

Dự đoán ảnh hưởng của chế độ cắt và góc xoắn của dao phay ngón liền khối đến độ nhám khi gia công trên trung tâm phay CNC 5 trục

Predicting the effect of cutting parameters and helix angle of solid end mill to surface roughness when cutting on a CNC 5-axis machining center

Hoàng Tiến Dũng*, Trần Đức Quý, Nguyễn Văn Thiện,
Nguyễn Như Tùng, Nguyễn Văn Quê

Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

** Email: tiendunghau@gmail.com*

Tel: +84-437655121-321; Mobile: 0904389594

Tóm tắt

Từ khóa:

Độ nhám, chế độ cắt, góc xoắn, dao phay ngón liền khối, phân tích ANOVA.

Bài báo này đề cập ảnh hưởng của chế độ cắt và góc độ dao đến lực cắt trong quá trình phay sử dụng dao phay ngón liền khối gia công biên dạng. Nội dung bài báo trình bày nghiên cứu, thực nghiệm và xử lý số liệu để đưa ra quan hệ toán học ảnh hưởng của chế độ cắt đến lực cắt trong quá trình gia công và ứng dụng phương pháp phân tích phương sai (ANOVA) xây dựng mối quan hệ phụ thuộc rung động với chế độ cắt và góc dao trong quá trình phay bằng dao phay ngón. Qua mô hình toán học có thể dự đoán được lực cắt xảy ra trong quá trình gia công. Và phân tích mức độ ảnh hưởng của các thông số chế độ cắt đến lực cắt trong quá trình gia công. Nghiên cứu này cũng là cơ sở nghiên cứu các mô hình khác trong quá trình gia công phay. Trên cơ sở phương trình mô hình hóa ảnh hưởng đó giúp nhà thiết kế và chế tạo dao phay ngón liền khối.

Abstract

Keywords:

Surface roughness, Cutting parameters, helix angle, milling, solid end mill, ANOVA analysis.

This article refers to the influence of cutting parameters and helix angle to cutting force when milling by solid end mill. The contents of the article present the research, experiments and data processing to demonstrate the mathematical influential relationship between cutting parameters and cutting force in milling, and the application of ANOVA (Analysis Of Variance) in building the vibration dependent relationships between cutting parameter and helix angle in milling by solid end-mill tool. Through the mathematical model, we can predict the cutting force generated in the machining process and analyze the impact of cutting parameters and helix angle to the cutting force of the machining process. This study also serves as the basis for studying other models in the milling process, as the modeling equation of this influence assists the design and manufacture of solid end mills.

Ngày nhận bài: 05/8/2018

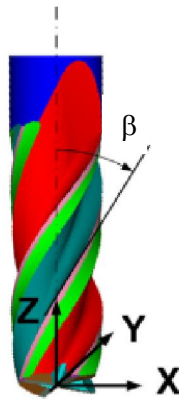
Ngày nhận bài sửa: 08/9/2018

Ngày chấp nhận đăng: 15/9/2018

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong quá trình gia công cắt gọt có rất nhiều hiện tượng xảy ra, ảnh hưởng đến chất lượng gia công và hiệu quả kinh tế. Hiện tượng đó sinh ra đại lượng trung gian trong quá trình gia công: lực cắt, rung động, nhiệt cắt, mòn dao... Đối với các doanh nghiệp chế tạo chi tiết vấn đề liên quan đến hiệu quả kinh tế là cần thiết và cấp thiết phải nghiên cứu. Để đáp ứng được điều kiện phát triển và nhu cầu của các công ty chế tạo chi tiết máy các công ty chế tạo dụng cụ cắt nghiên cứu thiết kế dụng cụ cắt để đảm bảo quá trình gia công tăng năng suất và tăng tuổi bền của dụng cụ cắt.

Công nghệ chế tạo dụng cụ cắt đóng vai trò quan trọng vì không có dụng cụ cắt tốt về chất lượng, nhiều về số lượng thì không thể chế tạo được những máy móc với chất lượng cao, không thể tăng năng suất lao động, hạ giá thành sản phẩm và cải thiện điều kiện làm việc [1]. Thông số dao phay ngón bao gồm thông số hình học lưỡi cắt, góc trước, góc sau, bán kính mũi dao và góc nghiêng. Góc nghiêng tương ứng với góc xoắn của dao phay ngón hình 1

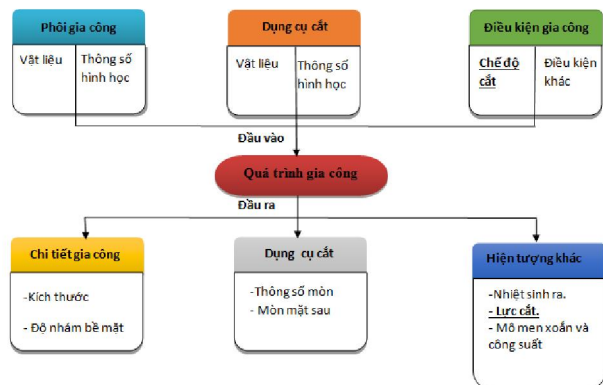


Hình 1. Góc xoắn dao phay ngón liền khối

Ngoài ra trong quá trình gia công các thông số chế độ cắt ảnh hưởng đến chất lượng, năng suất và giá thành sản phẩm.

Quá trình gia công và mức độ phức tạp của công nghệ ngày nay đòi hỏi hệ thống điều khiển thực hiện xử lý chính xác bằng các phương pháp khác nhau nhằm mục đích tăng chất lượng và hiệu quả. Nghiên cứu này xây dựng hàm toán học độ tin cậy cao và các hiện tượng xuất hiện trong quá trình gia công tốt nhất có thể.

Kỹ thuật gia công chính xác không chỉ dựa trên cơ sở kinh nghiệm và sự tinh thông mà còn phải hiểu nguyên lý gia công và mối quan hệ toán học các thông số ảnh hưởng trong quá trình gia công. Quá trình gia công được xác định bởi mối quan hệ của các giá trị đầu vào và hiệu quả đo được qua giá trị đầu ra. Hình 2 mô hình quá trình gia công được sử dụng nghiên cứu trong bài báo này với thông số đầu vào và đánh giá đầu ra. Mục đích của nghiên cứu này là tìm mô hình toán học liên quan đến độ nhám bề mặt



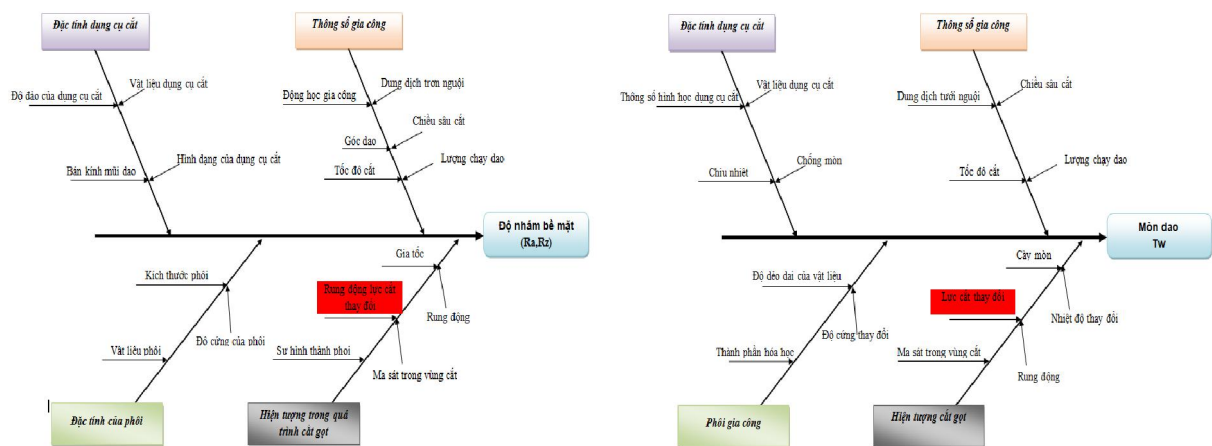
Hình 2. Sơ đồ mô hình nghiên cứu

với bốn thông số chế độ cắt: tốc độ cắt (v), lượng chạy dao (f), chiều sâu cắt theo phương hướng kính (a_r) và góc xoắn (β) của dao khi gia công biên dạng bằng dao phay ngón.

Nghiên cứu này tiếp cận với phương pháp phân tích phương sai (ANOVA) và các phần mềm ứng dụng thống kê trong quy hoạch thực nghiệm để xây dựng mô hình toán học mối quan hệ thông số chế độ cắt và góc xoắn của dao phay ngón đến độ nhám bề mặt chi tiết sau khi gia công.

2. PHÂN TÍCH HIỆN TƯỢNG CƠ BẢN TRONG QUÁ TRÌNH GIA CÔNG

Trong quá trình gia công có nhiều hiện tượng xảy ra ảnh hưởng tới chất lượng và năng suất gia công. Một trong những hiện tượng quan trọng xảy ra trong quá trình gia công như chất lượng bề mặt, lực cắt... Mô hình hóa hiện tượng trong quá trình gia công thông số cắt cần thiết để cung cấp thông tin quan trọng trong lập quy trình công nghệ gia công chi tiết và tối ưu hóa quá trình gia công. Cơ chế hình thành bề mặt trong quá trình động lực học phay được xác định là lực cắt. Kiểm soát sự thay đổi quá trình gia công là lực cắt, nó phản ánh rõ nét nhất gia công không bình thường như vỡ dụng cụ cắt và rung động và ảnh hưởng tới chất lượng bề mặt gia công. Qua đó phân tích mối liên hệ giữa lực cắt thay đổi với độ nhám, lượng mòn dao (Hình 3)[10], [11].



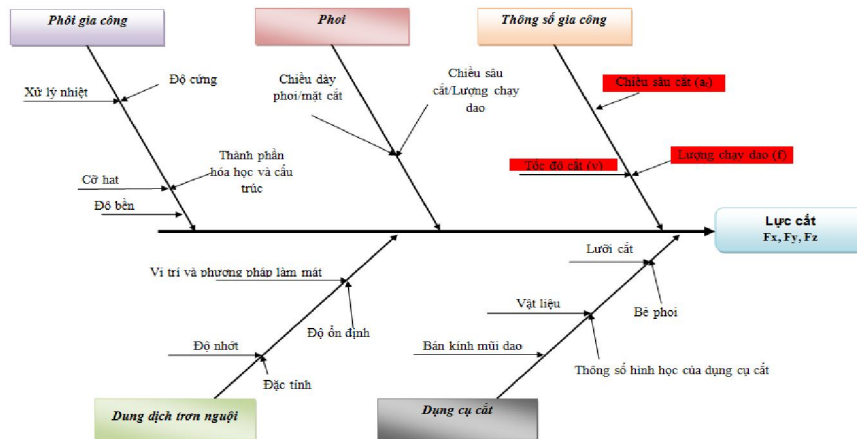
Hình 3. Biểu đồ tương quan ảnh hưởng thông số tới độ nhám bề mặt và mòn dao

Trong quá trình gia công sử dụng dao phay ngón lực cắt thay đổi liên tục trong suốt quá trình gia công. Các thành phần lực cắt tức thời được tính toán dựa trên sự thay đổi của diện tích cắt. Trong quá trình gia công có rất nhiều thông số ảnh hưởng tới lực cắt được trình bày biểu đồ tương quan cá (Hình 4) [10], [11].

Lực cắt là một thông số vật lý đánh giá quá trình gia công như hiện tượng mòn vỡ dụng cụ cắt, rung động của máy, độ chính xác gia công và chất lượng bề mặt. Lực cắt là một trong thông số trung gia trong quá trình gia công để thực hiện tối ưu hóa thích nghi.

Đã có nhiều nhà nghiên cứu đã nghiên cứu, khảo sát các yếu tố ảnh hưởng tới lực cắt và nhám bề mặt trong quá trình gia công.

Trong bài báo này tác giả giới hạn nghiên cứu ảnh hưởng của chế độ cắt (Tốc độ cắt (v), lượng chạy dao (f), chiều sâu theo phương hướng kính (a_r) và góc xoắn tới độ nhám bề mặt chi tiết khi phay tinh biên dạng bằng dao phay ngón liên khối.



Hình 4. Biểu đồ xương cá thể hiện các yếu tố ảnh hưởng lực cắt trong quá trình gia công

3. KHẢO SÁT ĐỘ NHÁM BỀ MẶT CHI TIẾT KHI PHAY BIÊN DẠNG BẰNG DAO PHAY NGÓN LIỀN KHỐI

3.1. Điều kiện khảo sát

Trung tâm gia công CNC 5 trục đồng thời (DMU50) hệ điều khiển Siemens 840D: Hành trình trục X/Y/Z = 500/450/400; hành trình trục B: -5 độ đến +110 độ; hành trình trục C: 360 độ; Động cơ trục chính: tốc độ trục chính từ 20 đến 14.000(vòng/phút), công suất động cơ trục chính: 20,3 KW, côn trục chính SK40 tiêu chuẩn DIN69871. Bàn làm việc: tốc độ quay trục B và C max: 20(vòng/phút); dài dao: số dao: 16 vị trí; chiều dài dao tối đa: 300; trọng lượng dao tối đa: 6 kg; tốc độ di chuyển các trục; tốc độ gia công tối đa theo các trục X/Y/Z: 30.000mm/phút; tốc độ chạy dao nhanh theo các trục X/Y/Z: 30.000mm/phút

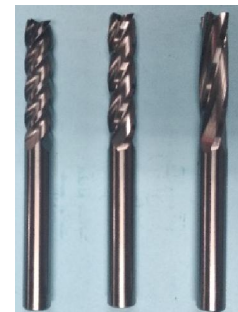
Dụng cụ cắt: Sử dụng dụng cụ cắt dao phay ngón khối gia công biên dạng, vật liệu hợp kim cứng KF440. Đường kính dao (D) = đường kính chuôi = 8 mm. Số lưỡi cắt: 4. Chiều dài đoạn làm việc: 26,5 mm. Tổng chiều dài: 82 mm. Góc nghiêng Helix: 15, 30, 45 độ.

Chi tiết gia công: Vật liệu gia công thép C45 kích thước mẫu thí nghiệm L x W x H = 70 x 70 x 40(mm).

Thiết bị đo độ nhám: Thiết bị đo độ nhám SJ-210 cầm tay của Mitutoyo thông số kỹ thuật: Khoảng đo: Trục X: 17,5mm (chiều dài mẫu kiểm tra lớn nhất); Trục Z (đầu đo): 360μm (-200μm tới 160μm) (Chiều cao độ nhám lớn nhất); Tốc độ đo: 0,25mm/s, 0,5mm/s, 0,75mm/s, Tốc độ trả về: 1mm/s; Lực đo/Hình dạng mũi đo: 0,75mN/60°/ 2μmR; Tiêu chuẩn đo: JIS1982/ JIS1994/ JIS2001/ ISO1997/ ANSI/ VDA; Thang đo: Ra, Rq, Rz, Ry, Rv, Rt, R3z, Rsk, Rku,

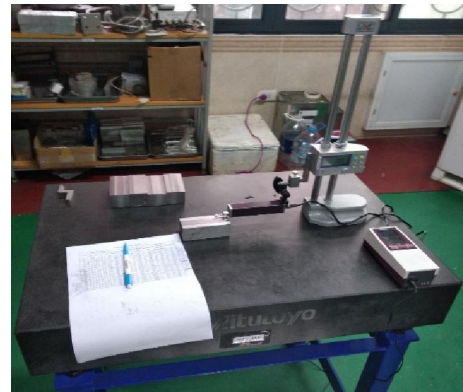


Hình 5. Hình ảnh máy CNC 5 trục DMU50

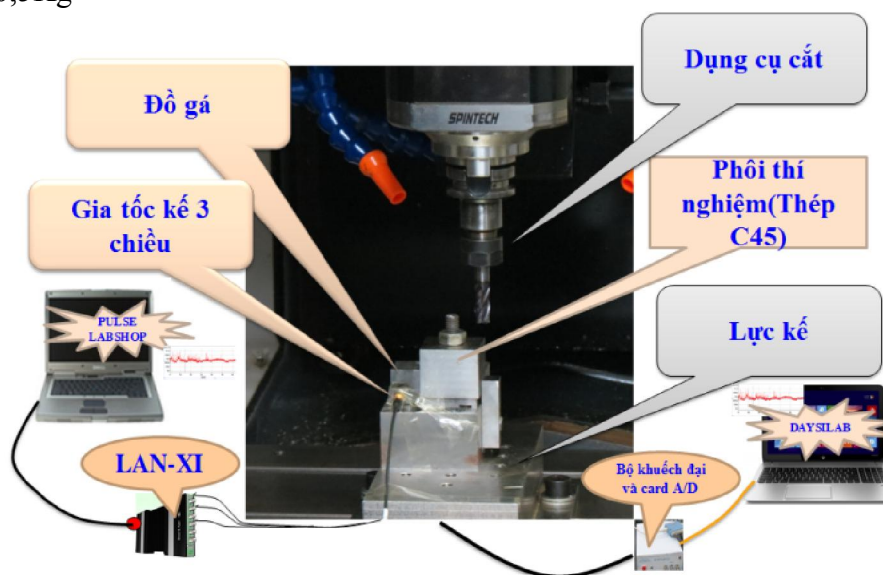


Hình 6. Hình ảnh dụng cụ cắt thực nghiệm

Rc, R_{Pc}, R_{Sm}, R_{max}*1 R_{z1max}, S, HSC, R_zJIS*2, R_{ppi}, R_{Δa}, R_{Δq}, R_{lr}, R_{mr}, R_{mr(c)}, R_c, R_k, R_{pk}, R_{vk}, Mr₁, Mr₂, A₁, A₂, V_o, R_{pm}, t_p, H_{tp}, R, R_x, A_R; Phân tích biểu đồ: BAC và ADC; Giá trị lớp cắt: λ_c: 0,08, 0,25, 0,8, 2,5mm, λ_s: 2,5, 8 μm; Màn Hình LCD kích thước: 36,7x48,9mm; Ngôn ngữ hỗ trợ: 16 ngôn ngữ (Japanese, English, German, French, Italian, Spanish, Portuguese, Dutch, Polish, Hungarian, Swedish, Czech, Simplified Chinese, Traditional Chinese, Korean, Turkish); Nguồn điện: Pin sạc, AC adapter; Kích thước Bộ hiển thị: 52,1x65,8x160mm; Bộ dẫn động: 115x23x26mm; Trọng lượng: 0,5Kg



Hình 7. Hình ảnh thiết bị đo độ nhám SJ-210



Hình 8. Sơ đồ và mô hình thực nghiệm

3.2. Kết quả và thảo luận

Qua mô hình nghiên cứu tiến hành thí nghiệm với v , f , a_r và góc β thay đổi, chiều sâu cắt dọc trục $a_p = 10(\text{mm})$ không thay đổi.

Mô hình toán học lực cắt khi gia công dao phay ngón liên khối khi gia công trong giới hạn của các thông số cũng như các phương pháp gia công truyền thống được miêu tả chung như sau:

$$R_a = C_1 \cdot v^{k_1} \cdot f^{l_1} \cdot a_r^{m_1} \cdot \beta^{n_1}$$

Trong đó: R_a : độ nhám bề mặt chi tiết gia công; v : tốc độ cắt (m/p), f : lượng chạy dao (mm/p), a_r : chiều sâu cắt theo phương hướng kính (mm), β : góc xoắn của dao. C_1, k_1, l_1, m_1, n_1 : hệ số được xác định trong quá trình thực nghiệm. Để xác định hằng số và số mũ của phương trình, mô hình toán học này được tuyến tính hóa bằng hàm logarit và phương trình được viết lại như sau:

$$\ln R_a = \ln C_1 + k_1 \cdot \ln v + l_1 \cdot \ln f + m_1 \cdot \ln a_r + n_1 \cdot \ln \beta$$

Và mô hình tuyến tính của phương trình có dạng như sau:

$$y = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + b_3 \cdot x_3 + b_4 \cdot x_4$$

Bài toán trở thành xác định hàm hồi quy thực nghiệm thực hiện 16 thí nghiệm, 3 thí nghiệm tại điểm tâm được kết quả như trong bảng 1.

Bảng 1. Kết quả đo độ nhám bề mặt chi tiết sau khi gia công

Thứ tự	Biến mức mã hóa				Tốc độ cắt v, (m/min)	Lượng chạy dao f (mm/r)	Chiều sâu cắt theo phương hướng kính a _r (mm)	Góc xoắn (β°)	Độ nhám bề mặt Ra (μm)
	X1	X2	X3	X4					
1	-1	-1	-1	-1	60	0,01	0,1	15	0,623
2	1	-1	-1	-1	200	0,01	0,1	15	0,553
3	-1	1	-1	-1	60	0,15	0,1	15	0,878
4	1	1	-1	-1	200	0,15	0,1	15	0,795
5	-1	-1	1	-1	60	0,01	0,5	15	0,566
6	1	-1	1	-1	200	0,01	0,5	15	0,559
7	-1	1	1	-1	60	0,15	0,5	15	1,220
8	1	1	1	-1	200	0,15	0,5	15	1,045
9	-1	-1	-1	1	60	0,01	0,1	45	0,322
10	1	-1	-1	1	200	0,01	0,1	45	0,210
11	-1	1	-1	1	60	0,15	0,1	45	0,480
12	1	1	-1	1	200	0,15	0,1	45	0,461
13	-1	-1	1	1	60	0,01	0,5	45	0,623
14	1	-1	1	1	200	0,01	0,5	45	0,571
15	-1	1	1	1	60	0,15	0,5	45	0,895
16	1	1	1	1	200	0,15	0,5	45	0,781
17	0	0	0	0	130	0,08	0,3	30	0,624
18	0	0	0	0	130	0,08	0,3	30	0,647
19	0	0	0	0	130	0,08	0,3	30	0,618

Ứng dụng Matlab và Excel sử dụng phương pháp phân tích phương sai (ANOVA) tính toán và đánh giá hàm hồi quy thực nghiệm[8].

Bảng 2. Tóm tắt kết quả ứng dụng phần mềm Matlab và Excel bằng phương pháp ANOVA ảnh hưởng của v, f, a_r và góc xoắn của dao đến độ nhám bề mặt (R_a)

Regression Statistics					
Multiple R	0,908261282				
R Square	0,824938557				
Adjusted R Square	0,774921001				
Standard Error	0,190237253				
Observations	19				
ANOVA					
	df	SS	MS	F	Significance F
Regression	4	2,38753785	0,596884	16,49298	3,41E-05
Residual	14	0,506662974	0,03619		

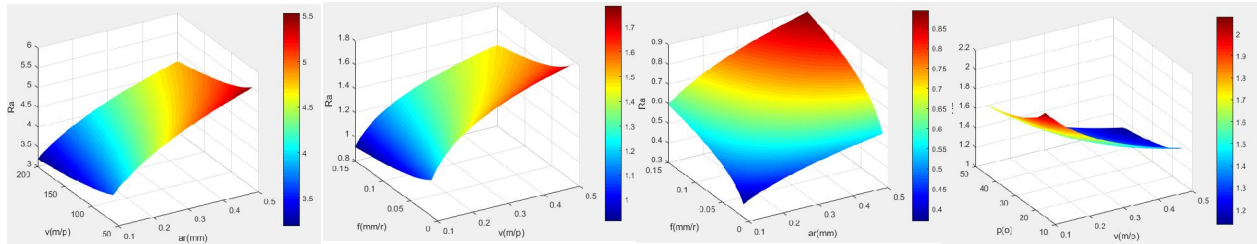
Theo phân tích phương sai significane $F = 3,41E-14 < 0,05$ phương trình hồi quy thu được tương hợp với thực tế.

Hàm hồi quy thực nghiệm như sau:

$$y = 2,232 - 0,119.x_1 + 0,177.x_2 + 0,252.x_3 - 0,378.x_4$$

Hàm độ nhám bề mặt (R_a) phụ thuộc vào v , f , a_r , β .

$$R_a = 9,317 \cdot v^{-0,119} \cdot f^{0,177} \cdot a_r^{0,252} \cdot \beta^{-0,378}$$



Hình 9. Đồ thị biểu diễn mối quan hệ các thông số v , f , a_r và β với độ nhám bề mặt R_a

4. KẾT LUẬN

Qua phân tích, khảo sát ảnh hưởng thông số chế độ cắt và góc xoắn (v , f , a_r , β) tới độ nhám bề mặt khi phay tinh biên dạng chi tiết vật liệu thép C45 bằng dao phay ngón liền khối. Kết quả đo và phân tích mức độ ảnh hưởng độ nhám bề mặt khi phay biên dạng với chế độ cắt và góc xoắn khác nhau. Qua thực nghiệm và hàm toán học cho thấy độ nhám bề mặt tỉ lệ nghịch với góc xoắn (β) và tốc độ cắt (v). Bài báo này có thể sử dụng làm cơ sở để phân tích, tính toán trong thiết kế và chế tạo dao phay ngón liền khối. Ngoài ra có thể sử dụng nhà công nghệ dự đoán được độ nhám bề mặt chi tiết khi thiết kế quy trình công nghệ gia công.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. M.M.Palei (2007), *Công nghệ chế tạo dụng cụ cắt*, NXB Khoa học và kỹ thuật, Hà Nội.
- [2]. Trần Văn Địch (2006), *Công nghệ chế tạo máy*, NXB Khoa học và kỹ thuật, Hà Nội.
- [3]. Trần Văn Địch (2003), *Nghiên cứu độ chính xác gia công bằng thực nghiệm*, NXB Khoa học và kỹ thuật, Hà Nội.
- [4]. Bành Tiến Long (2001), *Nguyên lý gia công vật liệu*, NXB Khoa học và kỹ thuật, Hà Nội.
- [6]. Phạm Thị Ngọc Yến (2009), *Cơ sở Matlab và ứng dụng*, NXB Khoa học và kỹ thuật, Hà Nội.
- [7]. YUSUF ALTINTAS (2012), *Manufacturing Automation*, Cambridge University Press: 32 Avenue of the Americas, New York, NY 10013-2473, USA.
- [8]. W.A. Kline, R.E. DeVor, and W.J. Zdeblick (1980), A mechanistic model for the force system in end milling with application to machining airframe structures, In: North American Manufacturing Research Conference Proceedings, Dearborn, MI, page 297. Society of Manufacturing Engineers, Vol. XVIII.
- [9]. Wen-Hsiang Lai, *Modeling of Cutting Forces in End Milling Operations*, Tamkang Journal of Science and Engineering, Vol. 3, No. 1, pp. 15-22 (2000).
- [10]. B. C. Routara & A. Bandyopadhyay & P. Sahoo, *Roughness modeling and optimization in CNC end milling using response surface method: effect of workpiece material variation*, Int J Adv Manuf Technol (2009) 40:1166–1180.
- [11]. Benardos PG, Vosniakos GC (2003), *Predicting surface roughness in machining*, Int J Mach Tools Manuf 43:833–844.