

NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM KHOAN LỖ SÂU THÉP KHÔNG GỈ SUS 304 CÓ TRỢ GIÚP BẰNG RUNG ĐỘNG TẦN SỐ THẤP

EXPERIMENTAL STUDY ON LOW-FREQUENCY VIBRATION ASSISTED
DRILLING OF AUSTENITIC STAINLESS STEEL SUS304

Nguyễn Thị Thảo¹, Nguyễn Văn Dự², Chu Ngọc Hùng²

¹Trường Cao đẳng nghề Bắc Kạn

²Trường Đại học Kỹ thuật Công nghiệp, Đại học Thái Nguyên

TÓM TẮT

Bài báo này trình bày cách thức đánh giá ảnh hưởng của phương pháp gia công khoan có rung động trợ giúp trên một loại vật liệu khó gia công là thép không gỉ SUS304. Các lỗ có tỷ lệ chiều dài trên đường kính là 11 (35/3.0) đã được khoan thử nghiệm bằng cả hai phương pháp: khoan truyền thống và khoan có bổ sung rung động. Lực dọc trục được thu được trong quá trình khoan được phân tích bằng phép so sánh trung bình (2-sample t-test) và so sánh theo cặp (paired-t). Kết quả cho thấy, lực dọc trục khi khoan có rung trợ giúp giảm tới 60% so với khoan truyền thống. Các chỉ tiêu về độ lay rộng lỗ, khả năng thoát phoi cũng được cải thiện đáng kể. Giải pháp mới đơn giản, chi phí thấp cho phép ứng dụng rung động trợ giúp để cải thiện điều kiện gia công và nâng cao chất lượng khi khoan thép không gỉ.

Từ khóa: Khoan lỗ sâu; Thép không gỉ SUS304; Rung động trợ giúp gia công khoan.

ABSTRACT

This paper introduces a method to evaluate the influence of low-frequency vibration assisted deep drilling for difficult-to-cut materials such as austenitic stainless steel SUS304. Holes with L/D ratio of 11 (35/3.0) have been machined in both methods of conventional and vibration assisted drilling. Data of thrust force and hole oversize were then analyzed and compared both by 2-sample t-test and paired-t methods. The results showed that, thrust force in vibration assisted drilling can be reduced by 60% compared to conventional drilling. Other advantages of vibration assisted drilling such as hole oversize reduction and chip formation improvement were also observed. This low-cost and simple solution was verified to improve machining condition as well as hole quality of stainless steel deep drilling.

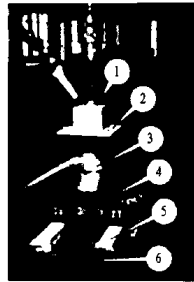
Keywords: Deep drilling; Stainless Steel; Vibration Assisted Drilling.

1. GIỚI THIỆU

Thép không gỉ có vai trò quan trọng và được ứng dụng rải trong các ngành công nghiệp hàng không, thiết bị y tế, thiết bị chế biến thực phẩm cũng như xây dựng và đồ dân dụng. Do đặc tính có độ bền nhiệt cao, tương tác với hầu hết các loại vật liệu dụng cụ cắt, nên thép không gỉ được xếp vào một trong những vật liệu khó gia công. Trong họ thép không gỉ, SUS304 là một trong những mác thép khó gia công nhất, với hệ số tính năng cắt chỉ khoảng 50% [1]. Các tổn tại khi gia công thép không gỉ, đặc biệt là khi khoan thép SUS304, bao gồm: Dụng cụ mòn nhanh, năng suất cắt thấp, lực cắt và công suất cắt lớn... đã và đang nhận được sự quan tâm tìm hướng giải quyết của các chuyên gia nghiên cứu [2-5]. Kỹ thuật rung động trợ giúp gia công (Vibration Assisted Machining - VAM) đã được nhiều nghiên cứu khẳng định là khắc phục được các tổn tại trên đây [6-14]. Các kết quả cho thấy, gia công bằng khoan có rung động trợ giúp cải thiện điều kiện thoát phoi, giảm lực cắt, tăng tuổi bền mũi khoan, giảm độ méo lỗ khoan. Tuy vậy, các thiết bị tạo rung đã và đang được sử dụng đều hoặc có kết cấu công kênh, phức tạp, hoặc đắt tiền, đặc biệt là các thiết bị tạo rung siêu âm. Giải pháp khai thác cơ cấu tạo rung động tần số thấp, giá thành rẻ để trợ giúp gia công khoan đã được triển khai và cho kết quả tốt trên hợp kim nhôm [11-12]. Dù vậy, ưu việt của việc ứng dụng cơ cấu này trong khoan thép không gỉ, đặc biệt ở góc độ làm giảm lực cắt, nâng cao chất lượng lỗ khoan vẫn chưa được khẳng định. Bài báo này giới thiệu các kết quả giải đáp các vấn đề nói trên.

2. MÔ TẢ THIẾT BỊ THÍ NGHIỆM

Nguyên tắc và kết cấu đồ gá rung cho giải pháp sử dụng cơ cấu rung khí nén được trình bày trên hình 1, [12].



Hình 1. Ảnh chụp kết cấu gá rung

Trên hình 1, đầu rung khí nén 3 được treo trên tấm gá 2 nhờ vít kẹp 1. Vít kẹp này đồng thời được tận dụng để kẹp phôi với tấm gá. Biện pháp đàn hồi của tấm gá được khai thác như một lò xo đỡ phôi. Tấm gá mang phôi và đầu rung được kẹp trên thân đồ gá 4. Đồ gá được đặt trên bốn loadcell đo lực 5, model YZC-1B. Các loadcell này có cùng kích thước, được bố trí trên một tấm thép và được kẹp chặt với bàn máy nhờ các bulong 6. Bộ xử lý tín hiệu KM-04 được sử dụng để cấp nguồn nuôi loadcell. Đầu rung khí nén kiểu Findeva ký hiệu FP-35-M có khối lượng 1,14 kg; làm việc với áp suất khí nén từ 2 đến 6 bar, tạo ra tần số rung động từ 3.000 đến 4.600 lần trên phút (tương ứng từ 50 đến 76 Hz), lực rung từ 248 đến 1080 N. Tấm gá được chế tạo bằng nhôm, có kích thước dài x rộng x dày là 150x150x3 mm. Thử nghiệm được tiến hành với 11 lỗ gia công bằng khoan thường (không có rung động bổ sung) và 11 lỗ được khoan có rung. Chế độ rung được tạo nhờ nguồn khí nén cố định ở áp suất 4 bar. Biên độ rung động lớn nhất đo được khoảng 0,1 mm (đo bằng Vibrometer BRZFY có độ phân giải 1µm, phạm vi đo đến 1 mm). Phôi SUS304 có kích thước 60x60x35 mm. Các lỗ khoan thông (chiều dài 35 mm) được khoan bằng mũi khoan HSS có đường kính 3,0 mm trên máy phay KNUTH-VHF3. Tốc độ quay

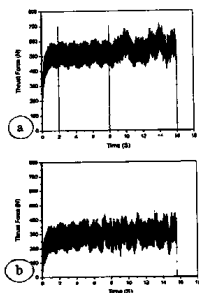
của mũi khoan được chọn là 1130 vòng/phút, lượng chạy dao (tự động) lần lượt được chọn là 0,08 và 0,15 mm/vòng. Đường kính các lỗ khoan và phoi được chụp bằng kính hiển vi điện tử, TM-1000 Hitachi, Nhật Bản, có độ phóng đại 10.000 lần.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Do khuôn khổ có hạn của bài báo, các kết quả cải thiện về khả năng thoát phoi, độ bền mũi khoan, dạng phoi,... tương tự như thí nghiệm với khoan hợp kim nhôm [12] sẽ không được trình bày. Dưới đây, hai chỉ tiêu đánh giá chính yếu sẽ được phân tích kỹ, bao gồm: Lực dọc trục khi khoan và mức độ biến động của đường kính lỗ khoan. Đây là các tiêu chí chính yếu quyết định tuổi bền dụng cụ và chất lượng gia công lỗ nhỏ.

3.1. Sự giảm lực dọc trục

Trước hết, lực dọc trục khi khoan được thu thập và lưu trữ, xử lý bằng máy tính cho từng lỗ khoan. Hình 2, minh họa đồ thị lực dọc trục (Thrust Force) biến đổi theo thời gian khoan của 2 chế độ: Khoan thường và khoan rung.



Hình 2. Lực dọc trục khi khoan thường (hình a) và khoan rung (hình b) Lượng chạy dao 0,08 mm/v; cặp lỗ khoan thứ nhất

Qua hình 2 có thể thấy, giá trị lực dọc trục ở mỗi chế độ khoan biến động trong một giới nhất định. Chẳng hạn chế độ khoan không rung, lực dọc trục biến động từ khoảng 450 N đến trên 550 N; còn lực dọc trục khi khoan có rung động trợ giúp biến động từ giá trị min khoảng 200N đến dưới 400N. Do vậy, tiến hành thống kê mô tả dữ liệu lực trong khoảng từ giây thứ hai đến giây thứ tám để phân tích so sánh. Thời gian 06 giây từ giây thứ hai đến giây thứ tám là đủ dài để thực hiện thống kê giá trị lực trung bình cũng như khoảng biến động của lực dọc trục. Từ số liệu trung bình của 11 cặp lực dọc trục khi khoan 11 cặp lỗ, tiến hành so sánh thống kê cho 2 tập toàn bộ lực dọc trục khi khoan có rung và không có rung động trợ giúp. Gọi trung bình lực dọc trục của tất cả các lỗ khoan không rung là μ_1 , trung bình lực dọc trục của tất cả các lỗ khoan có rung là μ_2 , giả thuyết thống kê được phát biểu tóm tắt như sau:

$$\begin{cases} \mu_1 - \mu_2 = 0 \\ \mu_1 - \mu_2 > 0 \end{cases}$$

Hình 3, minh họa kết quả so sánh suy diễn thống kê.

Two-Sample T-Test and CI: No vibration, With vibration				
Two-sample T for No vibration vs With vibration				
	N	Mean	StDev	SE Mean
No vibration	11	498.6	19.7	5.9
With vibration	11	286.6	18.0	5.4
Difference = μ_1 (No vibration) - μ_2 (With vibration)				
Estimate for difference: 211.97				
95% lower bound for difference: 198.09				
T-Test of difference = 0 (vs >): T-Value = 26.35 P-Value = 0.000 DF = 20				
Both use Pooled StDev = 18.5663				

Hình 3. So sánh thống kê biến động lực dọc trục

Kết quả trên hình 3 cho thấy, với độ chắc chắn 95%, có thể khẳng định rằng, trung bình lực dọc trục khi khoan không có rung động trợ giúp lớn hơn trung bình lực dọc trục khi khoan có rung động trợ giúp khoảng 198.09 N. Giá trị này xấp xỉ 40% lực trung bình khi khoan không có rung (498,6 N). Tức là, rung động bổ sung có thể làm giảm được lực dọc trục đến 60%.

Để đánh giá ảnh hưởng của sự mòn mũi khoan đến lực dọc trục, các giá trị lực dọc trục tương ứng của 2 chế độ cho từng lỗ khoan được đem so sánh theo cặp: Lực dọc trục trung bình khi khoan không có rung trợ giúp cho lỗ thứ nhất (mũi khoan mới) được so sánh với lực dọc trục trung bình khi khoan có rung trợ giúp cũng cho lỗ thứ nhất (mũi khoan mới); Tương tự cho lỗ thứ 2, thứ 3... Kết quả so sánh theo cặp (paired-t) của 11 cặp mẫu được suy diễn thống kê so sánh lực trung bình cho hai chế độ khoan như minh họa trên hình 4.

```

Paired T-Test with CE No vibration, With vibration
Paired T for No vibration - With vibration
          N      Mean      StDev      SE Mean
No vibration  11  490.09  19.79      5.97
With vibration 11  299.56  17.71      5.35
Difference    11  211.91  26.48      7.58

95% lower bound for mean difference: 190.53
T-Test of mean difference = 0 (vs > 0): T-Value = 28.71  P-Value = 0.000
    
```

Hình 4. So sánh thống kê theo cặp lực dọc trục

Kết quả hình 4 cho thấy, với độ chắc chắn đến 95%, có thể kết luận lực trung bình của khoan không rung lớn hơn của khoan rung ít nhất 198,53N.

Thực hiện tương tự 2 phép so sánh như trên đối với chế độ chạy dao 0,15 mm/vòng, kết quả cũng cho thấy, với độ chắc chắn đến 95%, có thể kết luận rằng, lực dọc trục khi khoan không rung lớn hơn khi khoan có rung ở chế độ chạy dao này lần lượt là 314,5 N (so sánh trung bình) và 320,1N (so sánh theo cặp).

3.2. Hiện tượng lay rộng lỗ

Các lỗ khoan thu được ở từng chế độ khoan có và không có rung động trợ giúp được chụp ảnh phóng đại trên máy SEM TM - 1000, cho kết quả đo như minh họa trên bảng 1. Độ lay rộng lỗ được tính bằng hiệu số giữa đường kính thực của lỗ khoan và đường kính danh nghĩa của mũi khoan.

Bảng 1. Đường kính các lỗ khoan, lượng chạy dao 0,08 mm/vòng:

TT lỗ khoan	Đường kính khoan không rung (mm)	Độ lay rộng khoan không rung (mm)	Đường kính lỗ khoan có rung (mm)	Độ lay rộng lỗ khoan có rung (mm)
1	3.49	0.49	3.045	0.045
2	3.19	0.19	3.06	0.06
3	3.505	0.505	3.065	0.065
4	3.09	0.09	3.065	0.065
5	3.09	0.09	3.085	0.085
6	3.46	0.46	3.025	0.025
7	3.15	0.15	3.025	0.025
8	3.145	0.145	3.045	0.045
9	3.185	0.185	3.055	0.055
10	3.09	0.09	3.065	0.065
11	3.185	0.185	3.065	0.065

Sử dụng bộ dữ liệu 11 mẫu trong bảng, phân tích so sánh thống kê cho thấy, với mức tin cậy 95%, có thể khẳng định đường kính lỗ khi khoan không có rung động trợ giúp lớn hơn đường kính lỗ khoan có rung động trợ giúp 0,09 mm, tương đương 3% giá trị đường kính. Phân tích dữ liệu khi khoan với lượng tiến dao 0,15 mm/vòng cũng cho kết quả tương tự.

4. KẾT LUẬN

Thực nghiệm đã cho thấy, rung động tần số thấp khi khoan lỗ sâu trên thép không gỉ SUS304 cũng mang lại các hiệu quả cao. Rung động làm giảm lực dọc trục khi khoan đến 60%, làm giảm mức độ lay rộng lỗ đến 3%. Các tiêu chí này cho thấy, khai thác rung động trợ giúp gia công khoan các vật liệu khó gia công, trong đó có thép không gỉ, là khả thi và hiệu quả. ❖

Ngày nhận bài: 04/4/2016

Ngày phản biện: 14/5/2016

Tài liệu tham khảo:

[1]. American Iron and Steel Institute, *Stainless Steel for Machining*, Designer Handbook, 2012.
 [2]. S.Emura, M.Kawajiri, X. Min, S. Yamamoto, K.Sakuraya, K.Tsuzaki, *Machinability Improvement and Its Mechanism in SUS304 Austenitic Stainless Steel by Precipitated Hexagonal Boron Nitride*, ISIJ International, Vol. 53 (2013), No. 10, pp. 1841-1849.
 [3]. M.P. Yan and H. Shao, *Study on High-Speed Drilling of SUS304 Based on FEA*, Advanced Materials Research Vol 188 (2011) pp 529-534.
 [4]. N.G.Kancriya, G. K. Sharma, *Experimental Evaluation and Optimization of Dry Drilling Parameters of AISI304*

Austenitic Stainless Steel using Different Twist Drills, 5th International & 26th All India Manufacturing Technology, Design and Research Conference (AIMTDR 2014), pp 543-1-7.

[5]. A.Çiçek, T.Kıvık, E.Ekici, *Optimization of drilling parameters using Taguchi technique and response surface methodology (RSM) in drilling of AISI 304 steel with cryogenically treated HSS drills*, Journal of Intelligent Manufacturing, Volume 26, Issue 2 (2015), pp 295-305.
 [6]. N. Arai, K. Adachi, M. Nakamura, S. Wakisaka, M. Ryudo, *A Study on Low Frequency Vibratory Drilling of SUS304: Cutting Temperature of Drill Point*, Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers Series C, Vol. 56, release 2008, pp 1960-1964.
 [7]. G.Chern, Han-Jou Lee, *Usingworkpiece vibration cutting for micro-drilling*, International Journal of Advance Manufacturing Technology 27 (2006); pp 688-692.
 [8]. Adachi K.; Arai N.; Harada S.; Okita K.; Wakisaka S., *A study on burr in low frequency vibration drilling - Drilling of aluminum*, Bulletin of JSPE, 21 (4); pp-258-264.
 [9]. G.-L. Chern, J.M. Liang, *Study on boring and drilling with vibration cutting*, International Journal of Machine Tools and Manufacture, 47(1), 2007, pp.133-140.
 [10]. B. Azarhoushang, J. Akbari, *Ultrasonic-assisted drilling of Inconel 738-LC*, International Journal of Machine Tools and Manufacture, 47(7-8), 2007, pp. 1027-1033.
 [11]. Phan Văn Nghị, Nguyễn Văn Dự, Lê Duy Hội; *Khoan lỗ sâu trên hợp kim nhôm có trợ giúp của rung động tần số thấp*, Tạp chí Khoa học và Công nghệ các trường Đại học Kỹ thuật, số 92/2013, tr. 75-81.
 [12]. Nguyễn Văn Dự, Chu Ngọc Hùng; *Giải pháp khoan lỗ sâu trên hợp kim nhôm có trợ giúp của rung động tần số thấp*, Tạp chí Cơ khí Việt Nam, số 6/2015, tr. 14-17.
 [13]. Nguyễn Văn Dự, Nguyễn Đăng Bình; *Quy hoạch thực nghiệm trong kỹ thuật*, NXB. Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội, 2011.