

NGHIÊN CỨU ĐỘ CHÍNH XÁC HÌNH HỌC TRONG CÔNG NGHỆ TẠO HÌNH GIA TĂNG ĐA ĐIỂM CHO VẬT LIỆU NHÔM TẤM A 1050 H14 DÀY 1,5 MM

A RESEARCH ON GEOMETRIC ACCURACY OF TWO POINT INCREMENTAL SHEET
FORMING TECHNOLOGY FOR 1.5 MM THICK A 1050 H14 ALUMINUM SHEET
MATERIAL

ThS. Nguyễn Phan Thanh Xuân¹, TS. Ma Văn Việt^{2*}, PGS, TS. Lê Văn Sỹ³

¹Công ty Cổ phần Xây lắp – Điện Biwase

²Khoa Công nghệ Cơ khí, Trường Đại học Công Thương Thành phố Hồ Chí Minh

³Tổng Công ty Bảo dưỡng – Sửa chữa Công trình Dầu khí (PVMR)

TÓM TẮT

Công nghệ tạo hình vật liệu tấm không dùng khuôn (ISF – Incremental Sheet Forming) đã được nghiên cứu và ứng dụng tại Việt Nam, mang lại nhiều triển vọng phát triển cho ngành công nghệ tạo hình không khuôn. Ưu điểm của ISF là không cần khuôn, linh hoạt trong việc thay đổi mẫu mã, giảm thời gian và chi phí sản xuất, phù hợp cho các lô hàng nhỏ và đơn chiếc, so với các phương pháp truyền thống như dập, vuốt, ép. Trong đó, công nghệ biến dạng gia tăng đa điểm (TPIF) nổi bật hơn SPIF nhờ độ chính xác hình học cao. TPIF sử dụng dụng cụ tạo hình đơn giản để biến dạng dần vật liệu tấm kim loại, đạt được hình dạng mong muốn thông qua chuyển động của đầu dụng cụ tạo hình trên máy phay CNC 3 trục. Tấm kim loại được gắn trên khung, và quỹ đạo đầu dụng cụ tạo hình được lập trình từ hình dạng sản phẩm qua phần mềm CAM. Việc xác định các thông số máy trong TPIF ở nhiệt độ phòng rất quan trọng, ảnh hưởng đến khả năng biến dạng và chất lượng sản phẩm. Bài báo này sẽ trình bày ứng dụng TPIF ở nhiệt độ phòng cho vật liệu tấm A 1050 H14 dày 1,5 mm với phương pháp bôi trơn và chất bôi trơn, và xem xét độ chính xác hình học thông qua bốn thông số công nghệ: bước tiến theo phương z (Δz), vận tốc dụng cụ (V_{xy}), số vòng quay trục chính (n), và đường kính dụng cụ (D).

Từ khóa: Tạo hình không khuôn; SPIF; TPIF; Độ chính xác hình học.

ABSTRACT

The Incremental Sheet Forming (ISF) technology, which does not require molds, has been researched and applied in Vietnam, offering promising prospects for the development of moldless forming technologies. The advantages of ISF include the elimination of the need for molds, flexibility in changing designs, and reduced production time and costs, making it suitable for small and custom production runs compared to traditional methods like stamping, drawing, and pressing. Among ISF technologies, Two-Point Incremental Forming (TPIF) stands out for its high precision compared to Single-Point Incremental Forming (SPIF). TPIF utilizes a simple forming tool to gradually deform sheet metal, achieving the desired shape through the movement of the tool head on a 3-axis CNC

milling machine. The metal sheet is clamped onto a Jig, and the tool path is programmed based on the product's shape using CAM software. Determining the machine parameters in TPIF at room temperature is crucial as they significantly impact the formability and quality of the product. This paper will present the application of TPIF at room temperature for 1.5 mm thick A1050 H14 sheet material, focusing on lubrication methods and lubricants, and will examine geometric accuracy through four technological parameters: z-step (Δz), tool speed (V_{xy}), spindle speed (n), and tool diameter (D).

Keywords: Die-less; SPIF; TPIF; Geometric accuracy.

1. GIỚI THIỆU

Công nghệ biến dạng gia tăng đơn điểm (SPIF) hiện đang thu hút sự quan tâm lớn từ giới khoa học. Một ưu điểm nổi bật của SPIF là không cần khuôn đất tiền hay thiết bị phức tạp, giúp giảm thời gian chuẩn bị và gá đặt. Công nghệ này sử dụng máy CNC để biến dạng vật liệu tấm với dụng cụ có đầu chỏm cầu không cạnh cắt, cho phép tạo hình chính xác theo biên dạng đã lập trình. So với các phương pháp truyền thống như dập, vuốt, ép, SPIF có khả năng tạo hình vượt trội, đặc biệt với các mô hình phức tạp và nhu cầu tạo mẫu nhanh cho các sản phẩm từ kim loại hoặc polymer tấm. SPIF thích hợp cho sản xuất các lô hàng vừa và nhỏ, giúp giảm giá thành sản phẩm.

Hiện tại, các nghiên cứu về SPIF tập trung vào nhiều khía cạnh như thiết bị, dụng cụ tạo hình, và các thông số ảnh hưởng đến gia công (đường kính dao, chiều dày tấm, vận tốc quay trục chính, loại vật liệu, v.v.). Đa số nghiên cứu ứng dụng SPIF ở nhiệt độ thường cho các vật liệu kim loại có khả năng biến dạng tốt. Tuy nhiên, đối với các nghiên cứu về ISF, hiện có nhiều nỗ lực nghiên cứu để ứng dụng, bao gồm các công trình sau đây:

Công nghệ SPIF đã được nghiên cứu sâu rộng và đạt được nhiều thành tựu đáng kể. Những kết quả này là thành quả của các nhà khoa học cùng đội ngũ cộng sự tại các trường

đại học hàng đầu như Đại học Bách Khoa Hà Nội, Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật TP. Hồ Chí Minh, Phòng Thí nghiệm trọng điểm Quốc gia thuộc Trường Đại học Bách Khoa TP. Hồ Chí Minh, Trường Đại học Tôn Đức Thắng, Trường Đại học Công nghệ Sài Gòn, và Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội. Dưới đây là những nghiên cứu nổi bật trong lĩnh vực này:

Đối với các loại vật liệu kim loại tấm dẻo dễ biến dạng, các nghiên cứu về công nghệ SPIF đã đạt được nhiều kết quả nổi bật, bao gồm: Nghiên cứu góc tạo hình của hợp kim nhôm A1050-H14 [1]; Khả năng biến dạng của tấm composite [2]; Khả năng biến dạng của nhựa PVC [3]; Ứng dụng công nghệ SPIF trong sản xuất mô hình xe hơi [4].

Tất cả các nghiên cứu này đều thành công trong việc gia công bằng công nghệ SPIF, sử dụng các thông số như bước tiến z, tốc độ di chuyển dụng cụ V_{xy} , đường kính dụng cụ D , và số vòng quay trục chính n . Biên dạng khảo sát là nón cụt với đường sinh cong và quỹ đạo hình xoắn ốc. Qua phương pháp thực nghiệm và mô phỏng số bằng phần mềm Abaqus, các tác giả đã khẳng định rằng các thông số công nghệ trên đều có ảnh hưởng đáng kể đến khả năng tạo hình, trong đó ba yếu tố quan trọng nhất là Δz , V_{xy} và D . Nghiên cứu của Lê Khánh Điền [5] đã xây dựng phương trình hồi quy liên quan đến bốn thông số công nghệ: bước tiến dụng



cụ theo phương z (Δz), vận tốc dụng cụ V_{xy} , đường kính dụng cụ D , và số vòng quay trục chính n . Ông đã phân tích mối quan hệ giữa các thông số này với khả năng biến dạng α , lượng phục hồi, độ nhám bề mặt và năng suất tạo hình của các vật liệu như nhôm A1050-H14, thép SS330 và SUS304 trong công nghệ SPIF. Bên cạnh đó, Phạm Quốc Tuấn từ Trường Đại học Tôn Đức Thắng đã tiến hành mô phỏng SPIF và xác định đường cong giới hạn biến dạng khi đứt gãy trong quá trình biến dạng tấm gia tăng cục bộ. Đồng thời, Giáo sư Nguyễn Đức Toàn từ Đại học Bách Khoa Hà Nội cũng đã đóng góp nhiều nghiên cứu quan trọng về công nghệ SPIF, góp phần làm rõ hơn về khả năng ứng dụng và tối ưu hóa công nghệ này.

Đối với các loại vật liệu kim loại tấm khó biến dạng, Nghiên cứu dự đoán khuyết tật trong biến dạng cục bộ liên tục (SPIF) bằng phương pháp mô phỏng số [6] đã đầu tư mạnh mẽ vào việc tiên đoán các dạng khuyết tật có thể xảy ra trong quá trình biến dạng tấm kim loại ở nhiệt độ cao. Quá trình này được mô hình hóa thông qua việc xây dựng mô hình 3D phần tử hữu hạn, cho phép nghiên cứu chi tiết đặc tính biến dạng của vật liệu và dự đoán các khuyết tật có thể xuất hiện. Nghiên cứu này không chỉ dừng lại ở việc dự đoán mà còn giải thích cơ chế biến dạng vật liệu trong công nghệ SPIF, cung cấp cái nhìn sâu sắc về các hiện tượng phức tạp xảy ra trong quá trình gia công. Nghiên cứu mô phỏng về lượng phục hồi theo phương hướng kính của vật liệu Titan khi gia công bằng công nghệ Hot SPIF đã mang lại những kết quả quan trọng. Thông qua phân tích mô phỏng và xây dựng phương trình hồi quy, nghiên cứu chỉ ra rằng đường kính dụng cụ có ảnh hưởng lớn nhất đến lượng phục hồi theo phương hướng kính, tiếp theo là vận tốc tiến dụng cụ, trong khi bước tiến dụng cụ và nhiệt độ có tác động ít hơn. Đáng chú ý, đường kính

dụng cụ, bước tiến dụng cụ, và vận tốc tiến dụng cụ có mối quan hệ tỷ lệ thuận với lượng phục hồi, trong khi nhiệt độ lại có mối quan hệ tỷ lệ nghịch. Việc sử dụng phương trình hồi quy để xác định lượng phục hồi theo phương hướng kính giúp dự đoán và bù sai số khi gia công Titan bằng công nghệ Hot SPIF, từ đó nâng cao độ chính xác kích thước sản phẩm [7].

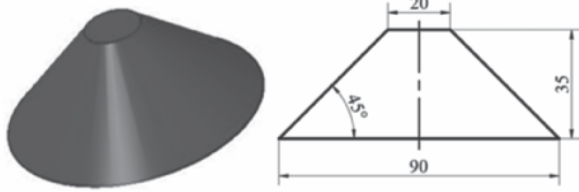
Đối với công nghệ TPIF, qua tìm hiểu từ các nguồn trên internet, tạp chí, và hội nghị, đã xuất hiện một số nhóm nghiên cứu tiên phong, chẳng hạn như tại Trường Đại học Bách Khoa TP. Hồ Chí Minh và Trường Đại học Công Nghiệp Hà Nội, đang bắt đầu khám phá lĩnh vực này.

Nhìn chung, các nhóm nghiên cứu đã tìm ra sự ảnh hưởng của thông số công nghệ với khả năng tạo hình. Trong nghiên cứu này sẽ khảo sát độ chính xác hình học trong công nghệ TPIF với phương pháp bôi trơn và chất bôi trơn, và xem xét độ chính xác hình học thông qua bốn thông số công nghệ: bước tiến theo phương z (Δz), vận tốc dụng cụ (V_{xy}), số vòng quay trục chính (n), và đường kính dụng cụ (D). Cuối cùng, việc khảo sát mẫu sản phẩm bằng công nghệ TPIF ở nhiệt độ phòng cũng được thực hiện nhằm kiểm nghiệm độ chính xác hình học và chất lượng sản phẩm sau khi biến dạng.

2. THIẾT BỊ THÍ NGHIỆM

2.1. Mô hình

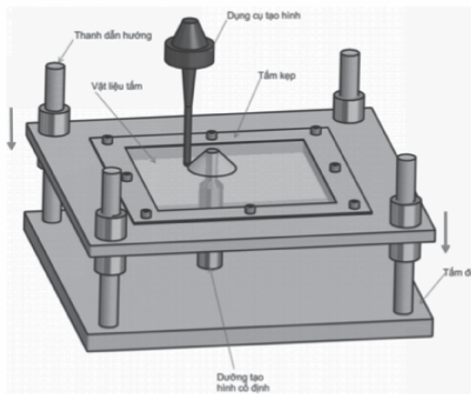
Mô hình khảo sát là một côn nón cụt với góc nghiêng 45° , như được thể hiện trên hình 1.



a. Mô hình CAD b. Biện dạng côn nón
Hình 1.

2.2. Đồ gá

Đồ gá cho công nghệ TPIF là thiết bị chuyên dụng, bao gồm bốn thanh dẫn hướng được cố định chắc chắn vào tấm đế. Tấm trượt, có khe rỗng ở giữa, được gắn vào bốn bạc trượt, và các bạc trượt này được lắp vào các thanh dẫn hướng. Phôi được kẹp chặt giữa tấm kẹp và tấm trượt bằng tám bu lông. Khi hoạt động, phôi trượt dọc theo các thanh dẫn hướng cùng với khung trượt, trong khi đường tạo hình nằm phía dưới phôi, như mô tả hình 2.



Hình 2. Mô hình đồ gá TPIF

Bảng 1. Thông tin chất bôi trơn và tính chất vật lý

Chất bôi trơn	Trạng thái	Độ nhớt (mm ² /s)	Khối lượng riêng (kg/m ³)
Bột than chì	Rắn	-	1800
AS40 grease Mỡ	Dẻo	-	1760
VG 150 EP oil	Lỏng	150	872
Dầu hướng dương	Lỏng	48.6	920
Hỗn hợp bôi trơn	Dẻo	-	-



2.3. Dụng cụ tạo hình

Dụng cụ tạo hình có nhiều hình dạng, kích thước, kết cấu và vật liệu khác nhau. Trong thí nghiệm này, dụng cụ tạo hình có hình dạng gần giống như dao phay ngón với đầu bán cầu, nhưng không có lưỡi cắt. Dụng cụ được chế tạo từ một thanh thép trụ (thép CT3), với một đầu được hàn viên bi thép (thép GCr15), sau đó được tiện để đảm bảo độ đồng tâm, như thể hiện hình 3.



Hình 3. Dụng cụ tạo hình

2.4. Chất bôi trơn và phương pháp bôi trơn

Chất bôi trơn đóng vai trò quan trọng trong thí nghiệm, ảnh hưởng trực tiếp đến chất lượng bề mặt và khả năng tạo hình trong công nghệ TPIF. Chức năng của chất bôi trơn là giảm ma sát và cải thiện khả năng tạo hình và độ chính xác hình học. Sử dụng năm loại chất bôi trơn khác nhau và hai phương pháp bôi trơn, các tính chất vật lý của chất bôi trơn được trình bày trong bảng 1. Thí nghiệm được lặp lại ba lần để đảm bảo độ chính xác của kết quả.

Chi tiết sau biến dạng được đo độ chính xác hình học bằng cách đo biên dạng. Các thông số chính cho quá trình TPIF là: bước sâu 0,2 mm/s, đường kính dao 12 mm, tốc độ tiến dao 800 mm/phút, tốc độ trục chính 1000 vòng/phút, dụng cụ tạo hình lăn không trượt trên bề mặt tấm.

Bảng 2. Ma trận chất bôi trơn và phương pháp bôi trơn

Chất bôi trơn	Phun	Phủ	Nhúng chìm
Bột than chì		X No. 10	X No. 2
AS40 grease Mỡ		X No. 4	
Lubrication oil (Gear VG 150 EP)	X No. 6		X No. 3
Vegetable oil (Dầu hướng dương)	X No. 8		X No. 7
Hỗn hợp bôi trơn		X No. 9	X No. 1

Tùy thuộc vào phương pháp bôi trơn, mỗi thí nghiệm được chuẩn bị như sau: Bột than chì: Được phủ đồng đều trên toàn bộ bề mặt tấm với độ dày 12 mm, và được kết dính bằng một lớp mỡ mỏng để đảm bảo bột than chì bám chắc vào bề mặt phôi; Mỡ: Được phủ thành lớp dày 12 mm bằng phương pháp phủ; Chất bôi trơn dạng lỏng: Sử dụng phương pháp nhúng, trong đó dụng cụ tạo hình được ngâm vào chất bôi trơn. Một bề mặt trụ tròn xoay bằng nhựa được đặt trên bề mặt phôi tấm, và keo được sử dụng để tạo một vòng chặn giữa mặt trụ và tấm phôi, đảm bảo rằng dụng cụ tạo hình hoàn toàn ngâm trong chất bôi trơn. Bột than chì có thể tạo bụi gây hại trong một số ứng dụng, do đó, nó được trộn với 50% bột than chì, dầu mỡ, và dầu máy để phủ lên bề mặt tấm. Chất bôi trơn lỏng được phun trực tiếp vào đầu dụng cụ tạo hình thông qua hệ thống bôi trơn và làm mát tuần hoàn của máy CNC. Các phương pháp bôi trơn cho từng thí nghiệm của quá trình TPIF với các chất bôi trơn khác nhau được tóm tắt trong bảng 2.

Trong tất cả các thí nghiệm, chất bôi trơn và phương pháp bôi trơn được mô tả trong bảng 2 được áp dụng trực tiếp lên bề mặt trên của tấm kim loại trước khi bắt đầu quá trình TPIF. Chất bôi trơn phải đảm bảo lấp đầy hoàn

toàn vùng tiếp xúc giữa dụng cụ tạo hình và bề mặt kim loại. Quá trình tạo hình sẽ được dừng lại khi hình nón đạt chiều cao 35 mm hoặc khi xảy ra sự cố. Sau khi hoàn tất quá trình tạo hình, chi tiết sẽ được kiểm tra để đo độ nhám bề mặt và biên dạng.

3. KẾT QUẢ THÍ NGHIỆM

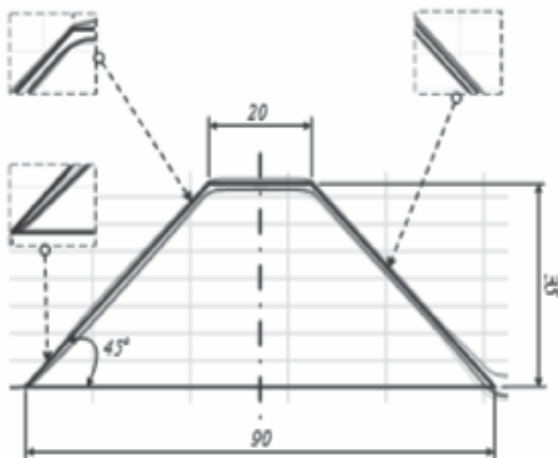
Sau quá trình tạo hình, chi tiết được đo biên dạng ở mặt cắt nửa chi tiết cho cả bề mặt trên và bề mặt dưới bằng cách sử dụng máy đo tọa độ (CMM) như minh họa trong Hình 4. Dữ liệu đo được xuất ra từ máy CMM dưới dạng tệp tọa độ. Các biên dạng bên ngoài và bên trong của chi tiết được so sánh với các biên dạng CAD như thể hiện trong Hình 5. Biên dạng của chi tiết được chia thành ba khu vực: trên cùng, thành, và đáy của hình nón. Tổng quan, các dữ liệu cho thấy các khu vực thành của hình nón phù hợp nhất với biên dạng CAD cho tất cả các chất bôi trơn, với sai số tối đa khoảng 0,1 mm. Trong khi đó, các khu vực trên cùng và đáy có độ chính xác thấp hơn với sai số tối đa lên đến 0,2 mm. Mặc dù vậy, kết quả này vẫn thể hiện độ chính xác cao hơn so với quy trình SPIF sử dụng cùng vật liệu và các thông số gia công.



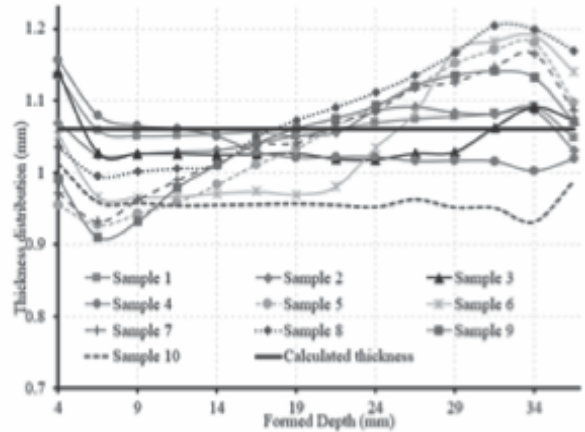
Hình 4. Đo tọa độ chi tiết bằng máy đo tọa độ

Chất bôi trơn được nhúng hoàn toàn vào đầu dụng cụ tạo hình cho thấy độ chính xác cao trong quá trình TPIF, với sai số tối đa chỉ khoảng 0,08 mm (mẫu 1, 2, 3, 4 và 7 trong Hình 5). Chất bôi trơn lấp đầy hoàn toàn vùng tiếp xúc giữa dụng cụ tạo hình và tấm kim loại. Quan sát thực nghiệm cho thấy dụng cụ tạo hình di chuyển trên tấm kim loại đã tạo ra một thung lũng cục bộ, nơi chất bôi trơn tập trung xung quanh đầu dụng cụ. Điều này giúp duy trì sự bôi trơn liên tục giữa đầu dao và bề mặt tấm, đồng thời giảm ma sát đáng kể.

Ngược lại, phương pháp phun và phương pháp phủ cho thấy độ chính xác hình học kém hơn. Sự bôi trơn không liên tục và không đồng đều trong vùng tiếp xúc khi dụng cụ tạo hình di chuyển trên tấm dẫn đến ma sát trực tiếp cao hơn giữa đầu dao và bề mặt tấm.



Hình 5. a. Biên dạng CAD



Hình 5. b. Phân bố độ dày chi tiết

4. KẾT LUẬN

Kết quả từ nghiên cứu này đã làm rõ và củng cố thêm các kết luận về khả năng biến dạng, độ chính xác hình học của sản phẩm biến dạng bằng công nghệ TPIF dưới góc độ sâu hơn. Độ chính xác hình học cao đã được ghi nhận cho cả bột than chì nguyên chất và chất bôi trơn hỗn hợp, với sai số chỉ khoảng 0,02 mm ở vùng tường. Kết quả này đặc biệt quan trọng vì graphit là một chất bôi trơn rắn, giá rẻ, phù hợp cho việc tạo hình kim loại về cả mặt thực tiễn và chi phí. Việc sử dụng chất bôi trơn hỗn hợp (50% graphit) giúp giảm sự phát tán bụi graphit ra môi trường. Mỡ và dầu máy trong hỗn hợp bôi trơn làm cho các hạt than chì bám chặt hơn và lấp đầy các rãnh nhỏ trên bề mặt kim loại, cải thiện hiệu quả bôi trơn so với bột than chì nguyên chất. Độ chính xác hình học của chất bôi trơn hỗn hợp là khoảng 0,02 mm. Thêm vào đó, dầu máy (Gear VG 150 EP) cũng cho thấy độ chính xác hình học tốt. ❖

Ngày nhận bài: 27/7/2024

Ngày phản biện: 19/8/2024



Tài liệu tham khảo:

- [1]. Nguyen Thanh Nam, Phan Dinh Tuan, Vo Van Cuong, Le Khanh Dien, Nguyen Thien Binh, Le Trung Hieu, “*Research on the forming angle of A1050 H14 aluminum material processed by using point incremental forming technology (SPIF)*”. Science & Technology Development, vol. 12, no. 16, 2009.
- [2]. Pham Van Trung, Vo Van Cuong, Le Khanh Dien, Vo Van Nang, Phan Dinh Tuan, Nguyen Thanh Nam, “*Deformation ability of single point incremental forming for thermo plastic composite material*”. Tạp chí Phát triển Khoa học và Công nghệ, vol. 14, no. K2, 2011.
- [3]. Nguyen Van Nang, Nguyen Thanh Nam, Le Khanh Dien, Nguyen Thien Binh, Nguyen Minh Tu, “*Experimental study of the forming possibility of ISF process for PVC plastic sheet*”. Tạp chí Phát triển Khoa học và Công nghệ, vol. 15, no. K1, 2012.
- [4]. Phan Dinh Tuan, Nguyen Thien Binh, Le Khanh Dien, Pham Hoang Phuong, “*Applying the ISF technology to produce the car part models*”. Tạp chí Phát triển Khoa học và Công nghệ, vol. 14, no. K2, 2011.
- [5]. L. K. Điền; “*Nghiên cứu ảnh hưởng của các thông số công nghệ đến khả năng tạo hình của một số vật liệu kim loại tấm khi gia công bằng phương pháp SPIF*”, 2018.
- [6]. TS. Lê Văn Sỹ, ThS. Lê Khánh Điền, ThS. Nguyễn Tấn Hùng, KS. Lê Tiến Thắng, “*Nghiên cứu dự đoán khuyết tật trong biến dạng cục bộ liên tục (SPIF) bằng phương pháp mô phỏng số*”. Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh, 03, 2015.
- [7]. B. A. Phi, “*Nghiên cứu ảnh hưởng của các thông số công nghệ đến khả năng biến dạng vật liệu kim loại tấm trong gia công bằng phương pháp tạo hình gia tăng (SPIF) ở nhiệt độ cao*”. Luận văn Thạc sĩ, Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật TP. Hồ Chí Minh, 2015.
- [8]. L. V. Sy, “*Modeling of single point incremental forming process for metal and polymeric sheet*”. University of Padua, Department of innovation in Mechanics and Management, 2009.
- [9]. Lasunon O, Knight WA (2007), “*Comparative investigation of single-point and double-point incremental sheet metal forming processes*”. Proc Inst Mech Eng Part B J Eng Manuf 221(12):1725-1732. <https://doi.org/10.1243/09544054JE M865>.
- [10]. Essa K, Hartley P (2011), “*An assessment of various process strategies for improving precision in single point incremental forming*”. IntJ Mater Form 4-4:401-412.
- [11]. Gulati V, Aryal A, Katyal P, Goswami A (2016), “*Process parameters optimization in single point incremental forming*”. J Inst Eng 185-193.
- [12]. Bambach M, Ames J, Azaouzi M, Campagne L, Hirt G, Batoz JL (2005), “*New forming strategies for single point incremental sheet forming experimental evaluation and numerical simulation*”. Proc Int Conf Mater Form (ESAFORM) 671-674.