MÔ PHỎNG VÀ TỐI ƯU HÓA QUÁ TRÌNH THỦY TĨNH ỐNG CHỮ T SỬ DỤNG ABAQUS/CAE

SIMULATION AND OPTIMIZATION OF T-SHAPED TUBE HYDROFORMING PROCESS USING ABAQUS/CAE

Trịnh Thị Mai, Bùi Ánh Hưng

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

Đến Tòa soạn ngày 08/01/2025, chấp nhận đăng ngày 12/02/2025

Tóm tắt: Bài báo trình bày chi tiết trình tự mô phỏng quá trình thủy tĩnh ống trên phần mềm Abaqus/CAE, áp dụng với phôi ống đồng CDA110 không hàn. Thông qua các thử nghiệm với các giá trị áp suất chất lỏng và cấp liệu dọc trục khác nhau, nghiên cứu phân tích ảnh hưởng qua lại giữa ứng suất và biến dạng tại phần phình chữ T của phôi. Sau khi thực hiện các mô phỏng đã xác định được những giá trị tối ưu, tránh hiện tượng phôi bị rách hoặc nhăn chết, đồng thời đánh giá khả năng tạo hình của chi tiết ống. Những phát hiện này góp phần tạo ra cơ sở dữ liệu tham khảo trong việc thiết kế và tối ưu hóa quy trình thủy tĩnh ống trong gia công cơ khí.

Từ khóa: Thủy tĩnh ống, mô phỏng Abaqus/CAE, phôi ống đồng.

Abstract: The paper presents a detailed simulation procedure for the tube hydroforming process using Abaqus/CAE software, applied to seamless CDA110 copper tube billets. Through experiments with varying fluid pressure and axial feeding values, the study analyzes the interaction between stress and strain at the T-shaped bulge of the billet. The simulations identified optimal parameters to prevent tearing or wrinkling while evaluating the formability of the tube part. These findings contribute to a valuable reference database for designing and optimizing the tube hydroforming process in mechanical manufacturing.

Keywords: Tube hydroforming, Abaqus/CAE simulation, copper tube billets

1. GIỚI THIỆU

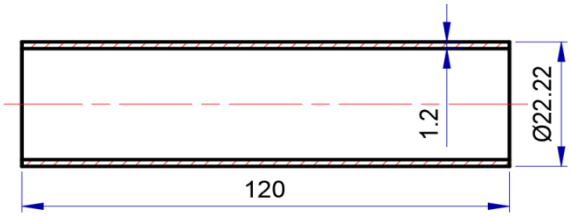
Phương pháp dập thủy tĩnh (DTT) tại các quốc gia như Đức, Anh, Nga, Trung Quốc,… đã và đang được sử dụng rộng rãi nhờ vào khả năng tạo hình ưu việt. Công nghệ DTT không chỉ cho phép tạo hình các chi tiết rỗng có mặt cắt thay đổi đột ngột với số lượng nguyên công tối thiểu, mà còn có thể giúp tăng cơ tính của vật liệu [1, 3]. Bên cạnh đó, công nghệ DTT không chỉ tối ưu hóa việc sử dụng nguyên vật liệu mà còn giảm thiểu chất thải, góp phần thúc đẩy phát triển bền vững và đáp ứng các yêu cầu nghiêm ngặt về bảo vệ môi trường trên toàn cầu.

Mặc dù đã có nhiều nghiên cứu về công nghệ DTT, nhưng các kết quả công bố liên quan đến quá trình thủy tĩnh ống vẫn còn nhiều vấn đề chưa được đề cập tới. Bài báo trình bày chi tiết quy trình mô phỏng thủy tĩnh ống sử dụng phần mềm Abaqus/CAE [4], đồng thời phân tích mối quan hệ giữa ứng suất và biến dạng đối với chi tiết dạng chữ T. Từ các kết quả mô phỏng, nghiên cứu này đưa ra những đánh giá về việc tạo hình của chi tiết ống chữ T, dựa trên một số thông số công nghệ được thử nghiệm nhằm tối ưu hóa quá trình gia công.

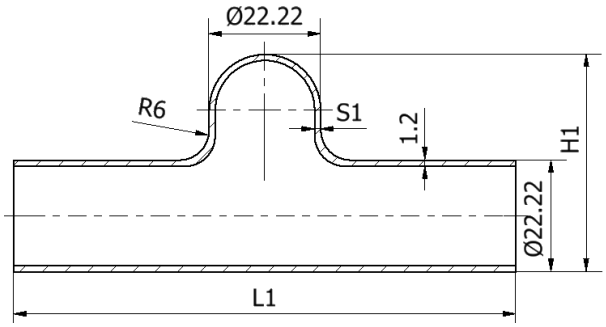
2. ĐỐI TƯỢNG NGHIÊN CỨU VÀ MÔ PHỎNG SỐ

2.1. Phôi và vật liệu phôi

Nghiên cứu được thực hiện trên phôi ống đồng CDA110 không hàn, có thông số phôi như hình 1, sản phẩm sau khi tạo hình có hình ảnh như hình 2. Thông số vật liệu CDA110 được thể hiện trong bảng 1 [5].



Hình 1. Thông số phôi



Hình 2. Chi tiết sau tạo hình bằng thủy tĩnh ống

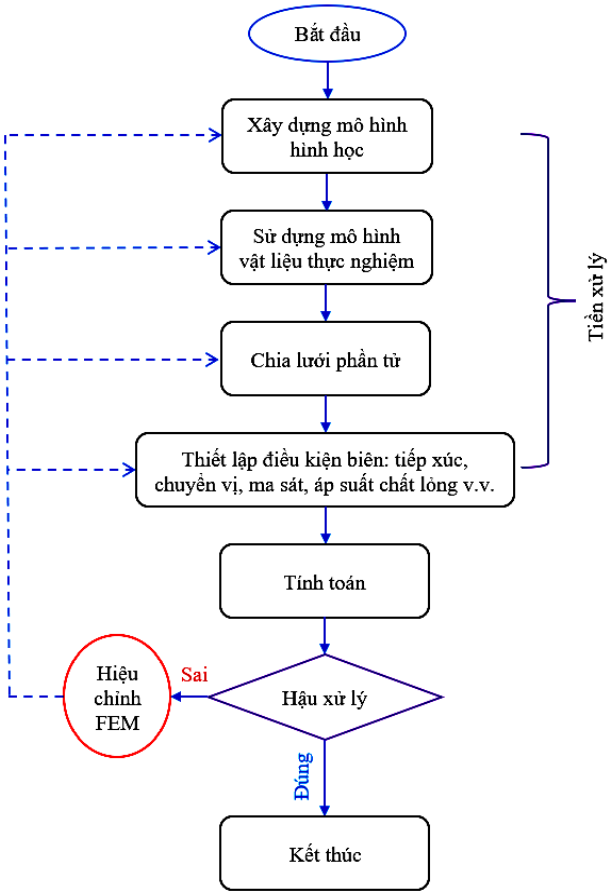
Bảng 1. Thông số vật liệu đồng CDA110 [5]

Các thông số và đặc tính kỹ thuật của vật liệu CDA110	Giá trị
Nhiệu độ khảo sát thông số vật liệu (°C)	24
Khối lượng riêng, ρ(kg/m^3)	8940
Mô đun đàn hồi, E (GPa)	115
Hằng số vật liệu, C (MPa)	325
Số mũ hóa bền, n	0.54
Hệ số Poisson, v	0.33
Ứng suất chảy giới hạn, σ_y (MPa)	170
Ứng suất bền giới hạn, σ_u (MPa)	370
Mức độ giãn dài tương đối, ε (%)	40

2.2. Mô phỏng trên Abaqus/CAE

2.2.1. Quy trình thực hiện trên mô phỏng số

Trình tự thực hiện bài toán mô phỏng số có thể được thực hiện trên hình 3 và bao gồm ba phần chính: tiền xử lý, giải bài toán và phân tích, đánh giá kết quả. Trong giai đoạn tiền xử lý, mô hình của sản phẩm được thiết kế, các đặc tính vật liệu được thiết lập, cùng với các điều kiện biên như áp suất, ma sát và chuyển vị của chày. Giai đoạn giải bài toán sử dụng thuật toán phần tử hữu hạn trong Abaqus/CAE để thể hiện quá trình thay đổi hình dạng của phôi dưới tác động của các yếu tố này. Cuối cùng, kết quả được phân tích thông qua biểu đồ, hình ảnh và số liệu nhằm đánh giá khả năng tạo hình, phát hiện các nguy cơ như rách phôi hoặc nhăn chết, trên cơ sở đó xây dựng được quy trình hợp lý nhất.



Hình 3. Trình tự thực hiện các bài toán mô phỏng số [2]

2.2.2. Mô hình hóa trên Abaqus/CAE

a. Thiết kế trên Abaqus: Part

- Thiết kế phôi
- Thiết kế khuôn

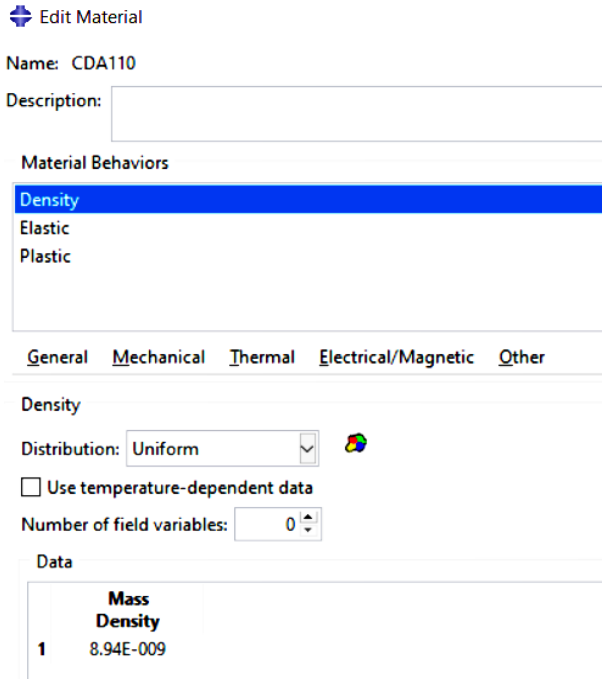


Hình 4. Thiết kế khuôn trên Abaqus với bán kính chuyển tiếp R6

- Thiết kế chày

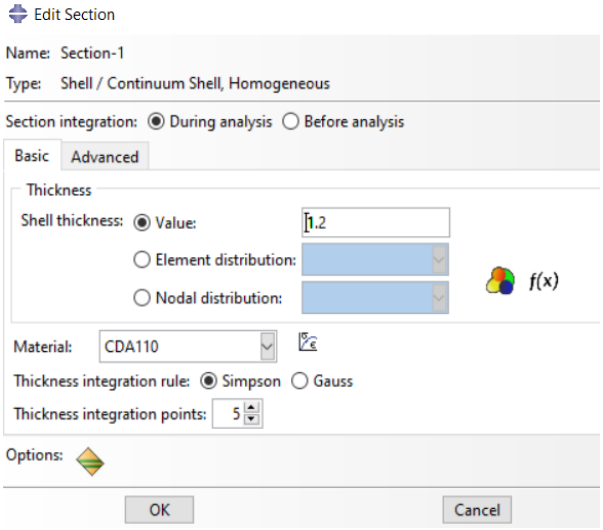
Do sản phẩm có tính chất đối xứng, nên nhóm nghiên cứu chỉ xây dựng ¼ mô hình nhằm giảm thời gian tính toán và mô phỏng. Abaqus cho phép chỉ xây dựng một phần của mô hình sau đó lấy đối xứng mà vẫn giữ nguyên kết quả như khi thực hiện cho một mô hình đầy đủ.

b. Thiết lập vật liệu: Property



Hình 5. Cửa sổ thiết lập đặc tính vật liệu phôi

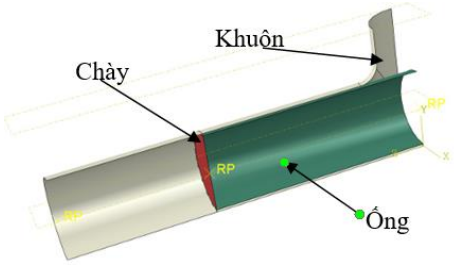
Property trong Abaqus giúp định nghĩa và quản lý các thuộc tính vật liệu và phần tử, đóng vai trò trung tâm trong việc xác định cách thức mô hình phản ứng với tải trọng và điều kiện biên trong quá trình phân tích. Nếu không khai báo đúng Property, mô phỏng sẽ không chính xác hoặc thậm chí không thể thực hiện.



Hình 6. Thiết lập chiều dày phôi ban đầu

c. Lắp ráp : Assembly

Các bộ phận sau khi được thiết kế nó đảm bảo nhận được các tập hợp và tổ chức (các bộ phận) mô hình thành phần để tạo ra các chuẩn phân tích hoàn chỉnh mô hình.



Hình 7. Mô hình lắp ráp

d. Thiết lập bước mô phỏng: Step

Để cài đặt quá trình mô phỏng cần thực hiện bao nhiêu bước phân tích, ta cần thiết lập thông số này cho Abaqus/CAE. Số lượng bước phân tích càng lớn kết quả càng chi tiết nhưng dung lượng tạo ra lớn. Do đó phụ thuộc

vào cấu hình máy tính và yêu cầu tính chính xác của kết quả phân tích ta thiết lập giá trị cho phù hợp.

e. Thiết lập tương tác : Interaction

Để đảm bảo phôi và khuôn luôn tiếp xúc với nhau, các ràng buộc của phôi và các chi tiết khác trong mô hình mô phỏng luôn tương tác với nhau với hệ số ma sát mong muốn thì đây là bước quan trọng trong Abaqus/CAE.

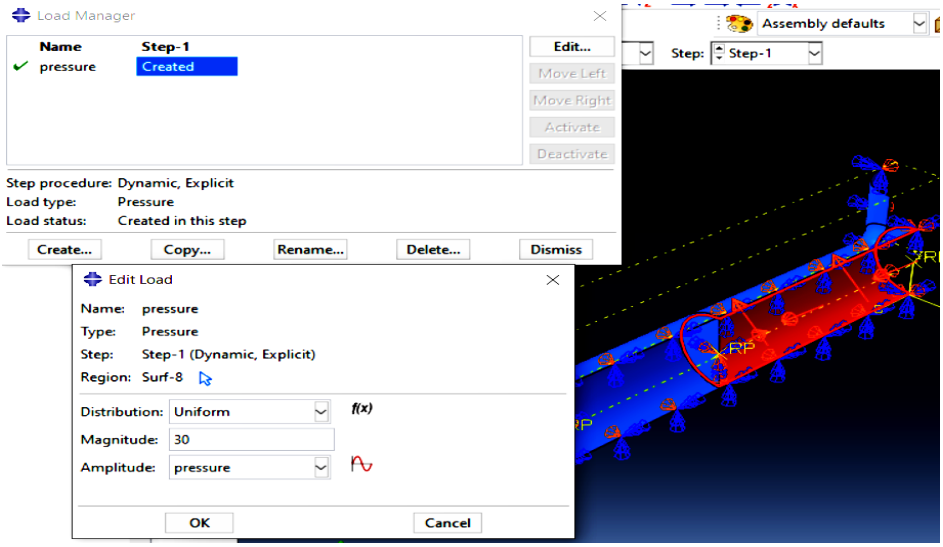
f. Thiết lập điều kiện biên : Load

Cài đặt tải tác dụng, hay cách dịch chuyển chày (theo bảng 2), các bộ phận cần cố định…

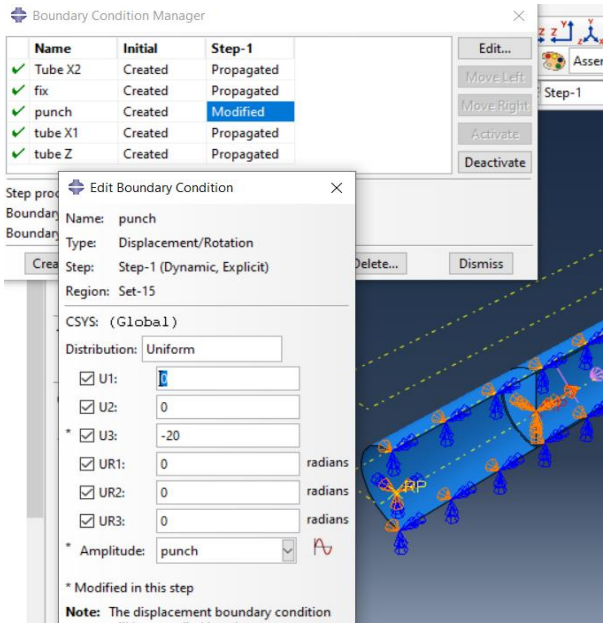
Bảng 2. Các thông số áp suất chất lỏng và dịch chuyển chày được áp dụng

TT	Áp suất chất lỏng (Mpa)	Dịch chuyển chày (mm)
1	20	10
2	25	15
3	30	20

Các giá trị áp suất chất lỏng lòng ống được tính toán dựa vào công thức tính tải trọng tác dụng đơn của tác giả Bogoyavlensky [7.



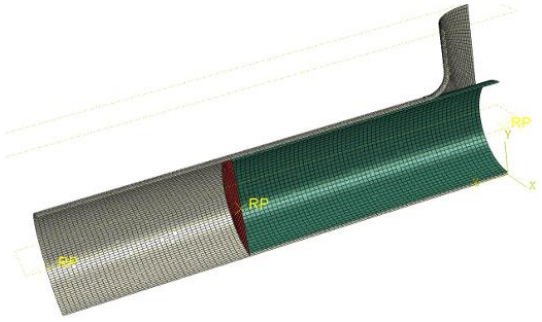
Hình 8. Thiết lập áp suất chất lỏng



Hình 9. Thiết lập điều kiện biên cho chày

g. Chia lưới phần tử: Mesh

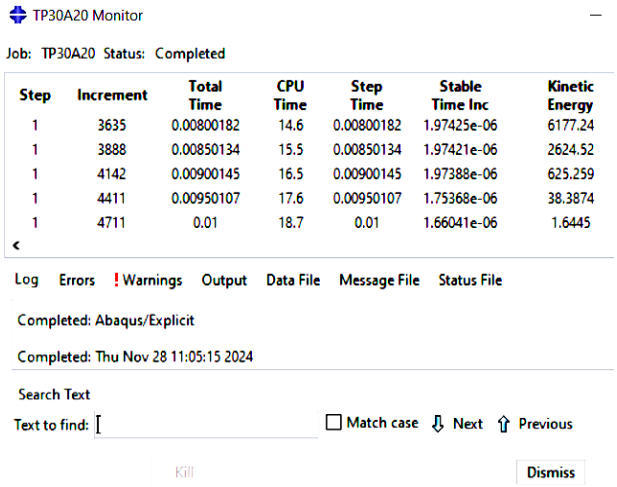
Đối tượng nghiên cứu là phôi ống đồng, nên đối tượng chia lưới cần quan tâm là phôi ống. Để đảm bảo phôi không bị rách khi qua vùng chuyển tiếp có bán kính lượn R6, thì khuôn cũng cần cài đặt mật độ lưới không quá thô.



Hình 10. Chia lưới phần tử

h. Chạy mô phỏng: Jop

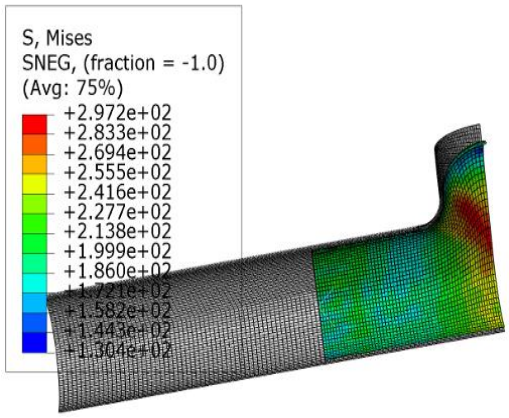
Đây là bước phần mềm thực hiện tính toán, phân tích bài toán.



Hình 11. Quá trình Abaqus/CAE thực hiện tính toán, phân tích

k. Hiển thị kết quả mô phỏng: Visualization

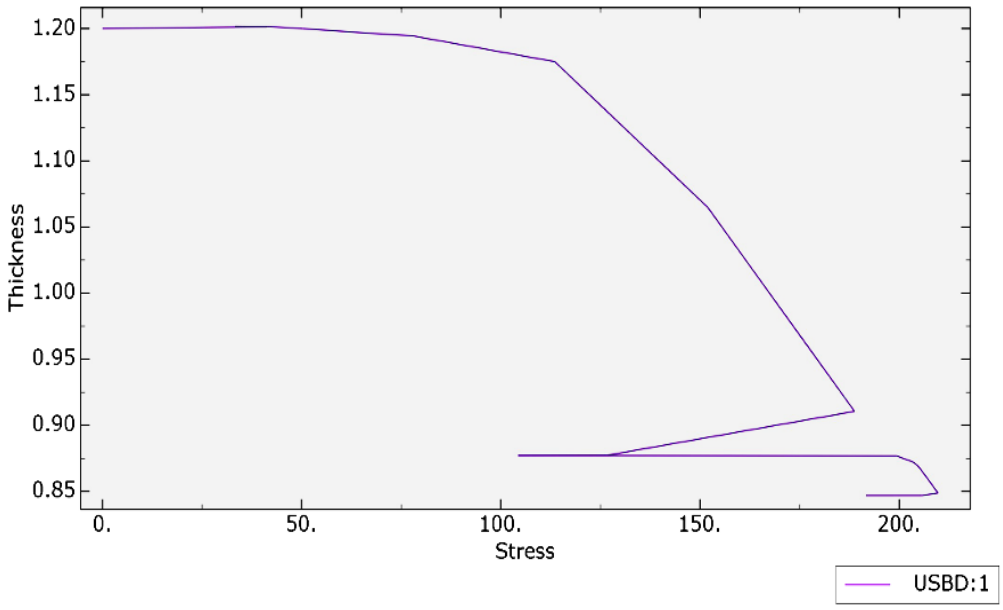
Visualization là công cụ trung tâm trong việc chuyển đổi dữ liệu tính toán từ mô phỏng thành các hình ảnh, biểu đồ, và thông tin dễ hiểu, phục vụ cho việc phân tích và trình bày kết quả.



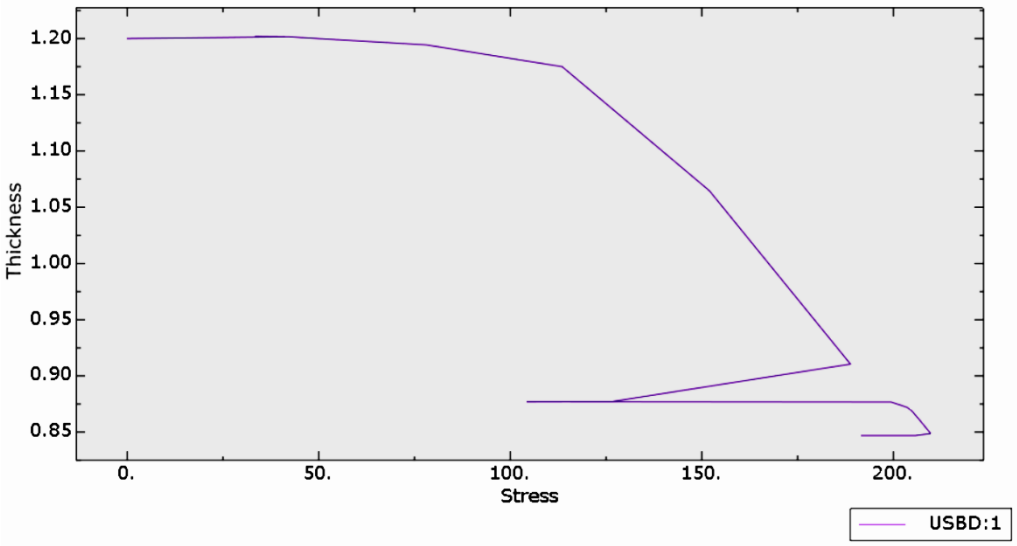
Hình 12. Hình ảnh sau mô phỏng

3. THU THẬP KẾT QUẢ SAU MÔ PHỎNG VÀ THẢO LUẬN

Với áp suất chất lỏng lòng ống là 20, 25 và 30 Mpa, khoảng cấp liệu dịch chuyển dọc trục của chày là 10, 15 và 20 mm [6]. Lần lượt thay đổi giá trị áp suất ứng với các khoảng cấp liệu khác nhau trên rồi đi thu thập dữ liệu. Hình 13a, b là biểu đồ mối quan hệ ứng suất và biến dạng khi áp suất chất lỏng là 30 MPa và khoảng cấp liệu dọc trục là 10 và 20 mm của phần tử số 2400 (phần tử xa nhất của phần phình chữ T).



Hình 13a. Biểu đồ quan hệ ứng suất và biến dạng của phần tử 2400 khi áp suất chất lỏng 30 Mpa và khoảng cấp liệu 10 mm



Hình 13b. Biểu đồ quan hệ ứng suất và biến dạng của phần tử 2400 khi áp suất chất lỏng 30 Mpa và khoảng cấp liệu 20 mm

Các trường hợp khác ta tiến hành thu thập kết quả tương tự.

Từ biểu đồ mối quan hệ ứng suất và biến dạng cho thấy: Không phải ứng suất tăng biến dạng của vật liệu tăng theo, có những thời điểm biến dạng gần như không thay đổi khi ứng suất tiếp tục tăng. Đây là thời điểm cần nắm bắt để điều chỉnh giá trị áp suất chất lỏng lòng ống và cấp liệu dọc trục tránh hiện tượng phôi bị biến dạng quá mức do mỏng dẫn đến rách, hoặc nhăn chết xảy ra.

Từ 2 biểu đồ mối quan hệ trên ta cũng có thể thấy rằng, sự thay đổi rất nhỏ (gần như là giống nhau) mối quan hệ giữa ứng suất và biến dạng. Điều này cho thấy mối quan hệ này thay đổi rất nhỏ khi ta thay đổi cấp liệu dọc trục và giữ nguyên áp suất lòng ống.

4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã chứng minh tính khả thi của việc sử dụng phần mềm Abaqus/CAE để mô phỏng và phân tích quá trình thủy tĩnh ống, đặc biệt đối với phôi đồng CDA110. Kết quả cho thấy, mối quan hệ giữa ứng suất và biến dạng không đơn thuần tỷ lệ tuyến tính mà chịu ảnh hưởng lớn bởi giá trị áp suất chất lỏng và mức cấp liệu dọc trục. Một điều đáng chú ý là khi áp suất chất lỏng lòng ống được giữ cố định, chỉ thay đổi cấp liệu dọc trục thì trong một khoảng dịch chuyển nhất định của chày, quan hệ giữa ứng suất và biến dạng gần như không đổi. Việc điều chỉnh phù hợp các thông số này giúp cải thiện chất lượng tạo hình, tránh được các khuyết tật như rách phôi hay nhăn chết.

Những phát hiện từ nghiên cứu không chỉ cung cấp cơ sở khoa học cho việc thiết kế quy trình gia công tối ưu mà còn mở ra hướng ứng dụng rộng rãi trong lĩnh vực gia công áp lực với công nghệ dập thủy tĩnh. Các bước tiếp theo sẽ tập trung vào thử nghiệm thực tế và đối chiếu kết quả với mô phỏng để hoàn thiện quy trình hơn nữa.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Phạm Văn Nghệ, Công nghệ dập thủy lực, Tr 235-239, NXB Bách khoa Hà Nội, (2006).

[2] Vũ Đức Quang, Nghiên cứu công nghệ dập thủy tĩnh để tạo hình chi tiết rỗng dạng trụ bậc và chữ T từ phôi ống, Luận án Tiến sĩ, Tr 50, Thư viện số, Bách khoa Hà Nội, (2024).

[3] Ing. habil, Ing. e.h. Reimund Neugebauer, Hydro Umformung, Tr 33-34, Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU, (2006).

[4] Simulia, Abaqus Documentation, http://130.149.89.49:2080/v2016/pdf_books/CAE.pdf, (2016).

[5] Duc Quang Vu, Dac Trung Nguyen, et al., "Study on the Effect of Internal Pressure and Axial Feed in Tube Hydrostatic Forming Process of T-shaped Joints", Springer Nature, 2024. https://doi.org/10.1007/978-3-031-39090-6_44

[6] Mai Thi Trinh, Duy Van Dinh, et al., "Hydro-Forming of U-Shaped Parts with Branches", Engineering technology & Applied sciense research, 2025. https://doi.org/10.48084/etasr.9227

[7] Bogoyavlensky,K.N., Vagin, V.A., Kobyshev,A.N., et al.: Hydro-plasticProcessing of Metals. Mashinostroenie, Moscow; Teknika, Sophia, U.S.S.R (1988).

Thông tin liên hệ: **Trịnh Thị Mai**

Điện thoại: 0984214459 - Email: ttmai@uneti.edu.vn

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