

**PHÂN TÍCH ẢNH HƯỞNG CỦA CÁC THÔNG SỐ CÔNG NGHỆ
ĐẾN BIÊN DẠNG LỖ CỦA QUÁ TRÌNH KHOAN MA SÁT
SỬ DỤNG PHƯƠNG PHÁP THỰC NGHIỆM TAGUCHI**

ANALYZING THE EFFECT OF PROCESS PARAMETERS
ON THE DRILLED HOLES IN FRICTION DRILLING PROCESS
USING TAGUCHI METHOD

Trần Thanh Phong, Vương Lê Thanh Phương

Trường Cao đẳng Cộng đồng Đồng Tháp

Email: tranthanhphong.sd2@gmail.com;

vuonglethanhphuong@gmail.com

TÓM TẮT

Bài báo trình bày nghiên cứu ảnh hưởng của các thông số công nghệ đến quá trình khoan ma sát trên thép SS400 bằng dụng cụ thép gió, sử dụng phương pháp thiết kế thực nghiệm Taguchi nhằm xác định tổ hợp thông số tối ưu. Ba yếu tố chính được khảo sát gồm: tốc độ quay trục chính, góc côn dụng cụ và chiều dày vật liệu. Thông qua phân tích phương sai (ANOVA) và tỷ số tín hiệu/nhiều (S/N ratio), các thông số ảnh hưởng đáng kể đến chiều dài và chiều dày thành ống đã được xác định. Kết quả thí nghiệm cho thấy tổ hợp thông số tối ưu cải thiện đáng kể chất lượng biên dạng lỗ sau khi khoan.

Từ khóa: Khoan ma sát; Phương pháp Taguchi; Tối ưu hóa; Thiết kế thí nghiệm.

ABSTRACT

The main purpose of this paper is to present a study on the influence of process parameters on the friction drilling process on SS400 steel using high-speed steel drilling tools, employing the Taguchi experimental design method to determine the optimal parameter combination. The three main factors investigated are: spindle rotation speed, tool taper angle, and material thickness. Through analysis of variance (ANOVA) and signal-to-noise (S/N) ratio, the parameters significantly affecting the length and wall thickness of the pipe were identified. The experimental results demonstrating that the optimal parameter combination significantly improves the quality of the hole profile post-drilling.

Keywords: Friction drilling; Taguchi; Spindle speed; Cone angle.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Khoan ma sát (Friction Drilling) là một công nghệ gia công không phôi tiên tiến sử dụng nhiệt sinh ra từ ma sát giữa dụng cụ và vật liệu khoan làm biến dạng dẻo vật liệu tạo ra lỗ khoan, đồng thời tạo thành một biên dạng ống để tạo lỗ taro ren [1]. Khác với các phương pháp truyền thống, khoan ma sát dựa trên cơ chế ép đùn nhiệt - nhiệt độ cao khiến vật liệu ở vùng khoan mềm đi và tạo thành biên dạng hình ống [2].

Nguyên lý của quá trình khoan ma sát gồm ba giai đoạn chính: đầu tiên dụng cụ quay tiếp xúc với bề mặt vật liệu và tạo ra ma sát lớn sinh ra nhiệt cục bộ. Sau đó, kim loại đã được làm mềm ở khu vực mũi khoan nhấn xuống, phân hình trụ của dụng cụ cũng bắt đầu xâm nhập vào tấm kim loại tạo thành lực ép hướng dòng kim loại hướng xuống. Cuối cùng, biên dạng hình ống được hình thành. Dòng kim loại chảy đùn theo hướng ngược lên bị nén bởi phần vai của dụng cụ dẫn đến hình thành gờ ở phần trên cùng của lỗ [3].

Công nghệ khoan ma sát có nhiều ưu điểm nổi bật như: tốc độ gia công nhanh, độ chính xác cao, không gây nứt hoặc biến dạng đáng kể và đặc biệt hiệu quả trên các vật liệu tấm mỏng mà các phương pháp khoan truyền thống không tạo được chiều sâu lỗ taro cần thiết nên phải hàn đai ốc vào khi lắp ghép. Phần ống lỗ được tạo thành có thể có chiều cao gấp 2-3 lần chiều dày tấm. Dụng cụ khoan ma sát thường được chế tạo từ thép gió hoặc vật liệu cứng chịu nhiệt tốt, có hình dạng đầu côn được thiết kế phù hợp để tối ưu dòng chảy vật liệu.

Ứng dụng của khoan ma sát đã được triển khai và ứng dụng rộng rãi trong ngành công nghiệp ô tô, cơ khí chính xác, chế tạo khung sườn, giá đỡ công nghiệp, nội thất và

những lĩnh vực khác [1], [4]. Bên cạnh đó, phương pháp này cũng phù hợp để kết hợp với các quá trình tự động hóa và robot hóa trong dây chuyền sản xuất hiện đại.

2. THỰC NGHIỆM

2.1. Mô hình thực nghiệm

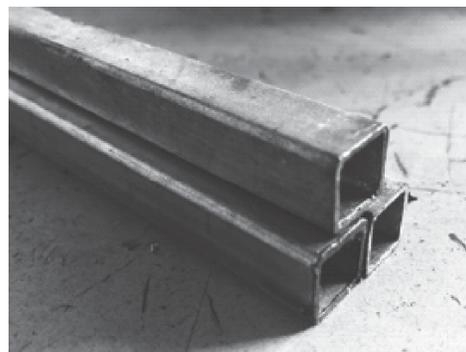
Quá trình khoan ma sát được tiến hành thực nghiệm trên máy phay vạn năng HMM Hàn Quốc, biểu diễn trong hình 2.1. Dụng cụ được lắp trên trục chính của máy phay, có đường kính 5.2 mm, góc côn lần lượt là 30°, 45° và 60°. Tốc độ quay của trục chính là: 1200, 1500, 1800 (vòng/phút). Vật liệu khoan có chiều dày là: 0.7 mm, 1.1mm và 1.5 mm.



Hình 2.1. Gá dụng cụ và phôi

2.2. Vật liệu gia công

Quá trình khoan ma sát tiến hành trên thép hộp SS400 (hình 2.2) với thành phần hóa học như bảng 2.1.

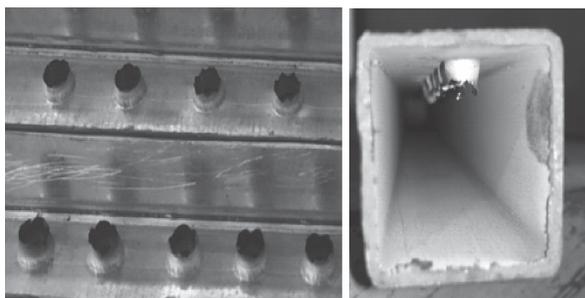


Hình 2.2. Thép hộp SS400

Bảng 2.1. Thành phần hóa học của thép SS400

| C | Si | Mn | P | S |
|--------------|-----------|--------|--------|--------|
| ≤ 0.17 – 0.2 | 0.12–0.17 | ≤ 0.14 | ≤ 0.05 | ≤ 0.05 |

Sau khi tiến hành khoan, thu được chi tiết có biên dạng sau:



Hình 2.3. Chi tiết sau khi khoan

2.3. Thiết kế thí nghiệm

Phương pháp Taguchi với ma trận trực giao L9 (3³) được sử dụng để thiết kế thí nghiệm.

Bảng 2.2. Các thông số và mức thực nghiệm

| STT | Tốc độ quay trục chính n (vg/ph) | Góc cone α (°) | Độ dày vật liệu t (mm) |
|-----|----------------------------------|----------------|------------------------|
| 1 | 1200 | 30 | 0.7 |
| 2 | 1500 | 45 | 1.1 |
| 3 | 1800 | 60 | 1.5 |

Phương pháp Taguchi bao gồm 9 tổ hợp thông số. Các đầu ra được quan sát là: chiều dài và chiều dày thành ống tạo thành sau khi khoan [6].

Bảng 2.3. Bảng số liệu thu được

| Thí nghiệm | Tốc độ quay trục chính n (vg/ph) | Góc cone α (°) | Độ dày vật liệu t (mm) | Chiều dài ống (h) | Chiều dày ống (d) |
|------------|----------------------------------|----------------|------------------------|-------------------|-------------------|
| 1 | 1200 | 30 | 0.7 | 4.45 | 0.63 |
| 2 | 1200 | 45 | 1.1 | 3.84 | 0.57 |
| 3 | 1200 | 60 | 1.5 | 4.87 | 0.54 |
| 4 | 1500 | 30 | 1.1 | 4.57 | 0.64 |
| 5 | 1500 | 45 | 1.5 | 4.30 | 0.47 |
| 6 | 1500 | 60 | 0.7 | 3.58 | 0.49 |
| 7 | 1800 | 30 | 1.5 | 5.35 | 0.64 |
| 8 | 1800 | 45 | 0.7 | 4.76 | 0.67 |
| 9 | 1800 | 60 | 1.1 | 3.25 | 0.54 |

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Phân tích kết quả theo phương pháp Taguchi

Phương pháp Taguchi là một kỹ thuật được sử dụng để phân tích ảnh hưởng của sự thay đổi trong một quy trình bằng cách đánh giá tỷ lệ tín hiệu trên nhiễu (S/N) [5]. Tỷ lệ này phụ thuộc vào đặc tính chất lượng của sản phẩm cũng như quy trình cần tối ưu. Mục tiêu chính của phương pháp này là giảm thiểu sai sót và nâng cao chất lượng đầu ra của sản phẩm.

Trong phương pháp Taguchi, ba loại tỷ lệ S/N phổ biến thường được sử dụng: Lớn hơn càng tốt, Nhỏ hơn càng tốt, Danh nghĩa tốt nhất. Trong nghiên cứu này, tiêu chí Lớn hơn đã được sử dụng để tối ưu hóa chiều dài và chiều dày khoan ma sát. Tỷ lệ S/N cho tiêu chí này được tính theo công thức sau:

$$S/N = -10 \log_{10} (1/n (\sum y^2))$$

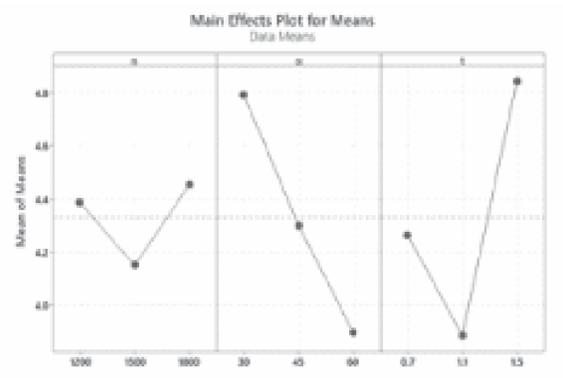
Trong đó:
 S/N: Tỷ lệ tín hiệu/nhiều;
 n: Số lần sao chép cho mỗi tổ hợp cấp độ yếu tố;
 y: Giá trị phản hồi cho mỗi bản sao.

Phần mềm Minitab 18 được sử dụng để thực hiện các tính toán và phân tích tỷ lệ S/N, kết quả được trình bày trong Hình 3.3, Hình 3.5, Hình 3.7. Sau đó, phân tích phương sai (ANOVA) được tiến hành dựa trên kết quả phân tích Taguchi để đánh giá ý nghĩa của từng thông số đầu vào đối với chiều dài và chiều dày của chi tiết. Phần mềm Minitab được sử dụng để tính toán tỷ số tín hiệu trên nhiễu (S/N ratio) theo tiêu chí “Lớn hơn là tốt” (the larger-the-better) cho cả chiều dài ống và chiều dày thành ống.

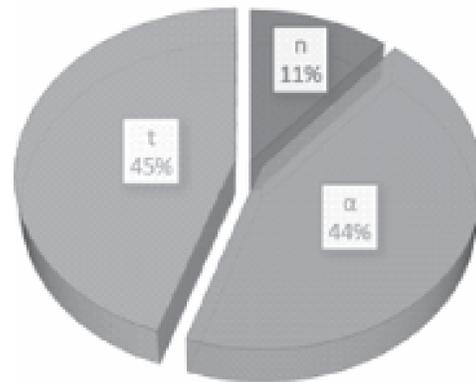
Tốc độ quay trục chính đóng vai trò quyết định đến lượng nhiệt sinh ra trong vùng tiếp xúc giữa dụng cụ và phôi. Khi tốc độ quay tăng, nhiệt độ ma sát tăng làm cho vật liệu mềm hóa nhiều hơn, từ đó giúp tăng chiều dài của biên dạng ống do vật liệu dễ bị đẩy sang hai bên tạo thành thành ống mỏng và cao hơn. Tuy nhiên, nếu quá cao, có thể gây mòn dụng cụ nhanh và giảm độ ổn định. Góc cone của dụng cụ ảnh hưởng đến hướng dòng chảy vật liệu. Góc cone nhỏ (nhọn) thường tạo ra lực đẩy vật liệu theo phương trục nhiều hơn, giúp kéo dài chiều dài ống, nhưng lại có thể làm giảm chiều dày do vật liệu bị trải mỏng. Ngược lại, góc lớn sẽ làm vật liệu chảy sang ngang nhiều hơn, tạo thành ống dày hơn nhưng ngắn. Chiều dài dụng cụ ảnh hưởng đến khả năng truyền tải nhiệt và lực vào sâu trong vật liệu. Dụng cụ dài giúp tạo ma sát sâu hơn, kéo dài vùng biến dạng và tạo thành ống dài hơn. Tuy nhiên, nếu chiều dài dụng cụ quá lớn so với độ dày vật liệu, có thể gây gãy dụng cụ hoặc xảy ra biến dạng không mong muốn.

3.2. Chiều dài ống

Ảnh hưởng của từng thông số đến chiều dài biên dạng chi tiết sau khi khoan ma sát đã được phân tích và được trình bày trong Hình 3.1. Dựa trên tiêu chí tối ưu hóa Lớn hơn càng tốt, tập hợp các thông số khoan tối ưu cho nghiên cứu này là: Số vòng quay trục chính: $n = 1800$ (vg/ph); Góc cone dụng cụ: $\alpha = 30$ (°); Chiều dày phôi: $t = 1.5$ (mm).



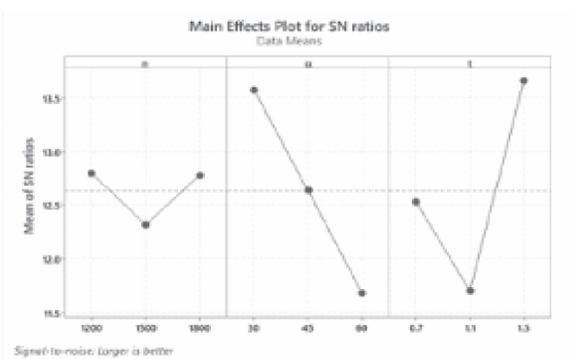
Hình 3.1. Biểu đồ yếu tố ảnh hưởng đến chiều dài (h)



Hình 3.2. Mức độ ảnh hưởng của các thông số đầu vào với chiều dài ống

Hình 3.2 minh họa mức độ ảnh hưởng của các thông số khoan ma sát đến chiều dài biên dạng chi tiết. Kết quả chỉ ra chiều dày vật liệu là yếu tố ảnh hưởng nhất, đóng góp 45% vào chiều dài ống, tiếp theo là góc cone của

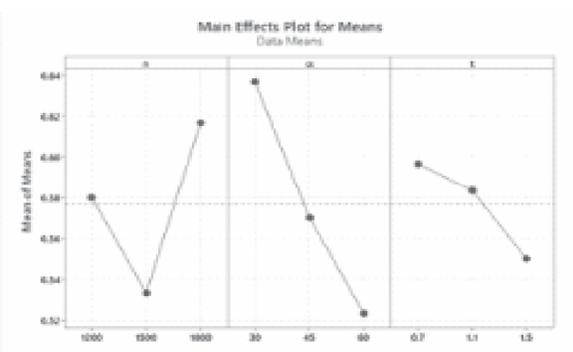
dụng cụ với đóng góp 44% và cuối cùng là số vòng quay trục chính với 11%. Những phát hiện này phù hợp với vai trò chức năng của từng thông số và ảnh hưởng tương đối của chúng đối với sự sinh nhiệt trong quá trình khoan ma sát. Trong số các thông số này, chiều dày vật liệu là yếu tố chính và có tác động lớn nhất đến chiều dài ống trong quá trình khoan ma sát.



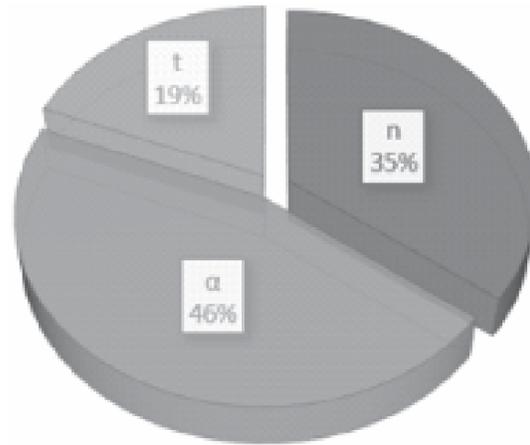
Hình 3.3. Biểu đồ tỷ số tín hiệu trên nhiễu S/N để đánh giá chất lượng tối ưu hóa chiều dài ống

3.3. Chiều dày thành ống

Ảnh hưởng của từng thông số đến chiều dài biên dạng chi tiết sau khi khoan ma sát đã được phân tích và được trình bày trong Hình 3.4. Dựa trên tiêu chí tối ưu hóa Lớn hơn càng tốt, tập hợp các thông số khoan tối ưu cho nghiên cứu này là: Số vòng quay trục chính: $n = 1800$ (vòng/ph); Góc cone dụng cụ: $\alpha = 30$ (°); Chiều dày phi: $t = 0.7$ (mm).

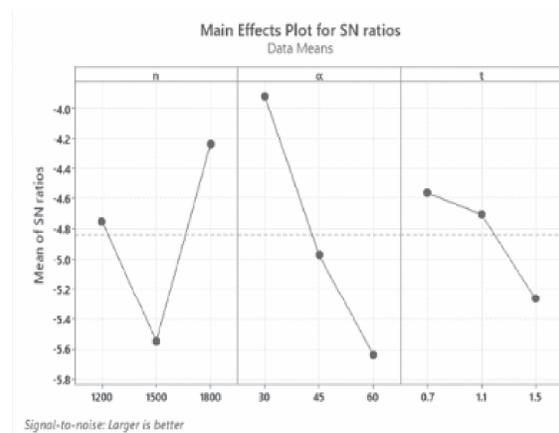


Hình 3.4. Biểu đồ yếu tố ảnh hưởng đến chiều dày (d)

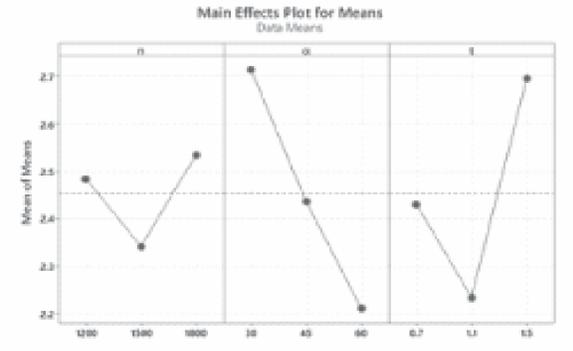


Hình 3.5. Mức độ ảnh hưởng của các thông số đầu vào với chiều dày ống

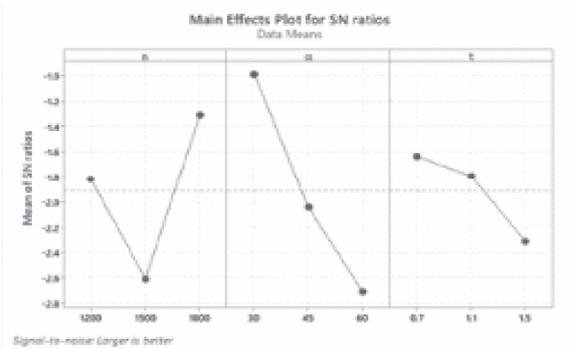
Hình 3.5 minh họa mức độ ảnh hưởng của các thông số khoan ma sát đến chiều dài biên dạng chi tiết. Kết quả chỉ ra góc cone của dụng cụ yếu tố ảnh hưởng nhất, đóng góp 46% vào chiều dài ống, tiếp theo là góc số vòng quay trục chính với đóng góp 35% và cuối cùng là chiều dày của vật liệu với 19%. Những phát hiện này phù hợp với vai trò chức năng của từng thông số và ảnh hưởng tương đối của chúng đối với sự sinh nhiệt trong quá trình khoan ma sát. Trong số các thông số này, góc cone của dụng cụ là yếu tố chính và có tác động lớn nhất đến chiều dài ống trong quá trình khoan ma sát.



Hình 3.6. Biểu đồ tỷ số tín hiệu trên nhiễu S/N để đánh giá chất lượng tối ưu hóa chiều dày



Hình 3.7. Yếu tố ảnh hưởng đến chiều dài và chiều dày biên dạng ống



Hình 3.8. Biểu đồ tỷ số tín hiệu trên nhiễu S/N để đánh giá chất lượng tối ưu hóa chiều dài và chiều dày biên dạng ống

4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã khảo sát ảnh hưởng của ba thông số công nghệ chính gồm: tốc độ quay trục chính, góc côn dụng cụ và chiều dày vật liệu đến biên dạng ống trên thép SS400 trong quá trình khoan ma sát, sử dụng phương pháp quy hoạch thực nghiệm Taguchi và phân tích phương sai (ANOVA). Kết quả thu được cho thấy:

+ Chiều dài ống sau khoan chịu ảnh hưởng mạnh nhất bởi chiều dày vật liệu (45%), tiếp theo là góc côn dụng cụ (44%) và cuối cùng là tốc độ quay trục chính (11%).

+ Chiều dày thành ống chịu ảnh hưởng

mạnh nhất bởi góc côn dụng cụ (46%), tiếp theo là tốc độ quay trục chính (35%) và chiều dày vật liệu (19%).

+ Tổ hợp thông số tối ưu nhằm đạt được biên dạng lỗ khoan tốt nhất là: tốc độ quay 1800 vòng/phút, góc côn dụng cụ 30 độ, và chiều dày vật liệu 1.5 mm.

Kết quả này cho thấy việc lựa chọn và tối ưu thông số công nghệ phù hợp cải thiện đáng kể chất lượng biên dạng ống trong quá trình khoan ma sát, đặc biệt với vật liệu thép SS400. Nghiên cứu cũng khẳng định hiệu quả của phương pháp Taguchi trong việc thiết kế thí nghiệm và phân tích các yếu tố ảnh hưởng, giúp rút ngắn thời gian và chi phí trong quá trình khoan ma sát. ❖

Ngày nhận bài: 14/11/2025

Ngày phản biện: 26/11/2025

Tài liệu tham khảo:

- [1]. R. Kumar and N. R. Jesudoss Hynes, "Thermal drilling processing on sheet metals: A review", 2019; doi: 10.1016/j.ijlmm.2019.08.003.
- [2]. L. M. Alves, E. J. Dias, and P. A. F. Martins, "Joining sheet panels to thin-walled tubular profiles by tube end forming". J. Clean. Prod., vol. 19, no. 6-7, pp. 712-719, 2011; doi: 10.1016/j.jclepro.2010.12.014.
- [3]. E. Stockburger, W. Zhang, H. Wester, D. Rosenbusch, and B. A. Behrens, "Process analyses of friction drilling using the Smoothed Particle Galerkin method". Int. J. Mater. Form., vol. 16, no. 1, 2023; doi: 10.1007/s12289-022-01733-0.
- [4]. A. Eliseev and E. Kolubaev, "Friction drilling: a review", 2021; doi: 10.1007/s00170-021-07544-y.
- [5]. Nguyễn Hữu Lộc, "Bài giảng Quy hoạch thực nghiệm". Trường Đại học Bách Khoa, Đại học Quốc gia TP. Hồ Chí Minh, 2021.
- [6]. S. A. El-Bahloul, H. E. El-Shourbagy, and T. T. El-Midany, "Optimization of Thermal Friction Drilling Process Based on Taguchi Method and Fuzzy Logic Technique". Int. J. Sci. Eng. Appl., vol. 4, no. 2, pp. 54-59, 2015; doi: 10.7753/ijsea0402.1006.