

NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM ẢNH HƯỞNG CỦA ĐƯỜNG KÍNH DỤNG CỤ VÀ CHIỀU DÀY TẤM LÊN KHẢ NĂNG TẠO HÌNH SPIF TẤM CT3

EXPERIMENTAL RESEARCH OF THE EFFECT OF TOOL DIAMETER AND PLATE THICKNESS ON FORMING ABILITY OF CT3 SHEET IN SPIF

Lê Anh Chương¹, Châu Minh Quang², Nguyễn Thanh Nam²

¹Công ty Cổ phần Chế tạo máy và Tự động hóa Sài Gòn

²Trường Đại học Công nghiệp TP. Hồ Chí Minh

TÓM TẮT

Công nghệ tạo hình cục bộ liên tục đơn điểm (Single Point Incremental Forming - SPIF) đã trở nên phổ biến và quen thuộc trong tạo hình tấm, đặc biệt trong sản xuất đơn chiếc, chế tạo thử trong lĩnh vực y tế.... Hiện nay, các nghiên cứu đã tập trung vào hầu hết các khía cạnh của quá trình gia công như: máy – thiết bị, dụng cụ tạo hình, các thông số ảnh hưởng đến gia công (đường kính dao, chiều dày tấm, vận tốc quay trục chính, điều kiện tiếp xúc, loại vật liệu...). Bài báo trình bày một nghiên cứu ảnh hưởng của các thông số công nghệ (đường kính dụng cụ d và chiều dày tấm t) lên khả năng tạo hình (góc biến dạng lớn nhất α_{max}) khi gia công vật liệu tấm, loại vật liệu phổ biến trên thị trường Việt Nam là thép tấm CT3.

Từ khóa: *Tạo hình tấm; Thông số công nghệ; SPIF; Khả năng tạo hình; Tấm CT3.*

ABSTRACT

Single Point Incremental Forming (SPIF) technology has become popular and familiar in sheet forming, especially in single production, trial manufacturing in the medical field.... Currently, researches have focused on most aspects of the machining process such as: machine - equipment, forming tools, parameters affecting machining (tool diameter, sheet thickness, spindle rotation speed, contact conditions, material type, etc.). This paper presents a study on the influence of technological parameters (tool diameter d and plate thickness t) on the forming ability (maximum deformation angle α_{max}) when processing sheet materials of common materials, variable on the Vietnamese market is CT3 steel plate.

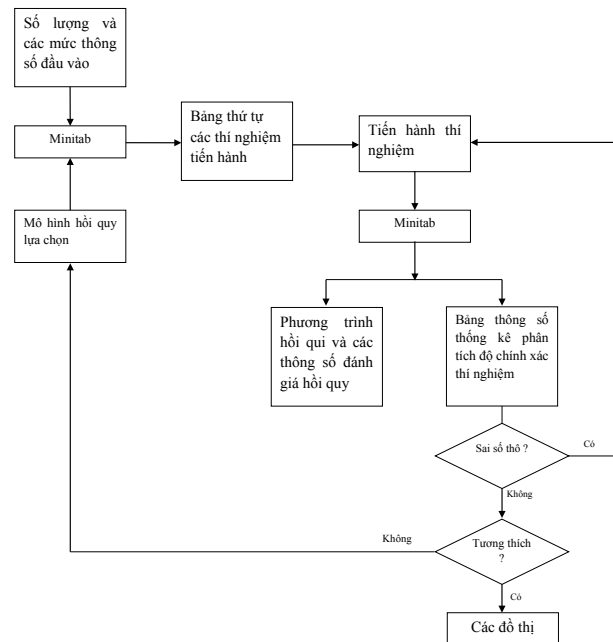
Keywords: *Sheet forming; Technical parameters; SPIF; Forming ability; CT3 sheet.*

1. GIỚI THIỆU CHUNG

Công nghệ tạo hình cục bộ liên tục đơn điểm (Single Point Incremental Forming - SPIF) được biết như một kỹ thuật tiềm năng có thể tạo hình kim loại trên giới hạn tạo hình đối với các phương pháp truyền thống. Không giống những quá trình biến dạng kim loại tấm khác, quá trình tạo hình bằng SPIF không yêu cầu bất kỳ chày hay khuôn chuyên dụng nào để tạo ra những hình dạng phức tạp, nó chỉ sử dụng một dụng cụ tạo hình được điều khiển số thông qua máy tính, do đó quá trình tạo hình sản phẩm được kết nối linh hoạt với giai đoạn thiết kế mô hình CAD, chi phí tạo ra sản phẩm giảm đi đáng kể và đặc biệt phù hợp cho việc gia công các loạt sản phẩm vừa và nhỏ, giảm giá thành sản phẩm [1]. Trong thời điểm hiện tại, các nghiên cứu đã tập trung vào hầu hết các khía cạnh của quá trình gia công như: máy - thiết bị, dụng cụ tạo hình, các thông số ảnh hưởng đến gia công (đường kính dao, chiều dày tấm, vận tốc quay trục chính, điều kiện tiếp xúc, loại vật liệu...) [2]. Nghiên cứu này sẽ tập trung vào nghiên cứu ảnh hưởng của các thông số công nghệ (đường kính dụng cụ d và chiều dày tấm t) lên khả năng tạo hình (góc biến dạng lớn nhất $\alpha_{\max}$) khi gia công vật liệu tấm, loại vật liệu phổ biến trên thị trường Việt Nam là thép tấm CT3 [3].

2. NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA CÁC THÔNG SỐ ĐƯỜNG KÍNH DỤNG CỤ d VÀ CHIỀU DÀY t CỦA TẤM CT3 LÊN KHẢ NĂNG TẠO HÌNH SPIF

Quá trình xác định mối liên hệ giữa các thông số đường kính dụng cụ d và chiều dày tấm t với góc biến dạng $\alpha_{\max}$ được tiến hành theo các bước thí nghiệm với sự hỗ trợ của Minitab như trình bày trên hình 1.



Hình 1. Các bước quy hoạch thực nghiệm với sự hỗ trợ của Minitab

Cụ thể, các bước của mô hình thực nghiệm được tiến hành như sau:

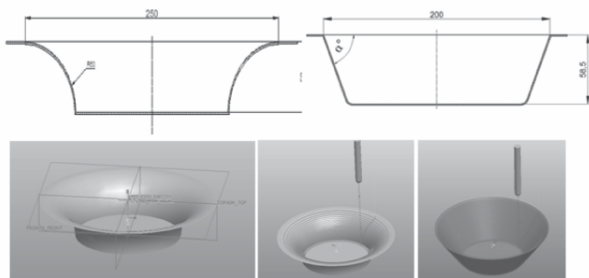
Bước 1: Xác định dạng phương trình hồi quy dựa trên quy hoạch một yếu tố, từ đây xác định phạm vi thí nghiệm. Trên cơ sở phạm vi thực hiện của nghiên cứu, nhóm nghiên cứu sẽ quy hoạch các kết quả thực nghiệm bằng phương trình hồi quy tuyến tính bậc nhất. Sau khi tính được các hệ số của phương trình hồi quy sẽ tiến hành kiểm định sự tương thích của các phương trình hồi quy và ý nghĩa của các hệ số hồi quy. Nếu mô hình bậc nhất không phù hợp, ta sẽ xử lý số liệu với mô hình bậc cao hơn. Dạng của mô hình hồi quy bậc nhất sử dụng có dạng $y = A.x + B$. Sử dụng phần mềm thống kê Minitab® để tính toán hồi quy.

Bước 2: Xác định cơ sở để lựa chọn các thông số công nghệ trong thí nghiệm dựa trên các tài liệu đã được công bố có liên quan [4]. Do các ứng dụng của công nghệ SPIF trong

công nghiệp hiện nay chủ yếu sử dụng dụng cụ có đường kính từ 4 tới 20 mm [5], nhóm nghiên cứu sẽ khảo sát ảnh hưởng của đường kính dụng cụ trong khoảng 5 tới 15mm và chiều dày tấm với ba mức: 0,3; 0,5 và 0,7mm. Ở bộ thông số đầu vào, ta cố định ba thông số là bước tiến dụng cụ Δz (mm), vận tốc ngang của dụng cụ f (mm/phút) và số vòng quay n (vòng/phút), chỉ thay đổi d (mm) và t (mm). Khi ta cố định ba thông số trên thì ảnh hưởng của d và t lên các thông số đầu ra là lớn nhất.

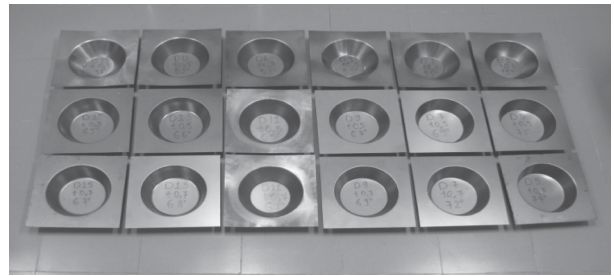
Bước 3: Thiết lập thí nghiệm [6]:

- Xây dựng mô hình CAD và CAM, thiết lập G-code gia công: mô hình côn cong được sử dụng do có góc biến dạng tăng dần giúp khảo sát được góc biến dạng lớn nhất. Ngoài ra, ta còn phải khảo sát mô hình côn thẳng để kiểm chứng góc tạo hình lớn nhất $\alpha_{\max}$ đo được ở mô hình côn cong (hình 2).



Hình 2. Mô hình côn cong, côn thẳng, tạo và xuất mã G-code

- Tiến hành thí nghiệm với 06 trường hợp đường kính d (5, 7, 9, 11, 13 và 15mm) và 03 trường hợp độ dày tấm t (0,3, 0,5, 0,7mm), kết quả các mẫu thí nghiệm thu được như trên hình 3.



Hình 3. Các mẫu côn cong, côn thẳng dò góc thành công

- Xác định góc tạo hình lớn nhất $\alpha_{\max}$: đo chiều sâu Z của vết rạch trên mô hình côn cong (hình 4), xác định góc tạo hình lớn nhất trên mô hình côn cong (hình 2) theo công thức:

$$\alpha = \arccos\left(\frac{x}{R}\right), \text{ trong đó: } x = h - z \quad (1)$$

Sau đó sử dụng phương pháp “thử - sai” để xác định góc $\alpha_{\max}$ trong mô hình côn thẳng, ta nhận được kết quả thí nghiệm như trên hình 4.

Hình 4. Bảng kết quả đo $\alpha_{\max}$ thành công trên mô hình côn cong và côn thẳng

Đường kính dụng cụ (mm)	Góc biến dạng (độ) thu được với các chiều dày t (mm)		
	0,3	0,5	0,7
5	58	71	74
7	55	69	72
9	53	67	69
11	53	66	68
13	52	66	68
15	51	65	67

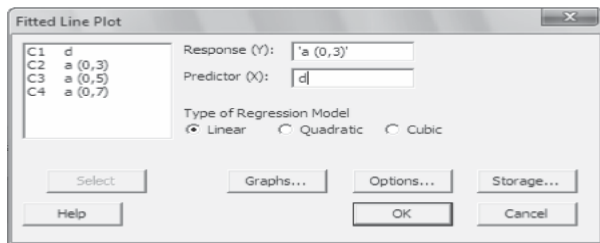
Bước 4: Quy hoạch thực nghiệm bằng phần mềm thống kê Minitab®: Dựa trên mô hình quy hoạch thực nghiệm trên, ta sử dụng phần mềm Minitab® 15.1.30.0 để xử lý số liệu thí nghiệm. Sau khi khởi động chương trình, trong phần bảng tính, ta nhập các giá trị đầu vào và các giá trị biến đầu ra tương ứng như trên hình 5.

Worksheet 2 ***					
	C1	C2	C3	C4	C5
	d	a (0.3)	a (0.5)	a (0.7)	
1	5	58	71	74	
2	7	55	69	72	
3	9	53	67	69	
4	11	53	66	68	
5	13	52	66	68	
6	15	51	65	67	
7					

Hình 5. Đưa các dữ liệu vào phần mềm để tính toán

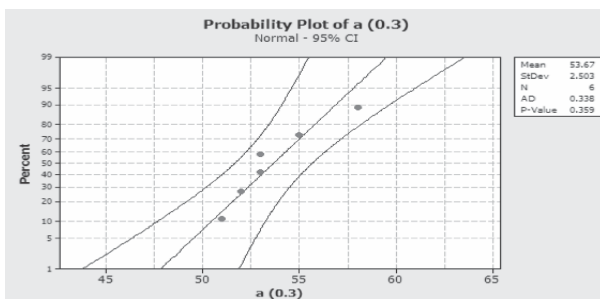
Chương trình cho phép ta lựa chọn các yếu tố đầu vào và bậc của mô hình hồi quy. Ta sử dụng mô hình hồi quy tuyến tính bậc nhất để quy hoạch thực nghiệm, xác định ảnh hưởng của yếu tố d lên các thông số đầu ra. Cụ thể, kết quả tính toán cho từng chiều dày tấm như sau:

- Mô hình hồi quy ảnh hưởng của d tới góc tạo hình trên chiều dày $t = 0,3\text{mm}$: chọn các yếu tố để tính toán (hình 6).



Hình 6. Hộp thoại cho phép chọn các yếu tố để tính toán

Sau khi đã có kết quả phương trình hồi quy và mức độ tương thích của chúng, ta tiến hành vẽ biểu đồ phân bố xác suất của quá trình như trên hình 7.



Hình 7. Phân bố xác suất của các số liệu đầu ra trong thí nghiệm

Biểu đồ phân bố xác suất trên được vẽ với hệ số tin cậy mặc định là $\alpha = 0,05$. Ta thấy giá trị $p = 0,359 > 0,05$ nên mô hình tuân theo phân phối Normal. Vùng nằm giữa hai đường 95% CI là vùng có xác suất xảy ra cao (trên 95%), các điểm giá trị thí nghiệm nằm rất gần đường hồi quy chứng tỏ giá trị thí nghiệm phù hợp với mô hình. Ta rút ra phương trình mô tả ảnh hưởng của đường kính dụng cụ đến khả năng tạo hình đối với vật liệu thép tấm CT3 có chiều dày 0,3mm như sau:

$$\alpha = 57,31 - 0,4143.d \text{ (độ)} \quad (2)$$

Thực hiện các thao tác tương tự như trên, ta có các phương trình hồi quy ảnh hưởng của d tới góc tạo hình trên chiều dày $t = 0,5\text{mm}$:

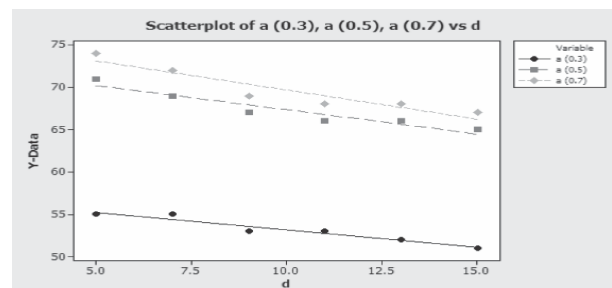
$$\alpha = 73,05 - 0,5714.d \text{ (độ)} \quad (3)$$

Và phương trình hồi quy ảnh hưởng của d tới góc tạo hình trên chiều dày $t = 0,7\text{mm}$:

$$\alpha = 76,52 - 0,6857.d \text{ (độ)} \quad (4)$$

3. PHÂN TÍCH KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Để có cái nhìn tổng thể về ảnh hưởng của yếu tố đầu vào d và t lên khả năng tạo hình SPIF, dùng phần mềm Minitab tạo ra một đồ thị thể hiện chung cả ba trường hợp ở trên, ta nhận được đồ thị thể hiện ảnh hưởng của d và t lên góc $\alpha_{\max}$ như trên hình 8.



Hình 8. Đồ thị tổng quát thể hiện ảnh hưởng của d và t lên góc tạo hình SPIF

Từ đồ thị trên, ta nhận thấy:

- Khi chiều dày tấm t tăng lên, khả năng tạo hình mà cụ thể là góc $\alpha_{\max}$ tăng.

- Khi đường kính dụng cụ d tăng thì góc $\alpha_{\max}$ giảm.

- Khả năng tạo hình SPIF tăng nhanh từ khoảng 55° cho tới khoảng 70° khi chiều dày t tăng từ 0,3mm tới 0,5mm, trong khi từ 0,5mm tới 0,7mm mức tăng chậm hơn rất nhiều, từ

khoảng 70° tới dưới 75° .

- Tốc độ giảm góc $\alpha_{\max}$ khi tăng đường kính dụng cụ là không giống nhau cho mỗi chiều dày tấm, điều này thể hiện ở độ dốc của đường $t = 0,7\text{mm}$ dốc hơn so với đường 0,5mm và 0,3mm.

4. KẾT LUẬN

Từ quá trình phân tích hồi quy trên, ta có được bảng tổng hợp kết quả như trên hình 9.

Hình 9. Bảng tổng hợp các kết quả phân tích hồi quy

Đầu ra	t	PTHQ	R ² (%)	R ² (%)	S	p
Góc $\alpha_{\max}$ (độ)	0,3	57,31 – 0,4143.d	93,6	93,0	0,405	0,056
	0,5	73,05 – 0,5714.d	90,2	87,8	0,821	0,336
	0,7	76,52 – 0,6857.d	88,2	85,2	1,051	0,196

Như vậy, trong trường hợp cố định ba thông số là Δz (mm), f (mm/phút) và n (vòng/phút) thì: Đường kính dụng cụ nhỏ làm tăng khả năng tạo hình, đường kính dụng cụ lớn làm giảm khả năng tạo hình. Tăng chiều dày tấm sẽ tăng khả năng tạo hình. Do đó, tùy theo kích thước và hình dáng của từng sản phẩm mà ta chọn giá trị kích thước của đầu dụng cụ tạo hình và chiều dày tấm vật liệu sao cho thỏa mãn tương đối các kết quả mong muốn và sử dụng các phương trình hồi quy ở trên để xác định trước các thông số công nghệ cho phép. ❖

Ngày nhận bài: 25/9/2022

Ngày phản biện: 04/10/2022

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Meelis Pohlak (2007); “Rapid prototyping of sheet metal components with incremental sheet forming technology”. TUT Press.
- [2]. W.C. Emmensa, G. Sebastiani, A.H. van

den Boogaardc (2010); “The technology of Incremental Sheet Forming - A brief review of the history”. Journal of Materials Processing Technology.

- [3]. Iseki, H., Kato, K., Sakamoto, S. (1992); “Flexible and incremental sheet metal bulging using a path-controlled spherical roller”. In: Transactions of the JSME. Vol. 58/554. pp. 3147–3155.
- [4]. Hirt, G. Junk, S., Witulski, N. (2002); “Incremental Sheet Forming: Quality Evaluation and Process Simulation”. 7th ICTP International Conference on Technology of Plasticity, Yokohama, Japan, paper no. 343.
- [5]. Nguyễn Thanh Nam (2008); “Nghiên cứu công nghệ tạo hình kim loại tấm không dùng khuôn”. Báo cáo tổng kết Đề tài trọng điểm ĐHQG-HCM, B 2008-20-05 TĐ.
- [6]. Nguyen Phan Anh, Vo Tuyen, Le Khanh Dien, Nguyen Thanh Nam (2020); “A Measure of Optimization of Technological Parameters to Improve the Formability of Aluminum Sheet A 1050 H14 by SPIF Technology”. Key Engineering Materials, Vol. 863, pp 51-58.