

NGHIÊN CỨU, ĐÁNH GIÁ CHẤT LƯỢNG BỀ MẶT CHI TIẾT KHI PHAY CÓ SỰ HỖ TRỢ CỦA RUNG SIÊU ÂM

RESEARCH AND EVALUATION OF SURFACE QUALITY OF MACHINED PARTS WITH ULTRASONIC VIBRATION-ASSISTED MILLING

Trương Minh Đức, Nguyễn Tuấn Hưng

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

TÓM TẮT

Nghiên cứu này điều tra và đánh giá chất lượng bề mặt của các chi tiết gia công trong quá trình phay được hỗ trợ bởi rung động siêu âm. Phay có hỗ trợ siêu âm (UAM) là một kỹ thuật gia công tiên tiến tích hợp các rung động tần số cao vào quy trình phay thông thường để nâng cao hiệu suất. Nghiên cứu tập trung vào việc kiểm tra, đánh giá chất lượng bề mặt khi gia công có hỗ trợ rung siêu âm và gia công thông thường. Qua hàng loạt thử nghiệm, có thể đánh giá phương pháp rung siêu âm có chất lượng bề mặt tốt hơn phương pháp gia công thông thường. Các phát hiện cho thấy rằng việc áp dụng rung động siêu âm giúp cải thiện đáng kể độ hoàn thiện bề mặt, giảm mài mòn dụng cụ và nâng cao độ chính xác của các bộ phận gia công so với các phương pháp phay truyền thống. Nghiên cứu này góp phần nâng cao sự hiểu biết về UAM và ứng dụng công nghiệp nhằm đạt được chất lượng bề mặt trong gia công chính xác.

Từ khóa: Phay có hỗ trợ siêu âm; Chất lượng bề mặt; Độ nhám bề mặt; Độ chính xác gia công; Độ rung siêu âm; Thông số phay; Độ mòn dụng cụ; Gia công chính xác.

ABSTRACT

This research investigates and evaluates the surface quality of machined parts during ultrasonic vibration-assisted milling. Ultrasonic-assisted milling (UAM) is an advanced machining technique that integrates high-frequency vibrations into conventional milling processes to enhance performance. The research focuses on testing and evaluating surface quality when machining with ultrasonic vibration support and conventional machining. Through a series of tests, it can be evaluated that the ultrasonic vibration method has better surface quality than the conventional machining method. The findings show that applying ultrasonic vibration significantly improves surface finish, reduces tool wear, and enhances the precision of machined parts compared to traditional milling methods. This study contributes to improving the understanding of UAM and its industrial application to achieve surface quality in precision machining.

Keywords: Ultrasonic-assisted milling; Surface quality; Surface roughness; Machining accuracy; Ultrasonic vibrations; Milling parameters; Tool wear; Precision machining. 

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong ngành công nghiệp chế tạo, chất lượng bề mặt của các chi tiết gia công đóng vai trò quan trọng, ảnh hưởng trực tiếp đến tính năng và tuổi thọ của sản phẩm. Các phương pháp gia công truyền thống mặc dù đã đạt được những tiến bộ đáng kể nhưng vẫn gặp nhiều hạn chế, đặc biệt là khi gia công các vật liệu cứng hoặc khi yêu cầu độ chính xác cao. Để khắc phục những hạn chế này, công nghệ phay có sự hỗ trợ của rung siêu âm (UAM) đã được phát triển và ứng dụng rộng rãi. UAM là kỹ thuật gia công tiên tiến kết hợp rung động tần số cao vào quá trình phay thông thường nhằm cải thiện hiệu suất gia công. Mặc dù UAM đã được nghiên cứu và áp dụng trong nhiều lĩnh vực, vẫn cần có những nghiên cứu chi tiết và toàn diện để đánh giá cụ thể hiệu quả của phương pháp này đối với chất lượng bề mặt chi tiết. Việc hiểu rõ hơn về cách thức rung siêu âm ảnh hưởng đến quá trình gia công và kết quả bề mặt sẽ giúp tối ưu hóa các thông số gia công, nâng cao chất lượng sản phẩm và giảm chi phí sản xuất.

Bài báo này tập trung nghiên cứu và đánh giá chất lượng bề mặt chi tiết khi phay có sự hỗ trợ của rung siêu âm, so sánh với phương pháp phay thông thường. Thông qua các thí nghiệm và phân tích kết quả, bài báo sẽ làm sáng tỏ những ưu điểm của phương pháp UAM, cung cấp cơ sở khoa học và thực tiễn cho việc ứng dụng công nghệ này trong ngành công nghiệp chế tạo. Năm 2019, V.S. Sohna và cộng sự đã nghiên cứu ảnh hưởng của rung siêu âm đến chất lượng bề mặt và độ mòn của dao cụ trong quá trình gia công hợp kim Ti-6Al-4V [1], cũng trong năm này thì tác giả R. Kozak và cộng sự cũng nghiên cứu về tác động của rung siêu âm đến đặc tính bề mặt và lực cắt trong quá trình gia công vật liệu khó cắt [2]. L. Lu và

cộng sự thì tập trung vào việc nghiên cứu cải thiện chất lượng bề mặt sản phẩm và tăng tốc quá trình gia công bằng rung siêu âm trong quá trình tiện vật liệu Al6061 [3], Rudranarayan Kandi và cộng sự đã mô phỏng lực cắt và nhiệt ở đầu dụng cụ ảnh hưởng đến độ nhám bề mặt cũng như một số tác giả khác cũng đã chứng minh rung siêu âm làm cho lực cắt giảm đi đáng kể và cải thiện được chất lượng bề mặt [4], [5], [6].

2. NGUYÊN LÝ HỖ TRỢ RUNG SIÊU ÂM

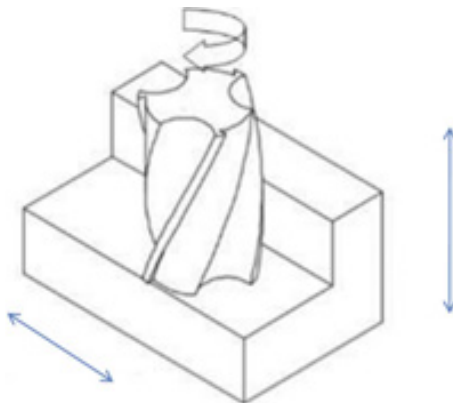
UVM dọc trục là công nghệ gia công dựa trên phay thông thường (CM) với sự hỗ trợ của rung động siêu âm phối rung dọc theo hướng nạp. Trong nghiên cứu này, dao động siêu âm với tín hiệu hình sin được tác động lên phôi, có thể làm cho phôi dao động với tần số cao và biên độ thấp trong quá trình gia công.

Nguyên lý hoạt động của phương pháp gia công phay với sự giúp đỡ của rung siêu âm (ultrasonic vibration-assisted milling) là sử dụng dao cắt để cắt chất liệu trong khi áp dụng rung siêu âm có tần số cao.

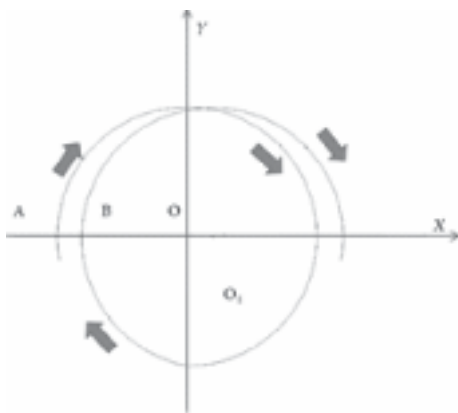
Khi dao cắt tiếp xúc với bề mặt gia công, rung siêu âm được truyền vào phôi và tạo ra dao động nhỏ, tăng cường khả năng cắt của dao. Với rung siêu âm, lực cắt trở nên nhỏ hơn và dễ dàng hơn để dao cắt bị mài mòn và giảm độ bền. Ngoài ra, áp dụng rung siêu âm cũng giúp tạo ra bề mặt gia công mịn hơn, giảm độ xước và cải thiện chất lượng sản phẩm.

Các tham số quan trọng trong quá trình phay có sự trợ giúp đỡ của rung siêu âm bao gồm tần số rung siêu âm, biên độ dao động, tốc độ cắt, độ sâu cắt và độ dày của lớp cắt. Việc điều chỉnh các tham số này sẽ ảnh hưởng đến hiệu quả của phương pháp gia công này.

Như trong hình 1, dao phay đứng dùng để phân tích quá trình phay, quỹ đạo đầu dao là một đường cong xyclo, như hình 2, trong đó A là điểm bắt đầu của quá trình cắt, O là tâm dao phay trong thời điểm này. Trong một chu kỳ cắt, điểm chạy dao đạt đến điểm B và tâm dao di chuyển đến điểm O₁, sau đó khoảng cách từ điểm A đến điểm B là bước tiến dao trên mỗi vòng quay.



Hình 1. Hướng rung động chính trong quá trình phay có hỗ trợ rung siêu âm



Hình 2. Đường đi của dao phay một cạnh trong 1,5 chu kỳ

Trong hình 2, tốc độ tiến dao và thời gian cắt có thể ảnh hưởng trực tiếp đến quỹ đạo chuyển động của tâm dao phay. Bên cạnh đó, quỹ đạo đầu dao còn bị ảnh hưởng bởi tốc độ trục chính và bán kính dao phay.

Phương trình quỹ đạo của tâm dao phay là:

$$\begin{aligned}x_0 &= f_z \cdot N \cdot n \cdot t, \\y_0 &= 0.\end{aligned}$$

Phương trình quỹ đạo của mũi dao là Nth:

$$\begin{aligned}x_n &= f_z \cdot N \cdot n \cdot t + r \cdot \sin(\omega \cdot t - n \cdot \varphi), \\y_n &= r \cdot \cos(\omega \cdot t - n \cdot \varphi),\end{aligned}$$

Trong đó:

- f_z là bước tiến dao trên mỗi răng;
- n là tốc độ trục chính;
- t là thời gian cắt;
- r là bán kính dao phay;
- ω là tần số góc quay của dao;
- φ là góc giữa các răng liền kề;
- N là số của các cạnh cắt.

Dao phay loại 3 cạnh được xem xét, do đó $n = 0, 1$ và 2 . Để quan sát chuyển động của lưỡi dao trong quá trình phay một cách trực quan hơn, tốc độ tiến dao được đặt là 40 mm/phút và bán kính dao là 8 mm.

Ngoài ra, phương trình quỹ đạo của tâm dao phay là:

$$\begin{aligned}x_0 &= f_z N n t + A \sin(2\pi f t + \psi), \\y_0 &= 0.\end{aligned}$$

Phương trình quỹ đạo của mũi dao là:

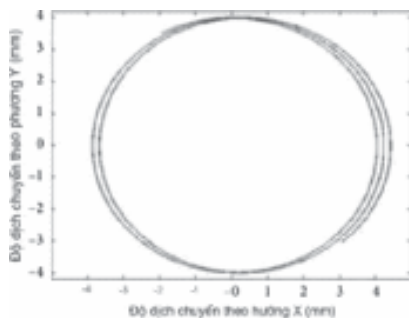
$$\begin{aligned}x_n &= f_z N n t + A \sin(2\pi f t + \psi) + r \sin(\omega t - N\phi), \\y_n &= r \cos(\omega t - N\phi),\end{aligned}$$

Trong đó:

- A là biên độ dao động;
- f là tần số dao động;
- Ψ là góc pha ban đầu của tín hiệu dao động.



Quỹ đạo phay có hỗ trợ rung động của một trong các mũi dao đơn được mô phỏng bằng Matlab như thể hiện trong Hình 3. Công việc này chủ yếu tập trung vào rung động hướng tiến dao, bao gồm ảnh hưởng của biên độ rung siêu âm, tiến dao trên mỗi răng và tốc độ trục chính đối với lực phay, độ chính xác gia công phôi và độ chính xác kích thước.



Hình 3. Quỹ đạo của dao

Gia công phay có hỗ trợ của rung siêu âm dọc trục là công nghệ gia công dựa trên phay thông thường với sự hỗ trợ của rung động siêu âm phôi rung dọc theo hướng chuyển động. Trong nghiên cứu này, dao động siêu âm với tín hiệu hình sin được tác động lên phôi, có thể làm cho phôi dao động với tần số cao và biên độ thấp trong quá trình gia công.

Nguyên lý hoạt động của phương pháp gia công phay với sự giúp đỡ của rung siêu âm (ultrasonic vibration-assisted milling) là sử dụng dao cắt để cắt chất liệu trong khi áp dụng rung siêu âm có tần số cao.

Khi dao cắt tiếp xúc với bề mặt gia công, rung siêu âm được truyền vào phôi và tạo ra dao động nhỏ, tăng cường khả năng cắt của dao. Với rung siêu âm, lực cắt trở nên nhỏ hơn và dễ dàng hơn để dao cắt bị mài mòn và giảm độ bền. Ngoài ra, áp dụng rung siêu âm cũng giúp tạo ra bề mặt gia công mịn hơn, giảm độ xước và cải thiện chất lượng sản phẩm.

Các tham số quan trọng trong quá trình phay có sự trợ giúp đỡ của rung siêu âm bao gồm tần số rung siêu âm, biên độ dao động, tốc độ cắt, độ sâu cắt và độ dày của lớp cắt. Việc điều chỉnh các tham số này sẽ ảnh hưởng đến hiệu quả của phương pháp gia công này.

3. NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM

- Lắp đặt hệ thống rung siêu âm lên máy phay CNC OKK, kết nối đầu rung siêu âm với nguồn phát siêu âm.

- Hệ thống rung siêu âm được kẹp chặt trên eto, phôi được kẹp chặt như trên hình vào đồ gá và rung động siêu âm được truyền trực tiếp vào phôi.

* Thông số kỹ thuật

• Nguồn phát siêu âm:

- + Công suất: 1,5kW;
- + Điện áp: 220V;
- + Trọng lượng 6kg;
- + Xuất xứ: Trung Quốc.

• Đầu phát sóng siêu âm:

- + Công suất: 60W;
- + Tần số phát sóng siêu âm: 20kHz;
- + Trọng lượng: 1kg;



Hình 4. Hệ thống gia công phay có hỗ trợ rung siêu âm

- Sau khi lắp đặt xong, tiến hành thực nghiệm 14 lần gia công đối với gia công phay có hỗ trợ của rung siêu âm và 14 lần gia công phay không có hỗ trợ của rung siêu âm với cùng chế độ cắt.

Đo chất lượng bề mặt sau khi gia công được đánh giá kết quả trên máy đo độ nhám SJ-310 Mitutoyo với thông số kỹ thuật:

- Phạm vi đo: Từ 0 đến 160 μm ;
- Độ chính xác đo: $\pm 0,005 \mu\text{m}$;
- Độ lặp lại: $\pm 0,001 \mu\text{m}$;
- Cấu trúc cảm biến: Cảm biến điện dung;

- Đầu đo: Phần đầu đo có kích thước 4mm x 48mm

- Tốc độ di chuyển: 0,5mm/s.



Hình 5. Đo bề mặt chi tiết sau khi gia công

Các thông số gia công được thể hiện ở bảng dưới đây:

	Tốc độ quay dao v/p	Tốc độ tiến dao (mm/răng)	Chiều sâu cắt (mm)	Phay thường Ra	Phay siêu âm Ra
Lần 1	1000	0,3	0,1	1,551	0,542
Lần 2	1100	0,3	0,1	1,226	0,521
Lần 3	1200	0,3	0,1	1,223	0,508
Lần 4	1300	0,3	0,1	1,188	0,236
Lần 5	1100	0,3	0,2	1,830	0,466
Lần 6	1000	0,3	0,2	1,984	0,547
Lần 7	900	0,3	0,2	2,063	0,588
Lần 8	800	0,3	0,2	2,250	0,659
Lần 9	1200	0,3	0,3	2,207	0,755
Lần 10	1100	0,3	0,3	2,215	0,652
Lần 11	1000	0,3	0,3	2,711	0,617
Lần 12	900	0,3	0,3	2,935	0,588
Lần 13	700	0,2	0,4	3,547	0,881
Lần 14	800	0,2	0,4	3,445	0,755



Từ bảng trên, ta có đồ thị quan hệ độ nhám giữa phương pháp gia công phay có hỗ trợ của rung siêu âm và phay thông thường như sau:



Hình 6. Đồ thị so sánh giá trị độ nhám

Nhận xét: Từ đồ thị so sánh giá trị độ nhám, ta nhận thấy khi gia công có hỗ trợ của rung siêu âm, chất lượng độ nhám Ra được cải thiện rõ rệt. Cụ thể, tất cả các giá trị độ nhám ở bảng và đồ thị của gia công có hỗ trợ của rung siêu âm đều nhỏ hơn giá trị độ nhám của gia công không có hỗ trợ của rung siêu âm ở cùng điều kiện gia công.

Ngoài ra, khi cố định bước tiến dao và chiều sâu cắt, số vòng quay tăng lên thì độ nhám bề mặt cũng được cải thiện, tức là giá trị độ nhám giảm dần; tương tự đối với giảm chiều sâu cắt, giá trị độ nhám cũng giảm; và giảm bước tiến dao, giá trị độ nhám cũng giảm dần, điều này cũng phù hợp với lý thuyết nhám bề mặt [7] và phù hợp với các công trình nghiên cứu đã công bố trước đây.

4. KẾT LUẬN

Nội dung chính của chương này là tập trung vào thực nghiệm và phân tích xử lý số liệu từ ảnh hưởng của các thông số vận tốc cắt của hai phương án phay thường và phay có hỗ trợ của rung siêu âm thì ta thấy phương pháp phay có hỗ trợ của rung siêu âm có độ bóng cao hơn, chất lượng bề mặt tốt hơn. Khi thay đổi tốc độ trục chính vòng quay tăng lên từ 700 –

1300 (vòng/phút), tốc độ tiến dao từ 0,3 – 0,2; chiều sâu cắt từ 0,1 – 0,4mm thì độ nhám bề mặt Ra đối với phương pháp gia công phay có hỗ trợ của rung siêu âm đều cải thiện so với phương pháp phay thông thường.

Như vậy có thể thấy rằng, phương pháp gia công có hỗ trợ của rung siêu âm là phương pháp gia công mới cải thiện chất lượng bề mặt hơn so với phương pháp gia công thông thường. Đây cũng là tiền đề để nghiên cứu sâu hơn phương pháp này ứng dụng trong giảng dạy và nghiên cứu tại Trường Đại học Kinh tế – Kỹ thuật Công nghiệp cũng như ứng dụng trong điều kiện sản xuất gia công ở Việt Nam. ❖

Ngày nhận bài: **28/4/2024**

Ngày phản biện: **23/5/2024**

Tài liệu tham khảo:

- [1]. A Isaev, V Grechishnikov, M Kozochkin, P Pivkin, Y Petuhov and V Romanov, *Physical mechanism of ultrasonic machining* [Journal]. 10.1088/1757-899X/123/1/012045, 2016.
- [2]. L. Lu and (2020), *Study on Surface Quality Improvement of Al6061 Workpieces in Ultrasonic Vibration Assisted Turning* [Journal]. Materials.
- [3]. M.J. Nategh, S. Amini, H. Soleimanimehr, A. Abdullah, M.H. Sadeghi. *A Machining Force Model Developed for Ultrasonic Vibration-assisted Turning* [Journal]. https://www.researchgate.net/publication/228969307_A_Machining_Force_Model_Developed_for_Ultrasonic_Vibration-assisted_Turning_through_Statistical_Analysis_of_Influential_Parameters, 2009.
- [4]. Pankaj Sonia [et al.], *Influence of ultrasonic vibration assistance in manufacturing processes: A Review* [Journal]. Materials and Manufacturing Processes.
- [5]. R. Kozak and (2019), *Influence of ultrasonic vibration assistance on surface topography and cutting force in turning process of difficult-to-cut material* [Journal]. Precision Engineering.
- [6]. Rudranarayan Kandi [et al.], *Ultrasonic vibration-assisted turning of Titanium alloy Ti-6Al-4V: numerical and experimental investigations* [Journal]. Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering.
- [7]. GS,TS. Nguyễn Đắc Lộc, PGS,TS. Lê Văn Tiến, PGS,TS. Ninh Đức Tôn, PGS,TS. Trần Xuân Việt; “*Sổ tay công nghệ chế tạo máy tập 2*”, NXB. Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội, 2005.