

NGHIÊN CỨU CÁC ẢNH HƯỞNG CỦA ĐẶC TÍNH VẬT LIỆU TRONG QUÁ TRÌNH TẠO HÌNH CHI TIẾT DẠNG ỐNG BẰNG NGUỒN CHẤT LỎNG CAO ÁP HAI CHIỀU

Th.S. Nguyễn Anh Tuấn
Khoa Cơ khí – ĐH Thủy Lợi

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Phương pháp tạo hình kim loại bằng nguồn chất lỏng cao áp có một số mặt hạn chế như thời gian tạo hình lâu và chi phí cho thiết bị cao. Tuy nhiên, do những nghiên cứu cải tiến liên tục về quá trình tạo hình, dụng cụ gia công, chất bôi trơn, phương pháp này đang được chấp nhận ngày càng nhiều hiện nay trong việc chế tạo các chi tiết phức tạp trong lĩnh vực cơ khí đặc biệt là ngành công nghiệp ô tô. Về cơ bản, phương pháp này là kỹ thuật sử dụng nguồn chất lỏng có áp hoặc để tạo hình hoặc để trợ giúp trong việc tạo hình các chi tiết kim loại dễ biến dạng dẻo.

Phương pháp tạo hình kim loại bằng nguồn chất lỏng cao áp có rất nhiều ưu điểm. Bằng việc sử dụng áp lực thủy lực bên trong kết hợp với sự đùn vật liệu trong quá trình tạo hình, phương pháp này có khả năng tạo được các sản phẩm có độ đồng nhất cao và sai số gia công nhỏ, đặc biệt phù hợp cho các hợp kim có tính uốn tương đối nhỏ.

Phương pháp tạo hình này để tạo hình phôi ống là phương pháp duy nhất có khả năng đùn vật liệu theo phương dọc trục bằng các các chày chặn hình trụ ở hai đầu phôi. Nếu cần thiết, các chày chặn cũng có thể được dùng để kiểm soát quá trình biến dạng của ống. Quá trình tạo hình có thể được thành bốn giai đoạn như sau:

- *Lắp phôi/điền chất lỏng*: Phôi ống được đặt vào trong lòng khuôn. Sau đó điền đầy chất lỏng vào trong lòng phôi (thường là nước).

- *Phôi biến dạng dự do trong lòng khuôn*: Trong giai đoạn này, phôi ống phình ra do áp suất bên trong. Nói chung, đây là giai đoạn mà việc tiếp xúc với thành khuôn bị hạn chế và có thể đùn vật liệu.

- *Quá trình điều chỉnh*: Trong giai đoạn điều chỉnh, phôi ống phình ra và tiếp xúc với thành khuôn để tạo biên dạng phù hợp với biên dạng của khuôn. Ở giai đoạn này, áp suất cao, và do ma sát vật liệu với khuôn, có thể đùn vật liệu

với lượng nhỏ, và sử dụng tác động dọc trục để tránh hiện tượng rò rỉ.

- *Giảm áp suất*: Việc tạo hình đã hoàn tất và áp suất được giảm xuống. Sau đó phôi được tháo ra. Trong quá trình này, việc theo dõi áp suất vẫn được tiến hành. Nếu không đạt được áp suất lớn nhất trong khi tạo hình, thì quá trình tạo hình sẽ bị thất bại và tạo ra phế phẩm.

Sử dụng nguồn chất lỏng suất cao để tạo hình biến dạng các phôi ống có những ưu điểm sau:

- Nó có khả năng làm biến đổi các tính chất của sản phẩm đã tạo hình bằng việc; thay đổi chiều dày thành và hình dạng mặt cắt ngang của sản phẩm, giảm bớt được nhiều công đoạn khi tạo hình;

- Phương pháp này tạo ra sản phẩm có dung sai kích thước nhỏ, và hiện tượng nảy ngược nhỏ;

- Sản phẩm có tính đồng nhất cao, giảm được trọng lượng;

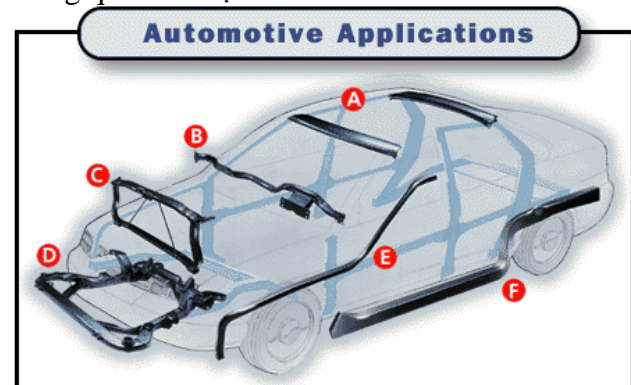
- Cải thiện được cường độ và độ cứng vững của sản phẩm.

Tuy nhiên, việc sử dụng nguồn chất lỏng áp lực cao để tạo hình kim loại cũng có một số hạn chế như:

- Thời gian quá trình tạo hình lâu

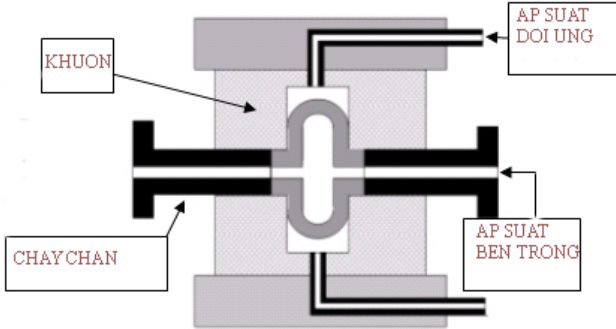
- Chi phí thiết bị và dụng cụ tạo hình cao

- Chưa hiểu rõ cơ chế biến dạng của vật liệu trong quá trình tạo hình



Hình 1. Một số bộ phận của ô tô tạo hình từ phôi ống bằng nguồn chất lỏng cao áp.

Trong phương pháp tạo hình biến dạng bằng nguồn áp lực cao hai chiều, ngoài nguồn chất lỏng áp suất cao bên trong phôi, lực dọc trục của các chày chặn, còn có thêm nguồn chất lỏng áp suất cao đối ứng ở bên ngoài phôi. Nguyên lý cơ bản của quá trình tạo hình kim loại bằng nguồn chất lỏng cao áp hai chiều với phôi dạng hình ống được thể hiện trong hình 2

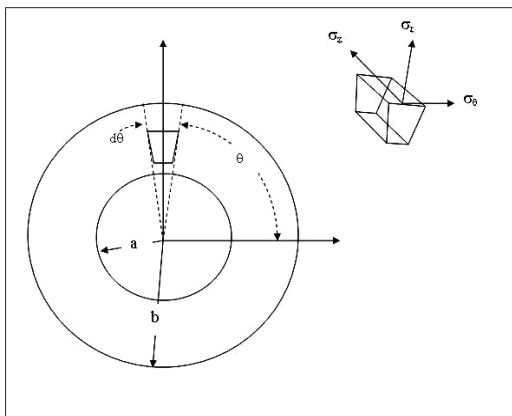


Hình 2. Quá trình tạo hình kim loại bằng nguồn chất lỏng cao áp 2 chiều cho các chi tiết dạng hình ống

Có rất nhiều các yếu tố ảnh hưởng đến quá trình tạo hình ống bằng nguồn chất lỏng có áp lực cao hai chiều. Sự thành công hay thất bại của quá trình tạo hình này phụ thuộc rất nhiều vào các đặc tính của vật liệu. Nghiên cứu này sẽ tiếp tục làm rõ hơn các ảnh hưởng của đặc tính vật liệu trong quá trình tạo hình.

2. TRẠNG THÁI ỨNG SUẤT VÀ BIẾN DẠNG

Trong hệ tọa độ trụ (r, θ, z) , xét phôi hình ống thẳng có bán kính thành trong là a , bán kính thành ngoài là b , và có độ dày thành là t . Việc phân tích này dựa trên giả thiết là biến dạng theo phương θ không đáng kể ($\varepsilon_\theta = 0$)



Hình 3. Phôi ống trong hệ tọa độ trụ

Điều kiện biến dạng phẳng được xem xét với $\varepsilon_\theta = 0$, ta có:

$$\varepsilon_r = -\varepsilon_z, \text{ ứng suất lệch: } \sigma'_\theta = 0$$

$$\text{Ứng suất dọc trục } \sigma_\theta = \frac{1}{2}(\sigma_r + \sigma_z) \quad (1)$$

Theo Von Mises,

$$\bar{\sigma} = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2} \quad (2)$$

$$\sigma_1 = \sigma_r, \sigma_2 = \sigma_\theta, \sigma_3 = \sigma_z \quad (3)$$

Thế phương trình (3) vào phương trình (2), ta có:

$$\bar{\sigma} = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_r - \sigma_\theta)^2 + (\sigma_\theta - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_r)^2} \quad (4)$$

Điều kiện biến dạng phẳng σ_θ được xác định bằng phương trình (1)

$$\bar{\sigma} = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{\left(\sigma_r - \frac{1}{2}(\sigma_r + \sigma_z)\right)^2 + \left(\frac{1}{2}(\sigma_r + \sigma_z) - \sigma_z\right)^2 + (\sigma_r - \sigma_z)^2} \quad (5)$$

Đơn giản hoá phương trình (5)

$$\bar{\sigma} = \frac{\sqrt{3}}{2} (\sigma_r - \sigma_z) \quad (6)$$

$$\frac{2}{\sqrt{3}} \bar{\sigma} = (\sigma_r - \sigma_z) \quad (7)$$

Tại chỗ uốn, $\bar{\sigma} = \sigma_u$,

$$\frac{2}{\sqrt{3}} \sigma_u = (\sigma_r - \sigma_z) \quad (8)$$

Từ phương trình (1),

$$\sigma_r - \sigma_\theta = \frac{1}{2}(\sigma_r - \sigma_z) \quad (9)$$

Thế phương trình (8) vào phương trình (9)

$$\sigma_r - \sigma_\theta = \frac{\sigma_u}{\sqrt{3}} \quad (10)$$

Đối với phần tử trong vùng biến dạng, cân bằng lực theo phương hướng kính xác định như sau:

$$\frac{d\sigma_r}{dr} + \frac{\sigma_r - \sigma_\theta}{r} = \frac{-2\mu k}{x} \quad (11)$$

ở đây, μ là hệ số ma sát, k là giới hạn cắt

Thay phương trình (10) vào phương trình (11)

$$\frac{d\sigma_r}{dr} + \frac{\sigma_u}{\sqrt{3}r} = \frac{-2\mu k}{x} \quad (12)$$

Theo Von Mises, $\sigma_u = \sqrt{3}k$, do đó

$$\frac{d\sigma_r}{dr} + \frac{\sigma_u}{\sqrt{3}r} = \frac{-2\mu\sigma_u}{\sqrt{3}x} \quad (13)$$

Viết lại phương trình (13)

$$d\sigma_r = -\frac{\sigma_u}{\sqrt{3}r} dr - \frac{2\mu\sigma_u}{\sqrt{3}x} dr \quad (14)$$

Tích phân phương trình (14)

$$\sigma_r = -\frac{\sigma_u}{\sqrt{3}r} \ln r - \frac{2\mu\sigma_u}{\sqrt{3}x} r + C \quad (15)$$

Tại $r = a$, $\sigma_{ra} = -p_i$, với p_i là áp suất thủy lực bên trong ống

Áp dụng điều kiện biên này, ta có

$$C = -p_i + \frac{\sigma_u}{\sqrt{3}r} \ln a + \frac{2\mu\sigma_u}{\sqrt{3}x} a \quad (16)$$

Do đó,

$$\sigma_r = -p_i - \frac{\sigma_u}{\sqrt{3}r} \ln \frac{a}{r} - \frac{2\mu\sigma_u(a-r)}{\sqrt{3}x} \quad (17)$$

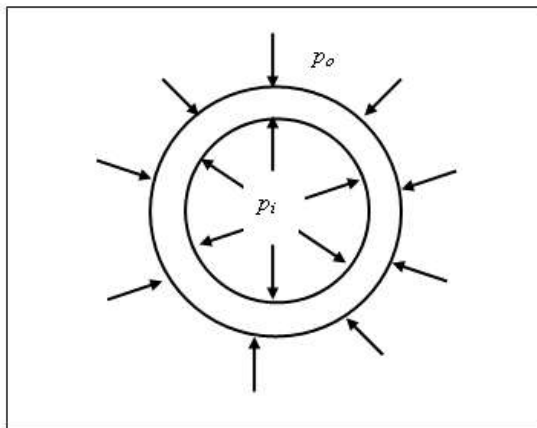
Ứng suất dọc trục tại bề mặt bên trong của vùng biến dạng ở bán kính $r = a$ được xác định bằng phương trình (8)

$$\sigma_{za} = \sigma_{ra} - \frac{2}{\sqrt{3}} \sigma_u = -p_i - \frac{2}{\sqrt{3}} \sigma_u \quad (18)$$

Ứng suất hướng kính tại bề mặt bên ngoài của ống trong vùng biến dạng là σ_{rb} tại $r = b$ rút ra từ phương trình (17)

$$\sigma_{rb} = -p_i - \frac{\sigma_u}{\sqrt{3}r} \ln \frac{a}{b} - \frac{2\mu\sigma_u(a-b)}{\sqrt{3}x} \quad (19)$$

Theo hình 4, chúng ta xét áp suất bên ngoài p_0 , cân bằng lực theo phương hướng kính sẽ rút ra ứng suất hướng kính tại $r = b$



Hình 4. Áp suất bên trong và bên ngoài ống

Theo phương trình (18) ta có

$$\sigma_{rb} = -p_i - \frac{\sigma_u}{\sqrt{3}r} \ln \frac{a}{b} - \frac{2\mu\sigma_u(a-b)}{\sqrt{3}x} - p_0 \quad (19)$$

Ứng suất dọc trục trên bề mặt bên ngoài của vùng biến dạng tại bán kính $r = b$ xác định bằng phương trình (8)

$$\begin{aligned} \sigma_{zb} &= \sigma_{rb} - \frac{2}{\sqrt{3}} \sigma_u \\ &= -p_i - \frac{\sigma_u}{\sqrt{3}r} \ln \frac{a}{b} - \frac{2\mu\sigma_u(a-b)}{\sqrt{3}x} - p_0 - \frac{2}{\sqrt{3}} \sigma_u \end{aligned} \quad (20)$$

3. ẢNH HƯỞNG CỦA TÍNH CHẤT VẬT LIỆU

Tính chất vật liệu của ống, như là giới hạn chảy, giá trị dị hướng, hệ số biến cứng, ma sát, ảnh hưởng của quá trình biến dạng. Phương pháp mô phỏng sử dụng phần mềm ANSYS được áp dụng cho quá trình ép phình phôi ống với các loại vật liệu khác nhau có các thông số như bảng 1

Các thông số	Loại vật liệu 1	Loại vật liệu 2	Loại vật liệu 3
Giá trị dị hướng (r)	0,6	1,0	1,6
Hệ số biến cứng (n)	0,2	0,3	0,4
Hệ số ma sát (μ)	0,04	0,10	0,20

Bảng 1. Giá trị dị hướng, Thông số biến cứng, Hệ số ma sát

Ví dụ đối với vật liệu đồng, giá trị dị hướng r nằm trong khoảng 0,6 đến 0,9, còn hệ số biến cứng trong khoảng 0,35 đến 0,50. Nhôm có hệ số biến cứng khoảng 0,20. Trong thực tế, người thường sử dụng dung môi là hỗn hợp của dầu và nước làm dung dịch công tác để tạo áp lực cao, hệ số ma sát thường trong khoảng 0,15 đến 0,20.

3.1. Ảnh hưởng của hệ số biến cứng n.

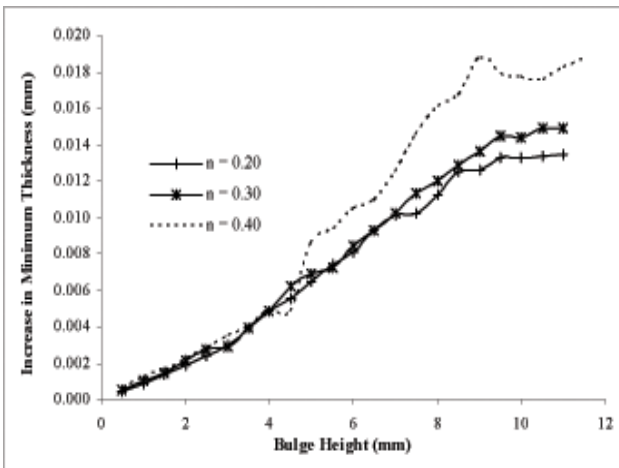
Hệ số biến cứng biến dạng là yếu tố quan trọng nhất ảnh hưởng đến khả năng tạo hình của phôi. Asnafi [9] trong khi tiến hành nghiên cứu quá trình ép phình phôi ống đã chỉ ra rằng, biến dạng tương đương cho sự mật ổn định dẻo có thể được viết như sau

$$\varepsilon_f = (1+r)n \quad (21)$$

Ở đây, r là giá trị dị hướng, n là hệ số biến cứng biến dạng.

Phương trình trên chỉ ra rằng, giá trị n càng cao thì càng dễ biến dạng. Giá trị n hầu như không ảnh hưởng đến sự phân bố chiều dày thành ống và mức độ phình của phôi khi biến dạng.

Qua kết quả tính toán bằng chương trình máy tính, đồ thị 1 cho thấy độ dày tối thiểu chỉ tăng 0,018 mm ứng với $n = 0,40$ so với độ dày tối thiểu tăng 0,014 mm ứng với $n = 0,20$. Như vậy, giá trị n có ảnh hưởng không đáng kể đến quá trình tạo hình phôi ống bằng nguồn chất lỏng cao áp hai chiều.



Đồ thị 1. Ảnh hưởng của hệ số biến cứng trong quá trình biến dạng

3.2. Ảnh hưởng của giá trị dị hướng r

Giá trị dị hướng nhỏ làm tăng khả năng biến mỏng và ngược lại giá trị dị hướng lớn sẽ cản trở sự biến mỏng của phôi trong quá trình tạo hình. Dòng vật liệu khi chảy dẻo phụ thuộc đáng kể vào giá trị dị hướng. Vì thế nó trở thành một thông số quan trọng trong quá trình. Rất nhiều phôi ống với vật liệu như là hợp kim nhôm, hợp kim đồng được sử dụng rộng rãi thường có giá trị dị hướng r nhỏ hơn 1. Theo Ansafi [9], biến dạng phá hủy đối với phôi ống chế tạo từ quá trình hàn và uốn thép tấm được xác định như sau

$$\varepsilon_{if} = \frac{(1+r)n - \sqrt{\frac{4}{3} \ln\left(1 + \frac{t_0}{d_0}\right)}}{\sqrt{\frac{4}{3}(1+\beta+\beta^2)}} \quad (22)$$

Biến dạng phá hủy của phôi ống được chế

tạo bằng phương pháp đùn được xác định là

$$\varepsilon_{if} = \frac{(1+r)n}{\sqrt{\frac{4}{3}(1+\beta+\beta^2)}} \quad (23)$$

Trong đó, ε_{if} biến dạng phá hủy chủ yếu

r giá trị dị hướng

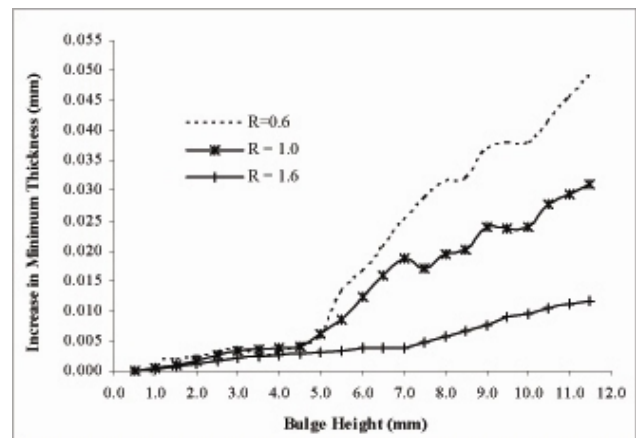
n giá trị biến cứng biến dạng

$$\beta = \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1}, \quad \varepsilon_1 \text{ là biến dạng hướng kính, } \varepsilon_2 \text{ là}$$

biến dạng hướng tiếp tuyến.

Các phương trình trên chỉ ra rằng khả năng biến dạng giảm khi giá trị r giảm và các thông số khác là hằng số. Quá trình tạo hình kim loại bằng nguồn chất lỏng cao áp hai chiều nên áp dụng cho vật liệu có giá trị dị hướng nhỏ.

Với kết quả tính toán bằng chương trình máy tính, đồ thị 2 chỉ ra rằng giá trị r càng nhỏ thì càng tăng độ biến mỏng, do đó quá trình biến dạng càng hiệu quả hơn. Sự tăng độ dày tối thiểu là 0,05 mm với $r = 0,6$ so với sự tăng độ dày tối thiểu 0,6 với $r = 1,6$.



Đồ thị 2. Ảnh hưởng của giá trị dị hướng trong quá trình biến dạng

3.3. Ảnh hưởng của ma sát

Ma sát xuất hiện giữa bề mặt phôi ống và bề mặt của thành khuôn. Ma sát làm hạn chế sự nở của ống trong quá trình ép phình, do vật liệu dịch chuyển không thuận lợi. Nhưng ma sát lại đóng vai trò quan trọng trong quá trình đùn vật liệu bằng các chày chặn dọc trục để tránh hiện tượng biến mỏng quá lớn trong quá trình biến dạng.

Phương trình của sức căng hướng tiếp tuyến như sau:

$$dT_{\phi} = \mu q dz \quad (24)$$

Trong đó

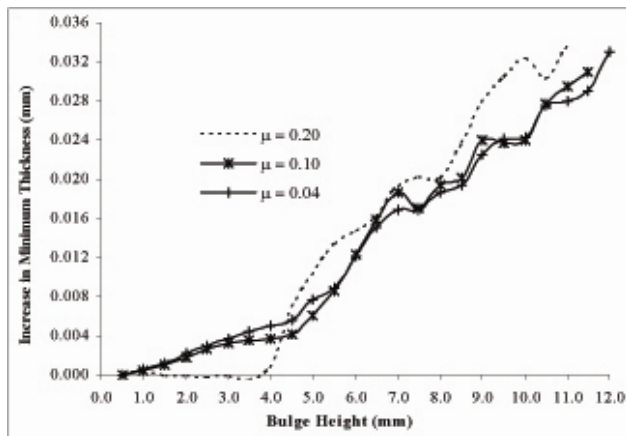
q - áp suất tiếp xúc giữa khuôn và ống

T_{ϕ} - Sức căng hướng tiếp tuyến

dz - vi phân khoảng cách theo hướng tiếp tuyến.

Từ phương trình này, ta thấy hệ số ma sát càng lớn thì ảnh hưởng của việc đun vật liệu dọc trục càng nhỏ. Nói cách khác, giá trị hệ số ma sát càng lớn thì ống càng bị biến mỏng.

Từ kết quả tình toán bằng chương trình máy tính, đồ thị 3 cho thấy tại cuối thời điểm tạo hình, giá trị hệ số ma sát lớn làm cho chiều cao phình của ống giảm đi. Quá trình tạo hình bằng nguồn chất lỏng cao áp hai chiều sẽ hiệu quả hơn khi giá trị của hệ số ma sát càng lớn. Khi chiều cao phình của ống là 11,00 mm thì độ dày tăng tối thiểu là 0,034 mm ứng với hệ số ma sát $\mu = 0,20$ còn chiều dày tối thiểu sẽ tăng 0,028 mm đối với hệ số ma sát $\mu = 0,04$. Trong công nghiệp, người ta thường dùng dầu thủy lực có hệ số ma sát trong khoảng 0,15 ÷ 0,20 làm chất lỏng công tác tạo áp suất cao trong quá trình tạo hình.



Đồ thị 3. Ảnh hưởng của ma sát trong quá trình tạo hình

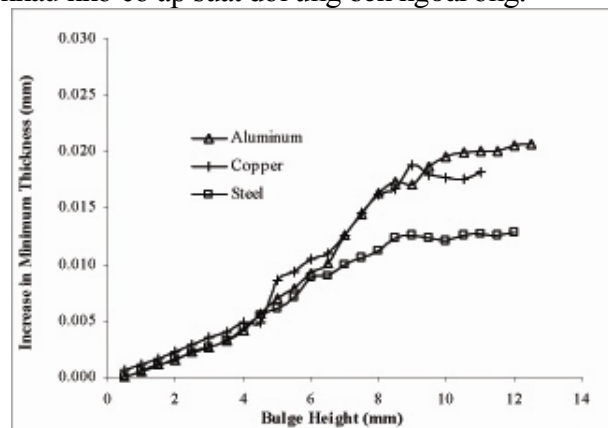
3.4. Ảnh hưởng của vật liệu: Đồng, Nhôm, Thép

Trong phần này ta nghiên cứu quá trình biến dạng của ba loại vật liệu là hợp kim nhôm, hợp kim đồng và thép. Tính chất của vật liệu được thể hiện trong bảng 2.

Đặc tính vật liệu của nhôm, thép và đồng			
	Nhôm	Thép	Đồng
Mô-đun Young (MPa)	70×10^3	210×10^3	124×10^3
Ứng suất chảy (MPa)	180	430	160
Hệ số bền K (MPa)	533,13	938,25	618,30
Hệ số biến cứng n	0,2837	0,2376	0,4000
Hệ số Poisson	0,33	0,33	0,30
Tỉ trọng (kg/mm^3)	$2,7 \times 10^{-6}$	$7,9 \times 10^{-6}$	$8,9 \times 10^{-6}$

Bảng 2. Đặc tính vật liệu của hợp kim nhôm, hợp kim đồng và thép

Một số các thông vật liệu trên được sử dụng trong quá trình tính toán bằng chương trình máy tính. Khi tính toán, không tính đến giá trị dị hướng, cho hệ số ma sát là như nhau, tỉ lệ đun vật liệu giống nhau. Áp suất đồng chất lỏng bên trong ống được lấy tương ứng đối với nhôm là 40MPa, đồng là 55MPa, thép là 80MPa. Áp suất đối ứng bên ngoài ống lấy bằng 12% so với áp suất bên trong ống. Đồ thị 4 cho thấy, phân bố độ dày thành của phôi ống nhôm và đồng tốt hơn so với ống thép. Tuy nhiên độ dày nhỏ nhất của cả ba loại là như nhau nhờ có áp suất đối ứng bên ngoài ống.



Đồ thị 4. Ảnh hưởng của các loại vật liệu khác nhau trong quá trình biến dạng

4. KẾT LUẬN

Các ảnh hưởng của đặc tính vật liệu và ma sát đã được khảo sát trong nghiên cứu này. Các thông số chủ yếu ảnh hưởng đến sự phân bố biến dạng của ống trong quá trình tạo hình biến dạng bằng nguồn chất lỏng áp lực cao bên trong là giá trị dị hướng và hệ số ma sát. Các thông số này có ảnh hưởng rất lớn đến quá trình tạo hình bằng nguồn chất lỏng áp suất cao hai chiều. Quá trình tạo hình này sẽ có kết quả tốt hơn, sản phẩm tạo hình đạt được cơ tính cao hơn, hình dạng và độ mỏng chính xác hơn khi mà giá trị dị hướng nhỏ và hệ số ma sát cao.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

Tài liệu tiếng Việt

- [1]. Phạm Văn Nghệ, *Công nghệ dập thủy tĩnh*, NXB Bách Khoa-Hà nội, 2006.
- [2]. Phạm Văn Nghệ, Lê Gia Bảo, Đinh Bá Trụ, Nguyễn Anh Tuấn, *Công nghệ tạo hình biến dạng kim loại bằng nguồn chất lỏng cao áp*, Tuyển tập công trình Hội nghị khoa học toàn quốc cơ học vật rắn biến dạng lần thứ 8, Thái nguyên, 2006
- [3]. Phạm Văn Nghệ, Lê Gia Bảo, Nguyễn Anh Tuấn, *Nghiên cứu một số dạng tạo hình kim loại bằng công nghệ dập thủy lực*, Hội nghị khoa học lần thứ 14, Học viện kỹ thuật quân sự, 2006.
- [4]. Nguyễn Tất Tiến, *Lý thuyết biến dạng dẻo kim loại*, NXB Giáo dục, 2004.
- [5]. Đinh Bá Trụ (2000), *Hướng dẫn sử dụng ANSYS*, NXB KH & KT, Hà Nội.

Tài liệu tiếng Anh

- [1]. Bing Li, Don R. Metzger, *Reliability Analysis of the Tube Hydroforming Process Based on Forming Limit Diagram*, Journal of Pressure Vessel Technology -- August 2006 -- Volume 128, Issue 3, pp. 402-407
- [2]. C. L. Chow and M. Jie ; S. J. Hu, *Forming Limit Analysis of Sheet Metals Based on a Generalized Deformation Theory*, Journal of Engineering Materials and Technology -- July 2003 -- Volume 125, Issue 3, pp. 260-265
- [3]. V. Gylienė, V. Ostaševičius, *Study of hydroforming by implementing necking criterion in FEM code*, ISSN 1392 - 1207. MECHANIKA. 2005. Nr.4(54).
- [4]. Joanim Lundqvist, *Numerical Simulation of Tube Hydroforming*, Lulea University of Technology-Sweden, 2005.
- [5]. J. Kim, B.S. Kang, S.M. Hwang and H.J. Park, *Numerical prediction of bursting failure in tube hydroforming by the FEM considering plastic anisotropy* , Journal of Materials Processing Technology , Volumes 153-154 , 10 November 2004, Pages 544-549
- [6]. A. Kocanda and H. Sadłowska, *An approach to process limitations in hydroforming of X-joints as based on formability evaluation*, Journal of Materials Processing Technology Volume 177, Issues 1-3 , 3 July 2006, Pages 663-667 , Proceedings of the 11th International Conference on Metal Forming 2006
- [7]. Nefussi G.; Combescure A. *Coupled buckling and plastic instability for tube hydroforming*, International Journal of Mechanical Sciences, Volume 44, Number 5, May 2002, pp. 899-914(16)
- [8]. Taylan Altan, *Advances in hydroforming for manufacturing automotive parts*, ERC/NSM, The Ohio State University, Columbus, Ohio – 43210, U.S.A
- [9]. Asnafi N., 1999, *Analytical modeling of tube hydroforming*, Thin-Walled Structures, 34, pp. 295-330.

Abstract:

Effects of material properties on two way tube hydroforming process.

Tube hydroforming method has some drawbacks such as long cycle time and expensive tooling. However, due to continuous improvements in forming process, tooling and lubrication, the method is gaining an increasing acceptance for fabricating complex parts in automobile industry. Tube hydroforming basically is a technical that uses a fluid either to form or aid in forming a part from ductile metal. The effects of material properties and frictions are investigated in the study. The main parameters for strain distribution are anisotropy value and coefficient of friction. The parameters have a major effect on the two way tube hydroforming process. The two way tube hydroforming process becomes meritorious in low anisotropy and/or high friction conditions.

Người phản biện: **PGS. Nguyễn Đăng Cường**