưởng đáng kể đến lực tuy nhiên mức độ ảnh hưởng nhỏ hơn so với lượng chạy dao. Trong

khi đó, vận tốc cắt  $v$  cho thấy khi vận tốc cắt tăng thì lực cắt có xu hướng giảm và ngược lại. Kết quả nghiên cứu có thể được ứng dụng trong sản xuất thực tế. ❖

Ngày nhận bài: **16/3/2026**

Ngày phản biện: **24/3/2026**

### Tài liệu tham khảo:

- [1]. Bành Tiến Long, Trần Thế Lục, Trần Sỹ Túy, “Nguyên lý gia công vật liệu”. NXB. Khoa học Kỹ thuật (2013).
- [2]. Trần Văn Địch, “Nghiên cứu độ chính xác gia công bằng thực nghiệm”. NXB. Khoa học và Kỹ thuật (2003).
- [3]. Nguyễn Tiến Thọ, “Kỹ thuật đo lường và kiểm tra trong chế tạo máy”. NXB. Khoa học và Kỹ thuật (2001).
- [4]. Wahaizad Safiei, Md Mustafizur Rahman, Ahmad Razlan Yusoff, Wajiha Tasnim, Zetty Akhtar Abd Malek (2021), “Evaluation of Cutting Force in End Milling Process of Aluminum Alloy 6061-T6 Using Tungsten Carbide Inserts with MQL Method Utilizing Hybrid Nanofluid”. Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences, Vol. 84, Issue 1, 2021, pp. 111-125.