

# NGHIÊN CỨU ỨNG DỤNG KẾT QUẢ MÔ PHỎNG SỐ VÀO THỰC NGHIỆM LẤN ÉP TẤM PHẪNG TRONG CÔNG NGHỆ CHẾ TẠO VỎ TÀU THỦY

RESEARCH ON THE APPLICATION OF THE NUMERICAL SIMULATION RESULTS TO EXPERIMENTAL ROLLING OF FLAT PLATES IN SHIP HULL MANUFACTURING TECHNOLOGY

Phạm Văn Liệu<sup>1,\*</sup>, Trần Hải Đăng<sup>2</sup>

## TÓM TẮT

Nhu cầu chế tạo các chi tiết tấm có chiều dày, kích thước lớn và biên dạng cong phức tạp trong các ngành công nghiệp đóng tàu, giao thông vận tải, quốc phòng ngày càng tăng. Các phương pháp truyền thống như uốn, nắn, gia công nhiệt cục bộ, tạo hình thủ công trên các thiết bị máy ép vạn năng, sau đó hàn ghép lại [1, 2, 3], nên năng suất cũng như chất lượng sản phẩm thường không cao. Để nâng cao hiệu quả trong việc tạo hình chi tiết tấm có biên dạng cong phức tạp, các nhà kỹ thuật nghiên cứu và ứng dụng những công nghệ hiện đại cho phép tạo hình nhanh, chính xác như vè, miết, lăn ép, tạo hình cục bộ liên tục trên các thiết bị điều khiển số. Bài báo này sẽ trình bày các kết quả nghiên cứu, ứng dụng kết quả mô phỏng số vào thử nghiệm tạo hình các chi tiết mẫu bằng công nghệ tạo hình lăn ép. Các kết quả nghiên cứu này sẽ được ứng dụng trong công nghiệp chế tạo vỏ tàu thủy tại các nhà máy đóng tàu ở Việt Nam.

**Từ khóa:** Biến dạng; lăn ép; mô phỏng số; tạo hình tấm lớn.

## ABSTRACT

The need to fabricate sheet components with large thickness, size and complex curvature in the shipbuilding, transportation, and defense industries is increasing. Traditional methods such as stroke stamping, bending, forming, local heating, manual forming on universal press equipment, then re-welding [1, 2, 3], so productivity as well as product quality is usually not high. In order to improve the efficiency in shaping the sheet components with complex curvature, technicians research and apply modern technologies that allow fast and precise shaping such as pressing, rolling, continuous local shaping on digital control devices. This article will present the research results and apply the numerical simulation results to the experimental forming of the sample by rolling technology. These research results will be applied in ship hull manufacturing industry in shipyards in Vietnam.

**Keywords:** Deformation; rolling; numerical simulation; large plate forming.

<sup>1</sup>Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

<sup>2</sup>Trường Đại học Sao Đỏ

\*Email: phamvanlieu@hau.edu.vn

Ngày nhận bài: 22/10/2020

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 26/02/2021

Ngày chấp nhận đăng: 25/4/2021

## 1. GIỚI THIỆU

Bước sang thế kỷ XXI, công nghệ thông tin phát triển mạnh mẽ với sự xuất hiện của nhiều phương pháp tính toán hiện đại (phần tử hữu hạn (PTHH), phần tử biên, sai phân hữu hạn [4]...), các phần mềm cùng máy tính cho phép phân tích tính toán những quá trình tạo hình phức tạp hơn nhiều, tính toán nhanh và cho kết quả chính xác. Phương pháp mô phỏng số quá trình tạo hình [5, 9, 10, 11] được thực hiện ngay trên máy tính, khảo sát bài toán với các điều kiện biên phức tạp, và cho phép nhà kỹ thuật đánh giá chất lượng sản phẩm, phân tích ảnh hưởng của các thông số công nghệ tới quá trình tạo hình và chất lượng sản phẩm, nhanh chóng tối ưu công nghệ, xác định được bộ thông số công nghệ phù hợp nhất để sản phẩm có chất lượng tốt nhất. Mô phỏng số giúp cho quá trình thiết kế công nghệ chính xác, giảm chi phí cho sản xuất thử nghiệm, nâng cao chất lượng sản phẩm nhưng đồng thời mở ra những cơ hội cho những ý tưởng công nghệ và sản phẩm mới trong áp dụng vật liệu mới.

## 2. VẬT LIỆU, THIẾT BỊ VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

### 2.1. Vật liệu

Việc xác định chính xác vật liệu để đưa vào mô phỏng số rất quan trọng vì có ảnh hưởng trực tiếp đến kết quả mô phỏng số. Trong nghiên cứu này, các tác giả lựa chọn vật liệu là thép SS400 theo tiêu chuẩn JIS G 3101, có thành phần hóa học như trong bảng 1.

Bảng 1. Thành phần hóa học của thép SS400

Thép	Thành phần hóa học (%)						
	C	Si	Mn	Ni	Cr	P	S
SS400	0,11 - 0,18	0,12 - 0,17	0,40 - 0,57	0,03	0,02	0,02	0,03

Mẫu phiê tấm thí nghiệm có kích thước giống như trong mô phỏng là 600 x 80 x 20mm được chế tạo từ thép tấm có mác SS400.

Để phục vụ cho nghiên cứu, vật liệu được chuẩn bị sẵn, gia công thành các tấm có kích thước mẫu: 600mm x 80mm, chiều dày S = 10, 15, 20, 25, 30mm.

**2.2. Thiết bị**

- Máy lăn ép thủy lực có lực danh nghĩa 1500 tấn, do hãng Nieland (Hà Lan) chế tạo (Nhà máy Đóng tàu Hạ Long - Quảng Ninh).

- Thiết bị đo áp suất (Phòng Đo lường, Viện Tên lửa, Bộ Quốc phòng).

- Thiết bị đo bán kính FARO Prime của CHLB Đức.

- Thiết bị đo lượng ép của hãng Mitutoyo - Nhật Bản

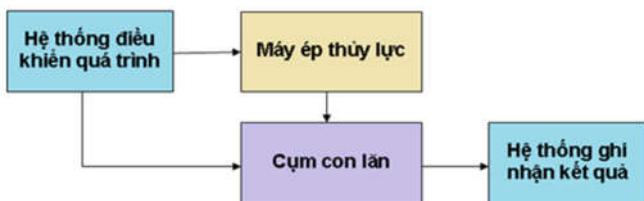
- Máy tính kết hợp phần mềm Dasy Lab 7.0.

**2.3. Phương pháp nghiên cứu**

Sau khi thiết lập được bài toán mô phỏng số quá trình lăn ép tạo hình phôi tấm và phân tích đánh giá kết quả mô phỏng, kết quả cho thấy mô phỏng số không chỉ cho phép khảo sát quá trình tạo hình phôi tấm cong tại từng thời điểm lăn ép, các giá trị về lực, bán kính cong của tấm theo phương dọc và phương ngang, mà còn giải thích được nguyên nhân, làm tấm bị cong khi lăn ép dựa trên vết tiếp xúc giữa phôi và các con lăn, trường phân bố ứng suất, biến dạng trên tấm, sơ bộ đánh giá được chất lượng của sản phẩm, đảm bảo sản phẩm không bị phá hủy, nứt gãy...

➤ **Xây dựng hệ thống thực nghiệm**

Các mô hình trong mô phỏng số được xây dựng sát nhất với thực tế. Sử dụng tính toán mô phỏng số bằng phần tử hữu hạn (PTHH) là phương pháp gần đúng, các điều kiện biên dựa trên cơ sở lý thuyết cơ học vật rắn nên cũng chấp nhận các giả thuyết khi xây dựng bài toán. Vì vậy, để kiểm chứng kết quả mô phỏng số đạt yêu cầu, hệ thống thực nghiệm được xây dựng theo sơ đồ hình 1. Các mô đun chính được tích hợp với nhau để kiểm soát quá trình cài đặt các thông số công nghệ, thực hiện các bước tạo hình theo đúng trình tự và đồng thời tự động đo, lưu trữ và xử lý số liệu.



Hình 1. Các mô đun chính trong hệ thống thực nghiệm

➤ **Máy ép thủy lực**

Máy ép thủy lực có lực ép danh nghĩa từ 1000 đến 1500 tấn có các chức năng phù hợp với yêu cầu công nghệ lăn ép, đặc biệt trong việc tạo lực ép ban đầu và giữ đầu trượt mang con lăn trên ở vị trí cố định, giữ lực ép ổn định trong suốt quá trình lăn.

Thiết bị máy ép thủy lực được lựa chọn có lực danh nghĩa 1500 tấn (hình 2), có các thông số kỹ thuật như trong bảng 2.

Máy có bộ phận điều khiển đặt lực, chống lún, ổn định áp suất xi lanh khi làm việc, dễ dàng thay đổi giá trị lực sau một chu trình thao tác, khung máy có khả năng di động, đảm bảo cho lăn ép các sản phẩm vỏ tàu thủy có hình dạng phức tạp.

Với hệ thống thủy lực và bộ phận điều khiển được lựa chọn cho phép máy đạt lực ép đúng giá trị mong muốn.

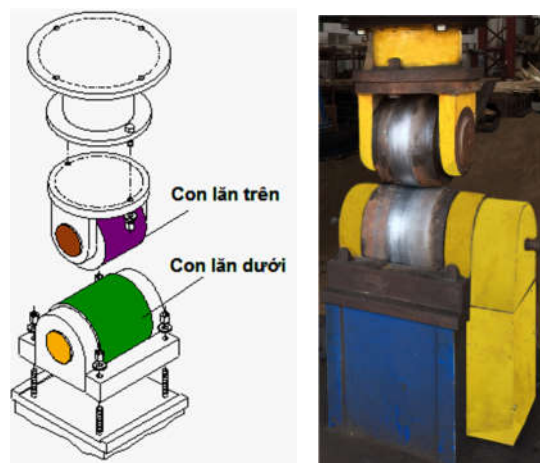
Bảng 2. Thông số kỹ thuật của máy ép thủy lực SBP - 1500

TT	Thông số kỹ thuật	Đơn vị
1	Lực ép danh nghĩa	15000kN
2	Truyền động	Điện - Thủy lực
3	Số lượng xi lanh ép	1
4	Khoảng cách giữ hai trụ	6000mm
5	Kích thước bàn máy	1500x1000mm
6	Kích thước bao (dài x rộng x cao)	7960 x 1800 x 7670mm
7	Trọng lượng máy	60 tấn
8	Đường kính trong xi lanh	φ 648mm
9	Hành trình Pittong	680mm
10	Vận tốc đầu trượt không tải	80mm/s
11	Áp suất làm việc lớn nhất	350bar
12	Vận tốc lăn lớn nhất	30rpm



Hình 2. Máy ép thủy lực SBP - 1500 T

➤ **Bộ phận lăn ép**



Hình 3. Bộ phận lăn ép

Bộ phận lăn ép (hình 3) bao gồm hai con lăn, trên và dưới có đường kính, biên dạng đúng như thiết kế trong mô phỏng số. Con lăn trên có biên dạng tang trống quay trơn

trên trục. Con lăn dưới được dẫn động riêng bởi một động cơ thủy lực và lắp vào bàn máy ép thủy lực. Khi lắp ráp lên máy ép thủy lực, con lăn được đặt trong khung để đảm bảo độ chính xác về vị trí.

➤ **Thiết bị đo áp suất**

Để đo được áp suất chất lỏng công tác khi lăn ép và lưu kết quả trên máy tính, hệ thống đo được xây dựng bao gồm các bộ phận (hình 4) cảm biến áp suất, bộ xử lý tín hiệu đo, bộ chuyển đổi tương tự - số và phần mềm ghi các dữ liệu đo, biểu diễn dưới dạng đồ thị.

+ **Nguyên lý làm việc:**

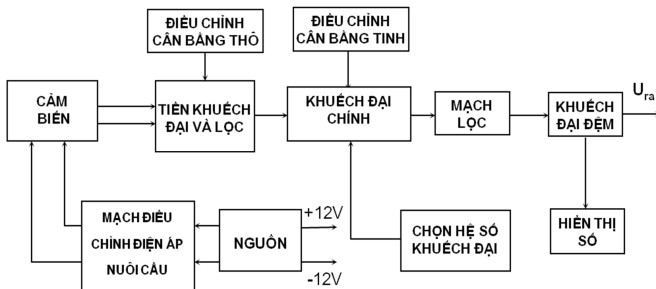
Khi có sự thay đổi về áp suất cảm biến sẽ tiếp nhận và chuyển đổi thành tín hiệu điện. Tín hiệu điện được đưa tới thiết bị xử lý tín hiệu. Tại đây, tín hiệu được khuếch đại và lọc nhiễu cao tần rồi đưa tới bộ phận chuyển đổi tương tự - số, sau đó đưa vào máy tính. Tín hiệu đo được hiển thị trên màn hình máy tính và lưu trữ nhờ phần mềm Dasy Lab 7.0 [6, 7].



Hình 4. Sơ đồ thiết bị đo áp suất

+ **Bộ xử lý tín hiệu đo:**

Tín hiệu từ cảm biến rất nhỏ (chỉ vài chục  $\mu\text{V}$  đến vài mV), nên để có thể nhận biết được tín hiệu này cần phải có một thiết bị xử lý tín hiệu từ cảm biến. Sau khi thu, tín hiệu được đưa tới bộ chuyển đổi và vào máy tính. Thiết bị xử lý tín hiệu là bộ khuếch đại một chiều có hệ số khuếch đại rất lớn cùng các mạch lọc và các mạch phụ trợ khác (hình 5).



Hình 5. Sơ đồ mạch xử lý tín hiệu đo áp suất

+ **CARD thu thập số liệu đo:**

Để thu thập số liệu thực nghiệm, các tác giả sử dụng card thu thập số liệu để chuyển đổi tín hiệu tương tự sang tín hiệu số, kết quả được hiển thị trên máy tính. Trong hệ thống đo card thu thập số liệu (card ADC) được ghép nối như hình 6.

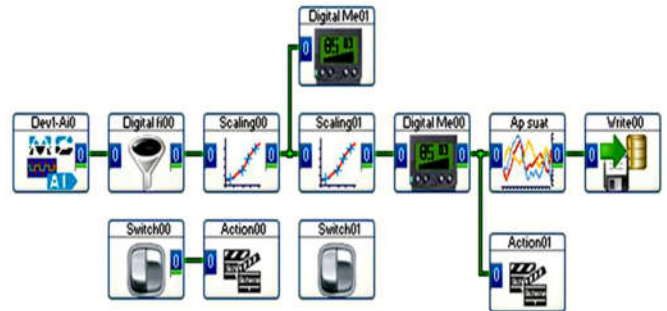


Hình 6. Sơ đồ ghép nối card thu thập số liệu với hệ thống

+ **Phần mềm hiển thị và lưu giữ kết quả đo:**

Việc hiển thị và lưu giữ kết quả đo được thực hiện trên thiết bị đo áp suất nhờ sự hỗ trợ của phần mềm đo lường Dasy Lab 7.0, phần mềm có nhiều chức năng thu thập số liệu đo của một hệ thống đo chuyên dụng [6, 7, 8].

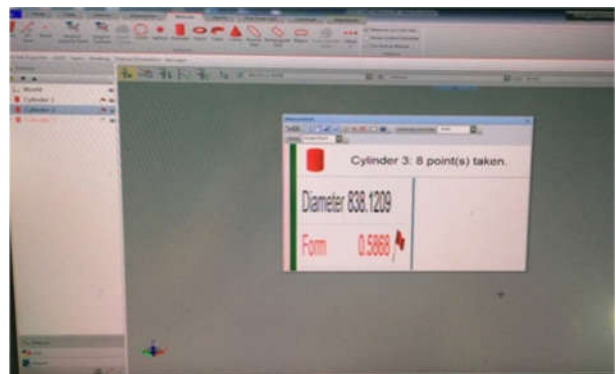
Chương trình đo và đọc áp suất được biểu diễn như sơ đồ hình 7. Thiết bị đo áp suất đã được thử độ nhạy, độ chính xác và làm việc ổn định.



Hình 7. Chương trình đo áp suất

➤ **Thiết bị đo bán kính**

Việc đo bán kính của tấm sau khi lăn ép được tiến hành với sự hỗ trợ của thiết bị đo FARO Prime của CHLB Đức (hình 8). Đây là thiết bị đo tiếp xúc, dùng đầu dò dạng cầu, thao tác đo đơn giản, nhiều tính năng đo linh hoạt và cho độ chính xác cao. Thiết bị này rất phù hợp cho đo độ dài, bán kính, đường kính, đo góc, đo biên dạng hình học, đo tương quan vị trí của các bề mặt... Độ chính xác cao nhất:  $16\mu\text{m}$ ; Độ lặp lại:  $\pm 16\mu\text{m}$ . Thiết bị được kết nối máy tính, có phần mềm xử lý số liệu và hiển thị kết quả đo.

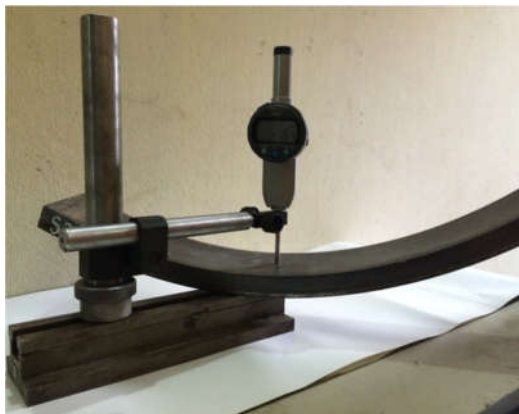


Hình 8. Thiết bị đo FARO Prime sử dụng đo bán kính tấm khi thực nghiệm

➤ **Thiết bị đo lường ép**

Đo lường ép, sự thay đổi chiều dày của phôi tấm, bằng đồng hồ đo điện tử chuyên dụng có mã hiệu 543-494B của hãng Mitutoyo - Nhật Bản (hình 9). Thông số kỹ thuật của thiết bị:

- Phạm vi đo: 0 - 50,8mm
- Độ hiển thị: 0,01mm
- Độ chính xác: ±0,01mm



Hình 9. Đồng hồ đo điện tử 543-494B đo lường ép sản phẩm lăn ép

**3. THỬ NGHIỆM VÀ KIỂM TRA KẾT QUẢ MÔ PHỎNG**

➤ **Trình tự lăn ép**

Bước 1: Khởi động hệ thống thiết bị.

Bước 2: Khởi động máy ép thủy lực. Đầu trượt mang con lăn trên đi xuống kẹp phôi đúng vị trí ban đầu, nằm giữa hai con lăn. Đặt giá trị áp suất chất lỏng công tác ban đầu của xi lanh ép, đọc giá trị trên màn hình hiển thị hệ thống đo. Giá trị áp suất (đơn vị bar) sẽ được quy đổi tương đương với lực ép (đơn vị tấn). Dưới tác dụng của lực ép, phôi tấm sẽ bị biến dạng. Van tràn hoạt động giữ cho áp suất không đổi.

Bước 3: Khởi động thiết bị lăn ép. Đặt vận tốc cho con lăn dưới ở giá trị 10 v/ph (tương ứng với 1,05rad/s).

Bước 4: Cho con lăn dưới quay, kéo phôi chuyển động, con lăn trên quay theo, phôi bị biến dạng và kéo qua khe hở giữa hai con lăn. Khi đi hết chiều dài phôi cần lăn, động cơ thủy lực tác động cho con lăn dưới dừng lại.

Trong suốt quá trình, thiết bị đo, ghi áp suất hoạt động sẽ đo, lưu dữ liệu và hiển thị đồ thị áp suất chất lỏng công tác trên màn hình máy tính.

Bước 5: Đầu trượt mang con lăn trên đi lên. Phôi sau khi tạo hình, đạt bán kính cong như mong muốn sẽ được tháo gỡ ra khỏi thiết bị.

➤ **Kiểm tra kết quả thử nghiệm**

Thực hiện lăn ép thử nghiệm với vật liệu SS400, kích thước phôi tấm 600 x 80 x 20mm giống như trong mô phỏng (hình 10, 11).

Xuất kết quả thực nghiệm dưới dạng đồ thị áp suất chất lỏng công tác và thời gian thu được giá trị lực ép ban đầu và lực ép khi lăn. Các mẫu thí nghiệm được xác định bán kính

cong theo phương dọc và phương ngang, cũng như đo chiều dày của tấm sau khi lăn ép.



Hình 10. Thí nghiệm lăn ép phôi tấm



Hình 11. Đồ thị áp suất chất lỏng công tác trong suốt quá trình lăn ép

So sánh hình dạng của tấm sau khi lăn ép giữa thực nghiệm với mô phỏng biểu diễn trên hình 12 có thể thấy được kết quả về vết tiếp xúc, hình dạng tấm bị uốn cong hoàn toàn tương đồng.



a) Sản phẩm thực nghiệm



b) Sản phẩm mô phỏng

Hình 12. Tấm sau khi lăn ép

Để đánh giá độ sai số giữa thực nghiệm và mô phỏng, ta tiến hành thực nghiệm với 6 mẫu thí nghiệm. Tổng hợp kết quả được trình bày trong bảng 3.

Bảng 3. Kết quả thử nghiệm

TT	P <sub>0</sub> (bar)	P <sub>0</sub> (tấn)	p (bar)	P (tấn)	ΔS	ε <sub>2</sub>	R <sub>d</sub> (mm)	R <sub>n</sub> (mm)
1	29	95,6	16,5	54,4	1,5	0,078	495,34	3430,15
2	29	95,6	16,4	54,1	1,51	0,079	483,25	3475,45
3	30	98,9	16,9	55,7	1,55	0,081	460,20	3215,26
4	30	98,9	17,2	56,7	1,56	0,082	468,36	3190,56
5	31	102,2	17,5	57,7	1,59	0,083	440,52	3020,15
6	31	102,2	17,9	59,0	1,61	0,084	434,28	2970,51
<b>TB</b>	<b>30</b>	<b>98,9</b>	<b>17,1</b>	<b>56,3</b>	<b>1,55</b>	<b>0,081</b>	<b>473,11</b>	<b>3217,01</b>

Trong đó:

- p<sub>0</sub> - Áp suất đặt chất lỏng công tác ban đầu (bar);
- p - Áp suất chất lỏng công tác khi lăn ép (bar);
- P<sub>0</sub> - Lực ép ban đầu qui đổi (Tấn);
- P - Lực trong quá trình lăn ép qui đổi (Tấn);

So sánh kết quả thí nghiệm trong bảng 3 với kết quả mô phỏng số trong bảng 2 ta có kết quả so sánh và đánh giá sai số như trong bảng 4.

Bảng 4. Đánh giá sai số kết quả thí nghiệm và mô phỏng

TT	P <sub>0</sub> (tấn)	P (tấn)	ΔS	ε <sub>2</sub>	R <sub>d</sub> (mm)	R <sub>n</sub> (mm)
Kết quả thí nghiệm	98,9	56,3	1,55	0,081	473,11	3217,01
Kết quả mô phỏng	96,1	54,6	1,6	0,08	480,45	3322,9
Sai số trung bình (%)	2,83	3,02	3,12	1,23	1,52	3,18

- Sai số trung bình về lực ép ban đầu: 2,83%
- Sai số trung bình về lực lăn ép: 3,02%
- Sai số trung bình bán kính dọc của sản phẩm: 1,52%
- Sai số trung bình bán kính ngang của sản phẩm: 3,18%
- Sai số về lượng ép ΔS: 3,12%
- Sai số về mức độ biến dạng theo phương chiều dày ε<sub>2</sub>: 1,23%

Qua so sánh quá trình lăn ép phôi tấm giữa mô phỏng và thực nghiệm cho thấy có sự tương đồng cao giữa mô phỏng và thực nghiệm thể hiện ở chỗ:

- Tiến trình tạo hình phôi tấm bị cong tại từng thời điểm của quá trình lăn ép.
- Hình dạng sản phẩm tấm sau quá trình lăn ép.
- Biểu đồ lực, áp suất chất lỏng công tác.
- Sai số về lực ép ban đầu, lực lăn ép, lượng ép, mức độ biến dạng, bán kính cong theo phương dọc và phương ngang của tấm đều nhỏ hơn 5%.

Như vậy có thể kết luận được, các mô hình được xây dựng đảm bảo yêu cầu về độ chính xác, mô hình vật liệu phù hợp, các điều kiện biên thiết lập phù hợp với thực tế, kết quả mô phỏng số tin cậy, có khả năng làm cơ sở để khảo sát ảnh hưởng của các thông số công nghệ tới quá trình tạo hình tấm và độ chính xác của sản phẩm.

#### 4. KẾT LUẬN

Dựa trên mô phỏng có thể xác định được bán kính cong của tấm khi biết các thông số điều kiện biên ban đầu như lượng ép, chiều dày ban đầu của tấm, vận tốc lăn.

Với việc so sánh kết quả mô phỏng số với thực nghiệm xây dựng trên thiết bị thực tế có thể khẳng định, việc thiết lập các mô hình và mô phỏng số đạt độ chính xác theo yêu cầu (<5%).

Trình tự mô phỏng số có thể áp dụng khi thay đổi các điều kiện đầu vào đối với mô hình hình học và điều kiện biên để khảo sát ảnh hưởng của các thông số công nghệ đến bán kính cong của sản phẩm tấm bằng cách khảo sát với nhiều chiều dày phôi, mức độ biến dạng và tốc độ lăn.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Hanoi University of Science and Technology, 2009. *Bài giảng Công nghệ Gia công áp lực*.
- [2]. Nguyen Duc Trung, Nguyen Trung Kien, 2007. *Công nghệ chế tạo các chi tiết vành cơ lon phục vụ công nghiệp năng, nghiên cứu chế tạo chi tiết vành thay đổi bán kính cong, nhô can dat lam thay đổi chiều dày vành ở trạng thái nóng*. Hanoi University of Science and Technology.
- [3]. Phạm Văn Nghệ, 2010. *Thiết bị gia công áp lực*. Viet Nam Education Publishing House.
- [4]. Tran Ich Thinh, Nguyen Manh Cuong, 2011. *Phương pháp phân tử huy han ly thuyet va bai tap*. Viet Nam Education Publishing House.
- [5]. Nguyen Duc Trung, Le Thai Hung, Nguyen Nhu Huynh, Nguyen Trung Kien, 2011. *Mô phỏng số quá trình biến dạng*. Bach Khoa Publishing House.
- [6]. Dao Mong Lam, Le Vinh Ha, Pham Quang Minh, 2004. *Multipurpose strain gauge circuit combination*. Journal of Military Science and Technology No. 7.
- [7]. Dao Mong Lam, Pham Quang Minh, Pham Nhat Quang, 2010. *Do luong cac tham so dong co phan luc voi phan mem DasyLab*. People's Army Publishing House, Hanoi.
- [8]. Phan Ba, Dao Mong Lam, 2001. *Do luong - sen xo*. People's Army Publishing House, Hanoi.
- [9]. Dieter G.E., 1988. *Mechanical metallurgy*. SI metric edition, McGraw-Hill, ISBN 0-07-100406-8.
- [10]. R.J. Roark, 2012. *Formulas for Stress and Strain*. McGraw-Hill, New York.
- [11]. S. S. Rao, 1984. *Optimization: Theory and Applications (2 ed.) pp. 292-300*. Wiley Eastern-Limited, New Delhi, India.

#### AUTHORS INFORMATION

Pham Van Lieu<sup>1</sup>, Tran Hai Dang<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Hanoi University of Industry

<sup>2</sup>Sao Do University