

XÁC ĐỊNH CÁC HỆ SỐ TRONG CÔNG THỨC TAYLOR KHI GIA CÔNG HỢP KIM NHÔM [AlSi₅Zn₄Cu] SỬ DỤNG DAO CÓ LỚP PHỦ TiN TRÊN MÁY TIỆN CNC

DETERMINING THE COEFFICIENT IN THE TAYLOR FORMULA WHEN PROCESSING ALUMINIUM ALLOY [AlSi₅Zn₄Cu] USING TiN-COATED KNIFE ON CNC LATHE

Nguyễn Hải Sơn^{1*}, Trần Doãn Sơn²

¹Trường Cao đẳng Kỹ thuật Cao Thắng, Việt Nam

²Trường Đại học Bách khoa Thành phố Hồ Chí Minh, Việt Nam

*Tác giả liên hệ / Corresponding author: nhson@caothang.edu.vn

(Nhận bài / Received: 06/01/2025; Sửa bài / Revised: 14/3/2025; Chấp nhận đăng / Accepted: 17/3/2025)

DOI: 10.31130/ud-jst.2025.042

Tóm tắt – Bài báo nghiên cứu xác định các hệ số trong công thức Taylor cơ bản và mở rộng. Thiết kế thực nghiệm, điều kiện cắt với vận tốc cắt $V = 300 \div 400$ (m/phút); bước tiến dao $S = 0,1 \div 0,3$ (mm/vòng); chiều sâu cắt $t = 0,3 \div 0,7$ (mm). Chọn phương pháp quy hoạch hỗn hợp dạng B, tiến hành 8 thí nghiệm tại tâm, 6 thí nghiệm ở các điểm sao và mỗi thí nghiệm lặp lại 4 lần. Thực nghiệm được thực hiện trên máy tiện CNC MASCUT AC1840, dùng máy SJ-301 để kiểm tra độ bóng. Khi giá trị độ bóng Ra đạt từ $2,5 \div 0,63$ (μm) dừng thí nghiệm và có giá trị tuổi bền dao T (phút) tương ứng. Kết quả thực nghiệm thể hiện mối quan hệ giữa các yếu tố cắt (S, V, t) đến tuổi bền dao (T). Từ đó, xây dựng các hệ số (n, C) và (n, a, b và C_t) trong công thức Taylor cơ bản và mở rộng.

Từ khóa - Dụng cụ cắt; dụng cụ cắt có lớp phủ; tuổi bền; chế độ cắt; phương pháp qui hoạch thực nghiệm.

1. Đặt vấn đề

Thời gian gần đây, các kết quả nghiên cứu về vật liệu dụng cụ cắt được áp dụng ngày càng nhiều vào thực tế sản xuất, đặc biệt là dụng cụ cắt có lớp phủ. Hiện nay, dụng cụ cắt có lớp phủ được ứng dụng rất phổ biến cho các máy như: máy tiện, phay, khoan, ta rô,... trong gia công thép, gang, nhôm và các loại vật liệu khác. Vật liệu phủ chính thông thường là: Carbide Titanium (TiC), Titanium Nitride (TiN), Oxyt Nhôm (Al₂O₃), Titanium Cacbide Nitride (TiNC) là các vật liệu rất cứng, có độ chống ăn mòn và độ trợ hóa cao, tăng khả năng chống mài mòn giữa dụng cụ cắt và phoi. Đảm bảo tuổi bền dao và làm tăng năng suất gia công lên đáng kể nhờ những dụng cụ đặc biệt, cũng như những kỹ thuật gia công chuẩn và chính xác áp dụng trên tiện CNC được sử dụng cho nghiên cứu này [1].

Do đó, trong gia công cần có bảng tra các thông số hay các bảng hệ số liên quan giữa vật liệu gia công, vật liệu làm dao, chế độ cắt và tuổi bền của dao để trong quá trình sử dụng được nhanh hơn và giảm thời gian thử nghiệm.

Thực tế, những nghiên cứu khoa học liên quan đến việc xác định các hệ số của vật liệu gia công và dụng cụ cắt chủ yếu tập trung nghiên cứu xác định các hệ số của vật liệu thép cacbon dụng cụ, thép cắt tốc độ cao, hợp kim đúc, hợp

Abstract - The paper studies the determination of coefficients in the basic and extended Taylor formula. Experimental design, cutting conditions with cutting speed $V = 300 \div 400$ (m/min); feed rate $S = 0.1 \div 0.3$ (mm/rev); and depth of cut $t = 0.3 \div 0.7$ (mm). The type B mixed planning method is selected, conducting 8 experiments at the center, 6 experiments at star points, and repeating each experiment 4 times. Experiments are performed on a MASCUT AC1840 CNC lathe, surface roughness is checked using an SJ-301 machine. When the surface roughness Ra value reaches $2.5 \div 0.63$ (μm), the experiment stops, and the corresponding tool life T (minutes) is recorded. Experimental results show the relationship between cutting factors (S, V, t) and tool life (T). From there, construct the coefficients (n, C) and (n, a, b and C_t) in the basic and extended Taylor formula.

Key words - Cutting tool; coated cutting tool; tool life; cutting parameters; experimental design method.

kim cứng, gôm kim loại, cacbit phủ và ceramic [2]. Vì hiện nay có rất nhiều nghiên cứu mới về vật liệu được áp dụng cho dụng cụ cắt tiên tiến, hàng năm có rất nhiều sáng kiến được áp dụng tại các hãng chế tạo dao cụ [3], [4]. Như nghiên cứu [5], nhóm tác giả đã áp dụng phương pháp nghiên cứu, quy hoạch thực nghiệm và sử dụng hai phương trình xác định tuổi bền dụng cụ cắt: phương trình Taylor $TxV^n = C$, và phương trình Wu's: $TxV^a x f^b x t^c = C$ nhằm nghiên cứu so sánh tuổi bền dụng cụ cắt carbide không phủ và vật liệu nền là carbide với hai lớp phủ khác nhau TiC và TiC + Al₂O₃.

Hiện nay, ở Việt Nam nghiên cứu chủ đề này còn nhiều mới mẻ và có một vài nghiên cứu liên quan như: “Nghiên cứu ảnh hưởng của yếu tố cắt (S, t) đến độ nhám bề mặt (Ra) khi phay mặt Archimedes trên trung tâm CNC Super MC” [6].

Vì vậy, cần có nhiều hơn nữa các nghiên cứu đến việc xác định các hệ số liên quan giữa vật liệu gia công và vật liệu dụng cụ cắt, đặc biệt là vật liệu có một lớp phủ TiN và tuổi bền dao với hợp kim nhôm [AlSi₅Zn₄Cu] để cung cấp thêm dữ liệu ứng dụng trong sản xuất và đào tạo. Do vậy, nghiên cứu: “Xác định các hệ số trong công thức Taylor khi tiện hợp kim nhôm [AlSi₅Zn₄Cu] sử dụng vật liệu phủ

¹ Cao Thang Technical College, Vietnam (Hai-Son Nguyen)

² Ho Chi Minh City University of Technology, Vietnam (Doan-Son Tran)

Titanium Nitride (TiN) trên máy tiện CNC” là rất cần thiết và điểm khác biệt quan trọng của nghiên cứu này so với các nghiên cứu trước đây. Các hệ số Taylor xác định được có thể dùng để thiết lập bảng tra chế độ cắt tối ưu cho dao tiện có lớp phủ TiN khi gia công hợp kim nhôm.

2. Giới thiệu công thức Taylor

2.1. Khái niệm về tuổi bền dao

Tuổi bền dao là khoảng thời gian cắt mà dao có thể làm việc liên tục cho đến khi dao mất khả năng cắt gọt phải mài lại, và được ký hiệu T (phút).

Ngày nay, tuổi bền dao mảnh Insert được xem là thời gian làm việc của một “mũi” dao. Tuy nhiên, trong sản xuất, thường gặp khó khăn trong việc mài sắc lại dụng cụ, vì ảnh hưởng đến chất lượng bề mặt, độ chính xác về kích thước chi tiết. Do đó, lựa chọn một mức độ tuổi bền dao hợp lý có thể được xem là một tiêu chí quan trọng của quá trình tính kinh tế trong gia công.

Tuổi bền dao phụ thuộc nhiều yếu tố: Vật liệu làm dao, vật liệu gia công, thông số hình học của dao, chế độ cắt, nhiệt cắt, độ cứng vững của hệ thống công nghệ... Do đó, tùy trường hợp cụ thể mà ta chọn tuổi bền dao khác nhau [7].

2.2. Phương trình Taylor

Trong quá trình cắt gọt nhiều yếu tố ảnh hưởng đến tuổi bền dao: vận tốc cắt, bước tiến, chiều sâu cắt, dung dịch tưới nguội, vật liệu chi tiết gia công, ... Trong đó nhóm ảnh hưởng của vật liệu rất khó để điều chỉnh, còn nhóm ảnh hưởng của chế độ cắt có thể điều chỉnh được trong quá trình lập trình gia công CNC. Trong các yếu tố của chế độ cắt thì vận tốc cắt là yếu tố ảnh hưởng lớn nhất đến tuổi bền dao.

Vào khoảng năm 1900 của thế kỷ trước **Frederick Winslow Taylor** đã tiến hành nghiên cứu bằng thực nghiệm với vật liệu dụng cụ cắt là thép cắt tốc độ cao khi gia công thép. Và ông đã tìm ra được mối quan hệ giữa vận tốc cắt và tuổi bền dao, được thể hiện ở công thức (1), [2]:

$$VxT^n = C \tag{1}$$

Trong đó:

- + V là vận tốc cắt (m/phút).
- + T là tuổi bền của dao (phút).
- + n và C là các hệ số, phụ thuộc vào bước tiến, chiều sâu cắt, vật liệu làm dao, vật liệu chi tiết gia công và tuổi bền dao tiêu chuẩn được sử dụng.

Bảng 1. Bảng giá trị n và C trong công thức tuổi bền Taylor [2]

Vật liệu dụng cụ	n	C	
		Cắt phi kim (m/phút)	Cắt kim loại (m/phút)
Thép cacbon dụng cụ	0,1	70	20
Thép tốc độ cao (thép gió)	0,125	120	70
Hợp kim cứng	0,25	900	500
Gốm kim loại	0,25		600
Cacbit phủ	0,25		700
Ceramic	0,6		3000

Công thức Taylor (1) thể hiện ảnh hưởng của vận tốc đến tuổi bền dao là lớn nhất. Nhưng thực tế hiện nay, Taylor cũng đã chứng minh và thiết lập được một công thức

thể hiện sự ảnh hưởng của cả vận tốc, lượng chạy dao và chiều sâu cắt. Đó được gọi là công thức Taylor mở rộng:

$$VxT^nxS^axT^b = C_t \tag{2}$$

Trong đó: n, a, b và C_t là các hệ số.

Theo như (Bảng 1), từ thập niên 90 đến nay thì các hệ số trong công thức Taylor được xác định ở các loại vật liệu khác nhau nhưng chỉ dừng lại ở vật liệu dụng cụ Ceramic. Do đó, việc xác định các hệ số trong công thức Taylor với vật liệu phủ là rất cần thiết.

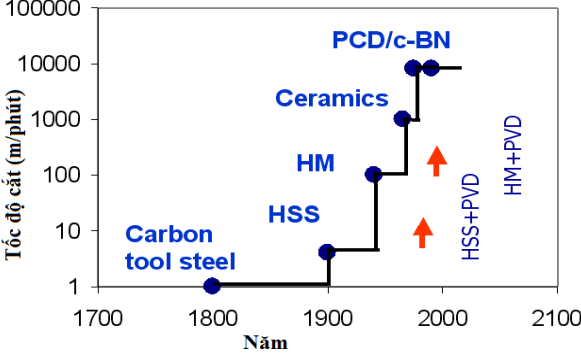
2.3. Lịch sử phát triển dụng cụ cắt

Vật liệu dụng cụ cắt đã có lịch sử phát triển trải qua các giai đoạn vô cùng mạnh mẽ. Từ khi thép cắt tốc độ cao ra đời đã cải thiện vận tốc cắt đáng kể so với các loại vật liệu trước đó, tiếp sau đó các nhóm vật liệu hợp kim cứng, vật liệu gốm có thể cho vận tốc cắt cao làm tăng năng suất và cải thiện chất lượng bề mặt chi tiết gia công. Lịch sử phát triển và đặc tính của các loại vật liệu dụng cụ được trình bày trong (Bảng 2).

Bảng 2. Lịch sử và đặc tính của vật liệu dụng cụ cắt [8], [9]

Năm	Vật liệu dụng cụ cắt	Vận tốc cắt (m/phút)	Nhiệt độ giới hạn đặc tính cắt (°C)	Độ cứng (HRC)
1894	Thép cacbon dụng cụ	5	200 - 300	60
1900	Thép hợp kim dụng cụ	8	300 - 450	60
1900	Thép gió	12	450-550	62-65
1908	Thép gió cải tiến	15-20	500 - 600	66 – 68
1913	Thép gió (tăng Co và WC)	20-30	600 - 650	-
1931	Hợp kim cứng cacbit vonfram	200	800 - 1000	91
1934	Hợp kim cứng WC và TiC	300	800 - 1000	91 -92
1955	Kim cương nhân tạo		800	100000 HV
1957	Sảnh sứ	300-350	1500	92 – 94
1965	Nitrit Bo	100-200 Thép tôi	1600	8000 HV
1970	Hợp kim cứng phủ (TiC)	300	1000	18000 HV

Từ biểu đồ (Hình 1) ta thấy, cùng với sự phát triển của dụng cụ cắt thì tốc độ gia công cũng tăng theo. Do đó, sự cải tiến dụng cụ cắt là một trong những yếu tố góp phần phát triển một nền công nghiệp hiện đại và hiệu quả.



Hình 1. Quá trình phát triển của dụng cụ cắt [9], [10]

Hiện nay, sự cạnh tranh dẫn đến việc ứng dụng các công nghệ tiên tiến của các nhà sản xuất là tính tất yếu để nâng suất tăng và sản phẩm giảm giá thành. Trong đó, việc lựa chọn dụng cụ cắt phù hợp là tiêu chí được các công ty, nhà máy gia công chế tạo ưu tiên hàng đầu. Dựa vào nhu cầu từ thực tế, dụng cụ cắt có lớp phủ được phát triển không ngừng và đa dạng về chủng loại (Hình 2).

Vật liệu gia công	Lớp phủ ngay nay	Lớp phủ tương lai
Thép	TiN, TiAlN, TiCN	Al ₂ O ₃ Supernitrides
Thép không gỉ	TiN, TiAlN, TiCN	Al ₂ O ₃ Supernitrides, cBN
Gang	TiN, TiAlN	Al ₂ O ₃ Supernitrides
Phi kim loại	TiN, TiAlN	Kim cương, TiB ₂
Chịu tải nặng	TiN, TiAlN	Supernitrides, cBN

Hình 2. Những ứng dụng của dụng cụ phủ ở hiện tại và tương lai [10]

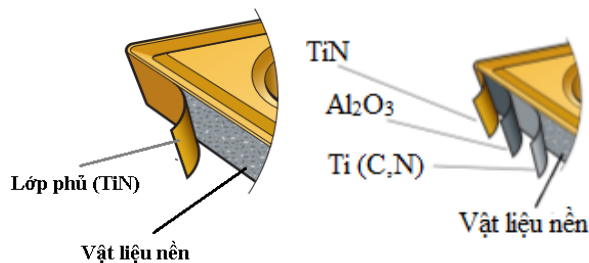
Ngày nay, dụng cụ cắt có lớp phủ được sử dụng phổ biến trong gia công cắt gọt và có nhiều loại dụng cụ phủ khác nhau về vật liệu nền (thép cắt tốc độ cao, hợp kim cứng) và khác nhau về lớp phủ như: TiC, TiN, Mo₂N, Al₂O₃..., khác nhau về số lớp phủ như: phủ một lớp hay phủ nhiều lớp. Trong đó, dụng cụ cắt có phủ lớp TiN được sử dụng phổ biến. Trên thế giới có nhiều hãng chế tạo dụng cụ cắt tiên tiến như: Sandvik, Diamond Innovations, Precision Dormer, Nachi, Seco, Mitsubishi, Hitachi,...

2.4. Cấu tạo và đặc điểm của dụng cụ cắt có lớp phủ

Phân cắt gọt có cấu tạo gồm hai phần chính (Hình 3):

+ Một là, phần nền thường có hai loại vật liệu: thép cắt tốc độ cao và hợp kim cứng.

+ Hai là, phần phủ gồm các vật liệu như: TiN, TiC, Titanium Carbonitrit (TiCN), Titanium Aluminium Nitrit (TiAlN).



(a) Dụng cụ phủ một lớp (b) Dụng cụ phủ nhiều lớp
Hình 3. Cấu tạo dụng cụ cắt có lớp phủ (nguồn từ SANDVIK)

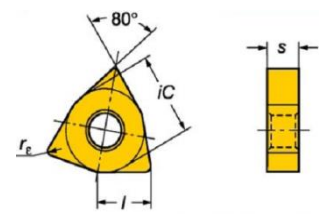
Lớp phủ thường rất mỏng khoảng $0,002 \div 0,01\text{mm}$ với độ cứng rất cao [11], hệ số ma sát nhỏ nên lực ma sát giữa phoi và mặt trước của dao giảm. Do vậy, trong quá trình gia công phoi thoát ra liên tục không đủ thời gian truyền nhiệt từ phoi vào dao, làm tuổi bền của dao tăng. Dụng cụ nhiều lớp phủ sẽ tận dụng được ưu điểm của các lớp phủ khác nhau, để tạo ra dụng cụ có chất lượng cao hơn. Tuy nhiên, quy trình phủ không đơn giản và dẫn đến giá thành sản phẩm cao.

3. Thí nghiệm xác định các hệ số trong công thức Taylor đối với mảnh dao có lớp phủ Titanium Nitric (TiN) khi tiện hợp kim nhôm [AlSi5Zn4Cu]

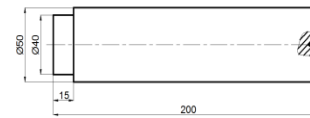
3.1. Trang thiết bị và dụng cụ đo kiểm thực nghiệm



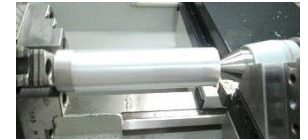
Hình 4. Máy tiện CNC MASCUT AC1840



Hình 5. Mảnh dao tiện ngoài WNMG 08 04 04-XF GC15



Hình 6. Phôi [AlSi5Zn4Cu]



Hình 7. Sơ đồ gá phôi



Hình 8. Thước cặp 1/100 300mm và Panme 0,01_(25-50)



Hình 9. Máy đo độ nhám Mitutoyo SJ-301

3.2. Thí nghiệm xác định các hệ số trong công thức Taylor $V_x T^n = C$ với mảnh dao có lớp phủ Titanium Nitric (TiN) khi tiện hợp kim nhôm [AlSi5Zn4Cu]

3.2.1. Xây dựng phương trình hồi quy [PTHQ]

❖ Phương pháp quy hoạch thực nghiệm [12]

Trong nghiên cứu này tác giả chọn mô hình quy hoạch thực nghiệm dạng B (Face Central Composite Design (FCCCD)) vì:

Quy hoạch dạng B là dạng quy hoạch hỗn hợp đối xứng và mô tả tương đối tốt tính chất đối tượng nghiên cứu trong toàn bộ không gian thiết kế, các nhân tố nằm trong miền giá trị. Mỗi nhân tố chỉ yêu cầu 3 giá trị.

Đầu tiên, tiến hành các thí nghiệm ở nhân (2^k thí nghiệm ($k=3$)) để thu được PTHQ bậc 1. Sau đó, kiểm tra tính tương thích của PTHQ bậc 1. Nếu tương thích ta dừng thí nghiệm và sử dụng PTHQ bậc 1. Nếu không tương thích ta tiếp tục thí nghiệm ở các điểm sao ($2.k$) và tâm (1 thí nghiệm) để thu được PTHQ bậc 2.

❖ Xác định số thí nghiệm lặp lại cho mỗi mức thí nghiệm

Với độ chính xác của máy đo độ nhám SJ-301 (Hình 9) $s = 0,001\mu\text{m}$ và độ chính xác mong đợi $E = 0,001\mu\text{m}$, mức ý nghĩa là 95% thì $t = 1,97$ (bảng Student) [12], số thí nghiệm lặp lại cho mỗi mức thí nghiệm tối thiểu là:

$$N \geq \frac{t^2 \times s^2}{E^2} = \frac{1,97^2 \times 0,001^2}{0,001^2} = 3,9 \quad (3)$$

Do đó, trong thực nghiệm này được lặp lại 4 lần với mỗi mức thí nghiệm. Các thí nghiệm được thực hiện trên máy tiện CNC MASCUT AC1840 (Hình 4); sử dụng mảnh dao tiện ngoài (Hình 5); dùng thước cặp, panme đo kiểm kích thước (Hình 8) và không sử dụng dung dịch tưới nguội.

Trong thí nghiệm, chọn thông số y (tuổi bền dao). Vật liệu gia công là hợp kim nhôm [AlSi₅Zn₄Cu] với thành phần hóa học như (Bảng 3). Kích thước và hình dạng của phôi như (Hình 6). Phôi được kẹp một đầu và một đầu chống tâm (Hình 7).

Bảng 3. Thành phần hóa học Hợp Kim Nhôm (%(m/m))

Al	Si	Mn	Cu	Fe	Zn	Ti
85,1	5,67	0,23	1,61	1,63	4,65	0,03

Yếu tố được xem ảnh hưởng đến thông số y là vận tốc cắt V (m/phút) kí hiệu x_1 và S , t xem như không ảnh hưởng (Bảng 4) và được chọn theo nhà chế tạo dụng cụ cắt [13], [14].

Bảng 4. Thông số ảnh hưởng và mức độ thực nghiệm (I)

Thông số	Mức		
	Cao	Cơ bản	Thấp
x_1 (m/ph)	400	350	300
x_2 (mm/vg)	0,1		
x_3 (mm)	0,3		

Phương trình hồi quy bậc nhất một nhân tố có dạng:

$$\bar{y} = b_0 + b_1 x_1 \quad (4)$$

Bảng 5. Kết quả quy hoạch thực nghiệm (I)

STT	V (m/ph)	S (mm/vg)	t (mm)	Độ nhám thực tế Ra (μm)		Tuổi bền T (phút)	Tuổi bền trung bình T (phút)
				L1	L2		
1	300	0,1	0,3	1,3	1,32	79:32:10	85
				1,35	1,38	86:42:39	
				1,35	1,38	87:35:10	
				1,38	1,38	88:59:26	
2	350	0,1	0,3	1,16	1,21	50:10:32	56
				1,21	1,24	57:39:42	
				1,24	1,25	58:10:35	
				1,25	1,25	59:21:33	
3	400	0,1	0,3	0,91	0,99	30:45:53	35
				0,99	1,12	33:01:16	
				1,12	1,16	38:10:23	
				1,16	1,16	39:25:04	

Ma trận quy hoạch thực nghiệm:

STT	x_1	y_1	y_2	y_3	y_4	$\bar{y}$
1	300	79	86	87	88	85
2	350	50	57	58	59	56
3	400	30	33	38	39	35

Các hệ số phương trình hồi quy (PTHQ) [12]:

$$b_0 = \frac{(\sum_{j=1}^{N=3} y_i) \times (\sum_{j=1}^{N=3} x_{1j}^2) - (\sum_{j=1}^{N=3} x_{1j} y_i) \times (\sum_{j=1}^{N=3} x_{1j})}{N \times \sum_{j=1}^{N=3} x_{1j}^2 - (\sum_{j=1}^{N=3} x_{1j})^2}$$
$$= \frac{176 \times 372500 - 59100 \times 1050}{3 \times 372500 - 1050^2} = 233,67 \quad (4-1)$$

$$b_1 = \frac{N \times \sum_{j=1}^{N=3} x_{1j} y_i - (\sum_{j=1}^{N=3} y_i) \times (\sum_{j=1}^{N=3} x_{1j})}{N \times \sum_{j=1}^{N=3} x_{1j}^2 - (\sum_{j=1}^{N=3} x_{1j})^2}$$
$$= \frac{3 \times 59100 - 176 \times 1050}{3 \times 372500 - 1050^2} = -0,5 \quad (4-2)$$

Giá trị trung bình nhân tố $\bar{x}_1$ và $\bar{y}$ theo công thức sau:

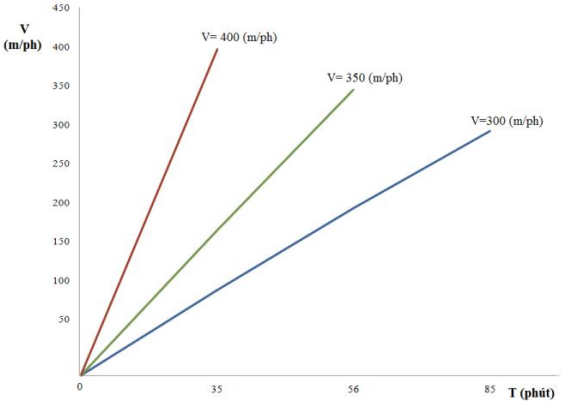
$$\bar{x}_1 = \frac{\sum_{j=1}^3 x_{1j}}{3} = \frac{1050}{3} = 350 \quad (4-3)$$

$$\bar{y} = \frac{\sum_{j=1}^3 y_j}{3} = \frac{176}{3} = 58,67 \quad (4-4)$$

Kiểm tra điều kiện:

$$\bar{y} = 58,67 \approx 233,67 - 0,5.350 \text{ (thỏa điều kiện)} \quad (4-5)$$

Như vậy, kết quả thực nghiệm có thể biểu diễn bằng phương trình: $\bar{y} = 233,67 - 0,5. x_1$ (4-6)



Hình 10. Đồ thị quan hệ giữa V và T

Qua đồ thị quan hệ giữa V và T (Hình 10), khi S không đổi tại $S=0,1$ (mm/vòng) ta nhận thấy, khi V tăng thì T giảm.

3.2.2. Thí nghiệm xác định các hệ số trong công thức Taylor $VxT^n = C$

Theo công thức Taylor $VxT^n = C$ (1) và từ các kết quả thực nghiệm thiết lập được các phương trình sau:

$$300x79^n = C \quad (1-1) \quad 300x87^n = C \quad (1-5)$$

$$400x30^n = C \quad (1-2) \quad 400x38^n = C \quad (1-6)$$

$$300x86^n = C \quad (1-3) \quad 300x88^n = C \quad (1-7)$$

$$400x33^n = C \quad (1-4) \quad 400x39^n = C \quad (1-8)$$

Từ các phương trình trên xác định được các hệ số sau:

$$(1-1) \ \& \ (1-2) \Rightarrow n_1 = 0,29 \quad (1-3) \ \& \ (1-4) \Rightarrow n_2 = 0,3$$

$$(1-5) \ \& \ (1-6) \Rightarrow n_3 = 0,357 \quad (1-7) \ \& \ (1-8) \Rightarrow n_4 = 0,354$$

Từ các giá trị trên xác định hệ số n :

$$n = \frac{n_1 + n_2 + n_3 + n_4}{4} = 0,33 \quad (4-7)$$

Thay $n = 0,33$ vào (1-1) và (1-2) xác định C :

$$\left. \begin{aligned} (1-1) \rightarrow C_1 &= 300 \times 79^{0,33} = 1269 \\ (1-2) \rightarrow C_2 &= 400 \times 30^{0,33} = 1229 \end{aligned} \right\} \Rightarrow C = \frac{C_1 + C_2}{2} = 1249 \quad (4-8)$$

Kết luận 1: Từ kết quả thực nghiệm nhận được các hệ số trong công thức Taylor $VxT^n = C$ khi tiện nhôm đúc sử dụng dụng cụ phủ TiN trên máy tiện CNC có: $C = 1249$; $n = 0,33$. Từ đó ta thấy, nếu V càng tăng thì tuổi bền T càng giảm.

Bảng 6. Kết quả thực nghiệm và các hệ số (I)

STT	Hệ số C	V (m/ph)	T (phút)	n
1	1249	300	85	0,33
2		400	35	

3.3. *Thí nghiệm xác định các hệ số trong công thức Taylor về mối quan hệ $VxT^m xS^a xt^b = C_t$ với mảnh dao có lớp phủ Titanium Nitric khi tiện hợp kim nhôm*

3.3.1. *Xây dựng phương trình hồi quy*

a. **Thực nghiệm các yếu tố toàn phần**

Tương tự như trên, trong thực nghiệm này được lặp lại 4 lần với mỗi mức thí nghiệm.

Trong thí nghiệm chọn thông số tối ưu là y (tuổi bền dao). Các yếu tố khác được xem có ảnh hưởng đến thông số tối ưu là vận tốc cắt V (m/phút) kí hiệu x_1 , lượng chạy dao S (mm/vòng) kí hiệu x_2 , chiều sâu cắt t (mm) kí hiệu x_3 . Các yếu tố (t, S, V) được chọn theo nhà chế tạo dụng cụ cắt [13], [14].

Quan hệ các nhân tố được mã hóa:

$$x_1 = \frac{V-V_0}{\Delta V} = \frac{V-350}{50}$$
(5-1)

$$x_2 = \frac{S-S_0}{\Delta S} = \frac{S-0,2}{0,1}$$
(5-2)

$$x_3 = \frac{t-t_0}{\Delta t} = \frac{t-0,5}{0,2}$$
(5-3)

Bảng 7. Thông số ảnh hưởng và mức độ thực nghiệm (II)

Thông số	Mức			Khoảng thay đổi (Δ)
	Cao	Cơ bản	Thấp	
x ₁ (m/ph)	400	350	300	50
x ₂ (mm/vg)	0,3	0,2	0,1	0,1
x ₃ (mm)	0,7	0,5	0,3	0,2

Phương trình hồi quy có dạng:

$$\bar{y} = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3$$
(5)

Bảng 8. Kết quả quy hoạch thực nghiệm (II)

STT	v (m/ph)	s (mm/vg)	t (mm)	Độ nhám thực tế Ra (μm)				Tuổi bền T (phút)				Tuổi bền trung bình T (phút)
				L1	L2	L3	L4	L1	L2	L3	L4	
1	300	0,1	0,3	1,3	1,32	1,35	1,38	79:32:10	86:42:39	87:35:10	88:59:26	85
2	400	0,1	0,3	0,91	0,99	1,12	1,16	30:45:53	33:01:16	38:10:23	39:25:04	35
3	300	0,3	0,3	1,92	2,48	2,5	2,62	27:45:05	29:10:04	31:21:16	32:45:16	30
4	400	0,3	0,3	1,9	2,32	2,32	2,37	20:18:47	25:10:30	25:10:42	26:48:47	24
5	300	0,1	0,7	1,49	1,58	1,65	1,69	105:08:12	108:10:30	109:10:45	110:45:44	108
6	400	0,1	0,7	1,42	1,43	1,43	1,46	81:48:45	82:45:48	84:00:07	85:21:33	83
7	300	0,3	0,7	2,9	2,93	2,99	3,18	18:47:30	19:31:10	21:30:47	22:21:46	20
8	400	0,3	0,7	2,81	2,81	2,85	2,85	13:46:60	14:31:12	16:54:46	17:21:16	15

Ma trận quy hoạch thực nghiệm:

Stt	x ₀	x ₁	x ₂	x ₃	x ₁ x ₂	x ₁ x ₃	x ₂ x ₃	y
1	1	-1	-1	-1	1	1	1	85
2	1	1	-1	-1	-1	-1	1	35
3	1	-1	1	-1	-1	1	-1	30
4	1	1	1	-1	1	-1	-1	24
5	1	-1	-1	1	1	-1	-1	108
6	1	1	-1	1	-1	1	-1	83
7	1	-1	1	1	-1	-1	1	20
8	1	1	1	1	1	1	1	15

Xác định các hệ số PTHQ [12]:

$$b_i = \frac{1}{8} \sum_{i=1}^8 x_{0i} y_i$$
(5-4)

$$b_{ij} = \frac{1}{8} \sum_{i=1}^8 (x_1 x_2)_i y_i$$
(5-5)

Từ công thức (5-4); (5-5) nhận được kết quả như sau:

b _i /b _{ij}	b ₀	b ₁	b ₂	b ₃	b ₁₂	b ₁₃	b ₂₃
	50	-10,75	-27,75	6,5	6,125	3,25	-11,25

Ước lượng phương sai tái hiện:

$$S^2(y) = \frac{S_1^2 + S_2^2 + \dots + S_8^2}{N} = \frac{61,64}{8} = 7,7$$
(5-6)

Với các phương sai của các lần thực nghiệm là:

$$S_i^2 = \frac{\sum_{u=1}^4 (y_u - \bar{y}_i)^2}{n-1}$$
(5-7)

Từ công thức (5-7) nhận được kết quả các phương sai như sau:

S ₁ ²	S ₂ ²	S ₃ ²	S ₄ ²	S ₅ ²	S ₆ ²	S ₇ ²	S ₈ ²
16,67	18	4,92	7,3	4,67	3,33	3,33	3,33

Phương sai hệ số PTHQ [12]:

$$S^2 \{b_i\} = \frac{S^2(y)}{n.N} = \frac{7,7}{4.8} = 0,24 \Rightarrow S \{b_i\} = 0,489$$
(5-8)

Theo tiêu chuẩn Student [12], kiểm tra mức ý nghĩa các hệ số:

$$t_i = \frac{|b_i|}{S_{b_i}}$$
(5-9)

$$t_{ij} = \frac{|b_{ij}|}{S_{b_{ij}}}$$
(5-10)

Từ công thức (5-9); (5-10) nhận được kết quả như sau:

t _i /t _{ij}	t ₀	t ₁	t ₂	t ₃	t ₁₂	t ₁₃	t ₂₃
	102,25	21,89	56,75	13,29	163,6	6,65	23,01

Theo bảng phân bố Student, đại lượng t_b được xác định với $q=0,05$ và số bậc tự do phương sai tái hiện: $f_y = N.(n-1) = 8.(4-1) = 24$ ta thu được $t_b = 2,06$. Các giá trị t đều lớn hơn t_b . Do đó, các hệ số đều có ý nghĩa và PTHQ có dạng như sau:

$$\bar{y} = 50 - 10,75x_1 - 27,75x_2 + 6,5x_3 + 80x_1x_2 + 3,25x_1x_3 - 11,25x_2x_3$$
(5-11)

Kiểm tra tính thích hợp PTHQ:

- Phương sai thích hợp:

$$S_{th} = \sum_{j=1}^8 n_j \left(y_j - \bar{y} \right)^2 = 40,96$$
(5-12)

- Số bậc tự do PSTH:

$$f_y = N - p = 8 - 7 = 1 \text{ (với } p = 7: \text{ số hệ số PTHQ)} \quad (5-13)$$

- Phương sai thích hợp:

$$S_{th}^2 = \frac{S_{th}}{f_{th}} = 40,96 \quad (5-14)$$

Tính F_{tt} theo PSTH:

$$F_{tt} = \frac{S_{th}^2}{S_{(y)}^2} = \frac{40,96}{7,7} = 5,32 \quad (5-15)$$

Theo bảng Fisher có $f_{th} = 1$, $f = 24$ ta tìm được $F_b = 4,26$. Ta thấy $F_{tt} > F_b$: mô hình chưa thích hợp. Do đó, theo lý thuyết về quy hoạch dạng B ta tiến hành tiếp $2k = 6$ thí nghiệm ở các điểm sao.

❖ Thực nghiệm theo phương pháp bậc hai dạng B

Tương tự như phần thực nghiệm toàn phần các nhân tố được mã hóa và PTHQ có dạng:

$$\bar{y} = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + b_{33}x_3^2 \quad (5-16)$$

Bảng 9. Kết quả quy hoạch thực nghiệm (III)

STT	v (m/ph)	s (mm/vg)	t (mm)	Độ nhám thực tế Ra (μm)				Tuổi bền T (phút)				Tuổi bền trung bình T (phút)
				L1	L2	L3	L4	L1	L2	L3	L4	
9	300	0,2	0,5	1,7	1,71	1,72	1,73	55:52:32	56:17:48	58:14:59	59:21:16	57
10	400	0,2	0,5	1,61	1,61	1,64	1,64	39:49:03	41:42:39	42:10:15	42:07:30	41
11	350	0,1	0,5	1,5	1,5	1,51	1,54	70:47:71	70:50:00	73:42:39	75:15:00	72
12	350	0,3	0,5	2,22	2,22	2,27	2,27	34:23:56	34:15:40	38:30:19	38:05:16	36
13	350	0,2	0,3	2,02	2,06	2,08	2,08	36:46:26	37:27:81	39:40:23	39:53:33	38
14	350	0,2	0,7	2,09	2,17	2,17	2,19	23:50:40	24:40:55	24:30:25	29:06:22	25

Mã trận quy hoạch thực nghiệm:

Stt	x ₀	x ₁	x ₂	x ₃	x ₁ x ₂	x ₁ x ₃	x ₂ x ₃	x ₁ ²	x ₂ ²	x ₃ ²	y
1	1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	1	85
2	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	35
3	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	1	1	30
4	1	1	1	-1	1	-1	-1	1	1	1	24
5	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	1	108
6	1	1	-1	1	-1	1	-1	1	1	1	83
7	1	-1	1	1	-1	-1	1	1	1	1	20
8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	15
9	1	-1	0	0	0	0	0	1	0	0	57
10	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	41
11	1	0	-1	0	0	0	0	0	1	0	72
12	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	36
13	1	0	0	-1	0	0	0	0	0	1	38
14	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	25

Xác định các hệ số PTHQ:

Theo Bảng 4.3 trong [12], với (k = 3, N = 14) ta có:

T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆
0,40924	0,15624	0,1	0,5	-0,09375	0,125

$$b_0 = T_1x(\sum_{j=1}^{14} y_i) - T_2x\sum_{i=1}^4 y_i (\sum_{j=1}^{14} x_{ij}^2 y_i) = 45,8 \quad (5-17)$$

$$b_1 = T_3x(\sum_{j=1}^{14} x_{1j} y_i) = -10,2 \quad (5-18)$$

$$b_2 = T_3x(\sum_{j=1}^{14} x_{2j} y_i) = -20,6 \quad (5-19)$$

$$b_3 = T_3x(\sum_{j=1}^{14} x_{3j} y_i) = 3,9 \quad (5-20)$$

$$b_{11} = T_4x(\sum_{j=1}^{14} x_{1j}^2 y_i) + T_5x\sum_{i=1}^4 (\sum_{j=1}^{14} x_{1j}^2 y_i) - T_2x(\sum_{j=1}^{14} y_i) = 216,7 \quad (5-21)$$

$$b_{22} = T_4x(\sum_{j=1}^{14} x_{2j}^2 y_i) + T_5x\sum_{i=1}^4 (\sum_{j=1}^{14} x_{2j}^2 y_i) - T_2x(\sum_{j=1}^{14} y_i) = 216,7 \quad (5-22)$$

$$b_{33} = T_4x(\sum_{j=1}^{14} x_{3j}^2 y_i) + T_5x\sum_{i=1}^4 (\sum_{j=1}^{14} x_{3j}^2 y_i)$$

$$- T_2x(\sum_{j=1}^{14} y_i) = 199,24 \quad (5-23)$$

$$b_{12} = T_6x(\sum_{j=1}^{14} x_{1j}x_{2j}y_i) = 1 \quad (5-24)$$

$$b_{13} = T_6x(\sum_{j=1}^{14} x_{1j}x_{3j}y_i) = 3,25 \quad (5-25)$$

$$B_{23} = T_6x(\sum_{j=1}^{14} x_{2j}x_{3j}y_i) = 13,125 \quad (5-26)$$

Phương sai cho các lần thực nghiệm:

$$S^2(y) = \frac{S_1^2 + S_2^2 + \dots + S_{14}^2}{N} = \frac{87,79}{14} = 6,27 \quad (5-27)$$

Từ công thức (5-27) nhận được kết quả các phương sai của các lần thực nghiệm là:

S ₉ ²	S ₁₀ ²	S ₁₁ ²	S ₁₂ ²	S ₁₃ ²	S ₁₄ ²
3,33	2	6	5,33	2,25	7,33

Phương sai hệ số hồi quy và covarian giữa chúng:

$$S^2\{b_0\} = \left(\frac{T_1}{n}\right) xS^2\{y\} = \left(\frac{0,40924}{4}\right) x6,27 = 0,64 \quad (5-28)$$

$$S^2\{b_1\} = S^2\{b_2\} = S^2\{b_3\} = \left(\frac{T_3}{n}\right) xS^2\{y\} = \left(\frac{0,1}{4}\right) x6,27 = 0,157 \quad (5-29)$$

$$S^2\{b_{11}\} = S^2\{b_{22}\} = S^2\{b_{33}\} = \left(\frac{T_4 + T_5}{n}\right) xS^2\{y\} = \left(\frac{0,5 - 0,09375}{4}\right) x6,27 = 0,637 \quad (5-30)$$

$$S^2\{b_{12}\} = S^2\{b_{13}\} = S^2\{b_{23}\} = \left(\frac{T_6}{n}\right) xS^2\{y\} = \left(\frac{0,125}{4}\right) x6,27 = 0,196 \quad (5-31)$$

$$\text{cov}\{b_0, b_n\} = -\left(\frac{T_2}{n}\right) xS^2\{y\} = -\left(\frac{0,15624}{4}\right) x6,27 = -0,245 \quad (5-32)$$

$$\text{cov}\{b_{ii}, b_{iu}\} = \left(\frac{T_5}{n}\right) xS^2\{y\} = \left(\frac{-0,09375}{4}\right) x6,27 = -0,147 \quad (5-33)$$

Theo tiêu chuẩn Student [12], kiểm tra mức ý nghĩa các hệ số từ công thức (5-9); (5-10) nhận được bảng giá trị sau:

t_i/t_{ij}	t_0	t_1	t_2	t_3	t_{12}
	57,25	25,7	51,98	9,84	2,25
	t_{13}	t_{23}	t_{11}	t_{22}	t_{33}
	7,3	29,64	271,5	271,5	249,6

Theo tiêu chuẩn Student [12], giá trị tra bảng hệ số với mức ý nghĩa $q = 0,05$ và số bậc tự do $f = Nx(n-1) = 14x(4-1) = 42$ tìm được $t_b = 2,01$. Các giá trị t đều lớn hơn t_b . Do đó, các hệ số đều có ý nghĩa.

Kiểm tra tính thích hợp PTHQ:

- Phương sai thích hợp (PSTH):

$$S_{th} = \sum_{j=1}^{14} n_j \left(y_j - \bar{y} \right)^2 = 57,648 \quad (5-34)$$

- Số bậc tự do (PSTH):

$$f_y = N - p = 14 - 10 = 4 \quad (\text{với } p = 10: \text{số hệ số PTHQ}) \quad (5-35)$$

- Phương sai thích hợp:

$$S_{th}^2 = \frac{S_{th}}{f_{th}} = \frac{57,648}{4} = 14,421 \quad (5-36)$$

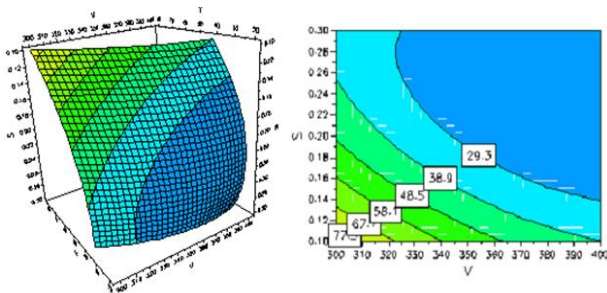
Theo tiêu chuẩn Fisher, kiểm tra tính đồng nhất ta tính F_{tt} theo phương sai thích S_{th}^2 hợp và phương sai tái hiện

$$S^2(y) : F_{tt} = \frac{S_{th}^2}{S^2(y)} = \frac{14,421}{6,27} = 2,3 \quad (5-37)$$

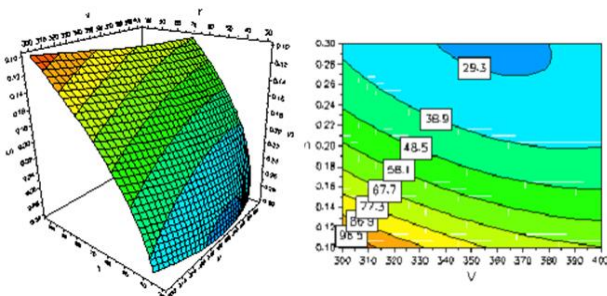
Theo bảng Fisher có $f_{th} = 4$, $f = 42$, $q = 0,05$ ta tìm được $F_b = 2,61$. Ta thấy $F_{tt} < F_b$: mô hình là thích hợp và có thể sử dụng mô tả đối tượng và PTHQ có dạng:

$$\begin{aligned} \bar{y} = & 45,8 - 10,2x_1 - 20,6x_2 + 3,9x_3 + x_1x_2 \\ & + 3,25x_1x_3 + 13,125x_2x_3 + 216,7x_1^2 + 216,7x_2^2 \\ & + 199,24x_3^2 \end{aligned} \quad (5-38)$$

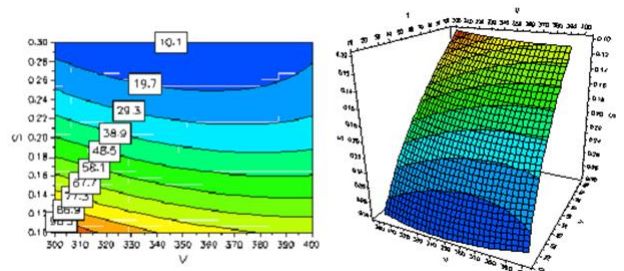
Để phân tích số liệu tác giả sử dụng phần mềm Modde (Version 5.0) dễ dàng nhận thấy ảnh hưởng của các chế độ cắt đến tuổi bền.



Hình 11. Đồ thị quan hệ T-V-S tại $t = 0,3$ mm khi tiện nhóm đúc bằng dao phủ TiN



Hình 12. Đồ thị quan hệ T-V-S tại $t = 0,5$ mm khi tiện nhóm đúc bằng dao phủ TiN



Hình 13. Đồ thị quan hệ T-V-S tại $t = 0,7$ mm khi tiện nhóm đúc bằng dao phủ TiN

Qua đồ thị quan hệ giữa T-V-S (Hình 11, Hình 12, Hình 13), ta nhận thấy, khi V tăng thì T giảm nhanh hơn ở vùng S nhỏ hơn 0,2 (mm/vòng). Do đó, ảnh hưởng của S lên tuổi bền dao không tuyến tính.

❖ Xác định các hệ số trong công thức Taylor mở rộng $T=f(V, S, t)$

Theo công thức Taylor mở rộng $VxT^nxS^axt^b = C_t$ (2) và từ các kết quả thực nghiệm ta thiết lập được các phương trình sau:

$$300x85^n x 0,1^a x 0,3^b = C_t \quad (2-1)$$

$$400x35^n x 0,1^a x 0,3^b = C_t \quad (2-2)$$

$$300x20^n x 0,3^a x 0,7^b = C_t \quad (2-3)$$

$$400x15^n x 0,3^a x 0,7^b = C_t \quad (2-4)$$

$$400x41^n x 0,2^a x 0,5^b = C_t \quad (2-5)$$

$$350x72^n x 0,1^a x 0,3^b = C_t \quad (2-6)$$

$$350x25^n x 0,2^a x 0,7^b = C_t \quad (2-7)$$

Từ các phương trình trên xác định được các hệ số như sau:

$$(2-1) \text{ \& } (2-2) \Rightarrow n_1 = 0,32 \quad (2-3) \text{ \& } (2-4) \Rightarrow n_3 = 1,0$$

$$(2-1) \text{ \& } (2-6) \Rightarrow n_2 = 0,93$$

Từ các giá trị trên ta xác định giá trị hệ số n là:

$$n = \frac{n_1 + n_2 + n_3}{3} = 0,75 \quad (5-39)$$

Xác định hệ số C_t như sau:

$$\begin{aligned} (2-1) & \rightarrow 300x85^n x 0,1^a x 0,3^b = C_t \\ (2-5) & \rightarrow 400x41^n x 0,2^a x 0,5^b = C_t \end{aligned}$$

$$\Leftrightarrow \left(\frac{0,1}{0,2}\right)^a x \left(\frac{0,3}{0,5}\right)^b = \frac{400}{300} x \left(\frac{41}{85}\right)^{0,75}$$

$$\Leftrightarrow (0,5)^a x (0,6)^b = 0,77$$

$$\Leftrightarrow a \ln 0,5 + b \ln 0,6 = \ln 0,77 \quad (5-40)$$

$$\begin{aligned} (2-1) & \rightarrow 300x85^n x 0,1^a x 0,3^b = C_t \\ (2-7) & \rightarrow 350x25^n x 0,2^a x 0,7^b = C_t \end{aligned}$$

$$\Leftrightarrow \left(\frac{0,1}{0,2}\right)^a x \left(\frac{0,3}{0,7}\right)^b = \frac{350}{300} x \left(\frac{25}{85}\right)^{0,75}$$

$$\Leftrightarrow (0,5)^a x (0,43)^b = 0,47$$

$$\Leftrightarrow a \ln 0,5 + b \ln 0,43 = \ln 0,47 \quad (5-41)$$

Từ đó có hệ phương trình sau:

$$\begin{cases} a \ln 0,5 + b \ln 0,6 = \ln 0,77 \\ a \ln 0,5 + b \ln 0,43 = \ln 0,47 \end{cases} \rightarrow \begin{cases} a = -0,71 \\ b = 1,48 \end{cases}$$

Thay $n = 0,75$; $a = -0,71$; $b = 1,48$ vào (2-1); (2-2); (2-3); (2-7) được:

(2-1)→ C₁= 300x85^{0,75}x0,1^{-0,71}x0,3^{1,48}= 7250
(2-2)→ C₂= 400x35^{0,75}x0,1^{-0,71}x0,3^{1,48}= 9495
(2-3)→ C₃= 300x20^{0,75}x0,3^{-0,71}x0,7^{1,48}= 3934
(2-7)→ C₄= 350x25^{0,75}x0,2^{-0,71}x0,7^{1,48}= 7237
→C = $\frac{C_1+C_2+C_3+C_4}{4}$ = 6979 (5-42)

Kết luận 2: Qua kết quả thực nghiệm nhận được các hệ số trong công thức Taylor V.Tⁿ.S^a.t^b= C_t khi tiện hợp kim nhôm sử dụng dụng cụ phủ TiN trên máy tiện CNC có: C= 6979; n= 0,75; a= -0,71; b= 1,48. So với công thức V.Tⁿ= C thì hệ số C tăng khoảng 5,6 lần còn số mũ n tăng 2,3 lần. Số mũ của t cao hơn số mũ của S nghĩa là ảnh hưởng của t nhiều hơn của S. Do vậy, ảnh hưởng của các yếu tố cắt đến tuổi bền dao không phải là tuyến tính.

Bảng 10. Kết quả thực nghiệm và các hệ số (II)

STT	Hệ số C	V (m/ph)	S (mm/v)	t (mm)	T (phút)	n	a	b
1	6979	300	0,1	0,3	85	0,75	-0,71	1,48
2			0,3	0,7	20			
3		400	0,1	0,3	35			
4			0,3	0,7	15			

4. Kết luận

Trong nghiên cứu này, tác giả sử dụng phương pháp quy hoạch dạng B để nghiên cứu ảnh hưởng của các chế độ cắt đến tuổi bền dao có lớp phủ Titanium Nitric (TiN) khi tiện hợp kim nhôm [AlSi5Zn4Cu]. Trong đó, tập trung giải quyết một số vấn đề sau: Các kết quả thực nghiệm về tuổi bền của dao có lớp phủ Titanium Nitric khi tiện hợp kim nhôm [AlSi5Zn4Cu] trên máy CNC với các chế độ cắt khác nhau. Phương trình hồi quy thể hiện tuổi bền dao với các thông số chế độ cắt (S,V,t). Nghiên cứu này cung cấp một bộ hệ số Taylor mới cho dao TiN khi tiện hợp kim nhôm [AlSi5Zn4Cu] trên máy tiện CNC, điều này chưa được đề cập trong các nghiên cứu trước đó. Trong tương lai, cần nghiên cứu thêm với các vật liệu khác như thép không gỉ hoặc gang để mở rộng tính ứng dụng.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] S. Kalpakjian and S. R. Schmid, *Manufacturing Engineering and Technology*, 8th edition. NJ: Pearson, 2022.

[2] M. P. Groover, *Fundamentals of Modern Manufacturing: Materials, Processes, and Systems*, 7th edition. NJ: Wiley, 2021.

[3] N. G. de M. de Mesquita, J. E. F. de Oliveira, and A. Q. Ferraz, “Life Prediction of Cutting Tool by the Workpiece Cutting Condition”, *Advanced Materials Research*, vol. 223, pp. 554–563, 2011. <https://www.scientific.net/AMR.223.554>

[4] S. Thamizhmanii, K. Kamarudin, E. A. Rahim, A. Saparudin, and S. Hassan, “Tool Wear and Surface Roughness in Turning AISI 8620 using Coated Ceramic Tool”, in *World Congress on Engineering*, 2007, pp. 1157–1161.

[5] N. H. Kim and J. S. Chun, “A study of the tool life of TiC and TiC plus Al₂O₃ chemical vapour deposited tungsten carbide tools”, *J Mater Sci*, vol. 20, no. 4, pp. 1285–1290, Apr. 1985. Doi: 10.1007/BF01026324.

[6] N. H. Kien, H. X. Thinh, P. V. Dong, and C. T. Anh, “Studying the effects of cutting mode (S, t) on surface roughness (Ra) when milling Archimedes on CNC Center Super MC”, in *5th National Conference on Mechanical Engineering*, 2018, pp. 253-262.

[7] T. A. Son and T. D. Son, *Machining Technical Facility*. NJ: VNU-HCM University Press, 2020. Available: <https://vnuhcmppress.edu.vn/co-so-ky-thuat-gia-cong-b40268.html>

[8] A. Hosseini and H. A. Kishawy, “Cutting Tool Materials and Tool Wear”, in *Machining of Titanium Alloys*, Berlin, Springer, 2014, pp. 31–56. Doi: 10.1007/978-3-662-43902-9_2.

[9] L. C. Duong, *Materials Science*. NJ: Science and Technology Publishing House, 2000. Available: <https://vietbooks.info/threads/vat-lieu-hoc-nxb-khoa-hoc-ky-thuat-2000-le-cong-duong-620-trang.25296/>

[10] J. Kopac, “Advanced tool materials for high-speed machining”, in *12th International Scientific Conference*, 2003. https://scholar.google.com/scholar?hl=en&as_sdt=0%2C5&q=Advanced+tool+materials+for+high-speed+machining&btnG=.

[11] T. D. Son, T. A. Son, H. T. Hung, and B. Q. Nguyen, *Manufacturing Engineering II*. NJ: VNU-HCM University Press, 2020. <http://ir.vnulib.edu.vn/handle/VNUHCM/7484>.

[12] N. H. Loc, *Experimental Design and Analysis*. NJ: VNU-HCM University Press, 2011. <http://ir.vnulib.edu.vn/handle/VNUHCM/8241>.

[13] Sandvik Coromant, "Metal cutting tools, cutting inserts and tool holders", *Sandvik Coromant*. [Online]. Available: <https://www.sandvik.coromant.com/en-gb/tools>. [Accessed Jan. 09, 2025].

[14] “Turning tools”, *Sandvik Coromant*. [Online]. Available: <https://www.sandvik.coromant.com/en-gb/tools/turning-tools>. [Accessed Jan. 09, 2025].