

THIẾT KẾ, CHẾ TẠO VÀ THỰC NGHIỆM ĐỒ GÁ LINH HOẠT, ĐA VỊ TRÍ GIA CÔNG CHO QUÁ TRÌNH TẠO HÌNH BIẾN DẠNG DÈO CỤC BỘ LIÊN TỤC ĐƠN ĐIỂM (SPIF) TẤM NHÔM A1050

DESIGN, FABRICATION, AND EXPERIMENTAL EVALUATION OF A FLEXIBLE MULTI-POSITION FIXTURE FOR SINGLE POINT INCREMENTAL FORMING (SPIF) OF A1050 ALUMINUM SHEETS

Nguyễn Thị Hương

Khoa Cơ khí, Trường Đại học Kinh tế - Kỹ thuật Công nghiệp

Đến Tòa soạn ngày 13/4/2026, chấp nhận đăng ngày 02/6/2026

Tóm tắt: Công nghệ tạo hình biến dạng dẻo cục bộ liên tục đơn điểm (SPIF) là giải pháp gia công tấm linh hoạt và tiết kiệm, nhưng ứng dụng công nghiệp còn chưa rộng rãi do hệ thống gá kẹp chưa đáp ứng yêu cầu sản xuất. Nghiên cứu này thiết kế, chế tạo và đánh giá thực nghiệm hệ thống đồ gá linh hoạt, đa vị trí cho quá trình tạo hình SPIF tấm nhôm A1050 dày 0,5 mm. Điểm mới của đồ gá là khả năng gá nhiều vị trí kích thước khác nhau, giúp tạo hình đồng thời hoặc tuần tự không cần tháo lắp lại. Mô hình được thiết kế trên Autodesk Inventor và kiểm nghiệm bền với tải trọng $F_z = 50$ N, cho thấy ứng suất lớn nhất đạt 31,81 MPa (gá một phôi) và 4,337 MPa (gá nhiều phôi), nhỏ hơn giới hạn chảy của thép C45 (355 MPa); độ biến dạng dưới 0,02 mm. Thực nghiệm tạo hình chóp cụt trên máy phay X.mill M640 ổn định, không rung động hay rách vật liệu. Sai số hình học RMS đạt 0,15 mm, độ nhám bề mặt $Ra=3,2$ μ m. Đồ gá cho phép gia công một chi tiết 220x220 mm hoặc bốn chi tiết 90x90 mm, giúp tăng tính linh hoạt và giảm thời gian gá đặt.

Từ khóa: SPIF, đồ gá; linh hoạt, X.mill M640, A1050.

Abstract: Single Point Incremental Forming (SPIF) is a flexible and cost-effective sheet metal forming process; however, its industrial application remains limited due to fixture systems that do not fully satisfy production requirements. This study presents the design, fabrication, and experimental evaluation of a flexible multi-position fixture for SPIF of 0,5 mm-thick A1050 aluminum sheets. The novelty of the fixture lies in its ability to accommodate workpieces of different sizes, enabling simultaneous or sequential forming without re-clamping. The fixture was designed using Autodesk Inventor and validated under a forming load of $F_z = 50$ N. Simulation results showed maximum stresses of 31,81 MPa for the single-workpiece configuration and 4,337 MPa for the multi-workpiece configuration, both well below the yield strength of C45 steel (355 MPa), with deformation less than 0,02 mm. Experimental forming of a truncated pyramid on an X.mill M640 CNC milling machine demonstrated stable operation without vibration or material tearing. The fixture achieved an RMS geometric error of 0,15 mm and a surface roughness of $Ra = 3,2$ μ m. It can accommodate either one 220x220 mm workpiece or four 90x90 mm workpieces, improving flexibility and reducing setup time.

Keywords: Single Point Incremental Forming (SPIF), Fixturing system, Flexible fixturing, X.mill M640, A1050.

1. GIỚI THIỆU

Kim loại tấm 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, xây dựng, thiết bị y tế [1-2], đặc biệt là tấm

vật liệu phổ biến như nhôm và hợp kim titan. Do đó, lĩnh vực tạo hình kim loại tấm luôn phải đối mặt với nhiều thách thức và yêu cầu khác nhau. Tạo hình biến dạng dẻo cục bộ tấm kim loại đơn điểm (SPIF) là phương pháp gia công tạo hình 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].

Trong quá trình SPIF, hệ thống gá kẹp đóng vai trò then chốt. Đồ gá giúp đảm bảo độ cứng vững của hệ thống, từ đó đảm bảo sự ổn định của quá trình tạo hình. Các hệ thống đồ gá hiện tại mặc dù có nhiều ưu điểm nhưng chưa đảm bảo tính linh hoạt, thời gian gá đặt dài, chưa gá được nhiều phôi với kích thước khác nhau và phân bố lực kẹp chưa đồng đều, dẫn đến ảnh hưởng đến chất lượng bề mặt và độ chính xác gia công [4-5].

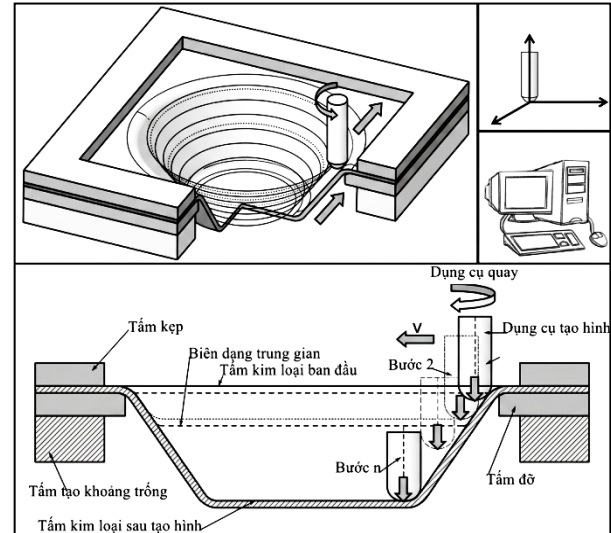
Xuất phát từ những hạn chế trên, nghiên cứu này nhằm mục tiêu thiết kế, chế tạo và thử nghiệm một hệ thống đồ gá SPIF đa năng mới với sự linh hoạt cao và hiệu quả sử dụng được cải thiện đáng kể. Đầu tiên, các thông số thiết kế được xác định chính xác, sau đó mô hình 3D của đồ gá được xây dựng, mô phỏng, tính toán đảm bảo độ bền và tối ưu trong kết cấu. Sau đó đồ gá được gia công, lắp ráp, hiệu chỉnh và đưa vào thử nghiệm. Tính năng làm việc của đồ gá được kiểm nghiệm thông qua các thí nghiệm trên máy X.mill M640 khi tạo hình các chi tiết hình chóp nón, vật liệu A1050 dày 0,5 mm.

2. NGUYÊN LÝ VÀ YÊU CẦU THIẾT KẾ ĐỒ GÁ SPIF

2.1. Nguyên lý của quá trình SPIF

SPIF là quá trình tạo hình tấm dựa trên sự biến dạng cục bộ diễn ra liên tục. Dụng cụ tạo hình có dạng hình trụ tròn, đầu cầu, chuyển

động theo quỹ đạo được lập trình sẵn và luôn đảm bảo tiếp xúc liên tục với bề mặt phôi cho tới khi gia công xong. Sơ đồ nguyên lý tạo hình SPIF như Hình 1.



Hình 1. Sơ đồ nguyên lý tạo hình SPIF

Chuyển động trong SPIF bao gồm chuyển động chạy dao theo quỹ đạo chạy dao, chuyển động ăn dao xuống, chuyển động quay trục chính, quyết định độ chính xác và chất lượng tạo hình [6].

2.2. Yêu cầu kỹ thuật đối với đồ gá

Căn cứ vào đặc điểm công nghệ tạo hình SPIF, tải trọng tác dụng trong quá trình gia công, yêu cầu độ chính xác của sản phẩm, đặc tính vật liệu phôi và điều kiện làm việc trên máy CNC [4-6], yêu cầu kỹ thuật của đồ gá xác định như sau:

- Độ cứng vững cao: Thân đồ gá và tấm đỡ làm bằng vật liệu C45, bề mặt tiếp xúc với phôi được gia công tinh với $Ra \leq 3,2 \mu m$, dung sai độ phẳng $\leq 0,05 \text{ mm}$, Độ song song giữa mặt kẹp và mặt đế: $\leq 0,05 \text{ mm}/300 \text{ mm}$..., dung sai lỗ lắp ghép $0,06 \text{ mm}$, mối ghép bulông - lỗ theo hệ lắp ghép H11, các chi tiết không thực hiện nhiệt luyện, sau gia công có độ cứng $170 \div 210 \text{ HB}$.

- Phân bố lực kẹp đồng đều: Lực kẹp phải phân bố đều khắp chu vi tấm phôi với tải trọng lớn nhất 2000 N.
- Dễ thay đổi kích thước phôi, đồ gá có thể gia công 1 phôi, 4 phôi, 3 phôi, bằng cách thay đổi tấm kẹp trung gian.
- Dễ lắp đặt trên máy CNC, được lắp trên bàn máy thông qua mối ghép bulông, đai ốc, được bảo dưỡng sau 500 sản phẩm.

2.3. Các thông số thiết kế chính của đồ gá

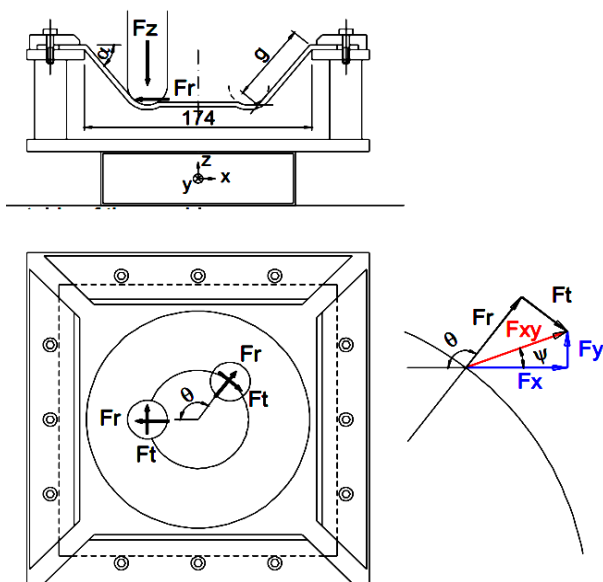
Các thành phần lực tác dụng trong quá trình tạo hình SPIF được thể hiện trong hình 2 [7]

F_z : Lực theo trục dụng cụ, quyết định tải trọng tác dụng lên máy;

F_t : Lực tiếp tuyến là lực song song với quỹ đạo dao gây ra biến dạng ngang, sai lệch hình học;

F_r : Lực hướng tâm vuông góc với quỹ đạo dao gây ra biến dạng ngang, sai lệch hình học;

F_x, F_y : Lực phân bố theo hai trục của máy CNC, lực tác dụng lên đồ gá.



Hình 2. Sơ đồ mô tả hệ thống ISF và các thành phần lực F_z, F_x, F_y, F_t và F_r

Công thức tính lực dọc trục F_z theo mô hình Aerens [3]:

$$F_z = 0,0716 \cdot \sigma_b \cdot t^{1,57} \cdot d^{0,41} \cdot \Delta h^{0,09} \cdot \alpha \cdot \cos(\alpha) \quad (1)$$

Trong đó:

σ_b : Độ bền kéo của vật liệu;

t : Chiều dày tấm;

d : Đường kính dụng cụ tạo hình;

Δh : Bước xuống dụng cụ;

α : Góc thành tạo hình.

Lực hướng tâm F_r được tính toán theo công thức sau: $F_r = F_z \cdot \tan\left(\frac{\alpha + \beta - \gamma}{2}\right)$ (2) [7]

Trong đó:

γ : Góc thoát của dụng cụ;

β : Góc ma sát giữa dụng cụ và phôi.

Lực tiếp tuyến F_t được tính toán theo công thức sau: $F_t = \mu \cdot F_z$ [3].

Lực ma sát tại vùng kẹp (F_k phải lớn hơn lực ngang tổng hợp (F_{xy}) do dụng cụ tạo ra để giữ phôi đứng yên.

$$F_k \geq \frac{S \cdot F_{x,y}}{\mu} \quad (3)$$

Trong đó:

S : Hệ số an toàn chống trượt (thường chọn từ 1,5 đến 2,5 để bù đắp cho sự rung động);

μ : Hệ số ma sát giữa tấm nhôm và bề mặt đồ gá = 0,15 (cho bề mặt khô).

Lực ngang F_{xy} :

$$F_{xy} = \sqrt{F_t^2 + F_r^2}$$

Đồ gá được thiết kế kẹp linh hoạt từ một vị trí đến nhiều vị trí gia công với A1050 với các thông số đầu vào như lực dọc trục, lực hướng tâm, lực kẹp... Các thông số đầu vào thiết kế đồ gá được xác định theo thực nghiệm tạo hình SPIF với thông số cụ thể như sau:

Kích thước tổng thể đồ gá: $320 \times 320 \times 85$ mm

Vùng gia công 1 vị trí: 220×220 mm

Vùng gia công 4 vị trí: 90×90 mm

Lực dọc trục: $F_z = 50 \div 2000$ N

Lực hướng tâm: $F_r = 15 \div 1000$ N

Lực kẹp: $F_k = 1 \div 5$ kN

Các bề mặt chuẩn được gia công đạt độ nhám $Ra \leq 3,2 \mu\text{m}$, độ phẳng $\leq 0,05$ mm.

3. THIẾT KẾ KẾT CẤU ĐỒ GÁ

3.1. Phương án thiết kế

Sử dụng cấu trúc khung gá hở trung tâm dạng chồng tầng

Phương án kẹp phôi: Kẹp bằng ma sát bề mặt thông qua tấm chặn vì phân bố lực đều, tránh làm rách mép phôi hoặc nhẵn bề mặt do tập trung ứng suất tại các điểm kẹp.

3.2. Thiết kế chi tiết các bộ phận chính

▪ **Khung đỡ:** Chịu lực ép dọc trục F_z từ đầu chày truyền qua phôi.

Vật liệu: Thép C45 đảm bảo độ cứng vững và hấp thụ rung động.

Kích thước: Độ dày tối thiểu $15 \div 20$ mm. Bề mặt được mài bóng đảm bảo tiếp xúc khít với phôi.

▪ Tấm kẹp phôi:

Vật liệu: Thép tấm C40 dày $15 \div 20$ mm.

Kích thước được khoét lỗ trung tâm lớn hơn biên dạng chi tiết 15 mm để tránh va chạm cán dao. Các mép được bo cung R2 mm để tránh cắt đứt phôi nhôm.

▪ **Hệ thống bulông kẹp:** Bulông M10 đặt đối xứng xung quanh chu vi tấm kẹp, cách mép trong khoảng 20 mm, sử dụng 12 bulông để đảm bảo lực kẹp đồng nhất.

▪ **Đế đồ gá:** Tấm đế phẳng được gá trên máy CNC thông qua các bu lông kẹp vào rãnh chữ T trên bàn máy.

3.3 Phân tích độ bền đồ gá

Nhôm A1050 có giới hạn chảy thấp ($\sigma_y \approx 35$ MPa), do đó cần kiểm tra áp suất tiếp xúc tại vùng kẹp để tránh biến dạng cục bộ.

Áp suất tiếp xúc:

$$P = \frac{F_k}{A} = \frac{5000}{17130} = 0,29 \text{ (MPa)}$$

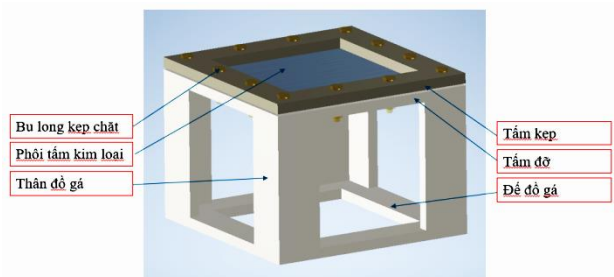
Trong đó:

Diện tích tiếp xúc của khung kẹp là 17.130 mm^2 .

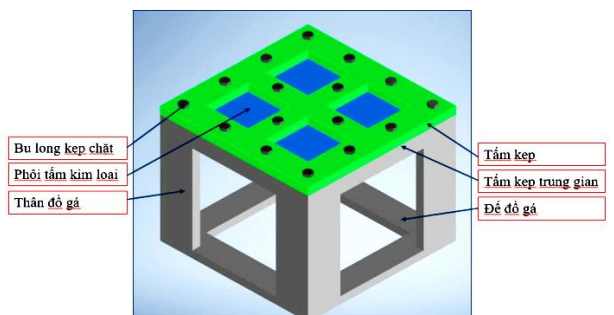
Vậy áp suất này nhỏ so với giới hạn chảy của nhôm, do đó hoàn toàn an toàn cho bề mặt phôi.

3.4. Bản vẽ đồ gá

Mô hình 3D đồ gá gia công một phôi được thiết kế như Hình 3.

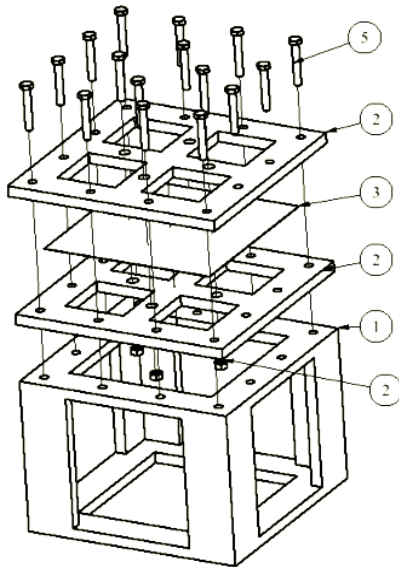


Hình 3. Mô hình 3D của đồ gá gia công 1 phôi



Hình 4. Mô hình 3D của đồ gá gia công nhiều phôi

Bản vẽ phân rã đồ gá gia công nhiều chi tiết như Hình 5.



Hình 5. Bản vẽ phân rã đồ gá gia công nhiều chi tiết với các chi tiết trong Bảng

Bảng 1. Bảng thống kê chi tiết trong đồ gá gia công nhiều phôi

Bảng thống kê chi tiết			
TT	Số lượng	Tên chi tiết	Vật liệu
1	1	Đế	C45
2	2	Tấm kẹp	C40
3	1	Phôi tấm kim loại	A1050
4	12	Đai ốc - M10×1,5 - 50	C45
5	12	Bulông - M10×1,5 - 65	C45

Tấm kẹp có kích thước 320×320×15 mm, vùng gia công có kích thước 220×220 mm. Mặt phẳng bề mặt tiếp xúc với phôi, có 12 lỗ bắt bu lông M10 để kẹp phôi được bố trí như Hình 3.

Tấm trung gian được chia nhỏ thành nhiều phần cho phép gia công nhiều chi tiết với kích thước khác nhau, được bố trí thêm bốn lỗ M10 để kẹp chi tiết, vùng gia công một phần là 90×90 mm (Hình 4).

Khung đồ gá có tấm đế phẳng để kẹp đồ gá trên bàn máy, các chân đỡ 200×70×15 mm, được liên kết với tấm đế bằng kết cấu hàn (Hình 3, 4).

4. CHẾ TẠO VÀ LẮP ĐẶT ĐỒ GÁ

4.1. Phương pháp gia công

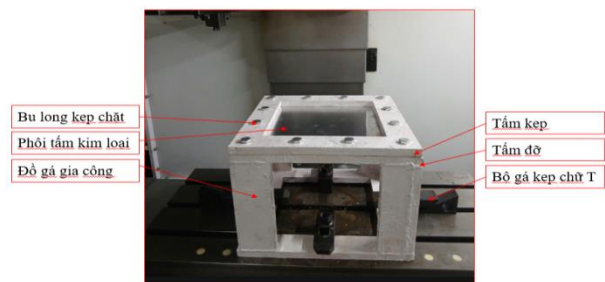
Tấm đỡ được làm bằng vật liệu thép C45, tấm kẹp làm bằng thép C40 đều dày 15 mm, được phay phẳng tất cả các mặt tiếp xúc giữa tấm kẹp, phôi và tấm đỡ, được khoan trên máy CNC để đảm bảo độ đồng tâm các lỗ bulông trên các tấm.

Thân đồ gá và đế đồ gá được hàn cố định với nhau, có độ cứng vững cao, được gia công phẳng các mặt tiếp xúc với phôi và bàn máy.

4.2. Lắp đặt đồ gá trên máy X.mill M640

Phương pháp gá đặt lên bàn máy: Sử dụng bộ gá kẹp chữ T để bắt chặt đế đồ gá xuống bàn máy (Hình 6).

Dùng đồng hồ so rà dọc theo cạnh của đồ gá khi di chuyển trục OX, OY để đảm bảo đồ gá song song với các trục của máy.



Hình 6. Gá đặt đồ gá lên bàn máy CNC

Kiểm tra lực kẹp: Sau khi siết bulông, dùng thước lá 0,02 mm, thử lách vào khe hở. Nếu không lách được là đạt yêu cầu

5. THỬ NGHIỆM TẠO HÌNH SPIF

5.1. Chuẩn bị thí nghiệm

Máy gia công: Máy phay X.mill M640 (Hình 9) có thông số kỹ thuật như Bảng 2.

Bảng 2. Thông số kỹ thuật máy X.mill M640

TT	Thông số kỹ thuật	Đơn vị	X.mill M640
1	Hệ điều khiển		Fanuc Oi Mate MD

TT	Thông số kỹ thuật	Đơn vị	X.mill M640
2	Hành trình trục X, Y, Z	mm	640×400×500
3	Tốc độ trục chính	Vòng/phút	60 ÷ 10000
4	Tốc độ dẫn tiến dao nhanh trục X, Y, Z	mm/phút	30000
5	Tốc độ chạy dao	mm/phút	10 ÷ 50000
6	Đường kính dao lớn nhất	mm	80
7	Chiều dài dao lớn nhất	mm	200
8	Kích thước máy	mm	2200×2200×1920

- Phôi: Phôi tấm nhôm có kích thước 256 × 256×0,5 mm, vùng gia công 220×220 mm, được gá đặt trên máy phay CNC (Hình 7).



Hình 7. Phương án gá đặt gia công trên máy X.mill M640

Phôi tấm nhôm: A1050 với thành phần vật liệu (Bảng 3) và cơ tính vật liệu của tấm nhôm (Bảng 4).

Bảng 3. Thành phần hoá học của vật liệu

Mác Nhôm	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Al
A1050	0,25	0,4	0,05	0,05	0,05	0,05	99,5

Bảng 4. Cơ tính vật liệu của A1050

Khối lượng riêng	2,72 g/cm ³
Nhiệt độ nóng chảy	650°C
Giới hạn chảy σ _y	35 MPa

Giới hạn bền σ _b	90 MPa
Mô đun đàn hồi E	69 GPa
Hệ số Poisson ν	0,33

- Dụng cụ tạo hình: Có hình dạng đầu cầu, đường kính dao Φ10 (Hình 8).



Hình 8. Dụng cụ tạo hình

- Thông số công nghệ:

Bước xuống dao: 0,5 mm;

Tốc độ tiến dao: 1500 mm/phút;

Tốc độ quay trục chính: 800 vòng/ phút.

5.2. Quy trình thí nghiệm

Quá trình thử nghiệm được gia công trên máy X.mill M640 (Hình 9) được tạo hình theo các bước sau [8]:



Hình 9. Thực nghiệm quá trình gia công trên máy X.mill M640

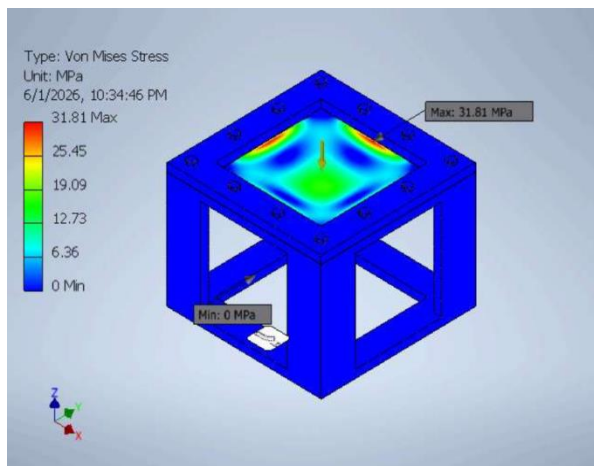
- Chuẩn bị phôi, dụng cụ tạo hình.
- Gá đặt phôi lên đồ gá, lên bàn máy.
- Lắp đặt dụng cụ tạo hình lên trục chính.
- Tiến hành thiết lập gốc phôi: ở tâm và lưu vào G54 trong bảng Offset của máy CNC.
- Truyền chương trình vào máy CNC.

- Gia công không tải để kiểm tra quỹ đạo chạy dao và đảm bảo đầu kẹp dao không va vào đồ gá.
- Gia công chi tiết trên máy X.mill M640.
- Kiểm tra chi tiết sau gia công.

6. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Khả năng làm việc của đồ gá

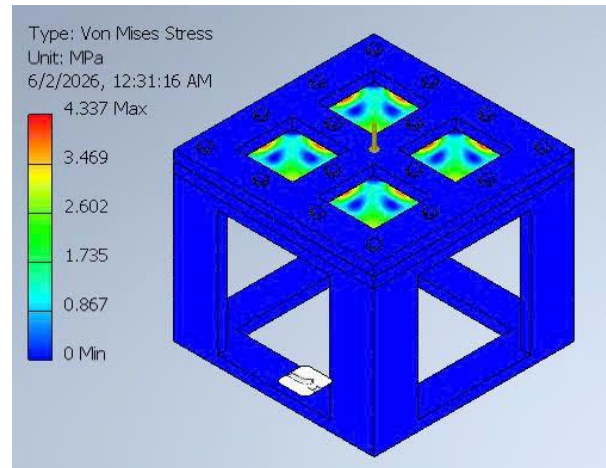
Thực hiện kiểm nghiệm bền trên phần mềm Inventor với các thông số sau: Điều kiện tải trọng: Đồ gá chịu một lực tác động thẳng đứng hướng xuống (trục -Z) với độ lớn là 50N đặt lên bề mặt tấm phôi A1050; Các ràng buộc (Constraints): Hệ thống được thiết lập với các ràng buộc cố định (Fixed Constraints) và các ràng buộc chốt (Pin Constraints) tại các vị trí liên kết bulông. Kết quả phân tích như Hình 10.



Hình 10. Kết quả phân tích kiểm nghiệm bền trên phần mềm Inventor với kết cấu đồ gá một vị trí gia công

Trong hình 10 ta thấy $\sigma_{\max} = 31,81 \text{ MPa}$, mà giới hạn chảy của thép C45 là $\sigma_y = 355 \text{ MPa}$. Suy ra $\sigma_{\max} < \sigma_y$. Vậy đồ gá một vị trí gia công đảm bảo bền, đồ gá có thể gá thêm nhiều vật liệu có độ cứng hơn.

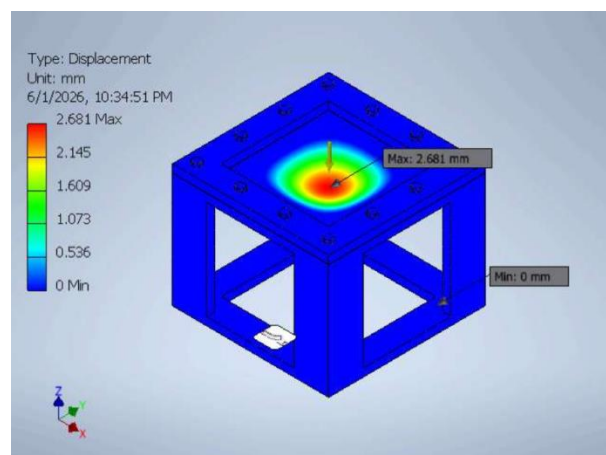
Đối với kết cấu đồ gá nhiều vị trí gia công thì kết quả phân tích kiểm nghiệm bền như Hình 11.



Hình 11. Kết quả phân tích kiểm nghiệm bền trên phần mềm Inventor với kết cấu đồ gá nhiều vị trí gia công

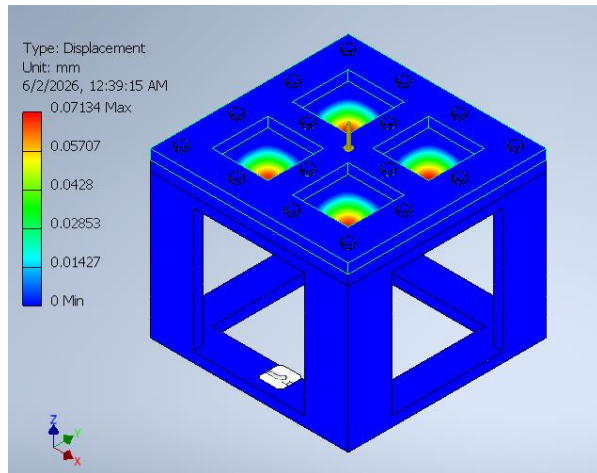
Trong hình 11 có ứng suất lớn nhất là $\sigma_{\max} = 4,337 \text{ MPa} < \sigma_y$. Vậy đồ gá nhiều vị trí gia công đảm bảo bền.

- Thực hiện kiểm nghiệm với lực $F_z = 50 \text{ N}$, đồ gá cho thấy độ võng lớn nhất tại tâm tấm phôi kim loại, vùng chịu tác động của tải trọng. Kết quả phân tích trên phần mềm cho thấy biến dạng trên đồ gá dưới $0,02 \text{ mm}$. Độ võng nhỏ hơn đáng kể so với sai số hình học cho phép của sản phẩm SPIF, do đó không ảnh hưởng đáng kể đến độ chính xác biên dạng sau tạo hình (Hình 12).



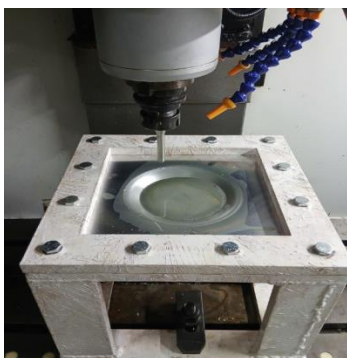
Hình 12. Kết quả phân tích biến dạng trên phần mềm Inventor đồ gá một vị trí gia công

Đối với kết cấu đồ gá nhiều vị trí gia công thì kết quả phân tích biến dạng như Hình 13.



Hình 13. Kết quả phân tích biến dạng phần mềm Inventor đồ gá nhiều vị trí gia công

- Trong suốt quá trình dao di chuyển với tốc độ 1500 mm/phút, không ghi nhận hiện tượng rung chấn hay tiếng rít kim loại. Điều này cho thấy với kết cấu thép C45 dày 15 mm của đồ gá cho phép gia công ổn định trên máy CNC.
- Khả năng kẹp chặt tốt, vùng viền phôi dưới tấm kẹp không xuất hiện vết dập hay biến dạng dư, chứng minh áp suất kẹp được phân bổ đều và nằm dưới giới hạn chảy của nhôm A1050.
- Sai số hình học của sản phẩm được đánh giá theo phương pháp RMS bằng cách so sánh dữ liệu đo thực nghiệm với mô hình CAD lý thuyết tại các điểm khảo sát trên biên dạng chi tiết. Kết quả cho thấy toàn bộ biên dạng sản phẩm lệch trung bình theo RMS khoảng 0.15 mm so với mô hình CAD.



Hình 14. Hình ảnh gia công trên đồ gá một vị trí gia công

Sản phẩm chi tiết khi gia công với đồ gá một vị trí gia công (Hình 14).

Sản phẩm chi tiết khi gia công với đồ gá nhiều vị trí gia công (Hình 15).



Hình 15. Hình ảnh gia công trên đồ gá nhiều vị trí gia công

- Bề mặt sản phẩm sau gia công tương đối đồng đều, không xuất hiện hiện tượng nứt hoặc rách vật liệu trong vùng tạo hình. Độ nhám bề mặt chi tiết được đo trên máy SJ-310 (Hình 16). Giá trị độ nhám bề mặt đo đã đo vuông góc với vết dao tại ít nhất 5 điểm cách đều nhau trên thành dốc của sản phẩm, sau đó lấy giá trị trung bình cộng của các lần đo này được $Ra = 3,2 \mu m$, cho thấy chất lượng bề mặt sản phẩm tốt.



Hình 16. Máy đo độ nhám và sản phẩm gia công

7. KẾT LUẬN

Sau quá trình thực nghiệm đồ gá gia công SPIF cho nhôm A1050 dày 0,5 mm, nghiên cứu đã đạt được các kết quả như sau:

- Đồ gá được thiết kế bằng phần mềm Autodesk Inventor Professional và kiểm nghiệm bền bằng phương pháp phần tử hữu hạn với tải trọng lớn nhất $F_z = 50$ N. Kết quả mô phỏng cho thấy ứng suất lớn nhất của kết cấu đồ gá một vị trí gia công là 31,81 MPa và đồ gá nhiều vị trí gia công là 4,337 MPa, đều nhỏ hơn nhiều so với giới hạn chảy của vật liệu C45 (355 MPa). Biến dạng lớn nhất của hệ thống nhỏ hơn 0,02 mm.
- Hệ thống đồ gá cho phép gia công linh hoạt một chi tiết kích thước 220×220 mm hoặc

bốn chi tiết kích thước 90×90 mm trên cùng một bộ đồ gá, góp phần nâng cao hiệu quả sử dụng thiết bị và rút ngắn thời gian chuẩn bị sản xuất.

- Đồ gá dễ dàng lắp đặt, có thêm tám trung gian cho phép linh hoạt gá đặt nhiều vị trí, nhiều chi tiết có kích thước khác nhau, nhiều và giảm thời gian căn chỉnh hệ tọa độ trên máy CNC, rút ngắn thời gian chuẩn bị thí nghiệm 0,5 lần so với các phương pháp gá đặt thông thường.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Ky-Thanh Ho, Ngoc-Tuan La, Ngoc-Hung Chu, Nhu-Huynh Vu and Tat-Loi Mai, "Applying Ultrasonic-Assisted Incremental Sheet Forming to Al5052 Aluminum Alloy", Engineering Proceedings, vol. 45, no. 8, pp. 1–5, 2023.
- [2] V. L. Hattalli and S. R. Srivatsa, "Sheet Metal Forming Processes - Recent Technological Advances" in Materials Today: Proceedings, Elsevier Ltd, pp. 2564–2574, 2018.
- [3] Hoang, TK., Mac, TB., Luyen, TT. et al, "Integrated Experimental Study on Thickness Uniformity, Thinning Limit, and Forming Force in Heat-Assisted Single-Point Incremental Forming of AA1050 Aluminum Alloy", J. of Materi Eng and Perform 2025.
- [4] K. Jackson and J. Allwood, "The mechanics of incremental sheet forming" J Mater Process Technol, vol. 209, no. 3, pp. 1158–1174, Feb. 2009.
- [5] Hoang, T. K., Luyen, T. T., & Nguyen, D. T, "An in-depth analysis of process parameter effects on forming forces in single point incremental forming of Al1050 aluminium sheets", Advances in Materials and Processing Technologies, pp.1–14, 2025.
- [6] Hoang, TK., Mac, TB., Luyen, TT. et al. "Parametric study and multi-objective optimization in heat-assisted single point incremental forming of AA1050 aluminum alloy using experimental design methods", Int J Adv Manuf Technol 141, pp.3847–3868, 2025.
- [7] R. Aerens, J.R. Duflou, P. Eyckens, A. Van Bael, "Advances in force modelling for SPIF", The International Journal of Material Forming, pp. 25-28, 2009.
- [8] Trần Văn Địch, "Nghiên cứu độ chính xác gia công bằng thực nghiệm", Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, 2003.

Thông tin liên hệ: **Nguyễn Thị Hương**

Điện thoại: 0867 001 268 - Email: nthuong.ck@uneti.edu.vn

Khoa Cơ khí, Trường Đại học Kinh tế - Kỹ thuật Công nghiệp