

## NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA LỰC CHẶN PHÔI ĐẾN KHẢ NĂNG TẠO HÌNH THỦY CƠ THÉP KHÔNG GỈ TRÊN CƠ SỞ MÔ PHÒNG SỐ

Vũ Đức Quang

ThS. Trường Đại học Kinh tế - Kỹ thuật Công nghiệp

### TÓM TẮT

Dập vuốt là một trong những quá trình quan trọng tạo hình kim loại tấm, 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 biến dạng dẻo của thép không gỉ SS304 ở nhiệt độ phòng bằng phương pháp dập thủy cơ. Tỷ lệ dập vuốt, lực chặn phôi và áp suất chất lỏng trong lòng cối là các thông số công nghệ cơ bản được khảo sát trong quá trình mô phỏng tạo hình thủy cơ. 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 cơ. Trên cơ sở mô phỏng quá trình dập thủy cơ cho ta thấy tỷ lệ dập vuốt tăng, tỷ lệ biến mỏng giảm khi xác định thông số lực chặn phôi hợp lý. So sánh giữa các bộ kết quả ta nhận được độ tin cậy giữa mô phỏng số và kết quả thực nghiệm, trong đó lực chặn phôi là một thông số công nghệ đầu vào quan trọng ảnh hưởng trực tiếp tới khả năng biến dạng dẻo của thép không gỉ SS304 cũng như chất lượng đầu ra của chi tiết dập.

**Từ khóa:** *Biến dạng dẻo kim loại, dập thủy cơ, mô phỏng số dập thủy cơ, phần tử hữu hạn, tạo hình kim loại tấm.*

## I. ĐẶT VẤN ĐỀ

### 1.1. Giới thiệu chung

Dập vuốt là một trong những quá trình tạo hình kim loại tấm quan trọng. Hầu hết các thành phần kim loại tấm đang được ứng dụng trong các lĩnh vực ô tô, hàng không, hàng thủy, hạt nhân đều ứng dụng quá trình này. Trong đó, tạo hình biến dạng dẻo phôi 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 [3]. 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 cốc bằng vật liệu thép không gỉ. 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 cứng và cối chất lỏng cao áp để tạo hình, đó là công nghệ dập thủy cơ.

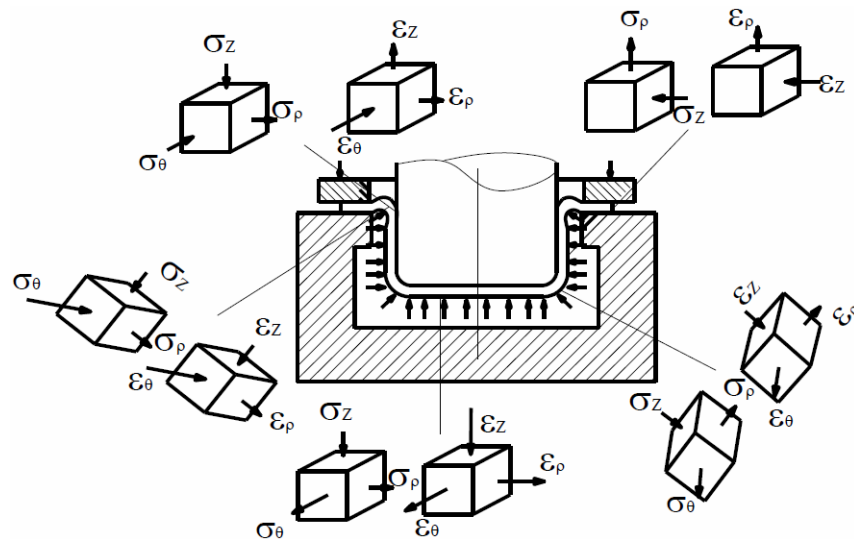
Sự phát triển mạnh mẽ của kỹ thuật máy tính và các phương pháp tính toán mô phỏng dựa trên nguyên tắc phần tử hữu hạn đã tạo điều kiện thuận lợi cho việc nghiên cứu, tính toán, thiết kế và mô phỏng quá trình công nghệ dập tạo hình. Phương pháp “*Công nghệ mô phỏng số*” được coi là bước đột phá trong 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 cơ 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 cơ chi tiết vỏ mỏng dạng cốc 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.

## 1.2. Các yếu tố cơ bản trong quá trình dập thủy cơ

Trong quá trình dập vuốt thủy cơ, 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 vuốt thủy cơ

Các yếu tố cơ bản trong quá trình dập thủy cơ

**Phần vành phôi:** Cả dập thủy cơ và dập vuốt thông thường đều có trạng thái ứng suất khối (hai chiều nén và một chiều kéo), trạng thái biến dạng là biến dạng khối (hai chiều kéo và một chiều nén). Thành phần biến dạng  $+\epsilon_z$  làm cho phôi trên phần vành bị biến dày, dễ gây ra sự mất ổn định và làm xuất hiện nứt, rách phôi. Do đó, trong dập thủy cơ cần thiết phải có chặn, chặn ngoài tác dụng bịt kín khe hở giữa phôi và vành cối còn có tác dụng chống nứt đồng thời tăng sự ổn định của phôi. Trong đó, lực chặn và phương pháp chặn phải hợp lý vì đây là thông số ảnh hưởng trực tiếp tới chất lượng sản phẩm.

**Phần chuyển tiếp giữa vành phôi và dụng cụ:** Phần này chịu ảnh hưởng của trạng thái ứng

suất – biến dạng khối phức tạp. Điểm khác biệt so với dập vuốt thông thường là thành phần ứng suất nén  $\sigma_z$  do áp lực  $q$  của chất lỏng chịu nén gây ra, nên đã làm gia tăng đáng kể tính ổn định của phôi cũng như khả năng biến dạng dẻo của vật liệu, đồng thời giảm thiểu tác dụng không có lợi của ma sát như trong trường hợp dập vuốt trên chày cứng – cối cứng. Với dập vuốt thông thường, xảy ra hiện tượng biến mỏng phôi trên phần bán kính lượn của cối, do đó có thể dẫn đến sự kéo đứt phôi trong quá trình vuốt.

**Phần thành trụ:** Trong dập thủy cơ có trạng thái ứng suất hai chiều (một chiều kéo và một chiều nén), còn trong dập vuốt thông thường chỉ có một trạng thái ứng suất (một chiều nén). Qua thực nghiệm cho thấy phôi hầu như không

bị biến dạng, tức là không xảy ra sự biến mỏng phiêu như trong trường hợp dập vuốt thông thường, do không có sự tiếp xúc trực tiếp giữa phiêu và bề mặt của cối nên chất lượng bề mặt của sản phẩm được tăng lên.

*Phần bán kính lượn đầu chày:* Trong trường hợp dập vuốt thông thường, đây là phần quan trọng nhất do có sự biến mỏng đáng kể của phiêu, hơn nữa khi đó phiêu nằm trong trạng thái ứng suất kéo hai chiều, làm giảm tính dẻo của vật liệu, vì thế đây là vùng nguy hiểm nhất, phiêu dễ bị kéo đứt. Với dập vuốt thủy cơ, do có tác dụng của chất lỏng nên phiêu nằm trong trạng thái ứng suất nén một chiều  $\sigma_z = q$ , còn các thành phần biến dạng đều có giá trị rất nhỏ (có thể coi bằng không). Chính vì vậy, tính dẻo của vật liệu trong vùng này tăng lên, phiêu hoàn toàn không bị phá hủy.

*Phần đầu chày:* Phần này nằm trong trạng thái ứng suất đơn  $\sigma_z = q$ , các thành phần ứng suất chính khác có giá trị nhỏ hơn rất nhiều so với thành phần  $\sigma_z$  nên có thể coi bằng 0, phiêu trong phần này hầu như không biến dạng. Trong quá trình dập vuốt thông thường có trạng thái ứng suất hai chiều (hai chiều kéo) và trạng thái biến dạng khối ( $+\varepsilon_x$ ,  $+\varepsilon_y$  và  $-\varepsilon_z$ ) nên phiêu trong trường hợp này bị biến mỏng.

## II. VẬT LIỆU, PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

### 2.1. 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 phiêu 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 phiêu 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 thép SS304 sản xuất bằng phương pháp cán là loại vật liệu dị hướng [4].

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 [5]. Nó cho phép sử dụng thông số Lankford để xác định mặt chảy dẻo dị hướng, điều kiện dẻo được viết:

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

Trong đó:

$\sigma$  - ứng suất, [N/mm<sup>2</sup>];

$\varepsilon_p$  - biến dạng dẻo, %;

$\sigma_{eff}$  - là hàm của các thành phần ứng suất phẳng;

$\sigma_{11}, \sigma_{22}, \sigma_{12}$  [N/mm<sup>2</sup>];

$\sigma_Y$  - ứng suất chảy [N/m<sup>2</sup>], là hàm của biến dạng dẻo  $\varepsilon_p$ :  $\sigma_Y = \sigma_0 + E_p \varepsilon_p$ .

Biến dạng dẻo  $\varepsilon_p$  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/mm<sup>2</sup>].

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

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

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

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:

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

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

và

$$\frac{\partial f}{\partial \sigma_{12}}(\sigma_{11}, \sigma_{22}, \sigma_{12}) = \frac{\partial \sigma_{eff}}{\partial \sigma_{12}}(\sigma_{11}, \sigma_{22}, \sigma_{12}) = \frac{\partial \sigma_{eff}(\sigma_{11}, \sigma_{22}, \sigma_{12})^{1-m}}{2} * \frac{p^2 \sigma_{12}}{K_2} * \left\{ a(K_1 - K_2) |K_1 - K_2|^{m-2} + a(K_1 + K_2) |K_1 + K_2|^{m-2} + c2^m K_2^{m-1} \right\} \quad (9)$$

## 2.2. Phương pháp nghiên cứu

Nghiên cứu ảnh hưởng của lực chặn phôi đến khả năng tạo hình thủy cơ thép không gỉ SS304 trên cơ sở mô phỏng phần tử hữu hạn được thực hiện bằng cách sử dụng phần mềm Eta/Dynaform với tính năng siêu mạnh LS-DYNA.

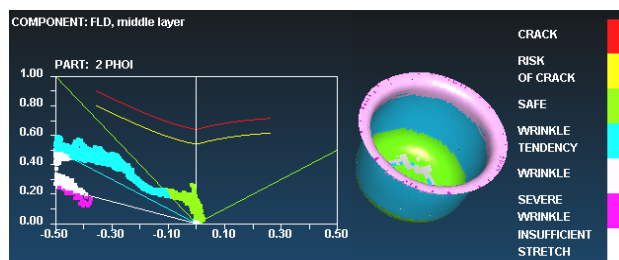
LS-DYNA cho phép mô hình hóa và tính toán bài toán mô phỏng thủy cơ [2]. Các bước tiến hành với Eta/Dynaform như sau:

- 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-

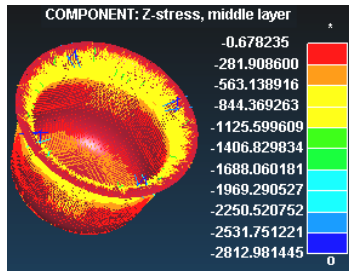
DYNA, bao gồm: chuyển vị của thiết bị, lực chặn, áp suất lòng cối và bắt đầu quá trình tính toán.

## III. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU, THẢO LUẬN

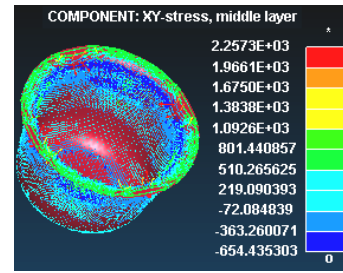
Mô phỏng số với LS-DYNA cho biết khả năng tạo hình biến dạng dẻo bằng phương pháp dập thủy cơ thông qua: Biểu đồ giới hạn tạo hình FLD (hình 2), phân bố ứng suất theo trục Z (hình 3), phân bố ứng suất theo mặt phẳng XY (hình 4), phân bố biến dạng theo trục X (hình 5), phân bố biến dạng theo trục Y (hình 6), phân bố biến dạng theo trục Z (hình 7), phân bố biến dày (hình 8), phân bố biến mỏng (hình 9). Với thông số đầu vào là thép không gỉ SS304 ở nhiệt độ phòng, đường kính phôi D100 mm, dày 2 mm và đầu ra là chi tiết cốc đường kính d50 mm, chiều cao H<sub>4</sub> = 40 mm.



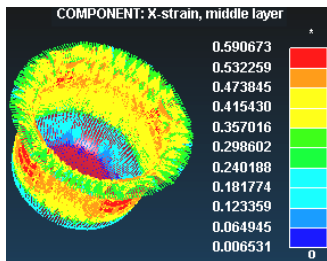
Hình 2. Biểu đồ giới hạn tạo hình FLD



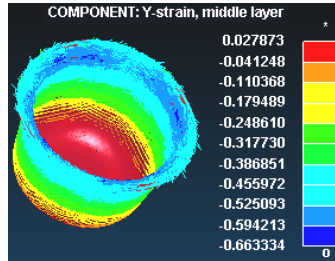
Hình 3. Phân bố ứng suất theo trục Z



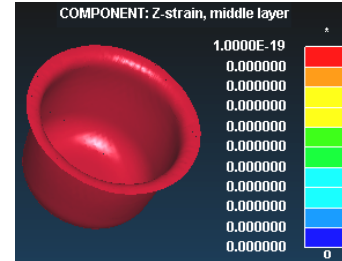
Hình 4. Phân bố ứng suất theo mặt phẳng OXY



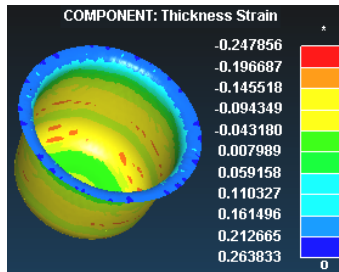
Hình 5. Phân bố biến dạng theo trục X



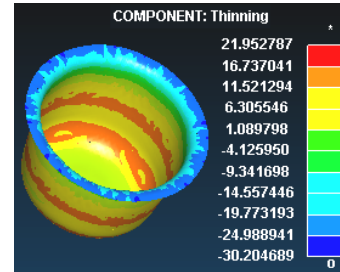
Hình 6. Phân bố biến dạng theo trục Y



Hình 7. Phân bố biến dạng theo trục Z



Hình 8. Phân bố biến dày



Hình 9. Phân bố biến mỏng

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 thép không gỉ SS304 với đầu vào như trên và đầu ra là chi tiết cốc đường kính  $d_{50}$  mm, chiều cao  $H_1 = 10$  mm,  $H_2 = 20$  mm,  $H_3 = 30$  mm,  $H_4 = 40$  mm. Khi thay đổi điều kiện biên trên cơ sở chiều dày phôi và chiều cao tương đối không đổi ta thu được mối tương quan về giá trị của chuyển

vị của thiết bị, lực chặn phôi, áp suất chất lỏng trong lòng cối để chi tiết thu được đảm bảo yêu cầu (bảng 1). Các giá trị này cho thấy tỷ lệ dập vuốt tăng khi xác định lực chặn phôi hợp lý, và do đó chúng là một trong các thông số công nghệ được sử dụng để kiểm soát quá trình dập thủy cơ thép không gỉ trên các thiết bị ép áp lực (máy ép thủy lực 200 tấn hoặc hơn) tại Việt Nam.

**Bảng 1. Giá trị của lực chặn phôi phụ thuộc vào chiều cao tương đối, áp suất chất lỏng trong lòng cối**

Stt	Chiều dày phôi (mm)	Chiều cao tương đối $H_i/D$	Áp suất chất lỏng trong lòng cối (bar)	Lực chặn phôi (kN)	Kết quả mô phỏng
1	2	0,1; 0,2; 0,3; 0,4	12	95,00 - 100,50	Đạt
2	2	0,1; 0,2; 0,3; 0,4	12	< 95,00	Lỗi
3	2	0,1; 0,2; 0,3; 0,4	12	> 100,50	Lỗi
4	2	0,1; 0,2; 0,3; 0,4	< 12	95,00 - 100,50	Lỗi
5	2	0,1; 0,2; 0,3; 0,4	< 12	< 95,00	Lỗi

6	2	0,1; 0,2; 0,3; 0,4	< 12	> 100,50	Lỗi
7	2	0,1; 0,2; 0,3; 0,4	> 12	95,00 - 100,50	Lỗi
8	2	0,1; 0,2; 0,3; 0,4	> 12	< 95,00	Lỗi
9	2	0,1; 0,2; 0,3; 0,4	> 12	> 100,50	Lỗi

#### IV. KẾT LUẬN

Mô phỏng số bằng Eta/dynaform có thể khảo sát được quá trình tạo hình biến dạng dẻo thép không gỉ SS304 ở nhiệt độ phòng bằng phương pháp dập thủy cơ. 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 thép không gỉ bằng phương pháp dập thủy cơ.

Trên cơ sở bài báo này có thể tiến hành bài toán tối ưu hóa các thông số công nghệ đầu vào và đầu ra để có chất lượng của sản phẩm tốt nhất. Trong đó lực chặn phôi là một thông số công nghệ đầu vào quan trọng ảnh hưởng

trực tiếp tới khả năng biến dạng dẻo của vật liệu thép không gỉ, cũng như chất lượng đầu ra (hình dạng, cơ tính) của chi tiết dập.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Phạm Văn Nghệ (2006). *Công nghệ dập tạo hình đặc biệt*. NXB ĐH Bách Khoa.
2. Vũ Đức Quang (2008). *Nghiên cứu, thiết kế công nghệ dập thủy cơ để chế tạo chi tiết vỏ mỏng dạng 3 lớp*. Luận văn thạc sỹ, Đại học Bách khoa Hà Nội.
3. Dieter, G.E (1988). *Mechanical metallurgy. SI metric edition*. McGraw-Hill, ISBN 0-07-100406-8.
4. J.A.Elias et al., R.H.Heyer and J.A.Smith (1962). *Plastic Anisotropy of Cold Rolled – Annealed Low Carbon Steel Related to Crystallographic Orientation*. Trans Met, Soc. AIME, 224, 678.
5. LS-DYNA Keyword User's Manual, Hallquist (2013).

## STUDYING THE EFFECT OF MOULD CORNER RADIUS ON HYDROMECHANICAL FORMABILITY FOR STAINLESS STEEL BASED ON COMPUTER - SIMULATION

Vu Duc Quang

#### SUMMARY

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 stainless steel 304 at room temperatures based on hydromechanical deep drawing. Limiting drawing ratio, blank holder force, liquid pressure and thinning ratio 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 and the thinning ratio decreases when blank holder force and the fluid pressure are determined rationally. 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, in which blank holder force is the parameter of important technological input directly affect the ability of plastic deformation of steel SS304 stainless as well as output quality of details.

**Keywords:** *Formability, finite element, hydromechanical deep drawing, sheet metal forming, sheet metal plastic deformation.*

**Người phản biện** : PGS.TS. Nguyễn Nhật Chiêu  
**Ngày nhận bài** : 27/12/2014  
**Ngày phản biện** : 25/01/2015  
**Ngày quyết định đăng** : 15/3/2015