

NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA ÁP SUẤT CHẤT LỎNG DẬP THỦY TĨNH CHI TIẾT VỎ MỎNG DẠNG CHÔM CẦU VẬT LIỆU AA5182 TRÊN CƠ SỞ MÔ PHỎNG SỐ

RESEARCH ON THE INFLUENCE OF FLUID PRESSURE HYDROSTATIC FORMING THIN SHELLS DETAIL HAVING SPHERE FORMAT AND MATERIALS OF AA5182 BASED ON NUMERICAL SIMULATION

Vũ Đức Quang

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

Đến Tòa soạn ngày 14/3/2016, chấp nhận đăng ngày 10/4/2016

Tóm tắt: Dập vuốt là một trong những quá trình tạo hình kim loại tầm quan trọng, được ứng dụng rất rộng rãi trong các ngành công nghiệp hiện đại và cũng là yếu tố có vai trò quan trọng trong tương lai. Bài báo này nhằm mục đích nghiên cứu khả năng tạo hình của vật liệu nhôm AA5182 ở nhiệt độ phòng bằng phương pháp dập thủy tĩnh. Tỷ lệ dập vuốt và áp suất chất lỏng là các thông số công nghệ được khảo sát. Mô phỏng phần tử hữu hạn được thực hiện bằng cách sử dụng Eta/Dynaform với tính năng siêu mạnh LS-DYNA mô phỏng hoàn chỉnh hệ thống khuôn dập thủy tĩnh. Trên cơ sở mô phỏng quá trình dập thủy tĩnh cho ta thấy tỷ lệ dập vuốt tăng khi xác định thông số áp suất chất lỏng trong lòng cối hợp lý. So sánh giữa các bộ kết quả ta nhận được độ tin cậy giữa mô phỏng và kết quả thực nghiệm.

Từ khóa: Dập thủy tĩnh, mô phỏng số dập thủy tĩnh, biến dạng dẻo kim loại.

Abstract: Sheet metal forming is a method widely applied in modern industries and it is going to be a very important process in the future. The present work is aimed to investigate the formability of AA5182 at room temperatures based on hydrostatic forming. Limiting drawing ratio and liquid pressure are the indicators of formability in deep drawing. Finite element simulations are carried out using Dynaform with LS-DYNA solver. Based on the computer-simulation process, it shows that the limiting drawing ration increases when the fluid pressure inside the die are determined rationaly. The comparison between these sets of results indicates the reliability of the predictions. It was found that there is a good agreement between the experimental and predicted values.

Keywords: Formability, finite element, hydrostatic forming.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Dập vuốt là một trong những quá trình tạo hình kim loại tầm quan trọng. Hầu hết các thành phần kim loại tấm đang được ứng dụng trong các lĩnh vực ô tô, hàng không, hàng hải, hạt nhân đều ứng dụng quá trình

này. Trong đó, tạo hình biến dạng dẻo phiêu tấm kim loại mỏng bởi thiết bị tạo hình như chày, cối ta thu được chi tiết có hình dạng mong muốn mà không bị phế phẩm. Các thông số bao gồm tính chất cơ học và tính chất luyện kim của kim loại tấm, hình dạng hình học của chày và cối, tốc độ của chày, độ

dày phôi, bôi trơn... góp phần vào sự thành công của quá trình tạo hình với mức độ khác nhau và phụ thuộc lẫn nhau [1]. Do đó, sự hiểu biết về khả năng tạo hình biến dạng dẻo của kim loại tấm là một điều cần thiết cho việc sản xuất các thành phẩm chất lượng.

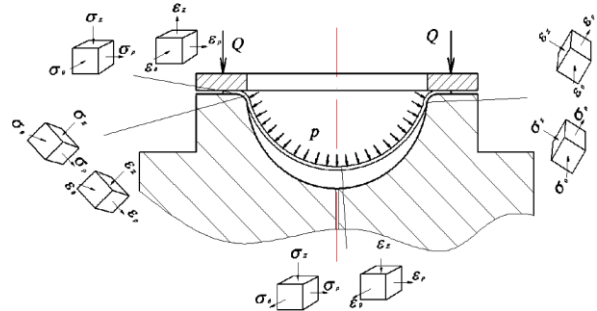
Do nhu cầu ngày càng đòi hỏi tính ưu việt của các sản phẩm cơ khí, trong đó có chi tiết dạng chòm cầu bằng vật liệu nhôm. Ngoài công nghệ tạo hình truyền thống sử dụng chày cứng – cối cứng, công nghệ gia công áp lực hiện nay sử dụng các công nghệ mới nhằm giảm số lượng các nguyên công, tăng tỷ lệ dập vuốt, nâng cao chất lượng sản phẩm, tránh được các khuyết tật như rách, nứt, biến mỏng thành hoặc nhăn... Một trong những phương pháp gia công áp lực tiên tiến hiện nay là sử dụng chày chất lỏng cao áp và cối cứng để tạo hình, đó là công nghệ dập thủy tĩnh.

Phương pháp “Công nghệ mô phỏng số” được coi là bước đột phá trong công nghệ và dần dần thay thế được công nghệ cổ điển, đặc biệt trong việc tính toán, thiết kế mất rất nhiều thời gian và công sức của các nhà máy trước đây chỉ dựa vào kinh nghiệm sản xuất. Công nghệ mô phỏng số ứng dụng trong ngành gia công áp lực giúp cho việc tính toán, thiết kế khuôn mẫu nhanh, đơn giản và có được những quyết định công nghệ đúng đắn ngay trong lúc mô phỏng bởi sự phân tích tính toán chính xác phân bố ứng suất, biến dạng ngay trên vật liệu và khuôn mẫu tại từng thời điểm, cũng như diễn biến của quá trình tạo hình. Qua đó, nhanh chóng tối ưu hóa được các thông số công nghệ ảnh hưởng tới quá trình biến dạng nhằm đảm bảo độ chính xác về hình dạng và kích thước của sản phẩm cũng như cơ - lý tính của sản phẩm. Tuy nhiên, hiện nay việc tính toán công nghệ dập thủy tĩnh chi tiết vỏ mỏng vẫn chưa được nghiên cứu một cách tổng quát cũng như ứng dụng vào thực tế sản xuất tại Việt Nam. Vì vậy, bài báo này tác giả ứng dụng phần mềm *eta/Dynaform* vào việc

mô phỏng số quá trình dập thủy tĩnh chi tiết vỏ mỏng dạng chòm cầu vật liệu nhôm AA5182 nhằm tối ưu hóa công nghệ, giảm giá thành sản phẩm, tiết kiệm được thời gian trước khi đưa vào thử nghiệm và ứng dụng sản xuất.

2. CÁC YẾU TỐ CƠ BẢN TRONG QUÁ TRÌNH DẬP THỦY CỐ

Trong quá trình dập thủy tĩnh, phôi kim loại tấm chịu tác động của các loại trạng thái ứng suất khác nhau [2] như minh họa trong hình 1.



Hình 1. Sơ đồ trạng thái ứng suất, biến dạng dập thủy tĩnh

2.1. Phần vành phôi

Phần vành phôi được tấm chặn ép trong quá trình tạo hình nhằm mục đích chống nhăn, đồng thời để chất lỏng không lọt qua khe hở giữa tấm chặn và phôi. Khi dập vuốt trạng thái ứng suất và biến dạng trong dập thủy tĩnh trên phần vành cũng hoàn toàn tương tự như dập vuốt truyền thống, đó là ứng suất hướng trục σ_z (do lực chặn gây ra), ứng suất nén theo hướng tiếp tuyến do phôi trên phần vành biến dày khi bị kéo vào lòng cối và ứng suất kéo phôi theo hướng kính do áp suất chất lỏng tác dụng vào phần tự do của phôi kéo phôi vào trong cối. Biến dạng trên phần vành có trạng thái khối, hai thành phần biến dạng kéo và một thành phần biến dạng nén.

2.2. Phần bán kính góc lượn của cối

Vùng này chịu ảnh hưởng của trạng thái ứng suất và biến dạng khối phức tạp. Khi dập thủy tĩnh không có đối áp, do có áp suất tác dụng vuông góc với bề mặt của phôi nên phôi

bị ép sát vào miệng cối gây nên ma sát làm cản trở chuyển động của phôi vào trong cối, hiện tượng này chính là nhược điểm của phương pháp dập thủy tĩnh do phôi bị cào xước khi đi qua góc lượn cối. Khi dập thủy tĩnh có đối áp tại phần đỉnh của chi tiết, đối áp có tác dụng làm đỉnh phôi không bị biến mỏng, đồng thời nâng phôi lên để phôi không áp sát vào lòng cối khi đi qua bán kính góc lượn cối.

2.3. Phân tiếp xúc với thành cối sau khi đi qua góc lượn cối và bị ép vào thành cối

Trong dập vuốt truyền thống, phần này chịu ứng suất kéo đơn và trạng thái biến dạng phẳng. Với dập thủy tĩnh thì có thêm thành phần nén của chất lỏng ép vuông góc với bề mặt của phôi ép phôi sát vào bề mặt cối sau khi qua bán kính góc lượn. Thành phần này gây nên ma sát giữa phôi và bề mặt cối gây cản trở biến dạng kéo phôi vào trong cối.

2.4. Phần tự do trong lòng cối

Phần tự do trong lòng cối thủy tĩnh, áp suất chất lỏng tác dụng vuông góc với bề mặt của phôi nên thành phần ứng suất hướng trục σ_z luôn bằng áp lực chất lỏng trong trường hợp không đối áp. Khi dập thủy tĩnh không có đối áp, vùng tự do là phần nguy hiểm nhất do phần này chịu ứng suất kéo theo hai chiều nên bị biến mỏng mảnh liệt dẫn đến khả năng rách tại phần đỉnh của chi tiết, đây là điểm khác biệt với công nghệ dập vuốt truyền thống.

3. MÔ HÌNH VẬT LIỆU VÀ MÔ PHÒNG SỐ QUÁ TRÌNH DẬP THỦY TĨNH LS-DYNA

3.1. Mô hình vật liệu

Trong ngành cơ học, vật liệu luôn là yếu tố đầu vào hết sức quan trọng và quyết định tính chính xác cũng như độ tin cậy của một quá trình công nghệ. Trong mô phỏng số cũng vậy, mô hình vật liệu đóng một vai trò quan trọng vì nó thể hiện ứng xử của vật liệu khi bị các tác động cơ học bên ngoài.

Vật liệu phôi tấm sẽ bị biến dạng trong quá trình gia công. Nếu mức độ biến dạng mà dưới 3% ta có thể coi quá trình biến dạng nhỏ. Trong phần nghiên cứu này các quá trình biến dạng đều là biến dạng lớn. Việc đưa ra mô hình chính xác thể hiện ứng xử của vật liệu phôi trong quá trình biến dạng mang một ý nghĩa quyết định đối với kết quả của quá trình mô phỏng, thực nghiệm và ứng dụng sản xuất. Các thí nghiệm đã xác định nhôm AA5182 sản xuất bằng phương pháp cán là loại vật liệu dị hướng [3].

Một trong những mô hình vật liệu được áp dụng có hiệu quả đối với bài toán biến dạng nguội vật liệu dị hướng dưới điều kiện ứng suất phẳng là mô hình Material Model 36: 3 - Parameter Barlat Plasticity [4]. Nó cho phép sử dụng thông số Lankford để xác định mặt chảy dẻo dị hướng, điều kiện dẻo được viết:

$$f(\sigma, \varepsilon_p) = \sigma_{eff}(\sigma_{11}, \sigma_{22}, \sigma_{12}) - \sigma_Y(\varepsilon_p) \leq 0 \quad (1)$$

Trong đó:

σ - ứng suất biến dạng, [N/mm²];

ε_p - biến dạng dẻo, %;

σ_{eff} - hàm của các thành phần ứng suất phẳng σ_{11} , σ_{22} , σ_{12} , [N/mm²];

σ_Y - ứng suất chảy [N/m²], là hàm của biến dạng dẻo ε_p : $\sigma_Y = \sigma_0 + E_p \varepsilon_p$.

Biến dạng dẻo ε_p được định nghĩa là:

$$\varepsilon_p = \int_0^t d\varepsilon_p \quad (2)$$

ở đây t là thời gian biến dạng, [s].

Mô đun dẻo E_p được xác định qua biến E_t (tangent modulus): $E_p = (E \cdot E_t) / (E - E_t)$, với E là mô đun Young, [N/mm²].

$$\begin{aligned} \sigma_{eff}(\sigma_{11}, \sigma_{22}, \sigma_{12}) = & \left(\frac{a}{2} \left| K_1 + K_2 \right|^m + \frac{a}{2} \left| K_1 - K_2 \right|^m + \frac{c}{2} \left| 2 K_2 \right|^m \right)^{1/m} \\ & (3) \end{aligned}$$

$$K_1 = K_1(\sigma_{11}, \sigma_{22}, \sigma_{12}) = \frac{\sigma_{11} + h\sigma_{22}}{2} \quad (4)$$

$$K_2 = K_2(\sigma_{11}, \sigma_{22}, \sigma_{12}) = \sqrt{\left(\frac{\sigma_{11} + h\sigma_{22}}{2}\right)^2 + \rho^2 \sigma_{12}^2} \quad (5)$$

Những thông số vật liệu a , c , h , p và m được xác định từ những thông số Lankford.

Gradient của mặt chảy dẻo được chỉ rõ:

$$\frac{\partial f}{\partial \sigma}(\sigma) = \begin{bmatrix} \frac{\partial f}{\partial \sigma_{11}}(\sigma) \\ \frac{\partial f}{\partial \sigma_{22}}(\sigma) \\ \frac{\partial f}{\partial \sigma_{12}}(\sigma) \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f}{\partial \sigma_{11}}(\sigma_{11}, \sigma_{22}, \sigma_{12}) \\ \frac{\partial f}{\partial \sigma_{22}}(\sigma_{11}, \sigma_{22}, \sigma_{12}) \\ \frac{\partial f}{\partial \sigma_{12}}(\sigma_{11}, \sigma_{22}, \sigma_{12}) \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (6)$$

Trong đó:

$$\begin{aligned} \frac{\partial f}{\partial \sigma_{11}}(\sigma_{11}, \sigma_{22}, \sigma_{12}) &= \frac{\partial \sigma_{eff}}{\partial \sigma_{11}}(\sigma_{11}, \sigma_{22}, \sigma_{12}) \\ &= \frac{\partial \sigma_{eff}((\sigma_{11}, \sigma_{22}, \sigma_{12}))^{1-m}}{2} \times a(K_1 - K_2) |K_1 + K_2|^{m-2} \\ &\times \left(\frac{1}{2} - \frac{\sigma_{11} - h\sigma_{22}}{4K_2} \right) + a(K_1 + K_2) |K_1 + K_2|^{m-2} \\ &\times \left(\frac{1}{2} + \frac{\sigma_{11} - h\sigma_{22}}{4K_2} \right) + c2^m K_2^{m-1} \times \frac{\sigma_{11} - h\sigma_{22}}{4K_2} \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial f}{\partial \sigma_{22}}(\sigma_{11}, \sigma_{22}, \sigma_{12}) &= \frac{\partial \sigma_{eff}}{\partial \sigma_{22}}(\sigma_{11}, \sigma_{22}, \sigma_{12}) \\ &= \frac{\partial \sigma_{eff}((\sigma_{11}, \sigma_{22}, \sigma_{12}))^{1-m}}{2} \times h \times a(K_1 - K_2) \\ &\times |K_1 - K_2|^{m-2} \times \left(\frac{1}{2} + \frac{\sigma_{11} - h\sigma_{22}}{4K_2} \right) \\ &+ a(K_1 + K_2) |K_1 + K_2|^{m-2} \\ &\times \left(\frac{1}{2} + \frac{\sigma_{11} - h\sigma_{22}}{4K_2} \right) + c2^m K_2^{m-1} \times \frac{\sigma_{11} - h\sigma_{22}}{4K_2} \end{aligned} \quad (8)$$

và

$$\begin{aligned} \frac{\partial f}{\partial \sigma_{12}}(\sigma_{11}, \sigma_{22}, \sigma_{12}) &= \frac{\partial \sigma_{eff}}{\partial \sigma_{12}}(\sigma_{11}, \sigma_{22}, \sigma_{12}) \\ &= \frac{\partial \sigma_{eff}((\sigma_{11}, \sigma_{22}, \sigma_{12}))^{1-m}}{2} \times \frac{\rho^2 \sigma_{12}}{K_2} \\ &\times [a(K_1 - K_2) |K_1 - K_2|^{m-2} + a(K_1 - K_2) |K_1 - K_2|^{m-2} \\ &+ c2^m K_2^{m-1}] \end{aligned} \quad (9)$$

3.2. LS-DYNA

LS-DYNA cho phép mô hình hóa và tính toán bài toán mô phỏng thủy tĩnh [3]. Các bước tiến hành với Eta/Dynaform như sau:

- Bước 1: Thiết lập mô hình 3D cho bài toán.
- Bước 2: Chia lưới sử dụng Blank Generator cho phôi và Surface Mesh cho thiết bị.
- Bước 3: Mô hình vật liệu cho phôi sử dụng Blank Material and Property Definition.
- Bước 4: Tạo điều kiện biên trong LS-DYNA, bao gồm: chuyển vị của thiết bị, lực chặn, áp suất lòng cối và bắt đầu quá trình tính toán.

4. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

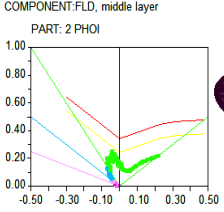
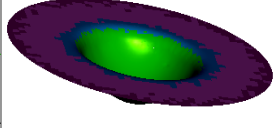
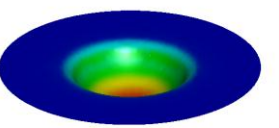
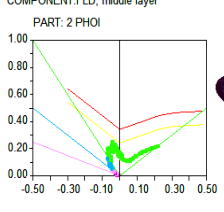
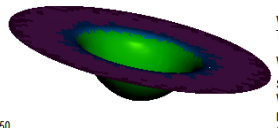
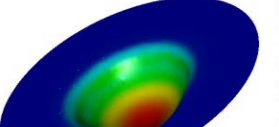
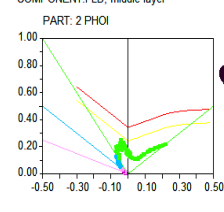
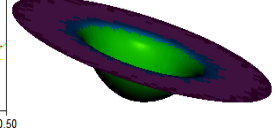
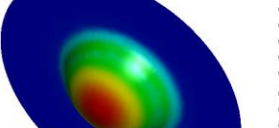
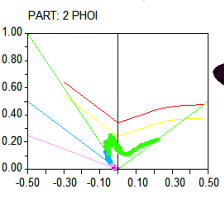
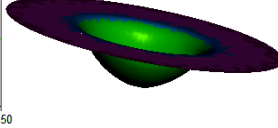
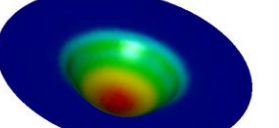
Mô phỏng số với LS-DYNA cho biết khả năng tạo hình biến dạng dẻo bằng phương pháp dập thủy tĩnh thông qua: Biểu đồ giới hạn tạo hình FLD, phân bố kích thước bề dày vật liệu (bảng 1). Với thông số đầu vào là nhôm AA5182 ở nhiệt độ phòng, đường kính phôi D120 mm, dày 1 mm và đầu ra là chi tiết chỏm cầu đường kính d50 mm, chiều cao $H_i = 10; 15; 20; 25$ mm.

Bằng việc khảo sát trên mô hình số dễ dàng cho phép ta thay đổi điều kiện biên để khảo sát chất lượng tạo hình biến dạng dẻo nhôm AA5182 với đầu vào như trên và đầu ra là chi tiết chỏm cầu bán kính R25 mm, chiều cao $H_i = 10; 15; 20; 25$ mm. Khi thay đổi điều kiện biên trên cơ sở áp suất chất lỏng và chiều cao

tương đối ta thu được mối tương quan về giá trị của áp suất chất lỏng trong lòng cối, lực chặn phôi để chi tiết thu được đảm bảo yêu cầu (bảng 2). Các giá trị này cho thấy tỷ lệ dập vuốt tăng khi xác định các thông số lực

chặn phôi và áp suất chất lỏng trong lòng cối hợp lý, và do đó chúng được sử dụng để kiểm soát quá trình dập thủy tinh nhôm trên các thiết bị ép áp lực cao áp tại Việt Nam.

Bảng 1. Trạng thái ứng suất - biến dạng và phân bố kích thước bề dày của sản phẩm qua các trường hợp mức độ biến dạng khác nhau với lực chặn 2 kN và áp suất chất lỏng tạo hình 10 at

Thứ tự	$X_i=H_i/d$	Trạng thái ứng suất - biến dạng	Phân bố kích thước bề dày của sản phẩm
1	0,2	  <p>CRACK RISK OF CRACK SAFE WRINKLE TENDENCY WRINKLE SEVERE WRINKLE INSUFFICIENT STRETCH</p>	 <p>Biến mỏng lớn nhất 0,644 mm</p>
2	0,3	  <p>CRACK RISK OF CRACK SAFE WRINKLE TENDENCY WRINKLE SEVERE WRINKLE INSUFFICIENT STRETCH</p>	 <p>Biến mỏng lớn nhất 0,644 mm</p>
3	0,4	  <p>CRACK RISK OF CRACK SAFE WRINKLE TENDENCY WRINKLE SEVERE WRINKLE INSUFFICIENT STRETCH</p>	 <p>Biến mỏng lớn nhất 0,643 mm</p>
4	0,5	  <p>CRACK RISK OF CRACK SAFE WRINKLE TENDENCY WRINKLE SEVERE WRINKLE INSUFFICIENT STRETCH</p>	 <p>Biến mỏng lớn nhất 0,629 mm</p>

Bảng 2. Giá trị áp suất chất lỏng phụ thuộc vào chiều cao tương đối và lực chặn

Thứ tự	Chiều dày phôi S_0 (mm)	Chiều cao tương đối H/D	Lực đối áp N (kN)	Lực chặn phôi Q (kN)	Áp suất chất lỏng cần thiết trong lòng cối P_0 (bar)
1	1,0	0,2	0	1,94 – 2,00	9,83 - 10
2	1,0	0,3	0	1,94 – 2,00	9,88 - 10
3	1,0	0,4	0	1,94 – 2,00	9,91 - 10
4	1,0	0,5	0	1,94 – 2,00	9,96 - 10

5. KẾT LUẬN

Mô phỏng số bằng Eta/dynaform có thể khảo sát được quá trình tạo hình biến dạng dẻo nhôm AA5182 ở nhiệt độ phòng bằng phương pháp dập thủy tĩnh. Dựa trên kết quả của quá trình mô phỏng số cho phép thử nghiệm với các kết cấu và các thông số công nghệ khác nhau nhằm nâng cao chất lượng

tạo hình biến dạng dẻo của nhôm bằng phương pháp dập thủy tĩnh.

Trên cơ sở bài báo này có thể tiến hành bài toán tối ưu hóa các thông số công nghệ đầu vào (vật liệu, lực chặn, lực đối áp, hành trình thiết bị, áp suất chất lỏng cao áp...) và đầu ra (hình dạng, bề dày, cơ tính của chi tiết) để có chất lượng sản phẩm tốt nhất.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Phạm Văn Nghệ, *Công nghệ dập thủy tĩnh*, NXB Trường Đại học Bách khoa Hà Nội, 2006.
- [2] Nguyễn Mậu Đăng, *Công nghệ tạo hình kim loại tấm*, NXB Khoa học và Kỹ thuật, 2006.
- [3] Nguyễn Đắc Trung, Lê Thái Hùng, Nguyễn Như Huỳnh, Nguyễn Trung Kiên, *Mô phỏng số quá trình biến dạng*, NXB Trường Đại học Bách khoa Hà Nội, 2011.
- [4] LS-DYNA Keyword User's Manual, Hallquist, 2013.

Thông tin liên hệ:

Vũ Đức Quang

Điện thoại: 0966968516 - Email: vuquang@uneti.edu.vn

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

