



ẢNH HƯỞNG CỦA THÔNG SỐ CÔNG NGHỆ ĐẾN LỰC CẮT VÀ ĐỘ MÒN DỤNG CỤ TRONG PHAY CNC THÉP AISI 1043

Nguyễn Quang Vinh

Trường Đại học Giao thông vận tải, số 3 Phố Cầu Giấy, Hà Nội, Việt Nam

THÔNG TIN BÀI BÁO

CHUYÊN MỤC: Công trình khoa học

Ngày nhận bài: 13/4/2025

Ngày nhận bài sửa: 18/5/2025

Ngày chấp nhận đăng: 20/5/2025

Tác giả liên hệ:

Email: vinhnguyen.tkm@utc.edu.vn

TÓM TẮT

Nghiên cứu tập trung khảo sát ảnh hưởng của các thông số cắt trong quá trình phay CNC thép AISI 1043, gồm: vận tốc cắt, lượng chạy dao và chiều sâu cắt theo phương hướng kính, đến lực cắt và độ mòn dụng cụ. Các thí nghiệm được tiến hành trên máy phay CNC TC500. Lực cắt được đo bằng lực kế Type 9139AA, độ mòn dụng cụ được phân tích bằng kính hiển vi kỹ thuật số VHX-7000. Phương pháp thiết kế thí nghiệm Taguchi với ma trận L9 được sử dụng nhằm đánh giá mức độ ảnh hưởng của từng thông số gia công đến các biến đầu ra. Kết quả thí nghiệm cho thấy, chiều sâu cắt theo phương hướng kính là thông số có ảnh hưởng lớn nhất đến lực cắt, trong khi vận tốc cắt là yếu tố chính tác động đến độ mòn dụng cụ. Lượng chạy dao cho thấy ảnh hưởng không đáng kể đến cả lực cắt và độ mòn dụng cụ. Nghiên cứu nhấn mạnh vai trò quan trọng của việc tối ưu hóa các thông số cắt nhằm kéo dài tuổi thọ dụng cụ và nâng cao hiệu quả quá trình gia công.

Từ khóa: thông số cắt, lực cắt, độ mòn dụng cụ

@ Hội Khoa học và Công nghệ Mỏ Việt Nam

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong quá trình gia công, có nhiều yếu tố ảnh hưởng đến rung động trong hệ thống công nghệ [2], [4], [6], [10]. Sự tương tác giữa lưỡi cắt và bề mặt gia công làm gia tăng độ mòn của dụng cụ [1], dẫn đến sự thay đổi như lực cắt tăng [3], biến dạng đàn hồi của dụng cụ [7], hiện tượng rung động tự kích thích [11]. Những yếu tố này ảnh hưởng đến độ chính xác gia công, gây ra sai lệch hình học như độ phẳng [8] và làm giảm chất lượng bề mặt [9]. Ngoài ra, độ mòn dụng cụ lớn còn làm tăng nguy cơ hỏng hóc dụng cụ [5]. Do đó, việc theo dõi tình trạng dụng cụ trong quá trình gia công là rất cần thiết nhằm giảm thiểu các tác động bất lợi này.

Các phương pháp giám sát tình trạng dụng cụ được chia thành hai nhóm chính: phương pháp trực tiếp và phương pháp gián tiếp. Phương pháp trực tiếp thu thập dữ liệu ngay tại vùng hình thành phoi, phản ánh trực tiếp trạng thái của dụng cụ cắt trong quá trình cắt. Ngược lại, phương pháp gián tiếp sử dụng dữ liệu từ các tín hiệu bên ngoài vùng

cắt, phản ánh gián tiếp tình trạng dụng cụ thông qua phản ứng của máy công cụ trước các thay đổi trong quá trình gia công. Cả hai phương pháp đều hỗ trợ hiệu quả trong việc đánh giá tình trạng dụng cụ, qua đó giúp giảm thiểu rủi ro và tối ưu hóa chất lượng sản phẩm.

Trong số các phương pháp gián tiếp, một số kỹ thuật tiên tiến như mô hình bề mặt đáp ứng và phân tích nghịch đảo đã được phát triển nhằm ước tính các đại lượng quan trọng như ứng suất dư, tuổi thọ dụng cụ, độ nhám bề mặt trong gia công thông, cũng như lực cắt trong các loại hình gia công này.

Một số kỹ thuật giám sát dụng cụ cắt phổ biến bao gồm đo lực cắt bằng lực kế, đo nhiệt độ dụng cụ bằng cặp nhiệt điện hoặc camera hồng ngoại, phân tích rung động, phát xạ âm thanh, và theo dõi mức tiêu thụ năng lượng điện. Ngoài ra, các phương pháp đánh giá tính toàn vẹn của bề mặt phoi và lớp bề mặt phụ, đặc tính cơ học, và phân tích độ mòn dụng cụ cắt thông qua kính hiển vi điện



tử quét và quang học cũng được áp dụng để suy luận tình trạng dụng cụ.

Trong nghiên cứu này, phương pháp giám sát trực tiếp được sử dụng nhằm đánh giá tình trạng dụng cụ cắt trong quá trình phay tốc độ cao. Ảnh hưởng của các thông số cắt chính gồm vận tốc cắt, lượng chạy dao và chiều sâu cắt đến lực cắt và độ mòn dụng cụ trong quá trình phay thép AISI 1043 đã được khảo sát một cách hệ thống.

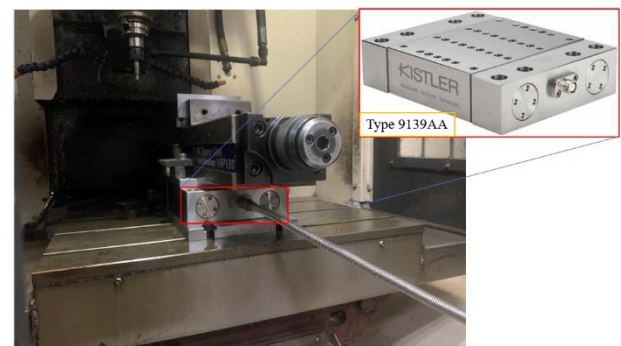
2. DỮ LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Để đánh giá ảnh hưởng của ba thông số cắt là vận tốc cắt (v_c), lượng chạy dao (f) và chiều sâu cắt theo hướng kính (a_r) đến lực cắt và độ mòn dụng cụ trong quá trình phay thép AISI 1043, các thí nghiệm đã được tiến hành trên máy phay CNC TC500 (Hình 1). Máy được trang bị bộ điều khiển FANUC Oi, có khả năng di chuyển trục X/Y/Z với tốc độ 48/48/48 m/min, phạm vi tốc độ trục chính từ 100 đến 20.000 r/min. Lực kế loại 9139AA (Hình 2) được sử dụng để đo lực cắt. Cảm biến lực ba thành phần này rất phù hợp cho các ứng dụng đo lực động. Độ mòn dụng cụ được phân tích bằng kính hiển vi kỹ thuật số VHX-7000 (Hình 3). Kính hiển vi này phát hiện các khuyết tật như vết xước, vết nứt và các điểm không đều trên bề mặt, bao gồm độ gợn sóng và độ nhám, theo các tiêu chuẩn như ISO 4287, JIS-G0551, ISO-643, ASTM-E1382, ISO-16232 và ISO25178. Với phạm vi phóng đại từ 1 đến 5000 lần và độ chính xác đo lường là $0,12 \mu\text{m}$ ở độ phóng đại 5000 lần, kính hiển vi cung cấp các phép đo chính xác. Nó có phạm vi chuyển động trục Z từ 0–46 mm, chuyển động trục X từ 0–100 mm và chuyển động trục Y từ 0–100 mm. Đầu đo có thể xoay dọc theo trục Y trong khoảng từ 60° đến 90° và mẫu có thể xoay $\pm 90^\circ$ dọc theo cả trục Y và X. Các khả năng này cho phép VHX-7000 cung cấp khả năng kiểm soát chất lượng nhanh chóng và chính xác. Với thời gian đo ngắn và tốc độ thu thập dữ liệu lên đến 20 fps, lý tưởng cho các ứng dụng kiểm soát chất lượng trong xưởng. Các phép đo dựa trên đặc điểm quang học của mẫu.

Trong nghiên cứu này, phương pháp thiết kế thử nghiệm Taguchi L9 được sử dụng để đánh giá ảnh hưởng của các thông số cắt là vận tốc cắt, lượng chạy dao và chiều sâu cắt theo hướng kính đến lực cắt và độ mòn dụng cụ. Tổng cộng $N=3^3=27$ thí nghiệm được tiến hành, mỗi thí nghiệm lặp lại ba lần. Các kỹ thuật phân tích thống kê được sử dụng để đánh giá tác động của các thông số lên các biến đầu ra cũng như các tác động tương tác của chúng.



Hình 1. Trung tâm gia công TC500



Hình 2. Cảm biến đo lực được lắp trên máy phay CNC TC500



Hình 3. Đo độ mòn của dụng cụ bằng kính hiển vi kỹ thuật số VHX-7000



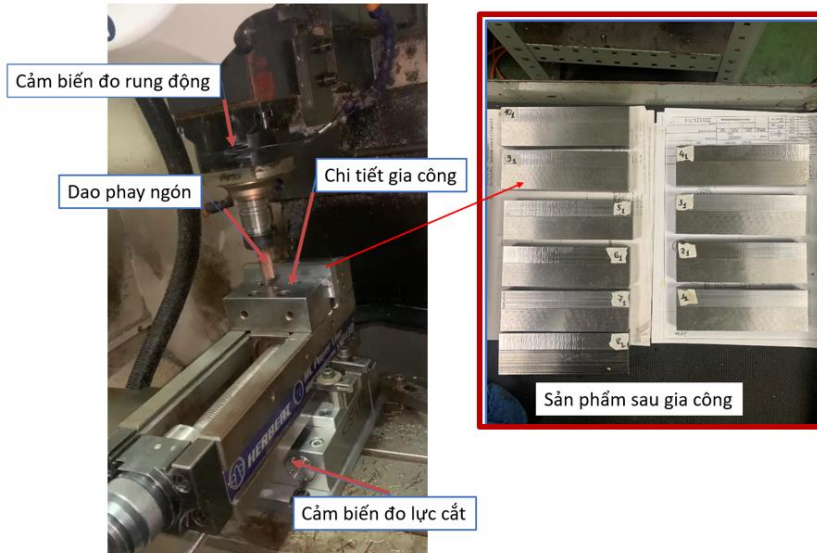
Bảng 1. Thông số và giá trị các biến đầu vào

Thông số	Ký hiệu	Biến chuẩn hóa	Đơn vị	Mức giá trị		
				1	2	3
Tốc độ cắt	v_c	x1	R/min	2310	5095	7450
Lượng chạy dao	f	x2	mm/min	1146	2580	3725
Chiều sâu cắt	a_r	x3	mm	0,2	0.6	1

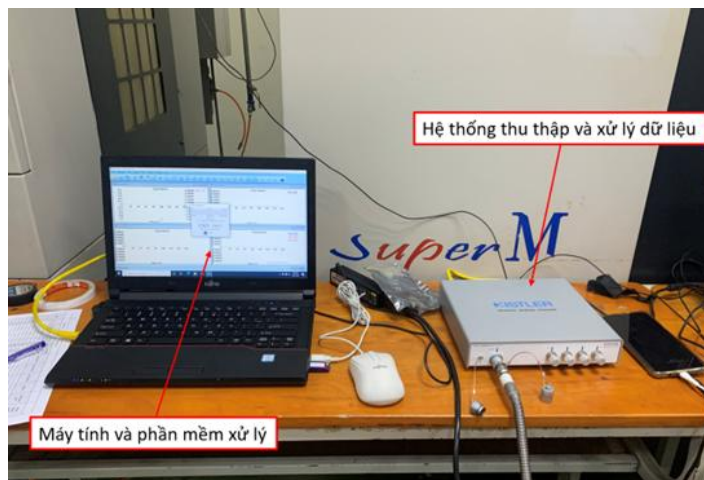
Các mẫu thử thép AISI 1043 có kích thước dài 120 mm, rộng 50 mm và cao 20 mm (Hình 4). Dụng cụ là dao phay ngón GUHRING Model 6710, với các thông số kỹ thuật: đường kính 20 mm, vật liệu cacbua, lớp phủ FIREX, có năm me cắt. Loại dụng cụ cắt này có độ bền nhiệt cao và đã được chứng minh là hiệu quả khi gia công thép AISI 1043. Trong nghiên cứu này, không sử dụng tưới nguội.

Quy trình phay được minh họa trong Hình 4 và Hình 5. Để giảm thiểu ảnh hưởng của quá trình cắt không liên tục, các thử nghiệm gia công được thực hiện trong thời gian cắt rất ngắn và lực cắt được tính trung bình trong quá trình cắt ổn định.

Dựa trên phân tích này, ma trận thử nghiệm đã được thiết kế bằng phương pháp Taguchi, bao gồm tổng cộng 9 thí nghiệm (Bảng 2).



Hình 4. Quá trình thiết lập mô hình thí nghiệm



Hình 5. Hệ thống thu thập dữ liệu

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Ảnh hưởng của các thông số cắt đến lực cắt

Lực cắt tổng F được phân tích thành ba thành phần theo hướng X, Y và Z, được ký hiệu là F_x , F_y và F_z . Sau khi xác định các thành phần lực riêng lẻ, lực cắt tổng F được tính toán bằng các phương trình sau:

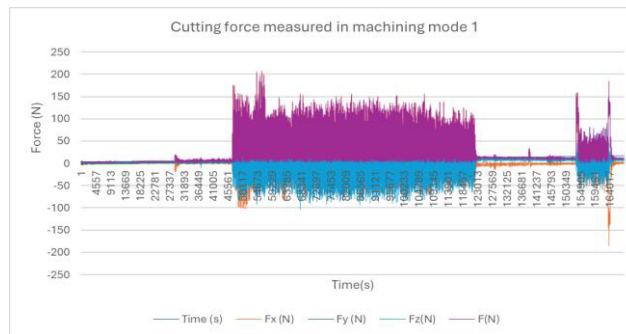
$$\vec{F} = \vec{F}_x + \vec{F}_y + \vec{F}_z \quad (1)$$

Độ lớn của lực cắt tổng được xác định

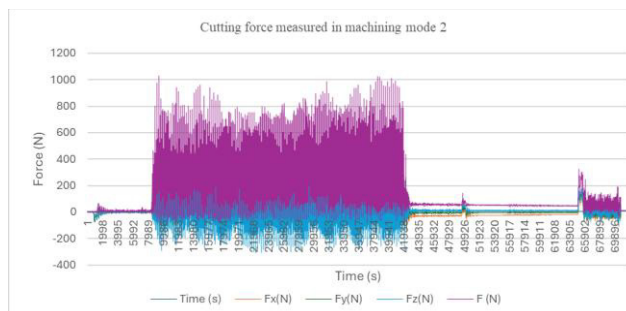
$$F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2 + F_z^2} \quad (2)$$

Các thí nghiệm được tiến hành dựa trên thiết kế thí nghiệm trong Bảng 2. Thiết lập gia công và

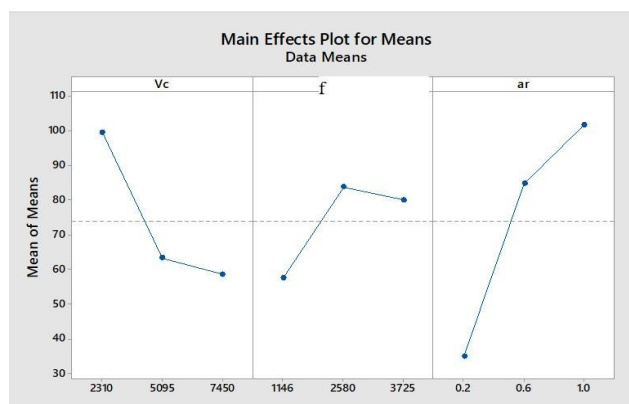
đo lường thể hiện trong Hình 4. Các giá trị lực cắt đo trong mỗi thí nghiệm được tính trung bình và lưu trữ trong tệp Excel. Giá trị lực cắt trung bình được tính toán trong suốt quá trình cắt. Lực cắt trung bình và các thông số công nghệ tương ứng được trình bày trong Bảng 2. Biểu đồ lực cắt được minh họa trong các Hình 6, 7. Ảnh hưởng của các thông số công nghệ chính đến lực cắt được minh họa trong Hình 8 và Bảng 3. Sự khác biệt giữa các điểm biểu thị mức 1 và 3 trong Hình 8 cho thấy chiều sâu cắt theo hướng kính (a_r) có ảnh hưởng đáng kể nhất đến lực cắt, tiếp theo là vận tốc cắt (v_c), lượng chạy dao (f) có ảnh hưởng ít nhất



Hình 6. Biểu đồ lực cắt ở chế độ cắt thứ nhất



Hình 7. Biểu đồ lực cắt ở chế độ cắt thứ hai



Hình 8. Ảnh hưởng của các thông số công nghệ đến lực cắt



Các giá trị Rank trong Bảng 3 xác nhận chiều sâu cắt (a_r) có ảnh hưởng lớn nhất đến lực cắt, tiếp theo là vận tốc cắt (v_c), trong khi lượng chạy dao (f) đứng thứ ba.

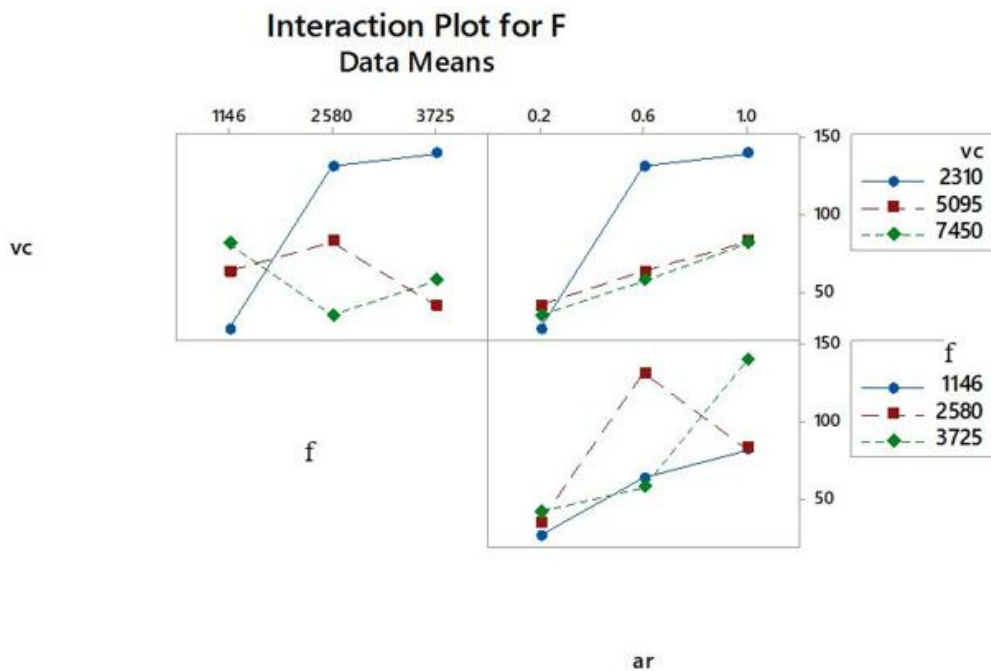
Bảng 2. Ma trận và kết quả thực nghiệm

Run	Biến chuẩn hóa			Biến thực			Lực cắt trung bình F (N)
	x1	x2	x3	v_c (r/min)	f (mm/min)	a_r (mm)	
1	-1	-1	-1	2310	1146	0,2	26,85
2	-1	0	0	2310	2580	0,6	131,98
3	-1	1	1	2310	3725	1	139,82
4	0	-1	0	5095	1146	0,6	64,05
5	0	0	1	5095	2580	1	83,35
6	0	1	-1	5095	3725	0,2	42,39
7	1	-1	1	7450	1146	1	82,02
8	1	0	-1	7450	2580	0,2	35,90
9	1	1	0	7450	3725	0,6	58,02

Bảng 3. Ảnh hưởng của các thông số công nghệ đến lực cắt

Level	v_c	f	a_r
1	99.55	57.64	35.05
2	63.26	83.74	84.68
3	58.64	80.07	101.73
Delta	40.91	26.10	66.69
Rank	2	3	1

Ảnh hưởng tác giữa các thông số cắt trên lực cắt, được thể hiện trong Hình 9



Hình 9. Ảnh hưởng tương tác của các thông số tới lực cắt



3.2. Ảnh hưởng của các thông số đến độ mòn dụng cụ

Độ mòn dụng cụ cắt không chỉ ảnh hưởng đến chất lượng bề mặt của các chi tiết gia công và tuổi thọ của dụng cụ cắt mà còn ảnh hưởng đến mức tiêu thụ năng lượng. Để đánh giá ảnh hưởng của các thông số công nghệ đến độ mòn dụng cụ cắt, sử dụng dao phay ngón GUHRING Model 6710, với mỗi dụng cụ gia công một phiê hoàn chỉnh, đảm

bảo duy trì thể tích loại bỏ vật liệu không đổi trong mọi điều kiện gia công. Chế độ thực nghiệm được thực hiện như trong Bảng 4. Độ mòn dụng cụ đo bằng kính hiển vi kỹ thuật số VHX-7000 từ Keyence, Nhật Bản. Thiết lập đo lường được thể hiện trong Hình 10. Các giá trị độ mòn dụng cụ trong các chế độ gia công khác nhau được trình bày trong Bảng 4.



Hình 10. Sơ đồ đo mòn dao bằng kính hiển vi kỹ thuật số VHX-7000

Bảng 4. Chế độ thực nghiệm và kết quả đo mòn dao

Chế độ thực nghiệm	Lượng chạy dao (mm/min)	Chiều sâu cắt (mm)	Vận tốc cắt (r/min)	Mòn ban đầu (mm)	Giá trị mòn đo được (mm)
1	1146	0.2	2310	0	0.017
2	1146	0.2	7450	0	0.039
3	2580	0.2	2310	0	0.051
4	2580	1.0	7450	0	0.102
5	3725	1.0	2310	0	0.161
6	3725	1.0	7450	0	0.267

Kết quả trình bày trong Bảng 4 cho thấy các thông số gia công như vận tốc cắt, lượng chạy dao và chiều sâu cắt hướng kính đều có ảnh hưởng đáng kể đến độ mòn của dụng cụ trong quá trình phay.

Cụ thể, khi tăng vận tốc cắt từ 2310 r/min lên 7450 r/min trong cùng điều kiện gia công, độ mòn dụng cụ có xu hướng tăng rõ rệt. Ví dụ, với lượng chạy dao 1146 mm/phút và chiều sâu cắt 0,2 mm, độ mòn dụng cụ tăng từ 0,017 mm tại 2310 r/min lên 0,039 mm tại 7450 r/min. Xu hướng này cho

thấy rằng vận tốc cắt cao làm tăng nhiệt sinh ra trong vùng cắt, từ đó thúc đẩy quá trình mòn nhiệt và làm giảm tuổi thọ dụng cụ.

Tương tự, khi tăng lượng chạy dao từ 1146 mm/min lên 3725 mm/min (với vận tốc cắt cố định ở 2310 r/min), độ mòn dụng cụ cũng tăng mạnh, từ 0,017 mm lên đến 0,161 mm - tức gần gấp 10 lần. Sự gia tăng này có thể lý giải do lực cắt tăng đáng kể khi lượng chạy dao lớn hơn, dẫn đến mòn cơ học mạnh hơn và rút ngắn đáng kể thời gian làm việc hiệu quả của dụng cụ.



Ngoài ra, chiều sâu cắt cũng là một yếu tố ảnh hưởng lớn. Khi tăng chiều sâu cắt từ 0,2 mm lên 1,0 mm, độ mòn dụng cụ tăng gần gấp đôi, từ 0,051 mm lên 0,102 mm, trong điều kiện vận tốc cắt 2310 r/min và lượng chạy dao 2580 mm/min. Nguyên nhân chính là do chiều sâu cắt lớn tạo ra lực cắt lớn hơn và tốc độ loại bỏ vật liệu cao hơn, dẫn đến tải trọng cơ học và nhiệt trên dụng cụ gia tăng, làm tăng tốc độ mòn.

4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã phân tích một cách hệ thống ảnh hưởng của ba thông số công nghệ chính gồm: vận tốc cắt, lượng chạy dao và chiều sâu cắt theo hướng kính đến lực cắt và độ mòn dụng cụ trong quá trình phay thép AISI 1043 bằng máy CNC TC500. Các phép đo được thực hiện với lực kế Type 9139AA và kính hiển vi kỹ thuật số VHX-7000, theo thiết kế thí nghiệm Taguchi L9 và phân tích thống kê. Chiều sâu cắt theo hướng kính (a_r) là yếu tố có ảnh hưởng lớn nhất đến lực cắt, với mức lực trung bình tăng từ 26,85 N ở chiều sâu 0,2

mm lên đến 139,82 N ở chiều sâu 1,0 mm. Đây là thông số cần được đặc biệt chú trọng khi thiết lập chế độ cắt nhằm kiểm soát lực tác động và tải trọng lên dụng cụ. Vận tốc cắt (v_c) có ảnh hưởng lớn nhất đến độ mòn dụng cụ, đặc biệt ở tốc độ cao. Trong điều kiện cùng lượng chạy dao và chiều sâu cắt, khi tăng vận tốc từ 2310 r/min lên 7450 r/min, độ mòn tăng từ 0,017 mm lên 0,039 mm, do nhiệt sinh ra trong vùng cắt lớn hơn, thúc đẩy quá trình mòn nhiệt. Lượng chạy dao (f) có ảnh hưởng thấp nhất trong ba thông số, nhưng khi tăng từ 1146 mm/min lên 3725 mm/min, độ mòn dụng cụ cũng tăng mạnh, từ 0,017 mm lên đến 0,161 mm - gần gấp 10 lần, cho thấy vai trò không thể bỏ qua trong điều kiện cắt ở tốc độ cao.

Những kết quả trên cho thấy, để tối ưu hóa quá trình phay CNC thép AISI 1043, cần lựa chọn hợp lý các thông số gia công. Cụ thể, nên hạn chế chiều sâu cắt quá lớn để giảm lực cắt, kiểm soát vận tốc cắt trong phạm vi cho phép để hạn chế mòn nhiệt, và điều chỉnh lượng chạy dao hợp lý để cân bằng giữa năng suất và tuổi thọ dụng cụ □

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Z. Duan, C. Li, W. Ding, Y. Zhang, M. Yang, T. Gao, H. Cao, X. Xu, D. Wang, C. Mao, H.N. Li, G.M. Kumar, Z. Said, S. Debnath, M. Jamil, H.M. Ali, Milling force model for aviation aluminum alloy: academic insight and perspective analysis, *Chin. J. Mech. Eng. (English Edition)*. 34 (2021) 1–35, <https://doi.org/10.1186/s10033-021-00536-9>.
- [2]. Eksioğlu C, Kilic ZM, Altıntaş Y. (2012), Discrete-time prediction of chatter stability, cutting forces, and surface location errors in flexible milling systems. *J Manuf Sci Eng*. 134(6): 061006 <https://doi.org/10.1115/1.4007622>
- [3]. V.I. Guzeev, D.Y. Pimenov, Cutting force in face milling with tool wear, *Russ. Eng. Res.* 31 (2011) 989–993, <https://doi.org/10.3103/S1068798X11090139>.
- [4]. Kim GM, Chu CN. (2003), Mean cutting force prediction in ball-end milling using force map method. *J Mater Process Technol*. 146(3): 303–310, <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2003.11.021>
- [5]. Mohamed, M. Hassan, R. M'saoubi, H. Attia, Tool Condition Monitoring for High-Performance Machining Systems—A Review, *Sensors*. 22 (2022) 2206, <https://doi.org/10.3390/s22062206>.
- [6]. Peng Z, Li J, Yan P, Gao S, Zhang C, Wang X (2018), Experimental and simulation research on micro-milling temperature and cutting deformation of heat-resistance stainless steel. *Int J Adv Manuf Technol* 95(5):2495–2508
- [7]. D.Y. Pimenov, V.I. Guzeev, T. Mikolajczyk, K. Patra, A study of the influence of processing parameters and tool wear on elastic displacements of the technological system under face milling, *Int. J. Adv. Manuf. Technol*. 92 (2017) 4473–4486, <https://doi.org/10.1007/s00170-017-0516-6>.
- [8]. D.Y. Pimenov, V.I. Guzeev, G. Krolczyk, M. Mia, S. Wojciechowski, Modeling flatness deviation in face milling considering angular movement of the machine tool system components and tool flank wear, *Precis. Eng*. 54 (2018) 327–337, <https://doi.org/10.1016/j.precisioneng.2018.07.001>.
- [9]. D.Y. Pimenov, Experimental research of face mill wear effect to flat surface roughness, *J. Frict. Wear* 35 (2014) 250–254, <https://doi.org/10.3103/S1068366614030118>.
- [10]. Xie Z, Xu D, Cui Z, Li M (2019), Evaluation of a cutting simulation using a cupronickel B10 constitutive model considering the deformation temperature. *J Mech Sci Technol* 33(3):1349–1356 3.
- [11]. L. Zhu, C. Liu, Recent progress of chatter prediction, detection and suppression in milling, *Mech. Syst. Sig. Process*. 143 (2020), 106840, <https://doi.org/10.1016/j.ymsp.2020.106840>.



INFLUENCE OF CUTTING PARAMETERS ON CUTTING FORCES AND TOOL WEAR IN CNC MILLING OF AISI 1043 STEEL

Vinh Quang Nguyen

University of Transport and Communications, 3 Cau Giay, Ha Noi, Vietnam

ARTICLE INFOR

TYPE: Research Article

Received: 05/10/2024

Revised: 20/11/2024

Accepted: 28/11/2024

* Corresponding author:

Email: vinhnguyen.tkm@utc.edu.vn

ABSTRACT

This study investigates the effects of cutting parameters— cutting velocity, feed rate, and radial depth of cut on cutting forces and tool wear in CNC milling of AISI 1043 steel. Experiments were performed on a TC500 CNC milling machine, with a Type 9139AA dynamometer used for cutting force measurement and a VHX-7000 digital microscope employed for tool wear analysis. The Taguchi L9 experimental design was applied to systematically assess the influence of machining parameters, and statistical analysis was conducted to evaluate their impact on the output variables. The results indicate that radial depth of cut has the most significant influence on cutting forces, while cutting velocity is the primary factor affecting tool wear. Feed rate plays a secondary role in both cutting forces and tool wear. The findings emphasize the importance of optimizing machining parameters to enhance tool life and improve machining efficiency.

Keywords: cutting parameters, cutting forces, tool wear

@ Vietnam Mining Science and Technology Association