

## Nghiên cứu phương pháp mô phỏng số quá trình lăn ép tạo hình các chi tiết tấm có kích thước lớn

### Research on numerical simulation methods of press-rolling for sheet forming of big sized sheet parts

Phạm Văn Liệu<sup>1,\*</sup>, Trần Hải Đăng<sup>2</sup>, Nguyễn Văn Quảng<sup>1</sup>, Nguyễn Chí Bảo<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup> Trường Đại học Sao Đỏ

\*Email: phamvanlieu2@gmail.com

Mobile: 0912768737

---

#### Tóm tắt

##### Từ khóa:

Biến dạng; Lăn ép; Mô phỏng số; Tạo hình tấm lớn

Nhiều năm trước đây, việc nghiên cứu, phân tích quá trình lăn ép tạo hình phôi tấm phục vụ cho công nghiệp đóng tàu thủy gặp rất nhiều khó khăn. Các nhà kỹ thuật phải tiến hành nghiên cứu thực nghiệm trên nhiều vật mẫu ứng với từng thông số công nghệ như: nhiệt độ, lực ép, mức độ biến dạng, tốc độ... Tuy nhiên phương pháp này tính toán trạng thái ứng suất và biến dạng tại từng thời điểm tạo hình không chính xác, đồng thời chi phí khá tốn kém. Hiện nay, công nghệ thông tin phát triển mạnh mẽ với nhiều phương pháp tính toán hiện đại, việc sử dụng máy tính kết hợp với các phần mềm cho phép tính toán nhanh và kết quả có độ chính xác cao, đồng thời phân tích được quá trình tạo hình phức tạp. Trong bài báo này tác giả sử dụng phần mềm Abaqus/Design vào mô phỏng quá trình lăn ép tạo hình phôi tấm. Từ kết quả nghiên cứu, có thể giúp các nhà kỹ thuật lựa chọn được phương pháp hợp lý cho quá trình tạo hình phôi tấm để đạt được kích thước chi tiết theo yêu cầu.

---

#### Abstract

##### Keywords:

Deformation; Press-rolling;  
Numerical simulation;  
Forming of complicated and  
big sized sheet.

Many years ago, the research and analysis of the pressing-rolling process for shaping plate slabs in shipping industry had to cope up with quite a lot of challenges. For such a process, many experimental researches were carried out on different samples with various technological parameters such as: temperature, pressing force, deformation level, speed etc. However, this method not only created some interval incorrectness in the calculation of strained condition, but also cost quite a lot. Currently, with the extensive development of information technology and many different advanced methods of calculation, the combination of computers and softwares allow high-speed calculations with highly accurate results, and be able to analyze complicated forming processes. The paper presents how to use the Abaqus/Design software in the stimulation of the pressing-rolling process of the plate slabs. The research results will assist technicians in selecting appropriate methods to shape the plate slabs meeting the required measurement.

---

Ngày nhận bài: 15/06/2018

Ngày nhận bài sửa: 05/9/2018

Ngày chấp nhận đăng: 15/9/2018

---

## 1. GIỚI THIỆU

Hiện nay, công nghệ được các nhà kỹ thuật quan tâm nghiên cứu và triển khai ứng dụng để tạo hình các tấm lớn, biên dạng cong phức tạp trong công nghiệp chế tạo vỏ tàu thủy đó là lăn ép. Đây là một phương pháp cho năng suất, độ chính xác và khả năng tự động hóa cao. Tuy nhiên, để triển khai phương pháp tạo hình này trong thực tế còn gặp nhiều khó khăn, đặc biệt là khi tạo hình chính xác biên dạng cho các chi tiết cong theo nhiều phương, nếu không xác định được bán kính cong của phôi tấm sau mỗi lần lăn ép. Có nhiều cách xác định bán kính cong sản phẩm lăn ép như sử dụng phương pháp giải tích [1], phương pháp mô phỏng số [2]. Trong đó, phương pháp mô phỏng số quá trình tạo hình có ưu điểm nổi trội đó là 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 còn giúp cho quá trình thiết kế công nghệ chính xác, giảm chi phí cho sản xuất thử nghiệm, nâng cao chất lượng sản phẩm, đồng thời cũng 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

Vật liệu trực lăn được lựa chọn là thép C45 có các thông số tra từ sổ tay vật liệu học và đối chiếu với các thông số được lấy ra từ thư viện vật liệu đã có sẵn trong phần mềm.

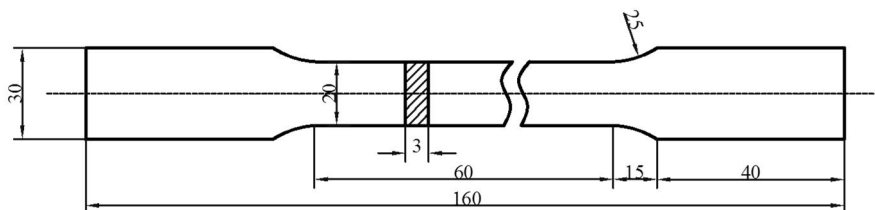
Việc xác định chính xác vật liệu để đưa vào mô phỏng số rất quan trọng vì có ảnh hưởng trực tiếp đến kết quả mô phỏng số. Trong nghiên cứu này tác giả lựa chọn vật liệu là thép SS400 theo tiêu chuẩn JIS G 3101, có thành phần hóa học như trong bảng 1.

**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

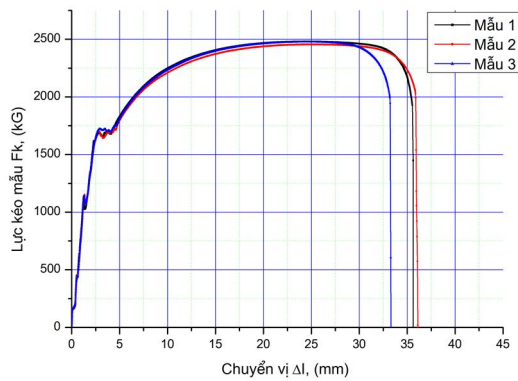
Để mô phỏng số quá trình lăn ép, việc cung cấp các thông số vật liệu cơ bản và thông tin đường cong quan hệ giữa ứng suất và biến dạng của vật liệu [3, 4, 5, 6, 7, 8] là cần thiết.

Vì bài toán tấm biến dạng nguội nên cả miền đàn hồi của vật liệu cũng được quan tâm. Tiến hành kéo thử mẫu có kích thước như hình 1 tại Viện Công nghệ - Bộ Quốc phòng.

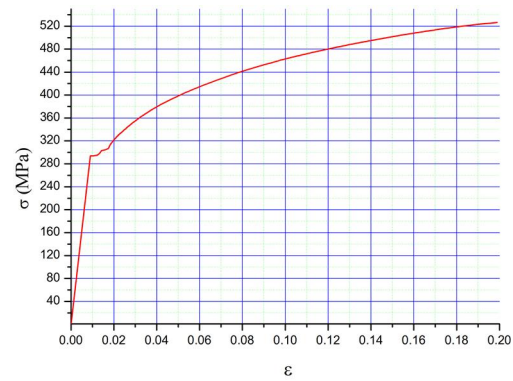


**Hình 1.** Mẫu thử kéo

Kết quả thử kéo 3 mẫu theo 3 phương khác nhau đối với cùng một tấm vật liệu được thể hiện trên hình 2.



**Hình 2.** Đường cong lực - chuyển vị khi thử kéo của vật liệu SS400



**Hình 3.** Đường cong quan hệ giữa ứng suất và biến dạng của vật liệu SS400

Từ đồ thị hình 2 cho thấy mối quan hệ giữa lực kéo và chuyển vị hay ứng suất chảy và mức độ biến dạng theo 3 hướng thí nghiệm trùng nhau trong miền biến dạng đàn hồi, biến dạng dẻo do đó ta có thể coi vật liệu là đẳng hướng.

Từ đó xây dựng đường cong quan hệ giữa ứng suất và biến dạng của vật liệu hình 3 và đưa đường cong này vào phần mềm mô phỏng số.

## 2.2. Thiết bị

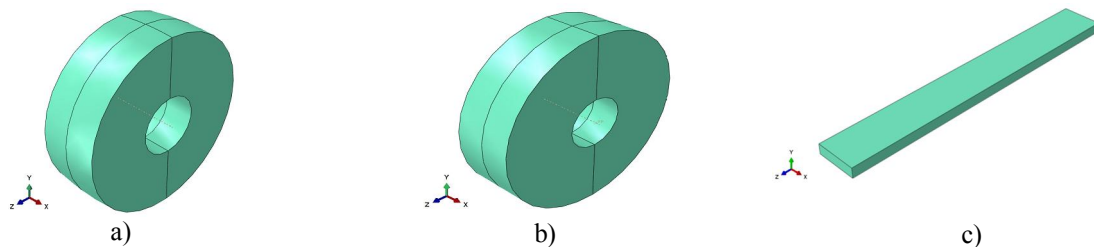
- Máy kéo TT-HW2-1000 (Viện Công nghệ - Bộ Quốc phòng)
- Máy tính kết hợp phần mềm Abaqus

## 2.3. Phương pháp nghiên cứu

### *Thiết lập bài toán mô phỏng số quá trình lăn ép tạo hình phôi tấm*

#### ➤ *Xây dựng mô hình hình học*

Mô hình hình học được xây dựng dựa trên yêu cầu chính về các hình dạng, kích thước của cụm trục lăn và phôi trong công nghệ lăn ép. Mô hình được xây dựng trực tiếp trên mô đun Abaqus/Design của phần mềm, bao gồm 3 đối tượng: Con lăn trên, con lăn dưới và phôi hình 4.

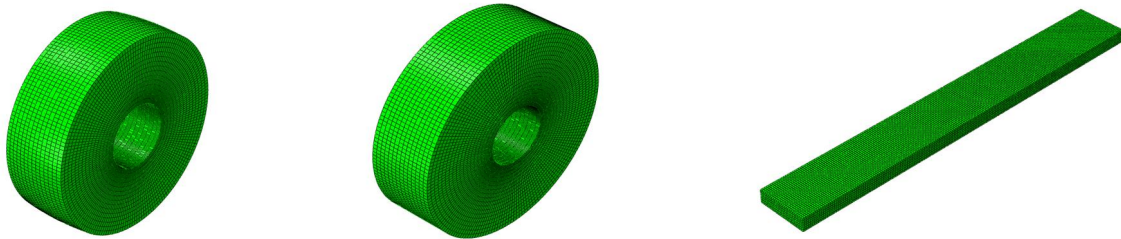


**Hình 4.** Mô hình hình học cặp trục lăn và phôi  
a) Mô hình con lăn trên; b) mô hình con lăn dưới; c) Mô hình phôi

Con lăn trên có dạng tang trống, kích thước đường kính lớn nhất  $\Phi$  310 mm, bán kính tang trống R 425 mm. Con lăn dưới có dạng trụ, đường kính  $\Phi$  350 mm. Do con lăn coi như chỉ bị biến dạng đàn hồi nên ta xây dựng con lăn có dạng rỗng, đường kính lỗ rỗng là  $\Phi$ 100 mm. Việc con lăn có lỗ rỗng hoàn toàn không ảnh hưởng đến kết quả mô phỏng, tuy nhiên sẽ tiết kiệm được thời gian tính toán.

Phôi tấm dạng dải có kích thước 600 mm x 80 mm x 20 mm. Chiều dài và chiều rộng phôi tấm được lựa chọn như trên đảm bảo cho quá trình khảo sát biến dạng theo phương dọc và ngang của phôi.

➤ *Chia lưới phần tử*

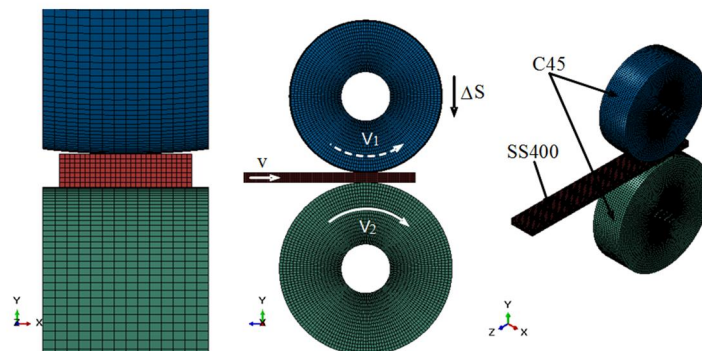


**Hình 5.** Lưới phần tử của cặp con lăn và phôi tấm

Để kết quả đảm bảo chính xác tiến hành chia lưới cho phôi và con lăn. Nếu chia nhiều phần tử, kết quả mô phỏng sẽ chính xác nhưng thời gian tính toán sẽ lâu, khi phần tử quá nhỏ thì có thể sẽ khó hội tụ hoặc không hội tụ do giá trị chênh lệch giữa các nút kề nhau vượt quá sai số tính toán. Nếu chia ít phần tử, việc tính toán sẽ nhanh, nhưng độ chính xác bị giảm đi. Số lượng phần tử phù hợp sẽ được xác định bằng cách tính toán mô phỏng với số lượng phần tử ban đầu ít, sau đó tăng dần lên cho đến khi kết quả tính toán không có sự chênh lệch nữa. Do con lăn chỉ bị biến dạng đàn hồi nên ta chia lưới con lăn dưới 18.000 phần tử, con lăn trên cần chính xác về biên dạng nên ta chia 22.000 phần tử. Mặc dù phôi tấm có dạng dải, tiết diện ngang hình chữ nhật đơn giản, nhưng do phôi biến dạng dẹt, nên chia với 26.000 phần tử hình 5. Kiểu phần tử được lựa chọn là C3D8R. Đây là phần tử khối, 8 nút, cho phép tính toán ứng suất, biến dạng, chuyển vị... của từng nút nên đáp ứng được với mục đích đặt ra cho bài toán mô phỏng.

➤ *Đặt điều kiện biên*

Theo sơ đồ nguyên lý của công nghệ lăn ép, phôi tấm ban đầu được kẹp giữa hai con lăn. Con lăn dưới có trục quay cố định, con lăn trên di động theo phương thẳng đứng và ép lên phôi một lực ban đầu là  $P$ , hoặc con lăn trên ép vào phôi với một lượng ép ban đầu là  $\Delta S$ . Con lăn dưới quay với một mô men  $M$ , vận tốc  $V_2$ , do có ma sát tiếp xúc giữa cặp con lăn với phôi nên con lăn trên sẽ quay theo với vận tốc góc  $V_1$ , phôi tấm sẽ bị kéo vào khe hở giữa hai trục lăn, bị biến dạng và cong lên hình 6.

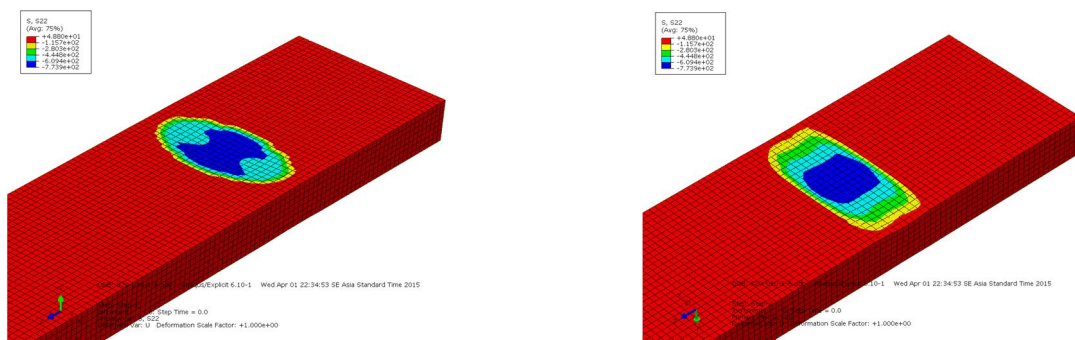


**Hình 6.** Mô hình thiết lập điều kiện biên cho bài toán lăn ép

- Bài toán lăn ép được mô tả như trên sẽ có các điều kiện biên như sau:
- + Điều kiện tiếp xúc giữa con lăn và phôi tấm: Mặt trên và mặt dưới của tấm tiếp xúc với con lăn trên và con lăn dưới. Bề mặt tiếp xúc có sự thay đổi vị trí khi con lăn quay, phôi di chuyển đi qua khe hở giữa hai con lăn. Hệ số ma sát  $\mu = 0,1$ ;
  - + Trục con lăn dưới cố định, quay với vận tốc góc 1,05 rad/s tương ứng với 10 v/ph;
  - + Con lăn trên di chuyển theo phương chiều dày, ép vào phôi tấm một lượng ép  $\Delta S = 1,6$  mm;
  - + Thời gian tính toán mô phỏng  $t = 3$  s;

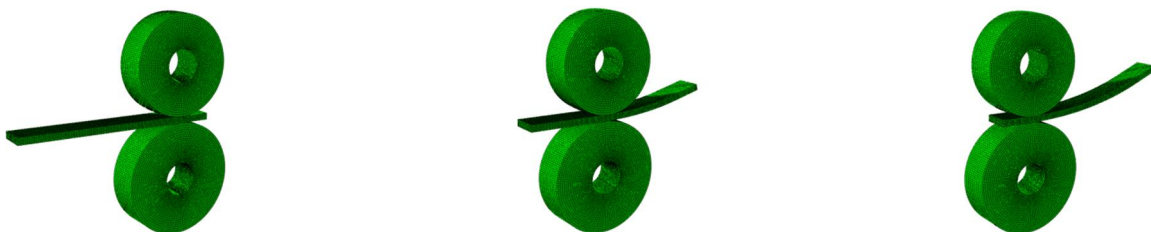
### 3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Hình 7 biểu diễn vết tiếp xúc trên phôi tấm với con lăn trên và con lăn dưới ở giai đoạn đầu tiên con lăn trên ép vào phôi với lượng ép 1,6 mm. Vết tiếp xúc với con lăn trên có dạng ô van do con lăn có biên dạng tang trống, trong khi đó vết tiếp xúc với con lăn dưới có dạng chữ nhật.



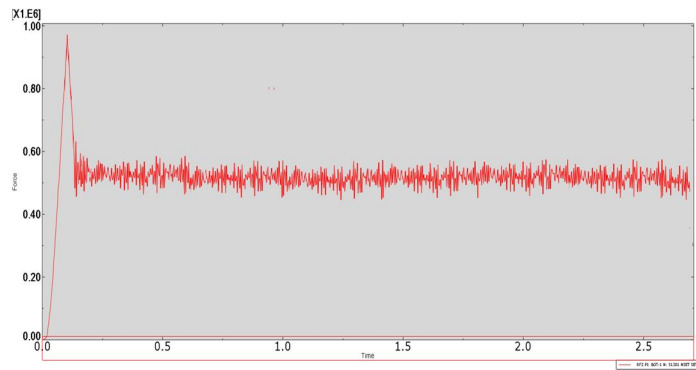
**Hình 7.** Vết tiếp xúc giữa phôi tấm với con lăn trên và dưới

Hình 8 biểu diễn quá trình tạo hình phôi tấm ở các thời điểm bắt đầu lăn, lăn được một nửa chiều dài tấm và khi kết thúc lượt lăn. Kết quả cho thấy phôi tấm ban đầu thẳng, dần bị kéo vào khe hở giữa hai trục lăn, bị biến dạng, mỏng đi và bị cong lên với bán kính cong theo phương dọc xác định được là  $R_d = 480,45$  mm và bán kính cong theo phương ngang  $R_n = 3322,9$  mm.



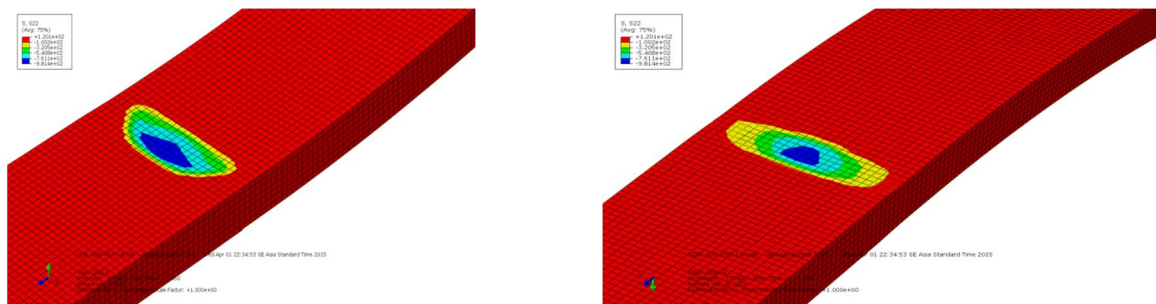
**Hình 8.** Phôi tấm cong ở các thời điểm khác nhau từ bắt đầu đến kết thúc lượt lăn

Từ biểu đồ lực hình 9 ta có thể thấy lực ép tăng dần từ 0 đến 97,5 tấn, ứng với giai đoạn con lăn trên ép lên bề mặt của phôi với lượng ép tăng từ 0 đến 1,6 mm. Khi lăn, lực giảm đi và giữ ổn định trong suốt quá trình là 54,6 tấn. Lực trong quá trình lăn nhỏ hơn lực ép ban đầu được giải thích bằng việc diện tích vết tiếp xúc giữa trục lăn với phôi tấm khi lăn giảm đi so với ban đầu. Lực ép khi lăn lớn hơn 50% so với lực ép ban đầu được giải thích bằng việc vật liệu có tính đàn hồi mặc dù bài toán có tính đối xứng qua trục nối hai tâm con lăn.



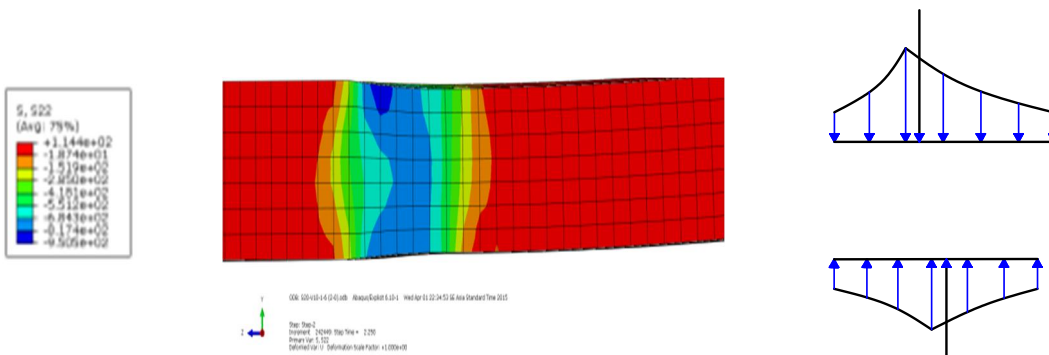
**Hình 9.** Biểu đồ lực lăn ép theo thời gian

Vết tiếp xúc khi lăn giữa phôi với trục lăn trên và dưới được thể hiện trên hình 10. So sánh với vết tiếp xúc trên hình 7 cho thấy sự giảm diện tích tiếp xúc khi lăn và làm rõ hơn biểu đồ lực trên hình 9.



**Hình 10.** Vết tiếp xúc giữa phôi và các con lăn khi lăn ép

Xét biểu đồ phân bố ứng suất trong vùng biến dạng theo phương chiều dày phôi (phương z) tại mặt cắt dọc phôi hình 11 cho thấy ứng suất phân bố trên cung tiếp xúc giữa phôi với các con lăn ở mặt trên và mặt dưới của phôi không đồng đều. Sự không đồng đều này sẽ tạo ra mô men uốn phôi cong theo phương y.

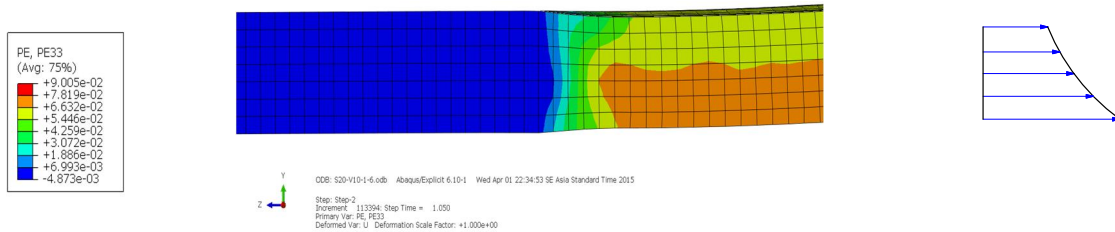


**Hình 11.** Phân bố ứng suất trong mặt cắt dọc phôi khi lăn ép

Nếu xét lực ma sát trên hai bề mặt tiếp xúc có thể nhận định rằng diện tích tiếp xúc giữa phôi với con lăn trên và con lăn dưới khác nhau, dẫn đến lực ma sát theo phương dọc khác nhau.

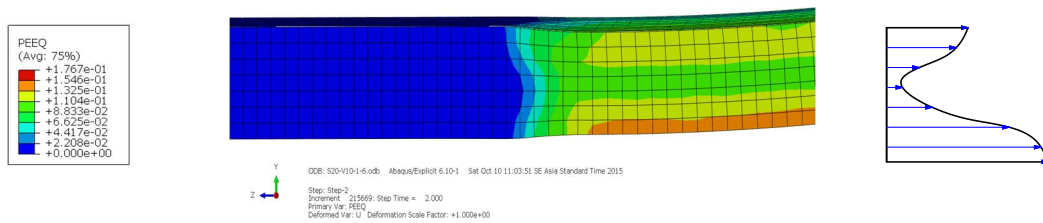
Sự không đối xứng về mô men của lực ma sát trên tiết diện dọc phôi sẽ gây ra mô men uốn phôi theo theo phương y. Như vậy, phôi bị uốn cong do có sự không đối xứng của lực theo phương chiều dày và phương dọc.

Dưới tác dụng của lực ép, mô men của trục lăn, phôi tấm bị biến dạng khi qua khe hở giữa hai trục lăn. Từ kết quả nhận được trên hình 12 về phân bố biến dạng theo phương dọc cho thấy, biến dạng ở vùng sát với bề mặt dưới của tấm có giá trị là 0,08; trong khi đó biến dạng ở vùng sát với bề mặt bên trên của tấm là 0,054. Sự sai khác về lượng dãn dọc giữa hai biên trên, dưới của tấm chứng tỏ bị cong về phía có chiều dài nhỏ hơn, tức là cong lên phía trục lăn nhỏ.



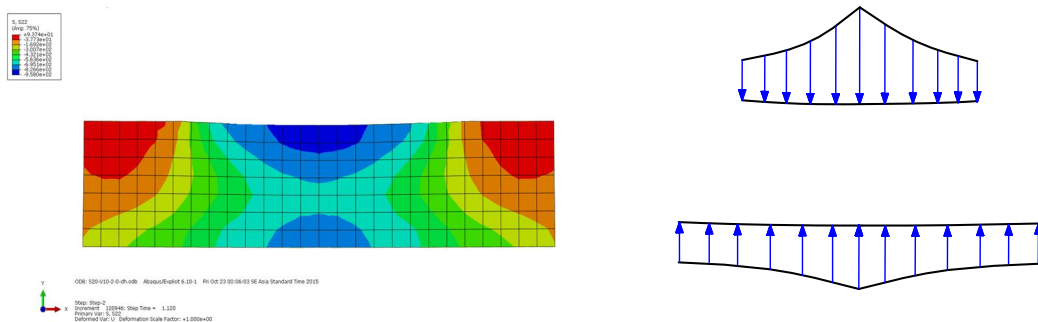
**Hình 12.** Phân bố ứng suất  $\epsilon_2$ , biến dạng  $\epsilon_3$  theo phương dọc

Dựa vào biểu đồ phân bố biến dạng tương đương được thể hiện trên hình 13, có thể thấy rằng, mức độ biến dạng ở vùng sát với bề mặt trên và dưới của tấm có giá trị cao hơn so với ở vùng giữa của tấm. Điều đó chứng tỏ rằng phôi tấm bị biến dạng không đồng đều trên chiều dày. Phôi bị biến dạng chủ yếu trên bề mặt.



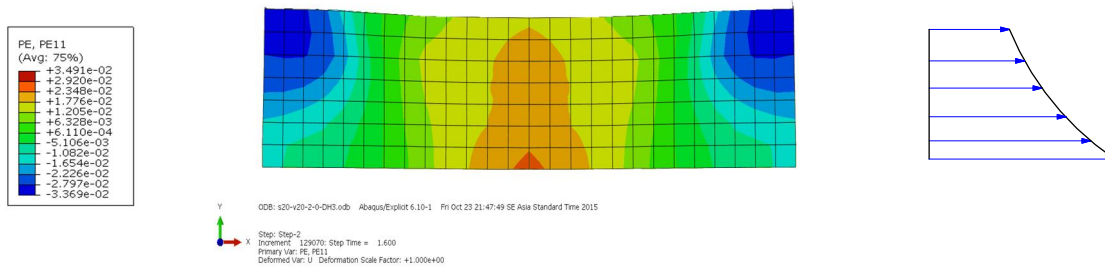
**Hình 13.** Phân bố biến dạng tương đương

Hình 14 biểu diễn phân bố ứng suất trên mặt cắt ngang tấm theo phương chiều dày. Ứng suất phân bố trên hai cung tiếp xúc trên và dưới là ứng suất nén, giá trị ứng suất ở cung bên trên lớn hơn so với cung dưới. Như vậy, phôi bị lõm ở vùng tiếp xúc với con lăn trên và có xu hướng cong lên phía con lăn trên.



**Hình 14.** Phân bố ứng suất trong mặt cắt ngang phôi khi lăn ép

Khi lăn ép bề mặt phôi không tiếp xúc hoàn toàn với các con lăn mà chỉ tiếp xúc cục bộ tại vùng giữa phôi. Ở phía biên ngoài phôi theo chiều rộng, phôi không bị biến dạng. Hình ảnh phân bố biến dạng theo phương ngang hình 15 cho thấy, theo phương ngang, quá trình biến dạng cong của tấm tương tự như uốn. Bán kính cong phụ thuộc chủ yếu vào giá trị lực ép con lăn trên lên tấm hay mức độ biến dạng theo phương chiều dày.



**Hình 15.** Phân bố biến dạng  $\epsilon_1$  theo phương ngang

Như vậy, qua phân tích chiều dài cung tiếp xúc, diện tích tiếp xúc giữa phôi với các con lăn, phân bố ứng suất, biến dạng trên phôi có thể giải thích được hiện tượng phôi tấm bị uốn cong lên phía con lăn nhỏ bên trên.

**Bảng 2.** Tổng hợp kết quả mô phỏng trường hợp phôi tấm có chiều dày  $S = 20$  mm

$\Delta S$	$\epsilon_2$	Lực ép (Tấn)	Lực lăn (Tấn)	$R_d$ (mm)	$R_n$ (mm)
1,6	0,08	96,1	54,6	480,45	3322,9

Như vậy, qua mô phỏng số quá trình lăn ép 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...

#### 4. KẾT LUẬN

Dựa trên trường phân bố ứng suất, biến dạng nhận được từ mô phỏng cho phép phân tích bản chất, đánh giá quá trình lăn ép và đưa ra những kết luận về khoa học như sau:

Xét theo phương dọc, quá trình lăn ép xảy ra tương tự như quá trình cán không đối xứng trên hai trục có bán kính khác nhau. Phôi tấm bị mỏng đi và dãn dài theo phương dọc. Biến dạng trên phôi theo chiều dọc là biến dạng kéo, nhưng do lượng ép không lớn nên biến dạng chủ yếu xảy ra ở vùng sát với bề mặt trên và dưới của tấm. Sự khác nhau về đường kính con lăn dẫn đến dự chênh lệch về phân bố ứng suất và biến dạng theo phương dọc giữa hai bề mặt trên và dưới của tấm. Sự không đối xứng về ứng suất phân bố trên bề mặt tiếp xúc giữa phôi và hai con lăn làm xuất hiện mô men uốn phôi theo trên mặt cắt dọc, độ chênh lệch mức độ biến dạng theo phương dọc giữa mặt trên và mặt dưới của phôi, là lý do cơ bản dẫn đến việc phôi tấm bị cong lên sau khi lăn ép.

Xét theo phương ngang, quá trình biến dạng cong của tấm tương tự như uốn. Bán kính cong phụ thuộc chủ yếu vào giá trị lực ép con lăn trên lên tấm hay mức độ biến dạng theo phương chiều dày.



### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Đào Minh Ngùng, Nguyễn Trọng Giảng, (2007), *Lý thuyết Cán*, NXB Giáo dục.
- [2]. Đào Mộng Lâm, Lê Vĩnh Hà, Phạm Quang Minh, (2004), *Tổ hợp mạch cảm biến đo biến dạng đa năng*. NC KHKT-CNQS số 7.
- [3]. Nguyễn Minh Vũ, Nguyễn Tất Tiến, Nguyễn Đắc Trung, (2009), *Lý thuyết dập tạo hình*. NXB Bách Khoa - Hà Nội.
- [4]. Nguyễn Tất Tiến (2004), *Lý thuyết biến dạng dẻo*. NXB Giáo dục.
- [5]. Nguyễn Trọng Giảng, (2004), *Thuộc tính cơ học của vật rắn*, NXB KH&KT.
- [6]. Dieter, G.E, (1988), *Mechanical metallurgy*, SI metric edition, McGraw-Hill, ISBN 0-07-100406-8.
- [7]. R.J. Roark (2012), *Formulas for Stress and Strain*, McGraw-Hill, New York.
- [8]. S. S. Rao, (1984), *Optimization: Theory and Applications* (2 ed.) pp. 292 300. Wiley Eastern-Limited, New Delhi, India.