

Ảnh hưởng của các thông số công nghệ cơ bản trong dập tạo hình chi tiết từ cặp phôi dạng tấm sử dụng chất lỏng áp suất cao

Đỗ Văn Vũ*, Nguyễn Đức Minh, Trần Anh Quân, Đinh Văn Duy

Viện Máy và Dụng cụ Công nghiệp, Bộ Công thương

Ngày nhận bài 17/4/2017; ngày chuyển phản biện 20/4/2017; ngày nhận phản biện 8/5/2017; ngày chấp nhận đăng 15/5/2017

Tóm tắt:

Công nghệ dập tạo hình chi tiết từ cặp phôi dạng tấm bằng chất lỏng áp suất cao (dập thủy tĩnh cặp phôi) là một hướng nghiên cứu mới trong dập tạo hình thủy lực. Công nghệ này cho phép dập các chi tiết rỗng có hình dạng phức tạp chỉ sau một chu trình tạo hình, giúp nâng cao năng suất so với dập tấm đơn (được 2 chi tiết sau một lần dập với cặp phôi không hàn), tạo hình được các chi tiết rỗng đa hướng trong không gian, từ các vật liệu khó biến dạng... Do vậy, nó được ứng dụng rất hiệu quả để tạo hình các chi tiết cho các ngành công nghiệp mũi nhọn như: Ôtô, hàng không, hàng tiêu dùng...

Từ khóa: Cặp phôi tấm, dập bằng chất lỏng, dập thủy tĩnh chi tiết cầu.

Chỉ số phân loại: 2.3

The effect of fundamental technological parameters on the hydroforming of sheet metal pairs

Van Vu Do*, Duc Minh Nguyen, Anh Quan Tran, Van Duy Dinh

Industrial Machinery and Instruments Holding, Ministry of Industry and Trade

Received 17 April 2017; accepted 15 May 2017

Abstract:

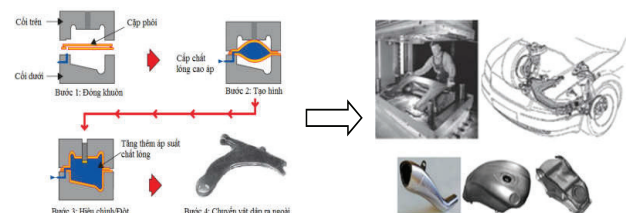
Hydroforming of sheet metal pairs is a new trend in forming hollow sophisticated parts via just one process with a higher output (doubled for unweld pairs), multi-directional parts, and/or parts from hard-to-process metals. The above-mentioned technology is supposed to dominate automobile, aerospace, and even consuming goods industries in developed countries. Initial achievements by Industrial Machineries and Instruments Holding on this field of study are discussed in this paper.

Keywords: Hydroforming, hydrostatic forming of spherical parts, sheet metal pairs.

Classification number: 2.3

Đặt vấn đề

Nội địa hóa các chi tiết trong các lĩnh vực như công nghiệp ô tô, xe máy, hàng tiêu dùng... đang là vấn đề đặt ra đối với các nhà sản xuất hiện nay ở Việt Nam. Công nghệ chế tạo các chi tiết từ cặp phôi dạng tấm sử dụng chất lỏng áp suất cao (Hydroforming of Sheet metal Pairs - HSP) để chế tạo một số chi tiết trong các lĩnh vực nêu trên đã và đang được nghiên cứu - triển khai tại các quốc gia có nền công nghiệp phát triển [1]. Công nghệ HSP sử dụng nguồn chất lỏng áp suất cao cấp vào giữa hai phôi (cặp phôi tấm ban đầu), áp suất chất lỏng sẽ tác dụng đồng thời lên hai phôi làm biến dạng dẻo phôi theo biên dạng của lòng cối. Chất lỏng là môi trường truyền áp suất thủy tĩnh, đóng vai trò như chày (chày mềm) trong công nghệ dập vuốt truyền thống để tạo hình chi tiết. Chất lỏng được sử dụng có thể là nước, dầu, emunxi. Sử dụng công nghệ này so với công nghệ dập tạo hình truyền thống (chày cứng - cối cứng) có những ưu điểm là có khả năng chế tạo được các chi tiết rỗng có hình dạng phức tạp, hai nửa chi tiết có chiều dày - vật liệu khác nhau...



Hình 1. Sơ đồ công nghệ và một số chi tiết được sản xuất bằng công nghệ HSP.

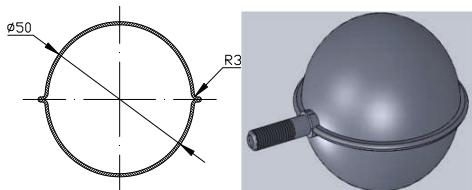
*Tác giả liên hệ: vuimiholding@gmail.com

Để có thể từng bước làm chủ công nghệ này nhằm nhanh chóng ứng dụng vào sản xuất trong nước, cần phải có các nghiên cứu về xây dựng hệ thống thiết bị, các thông số công nghệ ảnh hưởng trong quá trình HSP. Những nội dung này đã được các nhà khoa học từng bước thực hiện thông qua các đề tài nghiên cứu các cấp [2-4]. Bài báo này trình bày kết quả nghiên cứu ảnh hưởng của thông số công nghệ chính là: Áp suất lòng cối (áp suất tạo hình p_{th} , áp suất hiệu chỉnh p_{hc}), lực chặn (Q_{ch}) đến chất lượng tạo hình (khả năng tạo hình, mức độ biến mỏng) và đặc trưng hình học của sản phẩm (chiều sâu tương đối H_c). Nhóm nghiên cứu sử dụng phương pháp mô phỏng số để xác định giới hạn tham số thực nghiệm và phương pháp thực nghiệm trên thiết bị do Viện Máy và Dụng cụ Công nghiệp (Viện IMI) xây dựng để đánh giá ảnh hưởng của các yếu tố công nghệ này trong quá trình tạo hình.

Nội dung nghiên cứu

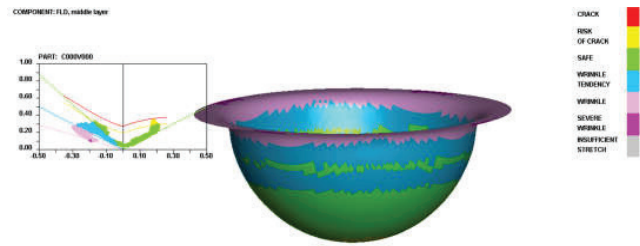
Vật liệu thí nghiệm: Thép tấm có mác DC04, chiều dày $s = 0,8$ mm.

Đối tượng nghiên cứu: Dập tạo hình chi tiết dạng cầu. Với các chi tiết có hình dạng phức tạp khi nghiên cứu thường đưa về các chi tiết đối xứng như dạng hình trụ, dạng cầu, hình hộp để nghiên cứu. Trong công nghệ dập truyền thống, chế tạo các chi tiết dạng cầu (hoặc côn phần thân) từ phôi tấm thường gặp khó khăn, vì ban đầu chày sẽ tiếp xúc với phôi tại một điểm là đỉnh của chày lúc đó khe hở giữa chày và cối sẽ bằng bán kính của hình cầu, do đó phần vật liệu giữa đỉnh chày và cối sẽ không được chặn, dẫn đến sản phẩm dễ bị nhăn, rách. Dạng cầu là chi tiết điển hình, nghiên cứu công nghệ sử dụng nguồn chất lỏng cao áp để tạo hình chi tiết dạng cầu từ cặp phôi tấm hàn sẽ thuận tiện cho quá trình nghiên cứu, so sánh, nhận xét, khảo sát, đánh giá kết quả, có thể áp dụng cho các dạng chi tiết tương tự khác.



Hình 2. Chi tiết thực nghiệm.

Mô phỏng số bằng phần mềm Dynaform xác định miền giá trị lực chặn tạo hình thành công: $Q_{ch} = (79,5 \div 148)$ kN tương ứng với các giá trị áp suất hiệu chỉnh $p_{hc} = (350 \div 386)$ bar. Đây là các giá trị làm căn cứ để tiến hành thực nghiệm các tham số Q_{ch} và p_{hc} đầu vào:



Hình 3. Sản phẩm mô phỏng tại $Q_{ch} = 190$ kN, áp suất hiệu chỉnh $p_{hc} = 133$ bar.

Chiều sâu tương đối khảo sát tại tâm chi tiết hình cầu: $H_c = h_c/d = 0,05; 0,1; 0,15; 0,2; 0,25; 0,3; 0,35; 0,4; 0,45; 0,5$.

Hệ thống thiết bị thực nghiệm: Xây dựng hệ thống thực nghiệm nhằm mục đích là để khảo sát, xác định ảnh hưởng của thông số công nghệ: Lực chặn Q_{ch} , áp suất lòng cối đến chiều sâu tương đối H_c , mức độ biến mỏng ϵ . Các thành phần của hệ thống thực nghiệm sẽ được xây dựng, thiết kế, lựa chọn dựa trên điều kiện về thiết bị sẵn có tại phòng thí nghiệm của Viện IMI và các đơn vị phối hợp trong nước, khoảng giá trị các thông số được xác định thông qua mô phỏng số, tính toán lý thuyết và kích thước hình học của chi tiết (chiều sâu tạo hình). Hình 4 là hệ thống thực nghiệm được xây dựng và kết nối hoàn chỉnh.



Hình 4. Hệ thống thiết bị thực nghiệm.

Kết quả nghiên cứu và bàn luận

Ảnh hưởng của lực chặn Q_{ch} trong quá trình dập tạo hình

Để đánh giá ảnh hưởng của lực chặn Q_{ch} đến quá trình tạo hình thì giá trị lực chặn được điều chỉnh bằng phương pháp thay đổi áp suất trong xilanh chặn (p_{xlch}). Các giá trị lực chặn ban đầu được xác định căn cứ vào miền lực chặn được xác định từ mô phỏng số và bằng phương pháp thử sai. Từ kết quả thực nghiệm, bằng phương pháp quy hoạch thực nghiệm cực tiểu bình phương sai số, xây dựng được các phương trình quan hệ trong miền lực chặn tạo hình thành công ($Q_{ch} = 79,83 \div 148,25$ kN) đối với quá trình dập tạo hình chi tiết cầu:

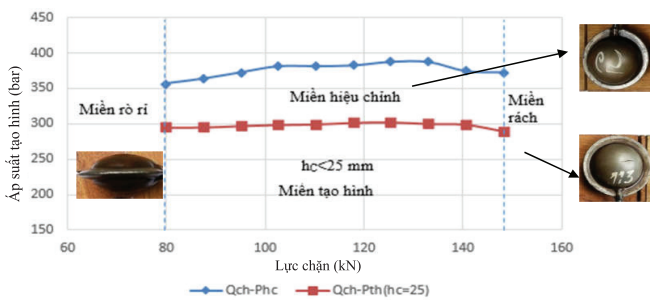
Phương trình quan hệ giữa lực chặn Q_{ch} và áp suất hiệu chỉnh p_{hc} :

$$p_{hc} = -0,0075Q_{ch}^2 + 1,7192Q_{ch} + 208,85 \text{ với } R^2 = 0,696 \quad (1)$$

Phương trình quan hệ giữa lực chặn Q_{ch} và áp suất tạo hình p_{th} đạt chiều sâu $h_c = 25$ mm:

$$p_{th} = -0,0181Q_{ch}^2 + 4,3713Q_{ch} + 120,9 \text{ với } R^2 = 0,9265 \quad (2)$$

Phương trình (2) có $R^2 > 0,8$ thể hiện tương quan chặt, còn phương trình (1) có $0,4 < R^2 < 0,8$ là tương quan trung bình. Xây dựng đồ thị biểu diễn mối quan hệ giữa lực chặn và áp suất lòng cối đạt chiều sâu $h_c = 25$ mm, áp suất hiệu chỉnh p_{hc} :



Hình 5. Miền làm việc của lực chặn và áp suất tạo hình trong HSP chi tiết cầu từ phôi tấm hàn.

Đồ thị cho thấy, các miền làm việc trong quá trình tạo hình chi tiết cầu từ cặp phôi tấm hàn như sau:

Miền rò rỉ: Tương ứng với các giá trị lực chặn nhỏ thì cối bị rò rỉ, không tạo hình đủ chiều sâu chi tiết, chi tiết không được dập tạo hình thành công. Ở giai đoạn ban đầu với p_{th} nhỏ thì quá trình tạo hình vẫn diễn ra, đến khi áp lực lòng cối lớn hơn giá trị lực chặn thì hai nửa cối sẽ bị đẩy tách nhau; quá trình tạo hình sẽ kết thúc khi liên kết hàn giữa hai phôi bị phá hủy, gây ra hiện tượng rò rỉ, mất áp; lực chặn không đủ để làm kín khi áp suất tạo hình tăng, do đó p_{th} tại thời điểm rò rỉ không đủ lớn để làm biến dạng dẻo phôi đạt chiều sâu $h_c = 25$ mm. Điểm đặc biệt là sản phẩm thực nghiệm hoàn toàn không bị nhăn phần vành khi lực chặn nhỏ như trong công nghệ gia công áp lực (GCAL) truyền thống, điều này có thể giải thích là do cơ chế làm kín của mỗi hàn, khi hai phôi bị đẩy tách rời nhau, chất lỏng tạo hình cũng đồng thời tác dụng lên vành chặn, có tác dụng như là lực chặn chống nhăn, nhiệm vụ làm kín là do liên kết hàn đảm nhiệm, do đó vành sản phẩm không bị nhăn khi lực chặn nhỏ.

Miền tạo hình: Các giá trị áp suất và lực chặn nằm trong miền này thì chi tiết đang trong quá trình tạo hình, chiều sâu đo được tại tâm chi tiết chưa đạt $h_c = 25$ mm.

Miền hiệu chỉnh: Với những giá trị lực chặn nằm trong

miền này ($Q_{ch} = 79,83 \div 148,25$ kN) khi áp suất lòng cối được bơm vào, chi tiết được tạo hình đủ chiều sâu, tuy nhiên vẫn cần phải tiếp tục tăng áp suất để phôi được áp sát vào lòng cối, các giá trị áp suất tương ứng với lực chặn nằm trong miền này được gọi là giá trị áp suất hiệu chỉnh p_{hc} .

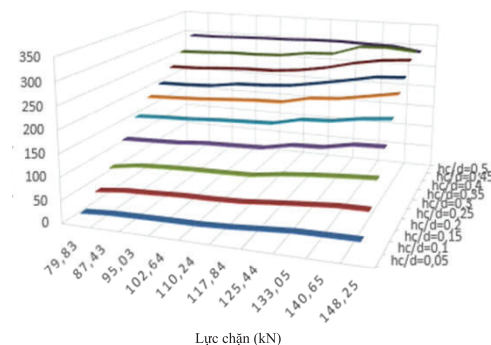
Miền phá hủy: Với các giá trị lực chặn lớn, sản phẩm dập bị rách phần đỉnh, quá trình tạo hình không thành công. Nguyên nhân là do lực chặn lớn làm tăng ma sát, gây cản trở quá trình kéo kim loại phần vành phôi vào lòng cối, khi áp suất tạo hình tăng, phần đỉnh phôi dưới tác dụng của ứng suất kéo theo hai hướng, phôi sẽ bị biến mỏng mảnh liệt và phá hủy khi chưa đạt chiều sâu $h_c = 25$ mm.

Kết quả thực nghiệm về ảnh hưởng của lực chặn trong quá trình dập tạo hình chi tiết từ cặp phôi tấm bằng chất lỏng áp suất cao đã chỉ ra: Lực chặn quyết định đến kết quả tạo hình, với lực chặn nhỏ cối bị rò rỉ, lực chặn lớn phôi sẽ bị rách phần đỉnh, do đó cần phải xác định lực chặn phù hợp để có được kết quả tạo hình đạt chất lượng. Từ phương trình (1) và (2) sẽ cho phép xác định các giá trị áp suất tạo hình cần thiết để đạt chiều sâu tương đối $h_c = 0,5$ và giá trị áp suất hiệu chỉnh dập chi tiết đạt chất lượng trong miền lực chặn tạo hình thành công.

Quan hệ áp suất tạo hình p_{th} và lực chặn Q_{ch} với chiều sâu tương đối H_c

Mối quan hệ giữa các thông số này trong quá trình tạo hình được xác định sẽ giúp các nhà thiết kế có cơ sở lựa chọn các thông số và hình dạng hình học hợp lý trong quá trình thiết kế sản phẩm và khuôn mẫu. Từ kết quả thực nghiệm quá trình tạo hình, được ghi nhận bởi phần mềm DASYLab, kết hợp với các công cụ khảo sát của phần mềm, đã xác định được miền giá trị của áp suất tạo hình và lực chặn tương ứng với mỗi giá trị của chiều sâu H_c .

Chúng tôi đã tiến hành xây dựng đồ thị quan hệ giữa áp suất lòng cối p_{th} tương ứng với các giá trị lực chặn Q_{ch} - chiều sâu tương đối H_c trong khoảng lực chặn tạo hình thành công $Q_{ch} = 79,83 \div 148,25$ kN (hình 6).



Hình 6. Đồ thị 3D biểu diễn mối quan hệ p_{th} - H_c - Q_{ch}

Từ kết quả khảo sát và đồ thị hình 6 cho thấy:

Với cùng một giá trị chiều sâu tương đối H_c , nếu lực chặn tăng $Q_{ch} = 79,83 \div 133,05$ kN ($p_{xch} = 21 \div 35$ bar) thì áp suất tạo hình cần thiết sẽ phải tăng tương ứng. Nguyên nhân là do lực chặn tăng đồng nghĩa với trở lực kéo phôi vào lòng cối tăng, do đó áp suất tạo hình cần thiết sẽ phải tăng lên để đảm bảo khả năng biến dạng của phôi đạt chiều sâu tương đối H_c .

Trong khoảng lực chặn lớn $Q_{ch} = 140,65 \div 148,25$ kN ($p_{xch} = 37 \div 39$ bar), áp suất tạo hình tăng tương ứng với mỗi giá trị chiều sâu tương đối cố định trong khoảng $H_c = 0,1 \div 0,4$, từ giá trị $H_c = 0,45 \div 0,5$ thì áp suất tạo hình bắt đầu giảm, có điều này là vì ở giai đoạn đầu, lực chặn lớn nên phôi khó kéo vào lòng cối khi áp suất chất lỏng tăng dẫn đến mức độ biến mỏng tăng, ở giai đoạn chiều sâu tương đối H_c lớn thì phôi đã bị biến mỏng mãnh liệt, do đó áp suất cần thiết để tạo hình trong giai đoạn này sẽ có xu hướng giảm.

Sử dụng phương pháp quy hoạch cực tiểu bình phương sai số, chúng tôi đã xây dựng được phương trình quan hệ giữa áp suất tạo hình p_{th} , độ sâu tương đối H_c trong miền giá trị lực chặn $Q_{ch} = 79,83 \div 148,25$ kN.

Phương trình quan hệ:

$$-Q_{ch} = 79,83 \text{ kN}; H_c = 1E-06 p_{th21}^2 + 0,0012 p_{th21} + 0,0374 \text{ với } R^2 = 0,9964 \quad (3)$$

$$-Q_{ch} = 87,43 \text{ kN}; H_c = 1E-06 p_{th23}^2 + 0,0012 p_{th23} + 0,0281 \text{ với } R^2 = 0,9975 \quad (4)$$

$$-Q_{ch} = 95,03 \text{ kN}; H_c = 2E-06 p_{th25}^2 + 0,0012 p_{th25} + 0,0267 \text{ với } R^2 = 0,998 \quad (5)$$

$$-Q_{ch} = 102,64 \text{ kN}; H_c = 2E-06 p_{th27}^2 + 0,001 p_{th27} + 0,0298 \text{ với } R^2 = 0,998 \quad (6)$$

$$-Q_{ch} = 110,24 \text{ kN}; H_c = 2E-06 p_{th29}^2 + 0,001 p_{th29} + 0,0316 \text{ với } R^2 = 0,9975 \quad (7)$$

$$-Q_{ch} = 117,84 \text{ kN}; H_c = 2E-06 p_{th31}^2 + 0,001 p_{th31} + 0,0292 \text{ với } R^2 = 0,998 \quad (8)$$

$$-Q_{ch} = 125,44 \text{ kN}; H_c = 3E-06 p_{th33}^2 + 0,0006 p_{th33} + 0,04 \text{ với } R^2 = 0,9959 \quad (9)$$

$$-Q_{ch} = 133,05 \text{ kN}; H_c = 2E-06 p_{th35}^2 + 0,0007 p_{th35} + 0,0311 \text{ với } R^2 = 0,9866 \quad (10)$$

$$-Q_{ch} = 140,65 \text{ kN}; H_c = 3E-06 p_{th37}^2 + 0,0005 p_{th37} + 0,0416 \text{ với } R^2 = 0,9766 \quad (11)$$

$$-Q_{ch} = 148,25 \text{ kN}; H_c = 3E-06 p_{th39}^2 + 0,0003 p_{th39} + 0,0474 \text{ với } R^2 = 0,9545 \quad (12)$$

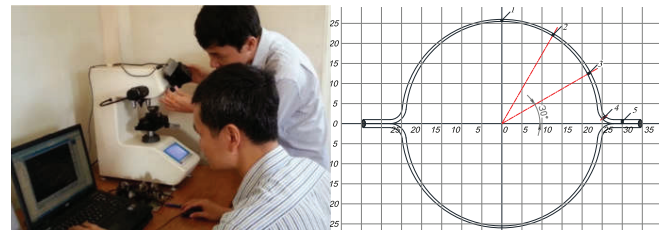
Các phương trình trên đều có hệ số tương quan $R^2 > 0,8$, vì vậy đây là quan hệ có mối tương quan chặt.

Kết luận: Các phương trình (3÷12) biểu diễn mối quan hệ giữa áp suất tạo hình và chiều sâu tương đối H_c trong miền lực chặn tạo hình thành công, từ phương trình cho phép xác định được áp suất tạo hình tương ứng với chiều sâu tương đối cần thiết.

Ảnh hưởng của Q_{ch} và p_{hc} đến mức độ biến mỏng ε của sản phẩm dập

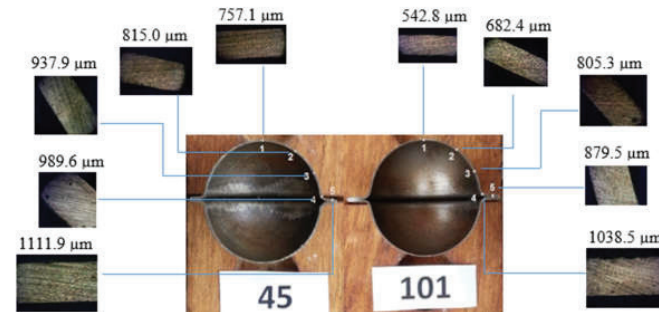
Mức độ biến mỏng của sản phẩm dập được chế tạo bằng GCAL là rất quan trọng đối với các nhà kỹ thuật. Mức độ biến mỏng (biến mỏng - biến dày) ảnh hưởng lớn

đến độ bền trong trạng thái làm việc của chi tiết (ví dụ: Chi tiết giá đỡ động cơ, giá treo tam giác của xe ô tô...). Chúng tôi tiến hành nghiên cứu ảnh hưởng của lực chặn Q_{ch} và áp suất hiệu chỉnh p_{hc} tương ứng đến mức độ biến mỏng cũng như xác định phân bố của chúng trên sản phẩm dập chi tiết cầu từ cặp phôi tấm hàn bằng công nghệ HSP trong miền tạo hình thành công $Q_{ch} = 79,83 \div 148,25$ kN.



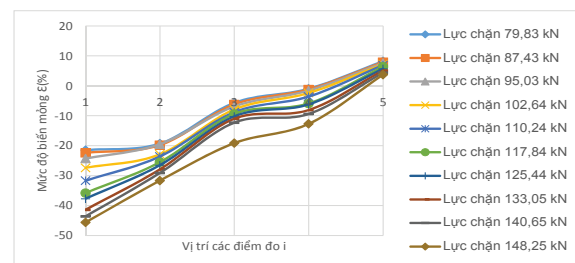
Hình 7. Vị trí đo mẫu.

Vì chi tiết là dạng hình cầu, đối xứng qua tâm nên chỉ tiến hành khảo sát trên 1/4 chi tiết thực nghiệm, các vị trí đo được biểu diễn trên hình 7. Mẫu thí nghiệm được cắt trên máy cắt dây CNC, sau đó được xử lý bề mặt cắt bằng phương pháp mài để đảm bảo phản quang khi đo trên máy, sau đó tiến hành đo trên máy đo FM7000 của hãng Future Tech (hình 8).



Hình 8. Mẫu đo 45 tại $Q_{ch} = 95,03$ kN và mẫu 101 tại $Q_{ch} = 148,25$ kN.

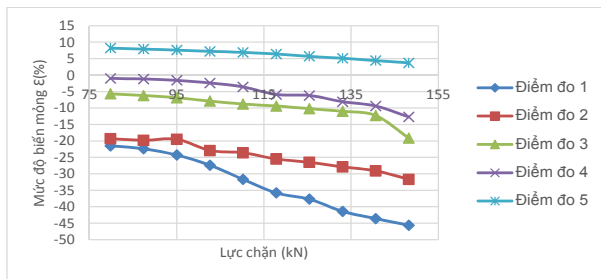
Từ số liệu đo [4], nhóm nghiên cứu tiến hành xây dựng đồ thị phân bố biến mỏng tại các điểm đo (hình 9) và đồ thị mức độ biến mỏng tại các vị trí đo khi thay đổi lực chặn (hình 10).



Hình 9. Phân bố mức độ biến mỏng theo các điểm đo khi Q_{ch} thay đổi.

Đồ thị hình 9 đã chỉ ra phân bố biến mỏng trên thành chi tiết dập, với mỗi giá trị lực chặn, chi tiết dập bị biến mỏng nhiều nhất tại phần đỉnh (điểm đo 1) và chiều dày tăng dần đến phần vành chi tiết (điểm 5).

Tại đỉnh chi tiết (điểm 1), biến mỏng lớn nhất $\varepsilon_{1bmmax} = -45,6\%$ tại giá trị lực chặn $Q_{ch} = 148,25$ kN tương ứng $p_{hc} = 372,33$ bar, biến mỏng nhỏ nhất $\varepsilon_{1bmmin} = -21,5\%$ tại giá trị lực chặn $Q_{ch} = 79,83$ kN tương ứng $p_{hc} = 356,37$ bar, biến mỏng là do thành phần ứng suất kéo hướng trục σ_z khi áp suất lòng cối tăng lên gây ra. Kết quả trên cho thấy, sử dụng lực chặn hợp lý không những giảm biến mỏng mà còn có thể giảm được năng lượng tiêu hao của thiết bị tạo lực chặn (máy dập), nâng cao tuổi thọ lòng khuôn. Chi tiết bị biến dày tại điểm 5, biến dày lớn nhất tại điểm này là $\varepsilon_{5bdmax} = 8,2\%$ ứng với lực chặn $Q_{ch} = 79,83$ kN tương ứng $p_{hc} = 356,37$ bar và biến dày nhỏ nhất là $\varepsilon_{5bdmin} = 3,7\%$ tại $Q_{ch} = 148,25$ kN tương ứng $p_{hc} = 372,33$ bar. Có điều này là do khi áp suất tạo hình tăng, phôi bị kéo vào lòng cối, trên phần vành chịu ứng suất nén theo phương tiếp tuyến σ_θ gây ra hiện tượng biến dày và biến dày giảm dần khi lực chặn tăng.



Hình 10. Đồ thị biểu diễn mức độ biến mỏng tại các điểm đo khi lực chặn thay đổi.

Đồ thị hình 10 cho thấy ảnh hưởng của lực chặn đến mức độ biến mỏng: Lực chặn tăng sẽ làm tăng mức độ biến mỏng trên thân chi tiết và làm giảm biến dày phần vành, do đó có thể sử dụng lực chặn trong dập tạo hình chi tiết từ cặp phôi tấm hàn để điều khiển mức độ biến mỏng (đồng chảy kim loại vào cối) trên thân chi tiết dập.

Sử dụng phương pháp quy hoạch cực tiểu bình phương sai số, xây dựng được phương trình biểu diễn mối quan hệ giữa Q_{ch} với $\varepsilon(\%)$ tương ứng với mỗi p_{hc} tại các vị trí đo [4] trong miền lực chặn tạo hình thành công $Q_{ch} = 79,83 \div 148,25$ kN:

$$-\varepsilon_1 = -0,0002Q_{ch}^2 - 0,3324Q_{ch} + 8,0165 \text{ với } R^2 = 0,9869 \quad (13)$$

$$-\varepsilon_2 = -0,002Q_{ch}^2 + 0,2816Q_{ch} - 10,832 \text{ với } R^2 = 0,9873 \quad (14)$$

$$-\varepsilon_3 = -0,0027Q_{ch}^2 + 0,4614Q_{ch} - 26,066 \text{ với } R^2 = 0,8988 \quad (15)$$

$$-\varepsilon_4 = -0,0008Q_{ch}^2 - 0,0116Q_{ch} - 13,05 \text{ với } R^2 = 0,978 \quad (16)$$

$$-\varepsilon_5 = -0,0006Q_{ch}^2 + 0,0628Q_{ch} + 6,7487 \text{ với } R^2 = 0,9989 \quad (17)$$

Các phương trình trên đều có hệ số tương quan $R^2 > 0,8$, vì vậy đây là quan hệ có mối tương quan chặt.

Như vậy, chi tiết cầu được dập tạo hình từ cặp phôi hàn bằng công nghệ HSP bị biến mỏng nhiều nhất ở phần đỉnh và biến dày phần vành, khác với dập vuốt truyền thống là biến mỏng lớn nhất ở phần thân. Các phương trình từ (13) đến (17) cho phép xác định giá trị mức độ biến mỏng tại các vị trí tương ứng trong miền lực chặn dập tạo hình thành công.

Kết luận

Bằng phương pháp mô phỏng số để xác định giá trị khảo sát ban đầu và bằng thực nghiệm, nhóm nghiên cứu đã xác định được ảnh hưởng của các thông số công nghệ quan trọng là lực chặn và áp suất lòng cối trong quá trình tạo hình. Thực nghiệm cho thấy, lực chặn quyết định đến khả năng tạo hình (thành công hoặc không), lực chặn và áp suất hiệu chỉnh ảnh hưởng đến chất lượng tạo hình (chiều sâu tương đối, mức độ biến mỏng). Chi tiết cầu được tạo hình bằng công nghệ HSP so với công nghệ dập vuốt truyền thống cho thấy những ưu điểm nổi bật là sản phẩm dập không bị nhăn trên phần thân và vành, không cần chế tạo chày, chế tạo được chi tiết hoàn chỉnh sau một chu trình tạo hình, chất lượng bề mặt tốt hơn. Từ kết quả nghiên cứu thu được giúp các nhà kỹ thuật nắm bắt được các quy luật tác động, xác định được ảnh hưởng của các thông số công nghệ chính trong quá trình tạo hình theo công nghệ HSP, lựa chọn bộ thông số công nghệ hợp lý, tạo điều kiện đưa ra các quyết định nhanh chóng và chính xác khi tính toán, thiết kế để có thể ứng dụng công nghệ này trong thực tiễn chế tạo ra các sản phẩm đạt yêu cầu kỹ thuật, giảm thời gian và chi phí chuẩn bị sản xuất và sản xuất.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Phạm Văn Nghệ (2006), *Công nghệ dập thủy tĩnh*, Nhà xuất bản Bách khoa - Hà Nội.
- [2] Viện Máy và Dụng cụ Công nghiệp (2011), *Nghiên cứu công nghệ, thiết kế chế tạo hệ thống khuôn dập cặp chi tiết dạng tấm mỏng bằng nguồn chất lỏng áp suất cao*, Báo cáo tổng kết đề tài nghiên cứu khoa học cấp Bộ Công thương.
- [3] Viện Máy và Dụng cụ Công nghiệp (2014), *Nghiên cứu ảnh hưởng của các thông số công nghệ cơ bản trong quá trình dập tạo hình vật liệu tấm sử dụng chày chất lỏng cao áp*, Báo cáo tổng kết đề tài nghiên cứu khoa học cấp Bộ Công thương.
- [4] Đinh Văn Duy (2016), *Nghiên cứu công nghệ dập tạo hình đồng thời cặp chi tiết dạng tấm mỏng bằng nguồn chất lỏng áp suất cao*, Luận án Tiến sỹ kỹ thuật, Viện Máy và Dụng cụ Công nghiệp.