

Tính toán thiết kế và kiểm bền chi tiết dầm chính cổng trục đẩy tay tải trọng một tấn bằng phương pháp phần tử hữu hạn

■ **ThS. LÊ HUỖNH ĐỨC^(*); NGUYỄN ĐÌNH MINH QUÂN; NGUYỄN NGỌC NHẬT**

Trường Đại học Kinh tế Kỹ thuật Công nghiệp

Email: ^(*)lhduc@uneti.edu.vn

TÓM TẮT: Ngày nay, các phần mềm hỗ trợ thiết kế 2D và 3D ngày càng phát triển. Việc ứng dụng các phần mềm phản hồi trực tiếp cho việc thiết kế nhằm tối ưu hóa quá trình thiết kế là điều cần thiết để tránh được việc tốn thời gian thiết kế, chế thử. Việc tính toán, thiết kế chi tiết dầm chính cổng trục đẩy tải trọng một tấn được thực hiện theo phương pháp tính toán phân tích. Phần mềm NX hỗ trợ mô hình hóa chi tiết dưới dạng 3D và phần mềm Autocad hỗ trợ bản thiết kế dưới dạng 2D. Quá trình mô phỏng thực hiện thông qua thiết kế chi tiết dầm chính và đưa các thông số đầu vào như tải trọng và vật liệu vào phần mềm Abaqus. Kết quả tính toán bao gồm ứng suất, chuyển vị và các thông số khác được so sánh với giới hạn bền để đảm bảo tính an toàn và hiệu suất của chi tiết dầm chính. Nếu chi tiết không đủ bền hoặc thừa bền ta có thể tối ưu hóa lại quá trình thiết kế mà không qua giai đoạn chế thử. Nghiên cứu này cung cấp cơ sở cho việc chế tạo và kiểm tra bền của chi tiết máy trong các ứng dụng thực tế và hữu ích cho ngành công nghiệp sản xuất và kỹ thuật.

TỪ KHÓA: Kiểm bền, phương pháp phần tử hữu hạn, cổng trục, ứng suất, chuyển vị.

ABSTRACT: Nowadays, software supporting 2D and 3D design is increasingly developing. Applying direct feedback software for design to optimize the design process is essential to avoid wasting time on design and testing. The calculation and detailed design of the main beam of the portal crane with a load of one ton are carried out according to the analytical calculation method. NX software supports detailed modeling in 3D and Autocad software supports 2D designs. The simulation process is performed through detailed design of the main beam and inputting input parameters such as loads and materials into Abaqus software. Calculation results including stress, displacement and other

parameters are compared with the durability limit to ensure the safety and performance of the main beam detail. If the part is not strong enough or is too strong, we can re-optimize the design process without going through the trial phase. This research provides a basis for the fabrication and durability testing of machine parts in practical applications and is useful for the manufacturing and engineering industries.

KEYWORDS: Durability testing, finite element method, gantry, stress, displacement.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Cổng trục là một loại thiết bị nâng hạ nằm trong danh mục máy nâng và máy chuyển liên tục. Có rất nhiều các loại thiết bị nâng hạ khác nhau dựa theo cấu tạo, khả năng làm việc, hệ thống dẫn động... mà có các tên gọi khác nhau như cầu trục, cần trục, cổng trục... Cổng trục là một dạng biến thể của cầu trục, thiết bị nâng hạ và di chuyển hàng hóa, thiết bị hạng nặng trong nhà xưởng, bến cảng hoặc khu vực ngoài trời... trên nền bê tông. Cổng trục có hình dáng giống cổng chào với 2 chân đứng và dầm ngang, có khả năng làm việc linh hoạt trong các đường ray di chuyển và các khẩu độ theo yêu cầu và có khả năng làm việc trong môi trường có tải trọng, nặng nhọc, kích thước cổng lớn, cổng kênh, đặc biệt là trong các công trình xây dựng, nhà máy sắt thép, bê tông... Cấu tạo của cổng trục bao gồm: Dầm chính của cổng trục đẩy tay sẽ được làm từ thép hình hoặc từ thép tổ hợp tạo hình chữ I, hai đầu của dầm chính có bản mã, được khoan lỗ bu-lông ở bốn góc. Chân cổng trục cũng được làm từ thép hình hoặc C gấp, mặt cắt sau khi tạo hình dạng hộp. Dưới chân cổng trục là dầm biên cũng có cấu tạo và mặt cắt như chân cổng

trục hoặc tương đương tùy vào tải trọng của cổng trục đẩy tay. Dưới dầm biên của cổng trục là các bánh xe chịu tải, xoay 360 độ, có khóa.

Khi làm việc, dầm chính chịu lực uốn do tải nặng tại vị trí giữa dầm. Lực này tác động lên dầm chính làm dầm chính chịu mô-men uốn. Ngoài ra, chân cổng trục chịu lực nén hướng tâm. Vì vậy, trong quá trình thiết kế cần tính toán ứng suất và biến dạng của dầm chính để đảm bảo điều kiện bền rồi mới tiến đến quá trình chế tạo.

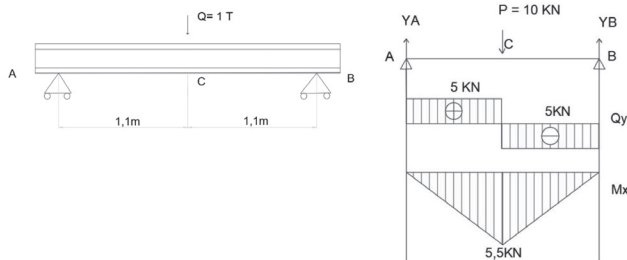
Abaqus với bộ sưu tập phong phú của các phần tử, đặc biệt được thiết kế để linh hoạt mô phỏng mọi loại cấu trúc trong ngành Cơ khí. Khả năng này không chỉ giúp người dùng mô phỏng các thiết kế phức tạp mà còn cho phép phân tích các tính chất vật liệu đa dạng như kim loại, bê tông cốt thép và vật liệu cao phân tử hay phức hợp.

Ngoài việc sử dụng cho mục đích phân tích kết cấu, Abaqus còn được áp dụng rộng rãi trong nhiều lĩnh vực khác như truyền nhiệt, điện tử cơ học và phân tích âm thanh. Sự đa dạng trong việc ứng dụng của nó giúp người dùng khai thác tối đa tiềm năng của phần mềm.

Đáng chú ý, Abaqus không chỉ là một phần mềm mô phỏng mà còn là một công cụ thương mại chất lượng cao, đồng thời lại rất dễ sử dụng. Với hai khối phân tích chính là Abaqus/Standard và Abaqus/Explicit, người dùng có thể chọn lựa phương pháp phân tích phù hợp với nhu cầu cụ thể. Tóm lại, với các tính năng mạnh mẽ và dễ sử dụng, Abaqus là một công cụ đáng tin cậy cho mọi người dùng muốn thực hiện các phân tích kết cấu chính xác và hiệu quả.

2. TÍNH TOÁN THIẾT KẾ CỔNG TRỤC

Dầm chính có kích thước như hình vẽ. Tải trọng 1 tấn được đặt vào vị trí chính giữa của dầm. hai bên là hai đầu gối tựa A và B. Khoảng cách giữa hai gối tựa là 2,2 m.



Hình 2.1: Hình vẽ và biểu đồ mô-men của dầm chính

Phương trình cân bằng:

$$\sum M_A = 0 \Rightarrow 2,2 Y_B - 1,1 Q = 0 \text{ (KN)}$$

$$\sum F_y = 0 \Rightarrow Y_A - Q + Y_B = 0 \text{ (KN)}$$

2.1. Tính chiều cao $h_{\min}$

Theo sổ tay Thực hành tính toán kết cấu thép ta có:
Trong đó:

$$h_{\min} = \frac{1}{6} \cdot \frac{F}{E} \cdot \left[\frac{l}{\Delta} \right] \cdot \frac{l}{y_{tb}}$$

E - Mô-đun đàn hồi của thép: $E = 210 \text{ GPa} = 2,1 \times 10^4 \text{ KN/cm}^2$;

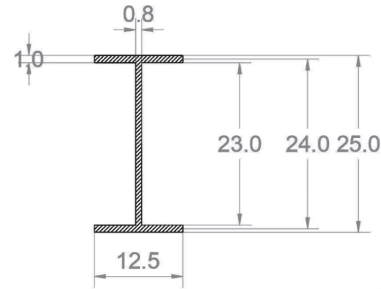
F - Ứng suất bền uốn cho phép 400 - 510 Mpa. Chọn $F = 400 \text{ Mpa} = 40 \text{ KN/cm}^2$;

l - Chiều dài của dầm $l = 220 \text{ cm}$;

$y_{tb} = 1,2$ (Hệ số vượt tải trung bình của thép).

$$\left[\frac{\Delta}{l} \right] = \frac{1}{400} \text{ (Độ võng tương đối cho phép của dầm).}$$

$\Rightarrow$ Chọn $h = 25 \text{ cm}$



Hình 2.2: Mặt cắt dầm chính dạng thép hình I sau khi đã tính toán

2.2. Xác định đặc trưng hình học của tiết diện dầm.

- Ứng suất pháp lớn nhất:

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{W_x} \left(\frac{\text{KN}}{\text{cm}^2} \right)$$

- Ứng suất tiếp lớn nhất:

$$\tau_{\max} = \frac{Q_y \cdot S_x}{I_x \cdot t_w} \left(\frac{\text{KN}}{\text{cm}^2} \right)$$

Vì dầm là vật liệu dẻo nên theo thuyết bền ứng suất tiếp cực đại, với hệ số an toàn là 1,3.

$$\sigma_{t3} = \sqrt{\sigma_{\max}^2 + 4\tau_{\max}^2} \leq \frac{[\sigma]}{1,3}$$

$$= 1,92 \text{ (KN/cm}^2) \leq [30,7] \text{ (KN/cm}^2)$$

$\Rightarrow$ Thỏa mãn điều kiện bền

- Tính chuyển vị của dầm:

Đoạn AC:

$$y_1 = \frac{P \cdot b}{l \cdot E \cdot I_x} \left(\frac{l^2 - b^2}{6} z_1 - \frac{z_1^3}{6} \right)$$

Đoạn BC:

$$y_2 = \frac{P \cdot b}{l \cdot E \cdot I_x} \left(\frac{(z_2 - a)^3}{6b} l + \frac{l^2 - b^2}{6} z_2 - \frac{z_2^3}{6} \right)$$

Vì C ở giữa dầm nên độ võng lớn nhất xảy ra tại điểm C:

Chuyển vị lớn nhất xảy ra tại vị trí giữa dầm với giá trị 0,025 mm.

3. XÂY DỰNG CÁC MÔ HÌNH MÔ PHỎNG VÀ KIỂM BỀN

3.1. Mô hình hóa chi tiết dầm chính

Việc mô hình hóa cũng có thể thực hiện bằng các phần mềm khác nhau như Inventor, Catia, SolidWork... Trong nghiên cứu này sử dụng phần mềm NX để tiến hành mô hình hóa chi tiết dầm chính. Hình 3.1 dưới đây thể hiện việc mô hình hóa chi tiết dầm chính dưới dạng 3D.



Hình 3.1: Cổng trục đẩy tay tải trọng 1 tấn

3.2. Chia lưới

Có hai cách cơ bản để chia lưới bao gồm lưới hình lập phương và lưới tứ diện. Đối với các chi tiết có hình dạng thiết kế 3D phức tạp, nhiều gân gờ, góc bo, thành vách, ta nên chọn phương pháp chia lưới tứ diện để đạt kết quả chính xác hơn. Mô phỏng sử dụng lưới tứ diện để đơn giản hóa mô hình và điều chỉnh các đặc điểm trong lưới. Chi tiết mô phỏng được chia thành 12.425 phần tử tứ diện như thể hiện trong Hình 3.2 dưới đây.



Hình 3.2: Chia lưới khung cổng trục bằng phần mềm Abaqus

3.3. Tính chất vật liệu

Vật liệu thép carbon SS400 được sử dụng cho việc tính toán thiết kế và chế tạo cổng trục đẩy tay. Về thành phần hóa học của thép SS400 được cho trong bảng dưới đây:

Bảng 3.1. Thành phần hóa học của thép carbon SS400

C (%)	Si (%)	Mn (%)	Ni (%)	Cr (%)	P (%)	S (%)
0,11-0,18	0,12-0,17	0,4-0,57	0,03	0,02	0,02	0,03

Bảng 3.2. Tính chất vật lý của thép carbon SS400

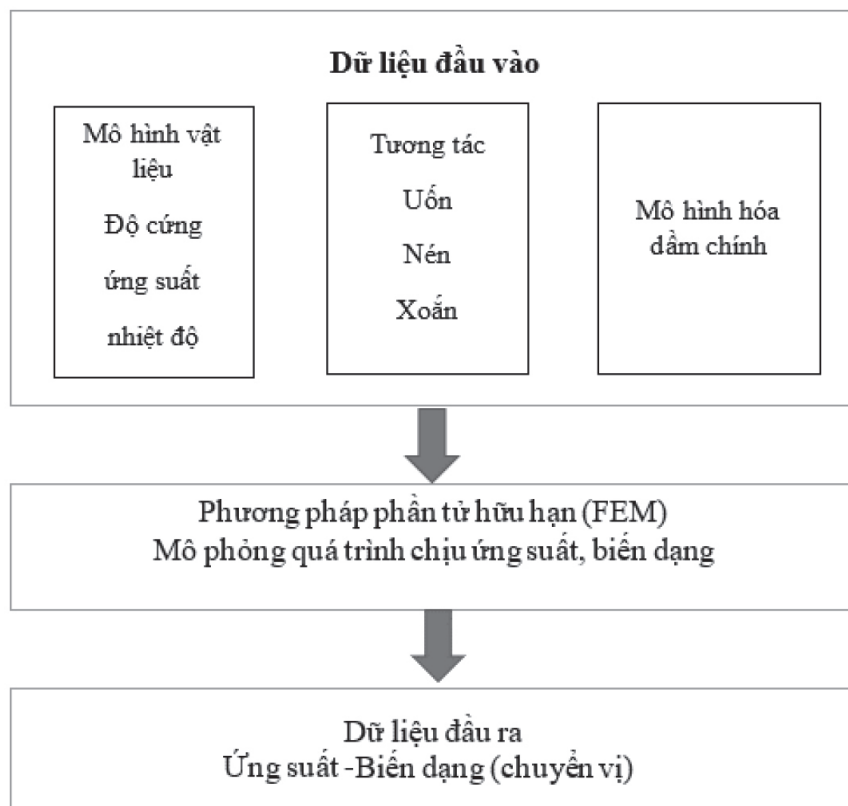
Tính chất	Thép SS400
Khối lượng riêng [kg/m ³]	7850
Mô-đun đàn hồi [Kg/cm ²]	2,1×10 ⁶
Hệ số Poisson's	0,3
Độ giãn dài khi đứt	21%
Ứng suất cho phép lớn nhất [KG/mm ²]	380-490 Mpa

3.4. Điều kiện biên

Dầm cổng trục chịu tải trọng 1 tấn, điểm yếu nhất tập trung vào giữa dầm. Do đó, ta đặt lực với tải trọng 1 tấn vào giữa thanh dầm. Ngoài ra, chân cổng trục trong quá trình nâng hạ sẽ đứng yên nên ta coi như vị trí chân cổng trục, tức là vị trí 4 bánh xe sẽ giới hạn sáu bậc tự do. Ta đặt điều kiện cho bề mặt lắp bánh xe giới hạn 6 bậc tự do.

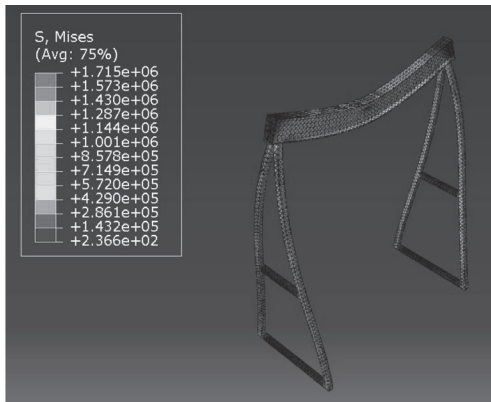
3.5. Các bước thực hiện mô phỏng phân tích

Quá trình mô phỏng phân tích được tóm gọn trong Hình 3.3 dưới đây. Đây là sơ đồ khối thể hiện quy trình mô phỏng phân tích từ dữ liệu đầu vào, chạy mô phỏng phân tích và cho kết quả đầu ra như mong muốn của chúng ta là chuyển vị và ứng suất.



Hình 3.3: Sơ đồ khối để tính toán ứng suất - biến dạng của dầm chính từ mô hình FEM

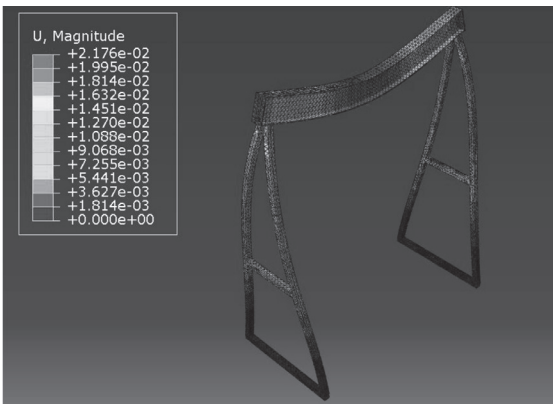
4. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG



Hình 4.1: Phân bố ứng suất của dầm chính cổng trục đẩy tay 1 tấn

Hình 4.1 cho thấy, trên suốt chiều dài của dầm chính, phần chịu uốn lớn nhất là vùng có màu đỏ, với giá trị lên tới 1.715×10^6 Pa. các vị trí ít chịu ứng suất như vị trí hai đầu của thanh dầm chính chịu ứng suất có giá trị 2.366×10^2 Pa. Như vậy, nhìn tổng thể vào phần mô phỏng ứng suất ta có thể thấy được rằng phần chịu lực lớn nhất là phần ở chính giữa thanh dầm và điều này khá phù hợp với lý thuyết tính toán. Từ đây, ta có thể tối ưu hóa lại quá trình thiết kế bằng cách tăng độ cứng, tăng độ dày hoặc thay đổi tính chất vật liệu để đạt được giá trị ứng suất như mong đợi.

Tra ứng suất cho phép đối với vật liệu làm dầm chính là thép carbon SS400, ứng suất cho phép không quá 490×10^6 Pa. Từ đó ta có thể kết luận, dầm chính hoàn toàn đủ bền.



Hình 4.2: Chuyển vị của dầm chính cổng trục đẩy tay 1 tấn

Hình 4.2 cho thấy, phần chuyển vị lớn nhất tại vị trí chính giữa dầm chính với lượng chuyển vị là 0,021 mm. Các vị trí khác chuyển vị ít hơn, cụ thể tại hai đầu của dầm chính với lượng chuyển vị rất nhỏ, giá trị vào khoảng 0,0018 mm. có một số vị trí không bị chuyển vị như chân của cổng trục, vị trí kết nối với bánh xe.

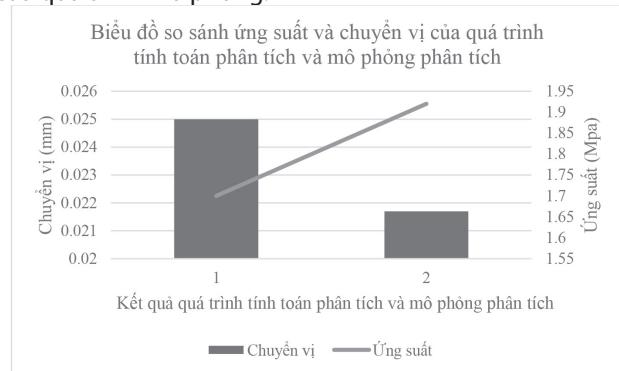
Tra chuyển vị cho phép với vật liệu làm dầm chính là thép carbon SS400, chuyển vị cho phép không quá 0,05 mm. Từ đó ta có thể kết luận, dầm chính hoàn toàn đạt yêu cầu.

5. SO SÁNH KẾT QUẢ VÀ KẾT LUẬN

Từ quá trình tính toán phân tích và mô phỏng phân

tích, ta đưa ra được biểu đồ dưới đây. Biểu đồ thể hiện sự so sánh kết quả về ứng suất và chuyển vị của hai quá trình tính toán phân tích và mô phỏng phân tích. Quá trình tính toán cho thấy rằng, ứng suất lớn nhất có giá trị là 1,92 Mpa. Khá phù hợp với kết quả của quá trình mô phỏng phân tích có giá trị là 1,71 Mpa. Tương tự như vậy, với lượng chuyển vị của quá trình tính toán và mô phỏng lần lượt là 0,025 mm và 0,021 mm. Sai khác giữa hai quá trình này là rất nhỏ. So sánh được biểu thị trong Hình 5.1.

Qua đó ta có thể thấy rằng, quá trình tính toán phân tích và mô phỏng phân tích đưa ra kết quả rất khả quan và có sự tương đồng lớn. Điều này thể hiện được sự ưu việt của quá trình mô phỏng.



Hình 5.1: Biểu đồ so sánh ứng suất và chuyển vị của quá trình tính toán và mô phỏng

Có thể kiểm bền các chi tiết thực tiễn bằng phương pháp phần tử hữu hạn thông qua phần mềm Abaqus với độ chính xác đáng tin cậy.

Tuy nhiên, kết quả vẫn có phần sai khác so với tính toán. Nguyên nhân là do quá trình chia lưới chưa tối ưu, chưa thể hiện hết thuộc tính của vật liệu, chưa thể hiện được bề mặt vật liệu đã qua nhiệt luyện. Áp điều kiện chung nhất là một thuộc tính vật liệu, đồng nhất và đẳng hướng. Kết quả nghiên cứu có thể được áp dụng để kiểm bền các chi tiết trước khi chế tạo thử và sản xuất hàng loạt.

Tài liệu tham khảo

- [1]. PGS. TS. Trần Nhu Khuyên (2010), *Giáo trình Máy nâng chuyển*, NXB. Nông nghiệp.
- [2]. PTS. Trương Quốc Thành, PTS. Phạm Quang Dũng (1999), *Giáo trình Máy và thiết bị nâng*, NXB. Khoa học và Kỹ thuật.
- [3]. ABAQUS (2008), *Theory and Analysis User's Manual*, Version 6.8-3. Afazov, S.M., Ratchev, S.M., Segal, J., 2010. Modelling and simulation of micro-milling cutting forces. *Journal of Materials Processing Technology* 210, 2154-2162.
- [4]. Trịnh Đồng Tính (2007), *Bài giảng Máy nâng chuyển*, Đại học Bách khoa Hà Nội.

Ngày nhận bài: 20/5/2024

Ngày nhận bài sửa: 04/6/2024

Ngày chấp nhận đăng: 19/6/2024