

NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA ÁP SUẤT VÀ LƯỢNG DỊCH CHUYỂN DỌC TRỤC ĐẾN SỰ THAY ĐỔI CHIỀU DÀY THÀNH ỐNG HAI NHÁNH BẰNG PHƯƠNG PHÁP DẬP THỦY TĨNH

ANALYZING THE EFFECTS OF INTERNAL PRESSURE AND AXIAL FEED ON WALL THICKNESS VARIATION OF DOUBLE - BRANCH TUBES IN HYDROFORMING

Phạm Ngọc Ánh

Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

Email: anhp.n.vck@vimaru.edu.vn

TÓM TẮT

Trong dập thủy tĩnh ống, sự thay đổi chiều dày thành ống khi tạo hình phụ thuộc trực tiếp vào áp suất trong lòng phôi và lượng dịch chuyển của hai chày dọc trục, tuy nhiên vẫn chưa có nhiều nghiên cứu về vấn đề này. Nghiên cứu này nhằm khảo sát ảnh hưởng của hai thông số trên đến sự thay đổi chiều dày thành ống hai nhánh, tìm ra khoảng giá trị làm việc của chúng, để sản phẩm có phân bố độ dày đồng đều. Nghiên cứu được thực hiện bằng mô phỏng số trên phần mềm Abaqus/CAE. Các mô phỏng được thực hiện với sự thay đổi của áp suất trong lòng phôi p và tổng lượng dịch chuyển dọc trục Δ để khảo sát sự thay đổi chiều dày thành ống. Kết thúc quá trình, tác giả đã tìm ra khoảng giá trị phù hợp của p và Δ , để tạo ra các sản phẩm đạt yêu cầu.

Từ khóa: Áp suất trong lòng phôi; Lượng dịch chuyển; Ống hai nhánh; Dập thủy tĩnh.

ABSTRACT

In tube hydroforming, the variation in wall thickness during the forming process is directly dependent on internal pressure and the axial displacement of the two punches; however, research on this specific subject remains limited. This study aims to investigate the influence of these two parameters on the wall thickness distribution of double - branch tubes, identifying their optimal operating ranges to ensure uniform thickness. The research was conducted using numerical simulations in Abaqus/CAE. These simulations varied the maximum internal pressure p and the total axial displacement Δ to examine wall thickness changes. Consequently, the study identified the appropriate ranges for p and Δ to produce high-quality components that meet technical requirements.

Keywords: Tube hydroforming; Internal pressure; Axial feed; Double - branch tube; Wall thickness variation.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Dập thủy tĩnh ống là phương pháp tạo hình ống tiên tiến, cho phép thay thế các cụm chi tiết hàn ghép, giúp tối ưu hóa cấu trúc và giảm chi phí sản xuất, đặc biệt có ý nghĩa khi tạo hình ống có nhánh. Mặc dù vậy, một trong những khó khăn lớn nhất trong quá trình tạo hình là kiểm soát sự thay đổi chiều dày thành ống, điều này liên quan chặt chẽ đến sự phối hợp giữa áp suất bên trong và tổng lượng dịch chuyển dọc trục của hai chày. Nếu áp suất quá cao, trong khi lượng dịch chuyển dọc trục nhỏ, thành ống sẽ bị biến mỏng nhanh chóng. Ngược lại, nếu lượng dịch chuyển dọc trục quá lớn so với áp suất, phôi có thể bị nhăn.

Để phục vụ nghiên cứu, tác giả đã thực hiện thí nghiệm xác định các thông số vật liệu, tính toán để có kích thước phôi hợp lý từ kích thước chi tiết, thiết lập các mô đun mô phỏng số. Tác giả cũng xác định các dạng đường tải, thực hiện mô phỏng với nhiều bộ giá trị khác nhau của p và Δ , đánh giá chất lượng sản phẩm mô phỏng số, từ đó rút ra các kết luận cần thiết.

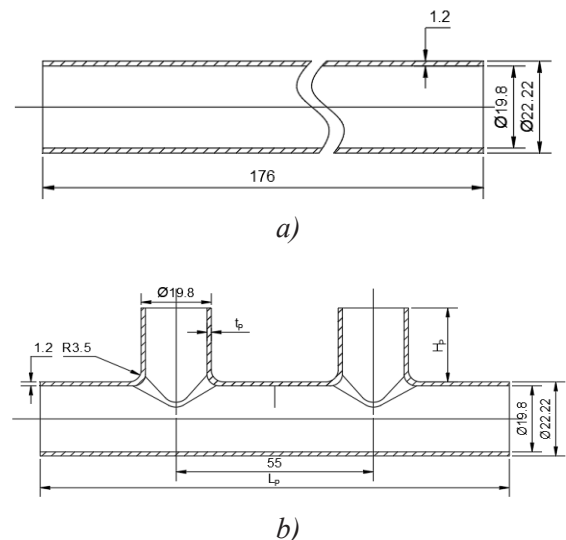
Có nhiều nghiên cứu tập trung phân tích ảnh hưởng của áp suất chất lỏng và lượng dịch chuyển dọc trục đến sự thay đổi chiều dày thành ống, như nghiên cứu của H. F. Abdalla [1]; H. Zhang, J. Lin, và X. Chen [2]; M. Seyedkashi, M. R. Toroghinejad và M. A. Zare [3]. Hoặc nghiên cứu của A. Kridli, S. R. Kalaycioglu, và S. L. Semiatin [4]; A. M. Jasim, H. H. Hussein, và M. A. Al-Dulaimi [5]; R. Ramanathan, S. Kumar, và P. K. Singh [6]... Nhưng với ống hai nhánh, những nghiên cứu này hầu như chưa có. Trong bài báo này, tác giả sử dụng phần mềm Abaqus/Explicit để mô phỏng kiểm tra tác động của p và Δ lên sự thay đổi chiều dày thành ống hai nhánh trong dập thủy tĩnh. Từ đó, tìm được miền giá trị thích hợp của p và Δ để sản phẩm có phân bố độ dày đạt yêu cầu, các giá trị này

được sử dụng để phát triển thực nghiệm và so sánh với kết quả thu được sau khi thực nghiệm.

2. VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP

Vật liệu thí nghiệm là đồng CDA110, thông số vật liệu xin xem trong tài liệu [8]. Tác giả chọn vật liệu này do chưa có nhiều nghiên cứu toàn diện về khả năng định hình của nó trong các tài liệu hiện có.

Phôi thí nghiệm dạng ống tròn, sản phẩm là ống có hai nhánh. Hình dạng, thông số hình học của phôi và sản phẩm như trong hình 1.

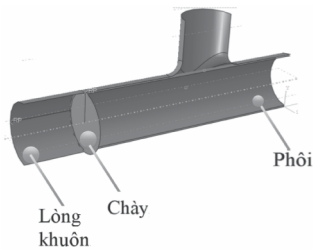


Hình 1. Hình dạng và thông số hình học của phôi:
a) Phôi, b) Sản phẩm

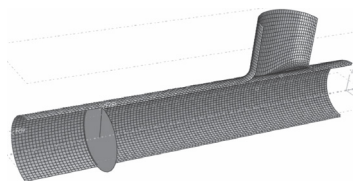
Các mô đun mô phỏng được thiết lập qua 4 bước: thiết lập mô hình hình học, chia lưới các phần tử, thiết lập mô hình vật liệu, thiết lập các điều kiện biên.

- Mô hình hình học: Gồm phôi, khuôn, hai chày dọc trục như hình 2.
- Chia lưới các phần tử: Các phần tử được chia lưới như hình 3.
- Mô hình vật liệu [8].
- Thiết lập các điều kiện biên:

- Điều kiện biên tiếp xúc: Chọn hệ số ma sát giữa phôi và lòng khuôn $\mu = 0,1$ cho trường hợp bôi trơn thông thường.

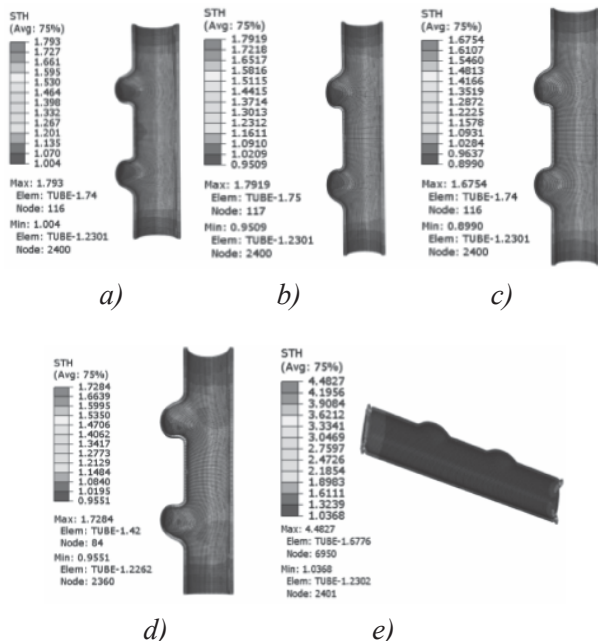


Hình 2. Mô hình hình học



Hình 3. Chia lưới các phần tử

- Điều kiện biên chuyển vị: Khuôn đứng yên, hai chày dọc trục chuyển động theo các đường tải tạo dịch chuyển dọc trục cho hai đầu ống.



Hình 4. Phân bố độ dày vật liệu thành ống tạo hình:

- a) $p_{max} = 48MPa, \Delta_L = \Delta_R = 22,5mm;$
- b) $p_{max} = 54MPa, \Delta_L = \Delta_R = 22,5mm;$
- c) $p_{max} = 56MPa, \Delta_L = \Delta_R = 17,6mm;$
- d) $p_{max} = 56MPa, \Delta_L = \Delta_R = 22,5mm;$
- e) $p_{max} = 56MPa, \Delta_L = 22,5mm, \Delta_R = 17,5mm$

- Điều kiện biên về lực (áp suất): Áp suất bên trong p, tổng lượng dịch chuyển dọc trục Δ được xác định ngay từ đầu. Xét mô phỏng với 3 giá trị áp suất lớn nhất trong lòng phôi, $p_{max} = 48, 54, 56MPa$ kết hợp với 2 trường hợp dịch chuyển dọc trục: dịch chuyển hai chày đều nhau và không đều nhau, được chia thành 3 phương án: $\Delta_L = \Delta_R = 17,6mm$ (tổng hành trình 35,2 mm), $\Delta_L = \Delta_R = 22,5mm$ (tổng hành trình 45mm), $\Delta_L = 22,5mm, \Delta_R = 17,6mm$ (tổng hành trình 40,1mm); với Δ_L, Δ_R lần lượt là lượng dịch chuyển dọc trục của chày trái và chày phải.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Kết hợp giữa áp suất bên trong p_{max} trong khoảng 48 – 54Mpa và dịch chuyển dọc trục $\Delta_L = \Delta_R = 22,5mm$ (tổng hành trình 45mm) (hình 4a, b), các ống biến dạng có phân bố độ dày khá giống nhau ở mỗi vùng. Vùng giãn nở hơi mỏng với $t_{min48} = 1,004mm$ (-16,333%) và $t_{min54} = 0,9509mm$ (-20,758%). Vùng dẫn hướng dày nhất với $t_{max48} = 1,793 mm$ (49,41%) và $t_{max54} = 1,7919mm$ (49,25%). Vùng chuyển tiếp được làm dày với phân bố độ dày gần tương đương nhau $t_{ct48} = 1.267 - 1.595mm$ (5,58 – 32,91%) và $t_{ct54} = 1.231 - 1.582mm$ (2,58 – 31,83%).

Với $p_{max} = 56Mpa$ và $\Delta_L = \Delta_R = 17,6mm$ (tổng hành trình 35,2mm); 22,5mm (tổng hành trình 45mm) (Hình 4c, d), có sự phân bố độ dày khác biệt rõ rệt, với $t_{17.6} = 0,8990 - 1,6754mm$ (-25,08 - 39,58%), $t_{22.5} = 0,9551 - 1,7284mm$ (-20,40 - 44%).

Khi kết hợp áp suất $p_{max} = 56Mpa$ và dịch chuyển dọc trục không đều, $\Delta_L = 22,5mm,$

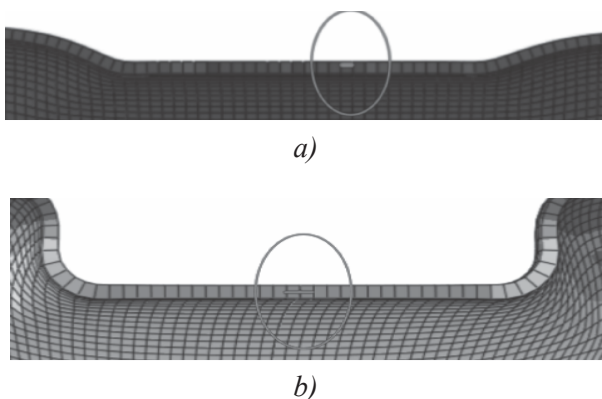
$\Delta_R = 17,6\text{mm}$ (tổng hành trình $40,1\text{mm}$) (hình 4e), thu được một số kết quả đáng chú ý sau:

- Sự phân bố chiều dày không đồng đều: Do phía trái dịch chuyển nhiều hơn ($22,5\text{mm}$) nên bù vật liệu tốt hơn vào vùng biến dạng ở đỉnh nhánh trái, giúp giảm thiểu độ mỏng của thành ống. Tại đỉnh nhánh trái, độ dày thành ống nhỏ nhất đo được nhờ công cụ Query, Element là $1,06298\text{mm}$, trong khi tại đỉnh nhánh phải, số liệu này là $1,0365\text{mm}$ (hình 5).

- Lệch tâm vùng biến dạng: Tại vùng vật liệu chuyển tiếp giữa hai nhánh ống, phân bố độ mỏng nhất di chuyển nhẹ về phía phải, thay vì nằm chính giữa khuôn như trường hợp dịch chuyển hai trục đều nhau (hình 5).

- Chiều dày lớn nhất ở phần dẫn hướng đạt tới $4,4827\text{mm}$ (hình 4e), tương ứng $273,55\%$, cho thấy vật liệu bị nén mạnh, làm tăng mạnh chiều dày so với phôi ban đầu.

Từ các kết quả trên, cho thấy phân bố độ dày vật liệu đạt yêu cầu khi tăng $p_{\max}$ lên đến 56MPa , kết hợp dịch chuyển trục đều hai bên. Khi dịch chuyển trục không đều, phân bố độ dày bị lan rộng và không đối xứng, do đó không đạt yêu cầu.



Hình 5. Sự di chuyển của phân bố độ mỏng nhất khi dịch chuyển trục không đều: a) Dịch chuyển hai trục không đều; b) Dịch chuyển hai trục đều nhau

4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã phân tích chi tiết quá trình dập thủy tĩnh ống hai nhánh từ vật liệu đồng CDA110 thông qua mô phỏng số trên phần mềm Abaqus/Explicit. Dựa trên các kết quả thu được về sự thay đổi chiều dày và phân bố vật liệu, một số kết luận quan trọng đã được rút ra như sau:

- Xác định miền giá trị vận hành tối ưu: Quá trình tạo hình đạt chất lượng tốt nhất khi áp suất trong lòng phôi $p_{\max}$ nằm trong khoảng từ 48MPa – 56MPa , kết hợp với dịch chuyển dọc trục đối xứng từ cả hai phía đầu ống. Trong điều kiện này, sản phẩm thu được có sự phân bố độ dày đồng đều, hạn chế tối đa các khuyết tật về hình học.

- Ảnh hưởng của sự phối hợp tải trọng: Sự phối hợp giữa áp suất nội tại và lượng cấp phôi dọc trục đóng vai trò quyết định đến độ dày thành ống. Nghiên cứu chỉ ra rằng khi áp suất $p_{\max}$ tăng dần lên ngưỡng 56MPa cùng với tổng hành trình dịch chuyển 45mm ($\Delta_L = \Delta_R = 22,5\text{mm}$), khả năng bù vật liệu vào vùng biến dạng được tối ưu hóa, giúp kiểm soát hiệu quả hiện tượng biến mỏng tại các đỉnh nhánh.

- Hệ quả của việc dịch chuyển trục không đối xứng: Khi áp suất dao động từ 45MPa – 56MPa nhưng lượng dịch chuyển hai bên không đều nhau ($\Delta_L \neq \Delta_R$), sản phẩm sẽ phát sinh lỗi kỹ thuật nghiêm trọng. Cụ thể, việc mất cân bằng dòng chảy vật liệu dẫn đến sự phân bố chiều dày không đối xứng và lệch tâm vùng biến dạng, khiến sản phẩm không đáp ứng được các tiêu chuẩn kỹ thuật đề ra.

- Giá trị thực tiễn của mô hình mô phỏng: Các kết quả mô phỏng số không chỉ giúp làm rõ quy luật biến dạng của vật liệu đồng CDA110 mà còn cung cấp cơ sở dữ liệu

quan trọng để thiết lập các thông số công nghệ cho quá trình thực nghiệm. Điều này giúp giảm thiểu chi phí thử nghiệm sai lỗi và nâng cao hiệu quả sản xuất các chi tiết ống có hình dáng phức tạp.

Lời cảm ơn:

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Hàng hải Việt Nam trong đề tài mã số DT25-26.41.❖

Ngày nhận bài: **16/3/2026**

Ngày phản biện: **28/3/2026**

Tài liệu tham khảo:

- [1]. H. F. Abdalla, “*Finite element analysis of the tube hydroforming process*”. Ph.D. dissertation, The American University in Cairo, Egypt, 2003.
- [2]. H. Zhang, J. Lin, and X. Chen, “*Influence of internal pressure and axial compressive displacement on tube hydroforming process*”. *Metals*, vol. 10, no. 5, pp. 1-15, 2020.
- [3]. M. Seyedkashi, M. R. Toroghinejad, and M. A. Zare, “*The effect of tube dimensions on optimized pressure and force loading paths in tube hydroforming process*”. *Journal of Mechanical Science and Technology*, vol. 26, no. 4, pp. 1207-1215, 2012.
- [4]. A. Kridli, S. R. Kalaycioglu, and S. L. Semiati, “*Analysis of thinning and corner filling in tube hydroforming*”. *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 142, no. 2, pp. 425-433, 2003.
- [5]. A. M. Jasim, H. H. Hussein, and M. A. Al-Dulaimi, “*Theoretical and experimental study of conical tube hydroforming using different loading paths*”. *Applied Engineering Letters*, vol. 7, no. 3, pp. 1-8, 2022.
- [6]. R. Ramanathan, S. Kumar, and P. K. Singh, “*Numerical investigation on tube hydroforming process parameters and their effects*”. *Periodica Polytechnica Mechanical Engineering*, vol. 68, no. 1, pp. 1-10, 2022.
- [7]. P. V. Nghe, “*Cong nghệ dập thủy tinh*”. Hanoi, Vietnam: Bach Khoa Publishing House, 2005.
- [8]. Pham, N. A., Pham, Q. T., “*Formability Assessment of C1100 Pure-Copper Tube Considering an Enhanced Modified Maximum Force Criterion*”. *Materials*, vol. 18, no. 9, 2025, Art. no. 1919. <https://doi.org/10.3390/ma18091919>