

ỨNG DỤNG PHƯƠNG PHÁP TAGUCHI NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA CHẾ ĐỘ CẮT VÀ GÓC XOẮN CỦA DAO PHAY NGÓN LIỀN KHỐI ĐẾN LỰC CẮT KHI PHAY VẬT LIỆU NHÔM Al6061

APPLICATION OF THE TAGUCHI METHOD TO INVESTIGATE THE EFFECTS CUTTING PARAMETERS AND HELIX ANGLE ON CUTTING FORCE WHEN MILLING ALUMINUM ALLOY Al6061 BY A SOLID END MILL TOOL

Hoàng Tiến Dũng^{1*}, Phạm Thị Thiều Thoa¹,
Nguyễn Tuấn Linh¹, Quan Ngọc Cử²

TÓM TẮT

Để đánh giá đồng thời thông số chế độ cắt và thông số hình học của dụng cụ cắt đến biên độ lực cắt trong quá trình phay vật liệu nhôm Al6061 bằng dao phay ngón liền khối. Nghiên cứu này ứng dụng phương pháp quy hoạch thực nghiệm Taguchi và phần mềm phân tích thống kê Intercooled Stata 8.2TM để xây dựng mô hình toán hồi quy giữa chế độ cắt và góc xoắn dao phay ngón liền khối với các thành phần biên độ lực cắt khi phay biên dạng. Qua đó, phân tích và dự đoán ảnh hưởng của chế độ cắt và góc xoắn của dao phay ngón đến lực cắt trong quá trình gia công và ứng dụng phương pháp phân tích phương sai (ANOVA) để phân tích mức độ ảnh hưởng của thông số chế độ cắt và góc xoắn dao phay ngón đến biên độ lực cắt khi phay biên dạng. Kết quả này có thể ứng dụng trong thiết kế chế tạo dụng cụ cắt và công nghiệp chế tạo.

Từ khóa: Chế độ cắt, góc xoắn, lực cắt, phay biên dạng, dao phay ngón liền khối, vật liệu nhôm Al6061

ABSTRACT

In order to simultaneously evaluate the cutting parameters and the geometry of the cutting tool to the cutting force's amplitude when milling Al6061 aluminum material by solid end mill. This study applied Taguchi method and statistical analysis software Intercooled Stata 8.2TM to build regression mathematical model between cutting parameters and helix angle of solid end mill with cutting force's amplitude components when milling profiles. Thereby analyzing and predicting the effect of cutting parameters and helix angle of solid end mill on cutting force during machining and applying Analysis of variance (ANOVA) method, the effect of cutting conditions and helix angle on the amplitudes of cutting forces were analyzed and modeled when milling profiles. This study can be applied in designing and manufacturing cutting tools and industry machining.

Keywords: Cutting parameters, cutting force, helix angle, milling, solid end mill, Al6061 aluminum material.

¹Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

²Trường Cao đẳng nghề kỹ thuật - Công nghệ Tuyên Quang

*Email: tiendung@hau.edu.vn

Ngày nhận bài: 10/9/2019

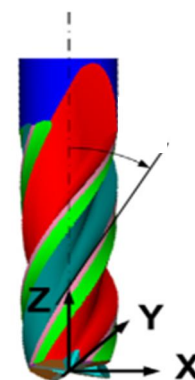
Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 07/11/2019

Ngày chấp nhận đăng: 20/02/2020

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Vật liệu nhôm là một kim loại khá mềm, dẻo, nhiệt độ nóng chảy cao và không bị oxy hóa khiến nhôm có một độ bền cao, vì vậy nhôm được sử dụng rất rộng rãi trong kỹ thuật hàng không, ngành công nghiệp ô tô, đồ gá, xây dựng và sinh hoạt hàng ngày... Có nhiều phương pháp khác nhau gia công các chi tiết, sản phẩm vật liệu nhôm như: các phương pháp gia công áp lực, đúc, gia công cắt gọt... Trong đó, phương pháp gia công cắt gọt chiếm tỷ lệ khá cao trong nền công nghiệp sản xuất ô tô, máy bay, điện thoại...

Đối với các doanh nghiệp chế tạo 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.



Hình 1. Góc xoắn dao phay ngón liền khối [3]

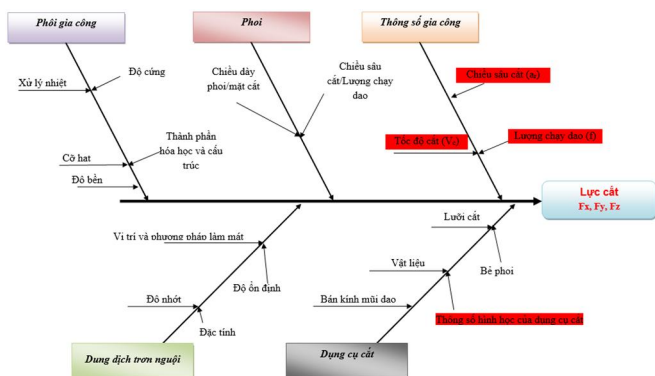
Công nghệ chế tạo dụng cụ cắt đóng vai trò quan trọng vì không có dụng cụ cắt tốt về chất lượng, nhiều về số lượng thì không thể chế tạo được những máy móc với chất lượng cao, không thể tăng năng suất lao động, hạ giá thành sản phẩm và cải thiện điều kiện làm việc [1] đặc biệt

nghiên cứu đối với loại vật liệu mới. Một trong các yếu tố ảnh hưởng trực tiếp đến khả năng gia công của dụng cụ cắt là các thông số hình học của dụng cụ cắt. Trong bài báo này, nhóm tác giả tập trung nghiên cứu ảnh hưởng đồng thời thông số chế độ cắt và thông số hình học góc xoắn của dao phay ngón liền khối đến biên độ lực cắt khi phay biên dạng vậ liệu nhôm Al6061. Góc xoắn của dao phay ngón liền khối được xác định như hình 1 [3].

Mục đích của nghiên cứu này xây dựng mô hình toán học hồi quy giữa các thành phần biên độ lực cắt với bốn thông số: tốc độ cắt (V_c), lượng chạy dao (f), chiều sâu cắt theo phương hướng kính (a_p) và góc xoắn của dao (β) khi phay biên dạng vật liệu nhôm Al6061.

Nghiên cứu này ứng dụng phương pháp phân tích phương sai (ANOVA) đánh giá mức độ ảnh hưởng của thông số đầu vào đến thông số đầu ra và phần mềm ứng dụng thống kê Intercooled Stata 8.2TM để xây dựng mô hình toán học hồi quy và dự đoán lực cắt trong quá trình gia công.

Trong quá trình gia công sử dụng dao phay ngón liền khối 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 tổng hợp bằng biểu đồ xương cá (hình 2) [8, 9]. Nghiên cứu này chỉ tập trung vào nghiên cứu ảnh hưởng và mức độ ảnh hưởng đồng thời của thông số chế độ cắt (tốc độ cắt (V_c), lượng chạy dao (f), chiều sâu cắt theo phương hướng kính (a_p)) và góc xoắn của dao phay ngón liền khối (β) đến các thành phần biên độ lực cắt theo phương X, Y, Z khi gia công vật liệu nhôm Al6061.

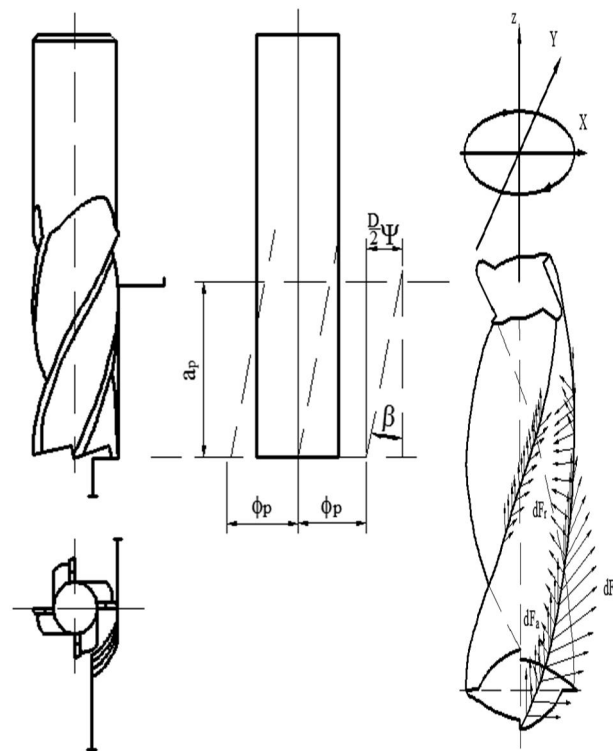


Hình 2. Biểu đồ xương cá các yếu tố ảnh hưởng lực cắt trong quá trình gia công

Trong gia công cắt gọt lực cắt là một trong thông số vật lý đánh giá và dự đoán 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 thông số trung gian trong quá trình gia công để thực hiện tối ưu hóa thích nghi.

Lực cắt là thông số qua đó có thể dự đoán được quy luật của chất lượng bề mặt chi tiết trong quá trình gia công [10]. Việc nghiên cứu và dự đoán lực cắt trong quá trình gia công là rất quan trọng đối với nhà công nghệ và chế tạo dụng cụ cắt.

2. PHÂN TÍCH LỰC CẮT TÁC ĐỘNG LÊN LƯỚI CẮT CỦA DAO PHAY NGÓN LIỀN KHỐI



Hình 3. Hình học dao phay ngón rãnh xoắn [5]

Trong quá trình gia công bằng dao phay ngón liền khối tải trọng tác động chu kỳ gây ra ứng suất theo chu kỳ cơ học và nhiệt tác dụng lên dao cắt, dẫn đến tuổi thọ của dao cắt giảm. Các loại dao phay ngón lưỡi cắt xoắn được sử dụng để làm giảm sự thay đổi đột ngột các thành phần rung động của lực cắt và được sử dụng khi chiều sâu cắt lớn, nhưng chiều rộng cắt nhỏ. Chức năng chính của chúng là phay đường bao để đạt được chất lượng bề mặt đường bao. Một dao phay ngón điển hình với rãnh xoắn được thể hiện trong hình 3. Sự xoắn của lưỡi cắt làm tăng dần lực dọc theo đường rãnh xoắn của dao phay ngón [6]. Nếu góc xoắn trên dao phay là β , một điểm trên các cạnh của lưỡi cắt sẽ bị trễ so với điểm cuối của dao phay. Góc trễ (ψ) ở chiều sâu cắt theo phương dọc trục (z) được xác định như hình 4.

$$\tan \beta = \frac{D\psi}{2z} \tag{1}$$

$$\psi = \frac{2z \tan \beta}{D} \tag{2}$$

Khi điếm dưới răng cắt của dao phay ngón có góc ăn dao ϕ , một điểm trên răng cắt để cắt chiều sâu z (mm) khi đó góc ăn dao ($\phi - \psi$). Chắc chắn rằng, chiều dày của phôi bị loại bỏ dọc theo rãnh xoắn cũng sẽ khác nhau ở mỗi điếm. Qua sự phân bố của lực cắt trên lưỡi cắt cho thấy số lưỡi cắt và góc xoắn của dao phay ngón có ảnh hưởng đáng kể đến động lực học trong quá trình gia công. Sự ảnh hưởng này tác động trực tiếp đến chất lượng sản phẩm gia công.

3. KHẢO SÁT LỰC CẮT 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: 20,3kW, côn trục chính SK40 tiêu chuẩn DIN69871. Bàn làm việc: tốc độ quay trục B và C max: 20 (vòng/phút); đài dao: số dao: 16 vị trí; chiều dài dao tối đa: 300; trọng lượng dao tối đa: 6kg; 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.



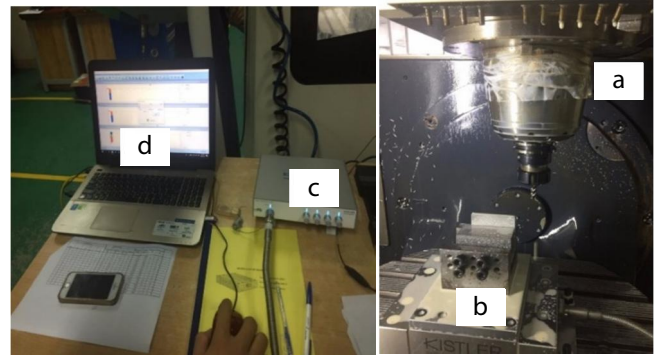
Hình 4. Hình ảnh máy CNC 5 trục DMU50

Dụng cụ cắt: Sử dụng dụng cụ cắt dao phay ngón khối gia công biên dạng, vật liệu hợp kim cứng CK10 của Đức. Đường kính dao (D) = đường kính chuôi = 8mm. Số lưỡi cắt: 4. Chiều dài đoạn làm việc: 26,5mm. Tổng chiều dài: 82mm. Góc nghiêng Helix: 15, 30, 45 độ.



Hình 5. Hình ảnh dụng cụ cắt thực nghiệm

Thực nghiệm sử dụng thiết bị đo lực 3 thành phần mã số Kistler Type 9139AA: giải đo (-3kN ÷ 3kN), hộp xử lý dữ liệu và một máy tính cùng với phần mềm DynoWare để đo và xử lý dữ liệu thông tin như hình 6.



a. Máy CNC 5 trục
b. Thiết bị đo lực
c. Hộp xử lý dữ liệu
d. Hệ thống máy tính và phần mềm xử lý

Hình 6. Sơ đồ thiết lập đo lực cắt

Chi tiết gia công: Vật liệu gia công thép nhôm Al6061 kích thước mẫu thí nghiệm LxWxH=70x70x10(mm). Thành phần hóa học của hợp kim nhôm Al6061 trong bảng 1.

Bảng 1. Thành phần hóa học của hợp kim nhôm A6061 (%)

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Al
0,4 - 0,8	0,7	0,15 - 0,4	0,15	0,8 - 1,2	0,04 - 0,35	0,25	0,15	Còn lại

Đặc tính kỹ thuật của hợp kim nhôm A6061 được thể hiện trên bảng 2.

Bảng 2. Đặc tính vật lý của hợp kim nhôm A6061

Đặc tính vật lý	Giá trị	Đặc tính vật lý	Giá trị
Nhiệt độ nóng chảy (°C)	582-652	Mô đun đàn hồi (Gpa)	68,9
Hệ số dẫn nhiệt (W/m.K)	167	Điện trở (Ω.m)	3,99e-006
Nhiệt dung riêng (J/g.°C)	0,896	Ứng suất uốn (MPa)	96,5
Tỷ trọng (kg/m ³)	2,7	Ứng suất kéo (MPa)	276
Độ cứng (HB)	95	Hệ số Poisson	0,33

3.2. Phân tích và đánh giá kết quả thực nghiệm

Qua mô hình nghiên cứu tiến hành thí nghiệm với v, f, a, và góc xoắn β thay đổi, chiều sâu cắt dọc trục a_p = 10 (mm) không thay đổi. Ứng dụng phương pháp thực nghiệm Taguchi L₂₇ trục giao với 3 mức khác nhau để thực nghiệm phân tích dự đoán lực cắt khi phay biên dạng. Trên cơ sở khuyến cáo của nhà sản xuất dụng cụ cắt đối với vật liệu dụng cụ cắt hợp kim cứng CK10 của Đức các thông số cắt khi gia công tinh vật liệu Al6061 trong khoảng giới hạn như sau:

- Vận tốc cắt v trên máy phay cao tốc nằm trong khoảng: 200 ÷ 400 m/phút;
- Chiều sâu cắt theo phương hướng kính a_r: 0,1 ÷ 1mm;
- Bước tiến f_z nằm trong khoảng: 0,025 ÷ 0,075mm/phút;
- Thông số góc xoắn của lưỡi cắt theo thực nghiệm nghiên cứu thường 15 - 45° tùy thuộc vào từng đặc tính kỹ thuật của vật liệu gia công.

Theo lý thuyết quy hoạch thực nghiệm trục giao Taguchi lựa chọn thực nghiệm với 3 mức và được xác định như bảng 3.

Bảng 3. Bảng thông số đầu vào nghiên cứu thực nghiệm

TT	Thông số	Mức 1	Mức 2	Mức 3
		-1	0	1
1	Vận tốc cắt (V_c) [m/phút]	200	300	400
2	Lượng tiến răng (f_z) [mm/răng]	0,025	0,05	0,075
3	Chiều sâu cắt hướng kính (a_r) [mm]	0,1	0,55	1
4	Góc xoắn dao phay ngón liên khối (β) [độ]	15	30	45

Trong nghiên cứu thực nghiệm, với 4 thông số đầu vào, mỗi thông số gồm có 3 mức khác nhau. Ma trận thí nghiệm

phù hợp nhất là [6] ($L_{27} - 34$) bao gồm 27 thí nghiệm được lựa chọn để tiến hành nghiên cứu thực nghiệm ảnh hưởng của 3 thông số chế độ cắt là vận tốc cắt, lượng tiến răng, chiều sâu cắt hướng kính và góc xoắn của dao phay ngón đến lực cắt khi phay biên dạng.

3.2.1. Phân tích biên độ lực cắt theo phương X

Sử dụng phương pháp ANOVA phân tích mức độ ảnh hưởng của các thông số cho thấy, góc xoắn dao phay ngón ảnh hưởng lớn nhất đến biên độ lực cắt theo phương X (52,473%), tốc độ cắt (V_c) ảnh hưởng chiếm 29,588%, còn các thông số khác ảnh hưởng ít hơn 7% được tính toán bằng phân tích ANOVA (bảng 5).

Bảng 4. Kết quả đo biên độ lực cắt theo 3 phương X,Y,Z

Thứ tự	Biến mã hóa				Thông số thực nghiệm				Biên độ lực cắt theo phương X A_{F_x} (N)	Biên độ lực cắt theo phương Y A_{F_y} (N)	Biên độ lực cắt theo phương Z A_{F_z} (N)
	X_1	X_2	X_3	X_4	V_c [m/phút]	f_z (mm/răng)	a_r [mm]	β [độ]			
1	-1	-1	-1	-1	200	0,025	0,1	15	327,04	114,24	79,06
2	-1	-1	0	0	200	0,05	0,1	30	223,90	81,47	65,39
3	-1	-1	1	1	200	0,075	0,1	45	137,79	72,55	72,98
4	-1	0	-1	0	200	0,025	0,55	30	192,91	32,81	54,92
5	-1	0	0	1	200	0,05	0,55	45	142,63	72,78	69,37
6	-1	0	1	-1	200	0,075	0,55	15	441,39	188,86	131,72
7	-1	1	-1	-1	200	0,025	1	15	330,18	123,79	91,61
8	-1	1	0	0	200	0,05	1	30	259,82	83,64	82,46
9	-1	1	1	1	200	0,075	1	45	214,04	76,25	93,98
10	0	-1	-1	1	300	0,025	0,1	45	125,76	58,85	45,70
11	0	-1	0	-1	300	0,05	0,1	15	459,72	141,19	129,28
12	0	-1	1	0	300	0,075	0,1	30	321,21	93,46	105,07
13	0	0	-1	1	300	0,025	0,55	45	180,95	63,10	63,35
14	0	0	0	-1	300	0,05	0,55	15	506,22	158,65	140,06
15	0	0	1	0	300	0,075	0,55	30	371,12	104,37	128,75
16	0	1	-1	0	300	0,025	1	30	308,46	70,82	67,74
17	0	1	0	1	300	0,05	1	45	176,50	59,83	76,65
18	0	1	1	-1	300	0,075	1	15	701,75	174,34	148,43
19	1	-1	-1	-1	400	0,025	0,1	15	664,41	138,84	149,29
20	1	-1	0	0	400	0,05	0,1	30	432,32	87,57	156,28
21	1	-1	1	1	400	0,075	0,1	45	285,97	80,37	119,53
22	1	0	-1	0	400	0,025	0,55	15	629,88	149,75	123,98
23	1	0	0	1	400	0,05	0,55	45	278,06	60,55	111,69
24	1	0	1	-1	400	0,075	0,55	15	1042,39	223,45	224,63
25	1	1	-1	-1	400	0,025	1	15	664,27	151,77	124,63
26	1	1	0	0	400	0,05	1	30	419,37	130,92	133,40
27	1	1	1	1	400	0,075	1	45	339,34	80,11	146,73

Bảng 5. Kết quả phân tích ANOVA biên độ lực cắt theo phương X

Number of obs:		27		R-squared:		0,9998	
Root MSE:		11,4355		Adj R-squared:		0,9972	
Source	Sum of squares	Degree of freedom	Mean square	F-value	Prob > F	Percent contribution (%)	
Model	1193118,1200	24	49713,2550	380,16	0,0026		
Vc (m/min)	353092,9790	2	176546,4895	1350,05	0,0007	29,588	
fz [mm/v]	50987,6532	2	25493,8266	194,95	0,0051	4,273	
a _r [mm]	36295,2198	2	18147,6099	138,77	0,0072	3,041	
β	626204,7430	2	313102,3715	2394,29	0,0004	52,473	
Vc*fz	28396,8941	4	7099,2235	54,29	0,0182	2,380	
Vc*a	16446,1069	4	4111,5267	31,44	0,0311	1,378	
Vc*β	79358,2880	4	19839,5720	151,71	0,0066	6,650	
fz*a	2336,2337	4	584,0584	4,47	0,1912	0,196	
fz*β		0				0,000	
a _r *β		0				0,000	
Vc*Vc		0				0,000	
fz*fz		0				0,000	
a _r *a _r		0				0,000	
β*β		0				0,000	
Error	261,5408	2	130,7704			0,022	
Total	1193379,6585	26	45899,2176			100	

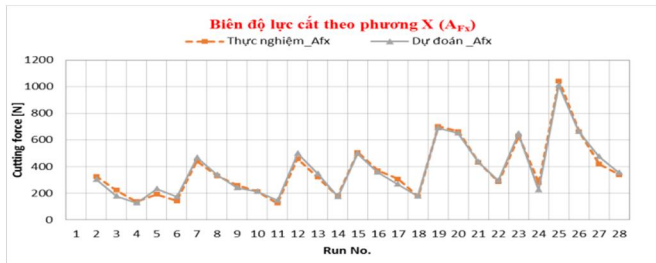
Bảng 6. Kết quả phân tích ANOVA biên độ lực cắt theo phương Y

Number of obs:		27		R-squared:		0,9948	
Root MSE:		12,1112		Adj R-squared:		0,9323	
Source	Sum of squares	Degree of freedom	Mean square	F-value	Prob > F	Percent contribution (%)	
Model	56027,0458	24	2334,4602	15,92	0,0607		
Vc (m/min)	3854,84635	2	1927,4232	13,14	0,0707	6,844	
fz [mm/v]	3108,55873	2	1554,2794	10,6	0,0862	5,519	
a _r [mm]	1924,88957	2	962,4448	6,56	0,1322	3,418	
β	42388,5227	2	21194,2614	144,49	0,0069	75,263	
Vc*fz	2632,22464	4	658,0562	4,49	0,1905	4,674	
Vc*a	220,336422	4	55,0841	0,38	0,816	0,391	
Vc*β	1632,0329	4	408,0082	2,78	0,2815	2,898	
fz*a	265,634453	4	66,4086	0,45	0,7742	0,472	
fz*β		0				0,000	
a _r *β		0				0,000	
Vc*Vc		0				0,000	
fz*fz		0				0,000	
a _r *a _r		0				0,000	
β*β		0				0,000	
Error	293,361238	2	146,6806			0,521	
Total	56320,4070	26	2166,1695			100	

Phương trình hồi quy ảnh hưởng của các thông số chế độ cắt và góc xoắn dao phay ngón liên khối đến biên độ lực cắt theo phương X mức độ ảnh hưởng của từng thống số riêng lẻ và sự ảnh hưởng lẫn nhau thông số đầu và tới lực cắt theo phương X được đánh giá bằng phân tích ANOVA bảng 5. So sánh kết quả đo được từ thực nghiệm và giá trị dự đoán biên độ lực cắt theo phương X được mô tả hình 7.

Qua hình 7 cho thấy, kết quả dự đoán rất gần với kết quả đo được. Giá trị R² của phương trình hồi quy của biên độ lực cắt đạt được 98,47%. Vì vậy, mô hình hồi quy toán học này là mô hình hồi quy phù hợp nhất với 4 thông số đầu vào (vận tốc cắt, chiều sâu cắt theo phương bán kính, lượng chạy và góc xoắn dao phay ngón) và thông số đầu ra là giá trị biên độ lực cắt theo phương X.

$$\begin{cases}
 A_{F_x} = 616,7385 - 1,958246 * V_c - 4979,026 * f_z \\
 \quad - 10,46394 * a_r - 4979,026 * \beta \\
 \quad + 20,59011 * V_c * f_z - 0,1389388 * V_c * a_r \\
 \quad - 0,0641506 * V_c * \beta - 53,80464 * a_r * f_z \\
 \quad - 177,6742 * f_z * \beta + 1,921873 * a_r * \beta \\
 \quad + 0,006931 * V_c^2 + 66765,78 * f_z^2 \\
 \quad + 46,32638 * a_r^2 + 0,2680647 * \beta^2 \\
 R^2 = 98,47\%, R_{Ajd}^2 = 96,69\%
 \end{cases} \quad (3)$$



Hình 7. Kết quả đo từ thực nghiệm và dự đoán biên độ lực cắt theo phương X

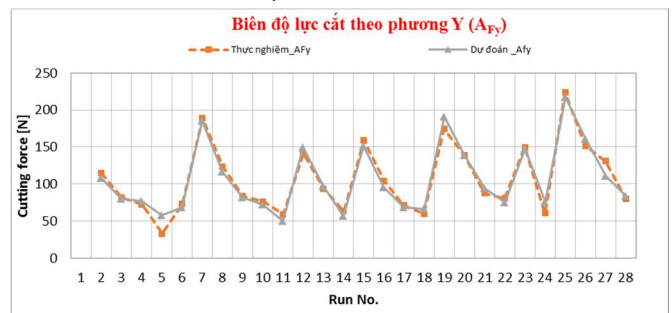
3.2.2. Phân tích biên độ lực cắt theo phương Y

Sử dụng phương pháp ANOVA phân tích mức độ ảnh hưởng của các thông số cho thấy, góc xoắn dao phay ngón ảnh hưởng lớn nhất đến biên độ lực cắt theo phương Y (75,263%), tốc độ cắt (V_c) 6,844%, lượng chạy dao theo phương hướng kính 5,519% còn các thông số khác được thể hiện bằng phân tích ANOVA (bảng 6).

Phương trình toán học hồi quy ảnh hưởng của các thông số chế độ cắt và góc xoắn dao phay ngón liên khối đến biên độ lực cắt theo phương Y mức độ ảnh hưởng của từng thông số riêng lẻ và sự ảnh hưởng lẫn nhau thông số

đầu và tới lực cắt theo phương Y được đánh giá bằng phân tích ANOVA bảng 6. So sánh kết quả đo được từ thực nghiệm và giá trị dự đoán biên độ lực cắt theo phương Y được mô tả hình 8. Qua hình 8 cho thấy, kết quả dự đoán rất gần với kết quả đo được. Giá trị R^2 của phương trình hồi quy của biên độ lực cắt đạt được 95,84%. Vì vậy, mô hình hồi quy toán học này là mô hình hồi quy phù hợp nhất với 4 thông số đầu vào (vận tốc cắt, chiều sâu cắt theo phương bán kính, lượng chạy và góc xoắn dao phay ngón) và thông số đầu ra là giá trị biên độ lực cắt theo phương Y.

$$\begin{cases}
 A_{F_y} = 220,8773 - 0,5738021 * V_c + 2430,745 * f_z \\
 \quad - 12,06736 * a_r - 7,229925 * \beta \\
 \quad - 0,5860904 * V_c * f_z + 0,0751852 * V_c * a_r \\
 \quad - 0,0045221 * V_c * \beta - 430,239 * a_r * f_z \\
 \quad - 45,70717 * f_z * \beta + 0,0862069 * a_r * \beta \\
 \quad + 0,0013401 * V_c^2 + 757,0037 * f_z^2 \\
 \quad + 12,88711 * a_r^2 + 0,1289566 * \beta^2 \\
 R^2 = 95,84\%, R_{Ajd}^2 = 91,00\%
 \end{cases} \quad (4)$$



Hình 8. Kết quả đo từ thực nghiệm và dự đoán biên độ lực cắt theo phương Y

Bảng 7. Kết quả phân tích ANOVA biên độ lực cắt theo phương Z

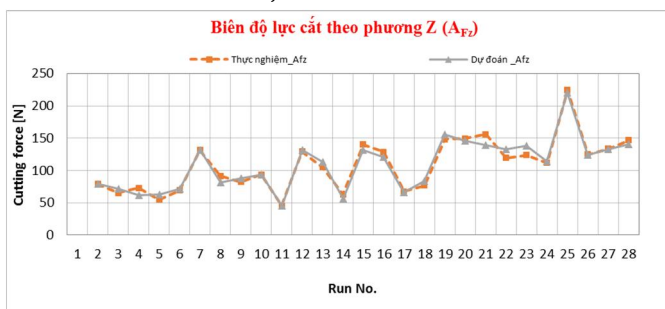
Number of obs:	27	R-squared:	0,9921			
Root MSE:	12,9442	Adj R-squared:	0,8971			
Source	Sum of squares	Degree of freedom	Mean square	F-value	Prob > F	Percent contribution (%)
Model	42013,5771	24	1750,5657	10,45	0,0909	
Vc (m/min)	17633,8607	2	8816,9304	52,62	0,0186	41,640
fz [mm/v]	7703,2600	2	3851,6300	22,99	0,0417	18,190
ar [mm]	909,7465	2	454,8733	2,71	0,2692	2,148
β	12814,5770	2	6407,2885	38,24	0,2550	30,260
Vc*fz	575,1995	4	143,7999	0,86	0,6007	1,358
Vc*a	604,8937	4	151,2234	0,90	0,5859	1,428
Vc* β	1180,9245	4	295,2311	1,76	0,3932	2,789
fz*a	591,1153	4	147,7788	0,88	0,5927	1,396
fz* β		0				0,000
ar* β		0				0,000
Vc*Vc		0				0,000
fz*fz		0				0,000
ar*ar		0				0,000
β * β		0				0,000
Error	335,1062	2	167,5531			0,791
Total	42348,6834	26	1628,7955			100

3.2.3. Phân tích biên độ lực cắt theo phương Z

Sử dụng phương pháp ANOVA phân tích mức độ ảnh hưởng của các thông số cho thấy, góc xoắn dao phay ngón ảnh hưởng lớn nhất đến biên độ lực cắt theo phương Z (30,26%), tốc độ cắt (V_c) 41,64%, lượng chạy dao 18,19%, chiều sâu cắt theo phương hướng kính nhỏ chiếm 2,148% còn các thông số khác được đánh giá qua bảng phân tích ANOVA (bảng 7).

Phương trình hồi quy ảnh hưởng của các thông số chế độ cắt và góc xoắn dao phay ngón liên khối đến biên độ lực cắt theo phương Z mức độ ảnh hưởng của từng thông số riêng lẻ và sự ảnh hưởng lẫn nhau thông số đầu và tới lực cắt theo phương Y được đánh giá bằng phân tích ANOVA bảng 7. So sánh kết quả đo được từ thực nghiệm và giá trị dự đoán biên độ lực cắt theo phương Z được mô tả hình 9. Qua hình 9 cho thấy, kết quả dự đoán rất gần với kết quả đo được. Giá trị R^2 của phương trình hồi quy của biên độ lực cắt đạt được 96,55%. Vì vậy, mô hình hồi quy toán học này là mô hình hồi quy phù hợp nhất với 4 thông số đầu vào (vận tốc cắt, chiều sâu cắt theo phương bán kính, lượng chạy và góc xoắn dao phay ngón) và thông số đầu ra là giá trị biên độ lực cắt theo phương Z.

$$\begin{cases}
 A_{F_z} = 134,7146 - 0,5312286 * V_c + 859,2726 * f_z \\
 \quad + 30,43535 * a_r - 2,129851 * \beta \\
 \quad + 3,373772 * V_c * f_z - 0,1314124 * V_c * a_r \\
 \quad - 0,0050189 * V_c * \beta + 123,0776 * a_r * f_z \\
 \quad - 16,79662 * f_z * \beta + 0,88386 * a_r * \beta \\
 \quad + 0,00114502 * V_c^2 - 3843,486 * f_z^2 \\
 \quad - 16,69712 * a_r^2 + 0,0369289 * \beta^2 \\
 R^2 = 96,55\%, R_{Ajd}^2 = 92,52\%
 \end{cases} \quad (5)$$



Hình 9. Kết quả đo từ thực nghiệm và dự đoán biên độ lực cắt theo phương Z

4. KẾT LUẬN

Thực nghiệm khảo sát và phân tích ảnh hưởng thông số chế độ cắt và góc xoắn (V_c , f , a_r , β) tới thành phần biên độ lực cắt khi phay biên dạng vật liệu nhôm Al6061 bằng dao phay ngón liên khối. Ứng dụng phương pháp quy hoạch thực nghiệm Taguchi và phần mềm Intercooled Stata 8.2™ đã xây dựng được mô hình toán học hồi quy thực nghiệm giữa thông số đầu vào (chế độ cắt và góc xoắn của dao) và thông số đầu ra là thành phần biên độ lực cắt (A_{F_x} , A_{F_y} , A_{F_z}) phương trình (3), (4) và (5). Kết quả cho thấy, biên độ lực cắt theo hai phương X, Y tương ứng với mức độ ảnh hưởng của thông số góc xoắn, tốc độ cắt, lượng chạy dao và chiều sâu: phương X (52,473%, 29,588%, 4,273%, 3,041%); phương Y

(75,263%, 6,844%, 5,591%, 3,418%). Biên độ lực cắt theo phương Z tương ứng với mức độ ảnh hưởng của thông số góc xoắn, tốc độ cắt, lượng chạy dao và chiều sâu: 30,260%, 41,640%, 18,19%, 2,148%. Dựa trên cơ sở phân tích dự đoán về lực cắt để phân tích, tính toán trong thiết kế và chế tạo dao phay ngón liên khối và có thể ứng dụng trong công nghiệp 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]. Dung Hoang Tien, Nhu Tung Nguyen, Trung Do Duc, 2019. *Influence of different cutter helix angle and cutting condition on surface roughness during endmilling of C45 steel*, International Journal of Mechanical Engineering and Technology (IJMET) - ISSN Print:0976-6340, ISSN Online: 0976-6359, 10, 379-388.
- [3]. Hoàng Tiến Dũng, Nguyễn Văn Thiện, Đỗ Đức Trung, Trần Quốc Hùng, Phạm Thị Thiệu Thoa, Phạm Văn Trinh, 2017. *Dự đoán ảnh hưởng của chế độ cắt và góc xoắn của dao phay ngón liên khối đến lực cắt khi phay*. Tạp chí Khoa học và công nghệ, trường Đại học Công nghiệp Hà Nội - ISSN 1859-3585, 47, 3-8.
- [4]. Taguchi G, Konishi S, 1987. *Taguchi Methods, orthogonal arrays and linear graphs, tools for quality American supplier institute*. American Supplier Institute, [p. 8-35]
- [5]. Yusuf Altintas, 2012. *Manufacturing Automation*. Cambridge University Press: 32 Avenue of the Americas, New York, NY 10013-2473, USA.
- [6]. 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.
- [7]. Wen-Hsiang Lai, 2000. *Modeling of Cutting Forces in End Milling Operations*. Tamkang Journal of Science and Engineering, Vol. 3, No. 1, pp. 15-22.
- [8]. B. C. Routara & A. Bandyopadhyay & P. Sahoo, 2009. *Roughness modeling and optimization in CNC end milling using response surface method: effect of workpiece material variation*, Int J Adv Manuf Technol 40:1166–1180.
- [9]. Benardos PG, Vosniakos GC, 2003. *Predicting surface roughness in machining*. Int J Mach Tools Manuf 43:833–844.
- [10]. Tien Dung Hoang, Nhu Tung Nguyen, Duc Quy Tran, Van Thien Nguyen, 2019. *Cutting Forces and Surface Roughness in Face Milling of SKD61 Hard Steel*. Strojniški vestnik - Journal of Mechanical Engineering - ISSN 0039-2480-ISSN 2536-2948, 375-385.

AUTHORS INFORMATION

Hoang Tien Dung¹, Pham Thi Thieu Thoa¹, Nguyen Tuan Linh¹, Quan Ngoc Cu²

¹Hanoi University of Industry

²Tuyen Quang Vocational College