

KHẢO SÁT ẢNH HƯỞNG CỦA TỈ SỐ D/t VÀ LỖ ĐẾN QUÁ TRÌNH UỐN ỐNG BẰNG PHƯƠNG PHÁP PHẦN TỬ HỮU HẠN

Nguyễn Vũ Lực *

Tóm tắt

Trong phạm vi bài báo này, tác giả tiến hành mô phỏng quá trình biến dạng dẻo của ống kim loại bằng phương pháp phần tử hữu hạn, thông qua chương trình ANSYS. Mô hình phần tử hữu hạn được xây dựng dựa trên máy uốn ống thủ công đang hoạt động tại Công ty TNHH Nguyễn Trinh, tỉnh Trà Vinh. Quá trình mô phỏng tập trung vào khảo sát ảnh hưởng của tỉ số D/t (Đường kính ống/Chiều dày ống) đến một vài dạng hư hỏng phổ biến trong quá trình gia công và đề xuất những giải pháp để hạn chế, khắc phục các dạng hư hỏng này.

Abstract

In this article, the researcher emulated plastic distorting process of metal pipe by finite element method through ANSYS program. Based on handicraft bending machines being operated at Nguyen Trinh, Ltd., in Tra Vinh province, the finite element model was established. The distorting process focused on surveying the effects of D/t ratio (pipe diameter/ pipe length) to some of common damaged in the process, and proposing some solutions to reduce and remedy these damaged.

1. Giới thiệu

Chi tiết ống đã qua gia công biến dạng dẻo được sử dụng nhiều trong các thiết bị, vật dụng phục vụ trong nhiều lĩnh vực khác nhau. Để gia công chi tiết ống, có rất nhiều phương pháp: uốn, kéo, cán, đập... Người ta phân ra hai loại chủ yếu: gia công tạo hình nóng và gia công nguội. Phương pháp uốn nguội được sử dụng phổ biến để gia công ống kim loại, tạo ra hình dáng chi tiết mong muốn phục vụ cho từng lĩnh vực cụ thể. Ba phương pháp uốn sau đây được sử dụng phổ biến nhất: uốn quay, uốn ép và uốn trên máy 3 trục. Hiện nay, phương pháp uốn quay được sử dụng rất phổ biến ở các tỉnh miền Tây Nam Bộ để sản xuất các mặt hàng gia dụng. Các nhà chế tạo máy ở Việt Nam đã tạo ra một loại thiết bị uốn ống thủ công nhằm đáp ứng nhu cầu cho thị trường địa phương. Tuy nhiên, qua khảo sát tại Công ty TNHH Nguyễn Trinh (tỉnh Trà Vinh), tác giả nhận thấy khi sử dụng loại thiết bị này thì khâu thực nghiệm tăng rất nhiều, dẫn đến hàng loạt phế phẩm. Do đó, cần có sự tính toán lại các nhân tố ảnh hưởng trong quá trình gia công biến dạng dẻo để giảm số lần thực nghiệm, tiết kiệm chi phí vật liệu, rút ngắn thời gian hoàn thành sản phẩm như mong muốn.

Đã có khá nhiều nghiên cứu trên thế giới về vấn đề này, cho thấy rất nhiều nguyên nhân dẫn đến hư hỏng khi gia công: sự tiếp xúc với puly uốn trong quá trình uốn gây nên hiện tượng nhăn của bề mặt ống, làm hạn chế góc uốn và chất lượng bề mặt của chi tiết gia công [1]; ứng xử khác nhau của ống kim loại có đường kính lớn với góc uốn nhỏ, ống có đường kính lớn với chiều dày nhỏ [2]; ảnh hưởng của ma sát trong quá trình gia công biến dạng dẻo ống kim loại trên máy uốn bán tự động [3].

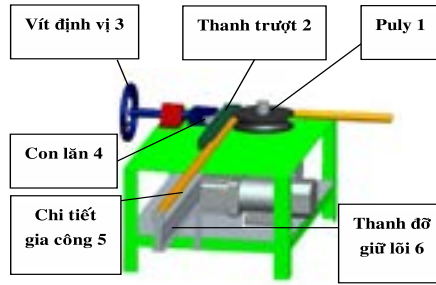
Các nghiên cứu trên cũng chỉ ra nhiều biện pháp để hạn chế các hư hỏng như: tính toán khắc phục theo phương pháp năng lượng [1]; đưa ra phương pháp uốn ống mới dựa trên cơ sở phương pháp uốn quay có lỗi [4].

Mặc dù vậy, đặc thù của máy uốn thủ công khác hẳn các loại máy được đề cập đến trong các nghiên cứu trên, thực tế sản xuất tại Công ty TNHH Nguyễn Trinh cho thấy loại máy này thường gây ra hai dạng hư hỏng chính là bị móp mặt ngoài hay nhăn mặt trong (Hình 4). Để tìm hiểu và khắc phục tình trạng trên, tác giả đã tiến hành mô phỏng quá trình gia công bằng phần mềm ANSYS. Trong phạm vi bài báo này, chúng tôi trình bày các ảnh hưởng của tỉ số D/t (đường kính ống/ chiều dày ống) đến hai dạng hư hỏng trên.

2. Mô hình tính toán

2.1. Mô hình thực tế

Mô hình máy uốn thủ công có thể xây dựng lại như sau:



Hình 1. Mô hình máy uốn ống thủ công

Ở đây các tác giả chỉ khảo sát bộ phận chính để gia công biến dạng dẻo, bao gồm: puly, thanh trượt, khuôn ép. (Hình 3)



Hình 2. Bộ phận chính của máy uốn thủ công



Hình 3. Các chi tiết của bộ phận uốn

Nguyên lý làm việc của máy uốn ống thủ công: đưa ống cần gia công vào máy, ống được định vị bằng puly uốn 1 và thanh trượt 2, trên puly có bố trí thanh trượt ngăn để giữ đầu ống gia công. Xiết chặt bằng vít 3. Phía sau đầu vít 3 có bố trí hai con lăn 4, con lăn này tì vào thanh trượt 2 đóng vai trò định vị cho vật gia công 5. Khi gia công: puly 1 quay theo chiều kim đồng hồ, kéo ống quay theo nhờ thanh trượt ngăn lắp cố định trên puly. Thanh trượt 2 luôn tì vào nửa ngoài của vật gia công. Ống sẽ biến dạng theo bán kính quay của puly 1. Tuy nhiên, quá trình biến dạng ống sẽ bị thay đổi đường kính bên trong, dẫn đến bị bóp ở mặt trên hay nhả ở mặt dưới như trong Hình 4, người ta đặt lõi 6 bên trong ống để nong lại đường kính của ống, đồng thời sửa vết nhăn tại vị trí uốn cong.



Hình 4. Các hư hỏng thường gặp khi gia công

2.2. Mô hình phần tử hữu hạn cho bài toán uốn ống

2.2.1. Cơ sở lý thuyết

Phương trình chi phối tổng quát của phương pháp phần tử hữu hạn có thể thu được từ nguyên lý công ảo [5]:

$$\int_V \sigma_{ij} \delta \epsilon_{ij} dV = \int_A T_i \delta u_i dA + \int_V q_i \delta u_i dV \quad (1)$$

Ở đây δu_i và $\delta \epsilon_{ij}$ tương ứng là các gia số chuyển vị ảo và gia số biến dạng ảo, chúng tạo

thành tập hợp tương thích của biến dạng; T_i và q_i tương ứng là áp lực bề mặt và lực thể tích; δ_{ij} với T_i và q_i tạo thành tập hợp cân bằng. Trong bài toán phi tuyến, phương trình chủ đạo là phương trình phi tuyến của biến dạng:

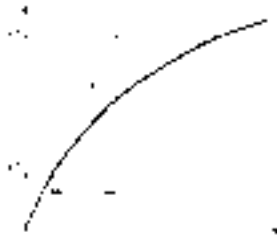
$$[K]\{u\} = \{F^a\} \tag{2}$$

Phương trình (2) có thể được viết lại:

$$[K_i^T]\{\Delta u_i\} = \{F^a\} - \{F_i^{nr}\} \tag{3}$$

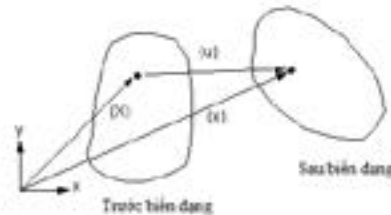
$$\{u_{i+1}\} = \{u_i\} + \{\Delta u_i\} \tag{4}$$

Phương trình (3) được giải nhờ giải thuật Newton-Rhapson.



Hình 5. Giải thuật Newton-Rhapson

Trong quá trình gia công biến dạng dẻo, ống bị uốn cong và có độ thay đổi hình dạng rất lớn. Do đó lý thuyết về biến dạng lớn đã được sử dụng khi mô phỏng [7].



Hình 6. Vector vị trí và chuyển động của vật thể

Trường biến dạng được cho bởi:

$$[F] = \frac{\partial x}{\partial X} = [R][U] \tag{5}$$

Trong đó:

[R]: Ma trận quay ($[R]^T[R]=I$)

[U]: Ma trận biến đổi hình dáng

Khi [U] được xác định, biến dạng logarit hay biến dạng Hencky được tính như sau:

$$[\varepsilon] = \ln[U] \tag{6}$$

Nhằm mô phỏng quá trình biến dạng của ống, các tác giả sử dụng chương trình ANSYS với giải thuật hiện để giải bài toán đàn – dẻo vì các lý do chính sau:

- Đối với quá trình gia công nguội, hiện tượng springback có ảnh hưởng lớn đến độ chính xác về hình học của chi tiết sau gia công, do đó cần quan tâm đến biến dạng đàn hồi.

- Giải thuật hiện không chiếm nhiều chi phí tính toán so với giải thuật ẩn và có khả năng mô hình tốt các bài toán tiếp xúc phức tạp, hay biến dạng lớn.

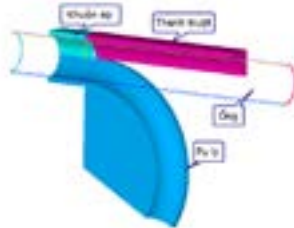
2.2.2. Mô hình hình học

Các kích thước hình học được cho trong Bảng 1.

Bảng 1: Kích thước hình học

Đường kính ống D (mm)	Bề dày ống t (mm)	Chiều dài ống L (mm)	Bán kính uốn R (mm)	Góc uốn lớn nhất β_{max} (độ)
50	1.4 - 2.8	400	100	90

Mô hình hình học của máy uốn được dựng trong ANSYS như thể hiện trên Hình 7.



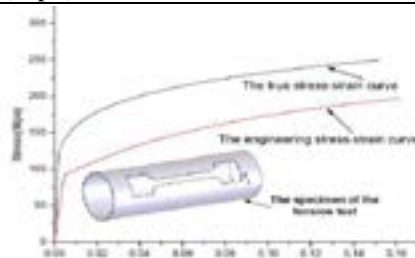
Hình 7. Mô hình hình học của máy uốn

2.2.3. Mô hình vật liệu

Vật liệu được sử dụng trong quá trình mô phỏng là hợp kim nhôm 5052O, với các thông số vật liệu được cho trong Bảng 2. [5]

Bảng 2: Thông số vật liệu của ống

Vật liệu	5052 O
Giới hạn bền K (Mpa)	341.02
Hệ số mũ biến cứng n	0.16526
Khối lượng riêng ρ (kg/m ³)	2700
Hệ số Poision γ	0.3
Mô đun đàn hồi E (Mpa)	63000



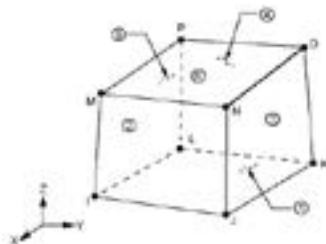
Hình 8. Mô hình vật liệu đàn dẻo

Mô hình vật liệu biến cứng phi tuyến dạng mũ được sử dụng để mô phỏng biến dạng dẻo:

$$\bar{\sigma} = K\bar{\epsilon}^n \quad (7)$$

2.2.4. Điều kiện mô phỏng

Trong bài báo này, để đơn giản hóa mô hình tiếp xúc giữa các phần tử, các tác giả sử dụng phần tử SOLID185.

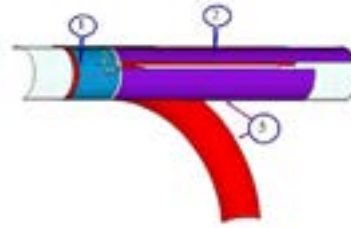


Hình 9. Phần tử SOLID185

Các tiếp xúc giữa puly, thanh trượt, khuôn ép được mô hình bằng phần tử CONTA173 và TARGE170. Đặc tính các mô hình tiếp xúc được cho trong Bảng 3:

Bảng 3: Mô hình tiếp xúc giữa các bộ phận

Ống	Khuôn ép	Puly	Thanh trượt
flexible	rigid	rigid	rigid



Hình 10. Mô hình tiếp xúc giữa các bộ phận

Trong mô hình này, tiếp xúc giữa ống-puly, ống-thanh trượt không có ma sát; tiếp xúc giữa ống-khuôn ép là boned (always) để truyền chuyển động quay của puly sang ống. Puly được ép chuyển vị quay quanh trục z các góc 0° – 90°.

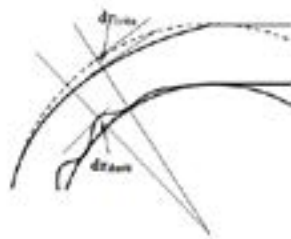
2.2.5. Các trường hợp tính

Bài báo khảo sát quá trình uốn của ống với các bề dày 1.4mm, 2mm, 2.8mm trong hai trường hợp có lõi và không có lõi:

Bảng 4: Các trường hợp tính

t (mm)	1.4	2	2.8
Không có lõi	X	X	X
Có lõi	X	X	

3. Kết quả mô phỏng và nhận xét



Hình 11. Độ lún cho phép

Đối với các ứng dụng thông thường, Công ty TNHH Nguyễn Trình yêu cầu độ lún cho phép (Hình 11) như sau:

$$dr_{trên} \leq 5\% \cdot R_{ngoài} \tag{8}$$

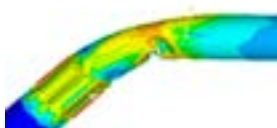
$$dr_{dưới} \leq 1.5mm$$

Với : $R_{ngoài} = \rho + D$
 Góc uốn $\beta = 90^0$

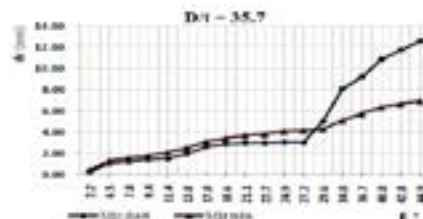
Khảo sát độ lún cho phép trên và dưới tại mặt cắt dọc của ống, ta thu được kết quả sau:

3.1. Trường hợp 1

Uốn ống với vật liệu nhôm có thông số như Bảng 2, các thông số tạo hình: D=50mm, t=1.4mm, bán kính uốn R=100mm. Không sử dụng lõi sửa mặt trong ống tại vị trí uốn. (D/t=35).



Hình 12a. Phân bố ứng suất von-Mises cho trường hợp 1



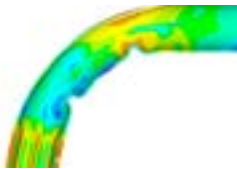
Hình 12b. Kết quả mô phỏng cho trường hợp 1

Bảng 5: Kết quả thử nghiệm 1

D/t	Góc uốn β_{max}	$dr_{trên}$	$dr_{dưới}$	β thỏa (8)
35.7	44.9	6.4	12.3	9.4

Kết quả mô phỏng cho thấy khi góc uốn lớn nhất, β_{max} khoảng 9.4 độ, thì độ lún và nhăn đảm bảo yêu cầu nhưng góc uốn chưa đạt. Tuy nhiên, sản phẩm uốn đến góc độ này không đảm bảo được độ trơn láng tại vị trí uốn. Vết nhăn hình thành lớn với chiều sâu vết lún hơn 6mm nên khả năng dẫn đến phế phẩm cao. Do vậy muốn tăng giá trị góc uốn, có thể tăng độ dày ống và tiến hành mô phỏng tiếp theo.

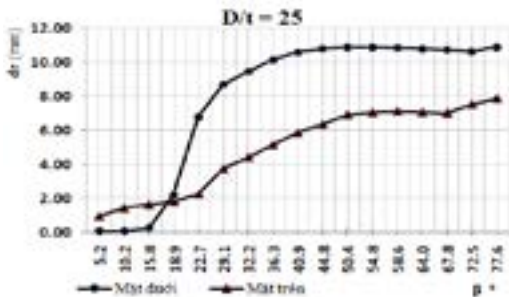
3.2. Trường hợp 2



Hình 13a. Phân bố ứng suất von-Mises cho trường hợp 2

Uốn ống với vật liệu nhôm có thông số như Bảng 2, các thông số tạo hình: D=50mm, t=2mm, Bán kính uốn R=100mm. Không sử dụng lõi sửa mặt trong ống tại vị trí uốn. (D/t=25)

Khi tăng chiều dày ống t=2mm, kết quả mô phỏng cho thấy khả năng tăng góc uốn cao β khoảng 18 độ, chiều sâu vết lún có giảm đi nhưng sản phẩm vẫn chưa đạt yêu cầu về góc uốn. Hiện tượng móp ở mặt ngoài và lún sâu ở mặt trong theo bán kính uốn còn tồn tại. Tiếp tục tăng chiều dày ống và tiến hành mô phỏng tiếp theo.



Hình 13b. Kết quả mô phỏng cho trường hợp 2

Bảng 6: Kết quả thử nghiệm 2

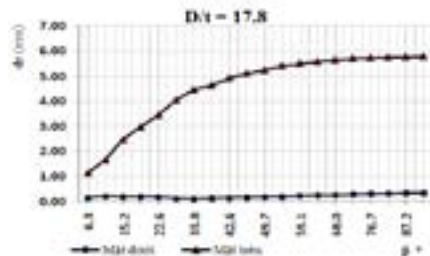
D/t	Góc uốn β_{max} (độ)	$dr_{trên}$ (mm)	$dr_{dưới}$ (mm)	β thỏa (8) (độ)
25	77.6	7.8	11	15.8

3.3. Trường hợp 3

Uốn ống với vật liệu nhôm có thông số như Bảng 2, các thông số tạo hình: D=50mm, t=2.8mm, bán kính uốn R=100mm. Không sử dụng lõi sửa mặt trong ống tại vị trí uốn. (D/t=17.8)



Hình 14a. Phân bố ứng suất von-Mises cho trường hợp 3



Hình 14b. Kết quả mô phỏng cho trường hợp 3

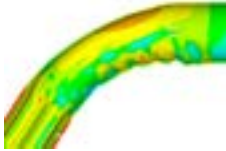
Bảng 7: Kết quả thử nghiệm 3

D/t	Góc uốn β_{max} (độ)	$dr_{trên}$ (mm)	$dr_{dưới}$ (mm)	β thỏa (8) (độ)
17.8	90	5.7	0.4	90

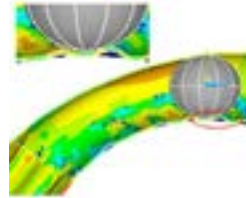
Khi tăng chiều dày ống $t=2.8\text{mm}$, giữ nguyên các thông số còn lại. Kết quả mô phỏng cho thấy hiện tượng nhăn và móp tại vị trí uốn cong không còn nữa. Khả năng mở rộng góc uốn lớn khoảng 90 độ. Tuy nhiên, vấn đề chính là tác giả muốn khảo sát và giải quyết bài toán tối ưu góc uốn với chiều dày ống cho một loại đường kính ống cố định. Để khắc phục hiện tượng nhăn và móp tại vị trí uốn, tác giả đề nghị sử dụng lõi hình cầu. Bài báo khảo sát thêm phương pháp uốn có lõi và tiến hành mô phỏng cho hai trường hợp trên.

3.4. Trường hợp 4

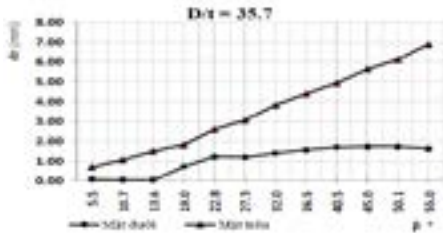
Uốn ống với vật liệu nhôm có thông số vật liệu như Bảng 2, các thông số tạo hình: $D=50\text{mm}$, $t=1.4\text{mm}$, bán kính uốn $R=100\text{mm}$. Có sử dụng lõi sửa mặt trong của ống tại vị trí uốn. ($D/t=35$)



Hình 15a. Phân bố ứng suất von - Mises cho trường hợp 4



Hình 15b. Phân bố ứng suất von - Mises cho trường hợp 4



Hình 15c. Kết quả mô phỏng cho trường hợp 4

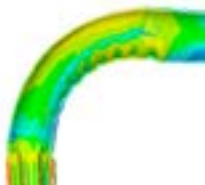
Bảng 8: Kết quả thử nghiệm 4

D/t	Góc uốn β_{max} (độ)	$dr_{trên}$ (mm)	$dr_{dưới}$ (mm)	β thỏa (8) (độ)
35.7	55	6.8	1.8	36.5

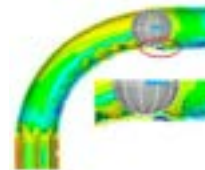
Kết quả mô phỏng cho trường hợp uốn ống với $t=1.4\text{mm}$, có đưa thêm vào quá trình gia công một lõi bi cầu để khắc phục các hiện tượng hỏng, cho thấy khả năng mở rộng góc uốn tăng lên. Đồng thời khử được cục bộ hiện tượng nhăn tại vị trí uốn của ống, góc uốn β max khoảng 36 độ. Tuy nhiên, chiều dày ống này vẫn chưa đạt yêu cầu về góc uốn. Tiến hành mô phỏng cho trường hợp này với chiều dày $t=2\text{mm}$.

3.5. Trường hợp 5

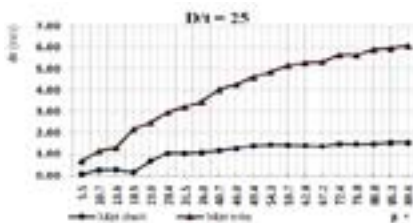
Uốn ống với vật liệu nhôm có thông số như Bảng 2, các thông số tạo hình: $D=50\text{mm}$, $t=2\text{mm}$, bán kính uốn $R=100\text{mm}$. Có sử dụng lõi sửa mặt trong của ống tại vị trí uốn. ($D/t=25$)



Hình 16a. Phân bố ứng suất von - Mises cho trường hợp 5



Hình 16b. Phân bố ứng suất von - Mises cho trường hợp 5



Hình 16c. Kết quả mô phỏng cho trường hợp 5

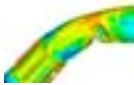
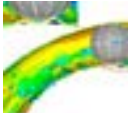



Bảng 9: Kết quả thử nghiệm 5

D/t	Góc uốn β_{max} (độ)	$dr_{trên}$ (mm)	$dr_{dưới}$ (mm)	β thỏa (8) (độ)
25	89.4	6	1.5	89.4

Kết quả thu được trong trường hợp này khử được hoàn toàn hiện tượng móp bên ngoài ống, góc uốn đảm bảo đúng yêu cầu và mặt bên trong ống vẫn còn hiện tượng nhăn. Nhưng đối với kết quả này, hiện tượng nhăn có thể chấp nhận được trong thực tế.

Các kết quả mô phỏng được tổng hợp trong Bảng 10.

Bảng 10: Góc uốn β_{max} theo tỉ số D/t

D/t	35.7		25		17.5
Sử dụng lõi	Không 	Có 	Không 	Có 	Không 
dr_{max} (mm)	12.6 (d)	6.9 (t)	10.9 (d)	6.1 (d)	5.8 (t)
β_{max} thử nghiệm (độ)	44.9	55	77.6	89.4	89.6
β_{max} thỏa (độ)	9.4	36.5	15.8	89.4	89.6
Ghi chú:					
<ul style="list-style-type: none"> - (d): độ lún lớn nhất dr_{max} xuất hiện ở mặt dưới. - (t): độ lún lớn nhất dr_{max} xuất hiện ở mặt trên. - Yêu cầu: $dr_{max\ trên} \leq 5\% \cdot R_{ngoài} = 7.5\text{ mm}$ $dr_{max\ dưới} \leq 1.5\text{ mm}$ 					

Đối với ống có tỉ số D/t=35, trong trường hợp không có lõi thì góc uốn thỏa mãn điều kiện (8) khá bé ($\beta \leq 9.4^\circ$). Việc sử dụng lõi khi gia công cho phép tăng góc uốn khoảng 5 lần ($\beta \leq 36.5^\circ$). Tuy nhiên, sản phẩm chưa đạt yêu cầu của công ty.

Đối với ống có tỉ số D/t=25, trong trường hợp không có lõi thì góc uốn thỏa mãn điều kiện (8) với $\beta \leq 15.8^\circ$. Việc sử dụng lõi khi gia công cho phép tăng góc uốn khoảng 5 lần ($\beta \leq 89.4^\circ$), sản phẩm đạt yêu cầu.

Qua bảng tổng hợp các trường hợp mô phỏng, công ty có được cơ sở để lựa chọn góc uốn phù hợp cho từng trường hợp gia công cụ thể.

4. Kết luận

Những kết quả khảo sát ở trên cho thấy tỉ số D/t ảnh hưởng rất lớn đến quá trình gia công biến dạng dẻo. Kết quả của bài báo góp phần làm sáng tỏ vấn đề đặt ra, làm cơ sở giúp cho các nhà sản xuất máy có hướng cải tiến máy uốn thử công phù hợp cũng như mở ra một hướng phát triển cho việc chế tạo thiết bị hiện đại hơn.

Tài liệu tham khảo

1. Yang He*, Yan Jing, Zhan Mei, Li Heng, Kou Yongle, *3D numerical study on wrinkling characteristics in NC bending of aluminum alloy thin-walled tubes with large diameters under multi-die constraints*, College of Materials Science and Engineering, State Key Laboratory of Solidification Processing, Northwestern Polytechnical University, P.O. Box 542, Xi'an 710072, China.
2. H. Li, H. Yang*, M. Zhan, R.J. Gu, *A new method to accurately obtain wrinkling limit diagram in NC bending process of thin-walled tube with large diameter under different loading paths*, Journal of Materials Processing Technology 177 (2006) 192–196.
3. YANG He, GU Rui-jie, ZHAN Mei, LI Heng, *Effect of frictions on cross section quality of thin-walled tube NC bending*, Trans. Nonferrous Met. SOC. China 16(2006) 878-886.
4. S. Baudina, P.Rayb, B.J. Mac Donaldb, M.S.J. Hashmib -, *Development of a novel method of tube bending using finite element simulation*, Journal of Materials Processing Technology 153–154 (2004) 128–133.
5. Trương Tích Thiện (2006), *Lý thuyết dẻo kỹ thuật*, Nhà xuất bản Khoa học Kỹ thuật.
6. ANSYS User's Manual.