NGHIÊN CỨU MÔ PHỎNG VÀ ĐÁNH GIÁ CÁC THÔNG SỐ QUÁ TRÌNH UỐN ỐNG KIM LOẠI CT38 TRÊN PHẦN MỀM SOLIDWORKS

SIMULATION RESEARCH AND EVALUATION OF PARAMETERS OF CT38 METAL PIPE BENDING PROCESS ON SOLIDWORKS SOFTWARE

Vũ Đức Quang, Nguyễn Thế Đông, Vũ Trọng Tuấn, Nguyễn Đức Hưng, Đinh Trường Ninh

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

Đến Tòa soạn ngày 18/11/2024, chấp nhận đăng ngày 09/02/2025

Tóm tắt: Uốn ống là một quá trình gia công quan trọng trong chế tạo, thường gặp trong các ngành sản xuất ô tô, hàng không, và hệ thống dẫn chất lỏng, chất khí... Nghiên cứu này tập trung vào việc xây dựng mô hình 3D của thiết bị uốn ống và quá trình uốn ống bằng con đội, thông qua công cụ mô phỏng tích hợp trong SolidWorks, để phân tích quá trình tạo hình uốn ống thép CT38 với các góc uốn khác nhau. Bài báo cũng nêu bật các yếu tố ảnh hưởng đến khả năng tạo hình uốn ống như bán kính cong, độ dày ống, vật liệu phôi, đàn hồi ngược. Qua các bước mô phỏng, có thể dự đoán được các vấn đề tiềm ẩn lỗi tạo hình như biến dạng quá mức hoặc mất ổn định hình dạng, từ đó tối ưu hóa thiết kế trước khi sản xuất thực tế. Kết quả nghiên cứu có thể được dùng làm tài liệu tham khảo chuyên ngành khi uốn góc chi tiết ống với các ống kim loại khác nhau, góp phần đáng kể vào việc giảm chi phí sản xuất và cải thiện chất lượng sản phẩm.

Từ khóa: Mô hình 3D, solidworks simulation, uốn ống thép CT38, tối ưu hóa thiết kế.

Abstract: Pipe bending is an important machining process in manufacturing, commonly encountered in the automobile, aviation, and fluid and gas pipeline industries, etc. This study focuses on constructing a 3D model of the pipe bending equipment and the pipe bending process with a jack, through the simulation tool integrated in SolidWorks, to analyze the CT38 steel pipe bending forming process with different bending angles. In addition, the paper also highlights the factors affecting the pipe bending forming ability such as curvature radius, pipe thickness, workpiece material, and inverse elasticity. Through the simulation steps, we can predict potential forming errors such as excessive deformation or shape instability, thereby optimizing the design before actual production. The research results can be used as a professional reference when bending the corner of pipe parts with different metal pipes, contributing significantly to reducing production costs and improving product quality.

Keywords: 3D modeling, solidworks simulation, CT38 steel pipe bending, design optimization

1. GIỚI THIỆU

Trong sản xuất công nghiệp, quá trình uốn ống là một công đoạn quan trọng, đòi hỏi độ chính xác cao để đảm bảo chất lượng và tính đồng nhất của sản phẩm, đóng vai trò quan trọng trong nhiều lĩnh vực như chế tạo ô tô, hàng không, xây dựng, dầu khí… [1]. Việc mô phỏng quá trình này không chỉ giúp cải thiện chất lượng sản phẩm mà còn tối ưu hóa thiết kế và giảm chi phí sản xuất [2, 3]. SolidWorks, với các công cụ mô phỏng mạnh mẽ, đặc biệt là module Simulation, cho phép các kỹ sư dự đoán biến dạng, ứng suất và các yếu tố khác trong quá trình gia công, từ đó đưa ra các giải

pháp thiết kế hiệu quả [4].

Ứng dụng các phần mềm thiết kế và mô phỏng như SolidWorks mang lại lợi thế lớn trong việc tối ưu hóa thiết kế, phân tích cơ học, và giảm thiểu chi phí thử nghiệm thực tế [3, 4]. SolidWorks Simulation đặc biệt hữu ích nhờ khả năng phân tích chi tiết ứng suất, biến dạng và các yếu tố động học trong các bài toán kỹ thuật phức tạp [2, 3].

Ngoài ra, mô phỏng còn giúp trực quan hóa quá trình vận hành và cung cấp các đánh giá chính xác về thiết kế. Các công cụ của SolidWorks như Static Simulation đã chứng minh hiệu quả trong mô phỏng các bộ phận chịu tải, đặc biệt là trong chế tạo các chi tiết uốn phức tạp [3]. Việc ứng dụng SolidWorks trong mô phỏng quá trình uốn ống không chỉ mang lại giá trị trong nghiên cứu mà còn góp phần nâng cao năng suất và hiệu quả trong sản xuất thực tiễn [2, 3]. Bên cạnh SolidWorks, các nghiên cứu trước đây cũng đã ứng dụng phần mềm tương tự như Pro/Engineer, Ansys Software trong mô phỏng quá trình uốn, tạo nền tảng cho việc phát triển và cải tiến các công cụ mô phỏng hiện đại [4, 5].

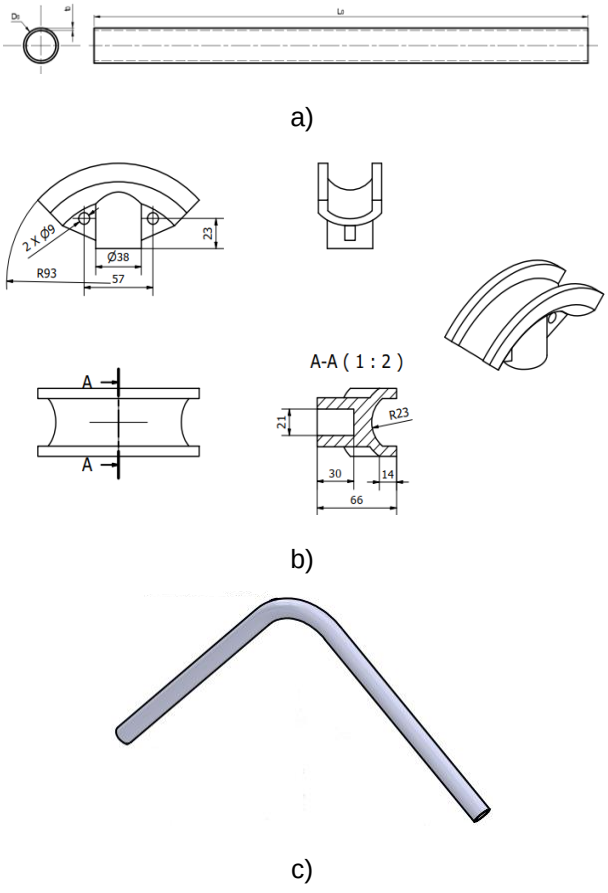
Nghiên cứu này sẽ tập trung thảo luận về mô hình 3D và mô phỏng quá trình uốn ống kim loại thông qua các tiêu chí như biến dạng hình học của ống, đàn hồi ngược, hành trình của xilanh, lực uốn, ứng suất và biến dạng của quá trình uốn ống bằng con đội và các con lăn trên cơ sở mô phỏng 3D bằng phần mềm SolidWorks [3]. Từ đó phân tích kết quả, cũng như dự đoán hành vi biến dạng đàn – dẻo của phôi ống kim loại, nêu bật các ứng dụng tiềm năng của nghiên cứu này như giúp tối ưu hóa các thông số công cụ và quy trình, tiết kiệm chi phí, chất lượng bộ phận tốt hơn, giảm phế liệu và nâng cao hiệu quả, các kiểu biến dạng cục bộ, nồng độ ứng suất và các điểm hư hỏng tiềm ẩn… trong các mục tiếp theo sau.

2. ĐỐI TƯỢNG VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

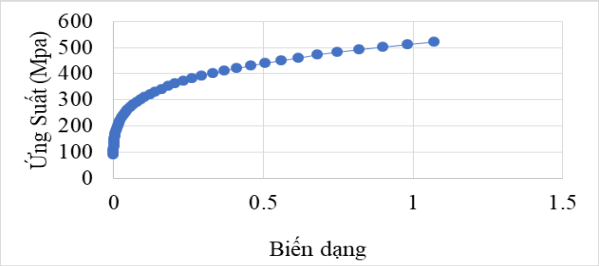
2.1. Đối tượng nghiên cứu

Đối tượng nghiên cứu của bài báo là quá trình uốn ống kim loại trong các ứng dụng công nghiệp, nơi cần đảm bảo tính chính xác của hình dạng ống sau khi uốn và tránh các hiện tượng lỗi chi tiết như nứt, gãy hoặc biến dạng không mong muốn. Quá trình này đặc biệt quan trọng trong ngành dầu khí và chế tạo máy.

Các thông số hình học của phôi ống, con đội, và chi tiết ống được thể hiện trong hình 1. Đường kính phôi ống D_0 = 22, chiều dày phôi ống t_0 = 2.5 mm, chiều dài phôi ống L_0 = 800 mm. Biểu đồ ứng suất - biến dạng vật liệu CT38 của phôi được thể hiện trên hình 2.



Hình 1. Phôi ống, con đội, và chi tiết ống với góc uốn 90^o



Hình 2. Biểu đồ ứng suất – biến dạng của vật liệu thép CT38

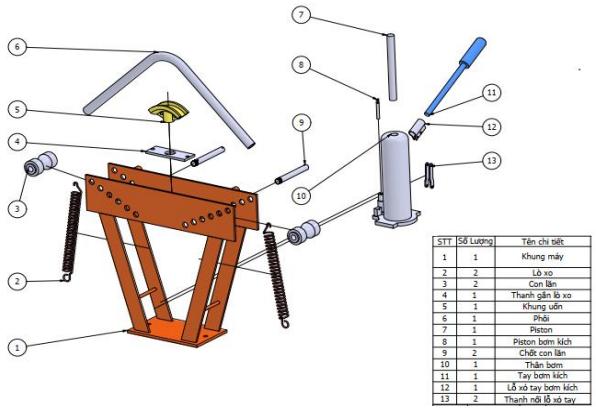
2.2. Mô hình 3D máy uốn con đội

Sử dụng dữ liệu kích thước và vật liệu của các bộ phận cấu thành lên máy uốn ống, phôi ống, và chi tiết ống để xây dựng mô hình 3D trên phần mềm SolidWorks (hình 3) [3]. Các đặc tính như độ dày, đường kính và loại vật liệu được nhập vào phần mềm để mô phỏng chính xác.

2.3. Mô phỏng quá trình uốn ống

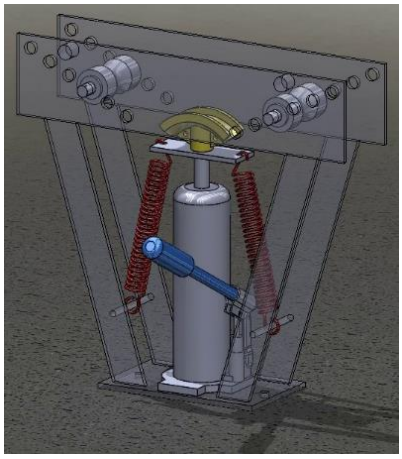
Áp dụng SolidWorks Simulation để mô phỏng lực tác động, bán kính uốn, và các yếu tố ảnh hưởng đến độ cong của ống (hình 4). Phân tích phân bố ứng suất, biến dạng và bán kính uốn tối ưu nhằm đảm bảo chất lượng sản phẩm.

Giai đoạn thiết lập trước khi bắt đầu quá trình uốn: Tình trạng ban đầu của ống, các thông số như đường kính, chiều dài, và chất liệu được xác định (hình 3b). Các bước tạo hình uốn ống theo các góc uốn khác nhau được trình bày trên hình.



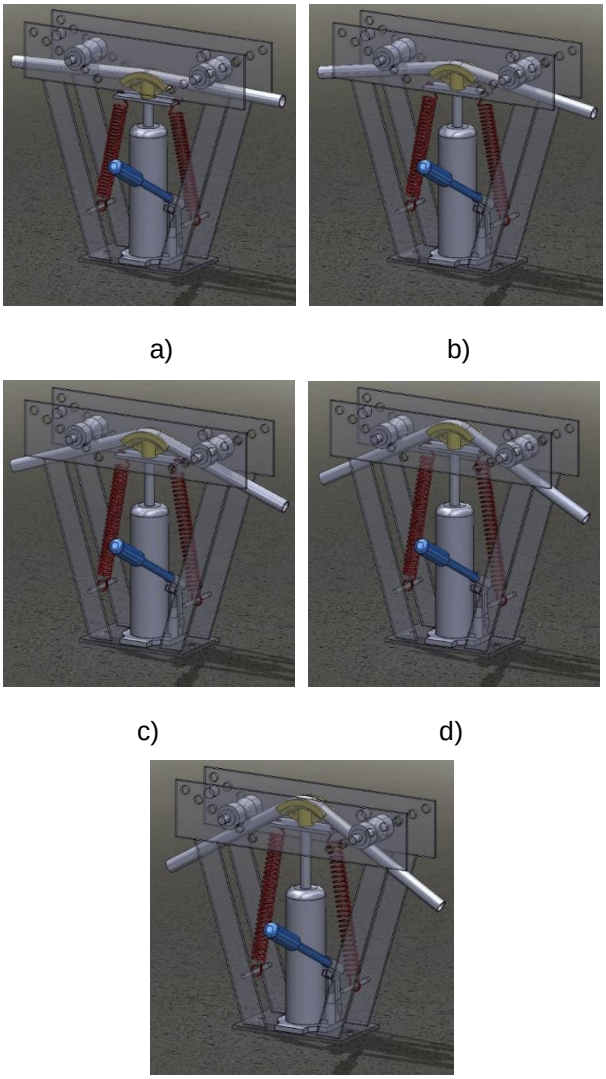
STT	Số Lượng	Tên chi tiết
1	1	Khung máy
2	2	Lò xo
3	2	Con lăn
4	1	Thanh giằn lò xo
5	1	Khung uốn
6	1	Phôi
7	1	Piston
8	1	Piston bơm kích
9	2	Chốt con lăn
10	1	Thân bơm
11	1	Tay bơm kích
12	1	Lỗ xỏ tay bơm kích
13	2	Thanh nối lỗ xỏ tay

a)



b)

Hình 3. Mô hình 3D: a) Bản vẽ phân rã; b) Mô hình máy uốn



a) b) c) d) e)

Hình 4. Các bước mô phỏng uốn ống

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Sau khi thực hiện mô phỏng quá trình uốn ống trên phần mềm SolidWorks, các kết quả thu được như biến dạng hình học của ống, ứng suất và biến dạng lớn nhất, và kiểm tra độ chính xác mô phỏng được phân tích và thảo luận.

3.1. Biến dạng hình học của ống

Mô hình 3D mô phỏng cho thấy sự thay đổi hình dạng của ống khi chịu lực uốn như thể hiện trên hình 4. Vị trí gần điểm tiếp xúc với khuôn chịu biến dạng nhiều nhất, trong khi các phần xa hơn ít bị ảnh hưởng hơn.

Giai đoạn đầu của quá trình uốn (hình 4a). Ống bắt đầu tiếp xúc với khuôn uốn và con lăn. Có thể quan sát sự thay đổi nhỏ trong hình dạng, ứng suất bắt đầu hình thành.

Độ uốn rõ rệt hơn (hình 4b). Khu vực tiếp xúc có thể thấy rõ lực tác động. Ứng suất và biến dạng trong ống được phân bổ chủ yếu ở vị trí uốn.

Ống đạt đến điểm giữa của quá trình uốn (hình 4c). Độ cong gần đạt trạng thái mong muốn, kiểm tra có thể tập trung vào điểm ứng suất cao để đảm bảo không xảy ra gãy nứt.

Ống gần đạt hình dạng cuối cùng (hình 4d). Kiểm tra sự ổn định hình dạng ống và độ chính xác của góc uốn. Các chi tiết nhỏ như bán kính cong, độ tròn của ống, góc uốn được hiệu chỉnh trong giai đoạn này.

Kết thúc quá trình uốn (hình 4e). Đánh giá hình dạng cuối cùng và đối chiếu với thiết kế ban đầu để kiểm tra độ chính xác.

3.2. Đàn hồi ngược và hành trình của xilanh

Uốn ống là quá trình làm biến dạng dẻo kim loại, ứng suất tạo hình vượt qua ứng suất chảy của vật liệu. Biến dạng đàn hồi có khả năng khôi phục lại một phần hình dạng ban đầu khi chưa có hoặc không còn lực tác dụng vào phôi, do đó hiện tượng đàn hồi ngược này gây sai lệch về góc uốn và bán kính uốn của chi tiết được tạo hình. Để tạo hình chính xác hình dạng của chi tiết, góc uốn và bán kính uốn cần được điều chỉnh phù hợp để bù trừ lượng đàn hồi ngược. Bằng thực nghiệm, mô phỏng số, các nhà nghiên cứu đã xác định trị số đàn hồi phụ thuộc chủ yếu vào loại vật liệu, chiều dày, hình dạng hình học chi tiết uốn, bán kính uốn tương đối r/S, lực uốn, và phương pháp uốn [6].

Hiện tượng đàn hồi ngược được biểu hiện bằng sự thay đổi của góc uốn, để đạt được góc uốn α, khuôn tạo hình uốn góc α_0 (hình 5), từ đó góc đàn hồi được biểu thị bằng
$\varphi = \alpha_o - \alpha$.

Góc đàn hồi ngược của chi tiết ống nghiên cứu sau khi thôi tác dụng lực uốn $\varphi = \alpha_0 - \alpha$, có thể được xác định theo phương trình (1) [1]:

$$\text{Tan}\,\varphi = 0.1875 * \frac{L * \sigma_\gamma}{k * t_0 * E}$$

$$= 0.1875 * \frac{357 * 250}{1 * 25 * 210000} = 0.03187 \qquad (1)$$

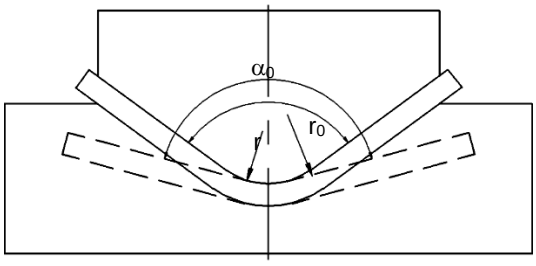
$$\rightarrow \varphi = 1826^o$$

Trong đó: φ - Góc đàn hồi ngược (^{o}); α_0 - Góc uốn thiết kế (^{o}); α - Góc uốn thực tế (^{o}), k - Hệ số xác định vị trí lớp trung hòa; σ_y - Giới hạn chảy của vật liệu (Mpa) - vật liệu CT38 có σ_y = 250 Mpa; t_0 - chiều dày phôi uốn tại điểm uốn (mm); $L = TT_1 + TT_2 = 2TT_1$: Khoảng cách giữa 2 gối tựa (mm); E- Môđun đàn hồi của vật liệu (Mpa), vật liệu CT38 có E = 210000 MPa.

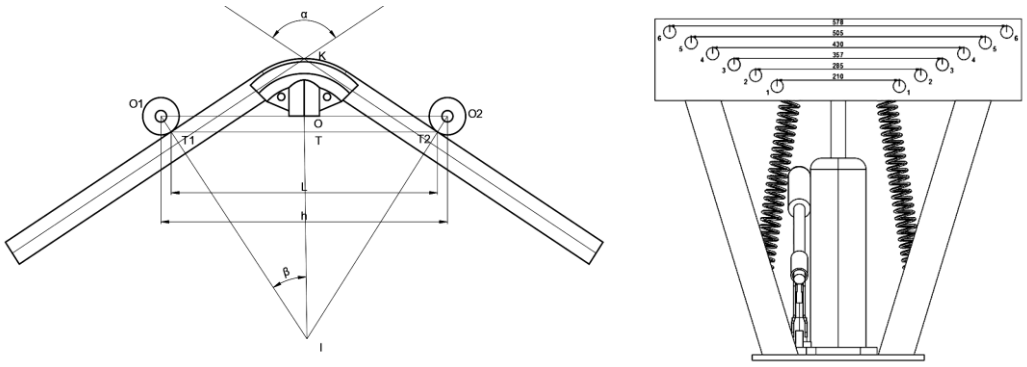
Dựa vào sơ đồ hình học thiết bị uốn ống hình 6, ta có thể xác định được hành trình của xilanh dựa vào góc uốn α. Kích thước đoạn

TK chính là hành trình xilanh khi thực hiện uốn góc α, được tính theo phương trình (2), và kết quả được thể hiện trong bảng 1.

$$\text{Tan}\left(\frac{\alpha}{2}\right)=\frac{TT_1}{TK}\rightarrow TK=\frac{TT_1}{\tan\left(\frac{\alpha}{2}\right)} \qquad (2)$$



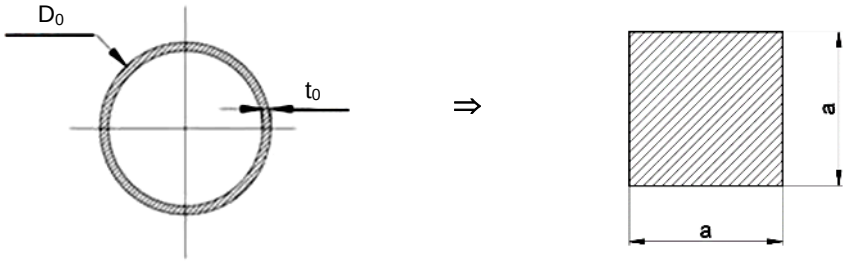
Hình 5. Mô tả hiện tượng đàn hồi ngược sau khi uốn của vật liệu



Hình 6. Sơ đồ hình học thiết bị uốn ống

Bảng 1. Hành trình xilanh nhằm tạo hình các góc uốn 90^0, 120^0, và 150^0

Góc uốn thiết kế α_0 (^{0})	Góc uốn thực tế $\alpha = (\alpha_0 - \varphi)$ (^{0})	TT_1 = L / 2 = "3 – 3" / 2 (mm)	Hành trình xilanh TK (mm)
90	88.18	357 / 2	184.26
120	118.18	357 / 2	106.87
150	148.18	357 / 2	50.88



Hình 7. Tiết diện vành khăn quy đổi qua tiết diện hình vuông

Bảng 2. Bảng giá trị lực uốn cần thiết được cung cấp từ kích thủy lực

Góc uốn thiết kế α_0 (^{0})	Góc uốn thực tế $\alpha = (\alpha_0 - \varphi)$ (^{0})	Lực uốn cần thiết F_u (N)
90	88.18	16650.5
120	118.18	16154.7
150	148.18	15696.6

3.3. Lực uốn, ứng suất và biến dạng

Lực uốn tạo hình thông qua khuôn bao gồm lực uốn tự do và lực uốn là phẳng vật liệu. Trong trường hợp uốn ống thông qua con đội uốn mà không dùng cối uốn, do đó lực là phẳng vật liệu sẽ được bỏ qua, và chỉ còn lại lực uốn tự do.

Mômen chống uốn là đại lượng đặc trưng cho khả năng kháng uốn của vật liệu khi có lực tác động. Phôi uốn có mặt cắt khác nhau thì mômen quán tính sẽ khác nhau, nhưng mômen kháng uốn là đại lượng tiên quyết quyết định đến lực uốn của thiết bị.

Lực uốn tự do có thể xác định theo phương trình (3) [1]:

$$F_u = 1.1 * \frac{B * S^2}{L} * \sigma_b = 1.1 * \frac{D_0 * t_0^2}{L} * \sigma_b = 1.1 * \frac{a^2}{L} * \sigma_b \quad (3)$$

trong đó: L: khoảng cách giữa 2 điểm tựa (mm); a: kích thước quy đổi về tiết diện mặt cắt ngang hình vuông (mm) (hình 7); σ_b: giới hạn bền của vật liệu (MPa); B = D_0: bề rộng phôi uốn tại điểm uốn (mm) (hình 7); S = t_0: bề dày phôi uốn tại điểm uốn (mm) (hình 7).

Ứng suất lớn nhất tập trung ở vùng uốn cong, với giá trị tối đa không vượt quá giới hạn bền của vật liệu để đảm bảo ống bị biến dạng dẻo mà không bị phá hủy trong quá trình tạo hình uốn. Dữ liệu mô phỏng 3D cho phép xác định điểm tối ưu để kiểm soát lực tác động (được trình bày trong bảng 2), giảm thiểu ứng suất dư.

Việc sử dụng phần mềm SolidWorks giúp tối ưu hóa thiết kế máy, khuôn uốn, giảm thiểu chi phí thử nghiệm thực tế. Tuy nhiên, hạn chế của mô phỏng là chưa tính đến một số thông số như nhiệt độ, ma sát, hóa biến dạng sau nhiều lần uốn. Do đó, cần tiếp tục nghiên cứu và kết hợp với thực nghiệm để nâng cao độ chính xác và tính ứng dụng của mô hình.

4. KẾT LUẬN

Quá trình mô phỏng 3D uốn ống trên phần mềm SolidWorks đã cung cấp cái nhìn chi tiết và hiệu quả theo mô hình 3D máy uốn, mô phỏng quá trình uốn ống CT38, biến dạng hình học của ống, đàn hồi ngược và hành trình của xilanh, lực uốn, ứng suất và biến dạng tạo hình. Các kết quả nghiên cứu khi hai con lăn 3 được gá đặt tại vị trí "3 – 3" trên mô hình máy uốn bao gồm:

- Các góc uốn ống thiết kế 90^o, 120^o, và 150^o đã được nghiên cứu và thảo luận để tìm ra các góc uốn thực tế tương ứng 88.18^o, 118.18^o, và 148.18^o.
- Hành trình xilanh TK theo các góc uốn thực tế tương ứng: 184.26 mm, 106.87 mm, và 50.88 mm.
- Lực uốn cần thiết F_u theo các góc uốn thực tế tương ứng: 16650.5 N, 16154.7 N, và 15696.6 N.
- Ứng suất và biến dạng tạo hình nằm trong giới hạn an toàn theo tính chất của vật liệu nghiên cứu.

Kết quả của bài báo có thể được dùng làm tài liệu tham khảo chuyên ngành cơ khí gia công áp lực với các ống kim loại vật liệu khác nhau, góp phần đáng kể vào việc nghiên cứu thiết kế, giảm chi phí và thời gian, và cải thiện chất lượng sản phẩm.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Phạm Văn Nghệ, Đỗ Văn Phúc, Lê Trung Kiên, Thiết bị dập tạo hình - Máy ép cơ khí, trang 204 – 209, Nhà Xuất Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội, (2011).

[2] Phạm Quang Huy, Giáo trình thiết kế cơ khí với solidworks, trang 1-420, Nhà xuất bản Thanh niên, Hà Nội, (2019).

[3] Manual Solidworks, Dassault Systèmes, SOLIDWORKS, (2024).

[4] Trần Công Truyền, Đinh Minh Diệm, Nghiên cứu mô phỏng máy uốn trên phần mềm Pro - Engineer, tuyển tập báo cáo hội nghị sinh viên nghiên cứu khoa học lần thứ 7 - Đại học Đà Nẵng, trang 44 – 48, (2010).

[5] Arun Kumar Sao, Roopesh Sinha, Pankaj Sharma, Kailash Kumar Markam, Kaushilya Sahu, Krishna Agrawal, Kulendri Mourya & Lachchhmani Baghel. Analysis and Simulation of Pipe Bending Machine in Ansys Software, International Journal of Latest Engineering And Multidisciplinary Research, Volume 1, Issue 1, pp 77-100, (2022).

[6] William F. Hosford, University of Michigan, Ann Arbor, Robert M. Caddell, Metal Forming: Mechanics and Metallurgy, trang 195-206, Cambridge University Press, England, (2007)

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.