

NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA GÓC TƯỜNG ĐẾN KHẢ NĂNG TẠO HÌNH CHI TIẾT BẰNG PHƯƠNG PHÁP GIA TĂNG ĐA ĐIỂM

THE STUDY INVESTIGATES THE INFLUENCE OF WALL ANGLE ON THE ABILITY TO CREATE DETAILED SHAPES USING THE MULTI-POINT STRETCHING METHOD

Nguyễn Huy Hoàng¹,
Phạm Thị Minh Huệ^{1,*}, Lê Văn Sỹ²

DOI: <https://doi.org/10.57001/huivh5804.2024.012>

TÓM TẮT

Bài báo nghiên cứu, thiết kế và chế tạo thiết bị phục vụ tạo hình nón cụt từ vật liệu kim loại tấm theo khả năng biến dạng cục bộ liên tục ở nhiệt độ phòng. Nghiên cứu ảnh hưởng của góc tường đến chất lượng và độ chính xác hình học của sản phẩm. Từ đó nhận xét được khả năng định hình của tấm hợp kim nhôm Al1050 trong quá trình tạo hình biến dạng cục bộ liên tục (TPIF: Two Point Incremental Forming) khi cùng một chế độ công nghệ. Kết quả chỉ ra, cùng một chế độ công nghệ với nhôm tấm dày 0.5mm cho ra các góc tường nhỏ hơn hoặc bằng 60° thì phôi không bị phá hủy và có khả năng định hình gần như không giới hạn. Tuy nhiên, khi góc nghiêng càng lớn thì phôi xuất hiện những vết rách, khi góc nghiêng tăng lên 90° thì vết rách xuất hiện lớn và chiều sâu ngắn. Những phát hiện này cung cấp giới hạn thiết kế được đề xuất cho các chi tiết được làm từ tấm hợp kim nhôm Al1050 trong quy trình TPIF.

Từ khóa: TPIF, Al1050, biến dạng cục bộ liên tục, góc tạo hình.

ABSTRACT

The research paper focuses on the design and manufacture of a device for creating truncated cones from sheet metal using multi-point incremental forming (TPIF) at room temperature. The study investigates the impact of wall angle on the quality and geometric accuracy of the product. The research examines the shaping ability of Al1050 aluminum sheet metal in the TPIF process under the same technological conditions. The results indicate that using a 0.5mm thick aluminum sheet metal with wall angles less than or equal to 60° under the same technological regime does not lead to material failure and allows for almost unlimited shaping ability. However, as the wall angle increases, the material exhibits cracking, and at 90°, the cracking becomes significant but shallow. These findings provide design limitations for parts made from Al1050 aluminum sheet metal using the TPIF process.

Keywords: TPIF, Al1050, incremental forming, shaping angle.

¹Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

²Trường Cao đẳng Dầu khí

*Email: phamthiminhhue@hauivn.edu.vn

Ngày nhận bài: 25/5/2023

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 10/9/2023

Ngày chấp nhận đăng: 20/01/2024

KÝ HIỆU

α : góc tạo hình

t: Độ dày vật liệu

R: Bán kính góc

z: chiều cao z

1. GIỚI THIỆU

Trong bối cảnh phát triển của ngành công nghệ chế tạo máy hiện nay, nhà sản xuất cần phải thay đổi cách thức và quy trình gia công biến dạng vật liệu tấm để đáp ứng nhu cầu thẩm mỹ ngày càng cao của khách hàng, đồng thời đảm bảo sự cạnh tranh hiệu quả. Trong đó, công nghệ biến dạng gia tăng cục bộ vật liệu tấm là một trong những đường hướng tạo hình triển vọng góp phần giảm giá thành một cách thông minh nhằm đem lại lợi ích kinh tế hợp lý. Có thể khẳng định rằng, việc sản xuất các sản phẩm có số lượng ít, mẫu mã và kích thước đa dạng là yêu cầu cần thiết trong nhiều lĩnh vực: công nghiệp quốc phòng, hàng không vũ trụ, công nghệ tạo mẫu nhanh, công nghệ ô tô, y học, đồ dùng gia dụng... Và hầu hết các phương pháp tạo mẫu trên tấm đều cần đến khuôn mẫu cho mô hình cần gia công nên chi phí sản xuất một sản phẩm tấm thông thường thì giá trị của khuôn mẫu chiếm tỉ lệ cao, do đó nhu cầu một phương pháp tạo hình đơn giản và ít tốn kém hơn Công nghệ tạo hình tấm không dùng khuôn TPIF (Two Point Incremental Forming) đã thu hút sự quan tâm của nhiều nhà khoa học trên Thế giới trong những năm gần đây. Cùng với sự phát triển của quy trình CAD-CAM-CNC, nhiều kỹ thuật tạo mẫu nhanh trên tấm đã ra đời. Công nghệ TPIF sử dụng máy CNC để biến dạng vật liệu tấm với dụng cụ biến dạng đầu chỏm cầu không cạnh cắt. Đã có nhiều công trình nghiên cứu khoa học và luận văn của các tác giả về lĩnh vực này như:

Nhóm tác giả A. Attanasio [1] nghiên cứu quá trình biến dạng gia tăng tấm cho hai phương pháp TPIF và SPIF để đánh giá lỗi kích thước và hình học liên quan tới biến dạng

cố định CAD trên khoang cửa xe ô tô. Nhóm tác giả Isabel Bagudanch [2] đã xác định ảnh hưởng của các thông số công nghệ chính để tạo ra hình tứ diện chóp cụt với đường sinh tròn xoay dùng vật liệu PVC và PC giữa hai kỹ thuật SPIF và TPIF. Đây cũng là một thách thức lớn đối với nhà nghiên cứu, nhà sản xuất, nhà hoạch định chính sách, nhằm đưa lại những ứng dụng công nghệ một cách tốt nhất. Thực tế cho thấy, công nghệ tạo hình truyền thống, công nghệ tạo hình vật liệu dạng tấm đang sử dụng khuôn chưa phù hợp với sự thay đổi mẫu mã nhanh chóng của khách hàng với số lượng ít. Muốn vậy, nhà nghiên cứu cần phải nỗ lực tìm ra một số giải pháp về công nghệ tạo hình vật liệu dạng tấm không dùng khuôn mà vẫn có thể đáp ứng tốt cho việc sản xuất các sản phẩm loạt nhỏ và vừa, mẫu mã thay đổi nhanh chóng, giá thành thấp, chất lượng sản phẩm đáp ứng được nhu cầu của khách hàng. Đó chính là thế mạnh của công nghệ tạo hình biến dạng cục bộ liên tục (TPIF: *Two Point Incremental Forming*): tạo hình bằng biến dạng lan rộng do đa mặt tác dụng trên hai mặt của tấm (giống công nghệ miết có khuôn nhưng tấm không xoay tròn mà chuyển động của chày sẽ tạo hình bằng cách đè miết tấm lên mặt khuôn). Phương pháp này cần phải dùng khuôn nhưng chày đơn giản hơn.

2. ĐỐI TƯỢNG VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Công nghệ tạo mẫu bằng biến dạng cục bộ liên tục (*Incremental Sheet Forming - ISF*) là một công nghệ mới trong lĩnh vực tạo hình tấm. Ưu điểm đáng chú ý nhất của công nghệ là khả năng tạo hình tấm kim loại hoặc phi kim mà không cần sử dụng các bộ khuôn mẫu phức tạp. Công nghệ sử dụng một dụng cụ tạo hình được điều khiển số thông qua máy tính và do đó quá trình tạo hình sản phẩm được kết nối linh hoạt với giai đoạn thiết kế mô hình CAD. Do đó chi phí tạo sản phẩm giảm đi đáng kể và đặc biệt phù hợp với yêu cầu thiết kế thử nghiệm chi tiết.

2.1. Đối tượng nghiên cứu

Trong bài báo này, Nhóm nghiên cứu trình bày về tổng quan cơ sở lý thuyết các loại hình kim loại tấm và ứng dụng công nghệ tạo hình cho một số chi biến dạng cục bộ liên tục tiết dạng tấm. Thiết kế dụng cụ tạo hình cho thí nghiệm phương pháp tạo hình gia tăng kim loại tấm TPIF. Khảo sát ảnh hưởng của các thông số gia công đến khả năng biến dạng của tấm hợp kim nhôm Al1050 H12 bằng công nghệ TPIF bằng thực nghiệm theo quy hoạch tuyến tính.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

Tạo hình biến dạng cục bộ liên tục - TPIF là quá trình gia công kim loại tấm, bằng cách sử dụng một dụng cụ không lưỡi cắt đầu bán cầu tiếp xúc trên một tấm kim loại được kẹp chặt, phía dưới kim loại tấm có dưỡng cố định như hình 5. Quá trình tạo hình được thực hiện như sau: dụng cụ vừa quay quanh trục của nó vừa tịnh tiến 11 theo quỹ đạo được lập trình sẵn làm biến dạng cục bộ vật liệu tấm từng lớp đến khi sản phẩm hoàn thiện, đồng thời dùng chất bôi trơn để giảm ma sát. Ngoài ra tính ưu việt của phương pháp này là tiết kiệm thời gian, chi phí, phù hợp với nhu cầu cần thiết của

xã hội. Phương pháp nghiên cứu lý thuyết tổng quan về công nghệ biến dạng gia tăng cục bộ và phân tích các nghiên cứu về TPIF trên thế giới và trong nước giúp Chúng tôi xác định thực trạng nghiên cứu trước đó. Phương pháp phân tích lý thuyết về biến dạng tấm và lý thuyết SPIF đưa lại cho bài báo một cái nhìn tổng quan về khả năng biến dạng tấm. Với phương pháp thực nghiệm, căn cứ vào hệ thống máy gia công, thiết bị đo hiện có tại Khoa Cơ khí, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội, các nghiên cứu thực nghiệm được thực hiện nhằm so sánh giữa mô hình lý thuyết với mô hình thực tế về độ ảnh hưởng của các thông số gia công đến khả năng biến dạng của kim loại.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Thiết bị và đồ gá thí nghiệm

Quá trình thực nghiệm quá trình TPIF gia công mẫu trên máy phay CNC FUNAC 3 trục chuyên dùng để kiểm chứng mô hình thiết kế và mô hình thực tế như hình 1.



Hình 1. Máy phay CNC FUNAC 3 trục

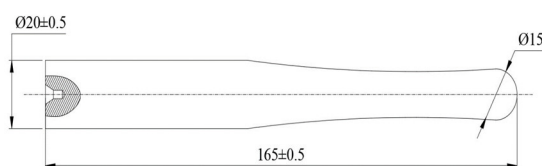
Thí nghiệm này được tiến hành trên máy CNC 3 trục với các đặc tính kỹ thuật như sau: hành trình theo ba phương OX, OY, OZ: X = 800mm, Y = 500mm, Z = 300mm; kích thước bàn máy 1200mm x 800mm; công suất trục chính 4.5 kW, tốc độ 400 - 4000 vòng/phút; khoảng tốc độ ổn định của trục chính 300 - 2000 vòng/phút.

Dụng cụ tạo hình: Vật liệu dụng cụ tạo hình và kích thước dụng cụ tạo hình. Dụng cụ tạo hình được chế tạo với nhiều hình dạng, kích thước, kết cấu và vật liệu khác nhau. Trong thí nghiệm này, dụng cụ tạo hình làm thí nghiệm có hình dạng gần giống như dao phay ngón có đầu bán cầu, không có lưỡi cắt. Dụng cụ tạo hình được chế tạo từ thanh thép SKD11 như bảng 1.

Bảng 1. Thông số vật liệu thép SKD11

Carbon	Crom	Molipden	Vanadium	Silic	Mangan
1,5%	12%	1%	0,35%	0,25%	0,45%

Hình ảnh dao thiết kế, sau gia công như trên hình 2 và 3.

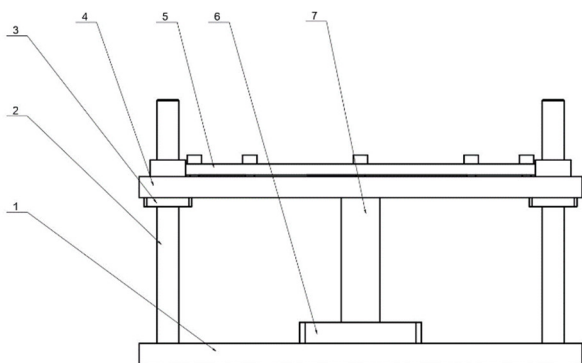


Hình 2. Bản vẽ sơ bộ dao chòm cầu



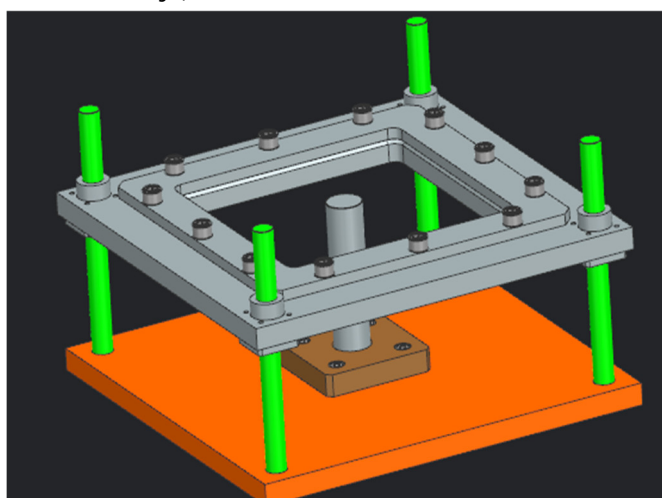
Hình 3. Hình ảnh dao sau khi gia công

Đồ gá tạo hình biến dạng cục bộ liên tục TPIF bao gồm một tấm nền trên đó có gắn một vật đỡ chính giữ tấm và bốn thanh dẫn hướng được gắn lên tấm nền, trên bốn thanh có tấm giữ được luồn vào, tấm giữ chỉ trượt lên xuống. Cấu tạo của một đồ gá đa điểm có các chi tiết: Một đế hình chữ nhật có thể bắt bu lông vào bàn máy, trên đế đỡ có gắn bốn khối hình trụ tại bốn góc để dẫn hướng cho tấm trượt di chuyển, đây là mối lắp chặt, ở giữa tấm đỡ là cơ cấu đỡ phôi - khi thiết kế cơ cấu này là để dễ tháo lắp phôi khi đã hoàn thành gia công. Cơ cấu bao gồm một tấm hình chữ nhật được bắt bu lông vào đế đỡ. Tấm này được hàn với một khối trụ. Đầu trên khối trụ lại được hàn với một tấm hình tròn có xẻ rãnh bốn phía để bắt bu lông với phôi, hệ thống tấm trượt cơ cấu mang phôi tấm và trượt dọc theo 4 khối trụ trong suốt quá trình gia công. Hệ thống này bao gồm một tấm trượt hình chữ nhật có khoan lỗ bắt bu lông, một loạt 4 thanh kẹp có khoan lỗ tương ứng. Trên tấm trượt tại vị trí trượt được lắp các bạc dẫn hướng. Tấm trượt cũng có khoét một hình chữ nhật ở giữa để gia công chi tiết.



Hình 4. Sơ đồ kết cấu đồ gá đa điểm

1: Đế; 2. Thanh dẫn hướng; 3. Bạc trượt; 4. Tấm kẹp dưới; 5. Tấm kẹp trên; 6. Tấm đỡ; 7. Dướng tạo hình.



a) Mô hình CAD



b) Mô hình thực tế

Hình 5. Đồ gá TPIF

Phôi tạo hình là dạng phôi tấm với các tính chất như hình dạng phôi, kiểu vật liệu, chiều dày, tính chất cơ lý.

Bảng 2. Tính chất vật liệu của Al1050

Độ bền nén	Độ bền kéo	Độ giãn dài	Độ bền cắt	Brinell độ cứng
85MPa	100MPa	12%	60MPa	30HB

Hình dạng chi tiết: Việc chọn hình dạng chi tiết khảo sát nhằm xác định được khả năng biến dạng của vật liệu là một yêu cầu cần thiết quyết định sự thành công của bài báo. Đối với quá trình TPIF, mô hình khảo sát khả năng biến dạng được các nghiên cứu chọn là mô hình nón cụt, góc biến dạng tuyến tính từ 0 - 90°.

Chiều dày chi tiết sau biến dạng tính theo công thức sau [1]:

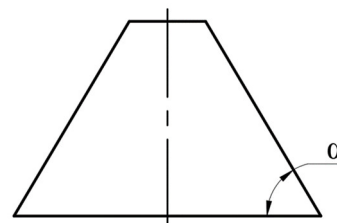
$$t_1 = t_0 \sin(90 - \alpha) = t_0 \cos(\alpha)$$

Trong đó:

α : Góc hợp bởi phương ngang và cạnh chi tiết

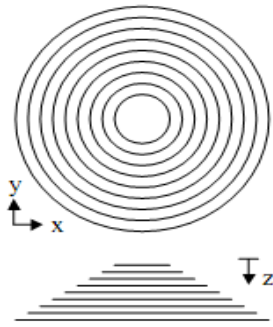
t_0 : Độ dày chi tiết ban đầu.

Biên dạng chi tiết thí nghiệm hình nón cụt với góc $\alpha = 30^\circ - 80^\circ$, khoảng biến thiên 5° mỗi thí nghiệm lặp lại ba lần với mô hình khảo sát có dạng nón cụt như hình 6 và đường chạy dao đồng tâm như hình 7.



Hình 6. Mô hình nón cụt khảo sát khả năng biến dạng với góc tạo hình α

Đường chạy dao là quỹ tích điểm mà dụng cụ sẽ đi qua trong quá trình tạo hình. Đường chạy dao phụ thuộc vào ba yếu tố (hình 7) như sau: dựa trên chiều sâu bước tiến z, dựa trên số bước, dựa trên hướng tạo hình.



Hình 7. Đường chạy dao đồng tâm

3.2. Ảnh hưởng của góc tường đến chất lượng và độ chính xác hình học của sản phẩm

Trình tự thực nghiệm:

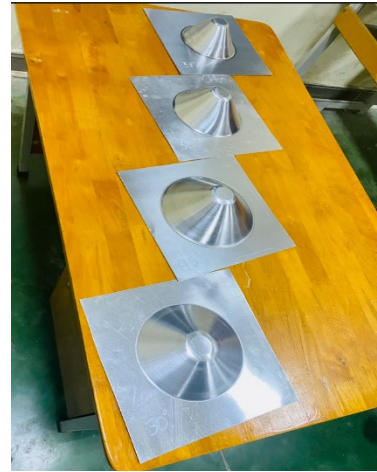
Trình tự thực nghiệm được thực hiện như sau: 1. Gá đặt phôi lên đồ gá, 2. Gá dụng cụ tạo hình lên máy, khởi động máy CNC 3 trục, set tâm, mở chương trình NC, chạy chương trình (chú ý: luôn bôi trơn dầu thủy lực để đảm bảo giảm ma sát). Khi xuất hiện vết rách trên chi tiết dừng chương trình, kiểm tra và tháo chi tiết ra khỏi đồ gá, vệ sinh, đo đạt cao độ vết rách.



Hình 8. Thực nghiệm chạy mẫu

Trong bài báo này, tác giả sử dụng đường chạy mình đang sử dụng đường chạy dao là đường đồng tâm: là dạng đường tròn liên tục, mọi điểm trên đường dạo chạy có chiều cao z như nhau.

Các sản phẩm dạng đĩa hình nón cụt sau gia công không có vết nứt rách nào trên bề mặt xung quanh côn nón bị biến dạng đều, độ dốc gần xấp xỉ góc biến dạng lớn nhất của vật liệu và đo được 45°.



Hình 9. Sản phẩm các góc tạo hình thực tế

Bảng 3. Chiều cao tạo hình của vật liệu của Al1050

Góc	30°	45°	50°	55°	60°	65°	70°	75°	80°
H (Chiều sâu,mm)	105	104	102	93	81	75	60	35	18
Khả năng tại hình	Không bị xé rách						Bị xé rách		

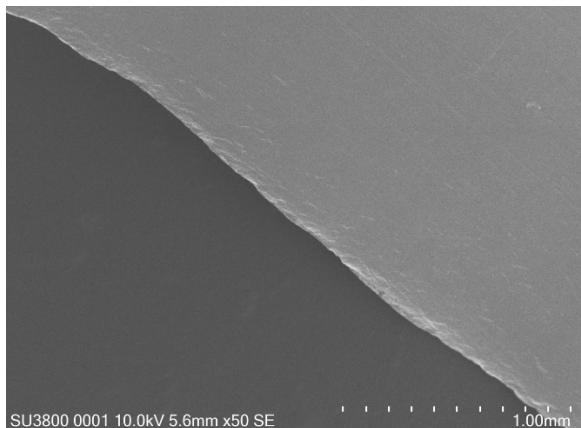
Các tác giả đã tiến hành so sánh cấu trúc tế vi vật liệu trước và sau khi thí nghiệm để đánh giá sự biến dạng của vật liệu.



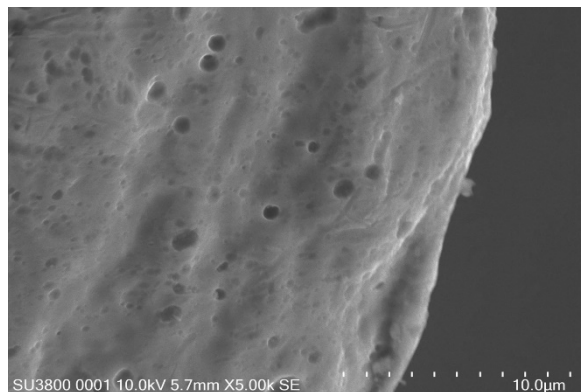
Hình 10. Chụp cấu trúc tế vi

Hình 11 mô tả cấu trúc tế vi của hợp kim nhôm Al1050 được phân tích tại năm tấm kim loại cơ bản (tương ứng vị trí các số trong hình 10). Qua những hình ảnh nhận được, ta nhận thấy, tại khu vực này các nguyên tố hợp kim cấu thành lên hợp kim nhôm Al1050 được phân bố đều trong mặt cắt của kim loại cơ bản và cấu trúc tế vi của khu vực này hầu như không có sự thay đổi về cấu trúc tế vi và kích thước hạt. Cấu trúc tế vi bề mặt sau khi bị phá hủy có dạng nhấp nhô, xuất hiện các lỗ hổng trên bề mặt. Khu vực này chịu ảnh hưởng trực tiếp của nhiệt sinh ra trong quá trình gia công của dao miết lên bề mặt kim loại. Mặt khác, trong quá trình gia công, vật liệu tại khu vực này bị biến dạng dẻo mạnh dưới tác động của lực ma sát từ dụng cụ tạo hình tạo nên làm thay đổi mạnh cấu trúc tế vi và kích thước hạt của khu vực này so với

các khu vực khác liền kề, quá trình làm thay đổi sự sắp xếp các hạt kim loại trong tổ chức tế vi. Điều này quyết định đến chất lượng bề mặt sau khi gia công.



A) Trước khi phá hủy



B) Sau khi phá hủy

Hình 11. Cấu trúc tế vi trước và sau khi phá hủy

Độ chính xác hình học của sản phẩm thực nghiệm so với đĩa nón cụt được mô phỏng từ quy trình TPIF được đánh giá thông qua so sánh giữa các cấu hình và độ dày tấm trước và sau khi biến dạng như hình 12 và bảng 4.

Bảng 4. Giá trị đo độ dày tấm thực tế sau khi gia công

STT	Chiều dày (mm)
1	0,351
2	0,359
3	0,357
4	0,355
5	0,357
Trung bình	0,355

Từ đồ thị cho thấy biên dạng CAD và biên dạng sản phẩm gần như trùng nhau. Điều đó cho thấy rằng, quá trình mô phỏng và thí nghiệm biên dạng sản phẩm gần như thay đổi.

3.3. So sánh chiều dày giữa thực nghiệm và tính toán

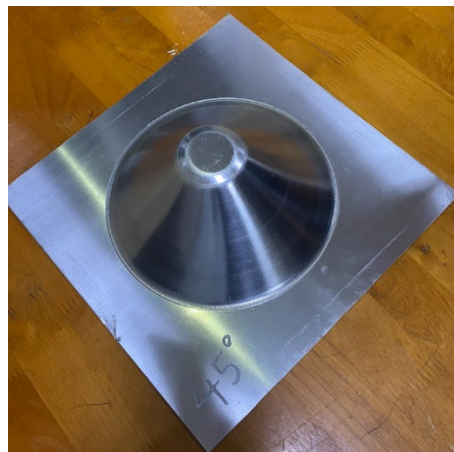
Sau khi gia công biến dạng gia tăng bằng công nghệ biến dạng gia tăng đa điểm chi tiết bị biến dạng, tiến hành đo chiều dày mẫu bằng thước panme với độ chính xác ±0,001mm (hình 12). Giá trị đo như bảng 4.

$$t_1 = t_0 \cdot \cos 45^\circ = 0,5 \times 0,7017 = 0,35355 \text{mm}, t_1 = 0,353 \text{mm}$$

Phần trăm sai số là:

$$\Delta t = (t_0 - t_1) \times 100 / t_0 = (0,353 - 0,351) \times 100 / 0,353 = 0,56\%$$

Từ kết quả thực nghiệm và tính toán, cho thấy sai số là rất bé. Độ dày biến dạng gia tăng đa điểm tuân theo định luật sin.



Hình 12. Hình ảnh minh họa 3D và chi tiết góc tường 45°

Qua quá trình mô phỏng và thí nghiệm cho thấy sự phân bố ứng suất và so với các biên dạng giữa mô hình CAD, mô hình mô phỏng và thí nghiệm thực tế có sự tương đồng về hình dáng, không có vị trí phần ứng suất tập trung nguy hiểm nhất của vật liệu và vật liệu không bị xé rách khi góc côn biến dạng đạt 60° trở xuống. Từ đó kết quả mô phỏng và kết quả thực nghiệm là hoàn toàn giống nhau. Tuy nhiên, có sự khác biệt so với kích thước hình học của sản phẩm xây dựng trên CAD. Sự thiếu chính xác của các cấu hình xảy ra ở khu vực thành và dưới cùng của sản phẩm. Sự khác biệt này có thể là do chỉ bán hình nón được sử dụng trong mô phỏng này và nó bị hạn chế với các điều kiện biên không thỏa mãn như giả định. Cận dưới của mặt cắt FEM rất phẳng, khác với quan sát trong thí nghiệm thực tế..

Sản phẩm tạo ra có chất lượng bề mặt nhẵn bóng đồng đều [5]. Phương pháp này cho thấy rằng quỹ đạo chuyển động của công cụ tạo hình có tác động đáng kể đến việc định hình và phá hủy vật liệu.

4. KẾT LUẬN

Đã nghiên cứu và chế tạo hệ thống đồ gá phục vụ tạo hình gia công bằng phương pháp gia tăng đơn điểm trên

máy CNC 3 trục. Có độ chính xác hình học tương tự như mô phỏng. Kết quả thí nghiệm sử dụng tấm hợp kim nhôm Al1050 dày 0,5mm cho thấy khi góc tường nhỏ hơn hoặc bằng 60° , sản phẩm khoang hình nón vẫn còn nguyên. Do đó, nên tạo hình nón cụt từ vật liệu này với hình dạng và kích thước trong đó góc tường từ $40^\circ - 60^\circ$. vật liệu không bị xé rách, khả năng tạo hình tốt. nhất. Nghiên cứu cũng cho thấy rằng quỹ đạo chuyển động của công cụ tạo hình có tác động đáng kể đến việc định hình và phá hủy vật liệu. Việc xác định khoảng biến thiên góc tường phù hợp là cơ sở để lựa chọn khoảng nghiên cứu ảnh hưởng của các thông số công nghệ đến chất lượng sản phẩm tạo hình phù hợp cho dụng của công nghệ TPIF trong cuộc sống. Các nghiên cứu trong tương lai sẽ tập trung vào việc nghiên cứu ảnh hưởng một số thông số tạo hình mới giúp tăng cường biến dạng và chiều cao biến dạng.

LỜI CẢM ƠN

Nhóm tác giả cảm ơn sự hỗ trợ của Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội trong nghiên cứu.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. A. Attanasio, E. Ceretti, C. Giardini, "Optimization of tool path in two points incremental forming," *Journal of Materials Processing Technology*, 177, 409–412, 2006.
- [2]. Isabel Bagudanch, Marc Sabater, Maria Luisa Garcia-Romeu, "Single Point versus Two Point Incremental Forming of thermoplastic materials", *Advances in Materials and Processing Technologies*, 3(1), 2017.
- [3]. L. K. Dien, "A research on the influences of engineering parameters to the forming ability of metal sheet by SPIF technology," Doctoral Thesis, Ho Chi Minh City University of Technology, HO Chi Minh City, 2018.
- [4]. L. V. Sy, "Modeling of single point incremental forming process for metal and polymeric sheet," Doctoral Thesis, University of Padua, Padova, 2009.
- [5]. Le Van Sy, Pham Thi Minh Hue, "Implement a Modified Viscoplasticity Based on Overstress Model into Numerical Simulation of the Incremental Sheet Forming Process," *Proceedings of Advanced Engineering – Theory and Applications (AETA 2016)* - Springer, 2017.

AUTHORS INFORMATION

Nguyen Huy Hoang¹, Pham Thi Minh Hue¹, Le Van Sy²

¹Hanoi University of Industry, Vietnam

²PV College, Vietnam