

# TỐI ƯU HÓA THIẾT KẾ TRỤC LỖ CHO KHUÔN CÁN TRONG DÂY CHUYỀN CÁN NGUỘI PILGER MILL BẰNG PHẦN MỀM ANSYS R15.0

## OPTIMIZATION DESIGN MANDREL FOR ROLLING DIE IN PILGER MILL COLD ROLLING LINE USING ANSYS R15.0

**Huỳnh Công Lớn, Lương Văn Tới**

Khoa Cơ khí, Trường Đại học Bách khoa – Đại học Quốc gia Tp. Hồ Chí Minh

Email: huynhconglon@hcmut.edu.vn

### TÓM TẮT

*Thiết kế tối ưu biên dạng của lõi khuôn (mandrel) cho quy trình máy cán Pilger Mill được thực hiện bằng cách sử dụng phân tích phần tử hữu hạn có tính đến các yếu tố xử lý khác nhau. Các thông số thiết kế quan trọng của máy cán Pilger Mill là tốc độ cấp liệu, tốc độ cán, số bước cán trên một chu kỳ cán, tỷ số cán và biên dạng rãnh của khuôn cán. Quy trình thiết kế tối ưu được tiến hành để nghiên cứu các tác động đến tải trọng tạo hình và hình dạng biến dạng của vật liệu tùy thuộc vào các biên dạng của lõi khuôn. Ứng dụng phần mềm ANSYS 15.0 để phân tích lực chọn biên dạng tối ưu của mandrel. Đồng thời cũng dựa vào kết quả phân tích này để lựa chọn loại vật liệu phù hợp được dùng để chế tạo mandrel nhằm nâng cao tuổi thọ của nó.*

**Từ khóa:** Pilger Mill; Tối ưu hóa thiết kế; FEM; ANSYS; Trục lõi.

### ABSTRACT

*The optimal design of the mandrel profile for the Pilger Mill process is carried out using finite element analysis taking into account various processing factors. The important design parameters of the Pilger Mill are feed rate, rolling speed, number of rolling steps per rolling cycle, rolling ratio and groove profile of the rolling die. The optimal design process is carried out to study the effects on the forming load and deformation shape of the material depending on the mandrel profiles. ANSYS 15.0 software is applied to analyze the force to select the optimal mandrel profile. At the same time, based on the analysis results, the appropriate material type is selected to manufacture the mandrel.*

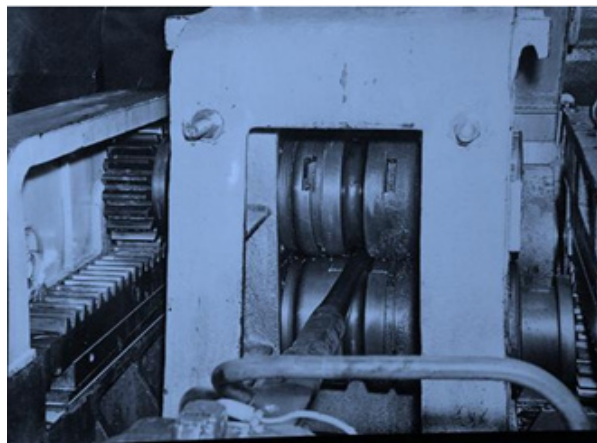
**Keywords:** Pilger mill; Optimum Design; Finite Element Method; ANSYS; Mandrel.

## 1. GIỚI THIỆU

Các loại ống thép hàn thường có nhược điểm là khả năng chịu được tải áp suất trong lòng ống rất là thấp, thường dưới 15bar. Trong khi đó, thực tế sử dụng cần những loại ống chịu được áp suất lên đến 250 bar, chỉ có ống đúc cán nóng thì mới đáp ứng được yêu cầu chịu tải áp suất lớn như vậy. Để nâng cao khả năng chịu được áp suất cao của ống, chúng ta có thể tiến hành gia công cán ống trên máy cán Pilger Mill, quy trình cán này sẽ làm vùng cán tăng nhiệt cục bộ lên rất cao làm cho vật liệu ở vùng đó nóng chảy. Máy cán máy cán Pilger có một bộ khuôn cán đôi có rãnh hình bầu dục dọc theo bề mặt khuôn và trục lõi (mandrel) đặt trong lòng ống, nó được xem như là đường dùng để xác định đường kính trong của ống thành phẩm [1-3]. Cán nguội trên máy cán Pilger Mill được coi là một trong những quy trình sản xuất hiệu quả nhất dùng để sản xuất ống. Trong công nghiệp, công nghệ này được áp dụng cho cả vật liệu sắt và không chứa sắt ngay cả khi chúng khó biến dạng. Nguyên liệu đầu vào của máy cán có thể bị biến dạng tới 95% chỉ trong một lần vận hành, giúp giảm đáng kể số lượng các hoạt động sản xuất cần thiết và cuối cùng dẫn đến giảm chi phí sản xuất. Đồng thời, chất lượng cao của bề mặt ngoài và trong của ống và các đặc tính vật lý và cơ học rất cao thu được. Trong bài báo này, hình dạng tối ưu của trục lõi khuôn trong dây chuyền cán Pilger Mill được thiết kế để áp dụng cho việc tạo hình ống từ đường kính 49mm và chiều dày thành ống 5mm xuống ống có đường kính 25.4mm và dày thành 3mm. Để tìm ra biên dạng tối ưu của trục lõi, ANSYS 15.0 đã được sử dụng cho các phân tích các mô hình 3D của lõi nhằm đạt các mục tiêu: kéo dài tuổi thọ của lõi, lựa chọn vật liệu phù hợp cắt giảm chi phí và giá thành sản xuất.

## 2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT

### 2.1. Quy trình cán nguội trên máy Pilger Mill



Hình 1. Cụm cán của máy cán nguội Pilger Mill

Ngược lại với các quy trình sản xuất ống khác, cán ống nguội được thực hiện trên máy cán Pilger Mill có tính chất tuần hoàn. Trong quy trình này [1], giá cán có khả năng thực hiện chuyển động theo chiều dọc. Các con lăn được gắn vào giá cán di chuyển và chúng quay theo các hướng ngược nhau như thể hiện trong Hình 1. Các con lăn có rãnh tròn và bán kính thay đổi được sử dụng trong quy trình này. Mặt cắt ngang rãnh tại mặt phẳng vào bằng với mặt cắt ngang của ống ban đầu trong khi tại mặt phẳng ra bằng với mặt cắt ngang của sản phẩm cuối cùng. Đường kính của rãnh cũng được lựa chọn chính xác. Ở cả hai vị trí quan trọng của giá (phía sau - lõi vào của vật liệu ban đầu và phía trước - lõi ra của sản phẩm cuối cùng), không có tiếp xúc giữa các con lăn và vật liệu. Sau đó, vật liệu được cán dọc theo thanh trục hình nón. Chu kỳ cán bắt đầu khi giá được đặt tại vị trí chết phía sau. Sau đó, ống ban đầu được dịch chuyển một khoảng cách tiến nhỏ và đồng thời xoay  $60^{\circ} - 90^{\circ}$  quanh trục của nó. Kết quả là một phần vật liệu khác (tiến trình giảm thể tích) đi vào vùng biến dạng và được cán trong khi giá đỡ di chuyển đến vị trí chết trước. Trong vị

trí chết trước, ống lại được xoay một góc  $60^\circ - 90^\circ$  quanh trục của nó và quá trình cán lại tiếp tục diễn ra.

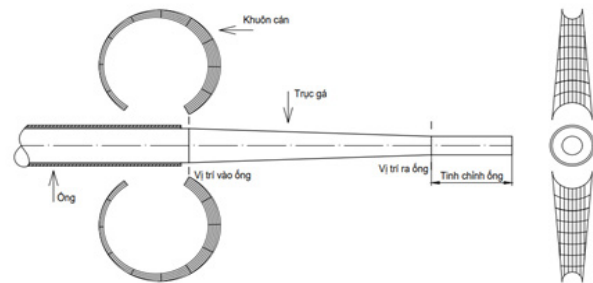
## 2.2. Ứng suất và biên dạng của trục lõi (mandrel)

Các thông số kỹ thuật và thông số làm việc của quy trình cán như sau: đường kính ống vào  $d_{in} = 49\text{mm}$ , chiều dày thành ống  $h_1 = 5\text{mm}$ , khoảng tịnh tiến mỗi chu kỳ cán  $5\text{mm}$ , góc xoay  $75^\circ$ , đường kính ống ngõ ra  $d_{out} = 25.4\text{mm}$ , chiều dày thành ống  $h_2 = 3\text{mm}$ .

$$\sigma_d = \sigma_0 \frac{1+\beta}{\beta} \left[ 1 - \left( \frac{h_1}{h_2} \right)^\beta \right] + \sigma_b \left( \frac{h_1}{h_2} \right)^\beta + \sigma_b \quad (1)$$

Trong đó:  $\sigma_d$  - Ứng suất tác dụng lên mandrel trong hình trình tiến;  $\sigma_b$  - Ứng suất tác dụng lên mandrel trong hình trình lùi;  $\mu_1$  - Hệ số ma sát giữa khuôn và ống thép;  $\mu_2$  - Hệ

số ma sát giữa ống và mandrel;  $\beta = \frac{\mu_1 + \mu_2}{\tan \alpha}$ ;  $\sigma_b = \frac{1.5 * \sigma_0}{2\sqrt{3}}$ ;  $\sigma_0 = 210 \text{ N/mm}^2$  đối với vật liệu cán là thép.



Hình 2. Quy trình cán ống trên máy cán nguội Pilger Mill

Thế các thông số kết cấu và thông số làm việc của cụm cán tương ứng với từng tiết diện cụ thể, ta tìm được đường kính của mandrel ở từng vị trí như trong bảng 1.

Bảng 1. Đường kính ở từng vị trí mặt cắt của mandrel, mm

| Vị trí tiết diện | Đường kính mandrel | Vị trí tiết diện | Đường kính mandrel | Vị trí tiết diện | Đường kính mandrel | Vị trí tiết diện | Đường kính mandrel | Vị trí tiết diện | Đường kính mandrel |
|------------------|--------------------|------------------|--------------------|------------------|--------------------|------------------|--------------------|------------------|--------------------|
| 1                | 19.050             | 10               | 20.966             | 19               | 23.577             | 28               | 27.917             | 37               | 36.720             |
| 2                | 19.255             | 11               | 21.209             | 20               | 23.958             | 29               | 28.563             | 38               | 38.002             |
| 3                | 19.459             | 12               | 21.464             | 21               | 24.352             | 30               | 29.261             | 39               | 39.313             |
| 4                | 19.664             | 13               | 21.719             | 22               | 24.771             | 31               | 30.064             | 40               | 40.654             |
| 5                | 19.868             | 14               | 21.986             | 23               | 25.228             | 32               | 30.968             | 41               | 42.025             |
| 6                | 20.085             | 15               | 22.279             | 24               | 25.698             | 33               | 31.954             |                  |                    |
| 7                | 20.302             | 16               | 22.572             | 25               | 26.205             | 34               | 33.057             |                  |                    |
| 8                | 20.520             | 17               | 22.890             | 26               | 26.738             | 35               | 34.248             |                  |                    |
| 9                | 20.737             | 18               | 23.221             | 27               | 27.308             | 36               | 35.469             |                  |                    |

### 2.3. Lựa chọn vật liệu

Thép hợp kim AISI M4 là loại thép dùng để chế tạo dụng cụ làm việc ở tốc độ cao được sử dụng rộng trong nghiên cứu thiết kế mandrel thông số kỹ thuật của thép thể hiện trong Bảng 2.

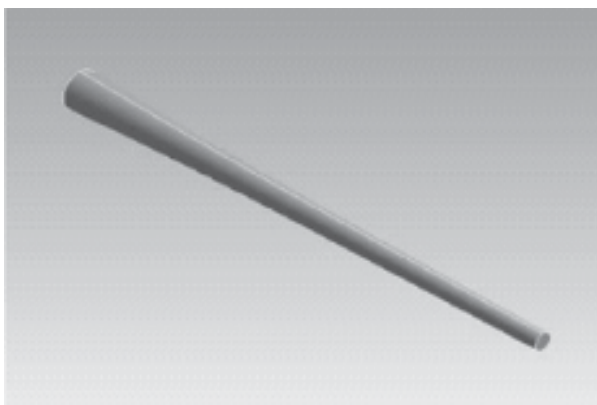
Bảng 2. Đặc tính vật liệu của hợp kim AISI M4

| Đặc tính vật liệu   | Hợp kim AISI M4            |
|---------------------|----------------------------|
| Giới hạn chảy       | 4000E+6 N/m <sup>2</sup>   |
| Độ bền kéo          | 5129E+6 N/m <sup>2</sup>   |
| Mô đun đàn hồi      | 2.15e+011 N/m <sup>2</sup> |
| Hệ số Poisson       | 0.27                       |
| Khối lượng riêng    | 8166 kg/m <sup>3</sup>     |
| Mô đun cắt          | 126E+09 N/m <sup>2</sup>   |
| Hệ số giãn nở nhiệt | 1.1e-005 /Kelvin           |

## 3. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

### 3.1. Thiết kế mô hình mandrel

Dựa vào kết quả tính toán ở (2.2), mô hình hình học của mandrel được xây dựng là mô hình tuyến tính kích thước như hình 3:



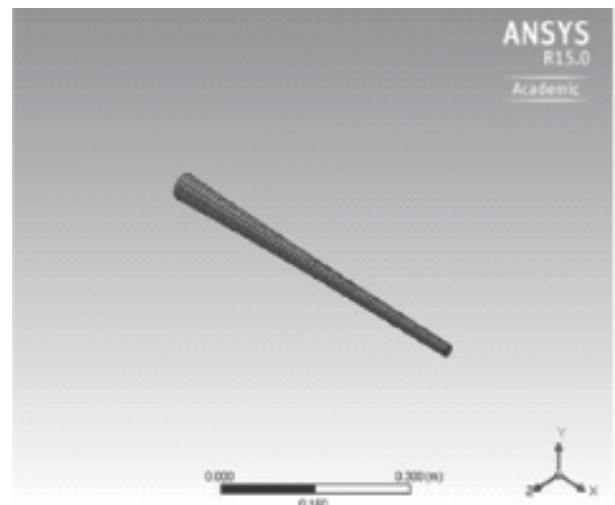
Hình 3. Mô hình hóa hình học 3D của mandrel

Bảng 3. Thông số kỹ thuật của mandrel

| Hình dạng  | Chiều dài trục x, mm | Chiều dài trục y-z, mm | Thể tích, mm <sup>3</sup> | Khối lượng, kg |
|------------|----------------------|------------------------|---------------------------|----------------|
| Tuyến tính | 590                  | 42.025                 | 3.52E+05                  | 2.88           |

### 3.2. Chia lưới cho mô hình mandrel

Sử dụng phần mềm ANSYS R15.0 để chia lưới cho mô hình phân tích bao bao gồm 8364 nút và 1748 phần tử như trong bảng 04.



Hình 4. Mô hình chia lưới cho mandrel

Bảng 4. Mô hình chia lưới cho mandrel

| Loại lưới         | Lưới thể tích |
|-------------------|---------------|
| Loại phần tử lưới | Tứ diện       |
| Jacobian điểm     | 4             |
| Số nút            | 8364          |
| Số phần tử        | 1748          |



## 4. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

### 4.1. Các thông số đầu vào cho mô phỏng trên phần mềm ANSYS R15.0

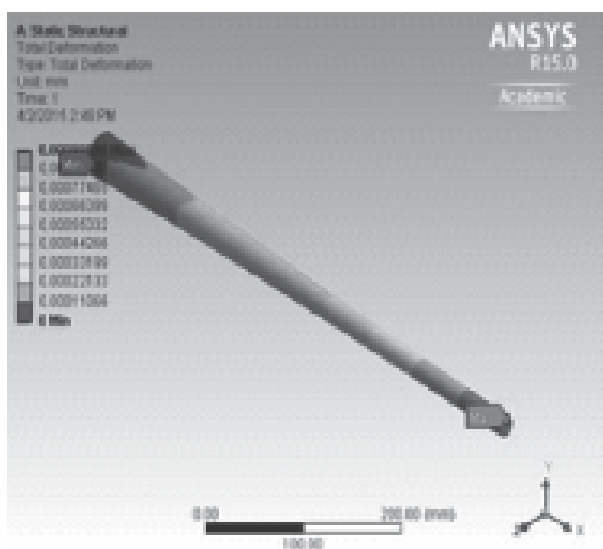
Nghiên cứu này sử dụng các thông số đầu vào như sau: khối lượng mandrel là 2.88 kg, vật liệu sử dụng là AISI M4, tải nén lớn nhất là 38.8KN, tỷ số nén là 57%, mô hình hình học của mandrel là côn trụ tuyến tính độ dốc 1.5 radian. Kết quả mô phỏng được thể hiện trong các bảng 5 và các hình 5, 6.

### 4.2. Kết quả mô phỏng

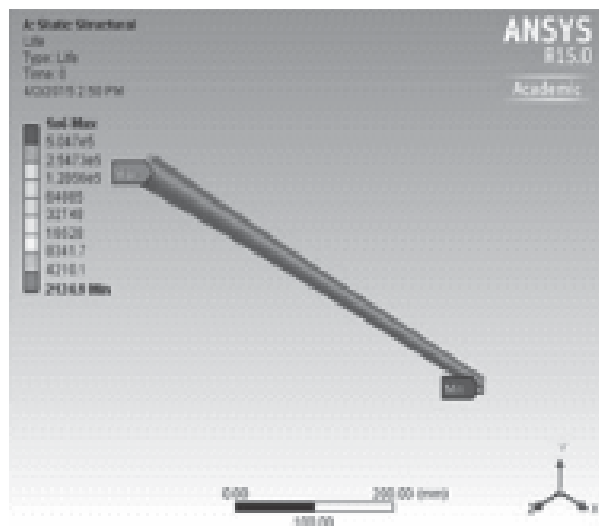
Bảng kết quả mô phỏng bằng ANSYS R15.0 được cho trong Bảng 5.

Bảng 5. Kết quả mô phỏng

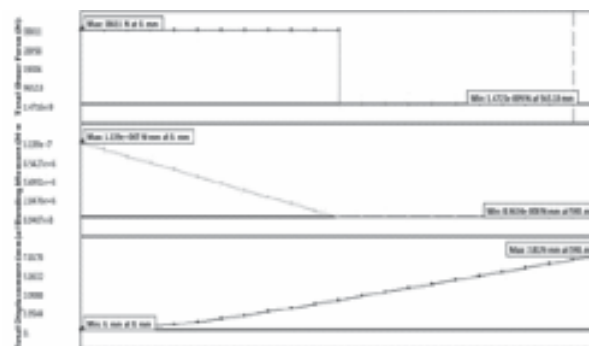
| Vật liệu AISI M4                        | Max        | Min     |
|-----------------------------------------|------------|---------|
| Tuổi thọ, giờ                           | 5.047E+0 5 | 2124.9  |
| Ứng suất tương đương, N/mm <sup>2</sup> | 4.3244     | 0.19543 |
| Biến dạng, mm                           | 0.000995   | 0       |



Hình 5. Biến dạng của mandrel



Hình 6. Tuổi thọ của mandrel



Hình 7. Biểu đồ ứng suất – chuyển vị của mandrel

Dựa vào biểu đồ ứng suất biến dạng ở hình 7, ta thấy rằng mandrel bị chuyển vị lớn nhất 7.8176mm tại vị trí 590mm và momen uốn lớn nhất là 1.139e+07 tại vị trí tiết diện lớn nhất của mandrel.

## 5. KẾT LUẬN

Kết quả tính toán thiết kế tối ưu biên dạng kết cấu của mandrel là đáng tin cậy vì các giá trị tối thiểu và tối đa của ứng suất tương đương rất nhỏ so với giới hạn chảy của thép hợp kim AISI M4. Đồng thời, tuổi thọ của mandrel cũng được nâng lên đáng kể, giúp giảm chi phí sản xuất, giảm giá thành nâng cao khả năng cạnh tranh của sản phẩm. ❖

Ngày nhận bài: 18/11/2024  
Ngày phản biện: 26/12/2024

### Tài liệu tham khảo:

- [1]. S.Muot, a.Hacquin, p.Montmitonnerin, “3D finite element simulation of cold pilgering”. Journal of Material Processing Technology 60(1996) 505-512.
- [2]. Carscallen, W.E., Jeswiet, J., Oosthuizen, P.H., “Optimization of a Cooling System: the Cooling of Pilgered Seamless Tubes”. CIRP Annals – Manufacturing Technology, Vol. 43, (1994).
- [3]. V.M.Prajapati, B.D.Patel, “Fatigue analysis of mandrel use in tube drawing process”. International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT) Vol. 1 Issue 10, December-2012.
- [4]. V.M.Prajapati, Design, “Optimization and Analysis of Cold Pilger Mill Mandrel for Tube Drawing Using Cad Software”. International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT).
- [5]. S. Nantha Gopan, M. Gowtham, J. Kirubakaran Vivek, R. Rajesh, S. Ramakrishnan, “Design and Analysis of Adjustable Inside Diameter Mandrel for Induction Pipe Bender”. International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT) – Volume10, Number 1 - Apr 2014.
- [6]. S.Z. Qamar, “Effect of heat treatment on mechanical properties of h11 tool steel”. Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering 35/2 (2009) 115-120.
- [7]. J. Osika, “Walcowanie rur na zimno w walcarkach pielgrzymowych”. Uczelniane Wydawnictwa Naukowo – Dydaktyczne AGH, (2004).
- [8]. Metal Forming Handbook /Schuler (c) Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1998.
- [9]. Metal Forming Processes. Zainul Huda, Springer Nature Switzerland AG 2024.
- [10]. Argha Dutta, Apu Sarkar, N. Gayathri, Sandip Bysakh, Arpan Arora, Santu Dey, S. Srivastava, Suhrit Mula & P. Mukherjee, “Effects of Cold Rolling-Induced Defects on Proton Irradiation Response in Nb-1Zr-0.1C Alloy”. Nuclear Science and Engineering, 2024.
- [11]. Abe H. and Furugen M., “Method of Evaluating Workability in Cold Pilgering of Zirconium Alloy Tube”. Materials Transaction, Vol 51, (2010).
- [12]. Abe H. and Furugen M., “Method of Evaluating Workability in Cold Pilgering”. Journal of Materials Processing Technology, Vol. 212, (2012).