

KHẢO SÁT LỰC CẮT KHI PHAY KHÔ VÀ PHAY ƯỚT VẬT LIỆU HỢP KIM NHÔM AA7075

SURVEY OF CUTTING FORCE ON WET AND DRY MILLING OF AA7075 ALUMINIUM ALLOY

Lê Như Trang^{1,2}, Trần Xuân Thái²,
Nguyễn Trọng Hải², Hoàng Tiến Dũng^{3,*}

TÓM TẮT

Bài báo này thực hiện khảo sát và đánh giá về lực cắt khi gia công khô và gia công ướt đồng thời phân tích ảnh hưởng của các thông số công nghệ đến lực cắt. Đánh giá hiệu quả của việc gia công có sử dụng dung dịch làm mát và không sử dụng dung dịch làm mát khi phay hợp kim nhôm AA7075. Thiết lập được phương trình hồi quy của lực cắt phụ thuộc vào thông số công nghệ. Xây dựng các biểu đồ phụ thuộc của chiều sâu cắt, vận tốc cắt, lượng chạy dao đến lực cắt. Kết quả nghiên cứu làm cơ sở để các nhà công nghệ lựa chọn điều kiện gia công cho phù hợp kinh tế, đảm bảo được năng suất và chất lượng sản phẩm.

Từ khóa: Gia công khô, gia công ướt, hợp kim nhôm AA7075, lực cắt.

ABSTRACT

This paper survey and evaluate of the cutting forces on the dry and wet machining and analyzes the effects of the cutting parameters. The efficiencies of the cutting processes with and without the coolant in the milling aluminum alloy AA7075 are investigated. The regression equation of cutting force depending on cutting parameters is given. The dependences of cutting depth, cutting speed, the feed rate on the cutting force are demonstrated. The obtained results are useful for the technician to select economically the processing conditions for ensuring productivity and product quality.

Keywords: Dry machining, wet machining, AA 7075 aluminum alloy, cutting force.

¹Trường Đại học Kinh tế Kỹ thuật Công nghiệp

²Trường Đại học Bách khoa Hà Nội

³Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

*Email: tiendung@hau.edu.vn

Ngày nhận bài: 26/02/2020

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 10/4/2020

Ngày chấp nhận đăng: 24/4/2020

1. GIỚI THIỆU

Lực cắt là yếu tố ảnh hưởng đến chất lượng bề mặt chi tiết gia công và năng suất của sản phẩm. Lực cắt tác động vào phôi và dụng cụ cắt cùng với ảnh hưởng của nhiệt sinh ra trong quá trình cắt làm cho dụng cụ cắt nhanh bị mài mòn hoặc có thể phá hủy nghiêm trọng lưỡi cắt. Từ quy luật của lực cắt có thể giải thích quy luật mài mòn của dụng cụ cắt, giúp nâng cao độ bền và tuổi thọ của dụng cụ cắt. Bên cạnh đó lực cắt còn có ý nghĩa cho việc tính toán công

suất máy, độ bền của các cơ cấu máy, cơ cấu chạy dao, đồ gá... Đặc biệt, khi gia công hàng loạt lớn trên hệ thống máy CNC thì các yếu tố ảnh hưởng đến lực cắt cần phải được quan tâm [1, 2]... Đánh giá ảnh hưởng của lực cắt từ đó điều chỉnh quá trình cắt cho hiệu suất và chất lượng sản phẩm cao nhất. Lực cắt và độ nhám bề mặt có sự thay đổi tỷ lệ thuận với nhau trong quá trình gia công vì vậy thông qua lực cắt chúng ta có thể dự đoán được sự thay đổi của độ nhám bề mặt chi tiết gia công [17].

Đã có nhiều nghiên cứu ảnh hưởng của các yếu tố đến lực cắt như nghiên cứu của tác giả M.T Tsai cùng các cộng sự [3] đã tìm ra phương pháp dự đoán lực cắt khi gia công hợp kim nhôm 6060-T6. Nhóm nghiên cứu đã đưa ra được hai phương pháp và so sánh với thực nghiệm đồng thời thấy rằng bước tiến và đường kính dụng cụ cắt, góc cắt ảnh hưởng chính đến lực cắt. Tác giả Badis Haddag [4] cũng nghiên cứu ảnh hưởng của tốc độ cắt, bước tiến, góc cắt ảnh hưởng đến lực cắt và xây dựng được mô hình mô phỏng giá trị lực cho hợp kim AA2024-T351. Nghiên cứu của tác giả Xiaobin Cui [5] về lực cắt khi phay bề mặt thép AISI H13, tác giả đã phân tích các yếu tố ảnh hưởng đến lực cắt trong đó tốc độ cắt tăng làm lực giảm và khi tăng thêm tốc độ cắt lực lại tăng. Một số các nghiên cứu về ảnh hưởng của tốc độ cắt đến lực như [5 - 9]. Nghiên cứu của tác giả Xiaobin Cui và đồng nghiệp [10] đã xét đến ảnh hưởng của tốc độ cắt, lượng chạy dao đến các thành phần lực. Tác giả Hoàng Tiến Dũng và cộng sự nghiên cứu ảnh hưởng của chế độ cắt khi phay cao tốc bằng dao phay ngón liền khối [18], 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 biên dạng vật liệu hợp kim nhôm Al6061 [19]. Hầu hết các thành phần lực cắt theo hướng X, Y, Z khi tăng tốc độ cắt, lực cắt giảm và đến khi vận tốc cắt tăng thêm nữa thì lực cắt lại tăng. Thực nghiệm cũng chỉ ra ở các tốc độ cắt khác nhau thì lượng chạy dao tăng đều làm cho lực cắt tăng. Nghiên cứu so sánh lực cắt cho trường hợp gia công khô và công ướt cũng được tác giả Behnam Davoodi [11] đề cập đến. Nghiên cứu chỉ ra khi gia công AA5083 có thể gia công khô ở tốc độ cắt cao vì trong trường hợp này lực cắt thấp hơn gia công ướt. Một số nghiên cứu [12 - 15] so sánh lực cắt và các điều kiện khác giữa gia công khô và gia công ướt cũng được phân tích.

Tuy nhiên để đánh giá rõ hơn ảnh hưởng của các thông số công nghệ khi phay hợp kim nhôm AA7075 bằng dao phay ngón và so sánh lực cắt cho hai trường hợp gia công khô và gia công ướt trong cùng điều kiện gia công. Từ kết quả nghiên cứu giúp cho nhà công nghệ cũng như các nhà máy xí nghiệp điều chỉnh các điều kiện cắt để đạt hiệu quả và kinh tế cao nhất khi gia công hợp kim nhôm AA7075.

2. ĐIỀU KIỆN THỰC NGHIỆM

2.1. Vật liệu gia công [16]

Hợp kim nhôm AA7075 là dòng hợp kim biến dạng hóa bền và là hợp kim nhôm có độ bền cao nhất. Nó thường được sử dụng chủ yếu trong ngành công nghiệp hàng không vũ trụ và thối đúc, cơ khí chính xác. Thành phần hóa học của nhôm AA7075 trong bảng 1.

Bảng 1. Thành phần hóa học của hợp kim nhôm AA7075 (%) [16]

Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Al
1,2-2,0	0,3	2,1-2,9	0,18-0,28	5,1-6,1	0,2	Còn lại

Đặc tính kỹ thuật của hợp kim nhôm AA7075 được thể hiện trên bảng 2.

Bảng 2. Đặc tính vật lý của hợp kim nhôm A7075

Đặc tính vật lý	Giá trị	Đặc tính vật lý	Giá trị
Nhiệt độ nóng chảy (°C)	483	Mô đun đàn hồi (Gpa)	70-80
Hệ số dẫn nhiệt (W/m.K)	130	Điện trở (Ω.m)	3,99e-006
Nhiệt dung riêng (J/g-oC)	0,896	Ứng suất uốn (Mpa)	95
Tỷ trọng (kg/m3)	2,7	Ứng suất kéo (Mpa)	150
Độ cứng (HB)	60	Hệ số Poisson	0,33

2.2. Máy phay

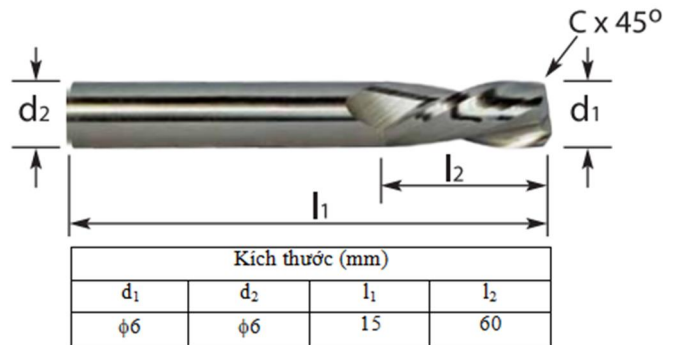
Nghiên cứu sử dụng máy phay CNC HS Super MC500 như trên hình 1 với các thông số chính: tốc độ quay trục chính: 100 ÷ 30000 (vòng/phút); công suất trục chính 15kW, tốc độ dịch chuyển của bàn máy cắt gọt: 1 ÷ 30000 (mm/phút), tốc độ chạy không lớn nhất: 48000 (mm/phút). Hành trình dịch chuyển của bàn máy: X x Y x Z = 500 x 400 x 300 (mm).



Hình 1. Máy phay MC500

2.3. Dụng cụ cắt

Thực nghiệm dùng dao phay ngón HSSCo8 có phủ TiN, kích thước dao 6x6x15x60 mm, có 2 me cắt. Dao có độ cứng đạt được của dụng cụ đạt đến 60 HRC và khi phủ TiN cho độ bền cao, chống mài mòn và có thể làm việc ở nhiệt độ cao, rút ngắn thời gian gia công vật liệu hình 2.



Hình 2. Thông số hình học của dụng cụ cắt

2.4. Thiết bị đo lực cắt

Thực nghiệm sử dụng thiết bị đo lực 3 thành phần mã số Kistler Type 9139AA: dải 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 3.



Hình 3. Thiết bị đo lực cắt và đồ thị kết quả đo

3. THỰC NGHIỆM VÀ PHÂN TÍCH KẾT QUẢ

3.1. Thiết kế thực nghiệm đo lực cắt

Trong nghiên cứu thực nghiệm khảo sát đánh giá lực cắt với 3 thông số đầu vào, mỗi thông số gồm có 3 mức khác nhau. Thực nghiệm theo ma trận trực giao để tiến hành nghiên cứu thực nghiệm ảnh hưởng của 3 thông số chế độ cắt là vận tốc cắt, lượng chạy dao, chiều sâu cắt của dao phay ngón đến lực cắt khi phay trong thời gian 90, 180, 270 phút trong gia công có sử dụng dung dịch tưới nguội và không sử dụng dung dịch tưới nguội bằng 3, 4.

Bảng 3. Tham số cắt dùng cho thực nghiệm

TT	Tham số	Đơn vị	Mức 1	Mức 2	Mức 3
1	Vật tốc cắt (V)	m/phút	188	282	376
2	Lượng chạy dao (S)	mm/phút	800	1200	1600
3	Chiều sâu cắt(t)	mm	0,5	1,0	1,5

Bảng 4. Bảng ma trận thực nghiệm

TT	Biến mã hóa			Biến thực nghiệm		
	X1	X2	X3	t (mm)	S (mm/phút)	V (m/phút)
1	-1	-1	-1	0,5	800	188
2	1	-1	-1	1,5	800	188
3	-1	1	-1	0,5	1600	188
4	1	1	-1	1,5	1600	188
5	-1	-1	1	0,5	800	376
6	1	-1	1	1,5	800	376
7	-1	1	1	0,5	1600	376
8	1	1	1	1,5	1600	376
9	0	0	0	1,0	1200	282
10	0	0	0	1,0	1200	282
11	0	0	0	1,0	1200	282

Thực nghiệm đo lực cắt khi phay có dung dịch tưới nguội sau thời gian cắt 90, 180 và 270 phút. Trên cơ sở đo được giá trị lực cắt theo phương X, Y, Z khi đó xác định được lực cắt khi phay theo công thức $F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2 + F_z^2}$ (N).

Bảng 5. Bảng kết quả đo lực cắt khi phay có dung dịch tưới nguội sau thời gian 90 phút

TT	Chế độ cắt			Lực cắt theo các phương			Lực cắt khi phay FU90 (N)
	t (mm)	S (mm/phút)	V (m/phút)	FxU90 (N)	FyU90 (N)	FzU90 (N)	
1	0,5	800	188	54,4	86,65667	50,57667	114,95
2	1,5	800	188	68,4	109,36	63,64	145,38
3	0,5	1600	188	88,2	121,64	87,87333	167,62
4	1,5	1600	188	97,8	150,23	100,1467	194,11
5	0,5	800	376	51,6	71,87	46,85667	101,20
6	1,5	800	376	67,2	95,14333	61,55	135,40
7	0,5	1600	376	75,4	125,2067	73,86667	156,55
8	1,5	1600	376	85,3	151,11	85,28667	176,94
9	1,0	1200	282	71,0	123,1967	75,42	147,46
10	1,0	1200	282	72,1	125,8033	74,51	149,03
11	1,0	1200	282	72,2	123,3967	76,34667	148,27

Bảng 6. Bảng kết quả đo lực cắt khi phay có dung dịch tưới nguội sau thời gian 180 phút

TT	Chế độ cắt			Lực cắt theo các phương			Lực cắt khi phay FU180 (N)
	t (mm)	S (mm/phút)	V (m/phút)	FxU180 (N)	FyU180 (N)	FzU180 (N)	
1	0,5	800	188	54,88	86,07333	51,16333	114,1846
2	1,5	800	188	68,74667	109,3433	74,26	148,9853

3	0,5	1600	188	88,60667	132,09	88,49333	182,0164
4	1,5	1600	188	98,09667	150,7133	115,65	213,8046
5	0,5	800	376	51,86	82,32	47,59	108,309
6	1,5	800	376	69,73	105,5267	62,17333	140,9385
7	0,5	1600	376	75,92333	125,6567	64,48667	160,3511
8	1,5	1600	376	88,57	153,5267	86,90667	197,4028
9	1,0	1200	282	71,21333	127,6467	76,05333	164,7699
10	1,0	1200	282	72,54	126,2867	75,00667	163,8181
11	1,0	1200	282	72,76333	128,8467	76,96667	166,7928

Bảng 7. Bảng kết quả đo lực cắt khi phay có dung dịch tưới nguội sau thời gian 270 phút

TT	Chế độ cắt			Lực cắt theo các phương			Lực cắt khi phay FU270 (N)
	t (mm)	S (mm/phút)	V (m/phút)	FxU270 (N)	FyU270 (N)	FzU270 (N)	
1	0,5	800	188	56,87	87,78667	53,30667	117,398
2	1,5	800	188	70,93667	111,49	76,30333	152,5917
3	0,5	1600	188	90,66333	123,77	90,50333	178,1283
4	1,5	1600	188	100,1533	152,36	117,8833	217,1192
5	0,5	800	376	54,08333	74	45,58667	102,3677
6	1,5	800	376	69,58667	97,27333	64,31333	135,7962
7	0,5	1600	376	77,91333	127,3367	66,59667	163,4632
8	1,5	1600	376	87,76	153,24	88,15	197,3695
9	1,0	1200	282	73,27	125,3267	78,15	164,8717
10	1,0	1200	282	74,63	127,9333	76,94	166,9022
11	1,0	1200	282	74,82	125,5267	79,07667	166,1568

Thực nghiệm đo lực cắt khi phay không có dung dịch tưới nguội sau thời gian cắt 90, 180 và 270 phút

Bảng 8. Bảng kết quả đo lực cắt khi phay không có dung dịch tưới nguội sau thời gian 90 phút

TT	Chế độ cắt			Lực cắt theo các phương			Lực cắt khi phay FK90 (N)
	t (mm)	S (mm/phút)	V (m/phút)	FxK90 (N)	FyK90 (N)	FzK90 (N)	
1	0,5	800	188	55,73667	86,42667	51,36333	114,9536
2	1,5	800	188	69,24333	109,8933	75,31	150,1425
3	0,5	1600	188	88,61	121,8867	87,90667	174,4582
4	1,5	1600	188	98,44333	150,72	120,82	216,8066
5	0,5	800	376	52,18333	72,50333	47,56667	101,2048
6	1,5	800	376	66,37	95,27333	63,38667	132,287
7	0,5	1600	376	76,39	125,2033	64,75333	160,3256
8	1,5	1600	376	86,00667	141,44	91,44333	189,1145
9	1,0	1200	282	71,36333	123,57	76,98	162,1363
10	1,0	1200	282	72,56667	125,48	76,26667	163,7918
11	1,0	1200	282	72,61	124,0467	76,72667	162,9318

Bảng 9. Bảng kết quả đo lực cắt khi phay không có dung dịch trơn nguội sau thời gian 180 phút

TT	Chế độ cắt			Lực cắt theo các phương			Lực cắt khi phay FK180 (N)
	t (mm)	S (mm/phút)	V (m/phút)	FxK180 (N)	FyK180 (N)	FzK180 (N)	
1	0,5	800	188	55,73667	86,42667	51,36333	114,9536
2	1,5	800	188	69,24333	109,8933	75,31	150,1425
3	0,5	1600	188	88,61	121,8867	87,90667	174,4582
4	1,5	1600	188	98,44333	150,72	120,82	216,8066
5	0,5	800	376	52,18333	72,50333	47,56667	101,2048
6	1,5	800	376	66,37	95,27333	63,38667	132,287
7	0,5	1600	376	76,39	125,2033	64,75333	160,3256
8	1,5	1600	376	86,00667	141,44	91,44333	189,1145
9	1,0	1200	282	71,36333	123,57	76,98	162,1363
10	1,0	1200	282	72,56667	125,48	76,26667	163,7918
11	1,0	1200	282	72,61	124,0467	76,72667	162,9318

Bảng 10. Bảng kết quả đo lực cắt khi phay không có dung dịch trơn nguội sau thời gian 270 phút

TT	Chế độ cắt			Lực cắt theo các phương			Lực cắt khi phay FK270 (N)
	t (mm)	S (mm/phút)	V (m/phút)	FxK270 (N)	FyK270 (N)	FzK270 (N)	
1	0,5	800	188	55,73667	86,42667	51,36333	114,9536
2	1,5	800	188	69,24333	109,8933	75,31	150,1425
3	0,5	1600	188	88,61	121,8867	87,90667	174,4582
4	1,5	1600	188	98,44333	150,72	120,82	216,8066
5	0,5	800	376	52,18333	72,50333	47,56667	101,2048
6	1,5	800	376	66,37	95,27333	63,38667	132,287
7	0,5	1600	376	76,39	125,2033	64,75333	160,3256
8	1,5	1600	376	86,00667	141,44	91,44333	189,1145
9	1,0	1200	282	71,36333	123,57	76,98	162,1363
10	1,0	1200	282	72,56667	125,48	76,26667	163,7918
11	1,0	1200	282	72,61	124,0467	76,72667	162,9318

3.2. Xây dựng mô hình toán học của lực cắt khi gia công khô hợp kim nhôm AA7075

Ứng dụng phần mềm Intercooled Stata 8.2TM đã xây dựng được mô hình toán học hồi quy thực nghiệm giữa thông số đầu vào (t, S, V), thông số đầu ra lực cắt khi phay.

Phương trình hồi quy ảnh hưởng của các thông số chế độ cắt (V, S, t) lực cắt khi phay có dung dịch tưới nguội và không có dung dịch tưới nguội sau thời gian gia công 90, 180, 270 phút.

- Phương trình hồi quy khi phay có dung dịch tưới nguội.
- Sau thời gian 90 phút

$$\left\{ \begin{aligned} FU90 &= 50,75525 + 30,54428 * t \\ &+ 0,0771005 * S - 0,0643639 * V \quad (1) \\ R^2 &= 98,27\%, \quad R^2_{Ajd} = 97,52\% \end{aligned} \right.$$

Bảng 11. Kết quả phân tích ANOVA

Number of obs: 11		R-squared: 0,9994				
Root MSE: 0,969994		Adj R-squared: 0,9991				
Source	Sum of squares	Degree of freedom	Mean square	F-value	Prob > F	Percent contribution (%)
Model	9934,3796	4	2483,5949	2639,63	0,0000	
t (mm)	2032,5970	2	1016,2985	1080,15	0,0000	20,449
S (mm/phút)	7608,9423	1	7608,9423	8086,97	0,0000	76,549
V (m/p)	292,8403	1	292,8403	311,24	0,0000	2,946
Error	5,6453	6	0,9409			0,057
Total	9940,0250	10	994,0025			100,000

- Sau thời gian 180 phút

$$\left\{ \begin{aligned} FU180 &= 55,11933 + 34,06749 * t \\ &+ 0,0753617 * S - 0,0691348 * V \quad (2) \\ R^2 &= 98,13\%, \quad R^2_{Ajd} = 97,33\% \end{aligned} \right.$$

Bảng 12. Kết quả phân tích ANOVA

Number of obs: 11		R-squared: 0,9915				
Root MSE: 3,78242		Adj R-squared: 0,9859				
Source	Sum of squares	Degree of freedom	Mean square	F-value	Prob > F	Percent contribution (%)
Model	10031,8728	4	2507,9682	175,30	0,0000	
t (mm)	2424,3999	2	1212,1999	84,73	0,0000	23,962
S (mm/phút)	7269,6111	1	7269,6111	508,13	0,0000	71,850
V (m/p)	337,8618	1	337,8618	23,62	0,0028	3,339
Error	85,8402	6	14,3067			0,848
Total	10117,7129	10	1011,7713			100,000

- Sau thời gian 270 phút

$$\left\{ \begin{aligned} FU270 &= 56,68467 + 35,37983 * t \\ &+ 0,0774771 * S - 0,088058 * V \quad (3) \\ R^2 &= 98,62\%, \quad R^2_{Ajd} = 98,03\% \end{aligned} \right.$$

Bảng 13. Kết quả phân tích ANOVA

Number of obs: 11		R-squared: 0,9989				
Root MSE: 1,44189		Adj R-squared: 0,9981				
Source	Sum of squares	Degree of freedom	Mean square	F-value	Prob > F	Percent contribution (%)
Model	10873,2104	4	2718,3026	1307,48	0,0000	
t (mm)	2641,2803	2	1320,6401	635,21	0,0000	24,264
S (mm/phút)	7683,4540	1	7683,4540	3695,66	0,0000	70,583
V (m/p)	548,4761	1	548,4761	263,81	0,0000	5,039
Error	12,4743	6	2,0790			0,115
Total	10885,6846	10	1088,5685			100,000

Phương pháp ANOVA theo bảng 11, 12, 13 tương ứng với thời gian 90 phút, 180 phút, 270 phút mức độ ảnh hưởng lượng chạy dao (S) lớn nhất tương ứng 76,549%, 71,850%, 70,583%, chiều sâu cắt (t) tương ứng 20,449%, 23,962%, 24,264%, tốc độ cắt (V) tương ứng 2,946%, 3,339%, 5,039%. Phương trình hồi quy có giá trị R² của phương trình hồi quy sau thời gian 90 phút, 180 phút, 270 phút tương ứng 98,27%, 98,13%, 98,62%. Vì vậy, mô hình hồi quy toán học này là mô hình hồi quy phù hợp với 3 thông số đầu vào (vận tốc cắt, chiều sâu cắt và lượng chạy dao) và thông số đầu ra là giá trị lực cắt khi phay có dung dịch tưới nguội.

➤ Phương trình hồi quy khi phay không có dung dịch tưới nguội.

- Sau thời gian 90 phút

$$\begin{cases} FK90 = 59,49474 + 34,35208 * t \\ \quad \quad \quad + 0,0756615 * S - 0,0976448 * V \\ R^2 = 98,03\%, \quad R^2_{Ajd} = 97,18\% \end{cases} \quad (4)$$

Bảng 14. Kết quả phân tích ANOVA

Number of obs: 11		R-squared: 0,9936				
Root MSE: 3,3558		Adj R-squared: 0,9893				
Source	Sum of squares	Degree of freedom	Mean square	F-value	Prob > F	Percent contribution (%)
Model	10502,7757	4	2625,6939	233,16	0,0000	
t (mm)	2501,2267	2	1250,6134	111,05	0,0000	23,663
S (mm/phút)	7327,5731	1	7327,5731	650,68	0,0000	69,322
V (m/p)	673,9759	1	673,9759	59,85	0,0002	6,376
Error	67,5685	6	11,2614			0,639
Total	10570,3442	10	1057,0344			100,000

- Sau thời gian 180 phút

$$\begin{cases} FK180 = 59,8187 + 33,40613 * t \\ \quad \quad \quad + 0,0746689 * S - 0,0930766 * V \\ R^2 = 98,99\%, \quad R^2_{Ajd} = 98,56\% \end{cases} \quad (5)$$

Bảng 15. Kết quả phân tích ANOVA

Number of obs: 11		R-squared: 0,9962				
Root MSE: 2,53108		Adj R-squared: 0,9936				
Source	Sum of squares	Degree of freedom	Mean square	F-value	Prob > F	Percent contribution (%)
Model	10044,2680	4	2511,0670	391,97	0,0000	
t (mm)	2295,3010	2	1147,6505	179,14	0,0000	22,765
S (mm/phút)	7136,5784	1	7136,5784	1113,98	0,0000	70,780
V (m/p)	612,3885	1	612,3885	95,59	0,0001	6,074
Error	38,4381	6	6,4064			0,381
Total	10082,7061	10	1008,2706			100,000

- Sau thời gian 270 phút

$$\begin{cases} FK270 = 57,28382 + 37,00466 * t \\ \quad \quad \quad + 0,0741508 * S - 0,078991 * V \\ R^2 = 98,71\%, \quad R^2_{Ajd} = 98,15\% \end{cases} \quad (6)$$

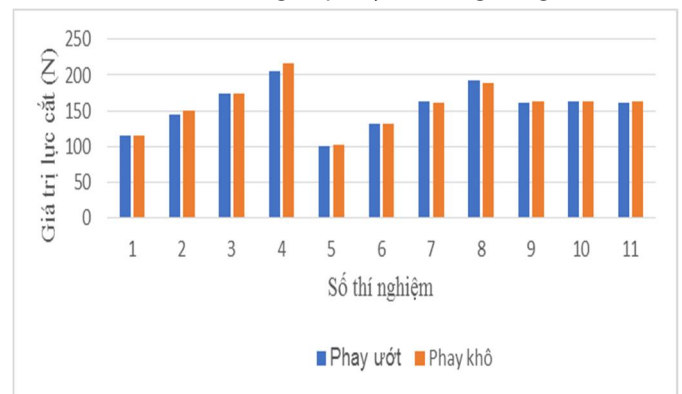
Bảng 16. Kết quả phân tích ANOVA

Number of obs: 11		R-squared: 0,998				
Root MSE: 1,83964		Adj R-squared: 0,9967				
Source	Sum of squares	Degree of freedom	Mean square	F-value	Prob > F	Percent contribution (%)
Model	10331,3188	4	2582,8297	763,19	0,0000	
t (mm)	2852,3854	2	1426,1927	421,42	0,0000	27,555
S (mm/phút)	7037,8700	1	7037,8700	2079,58	0,0000	67,988
V (m/p)	441,0634	1	441,0634	130,33	0,0000	4,261
Error	20,3056	6	3,3843			0,196
Total	10351,6245	10	1035,1624			100,000

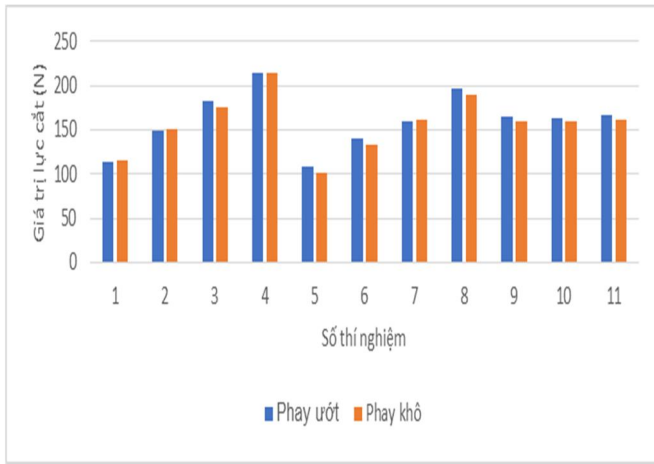
Phương pháp ANOVA theo bảng 14, 15, 16 tương ứng với thời gian 90 phút, 180 phút, 270 phút mức độ ảnh hưởng lượng chạy dao (S) lớn nhất tương ứng 69,322%, 70,780%, 67,988%, chiều sâu cắt (t) tương ứng 23,663%, 22,765%, 27,555%, tốc độ cắt (V) tương ứng 6,376%, 6,074%, 4,261%. Phương trình hồi quy có giá trị R² của phương trình hồi quy sau thời gian 90 phút, 180 phút, 270 phút tương ứng 98,03%, 98,99%, 98,71% mô hình hồi quy phù hợp với 3 thông số đầu vào (vận tốc cắt, chiều sâu cắt và lượng chạy dao) và thông số đầu ra là giá trị lực cắt khi phay khi phay không có dung dịch tưới nguội.

3.3. Phân tích ảnh hưởng của dung dịch trơn nguội khi phay hợp kim nhôm AA7075

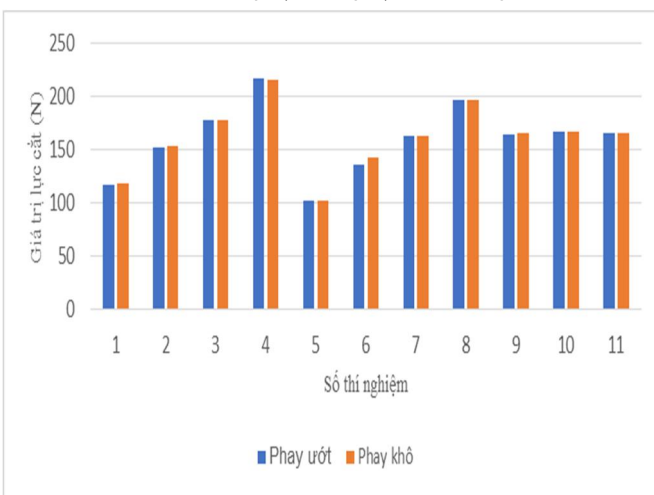
Để đánh giá ảnh hưởng của dung dịch trơn nguội đến lực cắt, nghiên cứu tiến hành thực nghiệm gia công hợp kim nhôm A7075 ở cùng điều kiện với hai trường hợp có sử dụng dung dịch trơn nguội và không sử dụng dung dịch trơn nguội cho các thí nghiệm và kết quả thực nghiệm được thể hiện sau thời gian gia công 90 phút, 180 phút, 270 phút tương ứng trên hình 4, 5, 6. Kết quả cho thấy hầu hết các thí nghiệm đo đo lực cắt khi gia công khô đều lớn hơn lực cắt đo được khi gia công ướt, tuy nhiên giá trị chênh lệch nhau của hai trường hợp này là không đáng kể.



Hình 4. Biểu đồ lực cắt khi phay ướt và phay khô sau 90 phút



Hình 5. Biểu đồ lực cắt khi phay ướt và phay khô sau 180 phút



Hình 6. Biểu đồ lực cắt khi phay ướt và phay khô sau 270 phút

Bảng 17 cho thấy sự chênh lệch lực cắt khi gia công khô và gia công. Sai lệch nhỏ nhất tương ứng sau thời

Bảng 17. Kết quả phân tích ANOVA

TT	Thời gian 90 phút			Thời gian 180 phút			Thời gian 270 phút		
	FU-Thực nghiệm (N)	FK-Thực nghiệm (N)	Sai số (%)	FU-Thực nghiệm (N)	FK-Thực nghiệm (N)	Sai số (%)	FU-Thực nghiệm (N)	FK-Thực nghiệm (N)	Sai số (%)
1	114,1157	114,9536	0,73	114,1846	115,6321	1,25	117,398	118,2538	0,72
2	143,8308	150,1425	4,20	148,9853	150,5975	1,07	152,5917	153,5334	0,61
3	174,0712	174,4582	0,22	182,0164	175,1117	3,94	178,1283	177,8059	0,18
4	205,3258	216,8066	5,30	213,8046	214,0964	0,14	217,1192	216,2084	0,42
5	100,1032	101,2048	1,09	108,309	101,8639	6,33	102,3677	102,6652	0,29
6	131,7322	132,287	0,42	140,9385	132,8771	6,07	135,7962	143,0072	5,04
7	163,764	160,3256	2,14	160,3511	161,021	0,42	163,4632	163,3666	0,06
8	193,3424	189,1145	2,24	197,4028	189,6822	4,07	197,3695	197,3612	0,00
9	160,9523	162,1363	0,73	164,7699	159,6196	3,23	164,8717	165,3747	0,30
10	163,0322	163,7918	0,46	163,8181	160,6013	2,00	166,9022	166,9778	0,05
11	162,0946	162,9318	0,51	166,7928	161,2766	3,42	166,1568	166,3792	0,13

gian 90 phút, 180 phút, 270 phút lần lượt là 0,46%, 0,14%, 0% và sai lệch lớn nhất tương ứng là 5,3%, 6,33%, 5,04%. Như vậy sai lệch giữa trường hợp có sử dụng dung dịch, không sử dụng dung dịch là không đáng kể khi xét lực cắt khi phay. Trong khoảng thời gian gia công nhất định việc không sử dụng dung dịch trơn nguội khi gia công hợp kim nhôm giúp chi phí gia công, bảo vệ môi trường và sức khỏe con người.

4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã thực nghiệm gia công hợp kim nhôm AA7075 bằng dao phay ngón khi gia công khô và gia công ướt cho thấy lực cắt khi gia công khô tăng không đáng kể so với gia công ướt ở cùng điều kiện cắt. Kết quả cho thấy rằng lực cắt khi không sử dụng dung dịch trơn nguội tăng hơn so với trường hợp có sử dụng dung dịch trơn nguội, tuy nhiên mức độ tăng đều nhỏ hơn 10%. Như vậy trong khoảng thời gian gia công nhất định gia công không sử dụng dung dịch tưới nguội hoàn toàn không ảnh hưởng nhiều đến lực cắt khi phay. Nghiên cứu cũng xây dựng được phương trình hồi quy và các biểu đồ ảnh hưởng của các thông số công nghệ đến lực cắt. Từ phương trình hồi quy cho thấy mức độ tăng của lực cắt khi tăng chiều sâu cắt và lượng chạy dao và mức độ giảm của lực cắt khi tăng vận tốc cắt. Điều này giúp nhà công nghệ có thể điều chỉnh chế độ cắt phù hợp để cho năng suất và chất lượng gia công hợp kim nhôm AA7075 là tốt nhất.

LỜI CẢM ƠN

Cảm ơn Khoa Cơ khí, Trung tâm Kỹ thuật Hồng Hải (Foxconn) và Phòng Nghiên cứu gia công CNC5 trực, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội đã hỗ trợ trong quá trình nghiên cứu.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. P. Taylor and J. Z. Hou, 2010. *Materials and Manufacturing Processes Effect of Cutting Parameters on Ignition of AM50A Mg Alloy during Face Milling*. Mater. Manuf. Process., no. October 2014, pp. 37–41.
- [2]. J. Hou, W. Zhou, and H. Duan, 2014. *Influence of cutting speed on cutting force, flank temperature, and tool wear in end milling of Ti-6Al-4V alloy*. International Journal of Advanced Manufacturing Technology 70.
- [3]. M. Y. Tsai, S. Y. Chang, J. P. Hung, and C. C. Wang, 2016. *Investigation of milling cutting forces and cutting coefficient for*. Comput. Electr. Eng., vol. 51, pp. 320–330.
- [4]. B. Haddag, S. Atlati, and M. Nouari, 2016. *Dry Machining Aeronautical Aluminum Alloy AA2024-T351: Analysis of Cutting Forces, Chip Segmentation and Built-Up Edge Formation*. Metals - Open Access Metallurgy Journal 6(9):197.
- [5]. X. Cui, J. Guo, and X. Wang, 2016. *Cutting Force in High-Speed Face Milling AISI H13 Steel*. Adv. Eng. Mater. Process. Technol., vol. 667, pp. 35–40.
- [6]. S. Martínez, 2011. *Effect of very high cutting speeds on shearing, cutting forces and roughness in dry turning of austenitic stainless steels*. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology volume 57, pp. 61–71.
- [7]. A. Kurt, 2004. *The effect of feed rate on the cutting forces when machining with linear motion*. Journal of Materials Processing Technology 146(3): 403–407.
- [8]. A. S. M. R., B. A. C. R., and A. K. S. R., 2014. *Effect of Chip Segmentation on Cutting Forces at High Speed Milling of Al Alloys*. Int. J. Curr. Eng. Technol., pp. 277–280.
- [9]. S. Sun, M. Brandt, and M. S. Dargusch, 2009. *Characteristics of cutting forces and chip formation in machining of titanium alloys*. International Journal of Machine Tools & Manufacture vol. 49, pp. 561–568, 2009.
- [10]. X. Cui, J. Zhao, and X. Tian, 2013. *Cutting forces, chip formation, and tool wear in high-speed face milling of AISI H13 steel with CBN tools*. Int. J. Adv. Manuf. Technol., vol. 64, no. 9–12, pp. 1737–1749.
- [11]. B. Davoodi and A. H. Tazehkandi, 2014. *Experimental investigation and optimization of cutting parameters in dry and wet machining of aluminum alloy 5083 in order to remove cutting fluid*. J. Clean. Prod., vol. 68, pp. 234–242, 2014.
- [12]. S. Masoudi, M. Javad, E. Farshid, J. Seyed, and A. Mirsoleimani, 2019. *Comparison the Effect of MQL, Wet and Dry Turning on Surface Topography, Cylindricity Tolerance and Sustainability*. Int. J. Precis. Eng. Manuf. Technol., no. 0123456789, 2019.
- [13]. A. E. Diniz and R. Micaroni, 2002. *Cutting conditions for finish turning process aiming: the use of dry cutting*. Int. J. Mach. Tools Manuf., vol. 42, pp. 899–904, 2002.
- [14]. A. S. Varadarajan, P. K. Philip, and B. Ramamoorthy, 2002. *Investigations on hard turning with minimal cutting fluid application (HTMF) and its comparison with dry and wet turning*. Int. J. Mach. Tools Manuf., vol. 42, pp. 193–200.
- [15]. S. Zhang, J. F. Li, and Y. W. Wang, 2012. *Tool life and cutting forces in end milling Inconel 718 under dry and minimum quantity cooling lubrication cutting conditions*. J. Clean. Prod., vol. 32, pp. 81–87.
- [16]. M. S. Swan, 2012. *Incorporation of a general strain-to-failure fracture criterion into a stress-based plasticity model through a time-to-failure*. Thesis Mech. Eng. - Univ. Utah, USA.

[17]. 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.

[18]. Hoàng Tiến Dũng, Phạm Thị Thiều Thoa, Nguyễn Tuấn Linh, Quan Ngọc Cừ, 2020. *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 Al 6061*. Tạp chí Khoa học & Công nghệ Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội, Tập 56 số 1.

[19]. Hoàng Tiến Dũng, Trần Văn Địch, Nguyễn Huy Ninh, 2014. *Mô hình hóa ảnh hưởng của chế độ cắt đến lực cắt khi phay cao tốc*. Tạp chí Khoa học & Công nghệ, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội, số 24, 21–26. ISSN 1859-358.

AUTHORS INFORMATION

Le Nhu Trang^{1,2}, Tran Xuan Thai², Nguyen Trong Hai², Hoang Tien Dung³

¹University of Economics - Technology of Industries

²Hanoi University of Science and Technology

³Hanoi University of Industry