

ẢNH HƯỞNG CỦA MỘT SỐ THÔNG SỐ CHẾ ĐỘ CẮT ĐẾN ĐỘ CHÍNH XÁC KÍCH THƯỚC KHI PHAY BỀ MẶT CHỖM CẦU TRÊN MÁY PHAY CNC 3 TRỤC

THE INFLUENCE OF SOME CUTTING PARAMETERS ON THE DIMENSIONAL ACCURACY OF THE HEMISPHERICAL SURFACE WHEN 3 AXES-CNC MILLING

Bùi Ngọc Tuyên^{1*}, Trần Thị Yên²

TÓM TẮT

Bề mặt chỏm cầu là một trong những đặc trưng hình học thường gặp của các cấu trúc khuôn, mẫu thiết kế... Để gia công tạo hình chính xác bề mặt chỏm cầu thường phải sử dụng phương pháp phay CNC nhiều trục (ít nhất là 3 trục). Bài báo này trình bày một nghiên cứu ảnh hưởng của một số thông số chế độ cắt (tốc độ cắt, tốc độ chạy dao, bước tiến ngang) đến độ chính xác kích thước khi phay CNC 3 trục bề mặt chỏm cầu bằng dao phay ngón đầu cầu. Dựa trên phương pháp quy hoạch thực nghiệm toàn phần, với việc sử dụng phần mềm Minitab, các tác giả đã xây dựng được công thức hồi quy thực nghiệm quan hệ sai số đường kính bề mặt chỏm cầu với các thông số tốc độ cắt, tốc độ chạy dao, bước tiến ngang khi phay các mẫu bằng nhôm hợp kim 6061 trên máy phay CNC 3 trục. Nghiên cứu cũng xác định được mức độ ảnh hưởng của các thông số này và tương tác của chúng đến độ chính xác đường kính bề mặt chỏm cầu và dự đoán được sai số đường kính bề mặt chỏm cầu trong miền thực nghiệm tạo hình.

Từ khóa: Bề mặt chỏm cầu, phay CNC 3 trục, tốc độ cắt, tốc độ chạy dao, bước tiến ngang, độ chính xác kích thước.

ABSTRACT

Hemispherical surface is one of the common geometrical features that is used in designing tools, patterns... In order to exactly machine the surfaces, we must use multi axes CNC milling (3 axes, at least). The paper presents a study of the influence of cutting parameters (cutting speed, feed rate; side step) on the dimensional accuracy of the hemispherical surface when 3 axes CNC milling by ball endmill. Based on the general full factorial design of experiments with using Minitab software, the authors have established an experimental regression model of the relation between deviations of diameter of the hemispherical surfaces and cutting parameters including cutting speed, feed rate, side step when 3 axes CNC milling specimens made by 6061 aluminum alloy. The study has defined the level of impact of the cutting parameters and their interactions to the machining accuracy as well as predicted the deviation of hemispherical surfaces when machining them under the experimental conditions

Keywords: Hemispherical surface, 3 axes CNC milling, cutting speed, feed rate; side step, dimensional accuracy.

¹Trường Đại học Bách Khoa Hà Nội

²Trường Cao đẳng Công Thương Thái Nguyên

*Email: tuyen.buingoc@hust.edu.vn

Ngày nhận bài: 20/8/2020

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 15/10/2020

Ngày chấp nhận đăng: 21/10/2020

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Hiện nay, việc ứng dụng công nghệ CAD/CAM/CNC trong sản xuất rất phổ biến không chỉ trên thế giới mà cả ở Việt Nam. Do những ưu điểm mà công nghệ này mang lại nên các nghiên cứu về CAD/CAM/CNC luôn luôn được nhiều nhà khoa học quan tâm. Hiện nay các nghiên cứu liên quan đến lĩnh vực CAD/CAM/CNC ở Việt Nam còn khá hạn chế. Trên thế giới cũng có nhiều nghiên cứu nhằm cải thiện năng suất, chất lượng sản phẩm khi gia công tạo hình trên máy CNC. Tuy nhiên những vấn đề liên quan đến tạo hình bề mặt cũng ít khi được đề cập trong các nghiên cứu này. Bề mặt chỏm cầu là một trong các dạng bề mặt cơ bản thường được sử dụng trong thiết kế các chi tiết máy, khuôn, mẫu... Để gia công tạo hình bề mặt chỏm cầu thường phải sử dụng phương pháp phay CNC 3 trục hoặc 5 trục. Phay CNC 5 trục bề mặt chỏm cầu cho chất lượng tạo hình tốt hơn nhưng đòi hỏi máy phay CNC 5 trục, phần mềm CAM gia công 5 trục. Trong điều kiện Việt Nam thường phải sử dụng phay CNC 3 trục với chất lượng tạo hình chưa cao do phụ thuộc nhiều vào kinh nghiệm. Do vậy việc nghiên cứu đánh giá ảnh hưởng của các thông số chế độ cắt đến độ chính xác đường kính bề mặt chỏm cầu có giá trị thực tiễn cao, có ý nghĩa về kinh tế và kỹ thuật.

2. NGHIÊN CỨU CÓ LIÊN QUAN

Các nghiên cứu có liên quan trong nước cũng như nước ngoài chủ yếu đề cập đến tạo hình các bề mặt tự do (freeform surface). Trong [1] đã nghiên cứu vấn đề tính toán đường dụng cụ trong tạo hình bề mặt, cũng như vấn đề mài mòn dụng cụ cắt (cho trường hợp dao phay đầu cầu) khi gia công khuôn mẫu trên máy phay CNC. Trong [2] đã nghiên cứu các yếu tố ảnh hưởng đến chất lượng tạo hình bề mặt tự do cấu trúc elip lõm khi gia công trên máy CNC. Trong bài báo [3] các tác giả đã sử dụng phương pháp Taguchi trong nghiên cứu đánh giá ảnh hưởng của kiểu đường chạy dao, tốc độ cắt, bước tiến ngang đến độ chính xác tạo hình khi phay bề mặt dạng yên ngựa trên máy phay CNC 3 trục. Trong công trình [6] các tác giả đã đưa ra lý thuyết tạo hình các bề mặt và ứng dụng trong kỹ thuật cơ khí. Trong nội dung nghiên cứu này, các tác giả trình bày về

ứng dụng của mặt tự do và tạo hình một số bề mặt chi tiết cơ khí thông dụng như tạo hình bề mặt bằng dụng cụ dạng đĩa, tạo hình bề mặt bằng thanh răng dụng cụ, tạo hình bề mặt bằng dụng cụ dạng trục vít và các nội dung liên quan đến tạo hình bề mặt.

3. NỘI DUNG NGHIÊN CỨU

3.1. Điều kiện thực nghiệm

a) Vật liệu gia công

Mẫu thí nghiệm là nhôm hợp kim A6061 với thành phần hóa học trình bày trong bảng 1. Phôi mẫu có dạng hình trụ kích thước là: $\phi 50 \times 50$ (mm)

Bảng 1. Thành phần hóa học nhôm A6061[8]

Mác nhôm	Thành phần hóa học %								
	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Al
6061	0,4 - 0,8	0 - 0,7	0,15 - 0,4	0 - 0,15	0,8 - 1,2	0,04 - 0,35	0 - 0,25	0 - 0,15	Còn lại

b) Máy thực nghiệm

Máy phay CNC 3 trục TC500R của hãng WANTAI (WT), chế tạo tại Đài Loan. Các đặc tính kỹ thuật chính của máy như sau:

- Tốc độ trục chính MAX: 20000 vòng/phút
- Công suất trục chính: 3,7kW
- Kích thước bàn máy (WxL): 650mm x 400mm
- Hành trình trục X: 500mm
- Hành trình trục Y: 400mm
- Hành trình trục Z: 300mm
- Tốc độ chạy dao Max theo trục X, trục Y, trục Z: 40m/phút
- Độ chính xác vị trí: 0,01mm
- Sai số lặp: 0,008 mm
- Bộ điều khiển: FANUC Oi-MF



Hình 1. Máy phay CNC TC500R

c) Phần mềm: Solidwork, MasterCAM

d) Dụng cụ cắt:

Dao phay ngón đầu cầu bằng hợp kim cứng không phủ của hãng HGT: $\phi 6$ có mã DB0606 và $\phi 4$ có mã DB0404

e) Thiết bị đo: Máy đo tọa độ 3 chiều (CMM) (hình 2) với các đặc tính kỹ thuật chính được trình bày trong bảng 2.



Hình 2. Máy CMM (Mitutoyo)

Bảng 2. Thông số kỹ thuật máy đo tọa độ 3 chiều

Model	Crysta - Plus M443
Kiểu	Bridge - Type
Phạm vi đo: Trục X	400mm
Trục Y	400mm
Trục Z	300mm
Độ phân giải đo	0,0005mm
Kích thước bàn máy	624 x 805 (mm)
Khối lượng vật đo MAX	180kg
Kích thước máy (mm)	981 x 1047 x 1967

3.2. Kế hoạch thực nghiệm

- Thiết kế mẫu bằng phần mềm Solidwork với bề mặt gia công hình chòm cầu đường kính 40mm (hình 3).



Hình 3. Mẫu chế tạo

- Gia công thô 11 mẫu tạo hình bề mặt chòm cầu để lại lượng dư 1mm với cùng một chế độ gia công: Dao phay ngón đầu cầu bằng hợp kim cứng không phủ của hãng HGT $\phi 6$, 3 me cắt, kiểu chạy dao *rough contour*, tốc độ cắt $v = 188m/p$, tốc độ tiến dao $F = 1500mm/p$, bước tiến ngang $S = 0,5mm$.

- Mô phỏng bằng phần mềm MasterCAM lựa chọn kiểu đường chạy dao phù hợp cho gia công tinh. Qua mô phỏng với cùng dao phay ngón đầu cầu $\phi 4$, cùng chế độ cắt (tốc độ cắt $v = 188m/p$, tốc độ tiến dao $F = 880mm/p$, bước tiến ngang $S = 0,1mm$) nhận thấy rằng trong 3 kiểu đường chạy dao *surface high speed: scalop, hybrid, raster* thì kiểu đường chạy dao *surface high speed (scalop)* có thời gian gia công là nhỏ nhất \rightarrow lựa chọn kiểu đường chạy dao này cho thực nghiệm tiếp theo.

- Thiết kế thực nghiệm gia công tinh tạo hình bề mặt chòm cầu theo quy hoạch thực nghiệm toàn phần với 3 yếu tố đầu vào là tốc độ cắt v , tốc độ tiến dao F và bước tiến dao ngang S , mỗi yếu tố 2 mức.

Khi đó, số điểm (N) thí nghiệm $N = 2^3 = 8$ (điểm), bổ sung thêm 3 điểm thí nghiệm trung tâm ta có tổng số lần tiến hành thí nghiệm là: 11 điểm.

Lựa chọn dao phay ngón đầu cầu bằng hợp kim cứng không phủ của hãng HGT $\phi 4$, 2 me cắt, kiểu chạy dao *surface hight speed (scalop)*.

Dựa trên đặc tính kỹ thuật của máy phay và catalog của hãng sản xuất dao, khi phay nhôm lựa chọn miền thực nghiệm như sau:

$$v_{\min} = 100\text{m/ph}; v_{\max} = 200\text{m/ph}; F_{\min} = 880\text{mm/ph}; F_{\max} = 1800\text{mm/ph}; S_{\min} = 0,1\text{mm}; S_{\max} = 0,2\text{mm}$$

Dựa vào ma trận thực nghiệm xây dựng (bảng 3), tiến hành thực nghiệm gia công 11 mẫu. Các mẫu được kiểm tra sai số đường kính so với mẫu thiết kế bằng CMM 3 lần. Kết quả đo sai số trung bình của đường kính mẫu được ghi vào cột cuối của bảng.

Bảng 3. Bảng dữ liệu quy hoạch thực nghiệm

Thí nghiệm	Thông số vào						Sai số trung bình đường kính e (µm)
	Dạng mã hóa			Giá trị thực			
	v	F	S	v (m/phut)	F (mm/phut)	S (mm)	
1	-1	-1	-1	100	880	0,1	3,051
2	+1	-1	-1	200	880	0,2	7,504
3	-1	+1	-1	100	880	0,1	2,926
4	+1	+1	-1	200	600	0,2	6,932
5	-1	-1	+1	100	1800	0,1	6,754
6	+1	-1	+1	200	1800	0,2	9,219
7	-1	+1	+1	100	1800	0,1	9,034
8	+1	+1	+1	200	1800	0,2	5,147
9	0	0	0	150	1340	0,15	6,427
10	0	0	0	150	1340	0,15	7,134
11	0	0	0	150	1340	0,15	6,082

3.3. Kết quả và thảo luận

- Xử lý số liệu thực nghiệm bằng phần mềm Minitab ta thu được các kết quả về mô hình hồi quy và phân tích phương sai. Kết quả cho thấy mô hình là phù hợp với dữ liệu và đảm bảo độ tin cậy cao (các hệ số quyết định R-Sq và R-Sq (adj) đều lớn hơn 90% (theo bảng 4).

Các kết quả tính toán trên phần mềm Minitab được trình bày trong bảng 4.

Bảng 4. Mô hình hồi quy quan hệ giữa sai số e với v, F và S

Regression Equation in Uncoded Units

$$e = 0,61 + 0,0122v - 0,00868F - 22,6S + 0,000059vF + 0,366vS + 0,0903FS - 0,000642vFS \quad (*)$$

Model Summary

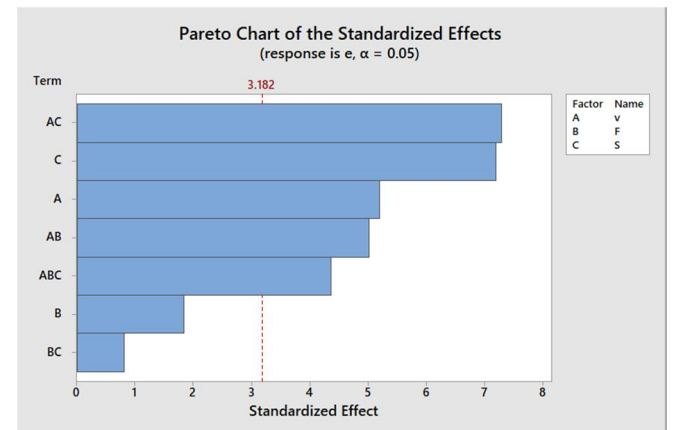
S	R-sq	R-	R-sq(pred)
0,478683	98,36%	94,54%	35,41%

Bảng 5. Phân tích phương sai

Analysis of Variance					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	7	41,3163	5,9023	25,76	0,011
Linear	3	18,8252	6,2751	27,39	0,011
v	1	6,1899	6,1899	27,01	0,014
F	1	0,7744	0,7744	3,38	0,163
S	1	11,8609	11,8609	51,76	0,006
2-Way Interactions	3	18,1324	6,0441	26,38	0,012
v*F	1	5,7783	5,7783	25,22	0,015
v*S	1	12,2043	12,2043	53,26	0,005
F*S	1	0,1499	0,1499	0,65	0,478
3-Way Interactions	1	4,3586	4,3586	19,02	0,022
v*F*S	1	4,3586	4,3586	19,02	0,022
Error	3	0,6874	0,2291		
Lack-of-Fit	1	0,1122	0,1122	0,39	0,596
Pure Error	2	0,5752	0,2876		
Total	10	42,0037			

Qua phương trình hồi quy (*), phân tích phương sai (bảng 5) và đồ thị Pareto của các ảnh hưởng (hình 4) có thể rút ra các nhận xét như sau:

- Các thông số chế độ cắt: tốc độ cắt, tốc độ chạy dao, bước tiến dao ngang, cũng như tương tác cặp, tương tác ba đều ảnh hưởng đến độ chính xác đường kính bề mặt chòm cầu nhưng ở các mức độ khác nhau. Tương tác cặp tốc độ cắt - bước tiến dao ngang (v*S) ảnh hưởng lớn nhất, tiếp theo lần lượt là ảnh hưởng của bước tiến dao ngang (S), ảnh hưởng của tốc độ cắt (v), ảnh hưởng của tương tác cặp tốc độ cắt - tốc độ tiến dao (v*F), ảnh hưởng của tương tác ba (v*F*S). Tốc độ tiến dao (F) cũng như tương tác cặp tốc độ tiến dao - bước tiến ngang có mức độ ảnh hưởng không đáng kể.

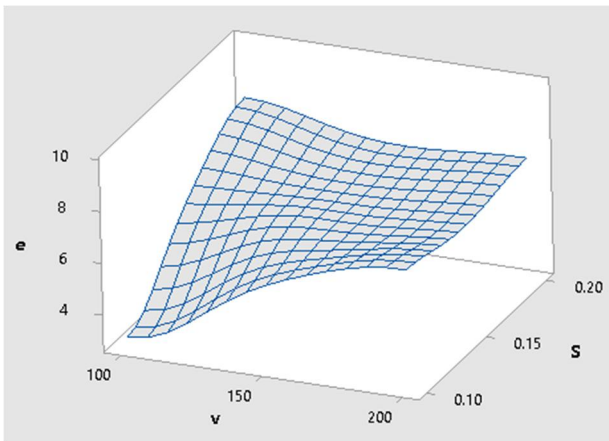


Hình 4. Đồ thị Pareto của các ảnh hưởng

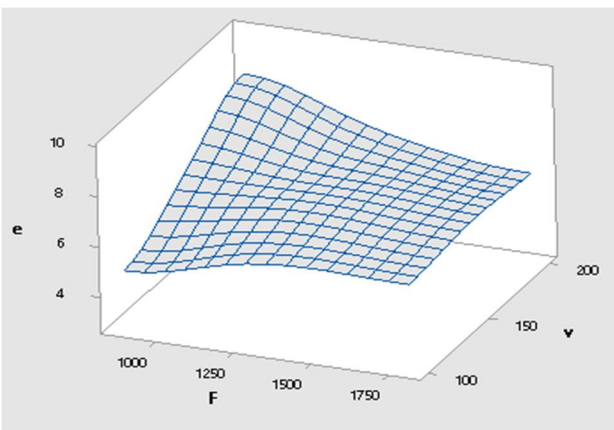
Sử dụng phần mềm Minitab cũng xây dựng được các đồ thị biểu diễn các quan hệ: sai số đường kính bề mặt gia

công (e) với tốc độ cắt (v) và bước tiến ngang (S) như hình 5, sai số đường kính (e) bề mặt gia công với tốc độ tiến dao (F) và tốc độ cắt (v) và như hình 6, sai số đường kính (e) bề mặt gia công với tốc độ tiến dao (F) và bước tiến ngang (S) như hình 7.

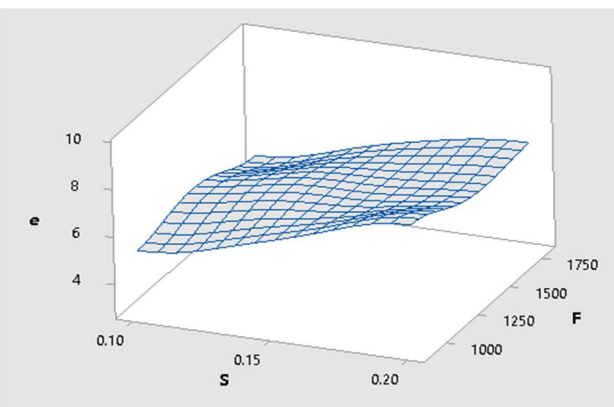
Các đồ thị này cho thấy rằng ảnh hưởng của bước tiến dao ngang đến sai số đường kính mẫu chế tạo là theo quy luật đồng biến, tức là khi tăng bước tiến dao ngang trong miền thực nghiệm thì sai số đường kính bề mặt chỏm cầu tăng lên. Trong khi đó ảnh hưởng của tốc độ cắt và tốc độ tiến dao đến sai số đường kính bề mặt chỏm cầu trong miền thực nghiệm là không có quy luật rõ rệt.



Hình 5. Quan hệ sai số đường kính với tốc độ cắt và bước tiến ngang



Hình 6. Quan hệ sai số đường kính với tốc độ tiến dao và tốc độ cắt



Hình 7. Quan hệ sai số đường kính với bước tiến ngang và tốc độ tiến dao

4. KẾT LUẬN

Bài báo trình bày một nghiên cứu thực nghiệm xây dựng mô hình quan hệ hồi quy giữa độ xác đường kính bề mặt chỏm cầu với các thông số chế độ cắt: tốc độ cắt, tốc độ tiến dao và bước tiến dao ngang khi phay bề mặt chỏm cầu trên máy phay CNC 3 trục. Mô hình hồi quy này cho phép đánh giá mức độ ảnh hưởng của từng thông số, sự tương tác của chúng đến độ chính xác đường kính bề mặt chỏm cầu khi phay CNC 3 trục, cũng như cho phép dự đoán được sai số đường kính bề mặt chỏm cầu sau khi phay CNC 3 trục trong miền thực nghiệm. Đây là cơ sở để thực hiện tối ưu hóa chế độ cắt khi phay CNC 3 trục bề mặt chỏm cầu.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. Trần Xuân Thái, 2008. *Tính toán đường dụng cụ trong tạo hình bề mặt và nghiên cứu mài mòn dao phay đầu bằng khi gia công khuôn mẫu trên máy phay CNC*. Luận án tiến sĩ, Trường Đại học Bách khoa Hà Nội.

[2]. Trần Mạnh Hà, 2014. *Nghiên cứu một số yếu tố ảnh hưởng đến chất lượng tạo hình bề mặt tự do cấu trúc elip lõm khi gia công trên máy phay CNC*. Luận án tiến sĩ, Trường Đại học Bách khoa Hà Nội.

[3]. Hoang Văn Quy, Bui Ngọc Tuyen, 2019. *Effect of feed rate, toolpath and step over on geometric accuracy of freeform surfaces when 3 axis CNC milling*. Applied Mechanics and Materials, ISSN: 1662-7482, Vol. 889.

[4]. J. Ribeiro, H. Lopes, L. Queijo, D. Figueiredo, 2017. *Optimization of cutting parameters to minimize the surface roughness in the end milling process using the Taguchi method*. Period. Polytech. Mech. Eng., vol. 61, no. 1, pp. 30 – 35.

[5]. B. K. Choi, Robert B. Jerard, 1998. *Sculptured Surface Machining, Theory and applications*. SPRINGER SCIENCE+BUSINESS MEDIA, B.V.

[6]. Bành Tiến Long, Bùi Ngọc Tuyền, 2012. *Lý thuyết tạo hình bề mặt và ứng dụng trong kỹ thuật cơ khí*. NXB Giáo dục Việt Nam.

[7]. Nguyễn Đăng Dự, Nguyễn Đăng Bình, 2011. *Quy hoạch thực nghiệm trong kỹ thuật*. NXB Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội.

[8]. <http://supertechvn.com/nhom-a6061-dac-diem-thanh-phan-tinh-chat-ung-dung/>

AUTHORS INFORMATION

Bui Ngoc Tuyen¹, Tran Thi Yen²

¹Hanoi University of Science and Technology

²Thai Nguyen College of Industry and Trade