

THIẾT KẾ VÀ CHẾ TẠO HỆ THỐNG KHUÔN DẬP THỦY TĨNH TẠO HÌNH KHỚP NỐI RỖNG CHỮ X TRÊN MÁY DẬP VẠN NĂNG YH-32

DESIGN AND FABRICATION OF A HYDROFORMING DIE SYSTEM FOR MANUFACTURING HOLLOW X-SHAPED JOINT ON THE UNIVERSAL PRESS YH-32

Vũ Đức Quang, Đinh Trường Ninh

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

Đến Tòa soạn ngày 12/10/2025, chấp nhận đăng ngày 29/10/2025

Tóm tắt: Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu về thiết kế và chế tạo thành công hệ thống khuôn dập thủy tĩnh để tạo hình chi tiết khớp nối rỗng chữ X trên máy dập vạn năng YH-32. Nghiên cứu ứng dụng công nghệ dập thủy tĩnh nhằm tạo hình sản phẩm từ phôi ống với chất lượng cao, độ chính xác đáp ứng yêu cầu kỹ thuật, đồng thời tiết kiệm thời gian gia công và giảm chi phí sản xuất, qua đó nâng cao khả năng cạnh tranh. Phương pháp nghiên cứu kết hợp giữa lý thuyết với thiết kế mô hình 3D bằng phần mềm NX và mô phỏng số bằng phần mềm Abaqus và để phân tích, tối ưu hóa quá trình tạo hình và kết cấu khuôn trước khi chế tạo. Kết quả nghiên cứu khẳng định tính khả thi của công nghệ, cho phép tạo ra chi tiết khớp nối rỗng chữ X đáp ứng yêu cầu kỹ thuật, mở ra hướng ứng dụng rộng rãi trong sản xuất các chi tiết máy phức tạp. Nghiên cứu này có ý nghĩa thực tiễn cao, góp phần phát triển ngành gia công áp lực tại Việt Nam.

Từ khóa: Dập thủy tĩnh, hệ thống khuôn, khớp nối rỗng chữ X, thiết kế khuôn.

Abstract: This paper presents research findings on the successful design and fabrication of a hydroforming die system for manufacturing hollow X-shaped joint components on the universal press YH-32. The study applies hydroforming technology to form products from tubular blanks with high quality and precision meeting technical requirements, while simultaneously reducing processing time and manufacturing costs, thereby enhancing competitiveness. The research methodology integrates theoretical analysis with 3D modeling using NX software and numerical simulation using Abaqus software to analyze and optimize both the forming process and die structure prior to manufacturing. The results confirm the technological feasibility, enabling production of hollow X-shaped joint that satisfy technical specifications and paving the way for broader application in manufacturing complex machine components. This research holds significant practical value, contributing to the development of Vietnam's metal forming industry.

Keywords: Hydroforming, die system, hollow X-shaped joint, die design.

1. GIỚI THIỆU

Trong bối cảnh ngành cơ khí chế tạo đang phát triển mạnh mẽ, gia công bằng áp lực ngày càng khẳng định vị trí then chốt nhờ những ưu điểm vượt trội như khả năng tạo hình các sản phẩm có hình dáng phức tạp, cải thiện cơ tính của vật liệu, năng suất cao và tiết

kiệm đáng kể vật liệu so với các phương pháp gia công cắt gọt truyền thống [1]. Trong đó, công nghệ dập thủy tĩnh (hydroforming) nổi lên như một giải pháp công nghệ tiên tiến, cho phép tạo hình các chi tiết rỗng từ phôi ống với chất lượng bề mặt cao, độ chính xác vượt trội và giảm thiểu thời gian gia công [2].

Mặc dù mang lại nhiều lợi ích, việc ứng dụng rộng rãi công nghệ dập thủy tĩnh vẫn gặp phải không ít thách thức, đặc biệt là trong khâu thiết kế và chế tạo hệ thống khuôn. Các yếu tố then chốt ảnh hưởng đến chất lượng sản phẩm và tuổi thọ khuôn bao gồm: khả năng chịu tải của lòng khuôn (gravur) dưới áp suất thủy tĩnh cao, lực đóng khuôn, lực đẩy phôi, và đặc biệt là vấn đề ma sát giữa bề mặt khuôn và phôi. Để kiểm soát ma sát, ngoài việc sử dụng chất bôi trơn, các lớp phủ bề mặt khuôn (như DLC - Diamond Like Carbon) cũng đang được ứng dụng để giảm lực ma sát, chống dính và nâng cao độ bền mòn, từ đó tăng sản lượng chi tiết trên một bộ khuôn [3-5].

Bài báo trình bày quá trình "Thiết kế và chế tạo hệ thống khuôn dập thủy tĩnh tạo hình khớp nối rồng chữ X trên máy dập vạn năng". Chi tiết khớp nối dạng chữ X là một sản phẩm điển hình trong ngành cơ khí, đòi hỏi độ chính xác về hình dạng và kích thước. Nghiên cứu được thực hiện nhằm mục tiêu phát triển một quy trình công nghệ hoàn chỉnh, từ thiết kế, mô phỏng đến chế tạo thực tế, giúp tối ưu hóa quá trình sản xuất, giảm chi phí và nâng cao năng lực cạnh tranh [6].

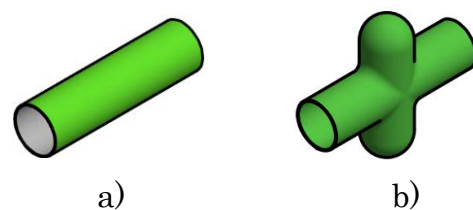
Phương pháp tiếp cận của nghiên cứu kết hợp giữa nền tảng lý thuyết về dập thủy tĩnh và công cụ mô phỏng số bằng phần mềm Abaqus. Bên cạnh đó, mô hình 3D của hệ

thống khuôn và chi tiết được thiết kế trên phần mềm NX, cho phép phân tích, tối ưu hóa kết cấu khuôn và dự đoán các khuyết tật có thể xảy ra trước khi tiến hành chế tạo [7]. Kết quả kỳ vọng của nghiên cứu không chỉ dừng lại ở việc chế tạo thành công chi tiết khớp nối chữ X đáp ứng các yêu cầu kỹ thuật, mà còn góp phần làm phong phú thêm tài liệu nghiên cứu và phát triển công nghệ dập thủy tĩnh trong nước, mở ra hướng ứng dụng rộng rãi cho các chi tiết máy phức tạp khác.

2. ĐỐI TƯỢNG VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Hình dạng hình học của phôi ống, chi tiết khớp nối rồng chữ X và vật liệu Cu

Phôi ống không hàn vật liệu đồng có đường kính $\phi_0 = 22,22$ mm, dài $l_0 = 120$ mm, bề dày thành ống $t_0 = 1,2$ mm (hình 1a) và có cơ tính được trình bày trong Bảng 1. Chi tiết khớp nối rồng chữ X có đường kính vấu $\phi_v = \phi_0 = 22,22$ mm, tỷ lệ biến mỏng thành ống ở đỉnh vấu nhỏ hơn tỷ lệ biến mỏng thành ống giới hạn $[\epsilon] = 30\%$ (Hình 1b).



Hình 1. a) Phôi ống, b) Chi tiết khớp nối rồng chữ X

Bảng 1. Cơ tính của vật liệu Cu

Khối lượng riêng (kg/m ³)	Poisson's ratio	Young's modulus (Gpa)	Giới hạn chảy (MPa)	Giới hạn bền kéo (MPa)	Tỷ lệ giãn dài (%)
7800	0,3	210	57,08	231,09	42,75

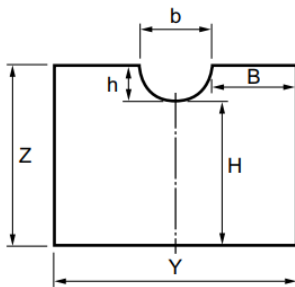
2.2. Thiết kế khuôn

Việc thiết kế khuôn dùng cho quy trình tạo hình thủy tĩnh xuất phát từ tải trọng lớn nhất dự kiến sẽ tác động lên lòng khuôn. Các

hướng dẫn thiết kế cho thân khuôn và các bộ phận chủ động, vốn đã được biết đến trong gia công áp lực thông thường, là bí quyết công nghệ của từng nhà sản xuất khuôn và dựa trên

kiến thức chuyên gia. Các yếu tố ảnh hưởng quyết định đến thiết kế kết cấu, bên cạnh hình dạng chi tiết và các thông số quy trình dự kiến, bao gồm: Số lượng chi tiết dự kiến sản xuất, các chức năng cần thiết theo phương trục, phương bán kính và các chức năng khác, và các điều kiện lắp đặt [6]. Việc định hình kích thước mang tính đặc thù rất cao cho từng bộ phận, về cơ bản khuôn tạo hình thủy lực phải được thiết kế đủ bền với áp suất trong dự kiến, lực đóng khuôn và lực đẩy phôi.

Kích thước lòng khuôn cũng rất quan trọng đối với việc sử dụng khuôn. Chẳng hạn, độ sâu và chiều rộng lòng khuôn đóng vai trò quyết định trong việc định hình kích thước chiều cao và chiều rộng của khuôn. Với các kích thước thiết kế cho chiều cao lõi khuôn (Z) và chiều rộng lõi khuôn (Y) (Hình 2), trong quá trình vận hành với tỷ lệ tối ưu giữa chiều cao và chiều rộng lõi khuôn, các giá trị ứng suất sẽ là nhỏ nhất với kích thước được định hình đủ bền [7]. Việc tăng kích thước lõi khuôn vượt quá các kích thước này, ngay cả khi tuân thủ tỷ lệ hình học, cũng không mang lại thêm lợi ích nào.

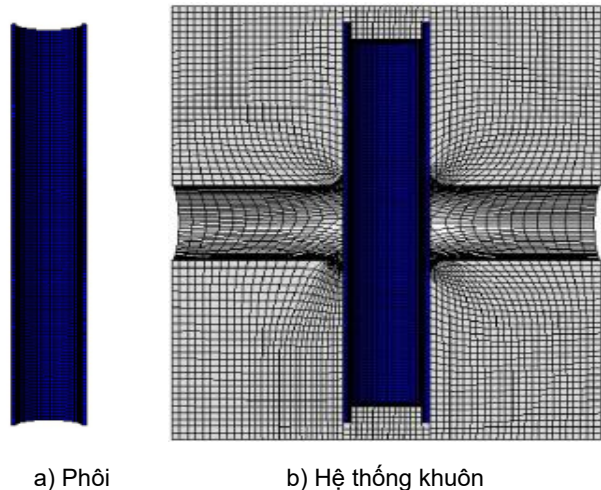


Hình 2. Thông số hình học của lõi khuôn

Xác định chi tiết các thông số hình học như độ dày đáy lõi khuôn $H = 4h$ (mm), độ dày thành lõi khuôn $B = 1,2b$ (mm), chiều cao lõi khuôn $Z = H + h = 5h$ (mm), chiều rộng lõi khuôn $Y = 2B + b = 3,4b$ (mm), bán kính góc lượn $R_f \geq 4t_0$, chọn $R_f = 5$ mm. Trong đó: h là độ sâu lòng khuôn (mm), b là độ rộng lòng khuôn (mm).

2.3. Cài đặt cho mô phỏng số quá trình tạo hình

Lõi khuôn thiết kế có kích thước: chiều dài bằng 120 mm, chiều rộng 110 mm, chiều cao 25 mm, khoang khuôn đặt phôi ống có đường kính bằng đường kính phôi $\phi_0 = 22,22$ mm, khoang khuôn tạo hình hai vấu có đường kính bằng đường kính $\phi_0 = 22,22$ mm, bán kính góc lượn của vùng chuyển tiếp của khuôn $R_f = 5$ mm được mô hình hóa hình học (Hình 3a); phôi ống được mô hình hóa hình học, vật liệu và lưới (Hình 3b) trong phần mềm Abasqus/CAE nhằm mô phỏng đánh giá khả năng tạo hình chi tiết rồng chữ X [4-5].



Hình 3. Các mô hình cài đặt trong Abaqus

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Kết quả mô phỏng

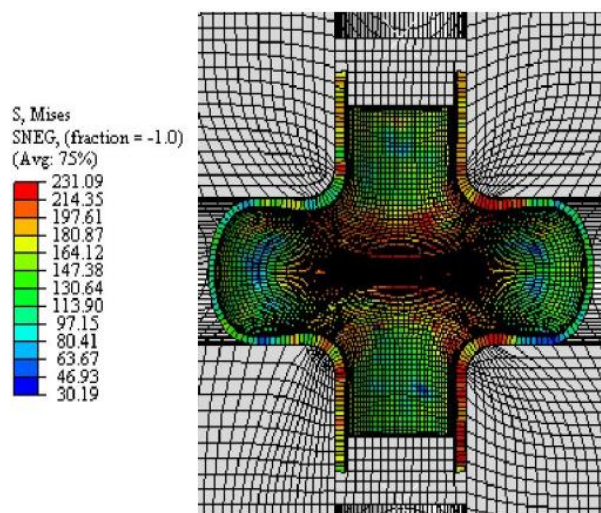
Để dự tính sơ bộ áp suất bên trong lòng ống p_b tại thời điểm xuất hiện dạng hỏng rách trong giai đoạn biến dạng dẻo tự do có thể áp dụng phương trình (1) [8]:

$$P_b = \sigma_U \frac{2 * t_0}{\phi_0 - t_0} \quad (1)$$

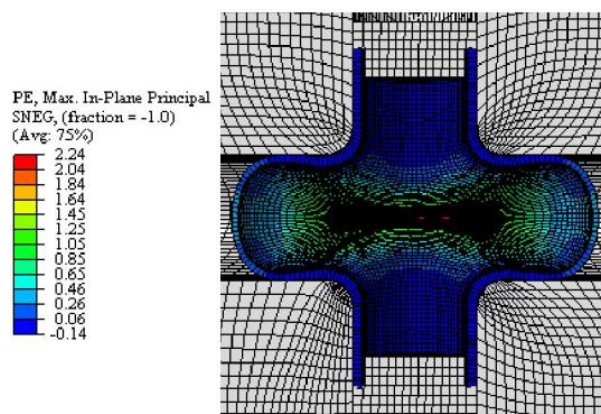
Thay các giá trị của các thông số từ mục 2.1 vào phương trình (1) ta được $P_b = 26,4$ MPa. $P_b = 26,4$ MPa theo đường tải Amp-1 và cấp phôi dọc trục $Af = 30$ mm theo đường tải Amp-2 là hai thông số quá trình được cài đặt

mô phỏng quá trình tạo hình nhằm đánh giá khuôn tạo hình và kết quả tạo hình thông qua bốn tiêu chí như thể hiện trên Hình 4.

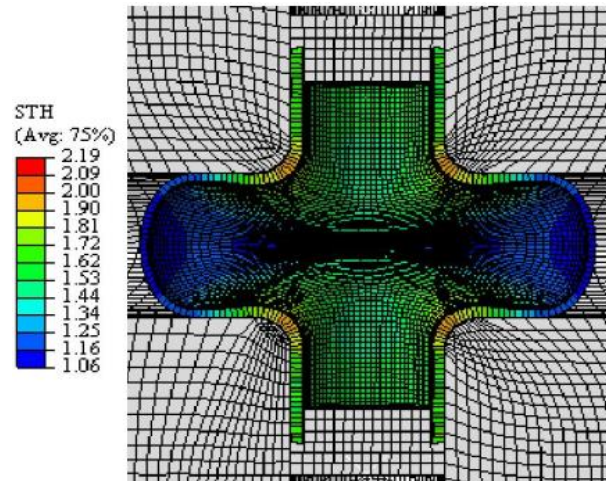
Vùng dẫn hướng, vùng chuyển tiếp và vùng mở rộng có biên dạng bề mặt ngoài của thành ống được tạo hình tốt theo biên dạng của lòng khuôn và bốn tiêu chí đầu ra đều được đảm bảo như ứng suất tạo hình Von Mises $S_{\max} = 231,09$ MPa (Hình 4a), thành phần biến dạng dẻo $PE_{\max} = 2,24$ (Hình 4b), phân bố bề dày thành ống $STH_{\min} = 1,06$ mm (Hình 4c), chiều cao vấu $U1 = 21,71$ mm (Hình 4d). Trên cơ sở dữ liệu thiết kế sơ bộ và kết quả mô phỏng số, có thể kết luận là hình dạng và kích thước của lõi khuôn đạt yêu cầu kỹ thuật và làm cơ sở cho bước thiết kế và chế tạo hệ thống khuôn.



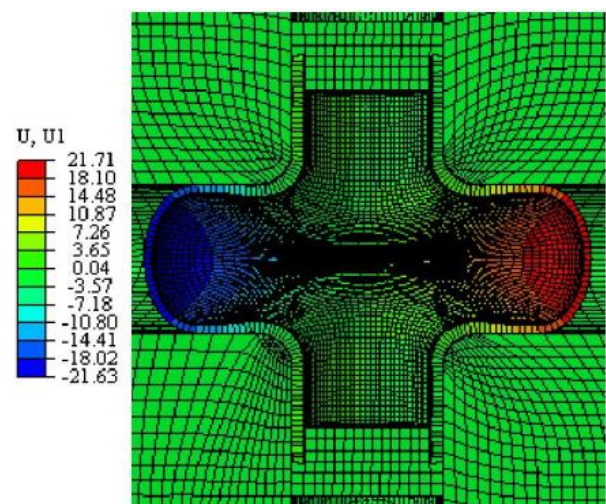
a) Sự phân bố ứng suất Von Mises (S)



b) Sự phân bố thành phần biến dạng dẻo (PE)



c) Sự phân bố bề dày thành ống (STH)



d) Chiều cao vấu tạo hình (U1)

Hình 4. Bốn tiêu chí đánh giá khả năng tạo hình chi tiết khớp nối rộng chữ X với $P_b = 26.4$ MPa, $A_f = 30$ mm

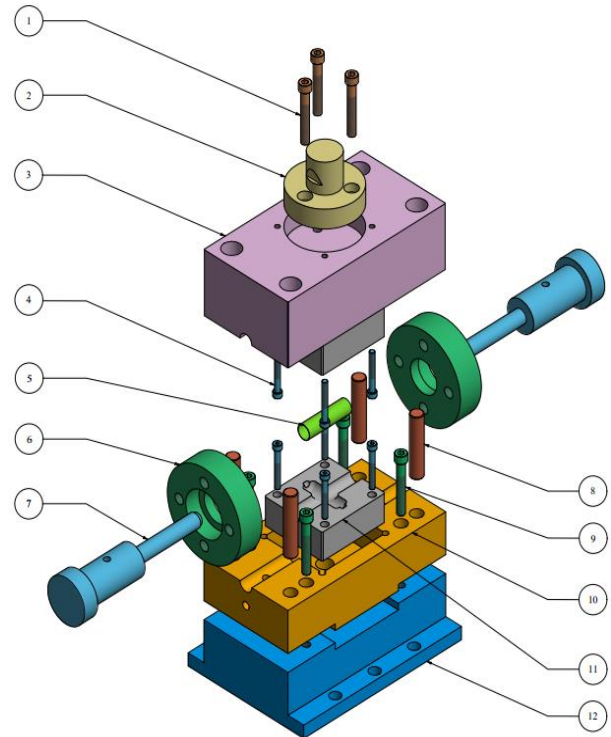
3.2. Thiết kế hệ thống khuôn

Hệ thống khuôn dập thủy tĩnh trên máy dập vạn năng YH-32 được thiết kế trên phần mềm NX như thể hiện trên Hình 5 và các thành phần của hệ thống khuôn được liệt kê trong Bảng 2.

Bảng 2. Các thành phần của hệ thống khuôn

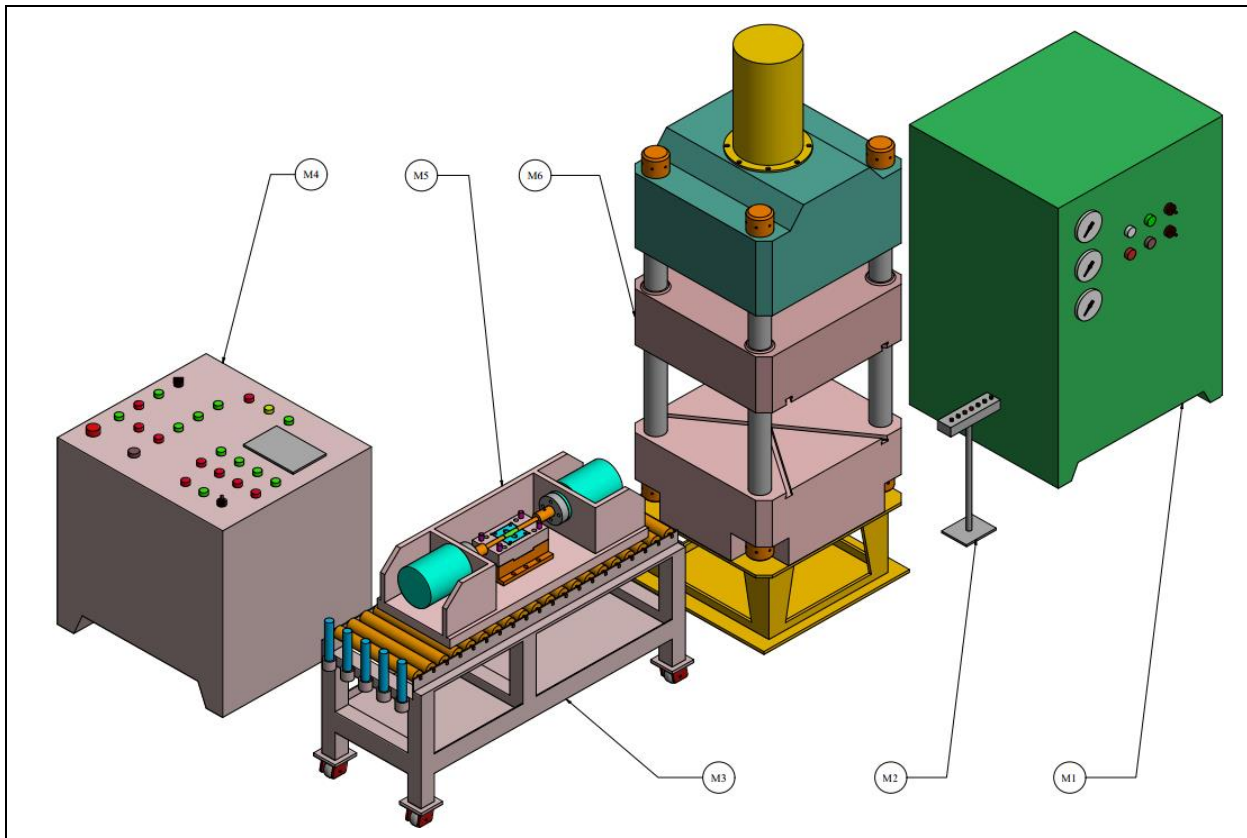
TT	Tên gọi	Số lượng	Vật liệu
1	Bulong lục giác chìm M12×1.75	3	C45

TT	Tên gọi	Số lượng	Vật liệu
2	Chuôi khuôn	1	SKD11 - Nhiệt luyện
3	Nửa khuôn trên	1	SKD11 - Nhiệt luyện
4	Bulông lục giác chìm M12×1,25	8	C45
5	Phôi ống Cu	1	
6	Áo chày	1	SKD11 - Nhiệt luyện
7	Chày	1	SKD11 - Nhiệt luyện
8	Chốt định cỡ	4	
9	Bulông lục giác chìm M12×1.75	4	C45
10	Nửa khuôn dưới	1	SKD11 - Nhiệt luyện
11	Lõi khuôn	2	SKD11 - Nhiệt luyện
12	Đế khuôn	1	SKD11 - Nhiệt luyện



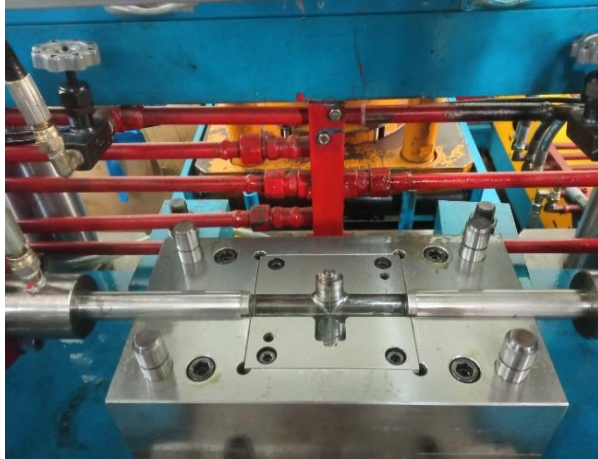
Hình 5. Phân rã hệ thống khuôn dập thủy tĩnh
(các chi tiết đánh số từ 1 tới 12 trong Bảng 2)

3.3. Chế tạo hệ thống khuôn



Hình 6. Mô hình hệ thống khuôn và máy dập vụn năng YH-32

Các thành phần của hệ thống khuôn (Bảng 2) đã được chế tạo và lắp ghép trên máy dập vụn năng YH-32, nhằm chuẩn bị cho bước thực nghiệm.



Hình 7. Lắp đặt hệ thống khuôn

4. KẾT LUẬN

Nhóm tác giả đã nghiên cứu thiết kế và chế tạo hệ thống khuôn dập thủy tĩnh tạo hình

khớp nối rồng chữ X trên máy dập vụn năng YH-32 thành công trên cơ sở các dữ liệu thiết kế và đánh giá bằng mô phỏng số trên phần mềm Abaqus/CAE. Lõi khuôn đã được tính toán và thiết kế trên phần mềm NX, cài đặt mô phỏng số 3D và mô phỏng thành công quá trình dập tạo hình với hai thông số quá trình quan trọng nhất $P_b = 26,4$ MPa theo đường tải Amp-1 và cấp phôi dọc trục $A_f = 30$ mm theo đường tải Amp-2 và 4 tiêu chí đầu ra chính. Việc hiểu rõ về thiết kế khuôn và tối ưu hóa nhờ các phần mềm thiết kế và mô phỏng số giúp đánh giá khuôn và khả năng tạo hình các sản phẩm không bị lỗi, nâng cao chất lượng sản phẩm, cải thiện hiệu quả quy trình sản xuất. Kết quả nghiên cứu được dùng làm tài liệu tham khảo cho công tác giảng dạy, nghiên cứu khoa học, thực nghiệm kiểm chứng trong tạo hình thủy lực ống.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Phạm Văn Nghệ, “Công nghệ dập thủy tĩnh”, NXB Bách khoa Hà Nội, tr 235 - 258, (2006).
- [2] Phạm Văn Nghệ, “Thiết bị dập tạo hình - Máy ép cơ khí”, NXB Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội, tr 228 - 239, (2011).
- [3] Nguyễn Đắc Trung, Lê Thái Hùng, Nguyễn Như Huỳnh, Nguyễn Trung Kiên, “Mô phỏng số quá trình biến dạng”, NXB Bách khoa Hà Nội, tr 12 - 19, (2011).
- [4] Abaqus/Explicit 3DEXPERIENCE R2019X, Dassault Systemes SIMULIA Corp. 1301 Atwood Avenue, Suite 101W Johnston, RI 02919, USA, (2019).
- [5] NX 2022, Werner-von-Siemens-Straße 1, München, Bavaria, Germany.
- [6] Reimund Neugebauer, “Hydro-umformung”, Springer Berlin, Heidelberg, tr 184 - 190, (2007).
- [7] Colin Bell, Jonathan Corney, Nicola Zuelli, and David Savings, “A state of the art review of hydroforming technology: Its applications, research areas, history, and future in manufacturing”, International Journal of Material Forming, Vol.13 - No.5, tr 789 - 828, (2020).
- [8] Koç, M., “Hydroforming for advanced manufacturing”, 1st edn, Woodhead Publishing Limited, Cambridge England, tr 52 - 76, (2008).

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.

