

# TỐI ƯU MỘT SỐ THÔNG SỐ CỦA ĐÁ MÀI VÀ CHẾ ĐỘ CẮT KHI MÀI HỚT LƯNG RĂNG DAO PHAY BÁNH RĂNG CÔN CONG THEO CHỈ TIÊU NHÁM BỀ MẶT

OPTIMIZATION OF GRINDING WHEEL CHARACTERISTICS AND CUTTING PARAMETERS WHEN RELIEVING GRINDING THE MILLING TEETH FOR MILLING CURVED BEVEL GEAR ACCORDING TO SURFACE ROUGHNESS CRITERION

Nguyễn Huy Kiên<sup>1,\*</sup>,  
Phạm Văn Đông<sup>1</sup>, Trần Vệ Quốc<sup>1</sup>

DOI: <https://doi.org/10.57001/huih5804.2023.012>

## TÓM TẮT

Nhám bề mặt là một trong những chỉ tiêu đánh giá chất lượng bề mặt chi tiết sau khi gia công, đặc biệt nhám bề mặt hớt lưng Acimet ảnh hưởng trực tiếp đến chất lượng lưỡi cắt, tính cắt của răng dao dụng cụ cắt và chất lượng sườn răng của bánh răng côn cong hệ Gleason sau khi gia công.

Việc tối ưu hóa, lựa chọn đá mài Hải Dương, thông số độ hạt đá mài ( $G = 80; 100; 120$ ), độ cứng đá mài ( $H_d$ ) gồm ba mức MV2, MV1, TB2; Vận tốc đá mài  $V_d = 16\text{m/s}, 20\text{m/s}, 24\text{m/s}$  và bước tiến  $S = 2,08\text{m/ph}; 3,12\text{m/ph}; 4,16\text{m/ph}$  là giải pháp đảm bảo hài hòa giữa các thông số đầu vào ( $G, H_d, V_d, S$ ), đáp ứng yêu cầu chất lượng bề mặt acimet theo chỉ tiêu nhám bề mặt hớt lưng của răng dao sau khi gia công.

Sử dụng phương pháp Taguchi xây dựng ma trận thực nghiệm  $L_{27}$ , kết quả tính toán được bộ thông số tối ưu  $G = 120, V_d = 24\text{m/s}, S = 2,08\text{m/ph}$  và  $H_d = \text{MV2}$  với giá trị nhám tối ưu  $R_a = 0,188\mu\text{m}$ ; Thực nghiệm kiểm chứng với các giá trị thông số đầu vào tối ưu, kết quả  $R_a = 0,197\mu\text{m}$ , sai số giữa kết quả tính toán và kết quả thực nghiệm kiểm chứng là 4,56%.

Kết quả nghiên cứu thực nghiệm, cho phép lựa chọn bộ thông số tối ưu  $G = 120, V_d = 24\text{m/s}, S = 2,08\text{m/ph}$  và  $H_d = \text{MV2}$  để gia công mặt hớt lưng acimet răng dao phay bánh răng côn cong hệ Gleason đảm bảo yêu cầu nhám bề mặt và độ tin cậy.

**Từ khóa:** Mài hớt lưng, mặt cong Acimet, Taguchi, ANOVA, tối ưu hóa.

## ABSTRACT

Surface roughness is one of the criteria to evaluate the quality of the part's surface after machining, especially the Archimedean surface roughness directly affects on the quality of the cutting teeth, the cutting properties of the cutting teeth and the quality of the cutting teeth tooth rib of the Gleason bevel gear after machining.

In this study, Hai Duong grinding wheel was selected with the graininess grinding wheel of ( $G = 80, 100, 120$ ) and the grinding wheel hardness of ( $H_d = \text{MV2}, \text{MV1}, \text{TB2}$ ) to machine the bevel gear milling teeth. The cutting parameters were selected including the grinding wheel velocity of ( $V_d = 16\text{m/s}, 20\text{m/s}, 24\text{m/s}$ ) and feedrate of ( $S = 2.08\text{m/min}, 3.12\text{m/min}, 4.16\text{m/min}$ ). The optimization process is carried out to find a solution to ensure a harmonious relationship between the input parameters ( $G, H_d, V_d, S$ ) and to meet the requirement of Acimet surface quality according to the surface roughness criteria of the milling teeth after machining.

Taguchi method is used to design the experimental matrix  $L_{27}$  with 27 experiments. The results showed that the optimal set of parameters is  $G = 120, V_d = 24\text{m/s}, S = 2.08\text{m/min}$ , and  $H_d = \text{MV2}$ . The optimum roughness value of surface roughness ( $R_a$ ) was determined to be  $0.188\mu\text{m}$ . The verification experiments were conducted with the optimal input parameter values, the average value of measured results of surface roughness was  $R_a = 0.197\mu\text{m}$ . The difference between the optimal calculated value and experimental value is 4.56%.

The experimental results show that the optimal set of parameters including  $G = 120, V_d = 24\text{m/s}, S = 2.08\text{m/min}$ , and  $H_d = \text{MV2}$  can be applied when relieving grinding the Archimedean surface of curved bevel teeth of Gleason system gears to ensure the required surface roughness and reliability.

**Keywords:** Relieving grinding, Archimedean surface, Taguchi, ANOVA, optimization.

<sup>1</sup>Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

\*Email: [kiennh@hau.edu.vn](mailto:kiennh@hau.edu.vn)

Ngày nhận bài: 05/01/2023

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 20/02/2023

Ngày chấp nhận đăng: 24/02/2023

**KÝ HIỆU CHÍNH**

Ký hiệu	Ý nghĩa
G	Độ hạt của đá mài
H <sub>d</sub>	Độ cứng của đá mài
V <sub>d</sub>	Vận tốc của đá mài (m/s)
V <sub>ct</sub>	Vận tốc của chi tiết (m/ph)
S	Bước tiến (m/ph)
t	Chiều sâu cắt (mm)
n <sub>ct</sub>	Tốc độ quay của chi tiết (v/ph)
MV1	Độ cứng của đá mài, mức Mềm vừa 1
MV2	Độ cứng của đá mài, mức Mềm vừa 2
TB2	Độ cứng của đá mài, mức Trung bình 2
R <sub>a</sub>	Sai lệch trung bình số học (μm)
D <sub>tb</sub>	Đường kính trung bình của đầu dao (mm)

**1. GIỚI THIỆU**

Mặt cong hót lưng Acsmet được ứng dụng phổ biến trong ngành cơ khí chế tạo, đặc biệt là trong chế tạo dụng cụ cắt, như: các loại dao phay lăn răng, dao phay bánh răng côn cong, ... Mặt cong Acsmet thường được ứng dụng để chế tạo mặt sau của răng dao nhằm tạo ra góc sau không đổi sau mỗi lần mài sắc.

Mặt sau của răng dao cắt bánh răng côn cong được gia công tạo hình trên các máy chuyên dụng hoặc trên máy điều khiển số như máy cắt dây tia lửa điện, trung tâm gia công CNC [5], ... và gia công tinh bằng phương pháp mài hót lưng [7]. Mài hót lưng được thực hiện trên máy tiện hót lưng bằng cách thay bàn dao tiện bằng đầu mài lắp đá mài hót lưng [1]. Nhám mặt sau của răng dao ảnh hưởng lớn đến chất lượng lưỡi cắt của dao, từ đó ảnh hưởng trực tiếp đến nhám sườn răng của bánh răng sau khi gia công [8].

Chất lượng bề mặt chi tiết sau khi mài hót lưng phụ thuộc vào nhiều yếu tố: Hệ thống công nghệ, chế độ cắt, vật liệu gia công, phương pháp mài, thông số đá mài, lực cắt, nhiệt cắt [1, 2, 17, 20, 21],... Khi điều kiện và thiết bị gia công không đổi, muốn chỉ tiêu đầu ra về nhám bề mặt R<sub>a</sub> là nhỏ nhất, cần tối ưu hóa, giải quyết hài hòa giữa các thông số G, H<sub>d</sub>, V<sub>d</sub>, S để đáp ứng yêu cầu chất lượng nhám bề mặt R<sub>a</sub> nhỏ, đảm bảo yêu cầu kỹ thuật cho chi tiết gia công [8].

Trong nghiên cứu này, nhóm tác giả trình bày kết quả nghiên cứu thực nghiệm mài hót lưng mặt sau Acsmet răng dao phay bánh răng côn hệ Gleason loại 9 inch, với 4 thông số được khảo sát gồm độ hạt của đá mài (G), độ cứng đá mài (H<sub>d</sub>), vận tốc đá mài (V<sub>d</sub>), bước tiến (S), mỗi thông số có 3 mức, mục tiêu là đánh giá chất lượng nhám bề mặt. Sử dụng phương pháp Taguchi để xây dựng quy hoạch thực nghiệm. Nhám bề mặt sau khi mài được đo bằng kính hiển vi kỹ thuật số độ chính xác 4K, ký hiệu VHX-7000 của hãng Keyence, sử dụng phương pháp tối ưu Topsis kết hợp Tanguchi-AHP, phân tích ANOVA để giải bài toán tối ưu với chỉ tiêu R<sub>a</sub> là nhỏ nhất.

**2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM**

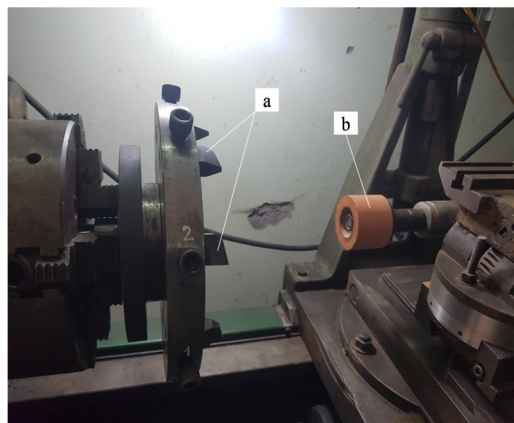
**2.1. Máy gia công**

Lựa chọn máy gia công sử dụng trong thực nghiệm là máy gia công chuyên dụng 15811 do Nga sản xuất (hình 1).



Hình 1. Hình ảnh máy gia công hót lưng 15811

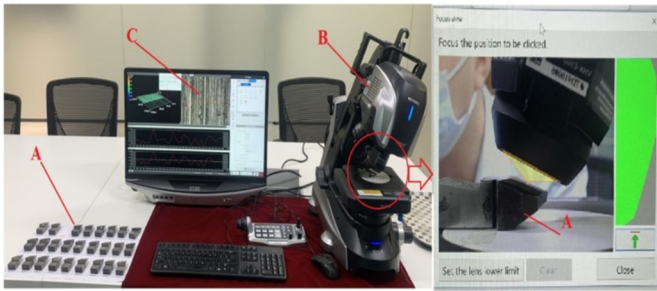
Máy chuyên dụng 15811 (hình 1) được sử dụng trong gia công chế tạo dụng cụ cắt, có các thông số kỹ thuật cơ bản như sau [7, 8]: Động cơ mài: 1,1kW; lượng hót lưng lớn nhất: 18mm; lượng chạy dao dọc: 0,1 ÷ 1 (mm/vòng); tốc độ quay của trục chính: Chiều thuận 2,8 ÷ 63 (vòng/phút), chiều nghịch: 5,6 ÷ 125 (vòng/phút); chuyển động tiến ngang của đá mài để gia công mặt cong hót lưng được điều khiển bằng cơ cấu cam. Thiết lập máy gia công, vị trí gá đặt phôi và đá mài trên máy được mô tả trong hình 2 [8].



Hình 2. Thiết lập máy - Phôi - Đá mài  
a) Phôi; b) Đá mài

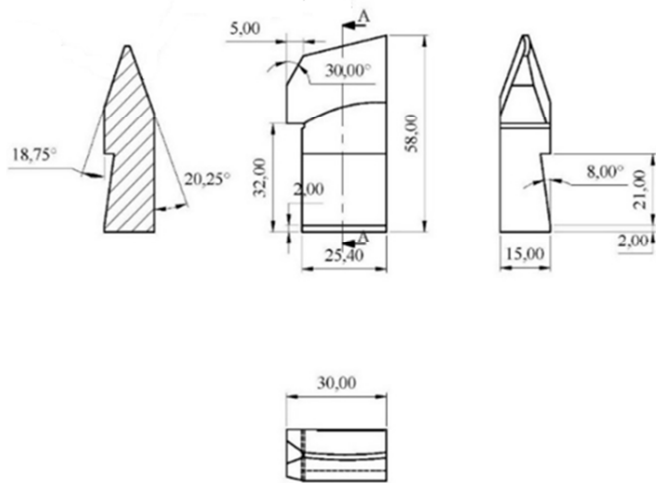
**2.2. Hệ thống đo**

Sử dụng hệ thống kính hiển vi VHX-7000 đo nhám bề mặt sau khi mài [21]. Hình ảnh đo nhám được mô tả trên hình 3. Phôi sau khi gia công (A) được đặt trên bàn máy, đầu đo (B) có thể điều chỉnh các hướng quan sát của kính hiển vi với các góc độ khác nhau đảm bảo hướng quan sát luôn vuông góc với bề mặt cần đo nhám. Giá trị nhám bề mặt của chi tiết cần đo được hiển thị trên màn hình thông qua hệ thống máy tính và phần mềm phân tích dữ liệu (C) [8].

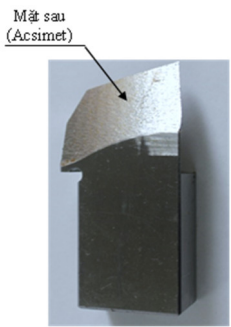


Hình 3. Hình ảnh đo nhám trên kính hiển vi VHX-7000

**2.3. Mẫu thực nghiệm và dụng cụ cắt**



a) Kích thước mẫu



b) Mẫu thí nghiệm

Hình 4. Kích thước mẫu thực nghiệm (răng dao loại 9" hệ Gleason)

- Mẫu (phôi) dùng trong thực nghiệm là răng dao phay bánh răng côn hệ Gleason, kích thước như hình 4a [17], bề mặt gia công là mặt sau Ac-simet của răng dao hình 4b, vật liệu là thép P18 do Nga sản xuất, thành phần hóa học thể hiện trong bảng 1, tính chất cơ lý theo tiêu chuẩn

của nhà sản xuất. Mẫu trước khi mài được tôi đạt độ cứng từ 61 ÷ 64HRC.

Bảng 1. Thành phần hóa học các nguyên tố chính (%)

Nguyên tố	C	W	Mo	Cr	V	Co
Tỷ lệ %	0,76	17,8	1,00	4,16	3,2	0,50

Hình ảnh mẫu thực nghiệm và đồ gá dùng để mài răng dao thể hiện trên hình 5.



a) Mẫu thực nghiệm



b) Đồ gá phôi khi mài

Hình 5. Mẫu răng dao phay bánh răng côn cong

- Đá mài dùng trong thực nghiệm: Mài tinh bằng đá mài dụng cụ cắt do Công ty cổ phần đá mài Hải Dương sản xuất (hình 6).

Thông số chính của đá mài [8]: Hạt mài loại Corindon trắng, độ hạt G = 80, 100, 120; độ cứng H<sub>d</sub> = MV2, MV1, TB2; chất kết dính Bakelit, đường kính đá D<sub>d</sub> = 70mm, bề rộng H = 50mm, đường kính lỗ lắp trục: d = 32mm.





Hình 6. Đá mài dùng trong thực nghiệm

**2.4. Chế độ cắt dùng trong thực nghiệm**

Đối với mài dụng cụ cắt, vận tốc của đá mài thường sử dụng [3]:  $V_d = 18 \div 25$  (m/s);  $V_{ct} = 1 \div 3$  (m/ph). Căn cứ vào khuyến cáo của nhà sản xuất đá mài, vật liệu mài là thép P18, nhóm tác giả lựa chọn thông số chế độ cắt dùng cho quá trình thực nghiệm như sau:

+ Vận tốc cắt của đá mài  $V_d$  [1, 17]: 16m/s, 20m/s, 24m/s.

+ Tốc độ quay của chi tiết ( $n_{ct}$ ): Vận tốc của chi tiết khi mài dụng cụ cắt vật liệu là thép hợp kim dụng cụ [3]:  $1 \div 3$ m/ph; căn cứ vào tốc độ quay trực chính của máy 15811. Chọn số vòng quay trực chính phục vụ thí nghiệm là  $n_{ct} = 2,8$  (v/ph); 4,2 (v/ph) và 5,6 (v/ph).

+ Bước tiến S: Trường hợp mài hớt lưng bước tiến S được tính trên cơ sở tốc độ quay của chi tiết. Bước tiến khi mài tinh mặt cong Acsmet  $S = 0,02 \div 0,07$ m/s [17];

Răng dao (mẫu) gia công loại 9 inch có  $D_{tb} = 236,6$  mm [12]. Vận tốc chi tiết (1):

$$V_{ct} = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \text{ (m/ph)} \tag{1}$$

Từ đó tính được  $S = 2,08; 3,12; 4,16$  (m/ph)

+ Chiều sâu cắt: Mài hớt lưng răng dao là quá trình mài gián đoạn, chiều sâu cắt nhỏ, ổn định, mài nhiều lần [17, 18, 19]. Bảng thí nghiệm thăm dò, nhóm tác giả lựa chọn chiều sâu cắt  $t = 0,002$ mm và không thay đổi trong quá trình gia công.

**2.5. Thiết kế ma trận thực nghiệm**

Từ phân tích lý thuyết và thực hiện các thí nghiệm thăm dò, nhóm tác giả lựa chọn các thông số thực nghiệm thể hiện trong bảng 2.

Bảng 2. Thông số thực nghiệm

TT	Thông số đầu vào	Ký hiệu	Đơn vị	Giá trị thực			Giá trị mã hóa		
				Min	TB	Max			
1	Độ hạt	G	-	80	100	120	1	2	3
2	Vận tốc đá mài	$V_d$	m/s	16	20	24	1	2	3
3	Bước tiến	S	m/ph	2,08	3,12	4,16	1	2	3
4	Độ cứng đá mài	$H_d$	-	MV2	MV1	TB2	1	2	3
5	Chiều sâu cắt	t	mm	0,002 (constan)			-	-	-

Lựa chọn phương pháp Taguchi để thiết kế thực nghiệm. Taguchi là phương pháp sử dụng phổ biến trong nghiên cứu ảnh hưởng của các thông số đầu vào đến thông số đầu ra theo nhiều yếu tố và nhiều mức [20]. Đây là phương pháp có nhiều ưu điểm: Số lượng thí nghiệm ít, tiết kiệm thời gian, dễ dàng xác định được các thông số hợp lý. Nghiên cứu này, với 4 thông số đầu vào, mỗi thông số có 3 mức khác nhau, ma trận thực nghiệm phù hợp là ma trận Taguchi  $L_{27}$  với 27 thực nghiệm thể hiện trong bảng 3 [20].

Bảng 3. Thiết kế thực nghiệm theo phương pháp Taguchi  $L_{27}$

Giá trị mã hóa					Giá trị thực				
TT	G	$V_d$	S	$H_d$	TT	Độ hạt của đá mài G	Vận tốc cắt của đá mài $V_d$ (m/s)	Bước tiến S (m/ph)	Độ cứng của đá mài $H_d$
1	1	1	1	1	1	80	16	2,08	MV2
2	1	1	2	2	2	80	16	3,12	MV1
3	1	1	3	3	3	80	16	4,16	TB2
4	1	2	1	2	4	80	20	2,08	MV1
5	1	2	2	3	5	80	20	3,12	TB2
6	1	2	3	1	6	80	20	4,16	MV2
7	1	3	1	3	7	80	24	2,08	TB2
8	1	3	2	1	8	80	24	3,12	MV2
9	1	3	3	2	9	80	24	4,16	MV1
10	2	1	1	2	10	100	16	2,08	MV1
11	2	1	2	3	11	100	16	3,12	TB2
12	2	1	3	1	12	100	16	4,16	MV2
13	2	2	1	3	13	100	20	2,08	TB2
14	2	2	2	1	14	100	20	3,12	MV2
15	2	2	3	2	15	100	20	4,16	MV1
16	2	3	1	1	16	100	24	2,08	MV2
17	2	3	2	2	17	100	24	3,12	MV1
18	2	3	3	3	18	100	24	4,16	TB2
19	3	1	1	3	19	120	16	2,08	TB2
20	3	1	2	1	20	120	16	3,12	MV2
21	3	1	3	2	21	120	16	4,16	MV1
22	3	2	1	1	22	120	20	2,08	MV2
23	3	2	2	2	23	120	20	3,12	MV1
24	3	2	3	3	24	120	20	4,16	TB2
25	3	3	1	2	25	120	24	2,08	MV1
26	3	3	2	3	26	120	24	3,12	TB2
27	3	3	3	1	27	120	24	4,16	MV2

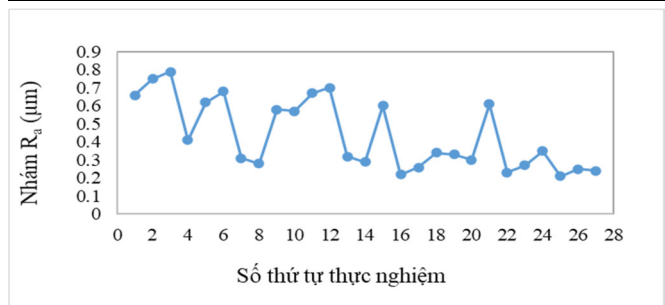
### 3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

#### 3.1. Kết quả thực nghiệm

Tiến hành mài hết lưng các mẫu theo số liệu thực nghiệm (bảng 3), đo nhám trên các mẫu bằng kính hiển vi VHX-7000. Kết quả đo nhám thể hiện trong bảng 4, phân bố nhám bề mặt theo thứ tự thực nghiệm biểu diễn trên hình 7.

Bảng 4. Kết quả thực nghiệm đo nhám  $R_a$  ( $\mu\text{m}$ )

TN	Thông số đầu vào				Chỉ tiêu $R_a$	TN	Thông số đầu vào				Chỉ tiêu $R_a$
	G	$V_d$	S	$H_d$			G	$V_d$	S	$H_d$	
1	80	16	2,08	MV2	0,66	15	100	20	4,16	MV1	0,60
2	80	16	3,12	MV1	0,75	16	100	24	2,08	MV2	0,22
3	80	16	4,16	TB2	0,79	17	100	24	3,12	MV1	0,26
4	80	20	2,08	MV1	0,41	18	100	24	4,16	TB2	0,34
5	80	20	3,12	TB2	0,62	19	120	16	2,08	TB2	0,33
6	80	20	4,16	MV2	0,68	20	120	16	3,12	MV2	0,30
7	80	24	2,08	TB2	0,31	21	120	16	4,16	MV1	0,61
8	80	24	3,12	MV2	0,28	22	120	20	2,08	MV2	0,23
9	80	24	4,16	MV1	0,58	23	120	20	3,12	MV1	0,27
10	100	16	2,08	MV1	0,57	24	120	20	4,16	TB2	0,35
11	100	16	3,12	TB2	0,67	25	120	24	2,08	MV1	0,21
12	100	16	4,16	MV2	0,70	26	120	24	3,12	TB2	0,25
13	100	20	2,08	TB2	0,32	27	120	24	4,16	MV2	0,24
14	100	20	3,12	MV2	0,29						

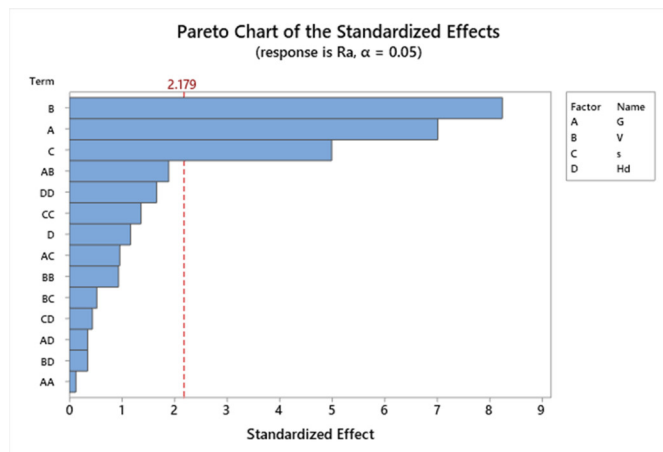


Hình 7. Phân bố độ nhám bề mặt theo thứ tự thực nghiệm

Kết quả thực nghiệm thể hiện trong bảng 4 và hình 7 cho thấy: Đối với miền chế độ cắt và thông số đá mài được lựa chọn, nhám bề mặt gia công với các chế độ khác nhau là khác nhau, nhám thay đổi từ  $0,21 \div 0,79\mu\text{m}$ . Độ nhám này có thể đáp ứng yêu cầu chất lượng bề mặt mài hết lưng răng dao phay bánh răng côn cong [2, 12, 17]. Nhám của mặt sau răng dao càng nhỏ càng tốt vì sau khi phay bánh răng, nhám trên bề mặt răng sẽ nhỏ, chất lượng mặt sườn răng của bánh răng tốt hơn. Nghiên cứu tối ưu các thông số đầu vào để được nhám ( $R_a$ ) nhỏ nhất.

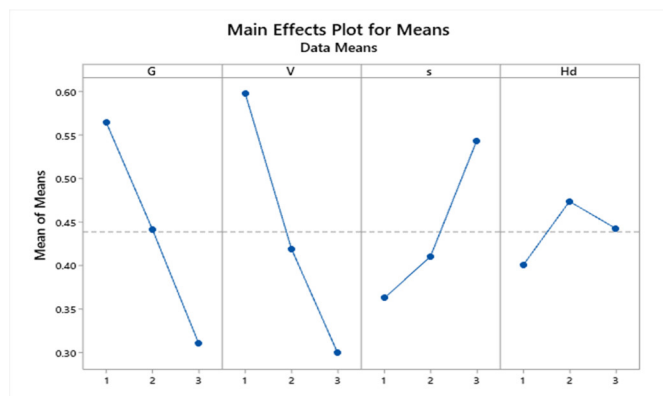
#### 3.2. Đánh giá về mức độ ảnh hưởng của một số thông số đến nhám bề mặt

Từ kết quả đo nhám ( $R_a$ ) mặt cong Acimet sau khi mài (bảng 4), phân tích phương sai ANOVA. Kết quả phân tích, đánh giá ảnh hưởng của một số thông số đá mài (G,  $H_d$ ), chế độ cắt ( $V_d$ , S) đến nhám bề mặt gia công ( $R_a$ ) sau khi mài thể hiện trong biểu đồ Pareto (hình 8).



Hình 8. Biểu đồ Pareto về ảnh hưởng của một số thông số tới nhám  $R_a$

Đồ thị hình 8 cho thấy: Trong 4 thông số đầu vào được lựa chọn, ba thông số ảnh hưởng đáng kể đến nhám bề mặt gia công  $R_a$ , theo thứ tự lần lượt từ cao xuống thấp là độ hạt đá mài (G), vận tốc đá mài ( $V_d$ ) và bước tiến (S). Ảnh hưởng của độ cứng đá mài ( $H_d$ ) đến nhám bề mặt gia công là không đáng kể. Xu hướng ảnh hưởng của một số thông số đầu vào tới nhám bề mặt sau khi gia công biểu thị trên đồ thị hình 9.



Hình 9. Đồ thị xu hướng ảnh hưởng của thông số đầu vào tới nhám

Phân tích đồ thị trên hình 9 cho thấy: trong miền khảo sát của các thông số, khi tăng độ hạt đá mài G hoặc tăng vận tốc cắt  $V_d$  của đá mài thì giá trị nhám bề mặt  $R_a$  đều giảm.

Khi tăng độ hạt, mật độ hạt mài trên một đơn vị diện tích tăng, thể tích hình học của phần hạt mài nhô ra khỏi bề mặt trung bình của lớp hạt mài nhỏ đi làm cho kích thước hình học các vết cào xước của hạt mài trên bề mặt gia công nhỏ đi, vì vậy nhám bề mặt gia công sẽ giảm theo.

Vận tốc cắt ( $V_d$ ) của đá mài tăng, thời gian một hạt mài cào xước trên bề mặt gia công giảm, các biến dạng chưa kịp hình thành, do đó kích thước vết cào xước trên bề mặt gia công có xu hướng nhỏ hơn. Ngược lại, khi vận tốc cắt của đá mài giảm, thời gian một hạt mài cào xước trên bề mặt gia công tăng, biến dạng dẻo sinh ra bởi hạt mài tăng nên kích thước vết cào xước trên bề mặt gia công tăng. Như vậy, khi vận tốc cắt của đá mài giảm sẽ có xu hướng làm tăng giá trị nhám bề mặt gia công.

Khi tăng bước tiến S, nhám bề mặt gia công  $R_a$  tăng, do chiều sâu và kích thước vết cào xước của hạt mài để lại trên bề mặt gia công tăng. Ngoài ra, khi độ cứng của đá mài  $H_d$  tăng, tính cắt của hạt mài tăng, kích thước vết cào xước của hạt mài tăng lên, làm tăng nhám của bề mặt gia công.

**3.3. Xác định giá trị hợp lý của chỉ tiêu nhám bề mặt gia công**

Tỷ lệ S/N hợp nhất một số lần lặp lại thành một giá trị và là đại lượng chỉ ra lượng biến động hiện tại. Tỷ lệ S/N được tính toán để xác định các yếu tố ảnh hưởng chính và các tương tác gây ra sự thay đổi  $R_a$  [20]. Thực hiện giải bài toán tối ưu với chỉ tiêu nhám  $R_a$  “Thấp hơn là tốt hơn” để nâng cao chất lượng bề mặt sau khi mài hớt lưng với nhám  $R_a$  nhỏ nhất.

Bảng 5 cho thấy phân tích ANOVA cho tỷ lệ S/N của  $R_a$  với độ tin cậy 99%. Kết quả thể hiện giá trị F của các thông số: Độ hạt đá mài  $F = 19,68$ ; vận tốc đá mài  $F = 27,02$  và bước tiến  $F = 10,59$ ; qua đó cho thấy ba thông số G,  $V_d$ , S ảnh hưởng mạnh đến hệ số S/N của  $R_a$ . Trong đó, vận tốc đá mài ( $V_d$ ) ảnh hưởng mạnh nhất, tiếp theo là ảnh hưởng của độ hạt (G), bước tiến (S) và độ cứng  $H_d$  của đá ( $F = 2,29$ ). Các cặp tương tác có giá trị F là rất nhỏ ( $F = 0,17 \div 0,77$ ), điều này cho thấy mức độ ảnh hưởng của các cặp tương tác đến hệ số S/N của  $R_a$  là không đáng kể.

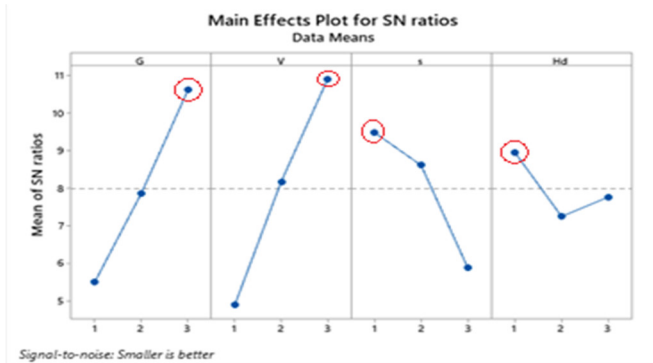
Bảng 5. Phân tích S/N của  $R_a$

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
G	2	119,148	119,148	59,5738	19,68	0,002
$V_d$	2	163,552	163,552	81,7762	27,02	0,001
S	2	64,128	64,128	32,0639	10,59	0,011
$H_d$	2	13,885	13,885	6,9423	2,29	0,182
$G*V_d$	4	9,333	9,333	2,3333	0,77	0,582
$G*S$	4	0,447	0,447	0,1119	0,04	0,997
$V_d*S$	4	2,024	2,024	0,5061	0,17	0,947
Residual Error	6	18,160	18,160	3,0267		
Total	26	390,677				

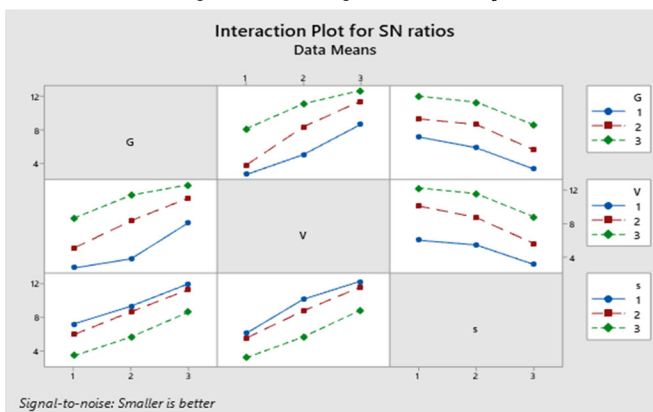
Bảng 6. Thứ tự ảnh hưởng của các thông số đến S/N của  $R_a$

Level	G	$V_d$	S	$H_d$
1	5,485	4,888	9,490	8,960
2	7,863	8,177	8,612	7,246
3	10,626	10,908	5,871	7,768
Delta	5,141	6,020	3,618	1,713
Rank	2	1	3	4

Sự ảnh hưởng của các thông số và các cặp tương tác tại các mức trạng thái khác nhau đến S/N của  $R_a$  được thể hiện trên hình 10, 11. Trong đó, hình 10 là đồ thị biểu diễn sự ảnh hưởng của thông số G,  $V_d$ , S,  $H_d$  đến S/N của  $R_a$  và hình 11 là đồ thị biểu diễn sự ảnh hưởng của các cặp tương tác đến S/N của  $R_a$ . Giá trị S/N của  $R_a$  cao nhất khi: G ở mức 3 ( $G = 120$ );  $V_d$  ở mức 3 ( $V_d = 24\text{m/s}$ ); S ở mức 1 ( $S = 2,08\text{m/ph}$ ) và  $H_d$  ở mức 1 ( $MV2$ ).



Hình 10. Ảnh hưởng của một số thông số đến S/N của  $R_a$



Hình 11. Ảnh hưởng của các cặp tương tác đến S/N của  $R_a$

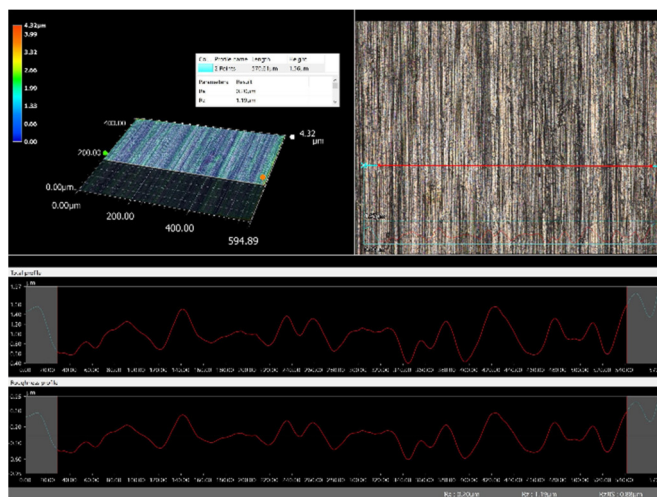
Các thông số có mức ảnh hưởng mạnh sẽ là cơ sở để xác định giá trị tối ưu của chỉ tiêu chất lượng [20]. Các thông số có mức ảnh hưởng không đáng kể đến chỉ tiêu chất lượng sẽ được xem xét là nhiễu. Như vậy, giá trị hợp lý của  $R_a$  được xác định theo công thức (2)[20]:

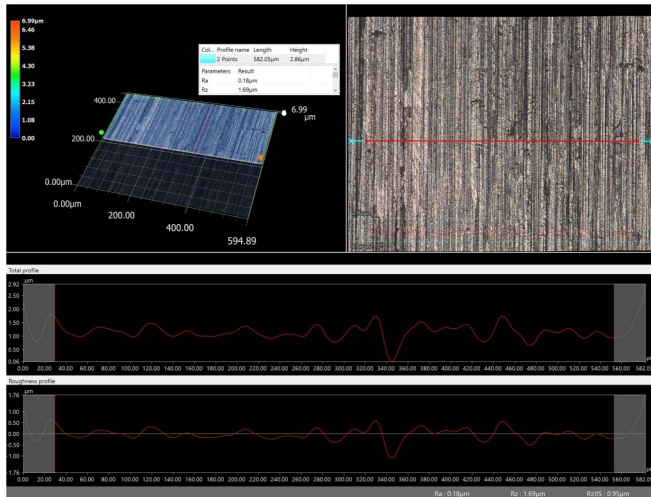
$$R_{a\text{tối ưu}} = \bar{G}_3 + \bar{V}_3 + \bar{S}_1 - 2\bar{T} \tag{2}$$

$$R_{a\text{tối ưu}} = 0,31 + 0,3878 + 0,3622 - 2*0,436 = 0,188\mu\text{m}$$

**3.4. Thực nghiệm với bộ thông số tối ưu**

Thực nghiệm kiểm chứng gồm 3 mẫu với bộ thông số tối ưu:  $G = 120$ ;  $V_d = 24\text{ m/s}$ ;  $S = 2,08\text{ m/ph}$  và  $H_d$  ở mức 1 ( $MV2$ ). Kết quả đo nhám mẫu kiểm chứng thể hiện trên hình 12.





Hình 12. Kết quả đo nhám mẫu thí nghiệm kiểm chứng

Kết quả đo nhám trên 03 mẫu kiểm chứng, giá trị nhám trung bình  $R_a = 0,197\mu\text{m}$ , cụ thể được thống kê trong bảng 7.

Bảng 7. Kết quả thực nghiệm với bộ thông số tối ưu

TT	Thông số tối ưu	Kết quả chỉ tiêu đầu ra $R_a$ ( $\mu\text{m}$ )				Sai số (%)	
		Kết quả tính toán	Kết quả thực nghiệm kiểm chứng				
			Mẫu 1	Mẫu 2	Mẫu 3		Trung bình
1	$G = 120$ $V_d = 24\text{m/s}$ $S = 2,08\text{m/ph}$ $H_d = \text{Mức 1 (MV2)}$	0,188	0,21	0,18	0,20	0,197	4,56

Kết quả cho thấy: Giá trị nhám trong tính toán tối ưu  $R_{a\text{tối ưu}} = 0,188(\mu\text{m})$ , giá trị nhám tối ưu trung bình qua kiểm chứng  $R_a = 0,197(\mu\text{m})$  đều thấp hơn các giá trị đo được trong 27 thí nghiệm đã thực hiện, như vậy kết quả tối ưu các thông số  $G, V_d, S, H_d$  là có ý nghĩa; Sai số giữa chỉ tiêu  $R_a$  tối ưu theo tính toán và kết quả  $R_a$  tối ưu đo được từ thực nghiệm kiểm chứng là 4,56%, sai số tương đối nhỏ, đảm bảo độ tin cậy.

#### 4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu thực hiện tối ưu hóa một số thông số của đá mài ( $G, H_d$ ), chế độ cắt ( $V_d, S$ ) theo chỉ tiêu nhám bề mặt sau khi gia công khi mài hớt lưng mặt sau Accimet răng dao phay bánh răng côn cong. Kết quả nghiên cứu cho thấy:

- Bốn thông số  $G, V_d, S, H_d$  đều ảnh hưởng đến nhám bề mặt gia công ( $R_a$ ) khi mài hớt lưng mặt cong Accimet. Trong đó, mức độ ảnh hưởng của  $V_d$  là lớn nhất, sau đó là  $G$ , tiếp đến là ảnh hưởng của  $S$ . Ảnh hưởng của  $H_d$  đến nhám bề mặt gia công là không đáng kể.

- Trong phạm vi nghiên cứu, khi tăng độ hạt đá mài  $G$  hoặc tăng vận tốc cắt của đá mài  $V_d$  thì giá trị nhám bề mặt  $R_a$  đều giảm. Nếu tăng bước tiến  $S$  thì nhám bề mặt gia công  $R_a$  tăng; tăng độ cứng của đá mài từ mức 1 (MV2) đến mức 2 (MV1) thì giá trị  $R_a$  tăng lên, nhưng nếu tăng đến mức 3 (TB2) thì nhám giảm.

- Bộ thông số tối ưu: Độ hạt của đá mài  $G = 120$ , vận tốc đá mài là  $V_d = 24\text{m/s}$ , bước tiến  $S = 2,08\text{m/ph}$  và độ cứng  $H_d$  của đá mài MV2; Giá trị nhám tối ưu trung bình theo thực nghiệm kiểm chứng  $R_a = 0,197\mu\text{m}$ . Kết quả cho phép sử dụng bộ thông số tối ưu để gia công mài mặt sau Accimet răng dao phay bánh răng côn cong đảm bảo yêu cầu kỹ thuật về chất lượng nhám bề mặt sau khi gia công.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Banh Tien Long, Tran The Luc, Nguyen Chi Quang, 2004. *Công nghệ tạo hình các bề mặt dụng cụ công nghiệp*. Science and Technics Publishing House, Hanoi, Vietnam.
- [2]. Nguyen Trong Binh, Nguyen The Dat, Tran Van Dich, 2008. *Công nghệ chế tạo máy*. Science and Technics Publishing House, Hanoi, Vietnam.
- [3]. Nguyen Ngoc Anh, Phan Dinh Nguyen, Nguyen Ngoc Thai, Ha Van Vui, 1979. *Sơ yếu Công nghệ chế tạo máy*, Vol II, III, IV. Science and Technics Publishing House, Hanoi, Vietnam.
- [4]. Nguyen Huy Kien, Hoang Xuan Thinh, Pham Van Dong, Cao The Anh, 2018. *Studying the effects of cutting mode (S, t) on surface roughness (R<sub>a</sub>) when milling Archimedes on CNC Center Super MC*. The 5<sup>th</sup> National Conference on Science and Technology on Mechanical Engineering - VCME 2018.
- [5]. Nguyen Huy Kien, Pham Van Dong, Hoang Xuan Thinh, Nguyen Truong Giang, Tran Trung Hieu, Nguyen Quoc Dung, 2018. *The effect of cutting velocity (V) and cutting depth (t) on surface roughness (R<sub>a</sub>) when milling archimedes surface on the cnc super mc center*. Journal of Science & Technology, Hanoi University of Industry, Special Issue.
- [6]. Nguyen Huy Kien, Pham Van Dong, Tran Ve Quoc, Nguyen Hong Son, Nguyen Huu Phan, 2019. *Effect of process parameters (V, S, t) on surface roughness (R<sub>a</sub>) in archimedes surface machining by ball nose end mill on Super MC CNC machine*. International Journal of Current Engineering and Technology, Vol. 9, No. 2.
- [7]. Nguyen Huy Kien, Pham Van Dong, Tran Ve Quoc, 2022. *Influence of grinding wheel velocity and feed rate on the curved surface roughness with archimedes reference line in relieving grinding process*. Journal of Science & Technology, Hanoi University of Industry, Vol. 58 - No. 2.
- [8]. Huy Kien Nguyen, Pham Van Dong, Ve Quoc Tran, 2023. *Investigation of influence of grinding wheel and cutting parameters on surface roughness and surface hardening when relieving grinding the gear milling teeth surface based on the Archimedes' spiral*. International Journal of Metrology and Quality Engineering, 14, 1.
- [9]. Pham Van Dong, Hoang Xuan Thinh, Tran Ve Quoc, Nguyen Huu Phan, 2019. *Effect of Cutting Parameters on Surface Roughness of Tooth Side in Gleason Spiral Bevel Gear Processing by Kyocera Solid Alloy End Mills*. International Journal of Engineering Research and Technology. ISSN 0974-3154, Vol. 12, No. 4, pp. 475-481 © International Research Publication House. <http://www.irphouse.com>.
- [10]. Hoang Xuan Thinh, Pham Van Dong, Do Duc Trung, Nguyen Hong Son, Nguyen Huy Kien 2019. *Research on the effects of cutting velocity and depth of cut on the surface roughness of teeth flank when cutting Gleason curved bevel gears by hard alloy cutter head*. International Journal of Mechanical Engineering and Technology (IJMET) Vol. 10, Issue 02, pp.1558-1567, <http://www.iaeme.com/ijmet/issues.asp>.

- [11]. Hoang Xuan Thinh, Pham Van Dong, Tran Ve Quoc, Nguyen Hong Son, Nguyen Huu Phan, 2019. *Research on Effect of Process Parameters (V, S) on Tooth Side Roughness in Gleason Spiral Bevel Gear Machining by Solid Alloy End Mills*. International Journal of Emerging Technologies in Engineering Research (IJETER) Vol. 7, Issue 3, [www.ijeter.everscience.org](http://www.ijeter.everscience.org).
- [12]. Tran The Luc, Trinh Minh Tu, Banh Tien Long. *Thiet ke dung cu gia cong banh rang*. Science and Technics Publishing House, Hanoi, Vietnam.
- [13]. M. Alauddin, M. A. El Baradie v M. S. J. Hashmi, 2005. *Optimization of surface finish in end milling Inconel*. Journal of Materials Processing Technology.
- [14]. I.I. Xemenstenko, V. M. Matyusin, G.N. Xakharov. *Thiet ke dung cu cat kim loai, Vol 2*. Science and Technics Publishing House, Hanoi, Vietnam.
- [15]. J. P. Holman, 2011. *Experimental Methods for Engineers*. Mc Graw-Hill.
- [16]. Faydor L. Litvin, Alfonso Fuentes, 2004. *Gear Geometry and Applied Theory*. Cambridge University Press.
- [17]. M.M. Palei. *Cong nghe che tao dung cu cat*. Science and Technics Publishing House, Hanoi, Vietnam.
- [18]. Marinescu Loan D, Eckart Uhlmann, Brian Rowe W, 2006. *Handbook of machining with grinding wheels*. CRC Press Taylor & Francis Group.
- [19]. Stephen Malkin, Changsheng Guo, 2008. *Grinding technology - Theory and application of machining with abrasives* (Second edition). Industrial Press, New York.
- [20]. Roy R., *A Primer on the Taguchi Method*. New York: Van Nostrand Reinhold.
- [21]. <https://www.keyence.com.vn/products/microscope/digital-microscope/vhx-7000/indexpr.jsp>.

---

**AUTHORS INFORMATION****Nguyen Huy Kien, Pham Van Dong, Tran Ve Quoc**

Hanoi University of Industry