

ĐO RUNG ĐỘNG ĐỂ ĐÁNH GIÁ CHẤT LƯỢNG BỀ MẶT CHI TIẾT KHI TIỆN THÉP KHÔNG GỈ

VIBRATION MEASUREMENT FOR ASSESSING SURFACE QUALITY OF PARTS
WHEN MACHINING STAINLESS STEEL

Lê Phú Cường

Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Vinh

Email: Phucuongskv@gmail.com

TÓM TẮT

Bài báo này trình bày phương pháp xác định độ nhám bề mặt thông qua việc kiểm soát các thông số rung động của dụng cụ. Trong quá trình thí nghiệm tiện thép không gỉ, sau mỗi lần cắt khoảng 6 phút tiến hành dừng máy đo độ nhám bề mặt, đồng thời rung động của dao được thu thập về máy tính theo thời gian gia công để tiến hành phân tích. Kết quả cho thấy chất lượng bề mặt tỷ lệ thuận với rung động của dao. Các kết quả này cho phép khẳng định các thông số rung của dụng cụ cắt (vận tốc, gia tốc và biên độ rung) phản ánh chính xác chất lượng bề mặt chi tiết. Đây là phương án đánh giá, kiểm soát chất lượng bề mặt có chi phí đầu tư nhỏ hơn, đơn giản hơn với việc phải dừng máy để kiểm tra chất lượng bề mặt như hiện nay.

Từ khóa: Cắt gọt; Mòn; Rung động; Dụng cụ cắt; Nhám bề mặt.

ABSTRACT

This paper presents a method for determining surface roughness by controlling the vibration parameters of the cutting tool. During a stainless steel turning experiment, after each cutting cycle of approximately 6 minutes, the machine was stopped to measure surface roughness, and the tool vibrations were collected by a computer over the machining time for analysis. The results showed that surface quality is directly proportional to tool vibration. These results confirm that the vibration parameters of the cutting tool (velocity, acceleration, and amplitude) accurately reflect the surface quality of the workpiece. This method of evaluating and controlling surface quality is less expensive and simpler than the current method of stopping the machine to check surface quality.

Keywords: Cutting; Wear; Vibration; Cutting tools; Surface roughness.

1. GIỚI THIỆU

Khi gia công thép không gỉ, loại thép có độ dẻo cao, các chi tiết cần có độ chính xác cao và độ nhám bề mặt thấp để đáp ứng yêu cầu làm việc hoặc lắp ghép thường phải trải qua các quá trình gia công cắt gọt phù hợp. Trong quá trình cắt, phoi tạo ra sẽ chuyển động trượt trên mặt trước của dao, còn mặt sau của dao sẽ tiếp xúc và chuyển động tương đối với bề mặt đang gia công của chi tiết. Trong điều kiện áp lực lớn, ma sát khô liệt làm cho nhiệt độ của cả bề mặt phôi và dụng cụ cắt tăng lên rất cao, đồng thời làm cho dao bị mài mòn nhanh chóng [1]. Quá trình mài mòn dụng cụ cắt theo thời gian cắt cũng giống như quá trình mài mòn các chi tiết máy khi làm việc. Ở giai đoạn ban đầu, dụng cụ cắt mòn khá nhanh do áp lực đơn vị trong vùng tiếp xúc trên mặt trước và mặt sau của dụng cụ rất lớn, vì vậy các nhấp nhô tiếp xúc ban đầu trên bề mặt dụng cụ nhanh chóng bị san phẳng. Giai đoạn sau dụng cụ mòn ổn định khi diện tích tiếp xúc lớn, áp lực đơn vị nhỏ, tốc độ mòn của dụng cụ tương đối đều và chậm, thời gian này được chọn để xác định tuổi bền dụng cụ. Giai đoạn cuối là giai đoạn ứng với các điều kiện cắt bất hợp lý, tốc độ mòn của dụng cụ tăng nhanh và dụng cụ không có khả năng làm việc. Muốn tiếp tục làm việc, dụng cụ phải được mài sắc lại, hoặc thay thế bằng dụng cụ mới.

Mòn dao là một quá trình phức tạp, xảy ra các hiện tượng cơ, lý hóa ở các bề mặt tiếp xúc [2]. Khi dao bị mài mòn, hình dạng và thông số hình học phần cắt thay đổi sẽ gây nên các hiện tượng rung động, ảnh hưởng xấu đến quá trình cắt như giảm hiệu suất gia công, giảm độ chính xác hình dáng hình học và tăng độ nhám bề mặt chi tiết gia công [5]. Mòn dụng cụ cắt cũng làm giảm tuổi bền, làm tăng thời gian gia công do phải thay thế dụng cụ nên làm tăng chi phí sản xuất [4]. Ngoài ra, mòn dụng

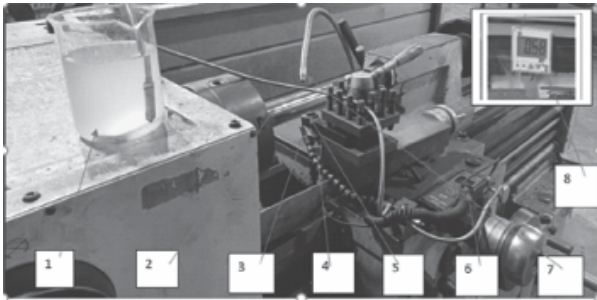
cụ làm gia tăng lực cắt, gây rung động cho hệ thống công nghệ, không chỉ ảnh hưởng đến độ chính xác của sản phẩm mà còn làm giảm tuổi thọ của máy [1]. Do những ảnh hưởng này, đã có nhiều nghiên cứu xác định, dự đoán và điều khiển tuổi bền của dụng cụ để từ đó cải thiện điều kiện làm việc nhằm nâng cao chất lượng sản phẩm cũng như hiệu quả gia công. Chẳng hạn, xác định thông qua mòn và lực tác dụng lên dụng cụ [6], sử dụng các phương pháp thống kê toán học xây dựng hàm hồi quy [1], mô phỏng [4]. Gần đây, một số nghiên cứu đã bắt đầu tiến hành kiểm soát trực tiếp quá trình mòn [2]. Các công cụ hiện đại như cảm biến (sensor) được gắn lên hệ thống gia công, dữ liệu được thu thập và kết nối với máy tính, qua phân tích có thể dự đoán chính xác diễn biến mòn và tuổi bền dụng cụ. Đây cũng là xu thế tất yếu của nền công nghiệp 4.0 hiện nay.

Trong nghiên cứu này, tác giả tiến hành thực nghiệm kiểm soát quá trình mòn của dụng cụ cắt và chất lượng bề mặt chi tiết thông qua việc kiểm soát trực tiếp rung động của hệ thống gia công. Dữ liệu thực nghiệm sẽ được thu thập, phân tích bằng hệ thống máy tính kết nối trực tiếp với hệ thống công nghệ. Kết quả có thể ứng dụng vào sản xuất nhằm dự đoán chính xác tuổi bền dụng cụ cắt, chất lượng bề mặt chi tiết qua rung động, từ đó giúp xác định được thời gian cần thay dao để chủ động giảm thời gian gia công, tăng thời gian sử dụng máy và góp phần giảm giá thành sản phẩm.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Sơ đồ thí nghiệm được thể hiện như trên Hình 1. Phôi gia công được kẹp chặt một đầu trên mâm cặp của máy tiện, đầu còn lại được gá lên mũi chống tâm. Chế độ cắt được sử dụng trong quá trình gia công thử nghiệm, gồm: Vận tốc cắt $v = 70$ m/phút; chiều sâu cắt $t = 0,1$ mm; lượng chạy dao dọc $S = 0,15$ mm/vòng. Sử dụng

Bôi trơn – làm nguội MQL dùng Dầu Lạc để giảm mòn dụng cụ khi gia công.



Hình 1. Sơ đồ thí nghiệm.

*Ghi chú: 1. Dầu Lạc; 2. Phôi;
3. Vòi phun (MQL); 4. Dầu đo của cảm biến;
5. Dao tiện; 6. Thiết bị đo rung động;
7. Vòi tưới tràn; 8. Cảm biến đo lưu lượng.

Mẫu phôi dùng trong thí nghiệm (hình 3) dạng hình trụ đặc có đường kính 55 mm và chiều dài $L = 350$ mm, đã được gia công sơ bộ và khoan lỗ chống tâm. Vật liệu mẫu là thép SUS 304 có thành phần như trong bảng 1. Mẫu thí nghiệm được thường hóa có độ cứng khoảng 90HRB.

Bảng 1. Thành phần hóa học của thép SUS 304

Nguyên tố hóa học	C	Cr	Ni	Mn	Si	P	S
Hàm lượng (%)	<0.08%	17,5-20%	8-11%	<2%	<1% Si	<0,045%	<0,03%

Lưỡi cắt được sử dụng là mảnh dao hợp kim TUNGSTEN CARBIDE, ký hiệu CNMG 120408 PQ 432 của hãng KYOCERA, Đài Loan. Mảnh dao có kích thước $120 \times 120 \times 30$ (mm), bề mặt được phủ nitride titanium TiN. Các thông số góc của lưỡi cắt mảnh dao gồm: góc sau $\alpha = 6^\circ$, góc nâng $\lambda = -6^\circ$ và góc trước $\gamma = -6^\circ$.

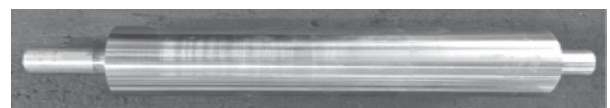


(a) Mảnh dao khi chưa cắt gọt (b) Thân dao có gắn mảnh dao

Hình 2. Mảnh dao (a) và dao tiện

(b) dùng thí nghiệm

Kích thước dụng cụ cắt được kiểm tra định kỳ bằng kính hiển vi đo lường KIM450 của hãng ARCS, Nhật Bản. Kính hiển vi KIM450 có thang đo tuyến tính $0,5\mu\text{m}$ trên trục XYZ, có độ phóng đại quang học của vật kính từ 0,7 đến 4,5. Kính hiển vi gồm hai chế độ chiếu sáng: Chiếu xuyên và chiếu bề mặt.



Hình 3. Phôi làm thí nghiệm

Rung động của hệ thống công nghệ được đo bằng máy phân tích rung Adash A4900 – Vibrio, Cộng hòa Séc. Các thông số đo gồm gia tốc rung a_r (m/s^2), vận tốc rung v_r (m/s), biên độ rung S_r (mm) biến đổi theo thời gian; băng tần và phân tích phổ được đo theo lộ trình. Chức năng thu thập và xử lý dữ liệu Data Collector cho phép quan sát, lưu trữ và phân tích dữ liệu trên máy tính thông qua phần mềm DDS 2018.

3. KẾT QUẢ VÀ BÀN LUẬN

3.1. Kết quả

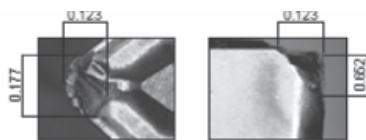
3.1.1. Quá trình mòn của dụng cụ cắt

Diễn biến quá trình mòn mặt trước và mặt sau của mảnh hợp kim được thể hiện như hình 4. Bảng 2 là kết quả đo nhám bề mặt (R_z),

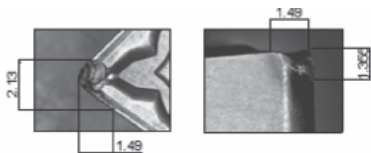
Rz), đo kích thước vết mòn mặt trước (Hb) và mặt sau (Hs) của dụng cụ cắt theo thời gian.

Bảng 2. Các thông số chất lượng bề mặt gia công và lượng mòn dụng cụ theo thời gian

TT	Thời gian	Ra	Rz	Hb	Hs
1	6	1.25	6.23	0.123	0.652
2	12	1.28	6.24	0.649	0.776
3	18	1.19	5.29	0.748	0.822
4	24	0.89	4.75	0.779	0.833
5	30	0.87	5.42	0.783	0.906
6	36	0.72	4.16	1.002	0.923
7	42	0.79	5.06	1.096	0.974
8	48	0.81	5.23	1.106	1.103
9	54	0.92	5.56	1.490	1.355
10	60	1.22	6.23	1.610	1.503



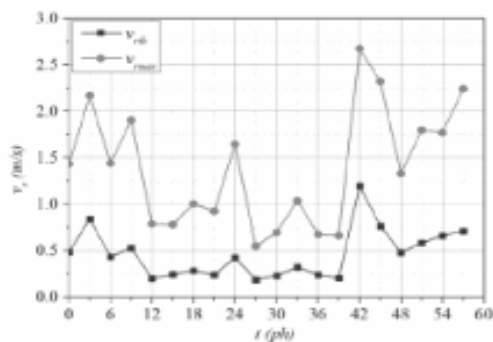
(a) Mảnh dao đã tham gia cắt được 6 phút



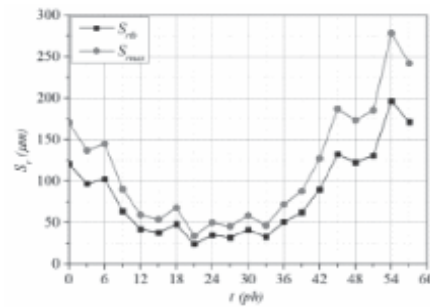
(b) Mảnh dao đã tham gia cắt được 54 phút

Hình 4. Mòn của dụng cụ cắt trong quá trình gia công

3.1.2. Sự thay đổi rung động trong quá trình cắt



Hình 5. Diễn biến vận tốc rung động v_r (m/s) của dụng cụ cắt theo thời gian



Hình 6. Diễn biến gia tốc rung động a_r (m/s²) của dụng cụ cắt theo thời gian

3.2. Thảo luận

Ở giai đoạn ban đầu, trong khoảng thời gian 6 phút, dụng cụ cắt mòn khá nhanh (hình 2a so với hình 4a) nên chất lượng bề mặt chưa tốt. Điều này có thể được giải thích do áp lực đơn vị trong vùng cắt tiếp xúc trên mặt trước và mặt sau dụng cụ rất lớn, các nhấp nhô tiếp xúc ban đầu trên bề mặt dụng cụ nhanh chóng bị san phẳng [6]. Kết quả đo rung cho thấy, trong khoảng 6 phút gia công, cả vận tốc rung trung bình v_{rtb} (hình 5), gia tốc rung trung bình a_{rtb} (hình 6) đều tương đối lớn. Rung động làm cho chất lượng bề mặt sau khi gia công bị ảnh hưởng lớn, nhám bề mặt lớn (bảng 2).

Chất lượng bề mặt tăng lên khi rung động của hệ thống đạt giá trị ổn định sau khoảng 6 phút cắt. Độ ổn định của quá trình cắt được kéo dài khoảng từ phút thứ 6 tới phút 48. Giai đoạn này ứng với các điều kiện mòn ổn định. Khi đó, diện tích tiếp xúc giữa dụng cụ và phôi lớn hơn, áp lực đơn vị nhỏ hơn giai đoạn mòn ban đầu, hệ số ma sát tiếp xúc cũng ổn định hơn. Do vậy tốc độ mòn của dụng cụ tương đối đều và chậm, như được thể hiện từ hình 4a (sau 6 phút gia công) đến hình 4b (sau 48 phút gia công). Giai đoạn này thường ứng với lượng mòn hợp lý Hs của dụng cụ và thời gian ứng với nó được chọn để xác định tuổi bền dụng cụ [3, 5]. Trong giai đoạn ổn định, vận tốc

rung động trung bình của dụng cụ cắt khoảng 0,3m/s (hình 5), gia tốc rung động trung bình của dụng cụ cắt khoảng 3m/s² (hình 6). Các thông số rung ổn định cũng là điều kiện giúp chất lượng bề mặt nhận được tốt hơn, như được thể hiện trên bảng 2 thông qua các đại lượng nhám bề mặt Rz, Rz nhỏ hơn và ổn định theo thời gian.

Khi cắt qua phút thứ 42 thì tốc độ mòn tăng nhanh chóng (bảng 2). Lượng mòn được thể hiện qua so sánh ảnh chụp lưỡi cắt, dễ dàng so sánh sự khác biệt lớn giữa lưỡi cắt sau 6 phút gia công (hình 4a) và sau 54 phút gia công (hình 4b). Kết quả này có thể giải thích do giai đoạn này ứng với các điều kiện cắt bất hợp lý, cụ thể là các thông số hình học dụng cụ cắt thay đổi lớn và không hợp lý, dẫn tới lực cắt và lực ma sát tăng, hệ số ma sát tăng. Do vậy, các thông số rung động trung bình đều tăng đáng kể (như trên các hình 5, 6). Tốc độ mòn của dụng cụ tăng nhanh làm phá hủy dụng cụ nếu tiếp tục cắt, chất lượng bề mặt kém, dụng cụ không còn khả năng làm việc, muốn tiếp tục dụng cụ phải được mài sắc lại.

Từ các kết quả này có thể dễ dàng nhận thấy, chất lượng bề mặt và rung động là hai đại lượng tuyến tính với nhau trong quá trình cắt gọt kim loại. Biết được giá trị của rung động có thể xác định được chất lượng bề mặt chi tiết và nhận định được chính xác giai đoạn mòn dụng cụ cắt đang trải qua. Từ đó có kế hoạch thay thế hoặc mài lại dụng cụ kịp thời. Việc xác định chất lượng bề mặt bằng cách kiểm soát rung động của dụng cụ cắt cho phép sử dụng các cảm biến đơn giản, chi phí đầu tư nhỏ hơn rất nhiều lần so với các loại cảm biến đo lực (thường là các cảm biến độ lực động) vẫn thường được sử dụng để đánh giá mòn và tuổi bền của dụng cụ cắt.

4. KẾT LUẬN

Chất lượng bề mặt và rung động là hai đại lượng tuyến tính với nhau trong quá trình cắt gọt kim loại, đo rung động trong quá trình cắt có thể xác định được chất lượng bề mặt chi tiết và ngược lại, khi biết được giá trị của rung động có thể xác định được chất lượng bề mặt, từ đó chủ động có kế hoạch thay thế hoặc mài lại dụng cụ. Khi rung động tăng nhanh chứng tỏ dụng cụ cắt đã bị mòn cần phải được thay thế hoặc mài lại cho quá trình cắt tiếp theo. Xác định chất lượng bề mặt thông qua đánh giá rung động của dụng cụ cắt cho phép sử dụng các cảm biến đơn giản, tiết kiệm được thời gian chi phí đầu tư nhỏ hơn nhiều so với việc phải dừng lại để kiểm tra chất lượng bề mặt đặc biệt là đối với các loại thép không gỉ có độ dẻo cao.❖

Ngày nhận bài: **03/4/2026**

Ngày phản biện: **14/4/2026**

Tài liệu tham khảo:

- [1]. S. K. Choudhury and P. Srinivas, "Tool wear prediction in turning". Journal of Materials Processing Technology, vol. 153-154, pp. 276-280, 2004.
- [2]. C. J. Rao, D. Sreemulu, and A. T. Mathew, "Analysis of Tool Life during Turning Operation by Determining Optimal Process Parameters". Procedia Engineering, vol. 97, pp. 241-250, 2014.
- [3]. E. Sayit, K. Aslantas, and A. Çiçek, "Tool Wear Mechanism in Interrupted Cutting Conditions". Materials and Manufacturing Processes, vol. 24, no. 4, pp. 476-483, 2009.
- [4]. A. Davoudinejad et al., "Effect of Tool Wear on Tool Life and Surface Finish when Machining DF-3 Hardened Tool Steel". Applied Mechanics and Materials, vol. 315, pp. 241-245, 2013.
- [5]. S. E.Oraby and D. R. Hayhurst, "Tool life determination based on the measurement of wear and tool force ratio variation". International Journal of Machine Tools and Manufacture, vol. 44, no. 12-13, pp. 1261-1269, 2004.
- [6]. W. Ji et al., "A Novel Approach of Tool Wear Evaluation". Journal of Manufacturing Science and Engineering, vol. 139, no. 9, 2017, Art. no. 091015.