PHÂN TÍCH RUNG ĐỘNG, NHÁM BỀ MẶT KHI TIỆN THÉP CÓ ĐỘ CỨNG CAO BẰNG DỤNG CỤ CẮT GỐM

ANALYSIS OF VIBRATION, SURFACE ROUGH WHEN TURNING HIGH HARD STEEL USING CERAMIC CUTTING TOOLS

Nguyễn Thị Hương

Khoa Cơ khí, Trường Đại học Kinh tế- Kỹ thuật Công nghiệp

Đến Tòa soạn ngày 12/3/2025, chấp nhận đăng ngày 11/4/2025

Tóm tắt: AISI 4340 (34CrNiMo6) sau nhiệt luyện là vật liệu có độ cứng và độ bền kéo cao nên được sử dụng rộng rãi trong sản xuất chế tạo các chi tiết cơ khí và các bộ phận ô tô. Trong quá trình gia công vật liệu trên, rung động ảnh hưởng đáng kể đến chất lượng bề mặt, hiệu suất gia công. Bài báo này phân tích rung động (Vib) và nhám bề mặt (Ra) trong quá trình tiện thép AISI 4340 bằng dụng cụ cắt gốm sử dụng phương pháp Taguchi và phân tích phương sai (ANOVA). Bài báo chỉ ra bộ thông số cắt tối ưu khi tiện cho Vib và Ra là nhỏ nhất, đồng thời cho thấy mức độ ảnh hưởng của từng tham số công nghệ đến rung động và nhám bề mặt. Quy trình này có thể thay thế cho quy trình mài với chi phí và thời gian gia công thấp hơn.

Từ khóa: Rung động, Taguchi, ANOVA, nhám bề mặt, máy tiện.

Abstract: AISI 4340 (34CrNiMo6), after heat treatment, is a material with high hardness and tensile strength, and is therefore widely used in the manufacturing of mechanical components and automotive parts. During the machining process of this material, vibration has a significant impact on surface quality and machining efficiency. This paper analyzes vibration (Vib) and surface roughness (Ra) in the turning of AISI 4340 steel using ceramic cutting tools, applying the Taguchi method and analysis of variance (ANOVA). The study identifies the optimal set of machining parameters that minimize Vib and Ra, and evaluates the influence of each technological parameter on vibration and surface roughness. This turning process has the potential to replace conventional grinding, offering lower machining time and cost.

Keywords: Vibration, Taguchi, ANOVA, Surface roughness, lathe.

1. GIỚI THIỆU

Rung động trong quá trình gia công có ảnh hưởng lớn chất lượng bề mặt, độ chính xác kích thước, hiện tượng mòn dao, làm giảm hiệu suất sản xuất. Do đó, nhằm tối ưu hóa quá trình gia công cần kiểm soát và đảm bảo rung động cũng như độ nhám bề mặt là nhỏ nhất bằng cách sử dụng phương pháp Taguchi và phân tích phương sai (ANOVA) để đánh giá mức độ ảnh hưởng của tham số gia công đối với rung động và nhám bề mặt khi gia công [1].

AISI 4340 (34CrNiMo6) đã nung có độ cứng cao, khó gia công. Vật liệu này được gia công bằng quy trình mài. Để đạt được chất lượng bề mặt mong muốn tương đương với quy trình mài cần có một quy trình công nghệ cải tiến, lựa chọn tối ưu được các tham số gia công. [4].

Dụng cụ cắt có mảnh dao tiện bằng gốm là loại dao tiện gia công với va đập lớn, chống mài mòn, cho chất lượng bề mặt gia công cao. Dao tiện gốm được dùng gia công thép đã nung. Việc lựa chọn dụng cụ cắt phù hợp rất

quan trọng khi tiện vật liệu sau nhiệt luyện, ảnh hưởng trực tiếp đến năng suất, chất lượng gia công.

2. TRANG THIẾT BỊ VÀ VẬT LIỆU THÍ NGHIỆM

2.1. Chuẩn bị trang thiết bị

Máy gia công: Máy tiện DOOSAN Lynx 220 LM với thông số kỹ thuật như sau: hành trình trục X là 175 mm, trục Z là 550 mm, tốc độ quay trục chính là 6000 vòng/phút, chiều dài tối đa có thể tiện là 510 mm, đường kính tiện tối đa là 250 mm.

Dao tiện mảnh dao gồm ký hiệu TPGT 080204 R-W08 với bán kính mũi dao 0,4 mm, thân dao MTJNL 2525 M1604.

2.2. Mẫu thực nghiệm

Phôi được dùng trong thực nghiệm hình trụ đặc có đường kính 33 mm và chiều dài l = 250 mm, đã được khoan lỗ chống tâm. Phôi gia công được làm từ thép AISI 4340 (34CrNiMo6) có thành phần như trong Bảng 1 [4].

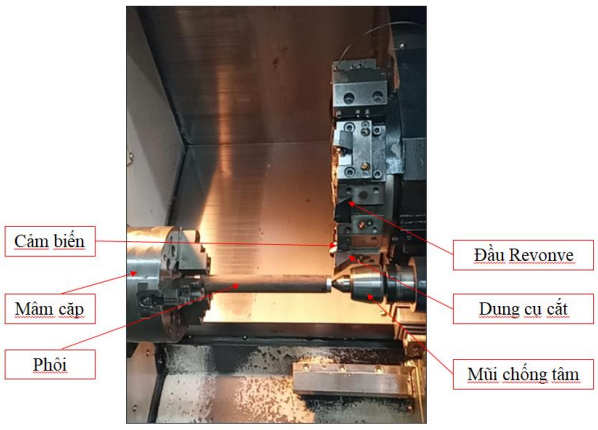
Bảng 1. Thành phần hoá học của vật liệu

Mác thép	C	Mn	P	S	Si	Ni	Cr	Mo
4340	0,38-0,43	0,60-0,80	0,035	0,040	0,15-0,35	1,65-2,00	0,70-0,90	0,20-0,30

Các mẫu được xử lý nhiệt ở 800^{o}C trong 3 đến 4 giờ, sau đó tại 880^{o}C trong 2 giờ và làm mát bằng dầu ở 70^{o}C. Tôi lần thứ hai tại 200^{o}C trong 2 giờ, tiếp đến làm lạnh để đạt được một cấu trúc đồng nhất và loại bỏ ứng suất còn lại. Độ cứng của mẫu kiểm tra được đo sau quá trình tôi và làm mềm là 53 HRC. Sau đó, quá trình tôi lần thứ hai được áp dụng ở nhiệt độ 200^{o}C trong 2 giờ và thu được các mẫu kiểm tra (46 HRC).

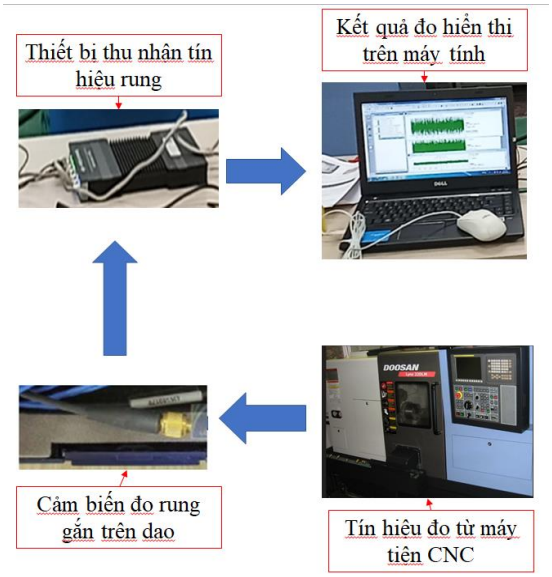
2.2. Thiết bị thực nghiệm và kiểm tra

Đo độ rung của các dụng cụ cắt bằng cảm biến gia tốc được gắn trên đài gá dao, sơ đồ gá đặt trên máy (Hình 1). Sơ đồ thực nghiệm gia công được trình bày trên Hình (2).



Hình 1. Phương án gá đặt gia công trên máy

Sau khi gia công, chi tiết được đo độ nhám bề mặt trên máy Mitutoyo SJ-310 (Hình 3). Độ nhám được đo 4 lần sau đó tính giá trị trung bình rùi mới được đưa vào tính toán.



Hình 2. Sơ đồ phân tích đo rung



Hình 3. Máy đo độ nhám Mitutoyo SJ-310

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Thực nghiệm với các thông số chế độ cắt

Tiến hành 9 thực nghiệm theo ma trận trực giao với 3 thông số ảnh hưởng (Bảng 2) [2].

Bảng 2. Bảng ma trận trực giao

Số thực nghiệm	v	f	t
1	1	1	1
2	1	2	2
3	1	3	3
4	2	1	2
5	2	2	3
6	2	3	1
7	3	1	3
8	3	2	1
9	3	3	2

v: Vận tốc cắt;

f: Lượng tiến dao;

t: Chiều sâu cắt.

Giá trị các thông số công nghệ v, f, t trong thí nghiệm được chọn theo captalog của dao và thích hợp gia công trên máy và vật liệu gia công (Bảng 3) [5].

Bảng 3. Giá trị thông số công nghệ

Các mức	v (m/ph)	f (mm/ vg)	t (mm)
Thấp	180	0,08	0,5
Trung bình	220	0,14	1
Cao	260	0,2	2

Giá trị tỷ lệ tín hiệu trên nhiễu (S/N), ký hiệu là η, được tính theo công thức (1) nhằm đánh giá mức độ ảnh hưởng của các yếu tố đến rung động và nhám bề mặt. Tính giá trị tỷ lệ tín hiệu nhiễu được ghi vào (Bảng 4) [4].

$$\eta_i = \frac{S}{N} = -10\log\left(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} y_1^{\,2}\right) \quad (1)$$

n: Số thực nghiệm (n=3);

y_i: Giá trị cần đo đối với một thực nghiệm.

Bảng 4. Giá trị tỷ lệ tín hiệu nhiễu η

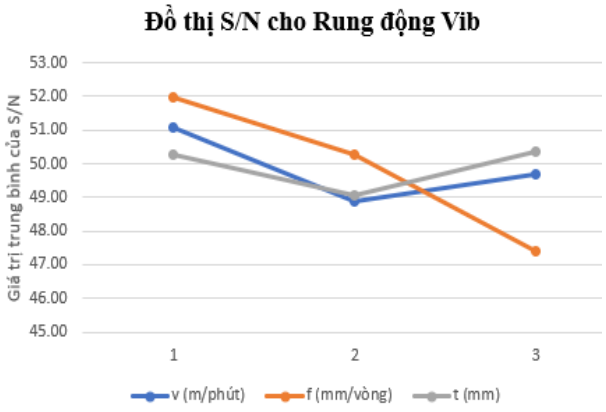
TT	Tốc độ cắt	Bước tiến dao	Chiều sâu cắt	Rung động	Tỷ lệ tín hiệu nhiễu S/N cho rung động	Độ nhám bề mặt	Tỷ lệ tín hiệu nhiễu S/N cho nhám bề mặt
	v(m/phút)	*f(mm/vg)*	*t(mm)*	*Vib(gRMS)*	*Vib*	*Ra (mm)*	*Ra*
1	180	0,08	0,5	0,0022	53,151	0,275	11.213
2	180	0,14	1	0,0030	50,457	0,360	8.8739
3	180	0,20	2	0,0033	49,629	0,550	5.1927
4	220	0,08	1	0,0029	50,752	0,268	11.437
5	220	0,14	2	0,0034	49,370	0,327	9.709
6	220	0,20	0,5	0,0047	46,558	0,520	5.6799
7	260	0,08	2	0,0025	52,041	0,255	11.869
8	260	0,14	0,5	0,0028	51,056	0,310	10.172
9	260	0,20	1	0,0050	46,020	0,472	6.5212

3.1. Thí nghiệm

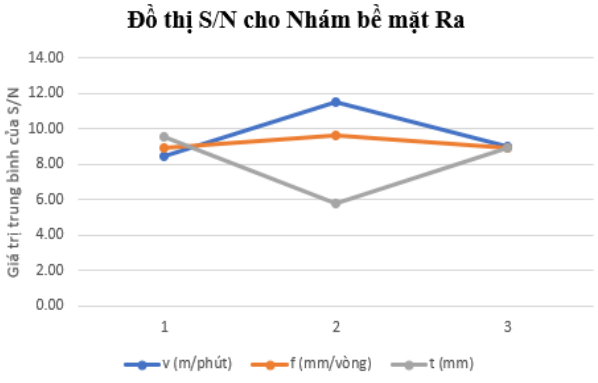
Áp dụng phân tích S/N trên phần mềm Minitab 16 ta có bảng phân tích giá trị trung bình của S/N cho mỗi mức với rung động Vib và nhám bề mặt Ra (Bảng 5) và đồ thị đáp ứng S/N của các yếu tố theo rung động (Vib) và nhám bề mặt (Ra) (hình 4).

Bảng 5. Bảng phân tích giá trị trung bình của S/N cho mỗi mức với rung động Vib và nhám bề mặt Ra

Vib (gRMS)				Ra (mm)		
Cấp độ	*v(mm/phút)*	*f (mm/vg)*	*t(mm)*	*v(mm/phút)*	*f(mm/vg)*	*t (mm*
1	51,08	51,98	50,26	8,43	11,51	9,02
2	48,89	50,29	49,08	8,94	9,58	8,94
3	49,71	47,4	50,35	9,52	5,79	8,93
Mean (m)	49,89	49,89	49,90	8,96	8,96	8,96
Min	48,89	47,4	49,08	8,43	5,79	8,93
m- Min	1,00	2,49	0,82	0,53	3,17	0,03
Thứ hạng	2	1	3	2	1	3



a. Rung động Vib



b. Nhám bề mặt Ra

Hình 4. Đồ thị đáp ứng S/N của các yếu tố theo: a) Rung động; b) Nhám bề mặt

Rung động nhỏ nhất khi giá trị trung bình của S/N cho mỗi mức với rung động Vib nhỏ nhất. Từ Bảng 5 cho thấy thông số ảnh hưởng đến Rung động nhiều nhất là tốc độ tiến dao, sau đó là vận tốc cắt, và cuối cùng là chiều sâu cắt.

Nhám bề mặt nhỏ nhất khi giá trị trung bình của S/N cho mỗi mức với nhám bề mặt Ra nhỏ nhất. Tương tự, với kết quả phân tích trong bảng 5 thông số có ảnh hưởng lớn nhất đến độ nhám bề mặt là lượng chạy dao tiếp theo là vận tốc cắt và sau cùng là chiều sâu cắt.

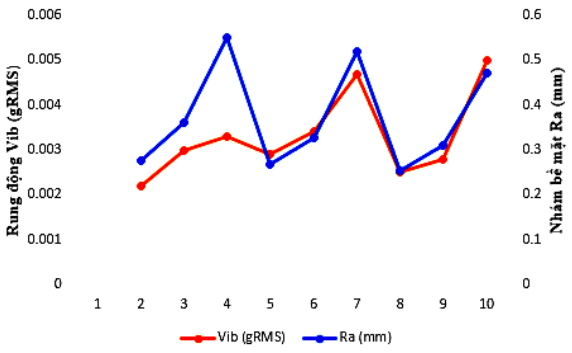
Thông số công nghệ tối ưu cho rung động nhỏ nhất là $v_2f_3t_2$ với v = 220 m/phút, f = 0,2 mm/vg và t = 1 mm, thông số công nghệ tối ưu cho mòn dao nhỏ nhất là $v_1f_3t_3$ với v = 180 m/phút, f = 0,2 mm/vg và t = 2 mm.

Từ bảng ANOVA cho thấy tốc độ chạy dao (f) là thông số tác động lớn nhất đến rung động, với tỷ lệ tác động là 70,83%, tiếp đó là vận tốc cắt (v) là 15,08 %, thông số kém hiệu quả nhất là chiều sâu cắt (t) với 6,94%. Đối với độ nhám bề mặt Ra, vận tốc cắt (v) và lượng tiến dao là hai yếu tố ảnh hưởng chính chiếm 44,3 %, trong khi chiều sâu cắt (t) chỉ chiếm 2,4% và được đánh giá là yếu tố ít ảnh hưởng nhất. Nhám bề mặt tăng khi tốc độ cắt và tốc độ tiến dao tăng, rung động khi cắt tăng khi tốc độ tiến dao tăng. Do đó, việc tối ưu hóa các thông số cắt cần tập trung vào vận tốc cắt và lượng chạy dao để nâng cao chất lượng bề mặt và giảm rung động trong quá trình gia công. Mối tương quan rung động và nhám bề mặt thể hiện trong hình 5. Khi gia công chế

tạo, rung động tăng thì nhám bề mặt tăng và ngược lại, nhám bề mặt giảm khi rung động giảm. Cần lựa chọn chế độ cắt phù hợp và sử dụng vật liệu dao hợp lý khi gia công có thể mang lại hiệu quả cao.

Bảng 6. Bảng ANOVA

Nguồn	Bậc tự do (DF)	Tổng bình phương (SS)	Bình phương trung bình (MS)	Giá trị F	Giá trị P	Sự đóng góp (%)
Rung động Vib						
v	2	0,0000011	0,0000006	2,40	0,294	15,08
f	2	0,0000051	0,0000026	11,10	0,083	70,83
t	2	0,0000005	0,0000003	1,10	0,476	6,94
Nhiễu	2	0,0000005	0,0000002			6,.94
Tổng	8	0,0000072				100
S = 0,000480740		R-Sq = 93,59%			R-Sq(adj) = 74,35%	
Nhám bề mặt Ra						
v	2	0,003654	0,001827	4,92	0,169	44,30
f	2	0,003654	0,049453	133,14	0,007	44,30
t	2	0,000198	0,000099	0,27	0,79	2,40
Nhiễu	2	0,000743	0,000371			9,01
Tổng	8	0,95914				100,00
S = 0,0192729		R-Sq = 99,28%			R-Sq(adj) = 97,13%	



Hình 5. Biểu đồ mối tương quan rung động và nhám bề mặt

4. KẾT LUẬN

Kết quả nghiên cứu cho thấy tốc độ chạy dao (f) là thông số tác động lớn nhất đến rung động, với tỷ lệ tác động là 70,83 %, tiếp đó là vận tốc cắt (v) là 15,08 %, thông số kém hiệu quả nhất là chiều sâu cắt (t) với 6,94 %. Đối với độ nhám bề mặt Ra, các thông số ảnh hưởng đáng kể nhất là vận tốc cắt (v) và lượng chạy dao (f), với tỷ lệ ảnh hưởng đạt 44,3%, trong khi chiều sâu cắt (t) tiếp tục là yếu tố kém ảnh hưởng nhất, chỉ chiếm 2,4%.

Khi gia công thép có độ cứng cao trên máy tiện bằng dụng cụ cắt gốm, thông số công nghệ tối ưu để đạt rung động nhỏ nhất là v = 220 m/phút, f = 0,2 mm/vg và t = 1 mm. Tương tự, để đạt độ nhám bề mặt nhỏ nhất, thông số tối ưu là là vận tốc v = 180 m/phút, f = 0,2 mm/vg và t = 2 mm.

Các kết quả cho thấy hiệu quả và tiềm năng khi sử dụng dụng cụ cắt gốm trong quá trình tiện thép sau nhiệt luyện là giải pháp hợp lý và tiết kiệm chi phí để thay thế hiệu quả cho quy trình gia công chế tạo truyền thống trên máy mài.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Trần Văn Địch, *Nghiên cứu độ chính xác gia công bằng thực nghiệm,* trang 120-200, Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, (2003).

[2] Trần Văn Địch, *Nghiên cứu độ chính xác gia công bằng thực nghiệm,* trang 225-229, NXB Khoa học và Kỹ thuật, (2003).

[3] Trần Văn Khiêm, *Phương pháp Taguchi và ứng dụng trong tối ưu hóa chế độ cắt,* Tạp chí Cơ khí Việt Nam, Số 4, trang 76-82, (2010).

[4] Prashant D Kamble, Atul C Waghmare, *Application of hybrid Taguchi-Grey relational analysis (HTGRA) multi-optimization technique to minimize surface roughness and tool wear in turning AISI4340 steel*, page 1-6, ECS Sensor Plus, (2021).

[5] Viktor Lapshin, *Experimental Complex for Assessing the Effect of Wear on the Temperature and Vibration of the Tool when Turning Metals*, page 1-6, Journal of Physics: Conference Series, (2019).

Thông tin liên hệ: **Nguyễn Thị Hương**

Điện thoại: 0867 001 268 - Email: nthuong.ck@uneti.edu.vn

Khoa Cơ khí, Trường Đại học Kinh tế - Kỹ thuật Công nghiệp.