

Ứng dụng phần mềm Inventor hỗ trợ thiết kế khung máy ép thủy lực 20 Tấn

Nguyễn Văn Nhã – Lớp Công nghệ chế tạo máy K66

Vũ Trần Nam – Lớp Công nghệ chế tạo máy K67

Nguyễn Đức Khanh – Lớp Công nghệ chế tạo máy K67

GVHD: Nguyễn Sơn Tùng – Bộ môn Kỹ thuật cơ khí, khoa Cơ – Điện, Trường ĐH Mỏ - Địa chất

Tóm tắt

Autodesk Inventor là một trong những phần mềm có tính năng ưu việt, đáp ứng nhu cầu tính toán thiết kế cơ khí hiện nay. Với mục đích nâng cao kỹ năng phân tích thiết kế máy, nhóm nghiên cứu đã lựa chọn đề tài NCKHSV “Ứng dụng phần mềm Inventor hỗ trợ tính toán thiết kế khung máy ép thủy lực 20 Tấn” để tiến hành phân tích cấu trúc khung máy ép dạng chữ H, kết cấu hàn. Kích thước các bộ phận của khung máy được xác định theo phương pháp tính toán bền truyền thống. Tiếp đó, kết cấu khung máy được tối ưu hoá qua từng phiên bản thiết kế nhờ kết quả mô phỏng bởi phần mềm Autodesk Inventor. Cuối cùng, nhóm nghiên cứu đã xây dựng được bản thiết kế khung máy dạng chữ H có kết cấu tối ưu, đáp ứng độ cứng vững và giảm được khoảng 20% trọng lượng so với phương pháp tính toán thiết kế truyền thống.

Từ khoá: NCKHSV, Inventor, Tối ưu hoá kết cấu, Thiết kế cơ khí, CAD, Khung máy ép

Abstract

Computer Aided Design (CAD) is widely used in mechanical design. Because using CAD helps engineers reducing the consumption time and cost. Engineers can design an optimization design by using Autodesk Inventor. For advanced experimental designing, authors implemented “Designing 20 Ton, H frame hydraulic press machine by using Autodesk Inventor” as Student Research Project. Using Part module to build the elements then mating all of elements in Assembly module. Finally, a complete virtual H frame model is built. Authors paid a lot of effort to analyse the structure, the stress field and displacement. As a result, an optimization H frame is developed. The final H frame is not only strong enough to apply 20 Ton force but also reducing approximately 20% weight.

Keywords: Student Research, Inventor, Optimization design, Mechanical design, CAD, Hydraulic machine design

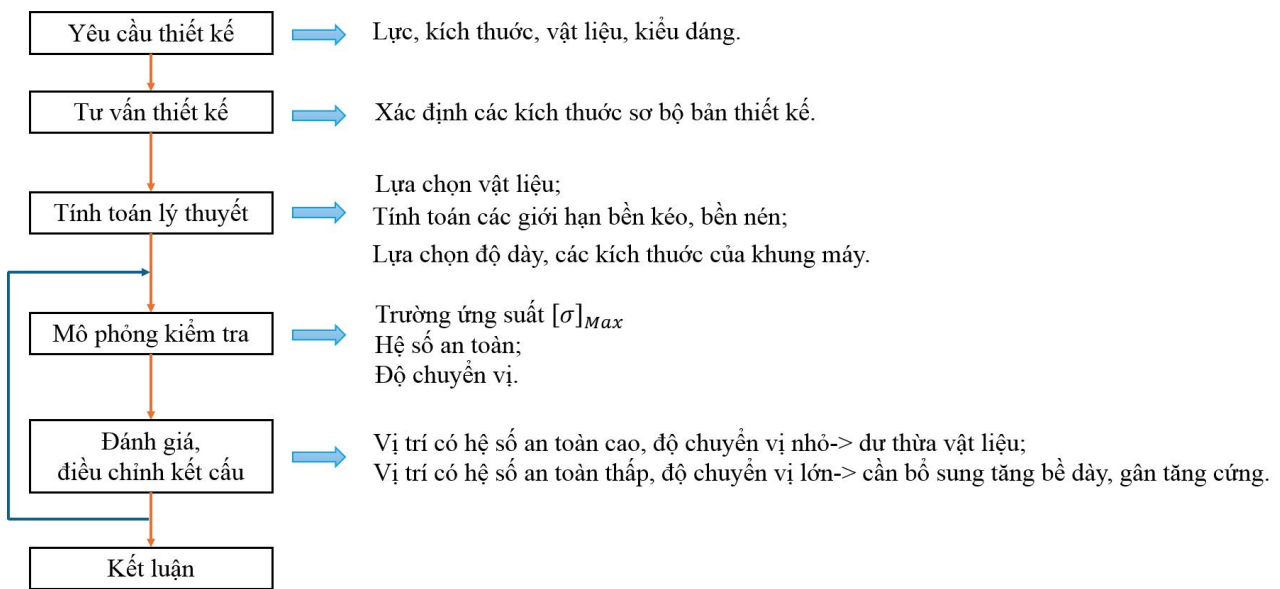
1. Mở đầu

Sử dụng công cụ máy tính trong hỗ trợ thiết kế cơ khí CAD (Computer Aided Design) là một xu hướng tất yếu ngày nay bởi những tính năng ưu việt của phương pháp này. CAD

giúp đẩy nhanh tiến độ thiết kế, rút ngắn thời gian nghiên cứu và tối ưu thiết kế bởi việc thiết lập các mô hình mô phỏng một cách nhanh chóng, tiết kiệm chi phí. Autodesk Inventor là một trong những phần mềm có tính năng ưu việt, đáp ứng nhu cầu tính toán thiết kế cơ khí hiện nay [4]. Máy ép thuỷ lực có cấu tạo linh hoạt nhằm phù hợp với từng ứng dụng cụ thể. Chính vì vậy, máy ép thuỷ lực là một trong những thiết bị được sử dụng rộng rãi như máy ép sửa chữa, tháo lắp cơ khí, gia công áp lực hoặc nén ép tạo hình các vật liệu phi kim loại, máy ép phục vụ nghiên cứu cơ tính của vật liệu ... Trong những thập niên cuối thế kỷ XX, đất nước còn nhiều khó khăn, nguồn máy móc thiết bị công nghiệp chủ yếu là nguồn viện trợ từ Liên Xô, Trung Quốc và một số ít chiếm lợi phẩm [6]. Trong những năm gần đây, đón nhận xu thế hội nhập, mở cửa thì vấn đề nguồn nguyên vật liệu, thiết bị thuỷ lực đã được tháo gỡ, một số doanh nghiệp trong nước đã có khả năng nghiên cứu, thiết kế và chế tạo máy ép thuỷ lực. Tuy nhiên, thực tế hiện nay cho thấy do năng lực nghiên cứu, chế tạo còn hạn chế nên phần lớn các doanh nghiệp (*đặc biệt là các doanh nghiệp có quy mô nhỏ, doanh nghiệp tư nhân*) chỉ chế tạo được các máy ép cỡ nhỏ hoặc cấu tạo đơn giản hoặc sửa chữa phục dựng lại máy ép cũ nhập từ Nhật Bản, Đài Loan. Làm chủ công nghệ chế tạo máy là một trong những mục tiêu cơ bản đã được Bộ giáo dục và Đào tạo chỉ ra. Trong thời gian tới, ngành công nghiệp nặng phải trở thành mũi nhọn để thực hiện sự nghiệp công nghiệp hoá hiện đại hoá đất nước. Với mục đích nâng cao kỹ năng phân tích thiết kế máy, tiếp cận làm chủ công nghệ chế tạo máy, giải quyết vấn đề đặt ra trong thực tiễn, nhóm nghiên cứu đã lựa chọn đề tài “Ứng dụng phần mềm Inventor hỗ trợ tính toán thiết kế khung máy ép thuỷ lực 20 Tấn”. Nhóm nghiên cứu đã tiến hành phân tích cấu trúc khung máy ép dạng chữ H được sử dụng trong sửa chữa, tháo lắp cơ khí, uốn nắn chi tiết máy và lựa chọn khung máy kết cấu hàn. Kích thước các bộ phận của khung máy được xác định theo phương pháp tính toán bền truyền thống. Trên cơ sở này, nhóm đã xây dựng được mô hình 3D của từng bộ phận máy trong môi trường part của phần mềm Autodesk Inventor, các bộ phận này được gán vật liệu tiêu chuẩn và người thiết kế cũng dễ dàng xác định được các thông số về khối lượng, giới hạn bền kéo, giới hạn chảy và các đặc trưng về mô men quán tính của chi tiết. Tiếp đó, các bộ phận của khung máy được lắp ghép với nhau trong môi trường assembly. Đồng thời những ràng buộc liên kết giữa các bộ phận của khung máy được định nghĩa. Cuối cùng, sau khi có mô hình 3D hoàn thiện, nhóm nghiên cứu đã tiến hành đặt lực và đặt điều kiện ngàm liên kết để mô phỏng khảo sát khả năng làm việc của khung máy, trường ứng suất trong khối vật liệu, cũng như chuyển vị của khung máy. Trên cơ sở phân tích nội lực, chuyển vị của khung máy nhóm nghiên cứu đã chỉ ra vị trí xung yếu cần bổ sung thêm gân tăng cứng hoặc tăng tiết diện, độ dày của bộ phận máy. Bên cạnh đó, những vị trí có dấu hiệu dư thừa vật liệu cũng được loại bỏ bớt nhằm tối ưu hoá kết cấu khung máy, tiết kiệm vật liệu, xây dựng phương án gia công chế tạo khả thi. Bản thiết kế cuối cùng cần phải đảm bảo khả năng làm việc (*độ cứng vững, bền bỉ*), dễ dàng gia công chế tạo và tiết kiệm vật liệu.

2. Cơ sở tính toán thiết kế máy

Việc tính toán thiết kế máy nhằm mục đích xây dựng, chế tạo một cỗ máy đáp ứng nhu cầu người dùng, đáp ứng nhu cầu thực tiễn đặt ra. Một chu trình tính toán thiết kế máy hoàn chỉnh bao gồm các khâu từ xác định yêu cầu người dùng, phân tích thiết kế, xác định các điều kiện thiết kế. Tiếp đó, người thiết kế sẽ sử dụng các phương pháp tính toán để xây dựng một bản thiết kế sơ bộ. Bản thiết kế sơ bộ ban đầu được phân tích, kiểm tra bởi phần mềm chuyên dụng nhằm đánh giá kết cấu, khả năng làm việc của máy. Sau đó, người thiết kế cần xây dựng một mô hình hoàn thiện bản thiết kế được thể hiện bằng các bản vẽ và thuyết minh liên quan làm cơ sở để gia công chế tạo. Sau khi gia công chế tạo, máy được đưa vào thử nghiệm và đánh giá kết quả thiết kế. Ở mỗi giai đoạn trong chu trình, người kỹ sư cần phải vận dụng những kỹ năng chuyên môn nhất định nhằm giải quyết những vấn đề phát sinh trong quá trình xác định yêu cầu thiết kế, tính toán thiết kế, mô phỏng và thực nghiệm. Với quá trình tính toán thiết kế khung máy ép thủy lực, lưu trình tính toán thiết kế được trình bày trên hình 1:



Hình 1 – Lưu trình thu gọn tính toán thiết kế khung máy ép thủy lực

3. Giới thiệu phần mềm Inventor

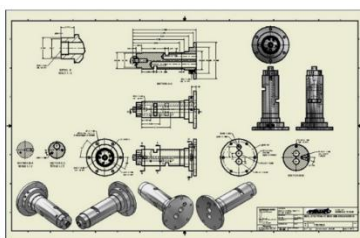
Phần mềm hỗ trợ tính toán thiết kế máy Autodesk Inventor được phát hành lần đầu tiên vào năm 1999 bởi công ty mẹ là Autodesk do John Walker thành lập.

Autodesk Inventor là một trong những phần mềm chuyên dùng dành cho kỹ sư thiết kế cơ khí. Autodesk Inventor hỗ trợ đắc lực trong việc xây dựng mô hình 3D; mô phỏng kiểm tra chuyển động của máy móc, cơ cấu; mô phỏng kiểm tra khả năng chịu tải, trường ứng suất, biến dạng chuyển vị của kết cấu. Autodesk Inventor còn hỗ trợ trích xuất các bản vẽ 2D, các mặt cắt nhanh chóng. Nhờ đó, Autodesk Inventor giúp các kỹ sư thiết kế giảm

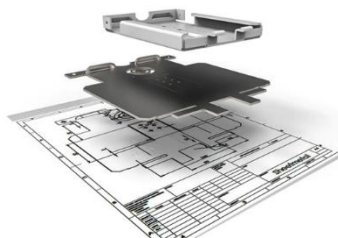
thời gian tính toán thiết kế, tối ưu hoá bản thiết kế. Bản thiết kế trong Inventor còn có thể chuyển đổi sang các hệ thống CAE và CAM khác [4]. Chính vì vậy, Autodesk Inventor có khả năng cạnh tranh với các phần mềm khác trong việc hỗ trợ thiết kế chi tiết máy, thiết kế khuôn dập và mô phỏng quá trình gia công áp lực kim loại dạng tấm, mô phỏng chuyển động của cơ cấu máy, biến dạng chuyển vị của kết cấu dạng khung hoặc hệ thống thiết bị áp lực ...

Autodesk Inventor có 4 tệp chính:

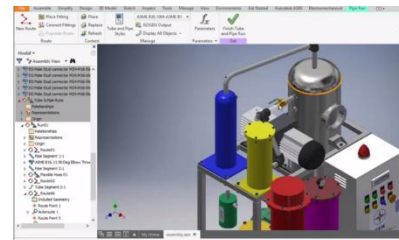
- Tệp Part vẽ các chi tiết 3D riêng lẻ từ sketch 2D với đuôi mặc định là .ipt
- Tệp Assembly liên kết các chi tiết 3D, hàn, lắp ráp với các bộ phận khác với đuôi mặc định là .iam
- Tệp Drawing xuất bản vẽ 2D với đuôi mặc định là .idw hoặc .dwg



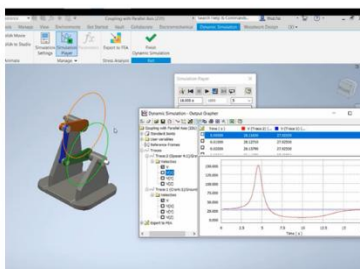
Xuất bản vẽ mô hình



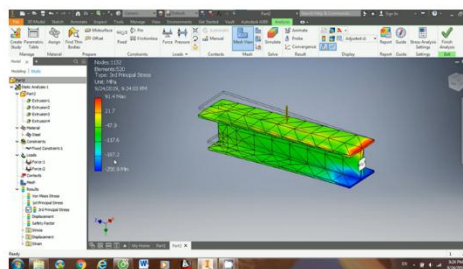
Thiết kế kim loại tấm



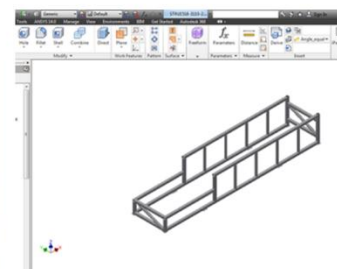
Xây dựng đường ống, trực



Mô phỏng động lực học



Phân tích ứng suất



Thiết kế khung, dầm

- Tệp Presentation với đuôi mặc định là .ipn

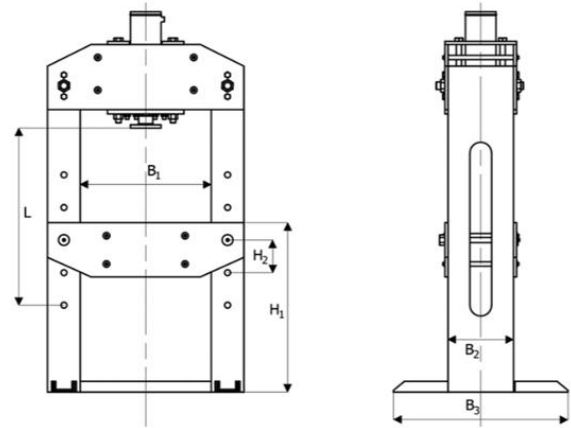
Hình 2 – Một số ứng dụng cơ bản của phần mềm Autodesk Inventor

4. Tính toán thiết kế, tối ưu khung máy ép thủy lực dạng chữ H, lực ép 20 Tấn

4.1 Tính toán thiết kế khung máy ép thủy lực dạng chữ H, lực ép 20 Tấn

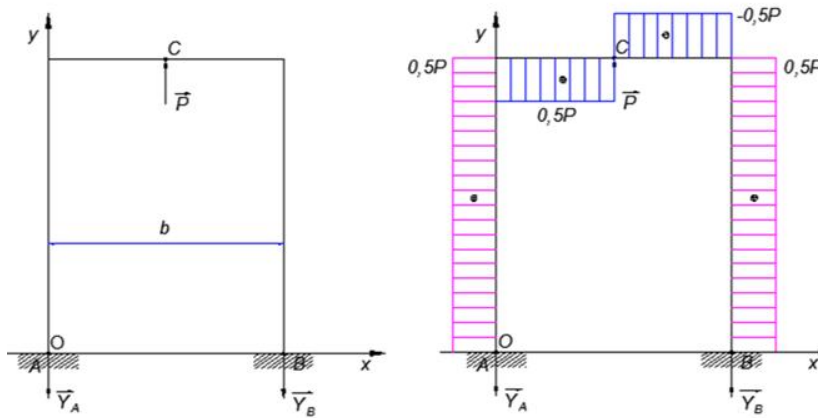
Qua khảo sát các mẫu máy ép dành cho sửa chữa, tháo lắp các mối ghép cơ khí, uốn nắn chi tiết máy hiện có trên thị trường và nhu cầu sử dụng trong thực tế tại cơ sở, nhóm nghiên cứu đã xác định yêu cầu thiết kế ban đầu như sau:

Bề rộng ngang lọt lòng khung máy	$B_1 = 600 \text{ mm}$
Bề rộng dọc lọt lòng vách máy:	$B_2 = 150 \text{ mm}$
Bề rộng chân máy	$B_3 = 500 \text{ mm}$
Chiều cao trung bình mặt bàn ép	$H_1 = 700 \text{ mm}$
Bước nâng bàn ép	$H_2 = 150 \text{ mm}$
Hành trình làm việc của xy lanh	$L = 800 \text{ mm}$



Hình 3 – Yêu cầu thiết kế khung máy ép thủy lực dạng chữ H, lực ép 20 Tấn

Mô hình tính toán bên phần vách cột khung máy và dầm ngang trên, dầm ngang di động (bàn máy) như sau:



Hình 4 – Mô hình tính toán bên vách cột khung máy

Phản lực liên kết tại các gối đỡ trong mô hình [3]:

$$Y_A = Y_B = \frac{P}{4} = \frac{200000}{4} = 50000 \text{ N} = 50 \text{ kN} \quad (1)$$

Ứng suất kéo trong vách cột khung máy:

$$N = Y_A = 50 \text{ kN} \quad (2)$$

Chọn vật liệu chế tạo là thép tấm cán nóng nhãn hiệu Q345B (tiêu chuẩn GB, Trung Quốc) hoặc nhãn hiệu tương đương khác như CT38 theo tiêu chuẩn Việt Nam TCVN, SS400 tiêu chuẩn Nhật Bản JIS. Nhóm thép này có phiêu thành phẩm dạng tấm và tính hàn cao phù hợp với phiêu chế tạo khung máy ép. Cơ tính của thép Q345B như sau [2]:

Bảng 1 – Cơ tính thép tấm Q345B Trung Quốc

Nhãn hiệu	Thép lớp	Giới hạn chảy, Mpa	Độ bền kéo, Mpa	Độ giãn dài, %
Q345	B	345	470 ~ 630	21

Do trên cột vách khung máy có khoét lỗ chốt nên giảm khả năng chịu tải trọng kéo của cột. Để đơn giản có thể tính toán cột vách máy dạng tiết diện hình chữ nhật, hệ số an toàn $n = 5$ (gấp đôi hệ số an toàn thông thường [5]).

Ứng suất kéo cho phép của cột vách máy [3]:

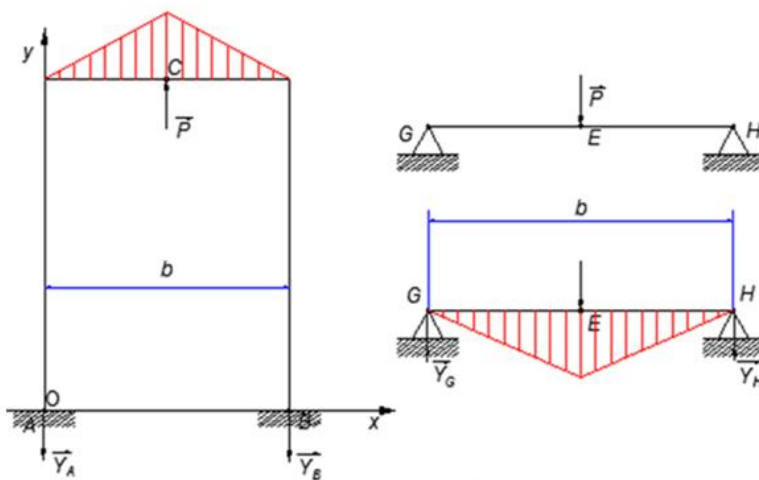
$$[\sigma] = \frac{\sigma_{ch}}{n} = \frac{345}{5} = 69 \text{ Mpa} \quad (3)$$

Chọn bề dày phiê theo bề dày phiê cán tiêu chuẩn: $\delta_1 = 14 \text{ mm}$

Bản cột khung máy có bề rộng:

$$b_1 \geq \frac{N}{[\sigma] \cdot \delta_1} = \frac{50000}{69 \cdot 10^6 \cdot 0,014} = 51,76 \cdot 10^{-3} \text{ m} = 51,76 \text{ mm} \quad (4)$$

Chọn $b_1 = 150 \text{ mm}$



Hình 5 – Mô hình tính toán bền dầm ngang trên và dầm ngang di động

Mô men uốn lớn nhất trên dầm:

$$M_{umax} = \frac{P \cdot b}{4} = \frac{200000 \cdot 0,6}{4} = 30000 \text{ N.m} = 30 \text{ kN.m}$$

Chọn phiê dầm ngang và dầm ngang di động có bề dày $\delta_2 = 14 \text{ mm}$

Mô men quán tính của tiết diện dầm ngang [3]: $J = 2 \cdot \frac{\delta_2 \cdot h^3}{12}$

Ứng suất kéo lớn nhất trên tiết diện dầm ngang [3]:

$$\sigma_{max} = \frac{M_{umax}}{J} \cdot \frac{h}{2} = \frac{M_{umax}}{2 \cdot \frac{\delta_2 \cdot h^3}{12}} \cdot \frac{h}{2} = \frac{30000}{2 \cdot \frac{0,014 \cdot h^3}{12}} \cdot \frac{h}{2} = \frac{6,428}{h^2} Mpa \quad (5)$$

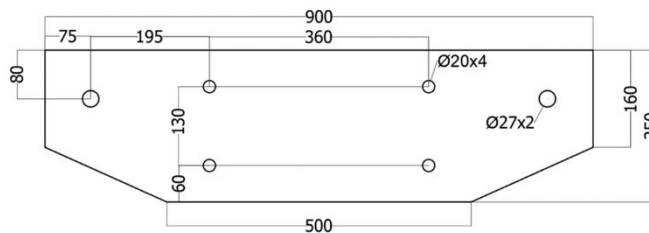
Điều kiện bền: $\sigma_{max} \leq \frac{[\sigma]}{2} = \frac{345}{2} = 172,5 Mpa$

Chiều cao tiết diện dầm ngang: $\frac{6,428 \cdot 10^6}{h^2} \leq 172,5 \cdot 10^6 \quad (6)$

Thu được: $h \geq 193 \text{ mm}$, chọn $h = 250 \text{ mm}$.

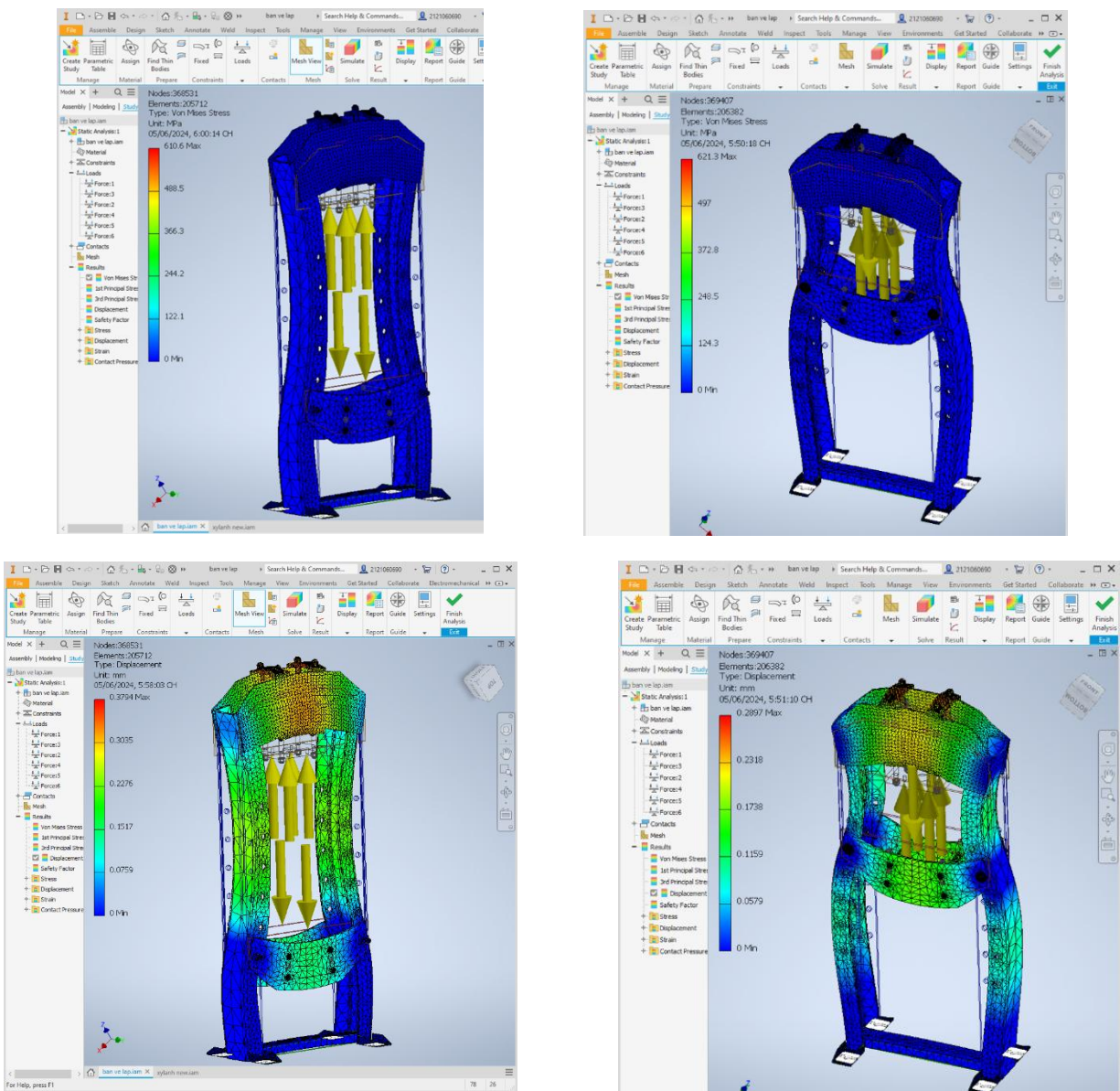
4.2 Xây dựng mô hình máy ép và mô phỏng khả năng làm việc của khung máy

Các bộ phận của khung máy ép được tạo dựng trong môi trường tệp Part của phần mềm Inventor. Kích thước của các bộ phận máy được dựng trong mặt phẳng Sketch và dùng các lệnh tạo khối, khoét, cắt khối để hình thành mô hình 3D. Khối chi tiết được gán vật liệu có cơ tính đã được xác định ở phần 4.1.



Hình 6 – Bộ phận dầm ngang di động

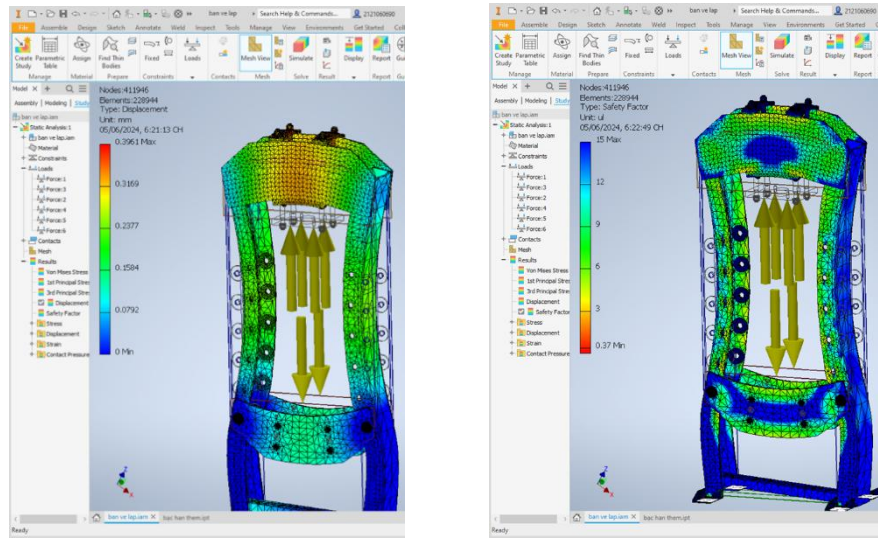
Các bộ phận của khung máy được lắp ráp và định nghĩa ràng buộc liên kết trong tệp Assembly. Khung máy được mô phỏng kiểm tra trong 2 trường hợp. Trường hợp 1 dầm ngang di động ở vị trí cao nhất và trường hợp 2 ứng với dầm ngang di động ở vị trí thấp nhất. Giả thiết rằng lực nén được thay bằng hai lực tập trung đặt tại chính giữa dầm ngang di động và chia đều trên mỗi dầm. Phản lực của dầm ngang tác động lên cần pit tông truyền tới vai bích xylanh và truyền tới dầm ngang trên. Với điều kiện bích tựa cứng vững thì lực này được phân bố đều trên diện tích tiếp xúc giữa bích và dầm ngang trên. Tuy nhiên để đơn giản phản lực này cũng được thay thế bởi phản lực tập trung, đặt tại chính giữa dầm và chia đều cho 2 dầm. Mặt khác, so với lực phân bố, lực tập trung gây ra ứng suất uốn và chuyển vị lớn hơn. Vì vậy, khi mô phỏng với trường hợp bất lợi (lực tập trung) càng làm tăng độ tin cậy của kết cấu.



Hình 7 – Kết quả mô phỏng ứng suất trong khối vật liệu khung máy ép và chuyển vị của khung

Kết quả khảo sát ứng suất và chuyển vị khung máy, cũng như hệ số an toàn cho thấy khung máy có đủ độ cứng vững chịu tải 20 Tấn, với độ chuyển vị lớn nhất 0,329 mm và 0,289 mm ứng với trường hợp dầm ngang di động ở vị trí thấp nhất và dầm ngang di động ở vị trí cao nhất. Độ chuyển vị là nhỏ hơn 1/1000 khẩu độ nhịp 600 mm là đáp ứng yêu cầu [1]. Tuy nhiên, kết quả mô phỏng cũng cho thấy nhiều vị trí dư thừa vật liệu, hệ số an toàn cục bộ có thể đạt tới 12. Vì vậy, có thể giảm bớt vật liệu tại những vị trí này bằng cách giảm bề dày. Khi giảm bề dày sẽ xuất hiện một mâu thuẫn là ứng suất tiếp xúc tại bề mặt tiếp xúc giữa chốt và lỗ chốt tăng lên, lỗ chốt có nguy cơ bị nở rộng. Để khắc phục vấn đề này, nhóm nghiên cứu đã bổ sung thêm các vòng bạc. Các vòng bạc được hàn vào mặt trong của vách để tăng diện tích tiếp xúc, giảm ứng suất tiếp xúc tại đây. Nhóm nghiên cứu đã giảm bề dày vách cột từ 14 mm xuống còn 10 mm và hàn đắp các bạc có bề dày 10 mm. Kết quả mô

phỏng cho thấy khung vẫn đảm bảo độ cứng vững với chuyển vị lớn nhất của dầm ngang là 0,396 mm.



Hình 8 – Kết quả mô phỏng ứng suất và hệ số an toàn sau khi tối ưu kết cấu khung máy

5. Kết luận

Kết quả mô phỏng khả năng chịu lực của kết cấu khung thép bằng phần mềm Inventor giúp người thiết kế có được góc nhìn tổng quan về kết cấu, không những kiểm tra được vị trí xuất hiện ứng suất lớn nhất, chuyển vị lớn nhất mà còn đánh giá được hệ số an toàn cho từng khu vực. Kết quả mô phỏng bản thiết kế là hoàn toàn thống nhất với lý thuyết dầm chịu uốn ngang phẳng và khung.

Thông qua kết quả mô phỏng, khi giảm bề dày vách khung máy chuyển vị có tăng lên nhưng vẫn nằm trong khoảng giá trị cho phép. Trái lại, trọng lượng của khung giảm từ 3250 N xuống còn 2640 N. Thiết kế này đã đạt được mục tiêu tối ưu kết cấu, tiết kiệm vật liệu chế tạo khung máy.

Tuy nhiên, trong nghiên cứu này, nhóm tác giả chưa nghiên cứu sâu, chưa có giải pháp chia lưới cho từng bộ phận có kích thước khác nhau của khung máy.

Tài liệu tham khảo

[1] G. Jamuna Rani, Gangadrahara Rao. P, Konuru Srinivasa Rao, M. Ravi Teja, 2021, *Design and Optimization of 200 Ton H type Hydraulic Press*, ICMED 2021, INdia

[2] Hot rolled products and structural components made of steel grades Q235B, Q235D, Q345B and Q345D, 2016, EOTA

[3] Nguyễn Đình Đức, Đào Như Mai, 2011, *Sức bền vật liệu và Kết cấu*, NXB Khoa học và Kỹ thuật

[4] Nguyễn Hữu Lộc, 2020, *Ứng dụng máy tính trong tính toán thiết kế chi tiết máy*, Nhà xuất bản Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh

[5] Phạm Tuấn, 2002, *Giáo trình Chi tiết máy*, Trường Đại học Mỏ - Địa chất

[6] Phạm Văn Nghệ, Đỗ Văn Phúc, 2001, *Máy búa và Máy ép thủy lực*, NXB Giáo dục