

PHÂN TÍCH LỰC CẮT KHI PHAY RÃNH VI MÔ SỬ DỤNG DAO PHAY CẦU BẰNG PHƯƠNG PHÁP PHẦN TỬ HỮU HẠN

ANALYSIS OF CUTTING FORCE FOR MICRO RIGHT MILLING USING BALL END MILL BY FINITE ELEMENT METHOD

ThS. Nguyễn Tuấn Hưng*, ThS. Vũ Văn Thi, ThS. Lê Huỳnh Đức

Trường Đại học Kinh tế – Kỹ thuật Công nghiệp

*Email: nthung@uneti.edu.vn

TÓM TẮT

Các rãnh vi mô có ứng dụng rộng rãi trong chất lỏng vi mô thủy lực, mao dẫn, biến đổi áp suất từ đó biến đổi nhiệt. Để chế tạo được các rãnh đó cần sử dụng phương pháp phay vi mô sử dụng dao đầu cầu. Tuy nhiên, do cơ chế cắt phức tạp, ảnh hưởng của kích thước, thông số công nghệ đã ảnh hưởng không nhỏ đến lực cắt, độ nhám bề mặt và độ chính xác bề mặt sau mỗi lần gia công. Bài báo này nghiên cứu các tham số thích hợp cho quá trình gia công để giảm thiểu lực cắt và độ nhám bề mặt. Độ chính xác của sản phẩm cũng được xác minh sau nhiều lần cắt và so sánh.

Từ khóa: Phay vi; Độ nhám bề mặt; Lực cắt.

ABSTRACT

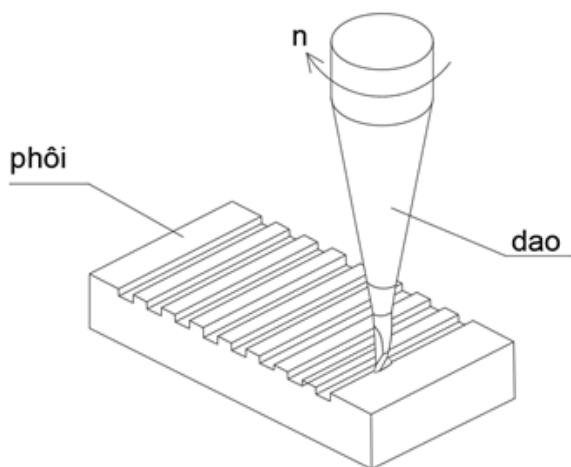
Micro-grooves have wide application in hydraulic micro-fluids, capillary, pressure variation thereby heat transformation. To manufacture those grooves, it is necessary to use the micro-milling method using a bridge cutter. However, due to the complicated cutting mechanism, the influence of the size, the technological parameters have significantly affected the cutting force, surface roughness and surface accuracy after each machining. This paper studies the appropriate parameters for the machining process to minimize the cutting force and surface roughness. Product accuracy is also verified after multiple cuts and comparisons.

Keywords: Micro-milling; Surface roughness; Cutting force.



1. GIỚI THIỆU

Kỷ nguyên mới của sự tiến bộ trong công nghệ vi mô nhằm nhấn mạnh vào việc chế tạo các chi tiết vi mô phức tạp trên nhiều loại vật liệu khác nhau. Nó có ảnh hưởng lớn đối với xã hội nghiên cứu, đặc biệt là trong lĩnh vực phát triển sản phẩm cơ khí vi mô, cải thiện đáng kể hiệu suất, chức năng và góp phần vào tăng trưởng kinh tế, công nghiệp [1]. Có thể kể đến một số ứng dụng cụ thể của các sản phẩm có tính năng vi mô như trong lĩnh vực chất lỏng vi mô, lò phản ứng vi mô, vũ trụ hàng không, điện tử, làm mát chip tích hợp (IC), y sinh, ma sát và nhiều lĩnh vực khác [2]. Hình dạng, kích thước, độ nhám bề mặt khác nhau có ảnh hưởng đáng kể đến hiệu suất và chức năng của thiết bị. Khe vi mô dạng ống tròn là một trong những dạng được sử dụng trong thủy lực vi mô, người ta nhận thấy rằng khi dầu được dẫn qua ống dạng tròn có hiệu suất tốt hơn, làm mát tốt hơn và giảm áp suất cao nhất so với các dạng ống hình chữ nhật, hình vuông,... [3].



Hình 1. Phay rãnh vi mô

Do một số ưu điểm và khả năng ứng dụng của phay vi sử dụng dao đầu cầu, nó đã thu hút sự nghiên cứu phát triển công nghệ chế tạo hiệu quả cho các ứng dụng trong mao dẫn

thủy lực. Có rất nhiều phương pháp gia công khác nhau để tạo hình được biên dạng rãnh thủy lực như phương pháp chùm ion hội tụ (FIB), gia công bằng laser, in 3D,... Mặc dù phương pháp gia công laser là một phương pháp mới, gia công đạt hiệu suất cao nhưng bị hạn chế bởi việc kiểm soát biên dạng bề mặt và vùng ảnh hưởng nhiệt, ngoài ra còn có phương pháp gia công điện cực (EDM), nhưng phương pháp này đạt hiệu quả thấp do giới hạn tốc độ loại bỏ vật liệu thấp, thời gian xử lý và chi phí cao [4]. Do đó, để đáp ứng nhu cầu thị trường đang phát triển, đòi hỏi một phương pháp gia công hiệu quả, đó là có những ưu điểm và hạn chế những nhược điểm của các phương pháp trên. Ở đây, phương pháp phay vi mô có lợi thế về tốc độ loại bỏ vật liệu, ứng dụng gia công trên nhiều loại vật liệu khác nhau, nhiều lựa chọn về hình dạng công cụ và độ chính xác đạt tương đối tốt [4]. Tuy nhiên, do việc thu nhỏ dụng cụ và ảnh hưởng của kích thước, cần phải chọn được các thông số công nghệ phù hợp để giảm lực cắt, cải thiện tuổi thọ công cụ và chất lượng bề mặt gia công được nâng cao, từ đó giúp đạt độ chính xác biên dạng bằng cách giảm được hao mòn của dụng cụ và khả năng gãy công cụ đột ngột.

Phay vi mô sử dụng dao đầu cầu được sử dụng làm thí nghiệm mô phỏng. Tuy nhiên, cơ chế cắt phức tạp và ảnh hưởng của kích thước vi mô đòi hỏi một sự hiểu biết sâu về chuyên môn để chọn được các thông số gia công phù hợp. Ngoài ảnh hưởng của kích thước, phay vi mô còn gặp vấn đề về ma sát trong quá trình gia công do tốc độ cắt thay đổi. Tuy nhiên, bằng cách thay đổi chiều sâu cắt và tốc độ trục chính, ta có thể giảm ảnh hưởng của ma sát ở một mức độ nào đó. Ngoài ra, ta có thể thay đổi việc sử dụng các loại công cụ vi mô như công cụ một hay nhiều lưỡi cắt, công cụ dạng đầu cầu hay dạng côn,...

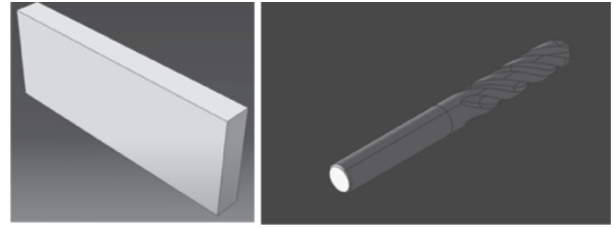
Dựa trên các tài liệu đã được tham khảo, đối chiếu và so sánh, phương pháp phay vi mô được xác định là phương pháp gia công tối ưu để tạo ra rãnh vi mô với bề mặt nhẵn bóng và không có ba-via. Tuy nhiên, rất ít báo cáo khoa học nghiên cứu về phương pháp gia công rãnh vi mô này mà chủ yếu chỉ giới hạn gia công ở các dạng hợp kim thép và titan. Hơn nữa, việc lựa chọn đúng các tham số công nghệ cũng phụ thuộc vào tính chất vật liệu của dao và phôi trong gia công. Do đó, bài báo này trình bày phương pháp mô phỏng quá trình phay rãnh vi mô sử dụng dao đầu cầu bằng phương pháp phần tử hữu hạn (FEM) để tìm ra các thông số công nghệ phù hợp, phân tích lực cắt trong quá trình gia công, từ đó cải thiện hiệu suất và chất lượng bề mặt chi tiết sau gia công.

2. VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP THÍ NGHIỆM

Việc mô phỏng gia công được thực hiện trên phôi đồng bằng phương pháp phay vi. Dao phay vi mô đầu cầu làm từ vật liệu Cacbua Vonfram có đường kính đầu cầu 500 μ m và bán kính lưỡi cắt 2 μ m. Phôi đồng có kích thước 50mm x 50mm x 3mm được mô hình hóa bằng phần mềm NX, sau đó xuất file sang phần mềm Abaqus để chạy mô phỏng. Thông số gia công được cho trong bảng sau:

Bảng 1. Điều kiện cắt mô phỏng gia công rãnh vi mô trên phôi đồng

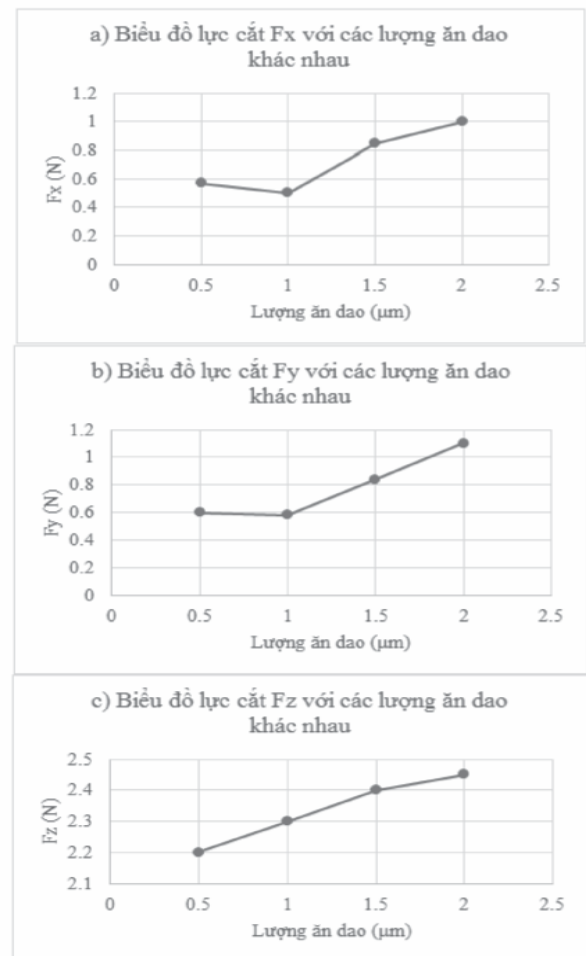
Thông số gia công	Đơn vị	Giá trị
Tốc độ trục chính	v/ph	10.000
Lượng ăn dao	μ m/răng	0,5; 1; 1,5; 2
Chiều sâu cắt	μ m	50



Hình 2. Mô hình hóa phôi và công cụ

3. PHÂN TÍCH CÁC KẾT QUẢ MÔ PHỎNG

Khảo sát lực cắt được mô phỏng cho các điều kiện cắt cụ thể, ta có thể thấy được sự thay đổi lực cắt theo ba phương X, Y và Z trong hình 3 sau đây:



Hình 3. (a, b, c) Sự thay đổi lực cắt với các thông số theo hướng X, Y, Z tương ứng

Từ hình 3 (a và b), quan sát thấy rằng lực cắt theo phương tiếp tuyến X và phương pháp tuyến Y ban đầu giảm khi lượng ăn dao tăng từ 0,5 $\mu\text{m}/\text{răng}$ lên 1 $\mu\text{m}/\text{răng}$ đối với tốc độ cắt 10.000 v/ph. Khi tăng lượng ăn dao lên lần lượt là 1,5 và 2, ta thấy lực cắt tăng đều theo cả hai phương. Quá trình ban đầu khi lượng ăn dao là 0,5 $\mu\text{m}/\text{răng}$, lực cắt lớn hơn lượng ăn dao 1 $\mu\text{m}/\text{răng}$ cho thấy rằng ban đầu khi gia công chưa hình thành quá trình thoát phoi, dao và phôi ở trạng thái cày, chèn, đè, từ đó tạo lực cắt lớn. Ở lượng ăn dao 1 $\mu\text{m}/\text{răng}$ bắt đầu có quá trình thoát phoi tạo ra, lực cắt theo đó mà giảm đi. Ở các lần ăn dao tiếp theo là 1,5 $\mu\text{m}/\text{răng}$ và 2 $\mu\text{m}/\text{răng}$, ta thấy rằng khi tăng lượng ăn dao thì lực cắt cũng sẽ tăng lên đáng kể. Một kết quả quan trọng hơn với sự thay đổi của lực cắt theo phương Z, tức là lực đẩy như trong hình 3(c). Nguyên nhân là do sự cọ sát của đầu dao cầu với bề mặt rãnh vi mô. Tuy nhiên, ảnh hưởng của quá trình cọ sát này chủ yếu có ý nghĩa đối với chiều sâu cắt dọc trực tiếp và tốc độ cắt thấp. Ở đây chiều sâu cắt là 50 μm không đổi và cao đáng kể, do đó giảm được ảnh hưởng của việc cọ sát. Từ hình 3(c) cũng quan sát thấy rằng lực đẩy tăng đáng kể khi lượng ăn dao tăng.

4. KẾT LUẬN

Bài báo này nhấn mạnh lợi thế của gia công vi mô sử dụng dao đầu cầu để chế tạo các khe vi mô trên vật liệu đồng cho ứng dụng vi chất lỏng và nhiệt. Ảnh hưởng của các thông số quy trình gia công đến hiệu suất gia công được nghiên cứu bằng phương pháp mô phỏng. Dựa trên kết quả mô phỏng, sự kết hợp của các tham số công nghệ đã được đề xuất để gia công các rãnh vi mô đầu tròn trên đồng bằng cách xem xét lực cắt. Các kết luận quan trọng được chỉ ra là:

1) Bài báo cung cấp một phương pháp hiệu quả để chế tạo rãnh vi mô đầu tròn bằng cách sử dụng lợi thế của hình dáng hình học của dao phay vi mô đầu cầu.

2) Ảnh hưởng của lượng ăn dao tối thiểu và ảnh hưởng của sự cọ sát đầu công cụ đối với các đặc tính hiệu suất của quá trình phay vi được mô phỏng với sự trợ giúp của phần mềm Abaqus. Ta có thể thấy rằng chiều sâu cắt tối thiểu chủ yếu bị ảnh hưởng bởi lượng ăn dao. Ma sát tạo thành bởi sự cọ sát đầu dao và phôi là tác động tổng hợp của tốc độ cắt và chiều sâu cắt dọc trực.

3) Giá trị nhỏ nhất của lực cắt theo cả ba phương X, Y và Z được tìm thấy gần vùng chuyển tiếp, tức là thông số công nghệ ở ngưỡng bắt đầu quá trình hình thành phoi.

4) Kích thước của khe vi mô cho thấy rằng phay vi bằng dao đầu cầu có khả năng tạo ra biên dạng vi mô chính xác.

5) Chiều rộng đỉnh của khe vi mô tăng lên khi chiều sâu cắt dọc trực hoặc số lần chạy dao tăng lên. Khi độ sâu của rãnh tiếp cận với bán kính dụng cụ, nó tạo ra các rãnh thẳng với các rãnh ở đầu hình tròn có chiều rộng bằng đường kính dụng cụ. ❖

Ngày nhận bài: 20/02/2025

Ngày phản biện: 04/3/2025

Tài liệu tham khảo:

- [1]. J. P. Davim, "Machining of Hard Materials". Springer, London, 2011.
- [2]. X. Liang, Y. Liu, D. Axinte, "Surface integrity in metal machining – Part I: Fundamentals and characterization". International Journal of Machine Tools and Manufacture, Vol. 121, pp. 1-22, 2017.
- [3]. Y. C. Wong, M. Rahman, H. S. Lim, K. S. Neo, "Investigation of tool wear in high-speed end milling of Inconel 718". Wear, Vol. 253, No. 3-4, pp. 765-774, 2002.
- [4]. L. B. Zhang, S. To, F. G. Yuan, "A review on ultra-precision machining of high-performance materials". International Journal of Machine Tools and Manufacture, Vol. 109, pp. 89-120, 2016.