

MÒN DỤNG CỤ CẮT ẢNH HƯỞNG ĐẾN RUNG ĐỘNG VÀ NHÁM BỀ MẶT KHI TIỆN

EFFECTS OF ABRASION OF CUTTING TOOLS ON VIBRATION AND SURFACE ROUGHNESS IN TURNING

ThS. Lưu Thủy Chung, TS. Lê Thái Sơn
 Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Vinh

TÓM TẮT

Trong gia công cắt gọt, mòn dụng cụ cắt ảnh hưởng lớn đến chất lượng bề mặt chi tiết cũng như năng suất gia công. Bài báo này trình bày phương pháp xác định lượng mòn, tuổi bền của dụng cụ cắt và chất lượng bề mặt chi tiết gia công thông qua việc kiểm soát các thông số rung động của dụng cụ. Trong quá trình thí nghiệm, sau mỗi lượt cắt khoảng 3 phút, tiến hành dừng máy và xác định lượng mòn, độ nhám bề mặt của dụng cụ, 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, ở giai đoạn mòn ban đầu, dụng cụ bị mòn nhanh, độ nhám bề mặt cao, các thông số rung không ổn định. Sau một khoảng thời gian gia công, lượng mòn dụng cụ ổn định, độ nhám bề mặt thấp và các thông số rung cũng ổn định. Sau đó, lượng mòn tăng nhanh, đồng thời các thông số rung tăng nhanh. 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 ba giai đoạn mòn điển hình của dụng cụ, đồng thời phản ánh được độ nhám bề mặt chi tiết. Đây là phương án đánh giá, kiểm soát tuổi bền dụng cụ có chi phí đầu tư nhỏ, đơn giản hơn so với việc sử dụng cảm biến lực xác định tuổi bền của dụng cụ hiện nay.

Từ khoá: Mòn dụng cụ cắt; Rung động; Nhám bề mặt.

ABSTRACT

In machining, the wear of the cutting tool greatly affects the surface quality of the part as well as the machining productivity. This paper presents a method to determine the wear amount, durability, and surface quality of cutting tools through controlling the vibration parameters of the tool. During the experiment, about 3 minutes after each cut, stop the machine and determine the amount of wear, the surface roughness of the tool, and the vibration of the tool is collected to the computer according to the machining time to proceed analysis practice. The results show that, at the initial wear stage, the tool wears out quickly, the surface roughness is high, and the vibration parameters are unstable. After a period of machining, the tool wear is stable, the surface roughness is low, and the vibration parameters are also stable. After that, the amount of wear increases rapidly, and at the same time, the vibration parameters increase rapidly. These results allow confirming that the vibration parameters of the cutting tool (velocity, acceleration, and vibration amplitude) accurately reflect the three typical wear stages of the tool, while also reflecting the surface roughness

details. This is a method of evaluating and controlling tool life with a small investment cost, simpler than using force sensors to determine the durability of current tools.

Keywords: *Abrasion of cutting tool; Vibration; Surface roughness.*

1. GIỚI THIỆU

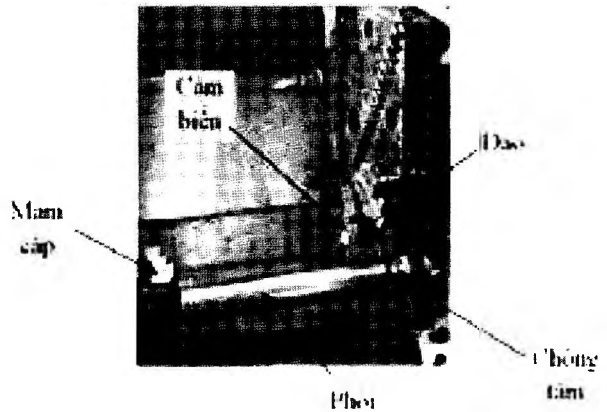
Trong ngành chế tạo máy, các chi tiết cần độ chính xác cao và độ nhám bề mặt thấp để đáp ứng yêu cầu làm việc hoặc lắp ghép thường phải trải qua các quá trình gia công cắt gọt. Trong quá trình cắt, phoi sẽ chuyển động trượt trên mặt trước của dao, mặt sau của dao sẽ tiếp xúc và chuyển động tương đối với bề mặt đang gia công của chi tiết. Trong điều kiện áp lực lớn, ma sát khốc 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 [1-2]. 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. Mài mòn dao là một quá trình phức tạp, xảy ra các hiện tượng cơ, lý hóa ở các bề mặt tiếp xúc [1-2]. 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 [3-5]. Mòn

dụng cụ cắt làm tăng lực cắt [1], làm giảm tuổi bền dụng cụ, tăng thời gian gia công do phải thay thế dụng cụ nên làm tăng chi phí sản xuất [5-6], gây rung động cho hệ thống công nghệ, làm ảnh hưởng đến độ chính xác, chất lượng bề mặt của sản phẩm, làm giảm tuổi thọ của máy [6]. 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 [7], sử dụng các phương pháp thống kê toán học xây dựng hàm hồi quy [8-9], mô phỏng [10]... Gần đây, một số nghiên cứu đã bắt đầu tiến hành kiểm soát trực tiếp quá trình mòn [12, 13]. 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, kiểm soát nhám bề mặt 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, độ nhám bề mặt qua rung động, từ đó giúp xác định được thời gian cần thay dao để chủ động giảm thời gia công, tăng thời gian sử dụng máy và góp phần giảm giá thành sản phẩm.

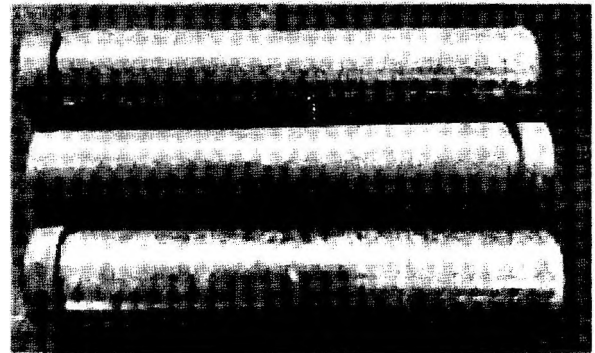
2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

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



Hình 1. Sơ đồ thí nghiệm

Mẫu phôi dùng trong thí nghiệm (hình 2) dạng hình trụ đặc có đường kính $\varnothing 55$ mm và chiều dài $L = 350$ mm, đã được cắt rãnh thoát dao và khoan lỗ chống tâm. Vật liệu mẫu là thép 9XC có thành phần như trong bảng 1. Các mẫu thí nghiệm được thường hóa có độ cứng khoảng 310HV (33HRC).

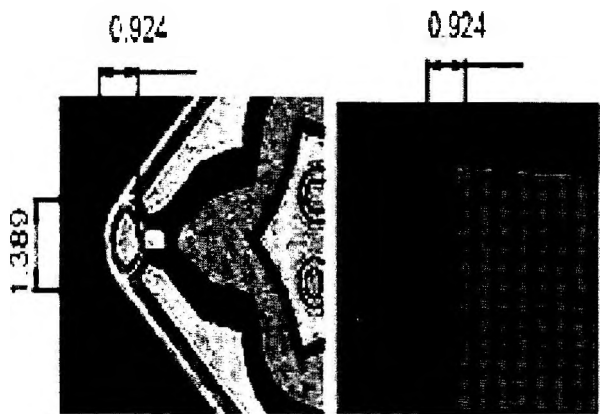


Hình 2. Phôi dùng thí nghiệm

Bảng 1. Thành phần hóa học của thép 9XC:

Nguyên tố hóa học	C	Si	P	Mn	Ni	Cr	Mo	V	Cu	W	Ti	Fe
Hàm lượng (%)	0,8	1,1	0,2	0,5	0,03	1,1	0,02	0,14	0,28	0,17	0,02	95,4

Lưỡi cắt được sử dụng là mảnh dao hợp kim TUNGSTEN CARBIDE (WC), ký hiệu CNMG 120408 PQ 432 của hãng KYOCERA, Đài Loan. Mảnh dao có kích thước 120 x 120 x 30 (mm), bề mặt được phủ Nitride Tintanium (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 3. 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, Đài Loan. 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.

Độ nhám bề mặt được đo bằng máy đo chiều cao nhấp nhô SJ-201 của hãng Mitutoyo (Nhật Bản). Đầu đo được đo bằng phương pháp tiếp xúc, dựa trên độ chênh lệch điện cảm.

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 ($g = 9,81\text{m/s}^2$), vận tốc rung v_r (m/s), biên độ rung S_r (μm) 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

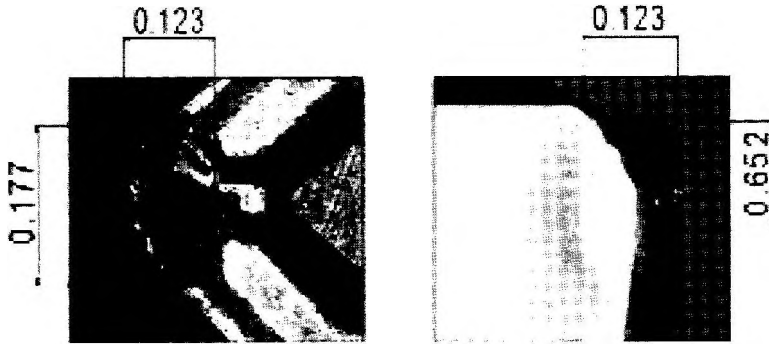
Quá trình mòn của dụng cụ cắt

Diễn biến quá trình mòn mặt trước và mặt sau của mảnh hợp kim cứng được thể hiện như hình 4. Bảng 2 là kết quả đo nhám bề mặt (Rz, Rz), đo kích thước vết mòn mặt trước (Hb) và mặt sau (Hs) của dụng cụ cắt theo thời gian.

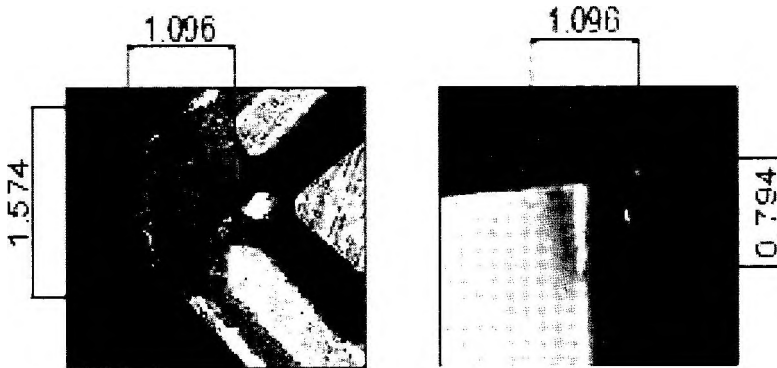
Bảng 2. Các thông số chất lượng bề mặt gia công và lượng mòn dụng cụ theo thời gian:

TT	Thời gian	Ra	Rz	Hb	Hs
1	6	1.25	6.23	0.123	0.652
2	12	1.48	7.04	0.649	0.776
3	18	1.39	5.99	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	0.93	5.01	1.002	0.923

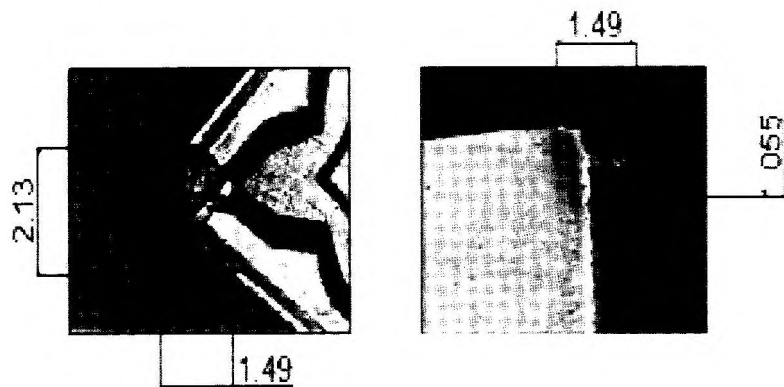
7	42	0.95	5.06	1.096	0.974
8	48	0.91	4.23	1.106	1.103
9	54	0.72	4.16	1.490	1.355
10	60	1.22	6.23	1.610	1.503



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

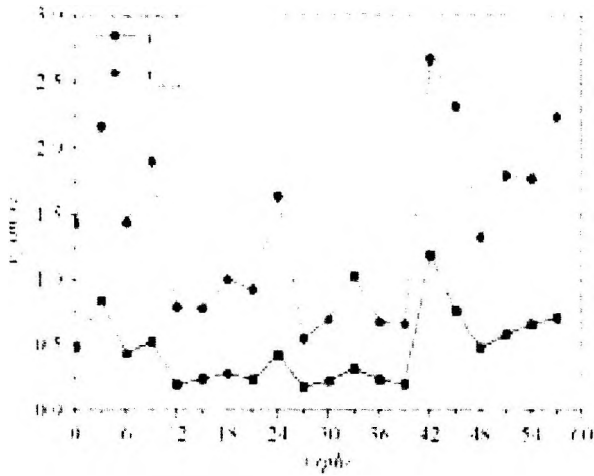


(b) Mảnh dao đã tham gia cắt được 42 phút

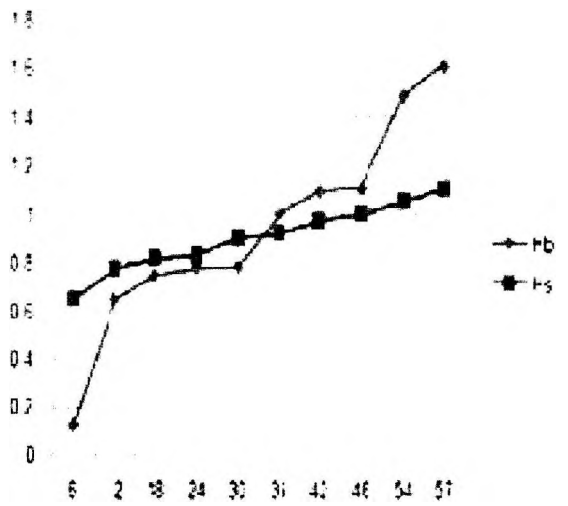


(c) Mảnh dao đã tham gia cắt được 54 phút

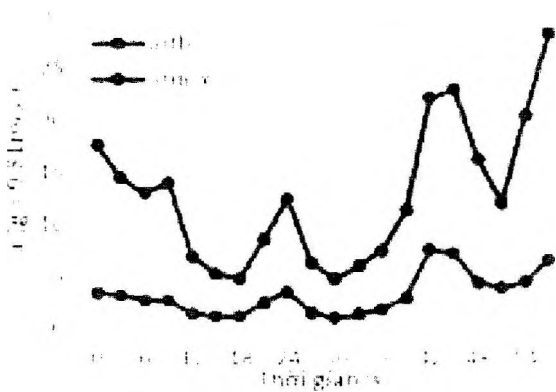
Hình 4. Diễn biến quá trình mòn dao theo thời gian



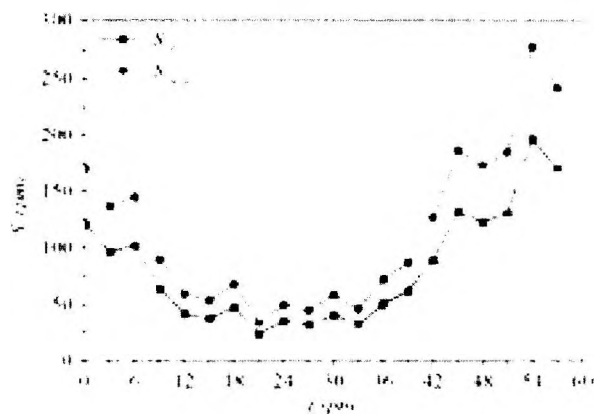
Hình 5. Diễn biến vận tốc rung động v_r (m/s) của dụng cụ cắt theo thời gian



Hình 8. Mòn dụng cụ cắt trong quá trình gia công



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



Hình 7. Diễn biến biên độ rung động S_r (μm) của dụng cụ cắt theo thời gian

3.2. Thảo luận

Ở giai đoạn mòn ban đầu, trong khoảng thời gian khoảng 6 phút, dụng cụ cắt mòn khá nhanh (hình 4a so với hình 3a). 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 [1-12].

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) và biên độ rung trung bình S_r (hình 7) đều tương đối lớn. Rung động làm cho chất lượng bề mặt sau khi gia công bị ảnh hưởng, nhám bề mặt lớn (hình 8).

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 42. 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 42 phút gia công). Giai đoạn này thường ứng với lượng mòn hợp lý H_s của dụng cụ và thời gian ứng với nó được chọn để xác định tuổi bền dụng cụ [13-15]. 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 $3m/s^2$ (hình 6) và biên động rung động đạt được khoảng $30\mu m$ (hình 7). 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 R_z , R_x 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 42 phút gia công (hình 4b) và sau 54 phút gia công (hình 4c). 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: góc sau α âm, 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, 7), chất lượng bề mặt giảm đi rõ rệt, độ nhám tăng nhanh. Tốc độ mòn của dụng cụ tăng nhanh làm phá hủy dụng cụ nếu tiếp tục cắt, 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, mòn dụng cụ cắt, độ nhám bề mặt và rung động là các 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 lượng

mòn, độ nhám bề mặt 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 mòn dụng cụ 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, độ nhám bề mặt và tuổi bền của dụng cụ cắt.

4. KẾT LUẬN

Mòn dụng cụ cắt, độ nhám bề mặt và rung động là các đại lượng tuyến tính với nhau trong quá trình cắt gọt kim loại, đo mòn dụng cụ cắt có thể xác định được rung động, độ nhám bề mặt trong quá trình cắt. Ngược lại, biết được giá trị của rung động có thể xác định được mòn dụng cụ cắt, độ nhám bề mặt, từ đó chủ động có kế hoạch thay thế hoặc mài lại dụng cụ. Khi rung động, nhám bề mặt 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 mòn dụng cụ, chất lượng bề mặt thông qua đánh giá rung động của dụng cụ cắt cho phép sử dụng các cảm biến đơn giản, chi phí đầu tư nhỏ hơn nhiều so với các loại cảm biến đo lực vẫn thường được sử dụng trong thực tế mà vẫn đảm bảo độ chính xác yêu cầu.❖

Ngày nhận bài: 08/02/2022

Ngày phản biện: 18/02/2022

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Thai son le, Dang Binh Nguyen, Minh Duc Tran, Vun Cuong Nguyen, "An Investigation on Effect of Characteristics of the Peanut oil MQL on Tool life in Hard turning 9CrSi steel", International Journal of Machining and Machinability of Materials, Vol.13, No.4, 2013, p428-438.

- [2]. Choudhury, S.K. and P. Srinivas, "Tool wear prediction in turning", *Journal of Materials Processing Technology*, Vol 153-154, 2004, p. 276-280.
- [3]. Rao, C.J., D. Sreemulu, and A.T. Mathew, "Analysis of Tool Life during Turning Operation by Determining Optimal Process Parameters", *Procedia Engineering*, Vol 97, 2014, p. 241-250.
- [4]. Sayit, E., K. Aslantas, and A. Çiçek, "Tool Wear Mechanism in Interrupted Cutting Conditions", *Materials and Manufacturing Processes*, Vol. 24(4), 2009, p. 476-483.
- [5]. Li, B., "A review of tool wear estimation using theoretical analysis and numerical simulation technologies", *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, Vol. 35, 2012, p. 143-151.
- [6]. Davoudinejad, A., et al., "Effect of Tool Wear on Tool Life and Surface Finish when Machining DF-3 Hardened Tool Steel". *Applied Mechanics and Materials*, 2013. 315: p. 241-245.
- [7]. Oraby, S.E. 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(12-13), 2004, p.1261-1269.
- [8]. 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.
- [9]. Ahmad, M.A.F., et al., "Development of Tool Wear Machining Monitoring Using Novel Statistical Analysis Method, I-kaz™", *Procedia Engineering*, Vol. 101, 2015, p. 355-362.
- [10]. Shi, Z., et al., "Evaluation of tool wear and cutting performance considering effects of dynamic nodes movement based on FEM simulation", *Chinese Journal of Aeronautics*, Vol. 34(4), 2021, p.140-152.
- [11]. A. Sharma, D. Datta, and R. Balasubramaniam, "Prediction of tool wear constants for diamond turn machining of CuBe", *Journal of Micromanufacturing*, vol. 4, no. 1, pp. 18-26, 2021.
- [12]. Liu, Y., et al., "A Novel Method for Tool Identification and Wear Condition Assessment Based on Multi-Sensor Data", *Applied Sciences*, Vol. 10(8), 2020, p. 2746.
- [13]. Lapshin, V.P. and V.V. Khristoforova, "The relationship between the vibration energy of cutting and the wear resistance of the cutting wedge", *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Vol. 900. 2020: p. 012003.
- [14]. Yang, L., et al., "Theoretical and micro simulation study on cutting temperature of SiCp/Al by ultrasound vibration cutting", *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Vol. 892, 2020, p. 012073.
- [15]. OnurÖzbek and HamitSaruhan (2020) "Original Article The effect of vibration and cutting zone temperature on surface roughness and tool wear in eco-friendly MQL turning of AISI D2", *Journal of Materials Research and Technology*, Volume 9, Issue 3, May–June 2020, Pages 2762-2772.