

TỐI ƯU HÓA CÁC THÔNG SỐ CÔNG NGHỆ ĐỂ NÂNG CAO KHẢ NĂNG TẠO HÌNH KHI GIA CÔNG BIẾN DẠNG DẸO CỤC BỘ CHI TIẾT HÌNH CHÓP TỨ GIÁC VẬT LIỆU Al1050

OPTIMIZING PROCESS PARAMETERS TO IMPROVE THE FORMING ABILITY
IN INCREMENTAL SHEET FORMING OF QUADRILATERAL PYRAMIDAL PARTS
MADE OF AA1050 MATERIAL

Hoàng Trung Kiên^{1,*}, Dương Trung Hiếu²

¹Trường Đại học Kỹ thuật Công nghiệp, Đại học Thái Nguyên

²Trường Cao đẳng Cơ khí Nông nghiệp

*Email: htk@tnut.edu.vn

TÓM TẮT

Hợp kim nhôm Al1050 là một trong những kim loại được sử dụng phổ biến nhất trong các ngành công nghiệp trọng điểm và dân dụng, vì vậy, cải thiện khả năng tạo hình của Al1050 đóng một vai trò vô cùng quan trọng. Gia công biến dạng dẻo cục bộ tấm kim loại (ISF) ngày càng thể hiện được vai trò quan trọng trong lĩnh vực gia công tấm và đặc biệt phù hợp để tạo hình hợp kim nhôm. Nghiên cứu này tập trung đánh giá ảnh hưởng tổng hợp của đường kính dụng cụ (D), bước tiến dụng cụ (t), góc nghiêng thành tường (α) đến khả năng tạo hình trong quá trình gia công chi tiết hình chóp tứ giác vật liệu Al1050. Khả năng tạo hình của vật liệu được thể hiện thông qua chiều cao tạo hình (H). Kết quả thí nghiệm chỉ ra rằng α có ảnh hưởng lớn nhất tới khả năng tạo hình của vật liệu, chiếm tới 62,0%. Tiếp đến là ảnh hưởng của t và D lần lượt là 23,3% và 11,5%. Chiều cao tạo hình tối đa đạt được là $H = 26,0\text{mm}$ khi $\alpha = 70^\circ$, $t = 0,5\text{mm}$ và $D = 14\text{mm}$. Phương trình toán học thể hiện sự ảnh hưởng của ba thông số trên tới khả năng tạo hình đã được xây dựng. Từ đó cho thấy để có thể đạt được khả năng tạo hình tốt nhất của vật liệu thì nên chọn α nhỏ kết hợp với t nhỏ.

Từ khóa: Thông số công nghệ; Khả năng tạo hình; ISF; Al1050; Taguchi.

ABSTRACT

Aluminum alloy AA1050 is one of the most commonly used metals in key industrial and civil sectors, so improving the formability of AA1050 plays an extremely important role. Incremental sheet forming (ISF) process is increasingly playing an important role in the field of sheet metal forming and is especially suitable for forming aluminum alloys. This study focuses on evaluating the combined effects of tool diameter (D), step size (t), and wall angle (α) on the formability during the forming of quadrilateral pyramidal parts of AA1050 material. The formability of the material is expressed through the forming height (H). The experimental results show that α has the greatest influence on the formability of the material, accounting for 62.0%. Next are the effects of t and D , which are 23.3% and 11.5%, respectively. The maximum forming height achieved is $H = 26.0\text{mm}$ when $\alpha = 70^\circ$, $t = 0.5\text{mm}$ and $D = 14\text{mm}$. The mathematical equation showing the influence of the

above three parameters on the forming ability has been built. From that, it can be seen that in order to achieve the best forming ability of the material, it is recommended to choose a small α combined with a small t .

Keywords: *Process parameters; Forming ability; ISF; AA1050; Taguchi.*

1. GIỚI THIỆU

Tấm kim loại ngày càng được sử dụng phổ biến trong tạo hình các chi tiết ứng dụng trong những ngành công nghiệp trọng điểm như hàng không vũ trụ, ô tô, quốc phòng, an ninh, trong y tế, kiến trúc, điêu khắc [1]. Các chi tiết tạo hình từ tấm có thể được gia công hiệu quả bằng những phương pháp truyền thống như: dập, cán, ép, uốn... [2]. Tuy nhiên, trong thực tế sản xuất lại gặp phải những thách thức phức tạp như: thay thế thân máy bay, các bộ phận khác của máy bay, tàu vũ trụ, tàu thủy, các bộ phận trên cơ thể người hoặc cần tạo mẫu nhanh, gia công vật liệu mới... mà hệ thống sản xuất chưa có sẵn khuôn, dụng cụ gia công, máy gia công chuyên dùng... Do đó luôn có nhu cầu về việc phát triển các phương pháp sản xuất mới, linh hoạt, khắc phục nhược điểm của các phương pháp truyền thống, mang lại hiệu quả kinh tế, kỹ thuật cao. Gia công biến dạng dẻo cục bộ tấm kim loại (Incremental sheet forming - ISF) là một trong những phương pháp mới, đáp ứng được những đòi hỏi trên. Đây là một phương pháp với hệ thống công nghệ, đồ gá, dụng cụ gia công đơn giản nhưng lại có thể tạo hình những chi tiết phức tạp, linh hoạt, chất lượng cao, giá thành thấp [3].

Tính tới thời điểm hiện tại, đã có nhiều nghiên cứu về ISF, tập trung vào đánh giá ảnh hưởng của các thông số công nghệ trong quá trình gia công tới khả năng tạo hình, lực tạo hình, độ chính xác, chất lượng bề mặt... G. Ambrogio [4] nghiên cứu ảnh hưởng của các

thông số công nghệ đến giới hạn tạo hình khi gia công biến dạng dẻo cục bộ hợp kim AZ31. Kết quả chỉ ra rằng bước tiến dụng cụ có ảnh hưởng lớn trong khi đường kính dụng cụ có ảnh hưởng không đáng kể. Nghiên cứu của J. Duflou [5] trên tấm Al3003-O chỉ ra rằng bước tiến dụng cụ, đường kính dụng cụ, góc nghiêng thành tường tăng thì khả năng tạo hình giảm. Kumar [6] đánh giá ảnh hưởng của các thông số công nghệ và chỉ ra rằng góc nghiêng thành tường có ảnh hưởng lớn nhất tới khả năng tạo hình của AA2024-O. Guoqiang Fan [7] nghiên cứu đánh giá ảnh hưởng của dòng điện, kích thước dụng cụ, bước tiến dụng cụ, tốc độ tiến dụng cụ đến khả năng tạo hình khi gia công AZ31 và hợp kim TiAl2Mn1.5.

Bài báo này trình bày nghiên cứu thực nghiệm xác định ảnh hưởng của đường kính dụng cụ, bước tiến dụng cụ, góc nghiêng thành tường đến khả năng tạo hình của Al1050. Bên cạnh đó, bài báo xây dựng hàm toán học thể hiện ảnh hưởng của thông số đầu vào D , t , α tới thông số đầu ra H .

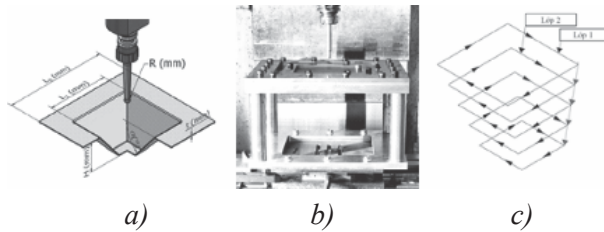
2. THIẾT KẾ THÍ NGHIỆM

2.1. Vật liệu và hình dạng chi tiết thí nghiệm

Nghiên cứu sử dụng tấm hợp kim nhôm Al1050 hình vuông có cạnh 200 mm và dày 1,0 mm. Biên dạng tạo hình là hình chóp tứ giác có đáy lớn là hình vuông cạnh 120 mm, chiều cao tạo hình H (mm) và góc nghiêng thành tường là $\alpha(^{\circ})$ (Hình 1a).

2.2. Đồ gá và thiết bị thí nghiệm

Các thí nghiệm được tiến hành trên máy phay CNC Mazak 3 trục với hệ thống gia công thể hiện trên Hình 1b.



Hình 1. (a) Chi tiết gia công, (b) Sơ đồ gia công, (c) Đường dẫn dụng cụ

Phôi được kẹp giữa tấm đỡ cố định và tấm chặn của đồ gá. Dụng cụ tạo hình có phần đầu dạng chỏm cầu được tôi đạt độ cứng 60HRC. Tấm hợp kim nhôm Al1050 dày 1,0 mm được sử dụng trong tất cả các thí nghiệm. Đường dẫn dụng cụ được tạo bằng phần mềm MasterCam (Hình 1c). Các thí nghiệm được tiến hành với $S = 3000$ (v/p) và $F = 2000$ (mm/p) còn D , t , α thay đổi.

2.3. Thiết kế thực nghiệm

Nghiên cứu ứng dụng phương pháp thiết kế thực nghiệm Taguchi, phân tích phương sai ANOVA và phần mềm Matlab để xây dựng mô hình toán học biểu diễn mối quan hệ giữa các thông số đầu vào D , t , α đến H . Từ quan điểm về chất lượng, có ba loại đặc tính chất lượng như sau: Thấp hơn tốt hơn, giá trị tiêu chuẩn là tốt nhất, cao hơn tốt hơn. Việc chuyển đổi một tập hợp các quan sát thành một số đơn lẻ, tỷ số S/N được thực hiện theo hai bước. Đầu tiên bình phương độ lệch (MSD) được tính toán. Sau đó, tỷ số S/N được xác định từ MSD theo công thức:

$$S/N = -10\log(MSD) \quad (1)$$

Nếu đặc tính chất lượng cao hơn tốt hơn, MSD được định nghĩa:

$$MSD = \frac{1}{r} \sum_{i=1}^r \left(\frac{1}{y_i^2} \right) \quad (2)$$

Nếu đặc tính chất lượng thấp hơn tốt hơn, MSD được xác định theo công thức:

$$MSD = \frac{1}{r} \sum_{i=1}^r y_i^2 \quad (3)$$

Nếu đặc tính chất lượng giá trị danh nghĩa là tốt nhất, MSD được định nghĩa:

$$MSD = \frac{\bar{y}^2}{S_y^2} \quad (4)$$

Trong đó: $\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^r y_i}{r}$, $S_y^2 = \frac{\sum_{i=1}^r (y_i - \bar{y})^2}{r-1}$
 y_i là tất cả các giá trị kiểm tra của các thực nghiệm, r là số lần kiểm tra trong mỗi thực nghiệm, y_0 là giá trị tiêu chuẩn hoặc giá trị mục tiêu.

Thiết kế thực nghiệm tương ứng khi gia công với các thông số như Bảng 1.

Bảng 1. Các thông số đầu vào (D , t , α) và đầu ra (H)

Thông số	Miền giá trị khảo sát	Thông số đầu ra
D (mm)	6; 10; 14	H (mm)
t (mm)	0,5; 1,0; 1,5	
α (°)	70; 80; 90	

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Từ những khảo sát sơ bộ cho thấy đường kính dụng cụ, bước tiến dụng cụ và góc nghiêng thành tường có ảnh hưởng lớn tới khả năng tạo hình của vật liệu, chính vì vậy nghiên cứu này tiến hành khảo sát ảnh hưởng của ba thông số trên tới đầu ra là chiều cao tạo hình của chi tiết hình chóp tứ giác. Kết quả thí nghiệm được thể hiện trong bảng 2. Sản phẩm thí nghiệm ở Hình 2a.

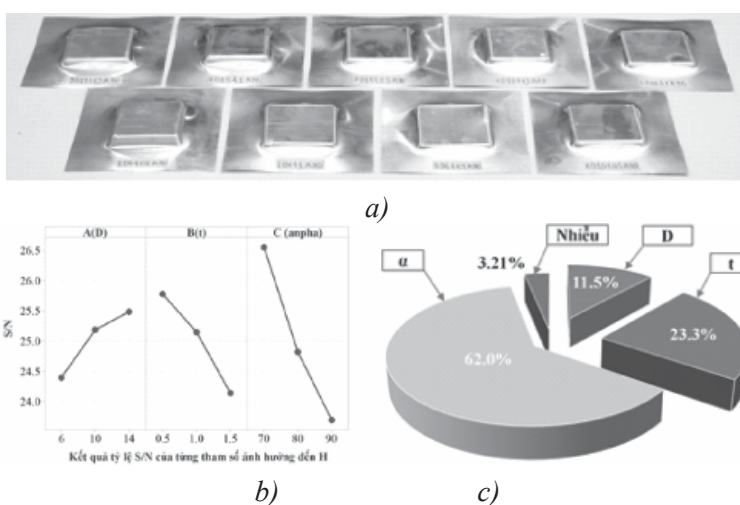
Bảng 2. Kết quả thí nghiệm ảnh hưởng của D , t , α đến H

TT	A(D)	B(t)	C (α)	H (mm)	S/N
1	6	0.5	90	14.5	23.227
2	6	1	80	17.5	24.861
3	6	1.5	70	18.0	25.105
4	10	0.5	80	19.5	25.801
5	10	1	70	20.5	26.235
6	10	1.5	90	15.0	23.522
7	14	0.5	70	26.0	28.299
8	14	1	90	16.5	24.350
9	14	1.5	80	15.5	23.807

Bảng 3. Kết quả ANOVA cho chiều cao tạo hình H

Thứ tự	Tham số	Ý nghĩa S/N của từng cấp			Tổng bình phương	Phần trăm phân bố (%)
		1	2	3		
1	D	24,398	25,186	25,485	5,444	11,5%
2	t	25,776	25,149	24,145	11,028	23,3%
3	A	23,700	24,823	26,547	29,361	62,0%
Nhiều					1,520	3,21%
Tổng					47,353	100,00%

Từ lý thuyết về phân tích phương sai ANOVA, lý thuyết tối ưu, kết hợp với chương trình Matlab, ta có biểu đồ phân mức tối ưu các thông số và biểu đồ tỷ lệ phần trăm ảnh hưởng của các thông số được thể hiện lần lượt như Hình 2b và Hình 2c.



Hình 2. (a) Sản phẩm của các thí nghiệm, (b) Kết quả tỷ lệ S/N của từng tham số ảnh hưởng đến H , (c) Mức độ ảnh hưởng các tham số đến H

Từ biểu đồ mức độ ảnh hưởng của các yếu tố ta thấy: góc nghiêng thành tường (α) có ảnh hưởng lớn nhất (62%) đến chiều cao tạo hình của chi tiết. Khi (α) lớn thì khả năng tạo hình giảm. Nguyên nhân là do với góc nghiêng thành tường lớn thì quá trình gia công cần làm biến dạng một lượng vật liệu lớn hơn khiến cho lực tạo hình tăng nhanh làm cho vật liệu dễ bị phá hủy. Bên cạnh đó, góc nghiêng thành tường lớn cũng khiến cho diện tích tiếp xúc giữa dụng cụ và chi tiết lớn hơn, lượng vật liệu bị biến dạng lớn hơn khiến lực tăng và nứt gãy dễ xảy ra. Bước tiến dụng cụ (t) là thông số ảnh hưởng tiếp theo với 23%, khi (t) giảm thì khả năng tạo hình tăng lên. Khi bước tiến nhỏ, khoảng cách giữa hai lớp tạo hình nhỏ hơn, dụng cụ dịch chuyển bám sát biên dạng cần tạo hơn, lượng kim loại bị biến dạng nhỏ hơn, lực tạo hình nhỏ hơn giúp vật liệu khó bị phá hủy hơn, đồng nghĩa với việc khả năng tạo hình tăng lên. Đường kính dụng cụ (D) ảnh hưởng ít nhất với phần trăm ảnh hưởng là 11%. Ảnh hưởng của yếu tố nhiều là 3,21%.

Hàm hồi quy phi tuyến về chiều cao tạo hình của chi tiết hình chóp tứ giác được xác định như phương trình dưới đây:

$$H = 1,89279.D^{0,15669}.t^{-0,184485}.\alpha^{0,371294} \quad (5)$$

4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã xây dựng được mối quan hệ giữa ba thông số quan trọng là góc nghiêng thành tường, bước tiến dụng cụ, đường kính dụng cụ tới chiều cao tạo hình khi gia công Al1050 bằng phương pháp ISF. Khả năng tạo hình tốt nhất của vật liệu đạt được ở chế độ gia công tối ưu khi $\alpha = 70^\circ$, $t = 0,5\text{mm}$ và $D = 14\text{mm}$. Góc nghiêng thành tường có ảnh hưởng lớn nhất đến chiều cao tạo hình (62,0%), ảnh hưởng của bước tiến dụng cụ và đường kính

dụng cụ thấp hơn với giá trị lần lượt là 23,3% và 11,5%. Phương trình toán học thể hiện mối quan hệ giữa ba thông số đầu vào và chiều cao tạo hình đã được xây dựng và được thực nghiệm kiểm chứng khẳng định có độ chính xác cao.

Lời cảm ơn:

Tác giả xin gửi lời cảm ơn tới Trường Đại học Kỹ thuật Công nghiệp, Đại học Thái Nguyên đã hỗ trợ kinh phí để thực hiện nghiên cứu này. ❖

Ngày nhận bài: 05/3/2025

Ngày phản biện: 27/3/2025

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Paul Kah, "Advancements in Intelligent Gas Metal Arc Welding Systems: Fundamentals and Applications". Woodhead Publishing Series in Welding and Other Joining Technologies 2021, Pages 309-325.
- [2]. Maziar Ramezani, Zaidi M. Ripin, "Introduction to sheet metal forming processes". Rubber-Pad Forming Processes Technology and Applications, 2012, Pages 1-22.
- [3]. Ajay, Ravi Kant Mittal, "Incremental Sheet Forming Technologies: Principles, Merits, Limitations, and Applications". By CRC Press, 2020.
- [4]. Ambrogio, G., Filice, L., & Manco, G. L. (2008), "Warm incremental forming of magnesium alloy AZ31". CIRP Annals, 57(1), 257-260.
- [5]. J. Dufloy, Y. Tunçkol, A. Szekeres and P. Vanherck, "Experimental study on force measurements for single point incremental forming". Journal of Materials Processing Technology, 189 (2007) 65-72.
- [6]. Kumar, Ajay, Vishal Gulati, Parveen Kumar, Vinay Singh, Brijesh Kumar, and Hari Singh, "Parametric Effects on Formability of AA2024-O Aluminum Alloy Sheets in Single Point Incremental Forming". Journal of Materials Research and Technology 8, no. 1 (2019): 1461-1469.
- [7]. Fan, G., Gao, L., Hussain, G., & Wu, Z. (2008), "Electric hot incremental forming: A novel technique". International Journal of Machine Tools and Manufacture, 48(15), 1688-1692.