

NGHIÊN CỨU CHẾ TẠO ĐẦU PHUN DUNG DỊCH LẠNH CHO BÔI TRƠN LÀM NGUỘI TỐI THIỂU, ỨNG DỤNG VÀO PHAY CỨNG THÉP SKD11

Trần Minh Đức, Phạm Quang Đồng*, Trần Thế Long*, Trần Quyết Chiến
Trường Đại học Kỹ thuật Công nghiệp – DH Thái Nguyên

TÓM TẮT

Bôi trơn làm nguội tối thiểu (Minimum quantity lubrication – viết tắt là MQL) đã được nghiên cứu và ứng dụng khá phổ biến trong công nghệ gia công cắt gọt. Nhược điểm cơ bản của MQL là khả năng làm nguội trong vùng cắt bị hạn chế. Để khắc phục nhược điểm này, bài báo giới thiệu một số kết quả ban đầu về việc nghiên cứu, thiết kế, chế tạo đầu phun khí lạnh theo hiệu ứng Ranque-Hilsch, ứng dụng đầu phun khí lạnh để thiết kế, chế tạo đầu phun dung dịch lạnh dưới dạng sương mù dùng cho công nghệ MQL. Bài báo cũng giới thiệu kết quả nghiên cứu ban đầu về việc đánh giá hiệu quả của đầu phun dung dịch lạnh ứng dụng trong MQL khi phay cứng thép SKD11 qua tối có độ cứng HRC = 58 - 60. Kết quả cho thấy bằng cách sử dụng công nghệ này đã làm giảm các thành phần lực cắt P_y , P_z ở mức 86% - 88%, tuổi bền của dụng cụ đạt 57 phút, tăng 152% so với khi gia công sử dụng MQL với dung dịch Emulsi không lạnh. Đây là hướng nghiên cứu mới có nhiều triển vọng để mở rộng khả năng công nghệ của MQL, đặc biệt là trong gia công vật liệu cứng.

Từ khóa: Gia công vật liệu cứng; Phay cứng, Bôi trơn làm nguội tối thiểu – MQL; Đầu phun khí lạnh; Đầu phun dung dịch lạnh

ĐẶT VẤN ĐỀ

Bôi trơn làm nguội tối thiểu-MQL đã được nghiên cứu và ứng dụng khá rộng rãi trong công nghệ gia công cắt gọt. MQL là một giải pháp thay thế cho hệ thống gia công khô và bôi trơn làm nguội kiểu tưới tràn. Bản chất của MQL là đưa một lượng dung dịch trộn nguội hạn chế (tối thiểu) với lưu lượng 0,23 - 0,25 ml/ph trực tiếp vào vùng cắt dưới dạng sương mù hoặc dưới dạng dòng tia dung dịch áp lực cao [12, 15]. Do dung dịch được đưa trực tiếp vào vùng cắt nên hiệu quả bôi trơn cao, góp phần cải thiện điều kiện ma sát trong vùng cắt. Vì vậy, MQL góp phần nâng cao hiệu quả của quá trình cắt từ đó giảm chi phí gia công. Ngoài ra, MQL cho thấy đây là một giải pháp công nghệ tiết kiệm, thân thiện với môi trường và ít ảnh hưởng đến sức khỏe của người lao động [3-5, 10, 15].

Nhược điểm cơ bản của MQL là khả năng làm nguội bị hạn chế, nhiệt cắt truyền vào phoi, vào chi tiết gia công lớn [6]. Do đó, việc ứng dụng công nghệ MQL trong sản xuất còn một số hạn chế. Đặc biệt trong gia công vật liệu có cứng, độ bền cao [16, 17]; vật liệu khó gia công, v.v [7, 8, 12, 15].

Để khắc phục tồn tại này, một hướng nghiên cứu mới đang được quan tâm đó là MQL phối hợp với làm nguội tích cực với một số giải pháp như dùng dòng khí lạnh phun trực tiếp vào vùng cắt hoặc dùng dòng khí lạnh trộn với dung dịch trộn nguội để tạo ra dòng dung dịch dưới dạng sương mù nhiệt độ thấp, v.v. (MQL dùng dung dịch lạnh) [1, 13].

Trong bài báo này, các tác giả giới thiệu một số kết quả ban đầu về việc nghiên cứu, thiết kế, chế tạo thiết bị tạo dòng khí lạnh bằng hiệu ứng Ranque-Hilsch (gọi tắt là đầu phun khí lạnh). Ứng dụng đầu phun khí lạnh để thiết kế, chế tạo thiết bị tạo ra dòng dung dịch lạnh dùng trong MQL (gọi tắt là đầu phun dung dịch lạnh). Các tác giả giới thiệu kết quả nghiên cứu ban đầu khi MQL sử dụng dung dịch lạnh để phay cứng thép SKD11. Chi tiêu đánh giá là các thành phần lực cắt P_y , P_z ; tuổi bền của dụng cụ; nhám bề mặt chi tiết gia công R_s , R_z . Để giải quyết vấn đề, các tác giả sử dụng phương pháp nghiên cứu lý thuyết kết hợp với thực nghiệm.

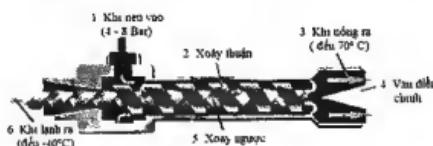
GIẢI QUYẾT VẤN ĐỀ

Chế tạo thiết bị tạo dòng khí lạnh

Thiết bị tạo ra khí lạnh và nóng phân tách từ một nguồn khí nén duy nhất dựa trên hiệu ứng

*Tel: 0985 288777, Email:tranthealong@tnut.edu.vn

Ranque-Hilsch [9] (gọi tắt là hiệu ứng “ống xoáy”). Sơ đồ nguyên lý tạo dòng khí lạnh cho ở hình 1.



Hình 1. Nguyên lý tạo dòng khí lạnh trong ống xoáy Ranque-Hilsch

Dòng khí nén được đưa vào cửa 1 theo phương tiếp tuyến với thành ống và tạo nên dòng xoáy thuận 2 trong thành ống đi về phía cửa nóng có van điều chỉnh 4. Tại đây, dòng xoáy khí gặp van 4, một phần khí nóng 3 thoát ra ngoài, phần còn lại bị phản xạ tạo dòng xoáy ngược về phía cửa lạnh 5. Van 4 điều chỉnh sự cân bằng giữa lượng khí nóng thoát ra và lượng khí được đẩy ngược lại. Hai dòng khí nóng và lạnh này được mô tả trong mô hình ống Ranque-Hilsch (hình 1). Sự thay đổi nhiệt độ giữa các luồng không khí nóng và lạnh phụ thuộc các thông số như áp suất khí nén, nhiệt độ môi trường, các đặc tính hình học của ống, v.v. Đến nay, cơ chế vật lý của việc tách nhiệt vẫn chưa được giải quyết hoàn toàn [2].

Trên cơ sở nguyên lý này, nhóm tác giả đã nghiên cứu, thiết kế, chế tạo thành công ống xoáy (gọi tắt là đầu phun khí lạnh). Các bước thiết kế, chế tạo thử nghiệm và nghiên cứu xác định các thông số tối ưu của thiết bị sẽ được trình bày trong các nghiên cứu tiếp theo. Ở đây, các tác giả chỉ giới thiệu kết cấu của thiết bị mà nhóm đã chế tạo thành công, một số hình ảnh của thiết bị và kết quả thử nghiệm với nhiệt độ dòng khí lạnh cho ở hình 2.

Kết quả cho thấy sự chênh lệch giữa nhiệt độ dòng khí vào và nhiệt độ dòng khí lạnh ra là từ 35°C đến 40°C . Trong điều kiện thí nghiệm, áp suất khí nén 6 bar, khi nhiệt độ môi trường $31,5^{\circ}\text{C}$, nhiệt độ dòng khí lạnh đạt $1,5^{\circ}\text{C}$ như hình 2a (chênh lệch so với nhiệt độ khí vào $36,7^{\circ}\text{C}$). Khi nhiệt độ môi trường 10°C , nhiệt độ dòng khí lạnh đạt -29°C như hình 2b.

Đầu phun khí lạnh có thể dùng phun trực tiếp dòng khí lạnh vào vùng cắt để làm nguội hoặc dùng phối hợp với kết cấu khác để chế tạo đầu phun dung dịch lạnh.



(a)



(b)

Hình 2. Thiết bị tạo dòng khí lạnh

Ưu điểm nổi bật của đầu phun khí lạnh theo hiệu ứng “ống xoáy” là kết cấu đơn giản, hiệu suất làm việc cao, không cần điện, không cần bảo dưỡng, sử dụng an toàn, v.v. [2] nên ngoài việc ứng dụng vào công nghệ bôi trơn làm nguội trong già công cắt gọt thì thiết bị này còn được sử dụng vào nhiều lĩnh vực công nghiệp khác như để làm nguội các thiết bị công nghiệp, sử dụng dòng khí nóng để sấy khô linh kiện điện tử, làm nóng các sản phẩm, v.v.

Chế tạo đầu phun dung dịch lạnh

Trên cơ sở đầu phun khí lạnh, nhóm tác giả tiếp tục nghiên cứu, thiết kế, chế tạo thành công đầu phun dung dịch nhiệt độ thấp dưới dạng sương mù dùng cho MQL (gọi tắt là đầu phun dung dịch lạnh). Quá trình tính toán thiết kế, nghiên cứu thực nghiệm để xác định các thông số kết cấu, v.v. sẽ được giới thiệu trong những công bố tiếp theo.

Với mục đích vừa phục vụ nghiên cứu, vừa triển khai vào thực tế sản xuất ở Việt Nam nên nhiệt độ đầu vào dùng làm căn cứ tính

toán là nhiệt độ môi trường từ 25°C - 35°C và yêu cầu nhiệt độ đầu ra từ 4°C - 14°C . Hình dáng đầu phun dung dịch lạnh và kết quả đo nhiệt độ dòng dung dịch lạnh cho ở hình 3, kết quả đo nhiệt độ dòng dung dịch trên đầu phun Noga (không lạnh) cho ở hình 4.



Hình 3. Thiết bị tạo dòng dung dịch lạnh



Hình 4. Kết quả đo nhiệt độ đầu phun MQL

Điều kiện thí nghiệm: nhiệt độ môi trường $31,5^{\circ}\text{C}$, nhiệt độ dung dịch Emulsi $30,0^{\circ}\text{C}$, áp suất khi nén 6 bar thì nhiệt độ dòng dung dịch lạnh là $12,4^{\circ}\text{C}$. Với đầu phun Noga dùng cho MQL thông thường nhiệt độ dòng dung dịch là $22,7^{\circ}\text{C}$ như hình 4 (cao hơn so với đầu lạnh $10,2^{\circ}\text{C}$).

Thí nghiệm khảo sát hiệu quả của đầu phun dung dịch lạnh

Mục đích

Đánh giá hiệu quả của MQL sử dụng dung dịch lạnh so với MQL sử dụng dung dịch thông thường khi phay cứng thép SKD 11.

Hệ thống thí nghiệm

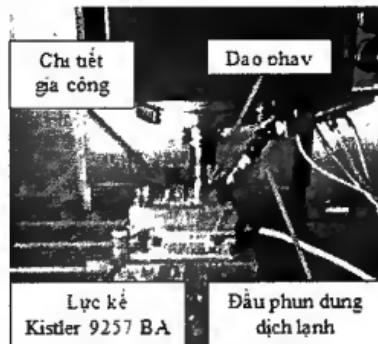
Máy: trung tâm gia công Mazak 530C – Nhật Bản sản xuất

Dụng cụ cắt: phay mặt đầu Ø50 gắn mảnh hợp kim cứng APMT 1604 PDTR LT 30 phủ PVD của hãng LAMINA (Thụy Điển).

Mẫu thí nghiệm: Thép SKD11, kích thước $90 \times 48 \times 50$, độ cứng HRC = 58 - 60.

Hệ thống MQL:

- Đầu phun dung dịch lạnh; Đầu phun Noga; hệ thống đồng hồ và ống áp, máy nén khí.
- Dung dịch trộn nguội: dung dịch Emulsi 5%;
- Thiết bị đo:
 - Lực kế 9257BA của hãng Kistler, hệ thống thu thập và xử lý dữ liệu N7 National instruments, phần mềm DASYLab10 và máy tính cá nhân;
 - Máy đo nhám Mitutoyo SJ-210;
- Hệ thống thí nghiệm với đầu phun dung dịch lạnh cho ở hình 5 và với đầu Noga như hình 6.



Hình 5. Hệ thống thí nghiệm với đầu phun dung dịch lạnh



Hình 6. Hệ thống thí nghiệm với đầu phun Noga

Chế độ công nghệ

Phay mặt phẳng với chế độ công nghệ:

Chế độ cắt:

Vận tốc cắt $V=100\text{m/p}$; lượng chạy dao $S_z = 0,08 \text{ mm/rãnh}$, $S_p=50,96\text{mm/ph}$; chiều rộng cắt $B = 0,2\text{mm}$.

Chế độ trộn nguội:

- Nhiệt độ môi trường 30°C - 32°C (điều kiện tự nhiên).
- MQL sử dụng đầu phun Noga với dung dịch Emulsi 5%, nhiệt độ trung bình của dung dịch 22°C ;
- MQL sử dụng đầu phun dung dịch lạnh với dung dịch Emulsi 5%, nhiệt độ trung bình của dung dịch 12°C ;
- Áp suất dòng khí $P = 6$ bar; lưu lượng $Q = 0,23$ - $0,25$ ml/ph; phun vào mặt sau của dao.

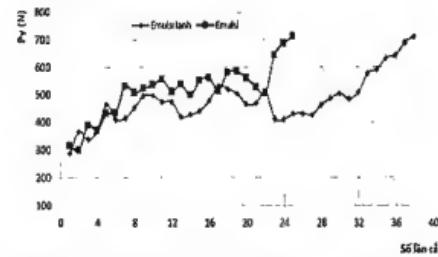
Triển khai thí nghiệm

Thí nghiệm nghiên cứu với hai chế độ trơn nguội là MQL sử dụng đầu phun Noga (gọi tắt là dung dịch Emulsi) và đầu phun tạo dung dịch lạnh (gọi tắt là dung dịch Emulsi lạnh). Đo lực cắt, nhám bề mặt và quá trình xử lý số liệu được thực hiện sau mỗi lần cắt.

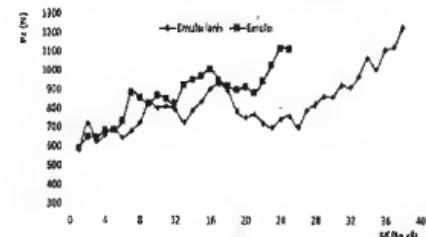
Tuổi bền của dao được xác định đến khi dao mòn khắc liệt, hết khả năng cắt (*cắt cứ theo chi tiêu lực cắt và mòn dụng cắt [6]*).

KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

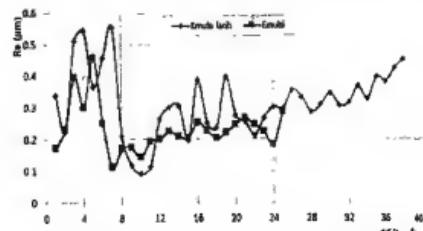
Ảnh hưởng của chế độ trơn nguội gồm: MQL với dung dịch dung dịch Emulsi và MQL với dung dịch Emulsi lạnh đến các thành phần lực cắt P_y , P_z ; đến trị số nhám bề mặt R_a , R_z cho ở các từ hình 7 – hình 10.



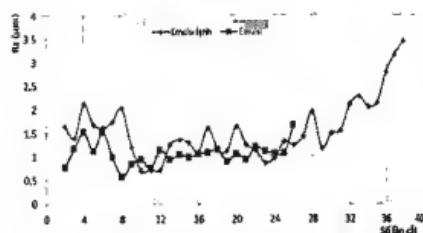
Hình 7. Ảnh hưởng của chế độ trơn nguội đến lực P_y



Hình 8. Ảnh hưởng của chế độ trơn nguội đến lực P_z



Hình 9. Ảnh hưởng của chế độ trơn nguội đến trị số R_a



Hình 10. Ảnh hưởng của chế độ trơn nguội đến trị số R_z

Kết quả trên cho thấy:

Giai đoạn ban đầu (lần cắt 1 đến lần cắt thứ 7) lực cắt tăng nhanh, nhám bề mặt không ổn định và giảm dần. Nguyên nhân: Ở giai đoạn này dao mòn nhanh, quá trình cắt chưa ổn định, lực cắt tăng nhanh. Lúc này do vết mòn trên dao chưa ổn định, sự hình thành mảng dầu giữa mặt sau và bề mặt gia công chưa tốt, sự cào xước lên bề mặt gia công nhiều nên trị số nhám lớn. Kết quả này phù hợp với các nghiên cứu trước đây [15]. Ở giai đoạn này, MQL dùng đầu phun Emulsi lạnh chưa có sự khác biệt nhiều so với Emulsi thông thường.

Giai đoạn mòn ổn định (từ lần cắt thứ 8) lực cắt, mòn và tuổi bền của dụng cụ đã có sự khác biệt. MQL sử dụng Emulsi lạnh, trị số trung bình của các thành phần lực cắt P_y , P_z giảm còn lần lượt 86%, 88% và số lần cắt trong trạng thái ổn định là 32 lần so với 22 lần so với khi sử dụng Emulsi không lạnh. Nguyên nhân: lúc này dung dịch Emulsi lạnh phát huy vai trò làm nguội vượt trội hơn so với dung dịch Emulsi không lạnh [1]. Nhờ nhiệt cắt giảm nên đã cải thiện được điều kiện cắt gọt, làm giảm độ mòn, tăng tuổi bền của

dao. Trong giai đoạn này, trị số nhám bề mặt không có sự khác biệt rõ nét. Nguyên nhân: do độ mòn của dao ổn định, quá trình cào xước của dụng cụ lén bề mặt già giảm [6].

Giai đoạn mòn nhanh, trị số các thành phần lực cắt, nhám bề mặt đều tăng nhanh. Quá trình thí nghiệm tiến hành đến khi dao mòn khốc liệt, hết khả năng cắt (*Dánh giá trực tiếp thông qua chỉ tiêu lực cắt*). Kết quả tuổi bền của dao khi MQL với Emulsi là 37,5 phút (25 lần cắt); khi MQL với Emulsi lạnh là 57 phút (38 lần cắt), tăng 152% so với MQL với Emulsi.

KẾT LUẬN

Đóng góp mới:

- Đã nghiên cứu, thiết kế và chế tạo thành công đầu phun khí lạnh theo nguyên lý “dòng xoáy” trong điều kiện Việt Nam. Kết quả đã tạo được dòng khí lạnh với mức chênh lệch giữa nhiệt độ đầu vào và nhiệt độ đầu ra của dòng khí lạnh là 35°C - 40°C.

- Trên cơ sở đầu phun khí lạnh, đã nghiên cứu, thiết kế và chế tạo thành công đầu phun dung dịch lạnh ứng dụng cho MQL. Kết quả đã chế tạo thành công đầu phun tạo ra được dòng dung dịch lạnh dưới dạng sương mù có nhiệt độ chênh lệch so với nhiệt độ dung dịch đầu vào đến 20°C.

- Đã nghiên cứu đánh giá được hiệu quả của MQL với dung dịch Emulsi lạnh khi phay cứng thép SKD11. Kết quả khi phay thép SKD 11 có độ cứng HRC = 58 - 60, nếu MQL với dung dịch Emulsi lạnh làm giảm trị số các thành phần lực cắt P_y , P_z từ 86% - 88% và tuổi bền của dụng cụ tăng 152% so với MQL dùng dung dịch Emulsi không lạnh. Kết quả này bước đầu mở ra hướng nghiên cứu mới nhằm mở rộng khả năng công nghệ của MQL giúp nâng cao hiệu quả Kinh tế - Kỹ thuật trong gia công vật liệu cứng.

Những điểm hạn chế cần tiếp tục nghiên cứu:

- Kết cấu của các đầu phun chưa thật hoàn thiện;
- Chưa có thiết bị đo nhiệt độ cắt nên chưa trực tiếp đánh giá trực tiếp được ảnh hưởng

của quá trình bôi trơn làm nguội đến nhiệt cắt. Đây là hướng nghiên cứu mới còn nhiều tiềm năng và khả năng ứng dụng thực tiễn rất khả thi. Nhóm tác giả tiếp tục có các nghiên cứu tiếp theo và đặc biệt là triển khai ứng dụng vào thực tiễn sản xuất.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Arjomandi M., Xue Y. (2007), “An investigation of effect of the hot end plugs on the efficiency of the ranque – hilsch vortex tube”, *Journal of Engineering Science and Technology*, 2(3), pp.211 – 217.
2. Balmer R.T. (1988), “Pressure-driven Ranque-Hilsch temperature separation in liquids”, *Trans. ASME, J Fluids Engineering*, 110, pp. 161–164.
3. C- aliskan H., Kurbanoglu C., Panjan P., Cekada M., Kramar D. (2013), “Wear behavior and cutting performance of nanostructured hard coatings on cemented carbide cutting tools in hard milling”, *Tribology International*, 62, pp. 215–222.
4. Dhar N. R, Islam S., Kamruzzaman M. (2007), “Effect of minimum quantity lubrication(MQL) on Tool Wear, Surface Roughness and Dimensional Deviation in Turning AISI – 4340 Steel”, *G.U. Journal of Science*, 20, pp. 23 – 32.
5. Duong Xuan Truong and Tran Minh Duc (2013), “Effect of Cutting Condition on Tool Wear and Surface Roughness during Machining of Inconel 718”, *International Journal of Advanced Engineering Technology*, 4, pp. 108-112.
6. Davim J. P. (2011), “Machining of Hard Materials”, *Springer-Verlag London Limited*.
7. Elmuniifi M. H. S., Kurniawan D., Noordin M.Y. (2015), “Use of castor oil as cutting fluid in machining of hardened stainless steel with minimum quantity of lubricant”, *Procedia CIRP*, 20, pp.408-411.
8. Hassanpour H., Sadeghi M. H., Shahari A. R. S. (2016), “Investigation of Surface Roughness, Microhardness and White Layer Thickness in Hard Milling of AISI 4340 Using Minimum Quantity Lubrication”, *Journal of Cleaner Production*, doi: 10.1016/j.jclepro.2015.12.091.
9. Hilsch, Rudolf (1947), “The use of the expansion of gases in a centrifugal field as cooling process”, *The Review of Scientific Instruments*, 18 (2), pp.108–113.
10. Kang M. C., Kim K. H., and Shin S H. (2008), “Effect of the Minimum Quantity Lubrication in High-Speed End-Milling of AISI D2 Cold-Worked Die Steel (62 HRC) by Coated

- Carbide Tools", *Surf. Coat. Technol.*, 202, pp. 5621-5631.
11. Le Thai Son, Tran Minh Duc, Nguyen Dang Binh, Nguyen Van Cuong (2013), "An Investigation on Effect of Characteristics of the Made in Vietnam Peanut oil MQL on Tool life in Hard turning 9CrSi steel", *Machining and Machinability of Materials*, 13, pp. 428-438.
12. Lee P. H., Nam J. S., Li C. and Lee S. W. (2012) , "An Experimental Study on Micro-Grinding Process with Nanofluid Minimum Quantity Lubrication (MQL)", *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, 13, pp. 331-338.
13. Park K. H., Yang G. D., Suhaimi M. A., Lee D. Y., Kim T. G., Kim D. W. and Lee S. W. (2015), "The effect of cryogenic cooling and minimum quantity lubrication on end milling of titanium alloy Ti-6Al-4V", *Journal of Mechanical Science and Technology*, 29 (12), pp. 5121-5126.
14. Sidik N. A. C., Samion S., Ghaderian J., Yazid M. N. A. W. M. (2017), "Recent progress on the application of nanofluids in minimum quantity lubrication machining: A review", *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 108, pp. 79-89.
15. Tran Minh Duc, Tran The Long and Tran Bao Ngoc (2017), "Performance of Al_2O_3 Nanofluid in minimum quantity lubrication in hard milling of 60Si₂Mn steel using cemented carbide tools", *Advances in Mechanical Engineering*, 9(7), pp. 1-9.
16. Tran Minh Duc and Tran The Long (2016), "Investigation of MQL-Employed Hard-Milling Process of S60C Steel Using Coated-Cemented Carbide Tools", *Journal of Mechanics Engineering and Automation*, 6, pp. 128-132.
17. Tasdelen B., Wikblom T., Ekered S. (2008), "Studies on minimum quantity lubrication (MQL) and air cooling at drilling", *Journal of materials processing technology*, 200, pp.339-346.

SUMMARY

MANUFACTURING RESEARCH OF VORTEX TUBE APPLIED TO MINIMUM QUANTITY LUBRICATION FOR HARD MILLING OF SKD11 TOOL STEEL

Tran Minh Duc, Pham Quang Dong, Tran The Long^{*}, Tran Quyet Chien

University of Technology - TNU

Minimum quantity lubrication (MQL) has been studied and widely applied to machining operations due to some superior advantages compared to dry and wet machining. MQL machining uses mixtures of high pressure air and a tiny amount of cutting fluids, which is effectively supplied to the machining interface to reduce the friction. However, there were limitations to this technique because of its weak cooling effect. To overcome the abovementioned problems, this paper aims to introduce some results of manufacturing research of vortex tool cooling mist system used in MQL for hard milling of SKD11 tool steel (58 – 60HRC). The obtained results reveal that by using this proposed technique, the reduction of cutting forces F_y , F_z is about 86% - 88%, and the tool life reaches 57 minutes (152% higher than that of machining without vortex tool cooling mist system).

Keywords: Hard machining; Hard milling; Minimum quantity lubrication – MQL; Vortex tube; Vortex tool cooling mist system

Ngày nhận bài: 01/11/2017; Ngày phản biện: 28/11/2017; Ngày duyệt đăng: 29/11/2017

^{*} Tel: 0985 288777, Email. tranthelong@tmut.edu.vn