

# NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA CHẾ ĐỘ CẮT ĐẾN MÒN DAO KHI PHAY BÁNH RĂNG CÔN CUNG TRÒN

RESEARCH A INFLUENCE OF CUTTING REGIMES TO THE TOOL WEAR WHEN MILLING A GLEASON SPIRAL BEVEL GEAR

Hoàng Xuân Thịnh\*,  
Phạm Văn Đông, Trần Vệ Quốc

## TÓM TẮT

Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu ảnh hưởng của chế độ cắt đến mòn dao khi phay bánh răng côn cung tròn. Mảnh cắt được sử dụng trong nghiên cứu này là hợp kim cứng phủ CVD Ti(C,N)-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-TiN. Vật liệu thí nghiệm được sử dụng trong nghiên cứu là thép 20XM. Quá trình nghiên cứu thực nghiệm được thực hiện theo ma trận thí nghiệm dạng Box-behnken. Thông số chế độ cắt gồm vận tốc cắt, lượng chạy dao và chiều sâu cắt được lựa chọn là những thông số đầu vào cho quá trình thí nghiệm. Kết quả thực nghiệm, đã đánh giá được lượng mòn dao, xây dựng được mô hình toán học biểu thị mức độ ảnh hưởng của thông số công nghệ đến mòn dao, đồng thời tối ưu hóa chế độ cắt, lựa chọn bộ thông số công nghệ tối ưu để đạt lượng mòn dao nhỏ nhất.

**Từ khóa:** Bánh răng côn cung tròn, mòn dao, thép 20XM, hợp kim cứng phủ CVD Ti(C,N)-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-TiN, đầu dao hệ Gleason, tối ưu hóa, chế độ cắt.

## ABSTRACT

The article presents research a influence of cutting regime to tool wear when milling circular bevel gear. The shear piece used in this research is a hard alloy coated with CVD Ti (C,N)-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-TiN. Experimental material used in the research is 20XM steel. The experimental research process was carried out according to a Box-behnken matrix. Cutting mode parameters including selected cutting speed, feed rate and cutting depth are the input parameters for the test. Experimental results, assessed the amount of tool wear, have built a mathematical model showing the influence of technological parameters on tool wear, at the same time optimizing cutting mode, selecting optimal technology parameters to ensure the smallest amount of tool wear.

**Keywords:** Gleason spiral bevel gear, tool wear, 20XM steel, hard alloy coated with CVD Ti(C,N)-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-TiN, Gleason tool head, optimization, cutting mode.

Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

\*Email: hoangxuanthinh@hau.edu.vn

Ngày nhận bài: 03/6/2020

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 10/8/2020

Ngày chấp nhận đăng: 18/8/2020

## 1. GIỚI THIỆU

Phay là một phương pháp gia công phổ biến, cho năng suất cao và được ứng dụng rất rộng rãi trong gia công cơ khí. Phương pháp phay có thể thực hiện để gia công nhiều dạng bề mặt khác nhau, với nhiều loại vật liệu khác nhau. Quá

trình phay nói chung và phay bánh răng côn cung tròn bằng phương pháp bao hình nói riêng, lượng mòn dao thường được chọn là chỉ tiêu đánh giá hiệu quả của quá trình gia công. Lượng mòn dao không những ảnh hưởng tới chất lượng bề mặt gia công, tuổi bền của dụng cụ cắt mà còn ảnh hưởng đến mức độ tiêu thụ năng lượng (thông qua công suất cắt). Việc nghiên cứu về lượng mòn dao khi gia công bánh răng côn cung tròn đã được thực hiện bởi một số tác giả. Christian Brecher và cộng sự [1] đã tiến hành thực hiện quá trình mô phỏng 3D để xác định giá trị tối ưu của các thông số hình học của dụng cụ cắt nhằm đảm bảo lượng mòn dao có giá trị nhỏ nhất. Trong một nghiên cứu khác, Christian Brecher và cộng sự [2] đã tiến hành mô phỏng về quá trình mòn dao khi gia công. Họ đã tiến hành thí nghiệm để kiểm chứng kết quả mô phỏng khi sử dụng mảnh cắt được phủ (Al,Cr)N để gia công bánh răng côn cung tròn bằng vật liệu 6MnCr5. Fritz Klocke và cộng sự [3] đã khảo sát ảnh hưởng của vận tốc cắt và lượng chạy dao đến lượng mòn dao khi sử dụng mảnh cắt phủ (Ti,Al)N để gia công bánh răng côn cung tròn bằng vật liệu 15CrNi6. Nghiên cứu của họ đã chỉ ra rằng vận tốc cắt và lượng chạy dao có ảnh hưởng rất lớn đến lượng mòn dao. Trong một nghiên cứu khác, Fritz Klocke và cộng sự [4] cũng đã tiến hành mô phỏng lượng mòn dao trong quá trình gia công thông qua việc phân tích các yếu tố về nhiệt trong quá trình cắt.

Trong nghiên cứu này sẽ thực hiện thí nghiệm gia công bánh răng côn cung tròn bằng đầu dao hợp kim cứng phủ CVD Ti(C,N)-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-TiN, vật liệu chế tạo bánh răng là thép 20XM. Mục đích của nghiên cứu này là xác định mức độ ảnh hưởng của vận tốc cắt (V), lượng chạy dao (S) và chiều sâu cắt (t) đến lượng mòn dao. Việc xác định giá trị tối ưu của vận tốc cắt, lượng chạy dao và chiều sâu cắt nhằm đảm bảo lượng mòn dao có giá trị nhỏ nhất cũng sẽ được thực hiện trong nghiên cứu này.

Mô hình hồi qui thực nghiệm mô tả sự phụ thuộc của hàm chỉ tiêu y (U) vào các thông số ảnh hưởng x<sub>i</sub> (V, S, t) dưới dạng [7]:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_nx_n + b_{11}x_{11}^2 + b_{22}x_{22}^2 + \dots + b_{nn}x_{nn}^2 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + \dots + b_{n-1}x_{n-1}x_n \quad (1)$$

Tức là:

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^n b_i x_i + \sum_{i=1}^n b_{ii} x_i^2 + \sum_{i < j} \sum b_{ij} x_i x_j \quad (2)$$

Trong đó:

$b_0$  - Hệ số tự do.

$b_i$  - Các hệ số tuyến tính.

$b_{ii}$  - Các hệ số bậc 2.

$b_{ij} (i \neq j)$  - Các hệ số tương tác cặp.

$n$  - Số thông số đầu vào (thông số ảnh hưởng).

$x_i$  - Giá trị mã hóa của các thông số vào.

## 2. THÍ NGHIỆM PHAY BÁNH RĂNG CÔN CUNG TRÒN

### 2.1. Máy thí nghiệm

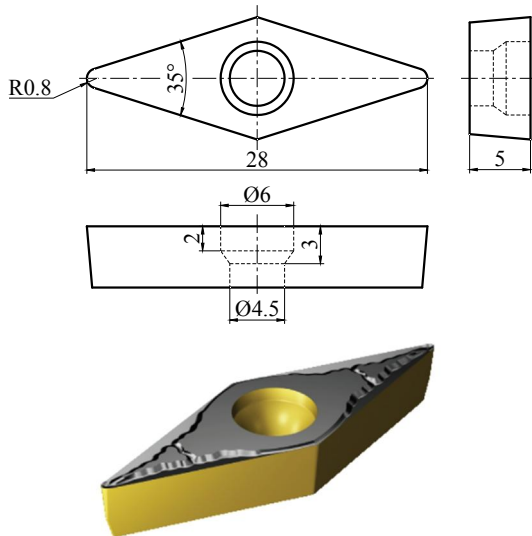
- Máy phay răng bán tự động có ký hiệu 525 do Liên bang Nga sản xuất (hình 1) đã được sử dụng để thực hiện quá trình thí nghiệm.

- Dung dịch trơn nguội: Dầu công nghiệp 32, lưu lượng 15 lít/phút và tưới trực tiếp.



Hình 1. Máy thí nghiệm 525

### 2.2. Dụng cụ cắt

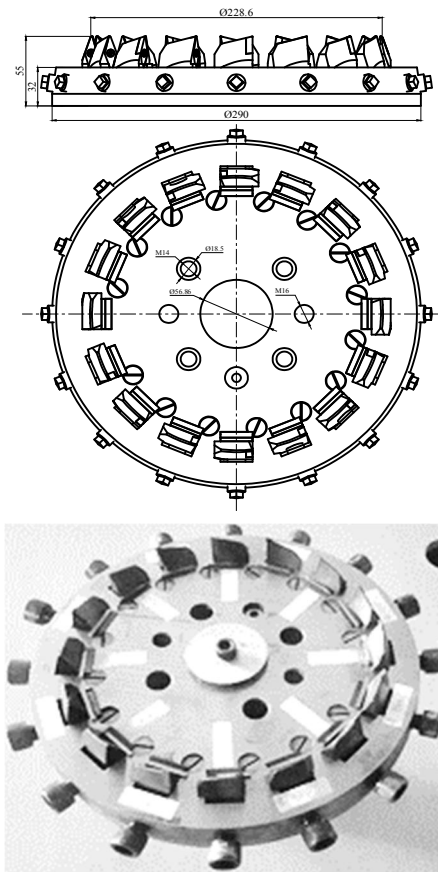


Hình 2. Mảnh hợp kim cứng phủ CVD Ti(C,N)-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-TiN

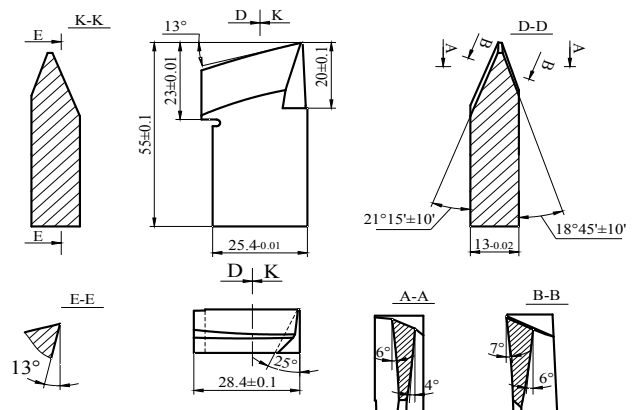
Mảnh cắt được sử dụng trong nghiên cứu này là loại hợp kim cứng phủ CVD Ti(C,N)- Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-TiN do hãng SANDVIK

sản xuất. Loại mảnh cắt này đáp ứng một số yêu cầu như: Đảm bảo độ bền nhiệt, tính ổn định về cơ tính, khả năng chịu lực va đập và phù hợp với điều kiện cắt tinh. Đây là loại vật liệu đang được dùng nhiều để chế tạo dụng cụ cắt trong việc gia công cắt gọt nói chung và gia công bánh răng nói riêng. Cấu tạo của mảnh hợp kim được trình bày trong hình 2.

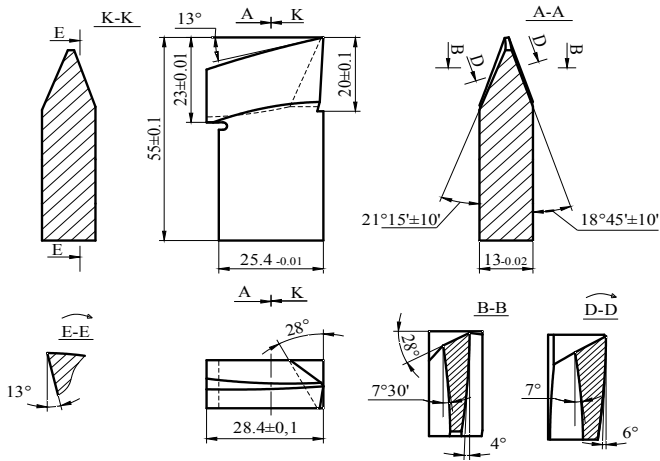
Đầu dao để gia công bánh răng được sử dụng trong nghiên cứu này là đầu dao phay tinh hệ Gleason 9 inch gồm có 16 lưỡi cắt bao gồm 8 lưỡi cắt ngoài và 8 lưỡi cắt trong, dao có khả năng gia công từ mô đun 4 đến mô đun 9 (hình 3). Thông số hình học của lưỡi cắt được thể hiện trong hình 4 và 5.



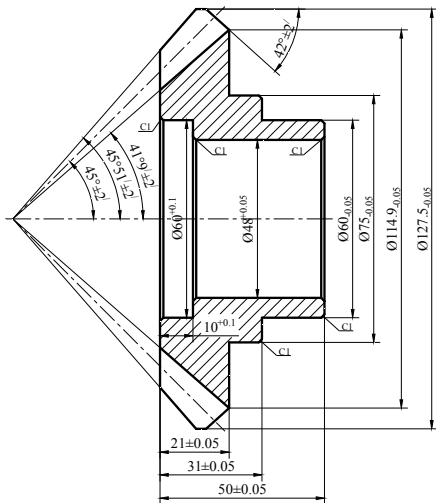
Hình 3. Đầu dao phay tinh hệ Gleason



Hình 4. Thông số hình học lưỡi cắt trong của đầu dao hệ Gleason



Hình 5. Thông số hình học lưỡi cắt ngoài của đầu dao hệ Gleason



Hình 6. Bản vẽ chi tiết bánh răng thí nghiệm



Hình 7. Hình ảnh mẫu thí nghiệm

**2.3. Mẫu thí nghiệm**

Mẫu thí nghiệm được sử dụng trong nghiên cứu này là thép 20XM (ГОСТ 4543-71). Thành phần hóa học của mẫu được phân tích theo tiêu chuẩn ASTM 415-99A-2005, kết quả phân tích trình bày trong bảng 1. Mẫu thí nghiệm được gia công theo bản vẽ chi tiết bánh răng với các thông số cơ

bản: Mô đun  $m_s = 4,5\text{mm}$ ; góc xoắn  $\beta_s = 35^\circ$ ; số răng  $Z = 27$  được thể hiện trong hình 6 và 7

Bảng 1. Thành phần hóa học chính của mẫu thí nghiệm

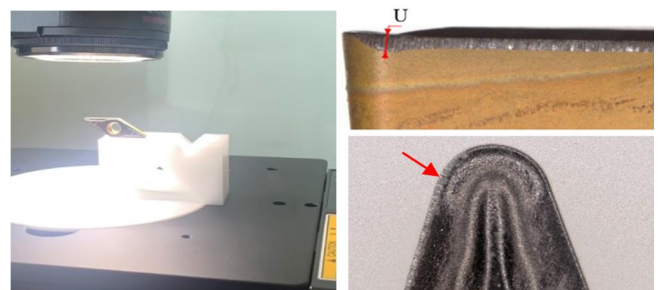
C%	Si%	Mn%	Cr%	Ni%	Mo%	Cu%	S%	P%
0,2348	0,1930	0,6820	0,9256	0,1826	0,2367	0,1546	0,0287	0,0265

**2.4. Thiết bị đo**

Lượng mòn dao đối với mỗi thí nghiệm được đo bằng kính hiển vi kỹ thuật số VHX-6000 của hãng Keyence Nhật Bản (hình 8). Hình ảnh xác định lượng mòn mặt sau dao thể hiện trên hình 9.



Hình 8. Kính hiển vi kỹ thuật số VHX-6000



Hình 9. Lượng mòn mặt sau của dao trong một lần thí nghiệm

**2.5. Kế hoạch thí nghiệm**

Ma trận dạng Box-Behnken đã được sử dụng để thiết kế các thí nghiệm trong nghiên cứu này. Theo dạng qui hoạch này, mỗi thông số đầu vào sẽ nhận ba mức giá trị. Giá trị các thông số đầu vào tại các mức được trình bày trong bảng 2. Ma trận thí nghiệm và kết quả xác định lượng mòn dao được trình bày trong bảng 3.

Bảng 2. Giá trị của các thông số đầu vào tại các mức khi thí nghiệm

Thông số đầu vào	Ký hiệu	Đơn vị	Giá trị tại các mức		
			-1	0	+1
Vận tốc cắt	V	m/phút	93	117,5	142
Lượng chạy dao	S	s/răng	40	50	60
Chiều sâu cắt	t	mm	0,25	0,50	0,75

Bảng 3. Ma trận thí nghiệm và kết quả

TT	Giá trị mã hóa			Giá trị thực			Lượng mòn dao U (μm)
	$x_1$	$x_2$	$x_3$	V (m/phút)	S (s/răng)	t (mm)	
1	-1	-1	0	93	40	0,5	57,22
2	1	-1	0	142	40	0,5	37,42
3	-1	1	0	93	60	0,5	32,95

4	1	1	0	142	60	0,5	82,98
5	-1	0	-1	93	50	0,25	47,73
6	1	0	-1	142	50	0,25	69,42
7	-1	0	1	93	50	0,75	29,69
8	1	0	1	142	50	0,75	66,98
9	0	-1	-1	117,5	40	0,25	37,42
10	0	1	-1	117,5	60	0,25	51,25
11	0	-1	1	117,5	40	0,75	26,85
12	0	1	1	117,5	60	0,75	59,93
13	0	0	0	117,5	50	0,5	30,10
14	0	0	0	117,5	50	0,5	43,39
15	0	0	0	117,5	50	0,5	30,24

**3. PHÂN TÍCH KẾT QUẢ THÍ NGHIỆM**

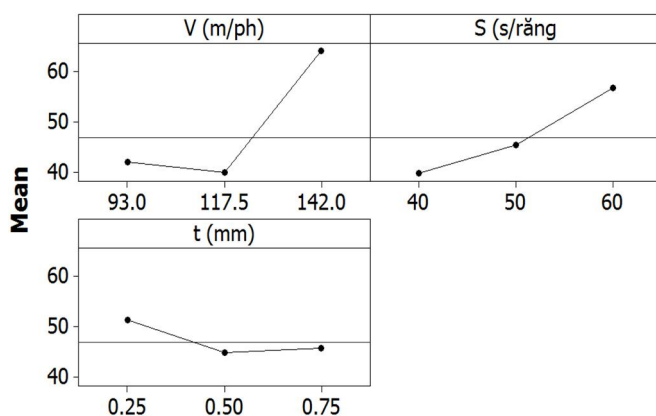
Quá trình thí nghiệm đã được thực hiện theo thứ tự như trong bảng 3, giá trị lượng mòn dao tại mỗi thí nghiệm đã được xác định và thể hiện trong bảng này.

Bảng 4 trình bày kết quả phân tích ANOVA lượng mòn dao. Mức độ ảnh hưởng của các thông số đến lượng mòn dao và ảnh hưởng của sự tương tác giữa các thông số đến lượng mòn dao được trình bày tương ứng trong hình 10 và 11.

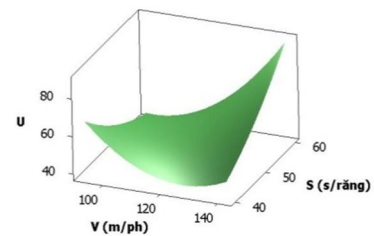
Bảng 4. Phân tích ANOVA lượng mòn dao

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%
Intercept	892,416	191,2756	4,6656	0,0055	400,7266	1384,1059
V(m/ph)	-8,84014	1,9269	-4,5877	0,0059	-13,7935	-3,8868
S(s/răng)	-12,7191	4,8412	-2,6273	0,0467	-25,1639	-0,2744
t(mm)	-263,038	134,8144	-1,9511	0,1085	-609,5894	83,5134
V(m/ph)*V(m/ph)	0,0230390	0,0072	3,1986	0,0240	0,0045	0,0416
S(s/răng)*S(s/răng)	0,0423667	0,0432	0,9799	0,3721	-0,0688	0,1535
t(mm)*t(mm)	80,7867	69,1754	1,1679	0,2955	-97,0343	258,6076
V(m/ph)*S(s/răng)	0,0712551	0,0170	4,2027	0,0085	0,0277	0,1148
V(m/ph)*t(mm)	0,636735	0,6782	0,9389	0,3909	-1,1066	2,3800
S(s/răng)*t(mm)	1,92500	1,6615	1,1586	0,2990	-2,3461	6,1961

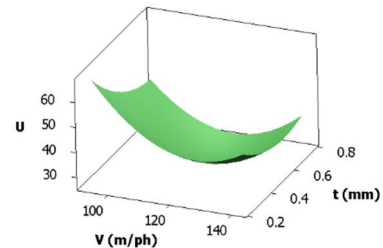
Main Effects Plot for U  
Data Means



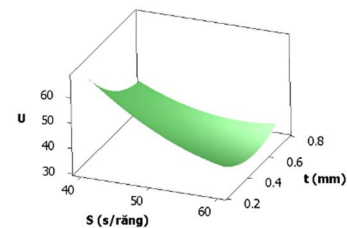
Hình 10. Ảnh hưởng của các thông số đến lượng mòn dao



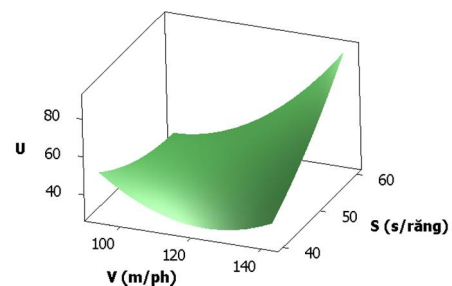
Tương tác giữa V và S khi t = 0,25 (mm)



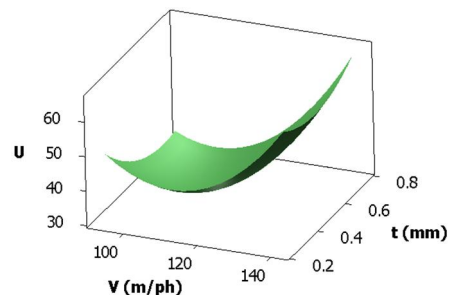
Tương tác giữa V và t khi S = 40 (s/răng)



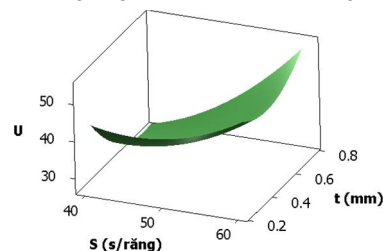
Tương tác giữa S và t khi V = 93 (m/ph)



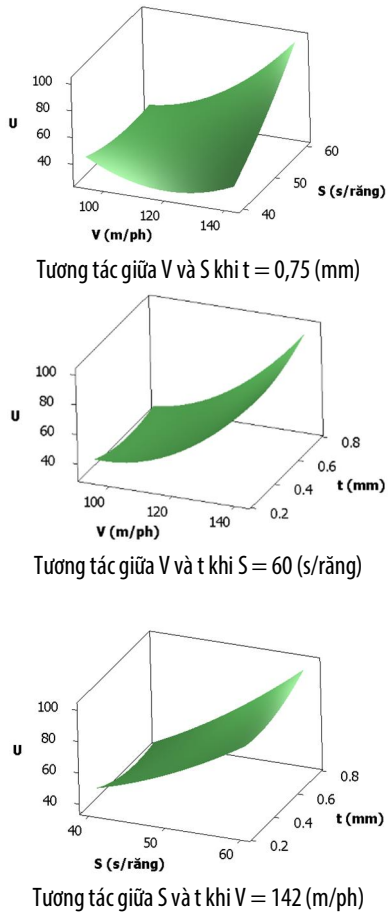
Tương tác giữa V và S khi t = 0,5 (mm)



Tương tác giữa V và t khi S = 50 (s/răng)



Tương tác giữa S và t khi V = 117,5 (m/ph)



Hình 11. Ảnh hưởng tương tác giữa các thông số đến lượng mòn dao

Từ số liệu trong bảng 4, hình 10 và 11 cho thấy:

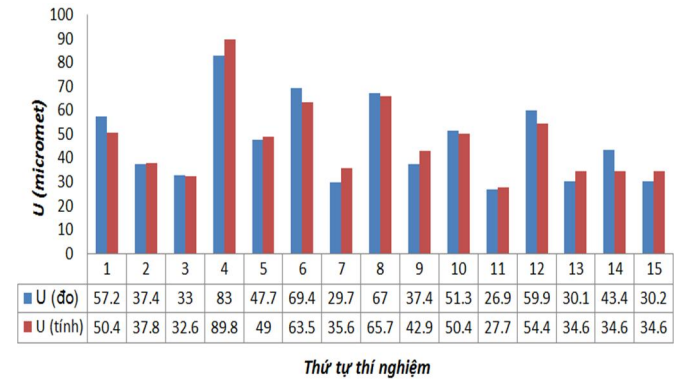
- Vận tốc cắt là thông số có ảnh hưởng rất lớn đến lượng mòn dao. Khi vận tốc cắt tăng từ 93 đến 117,5 (m/phút) thì lượng mòn dao giảm chậm, nhưng nếu vận tốc cắt tăng từ 117,5 đến 142 (m/phút) thì lượng mòn dao lại tăng nhanh.
- Lượng chạy dao có ảnh hưởng đáng kể đến lượng mòn dao. Khi tăng lượng chạy dao thì lượng mòn dao tăng.
- Chiều sâu cắt có ảnh hưởng không nhiều đến lượng mòn dao. Ban đầu khi tăng chiều sâu cắt thì lượng mòn dao giảm chậm, tiếp tục tăng chiều sâu cắt thì lượng mòn dao lại tăng chậm.
- Sự tương tác giữa vận tốc cắt, lượng chạy dao và chiều sâu cắt đến lượng mòn dao rất phức tạp. Quan sát các đồ thị trong hình 11 sẽ thấy rõ hơn nhận định này.

Cũng từ số liệu trong bảng 4, mô hình hồi quy của lượng mòn dao được xây dựng như trong công thức (3). Mô hình này có hệ số định  $R^2 = 0,9169$ , rất gần so với 1, điều đó khẳng định mô hình này có khả năng tương thích cao với các số liệu thí nghiệm.

$$U = 892,416 - 8,84014V - 12,7191S - 263,038t + 0,0230390V^2 + 0,042366S^2 + 80,7867t^2 + 0,0712551VS + 0,636735Vt + 1,92500St \quad (3)$$

Mô hình lượng mòn dao được trình bày trong phương trình (3) là cơ sở cho việc lựa chọn giá trị của vận tốc cắt,

lượng chạy dao và chiều sâu cắt (trong vùng đã khảo sát) để đảm bảo lượng mòn dao có giá trị nhỏ nhất. Ngoài ra, phương trình này có thể được sử dụng để dự đoán lượng mòn dao ứng với những giá trị cụ thể của vận tốc cắt, lượng chạy dao và chiều sâu cắt. Hình 12 là đồ thị so sánh lượng mòn dao khi thí nghiệm theo số liệu trong bảng 3 và lượng mòn dao khi tính theo công thức (3).



Hình 12. Lượng mòn dao khi đo và khi tính

Quan sát hình 12 cho thấy, lượng mòn dao khi tính theo công thức (3) rất sát so với lượng mòn dao khi đo trong quá trình thí nghiệm. Điều đó cho thấy phương trình (3) hoàn toàn có thể được sử dụng để dự đoán lượng mòn dao ứng với những giá trị cụ thể của vận tốc cắt, lượng chạy dao, chiều sâu cắt trong vùng khảo sát.

#### 4. TỐI ƯU HÓA THÔNG SỐ CÔNG NGHỆ

Với mục đích tìm giá trị của vận tốc cắt, lượng chạy dao và chiều sâu cắt để đảm bảo lượng mòn dao có giá trị nhỏ nhất (dao có tuổi bền lớn nhất). Do đó, bài toán đặt ra là tìm giá trị tối ưu của các thông số chế độ cắt đã nêu ở trên. Khi giải bài toán tối ưu hóa, công việc cần thiết là phải xác định ràng buộc cho các thông số đầu vào và ràng buộc đối với chỉ tiêu đánh giá.

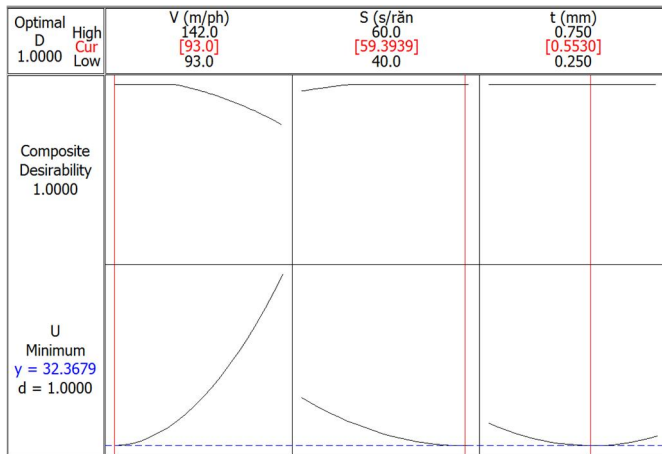
Để tìm giá trị tối ưu của vận tốc cắt, lượng chạy dao và chiều sâu cắt, ta sẽ tiến hành giải phương trình hồi quy (3). Đây là phương trình hồi quy được thành lập khi phân tích kết quả của ma trận thí nghiệm Box-Behnken (bảng 3). Do đó, ràng buộc đối với các biến chính là giá trị cao nhất và thấp nhất của chúng khi thí nghiệm Box-Behnken. Cụ thể, ràng buộc đối với các biến thí nghiệm như sau:

$$\begin{cases} 93 \left(\frac{m}{ph}\right) \leq V \leq 142 \left(\frac{m}{ph}\right) \\ 40 \left(\frac{s}{răng}\right) \leq S \leq 60 \left(\frac{s}{răng}\right) \\ 0,25 \text{ (mm)} \leq t \leq 0,75 \text{ (mm)} \end{cases} \quad (4)$$

Theo các nghiên cứu [5, 6] và theo khuyến cáo của nhà sản xuất dụng cụ cắt, cũng như theo kinh nghiệm thực tế trong sản xuất thì khi lượng mòn dao  $U$  vượt quá giá trị 250 ( $\mu m$ ) sẽ không đảm bảo độ chính xác của bánh răng. Giá trị này của  $U$  sẽ được chọn làm ràng buộc của  $U$  khi thực hiện bài toán tối ưu hóa trong nghiên cứu này. Như vậy, ràng buộc đối với thông số đầu ra như sau:

$$0 < U \leq 250(\mu m) \quad (5)$$

Sử dụng phần mềm Minitab 16 để thực hiện giải bài toán tối ưu phương trình (3) với các ràng buộc như trong phương trình (4) và (5), ta được đồ thị tối ưu hóa đối với lượng mòn dao như trong hình 13.



Hình 13. Đồ thị tối ưu hóa hàm mục tiêu lượng mòn dao

Từ đồ thị hình 13 cho thấy, giá trị tối ưu của vận tốc cắt, lượng chạy dao và chiều sâu cắt tương ứng là 93,0 (m/phút), 59,3939 (s/răng) và 0,553 (mm). Với hàm kỳ vọng  $d = 1,000$ , có nghĩa là xác suất xảy ra trường hợp này lên tới 100%, khi đó lượng mòn dao có giá trị nhỏ nhất là 32,3679 ( $\mu\text{m}$ ).

Tiến hành thực nghiệm để kiểm chứng giá trị tối ưu vận tốc cắt, lượng chạy dao và chiều sâu cắt khi giải bài toán tối ưu hàm mục tiêu lượng mòn dao. Căn cứ vào khả năng điều chỉnh của máy thí nghiệm, giá trị các thông số chỉ chọn độ chính xác tới phần trăm (hai chữ số thập phân). Tiến hành thực nghiệm trên 5 mẫu bánh răng, với giá trị của các thông số vận tốc cắt, lượng chạy dao và chiều sâu cắt tương ứng là 93,00 (m/phút), 59,40 (s/răng) và 0,55 (mm). Trong quá trình thí nghiệm, các thông số khác được chọn giống như khi thực hiện thí nghiệm theo ma trận Box-Behnken. Kết quả đo mòn mặt sau của dao khi phay 5 mẫu bánh răng được trình bày trong bảng 5.

Bảng 5. Kết quả thí nghiệm kiểm chứng giá trị tối ưu

Lượng mòn dao khi thí nghiệm, U ( $\mu\text{m}$ )						Giá trị tính toán U ( $\mu\text{m}$ )	% sai lệch
Mẫu 1	Mẫu 2	Mẫu 3	Mẫu 4	Mẫu 5	Giá trị trung bình		
31,12	31,83	29,68	30,85	33,66	31,43	32,37	2,9

Quan sát bảng 5 cho thấy: Trong cả 5 mẫu thí nghiệm để kiểm chứng giá trị tối ưu của các thông số chế độ cắt thì giá trị của lượng mòn dao khi thí nghiệm đều rất sát so với giá trị khi tính toán, sai lệch trung bình giữa giá trị thí nghiệm và giá trị tính toán là 0,94 $\mu\text{m}$  tương đương 2,9%. Điều đó cho thấy, giá trị tối ưu của các thông số chế độ cắt cũng như giá trị lượng mòn dao đạt được khi thực hiện quá trình tối ưu hóa đảm bảo độ chính xác cao so với giá trị thực tế.

## 5. KẾT LUẬN

- Các thông số chế độ cắt V, S, t đều ảnh hưởng đến mòn dao. Trong đó, vận tốc cắt ảnh hưởng nhiều nhất, tiếp theo lần lượt là bước tiến và chiều sâu cắt.

- Sự tương tác giữa vận tốc cắt, lượng chạy dao và chiều sâu cắt đến lượng mòn dao rất phức tạp.

- Kết quả thực nghiệm đã xác định được mối quan hệ toán học giữa lượng mòn dao (U) với thông số chế độ cắt V, S, t. Mô hình này là cơ sở cho việc lựa chọn giá trị của các thông số chế độ cắt nhằm đảm bảo lượng mòn dao có giá trị nhỏ nhất.

- Xác định được giá trị tối ưu của vận tốc cắt, lượng chạy dao và chiều sâu cắt tương ứng là 93,00 (m/phút), 59,40 (s/răng) và 0,55 (mm). Khi gia công với bộ giá trị này của chế độ cắt, lượng mòn dao có giá trị nhỏ nhất là 31,43 ( $\mu\text{m}$ ).

## LỜI CẢM ƠN

Các tác giả xin bày tỏ lòng biết ơn với sự giúp đỡ của Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội (<https://www.hau.edu.vn/vn>) trong quá trình thực hiện nghiên cứu này.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Christian Brecher, Fritz Klocke, Markus Brumm, Ario Hardjosuwito, 2013. *Analysis and Optimization of Bevel Gear Cutting Processes by Means of Manufacturing Simulation*. Simulation & Modeling Methodologies, Technologies & Appl, AISC 197, pp. 271–284
- [2]. Christian Brecher, Fritz Klocke, Markus Brumm, Ario Hardjosuwito, 2013. *Simulation based model for tool life prediction in bevel gear Cutting*. Prod. Eng. Res. Devel. Vol 7, pp. 223–231
- [3]. Fritz Klocke, Alexander Klein, 2006. *Tool Life and Productivity Improvement - Through Cutting Parameter Setting and Tool Design in Dry High-Speed Bevel Gear Tooth Cutting*. GEAR TECHNOLOGY, www.geartechnology.com, pp. 41-48
- [4]. Fritz Klocke, Markus Brumm, Stefan Herzhoff, 2012. *Influence of Gear Design on Tool Load in Bevel Gear Cutting*. 5<sup>th</sup> CIRP Conference on High Performance Cutting, pp. 66-71
- [5]. Trần Văn Địch, Nguyễn Trọng Bình, Nguyễn Thế Đạt, Nguyễn Viết Tiếp, Trần Xuân Việt, 2006. *Công nghệ chế tạo máy*. NXB KHKT Hà Nội.
- [6]. Bành Tiến Long, Trần Thế Lục, Trần Sỹ Túy, 2013. *Nguyên lý gia công vật liệu*, NXB Khoa học Kỹ thuật, Hà Nội.
- [7]. Nguyễn Văn Dự, Nguyễn Đăng Bình, 2011. *Qui hoạch thực nghiệm trong kỹ thuật*. NXB Khoa học Kỹ thuật, Hà Nội.

## AUTHORS INFORMATION

**Hoang Xuan Thinh, Pham Van Dong, Tran Ve Quoc**  
Hanoi University of Industry