TỐI ƯU HÓA CHẾ ĐỘ BÔI TRƠN LÀM NGUỘI TỐI THIỂU SỬ DỤNG HẠT NANO Al_2O_3 TRONG PHAY CỨNG THÉP HỢP KIM AISI H13

Nguyễn Quốc Mạnh[1], Đỗ Thế Vinh[2*]

Tóm tắt: *Bôi trơn làm nguội tối thiểu (MQL) sử dụng hạt rắn với kích thước nano đã được ứng dụng thành công trong gia công cắt gọt kim loại thay thế cho phương pháp bôi trơn làm nguội truyền thống. Trong đó, việc lựa chọn tham số của quá trình bôi trơn làm nguội đóng vài trò quan trọng trong việc cải thiện chất lượng gia công. Trong nghiên cứu này, ảnh hưởng của các thông số MQL sử dụng hạt nano bao gồm nồng độ hạt nano, áp suất khí nén và lưu lượng dung dịch trơn nguội tới độ nhám bề mặt đã được khảo sát. Hạt nano được thêm vào dung dịch cắt là hạt nano Al_2O_3. Việc thiết kế quá trình thí nghiệm cũng như phân tích số liệu được thực hiện bởi sử dụng phương pháp tối ưu* Taguchi. *Tỷ lệ tín hiệu trên nhiễu (S/N) và phân tích phương sai (ANOVA) đã được sử dụng để tìm ra điều kiện MQL tối ưu nhằm đạt được độ nhám bề mặt là tốt nhất. Kết quả cũng chỉ ra yếu tố nồng độ hạt nano có ảnh hưởng rất lớn tới độ nhám bề mặt gia công.*

Từ khóa: Phay cứng; Phương pháp Taguchi; MQL; Hạt nano Al_2O_3; Độ nhám bề mặt; AISI H13.

1. MỞ ĐẦU

Trong quá trình cắt gọt kim loại, chất bôi trơn làm nguội được ứng dụng đảm nhiệm ba chức năng chính đó là truyền nhiệt nhằm giảm nhiệt cắt, bôi trơn nhằm giảm ma sát, giảm sự cào xước bề mặt và loại bỏ các vụn kim loại ra khỏi vùng cắt, tránh hiện tượng kẹt phoi [1, 2]. Trong gia công truyền thống, chất lỏng trơn nguội được cho vào vùng cắt với một lượng lớn bao phủ hoàn toàn vùng cắt hay còn gọi là phương pháp tưới tràn. Quá trình làm mát và bôi trơn truyền thống này có một hạn chế rất lớn đó là tăng chi phí về dung dịch trơn nguội, các chi phí về làm sạch và đặc biệt là các tác hại tới môi trường và sức khỏe con người [2-4]. Hiện nay, có một số phương pháp mới đã được đề xuất và ứng dụng rất thành công và dần thay thế phương pháp truyền thống đó là gia công khô và gia công tưới nguội tối thiểu MQL. Phương pháp cắt khô dựa trên sự phát triển của khoa học vật liệu, trong đó vật liệu dụng cụ cắt có khả năng gia công ở trạng thái nhiệt độ cao, chịu mài mòn tốt. Phương pháp gia công khô loại bỏ hoàn toàn dung dịch cắt, rõ ràng, là một phương pháp gia công rất thân thiện với môi trường. Ngoài ra, phương pháp này có ưu điểm là giảm chi phí do tiết kiệm chi phí làm mát và làm sạch [4-6]. Tuy nhiên, nhiệt độ cao trong quá trình cắt làm cho tuổi thọ dụng cụ thấp và độ nhám cao là một hạn chế của gia công khô [7, 8]. Một giải pháp mang đầy đủ những ưu điểm của gia công truyền thông và gia công khô đã được đề xuất gần đây là gia công với tưới nguội tối thiệu MQL. Phương pháp gia công MQL là phương pháp gia công sử dụng một lượng rất nhỏ dung dịch cắt (với lượng dưới 50 ml/h) [9, 10]. Hiệu quả của MQL trong việc cải thiện độ nhám, tăng độ bền dụng cụ cắt, giảm nhiệt cắt và giảm chi phí gia công đã được đưa ra trong nhiều nghiên cứu [11-13]. Hiện nay, một xu hướng mới là việc bổ sung các hạt rắn có kích thước nanomet vào dung dịch cắt được áp dụng trong gia công MQL. Phương pháp này mang lại hiệu quả cao trong gia công như cải thiện độ nhám, giảm lực và nhiệt cắt, nâng cao tuổi thọ dụng cụ và giảm mài mòn dụng cụ [5, 14-16].

Trong cắt gọt, chỉ tiêu độ nhám là một chỉ tiêu quan trọng trong việc đánh giá chất lượng sản phẩm gia công. Các tham số của chế độ trơn nguội ảnh hưởng rất nhiều đến độ nhám bề mặt. Vì vậy, việc lựa chọn chế độ cắt và làm mát thích hợp là chìa khóa để giảm độ nhám. Mối quan tâm lớn trong gia công cắt gọt kim loại là tìm ra ảnh hưởng của các thông số gia công và điều kiện làm mát tới độ nhám bề mặt và từ đó đạt được độ nhám tốt nhất.

Trong nghiên cứu này, phương pháp tối ưu Taguchi được áp dụng để tìm ảnh hưởng của các thông số của điều kiện MQL có sử dụng hạt nano bao gồm nồng độ hạt nano, áp suất khí nén và lưu lượng chất lỏng đến độ nhám bề mặt. Điều kiện MQL tối ưu để giảm thiểu độ nhám được xác

định bằng tỷ lệ tín hiệu trên nhiễu (S/N). Ngoài ra, thông số MQL có ảnh hưởng nhiều nhất đến độ nhám cũng được tìm ra bằng cách sử dụng phân tích phương sai.

2. THIẾT KẾ THÍ NGHIỆM

Trong nghiên cứu này, thiết kế thí nghiệm của Taguchi được sử dụng để xây dựng các thí nghiệm. Ba thông số của điều kiện bôi trơn làm nguội tối thiểu có thêm hạt nano là nồng độ hạt nano, áp suất khí nén và lưu lượng chất lỏng đã được lựa chọn để khảo sát. Mỗi tham số có ba mức. Do đó, mảng trực giao L_9 của Taguchi là phù hợp để tổ chức thí nghiệm. Bảng 1 hiển thị các thông số MQL và các mức được lựa chọn trong nghiên cứu.

Bảng 1. *Các tham số đầu vào.*

Tham số	Mức		
	1	2	3
Nồng độ hạt nano *c* (w%)	0	2	4
Lưu lượng chất lỏng cắt *f* (ml/h)	40	60	80
Áp suất *p* (KG/cm^2)	3	4	5

Tất cả các thí nghiệm được thực hiện trên một trung tâm gia công phay CNC. Các chế độ gia công phay được thực hiện với vận tốc cắt là 70 m/phút, lượng tiến dao là 0,01 mm/răng và chiều sau cắt là 0,2 mm [8]. Chế độ phay này được cố định trong toàn thí nghiệm. Phôi thép H13 có kích thước 200 × 100 × 50 mm, được tôi tới độ cứng 50 HRC. Các hạt nano Al_2O_3 (Trung Quốc) có kích thước 20 nm với độ tinh khiết 99,9% được bổ sung vào dung dịch cắt emunxi. Dung dịch exumxi là dung dịch dầu ZP-600 (Đài Loan) được pha với nước với tỉ lệ 1:20. Một thiết bị khuấy từ được sử dụng để trộn đều các hạt nano vào dung dịch cắt. Dụng cụ cắt là dao phay ngón ϕ10 phủ TiAlN. Độ nhám bề mặt được đo bằng cách sử dụng thiết bị SJ-201 của Mitutoyo. Mỗi thử nghiệm được lặp lại ba lần để loại bỏ sai số ngẫu nhiên có thể xảy ra.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Kết quả của quá trình phay cứng thép H13 và giá trị của tỷ lệ S/N được đưa ra ở bảng 2. Các thông số đầu vào của điều kiện MQL bao gồm nồng độ hạt nano trong dung dịch cắt (*c*), lưu lượng dung dịch (*f*) và áp suất khí nén (*p*). Mục đích của nghiên cứu này là tối ưu hóa các thông số điều kiện MQL để đạt được độ nhám bề mặt (*Ra*) tối thiểu. Do đó, khi áp dụng phương pháp Taguchi, tỷ lệ S/N "the smaller is the better" (nhỏ hơn là tốt hơn) đã được chọn và được xác định trong phương trình (1) dưới đây:

$$S/_N = -10log\frac{1}{n}(\sum_{i=1}^{n} y_i^2) \quad (1)$$

Trong đó: y_i là dữ liệu được quan sát; n là số thí nghiệm được lặp lại.

Bảng 2. *Kết quả thí nghiệm.*

TT	*c* (wt%)	*f* (ml/h)	*p* (KG/cm^2)	Ra (µm)	S/N
1	0	40	3	0,365	8,7541
2	0	60	4	0,368	8,6830
3	0	80	5	0,371	8,6125
4	2	40	4	0,341	9,3449
5	2	60	5	0,344	9,2688
6	2	80	3	0,217	13,2708
7	4	40	5	0.317	9,9788
8	4	60	3	0,200	13,9794
9	4	80	4	0,193	14,2592

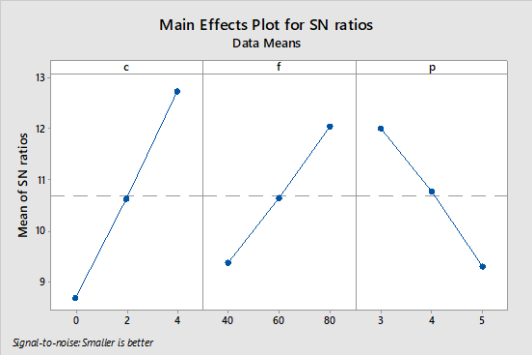
Theo bảng 2, chỉ số độ nhám nằm trong khoảng 0,193 µm đến 0,368 µm. Độ nhám có giá trị lớn nhất là 0,368 µm trong thí nghiệm 2 và có giá trị nhỏ nhất là 0,193 µm trong thí nghiệm 9. Phần mềm Minitab V17 được sử dụng để cho ra kết quả của tỷ lệ S/N và các phân tích phương sai.

Bảng 3 cho biết giá trị trung bình của đáp ứng S/N đối với độ nhám bề mặt. Dựa trên phân tích, thứ hạng cao nhất của từng mức thông số là mức thứ ba của nồng độ hạt nano, mức thứ ba của lưu lượng, và mức thứ nhất của áp suất khí nén. Theo đó, điều kiện tối ưu cho thí nghiệm sẽ là (3-3-1). Thứ hạng có nghĩa là nồng độ hạt nano là yếu tố ảnh hưởng lớn nhất đến độ nhám bề mặt, sau đó là áp suất khí nén.

***Bảng 3**. Đáp ứng cho tỷ lệ S/N.*

Mức	*c*	*f*	*p*
1	8,683	9,359	**12,001**
2	10,628	10,644	10,762
3	**12,739**	**12,048**	9,287
Chênh lệch	4,056	2,688	2,715
Hạng	1	3	2

Biểu đồ phản hồi S/N được hiển thị trong hình 1. Theo phân tích phản hồi S/N, để đạt được độ nhám bề mặt tốt nhất, các điểm tối ưu của điều kiện MQL là nồng độ hạt nano là 4 w% lưu lượng dung dịch là 80 ml/h, và áp suất là 3 kg/cm^2.



***Hình 1.** Biểu đồ tỉ số S/N cho độ nhám.*

***Bảng 4.** Phân tích phương sai (ANOVA).*

Source	DF	Adj-SS	Adj-MS	F-Value	P-Value	C%
c	2	0,025792	0,012896	1236,90	0,001	56,11
f	2	0,009728	0,004864	466,53	0,002	21,16
p	2	0,010421	0,005210	499,74	0.002	22,67
Sai số	2	0,000021	0,000010	-	-	
Tổng	8	0,045962	-	-	-	
R-sq = 99,95%						

Bảng 4 mô tả kết quả phân tích phương sai. Theo bảng ANOVA, nồng độ hạt nano trong dung dịch là thông số có ảnh hưởng nhất tiếp theo là áp suất khí nén. Chúng đóng góp lần lượt 56,11% và 22,67% vào tổng tác động. Lưu lượng là yếu tố có ảnh hưởng 21,16% tới độ nhám. Các giá trị P nhỏ hơn 0,05 của các yếu tố đầu vào có nghĩa rằng ảnh hưởng của các yếu tố này mang ý nghĩa thống kê. Với R-Sq = 99,95%, cho thấy 99,95% độ biến thiên độ nhám bề mặt được giải thích bởi các yếu tố đầu vào. Nồng độ hạt nano có ảnh hưởng lớn nhất tới độ nhám cho thấy rằng việc thêm hạt nano vào dung dịch cắt cho hiệu quả rất tốt góp phần giảm độ nhám gia công.

Để có được độ nhám tốt nhất, điều kiện MQL được áp dụng là nồng độ cao hơn, lưu lượng chất lỏng cao hơn và áp suất khí nén thấp hơn. Người có thể thấy rằng một lượng lớn hơn các hạt nano

được thêm vào dung dịch cắt dẫn đến cải thiện đặc tính truyền nhiệt và bôi trơn của chất lỏng. Nói cách khác, hiệu quả tuyệt vời của việc thêm các hạt nano vào chất lỏng cắt đã được chứng minh khi so sánh với MQL thông thường. Lưu lượng chất lỏng cao hơn cung cấp một lượng chất lỏng cắt lớn hơn vào khu vực cắt, dẫn đến tăng hiệu quả bôi trơn và làm mát. Áp suất khí nén phù hợp là quan trọng trong quá trình bôi trơn làm nguội. Dưới áp suất lớn hơn, một lượng lớn chất lỏng cắt sẽ bị đẩy ra khỏi vùng tiếp giáp giữa dụng cụ cắt và bề mặt gia công. Điều đó làm giảm hiệu quả bôi trơn và làm mát.

Điều kiện MQL tối ưu là nồng độ hạt nano là 4w% lưu lượng dung dịch là 80 ml/h, và áp suất là 3 KG/cm^2. Tuy nhiên, điều kiện gia công này không suất hiện trên bảng 2. Điều đó cho thấy cần có một thí nghiệm kiểm chứng được thực hiện để xác nhận độ tin cậy của nghiên cứu. Thí nghiệm kiểm chứng được tiến hành với điều kiện MQL tối ưu như trên và dưới chế độ cắt tương tự của toàn thí nghiệm.

Bảng 5 là bảng so sánh giá trị độ nhám đạt được giữa hai thí nghiệm gồm thí nghiệm số 9 (Thí nghiệm có giá trị độ nhám nhỏ nhất trong bảng 2) và thí nghiệm kiểm chứng. Trong bảng 5, *v* là vận tóc cắt, *fr* là lượng tiến dao, *d* là chiều sâu cắt, các chỉ số của tham số MQL *c*, *f* và *p*.

Bảng 5. *Bảng so sánh giá trị độ nhám.*

Thí nghiệm	Chế độ cắt			Chế độ MQL			Độ nhám
	v	*fr*	*d*	*c*	*f*	*p*	*Ra*
	m/phút	*mm/răng*	*mm*	*w%*	*ml/giờ*	KG/cm^2	µm
Số 9	70	0,01	0,2	4	80	4	0,193
Kiểm chứng	70	0,01	0,2	4	80	3	0,188

Từ bảng 5, có thể thấy rằng độ nhám đạt được của thí nghiệm kiểm chứng là 0,188 µm nhỏ hơn giá trị độ nhám của thí nghiệm số 9. Điều đó chứng tỏ rằng, kết quả của nghiên cứu có tính tin cậy.

4. KẾT LUẬN

Trong nghiên cứu này, phương pháp Taguchi đã được sử dụng để tối ưu hóa điều kiện MQL có sử dụng hạt nano Al_2O_3 nhằm giảm độ nhám gia công khi phay cứng thép H13. Một số điểm chính rút ra như sau:

- Điều kiện MQL bao gồm nồng độ hạt nano 4 w%, lưu lượng chất lỏng 80 ml/h và áp suất khí nén 3 kg/cm^2 là điều kiện tối ưu để đạt được giá trị độ nhám bề mặt là nhỏ nhất.
- Nồng độ hạt nano là yếu tố ảnh hưởng nhiều nhất đến độ nhám bề mặt, đóng góp 56,11% tới tổng tác động. Tiếp theo là áp suất khí nén và lưu lượng dung dịch trơn nguội. Chúng đóng góp lần lượt 22,67% và 21,16% trong tổng số ảnh hưởng đến độ nhám.
- Hiệu quả của việc thêm các hạt nano vào chất lỏng cắt đã được chứng minh khi ta nhận thấy rõ ràng rằng nồng độ hạt nano ở mức cao là tối ưu cho nồng độ.

Lời cảm ơn: *Chúng tôi xin cám ơn Trường Đại học Kỹ thuật Công nghiệp Thái Nguyên đã hỗ trợ nghiên cứu này.*

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. S. Senevirathne and H. Punchihewa, *"Comparison of tool life and surface roughness with MQL, flood cooling, and dry cutting conditions with P20 and D2 steel,"* in IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2017, p. 12006.

[2]. T. V. Do and T. D. Phan, *"An empirical investigation of SIO2 nano concentration under MQL on surface roughness in hard milling of jis SKD61 steel,"* Journal of Applied Engineering Science, vol. 18, 2020.

[3]. P. Sreejith and B. Ngoi, *"Dry machining: machining of the future,"* Journal of materials processing technology, vol. 101, pp. 287-291, 2000.

[4]. T.-V. Do and Q.-C. Hsu, *"Optimization of minimum quantity lubricant conditions and cutting parameters in hard milling of AISI H13 steel,"* Applied Sciences, vol. 6, p. 83, 2016.

[5]. T. V. Do, Q. M. Nguyen, and M. T. Pham, *"Optimization of Cutting Parameters for Improving Surface Roughness during Hard Milling of AISI H13 Steel,"* in Key Engineering Materials, 2020, pp. 35-39.

[6]. F. Klocke and G. Eisenblätter, *"Dry cutting,"* Cirp Annals, vol. 46, pp. 519-526, 1997.
[7]. M. K. Gupta, P. Sood, and V. S. Sharma, *"Optimization of machining parameters and cutting fluids during nano-fluid based minimum quantity lubrication turning of titanium alloy by using evolutionary techniques,"* Journal of Cleaner Production, vol. 135, pp. 1276-1288, 2016.
[8]. T.-V. Do, *"Empirical Model for Surface Roughness in Hard Milling of AISI H13 Steel Under Nanofluid-MQL Condition Based on Analysis of Cutting Parameters,"* Journal of Mechanical Engineering Research and Developments, vol. 43, pp. 89-94, 2020.
[9]. T. Walker, *"The handbook A guide to machining with Minimum Quantity Lubrication, V 1.0. 3. Unist,"* ed: Inc, 2013.
[10]. T.-V. Do and N.-A.-V. Le, *"Optimization of surface roughness and cutting force in MQL hard-milling of AISI H13 steel,"* in Advances in Engineering Research and Application: Proceedings of the International Conference, ICERA 2018, 2019, pp. 448-454.
[11]. B. Boswell, M. N. Islam, I. J. Davies, Y. Ginting, and A. K. Ong, *"A review identifying the effectiveness of minimum quantity lubrication (MQL) during conventional machining,"* The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, vol. 92, pp. 321-340, 2017.
[12]. K. Weinert, I. Inasaki, J. Sutherland, and T. Wakabayashi, *"Dry machining and minimum quantity lubrication,"* CIRP annals, vol. 53, pp. 511-537, 2004.
[13]. N. R. Dhar, S. Islam, and M. Kamruzzaman, *"Effect of Minimum Quantity Lubrication (MQL) on Tool Wear, Surface Roughness and Dimensional Deviation in Turning AISI-4340 Steel,"* Gazi University Journal of Science, vol. 20, 2007.
[14]. M. Sayuti, A. A. Sarhan, and F. Salem, *"Novel uses of SiO2 nano-lubrication system in hard turning process of hardened steel AISI4140 for less tool wear, surface roughness and oil consumption,"* Journal of Cleaner Production, vol. 67, pp. 265-276, 2014.
[15]. M. Sayuti, A. A. Sarhan, and M. Hamdi, *"An investigation of optimum SiO 2 nanolubrication parameters in end milling of aerospace Al6061-T6 alloy,"* The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, vol. 67, pp. 833-849, 2013.
[16]. T.-V. Do, N.-C. Vu, and Q.-M. Nguyen, *"Optimization of cooling conditions and cutting parameters during hard milling of AISI H13 steel by using Taguchi method,"* in 2018 IEEE International Conference on Advanced Manufacturing (ICAM), 2018, pp. 396-398.

ABSTRACT

OPTIMAZATION OF NANOFLUID MQL CONDITION USING Al_2O_3 NANOPARTICLE DURING HARD MILLING OF AISI H13 ALLOY STEEL

Minimum quanlity lubrication (MQL) using nanoparticles has been successfully applied in metal cutting to replace the traditional method. In particular, the selection of the parameters of the cooling condition plays an important role in improving machining quality. In this study, the effects of MQL parameters using nanoparticles including nanoparticle concentration, air pressure and flow rate on surface roughness were investigated. The nanoparticles added to the cutting oil are Al_2O_3 nanoparticles. The design of the experimental process as well as the data analysis was carried out by using the Taguchi method. The signal to noise ratio (S/N) and the variance analysis (ANOVA) were used to find the optimal MQL condition to get the best surface roughness. Also, the results show that the nanoparticle concentration is the factor having a great influence on the surface roughness.

Keywords: Hard milling; Taguchi method; MQL; Al_2O_3 nanoparticles; Surface roughness; AISI H13.

Nhận bài ngày 06 tháng 4 năm 2021
Hoàn thiện ngày 19 tháng 8 năm 2021
Chấp nhận đăng ngày 05 tháng 9 năm 2021

Địa chỉ: [1]Đại học Sư phạm Kỹ thuật Hưng Yên;
[2]Trường Đại học Kỹ thuật Công nghiệp Thái Nguyên.
*Email: thevinh8880@tnut.edu.vn.