

NGHIÊN CỨU SỰ THAY ĐỔI LỰC CẮT F_x TRÊN ĐƯỜNG CHUYỂN TIẾP CỦA QUỖ ĐẠO GIA CÔNG ZIGZAG

STUDYING THE F_x CUTTING FORCE'S CHANGING ON TRANSIT LINE OF ZIGZAG TRAJECTORY

Võ Đình Trung¹, Lê Minh Sơn², Trần Xuân Tùy¹

¹Trường Đại học Bách khoa – Đại học Đà Nẵng; vdtrung@dut.udn.vn

²Trường Cao đẳng Giao thông Vận tải Trung Ương V, Đà Nẵng

Tóm tắt - Nghiên cứu lựa chọn quỹ đạo gia công zigzag để phay thô mặt phẳng hốc và dùng thiết bị đo FKM2010 – TeLC để xác định lực cắt F_x theo thời gian thực khi phay. Trong quá trình gia công, lực cắt F_x trên đường chuyển tiếp sang lớp cắt tiếp theo có sự chênh lệch lớn so với phần còn lại của quỹ đạo zigzag. Nghiên cứu nhận thấy, chiều sâu phay (xét đến diện tích cắt khi phay) trên đường chuyển tiếp lớn hơn so với các lớp cắt còn lại và giá trị của lực cắt phụ thuộc vào chiều phay thuận, nghịch của quỹ đạo zigzag. Sử dụng phương pháp thống kê, nghiên cứu xây dựng đồ thị lực cắt F_x trên đường chuyển tiếp sang các lớp cắt của quỹ đạo zigzag khi thay đổi chiều sâu phay. Từ đồ thị, xác định được chiều sâu phay hiệu quả sao cho lực cắt không thay đổi lớn và nâng cao tuổi thọ của dao phay.

Từ khóa - Lực cắt phay; quỹ đạo zigzag; chiều sâu phay; vùng chuyển tiếp; phay hốc

1. Đặt vấn đề

Theo các nghiên cứu lý thuyết, thành phần lực tác dụng lên dao phay trụ răng xoắn gồm: Lực vòng (P_z), lực hướng kính (P_r) và lực dọc trục (P_0), lực tiếp tuyến dọc theo lưỡi cắt (P_s) [1]. Trong quá trình cắt, lực tác dụng lên từng răng dao luôn thay đổi phụ thuộc vào sự thay đổi của các yếu tố chiều sâu cắt hướng kính (t_0), số răng (z), lượng tiến dao (s), chiều sâu cắt, chiều sâu phay (t), đường kính dao (D)...

$$P_z = C_p \cdot B \cdot Z \cdot s_z^{y_p} \cdot t^{x_p} \cdot D^{a_p} \quad (1)$$

Trong đó, P_z : lực vòng; C_p : hệ số phụ thuộc vật liệu gia công; B : chiều rộng phay; Z : số răng dao; s_z : lượng chạy dao răng; $y_p = m+1$; $x_p = (m+2)/2$; t : chiều sâu phay; D : đường kính dao; $a_p = -(m+2)/2$; m : số mũ ($m < 0$).

Các nghiên cứu thực nghiệm đã xác định chiều sâu cắt hướng kính (a_p) là yếu tố ảnh hưởng chính đến lực cắt tổng F_c (2) và biến dạng dụng cụ cắt khi dùng dao phay ngón phay đường bao chi tiết [2].

$$F_c = 535,25 - 88,42d_i - 1314,48f_z - 14,40a_p - 172,49a_r + 1,20d_i a_p + 10,00d_i a_r + 168,22f_z a_p + 1736,93f_z a_r + 9,89a_p a_r + 3,87d_i^2 \quad (2)$$

Nghiên cứu tìm phương án chạy dao $f(x,y)$ sao cho lực cắt trung bình, chiều cao nhấp nhô, thời gian gia công là nhỏ [3] theo phương trình (3).

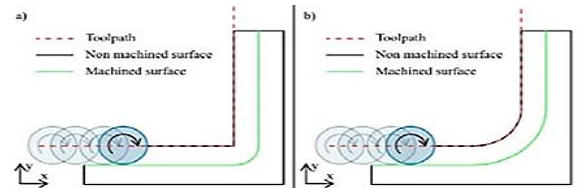
$$f(x,y) = 2,5 \cos(x) \sin(x) \exp\left(\frac{\sqrt{x^2 + y^2}}{64}\right) + 4xy/(x^2 + y^2) \quad (3)$$

Sử dụng phương pháp chuyển động xóa vết vật liệu để xác định chiều sâu phay tại vị trí chuyển tiếp quỹ đạo gia công hốc tại góc 90° , đồng thời xác định lực cắt ảnh hưởng lên dụng cụ cắt khi gia công tại góc của bề mặt hốc (Hình

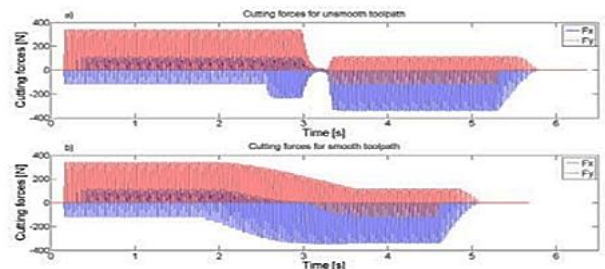
Abstract - The study selects the zigzag trajectory to roughly mill the cavity surface and uses the FKM2010 – TeLC measurer to gather the F_x cutting force in real time. On machining, the F_x cutting force's value on transit line is greatly different from the zigzag trajectory's machining line. Research shows that, the transit line's radial cutting depth is larger than machining line's radial cutting depth and the cutting force depends on climb or conversal direction. The authors use the statistic method to make the F_x cutting force graph on the transit line of zigzag trajectory by changing the radial cutting depth. From the cutting force graph, the authors select the efficiency radial cutting depth to decrease the cutting force difference and improve end mill tool's life time

Key words - Milling cutting force; the zigzag trajectory; the radial cutting depth; the transit line; cavity milling

1) ứng với hai trường hợp: Quỹ đạo gia công vuông góc (Hình 1a) và quỹ đạo gia công tròn (Hình 1b) [4]. Kết quả, lực cắt ứng với quỹ đạo chuyển tiếp cung tròn thay đổi ổn định tại vùng chuyển tiếp (Hình 2).



Hình 1. Quỹ đạo gia công góc bề mặt hốc kiểu: (a) vuông góc (b) cung tròn [4]

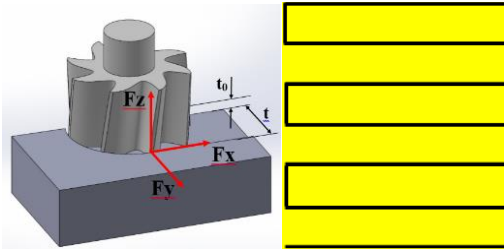


Hình 2. Kết quả đo lực cắt tại góc bề mặt hốc khi: (a) quỹ đạo dao vuông góc (b) quỹ đạo dao cung tròn [4]

Nghiên cứu ảnh hưởng của lực cắt đến độ lệch tâm của dụng cụ cắt khi phay giúp tính toán được lực kẹp phôi của đồ gá để nâng cao độ chính xác gia công và nâng cao tuổi thọ của dụng cụ cắt [5].

Nghiên cứu nhận thấy, lực cắt tại vùng chuyển tiếp gia công của quỹ đạo zigzag không ổn định so với vùng gia công còn lại. Vì vậy, nghiên cứu tập trung xác định sự thay đổi lực cắt F_x theo chiều sâu phay tại vùng chuyển tiếp của quỹ đạo gia công zigzag (Hình 3). Thực nghiệm trên máy

phay CNC và thiết bị đo lực cắt FKM2010–TeLC để thu thập giá trị lực cắt F_X .



Hình 3. Các thành phần lực cắt F_X , F_Y , F_Z và quỹ đạo gia công phay kiểu zigzag khi gia công bề mặt hốc trên máy phay CNC

2. Xác định sự thay đổi lực cắt F_X

Vật liệu gia công: Thép CT38, kích thước 70x70x70 mm

Thông số dao: Dao Dueci D8, chế độ cắt đối với thép CT38 theo khuyến nghị nhà sản xuất: vận tốc cắt $v_c = 60 - 100$ m/phút; lượng tiến dao răng: 0,03 – 0,06 mm/răng.

Bảng 1. Thông số dao phay ngón mặt đầu phẳng (End mill)

Vật liệu dao	Đường kính dao (D, mm)	Góc nâng lưỡi cắt (λ)	Góc trước (γ)	Góc sau (α)	Số lưỡi cắt (z)
WC	8,0	30°	15°	8°	4

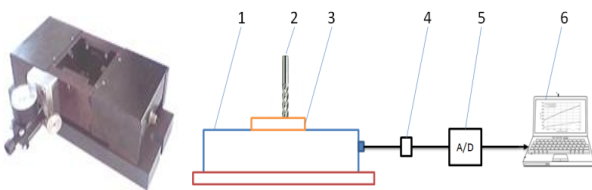
Bảng 2. Chế độ cắt khi phay thô bề mặt hốc

Chiều sâu cắt t_0 (mm)	Tốc độ cắt F (m/phút)	Chiều sâu phay t (mm)	Số vòng quay n (vòng/phút)	Kiểu vào dao nghiêng, (độ)
1	0,3	3-7	2000	1,5

2.1. Lắp đặt thiết bị đo FKM2010–TeLC trên máy phay CNC

Thông số thiết bị đo:

- + Các lực đo: F_X , F_Y , F_Z , F^* _Lực cắt tổng;
- + Giá trị lực đo: ± 3000 N;
- + Tốc độ truyền dữ liệu đo: 9600 bit/giây;
- + Định vị và kẹp chặt phôi: Dùng vít điều chỉnh van thủy lực và ren vít.



Hình 4. (a) Thiết bị đo lực cắt FKM2010; (b) sơ đồ nguyên lý đo lực cắt khi phay

1. Thiết bị đo FKM2010; 2. Dao phay ngón D8; 3 Phôi thép CT38; 4 Cáp kết nối RS232; 5. Bộ chuyển đổi tín hiệu tương tự/số (A/D); 6. Máy tính xuất dữ liệu đo

Thiết bị sử dụng cảm biến điện trở thay đổi theo biến dạng của kết cấu chịu lực gắn trong thiết bị đo để/xác định sự thay đổi của 4 thành phần lực cắt F_X , F_Y , F_Z và lực cắt tổng F^* được xác định theo 3 lực cắt thành phần F_X , F_Y , F_Z .

Thực nghiệm tiến hành trên máy phay CNC, sử dụng dao phay ngón vật liệu Cacbit vonfram phay thô bề mặt hốc (Hình 5). Mỗi phương án chạy dao được đo lặp lại 5 lần để đánh giá độ tin cậy của giá trị đo [6]. Trong đó, chiều sâu phay t được thay đổi với chế độ cắt không đổi. Tín hiệu đo được truyền thông qua cáp RS232 đến máy tính và được chuyển đổi sang tín hiệu số dưới dạng biểu đồ, bảng biểu,

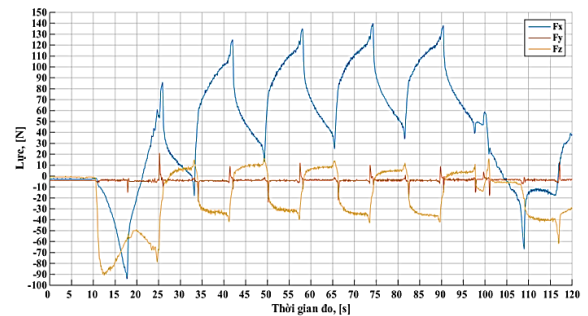
với trục đứng thể hiện độ lớn của giá trị lực cắt thành phần F_X và trục ngang thể hiện số điểm thu nhận giá trị đo. Trong thực nghiệm này, ta chọn tần số lấy mẫu là 10Hz.



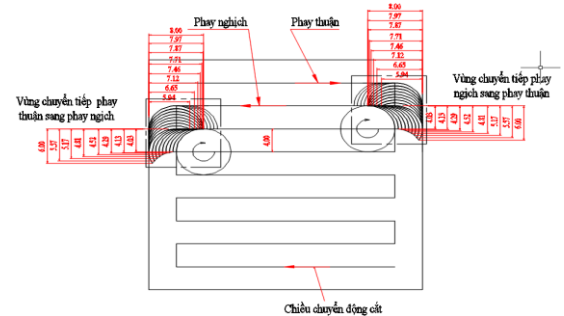
Hình 5. Hình ảnh thực nghiệm đo lực cắt khi gia công bề mặt hốc trên máy phay CNC

2.2. Xác định lực cắt thành phần F_X tại vùng chuyển tiếp quỹ đạo gia công zigzag

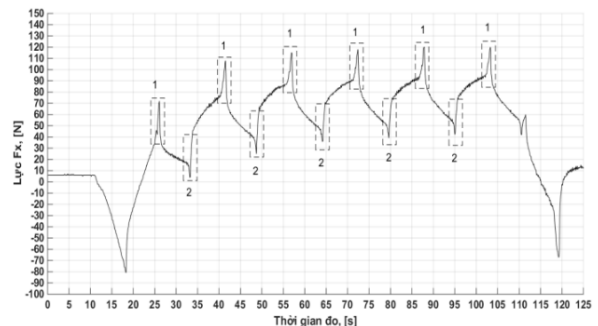
Trong 3 thành phần lực cắt được thu thập từ thiết bị đo FKM2010–TeLC, lực cắt F_X thay đổi lớn nhất so với các thành phần lực cắt F_Y , F_Z . Vì vậy, nghiên cứu giới hạn tìm hiểu sự thay đổi lực cắt F_X tại vùng chuyển tiếp quỹ đạo zigzag (Hình 6, 8, 11, 12)



Hình 6. Kết quả đo 3 lực cắt thành phần F_X , F_Y , F_Z theo quỹ đạo gia công zigzag, với $t = 4$ mm

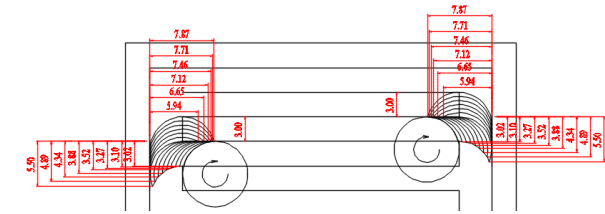


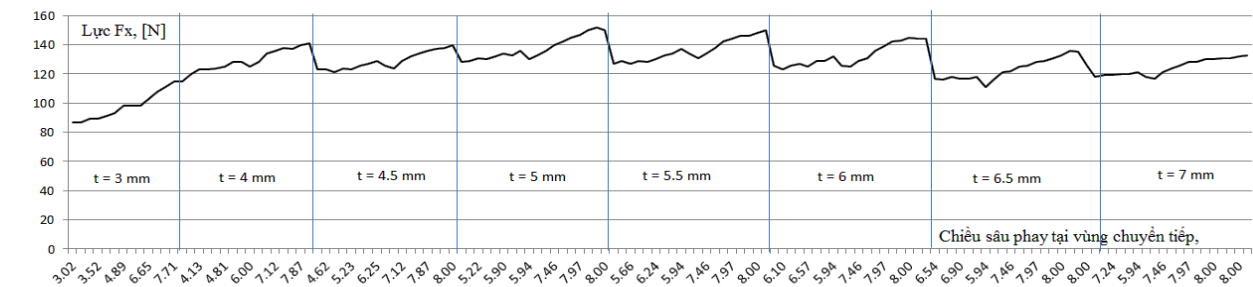
Hình 7. Chiều sâu phay tại vùng chuyển tiếp của quỹ đạo zigzag - Khi chiều sâu phay $t = 3$ mm



Hình 8. Sự thay đổi lực cắt F_X tại vùng chuyển tiếp quỹ đạo zigzag khi $t = 3$ mm; 1: Vùng chuyển tiếp từ phay nghịch sang phay thuận; 2: Vùng chuyển tiếp từ phay thuận sang phay nghịch

Từ số liệu đo Hình 8, Giá trị lực cắt F_x tại vùng 1 lớn hơn nhiều so với vùng 2. Vì vậy, nghiên cứu tập trung xác định giá trị lực cắt tại vùng chuyển tiếp từ phay nghịch sang phay thuận theo chiều sâu phay khi dao chuyển hướng sang đường cắt tiếp theo của quỹ đạo zigzag.





Hình 14. Sự thay đổi lực cắt F_x theo chiều sâu phay tại vùng chuyển tiếp phay nghịch sang phay thuận quỹ đạo zigzag

3. Đánh giá và bình luận

Từ Hình 14 nhận thấy, chênh lệch giá trị lực cắt F_x tại điểm đầu và điểm cuối của vùng chuyển tiếp gia công khác nhau, phụ thuộc vào chiều sâu phay của quỹ đạo zigzag. Trong đó, độ lệch lớn nhất khi chiều sâu phay $t = 3\text{ mm}$ và nhỏ nhất khi chiều sâu phay $t = 7\text{ mm}$ (Bảng 5). Đồng thời, lực cắt F_x lớn nhất tại vùng chuyển tiếp là 152 N khi $t = 5\text{ mm}$.

Bảng 5. Tổng hợp độ lệch giá trị lực cắt F_x tại vùng chuyển tiếp phay nghịch sang phay thuận quỹ đạo zigzag

Chiều sâu phay theo quỹ đạo zigzag (mm)	Chênh lệch giá trị lực cắt F_x tại điểm đầu và cuối (N)
3,0	28
4,0	21
4,5	19
5,0	24
5,5	23
6,0	22
6,5	19
7,0	15

Tổng hợp kết quả đo nhận thấy, khi chiều sâu phay $t = 5\text{ mm}$ lực cắt F_x tại vùng chuyển tiếp quỹ đạo zigzag đạt giá trị lớn nhất và chênh lệch giá trị lực cũng lớn. Vì vậy, khi gia công phay theo quỹ đạo zigzag hạn chế sử dụng chiều sâu phay $t = 3$ và 5 mm để nâng cao tuổi thọ của dao phay ngón. Nên sử dụng chiều sâu phay $t = 4,5$ hoặc $t = 7\text{ mm}$

4. Kết luận

Nghiên cứu đã xác định được phạm vi thay đổi giá trị lực cắt F_x tại vùng chuyển tiếp của quỹ đạo gia công zigzag với chế độ cắt xác định trước và chỉ thay đổi chiều sâu phay t (Hình 14, Bảng 5). Kết quả trên, giúp cho việc xác định chiều sâu phay đảm bảo nâng cao tuổi thọ dao phay khi phay bề mặt hốc phẳng theo quỹ đạo zigzag nhanh chóng.

Nghiên cứu làm cơ sở xác định đường chuyển tiếp tối ưu sao cho giảm thiểu tối đa độ lệch giá trị lực cắt và giảm giá trị lực cắt lớn nhất đối với quỹ đạo zigzag và các quỹ đạo gia công khác.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Trần Sỹ Túy, Nguyễn Duy, Trịnh Văn Tự, *Nguyên lý cắt kim loại*. NXB Đại học và trung học chuyên nghiệp, 1977.

[2] T.N. Nghiep, Ahmed A.D. Sarhan, Hideki Aoyama. “Analysis of Tool Deflection Errors in Precision CNC End Milling of Aerospace, Aluminum 6061-T6 alloy”. *MEASUR* 5512, S0263-2241(18)30395-6, 2018.

[3] C. Manav • H. S. Bank • I. Lazoglu. “Intelligent toolpath selection via multi-criteria optimization in complex sculptured surface milling”. *J Intell Manuf*, 2011, 349–355.

[4] Abdullah Ozcan, Edouard Rivière-Lorhèvre, Hoai Nam Huynh, François Ducobu, Olivier Verlinden, Enrico Filippi. “Modelling of pocket milling operation considering cutting forces and CNC control inputs”. *Procedia CIRP*, 58,2017, 239 – 244.

[5] Takashi Matsumura, Shoichi Tamura. “Cutting force model in milling with cutter runout”. *Procedia CIRP*, 58, 2017, 566 – 571.

[6] Nguyễn Minh Tuyền, *Quy hoạch thực nghiệm*, Nxb Khoa học và Kỹ thuật, 2005.