

TÍNH TOÁN, THIẾT KẾ VÀ TỐI ƯU KẾT CẤU KHUNG MÁY ÉP THỦY LỰC 4 TRỤ, LỰC ÉP 20 TẤN

DESIGN AND OPTIMIZATION A FOUR PILLARS, 20 TON HYDRAULIC PRESS
MACHINE

Nguyễn Sơn Tùng, Trần Đức Huân

Khoa Cơ – Điện, Trường Đại học Mở – Địa chất

TÓM TẮT

Máy ép thủy lực được sử dụng rộng rãi trong gia công áp lực và ứng dụng lắp ráp, sửa chữa kết cấu cơ khí. Hiện nay, cùng với sự phát triển của nền công nghiệp chế tạo, nhu cầu sử dụng máy ép thủy lực tăng cao. Tuy nhiên, qua khảo sát cho thấy năng lực sản xuất, chế tạo máy ép thủy lực trong nước còn hạn chế, nhiều doanh nghiệp lớn và nhỏ vẫn phải nhập khẩu máy ép sản xuất ở nước ngoài hoặc mua máy cũ về sửa chữa lại. Qua nghiên cứu các tài liệu, công trình khoa học được công bố ở trong và ngoài nước, nhóm nghiên cứu thấy rằng có thể khắc phục hạn chế về thiết kế, gia công chế tạo kết cấu khung máy, góp phần nâng cao năng lực tự chủ, nội địa hóa sản xuất máy ép thủy lực trong nước đáp ứng yêu cầu đặt ra hiện nay. Bài báo này trình bày tóm tắt kết quả nghiên cứu, tối ưu hóa kết cấu khung máy ép thủy lực 20 Tấn sử dụng trong gia công chế tạo đế bánh kem. Khung máy ép được tối ưu hoá bằng cách sử dụng công cụ hỗ trợ thiết kế cơ khí - phần mềm Solidworks.

Từ khoá: Tối ưu kết cấu cơ khí; Solidworks; CAE; Máy ép 4 trụ.

ABSTRACT

Hydraulic machine is widely used for metal deformation technology and workshop. Nowadays, the need of using hydraulic press machine increase day by day. In contrast, the result of survey shows that most of hydraulic machines are imported because of the limitation in manufacturing in Vietnam. By researching the materials and science papers, the authors find that using the CAE (Computer-Aided Engineering) to design and optimization the hydraulic machine frame is a solution to deal with this issued limitation. This paper briefly presents the result of design and optimization a four pillars, 20 Ton hydraulic press machine by using CAE technique. The Solidworks is choosed as an approach method of designing and optimizing the structure frame.

Keywords: Optimization; Solidworks; CAE; Hydraulic machine; Four pillars hydraulic machine.

1. MỞ ĐẦU

Máy ép thủy lực là một loại máy được sử dụng rộng rãi trong lĩnh vực gia công áp lực, công nghệ bột, cũng như lắp ráp cơ khí, nén ép vật liệu phi kim, phế liệu... Với ứng dụng gia công biến dạng, tạo hình kim loại, máy ép thủy lực còn mang các tên gọi khác nhau như máy dập vuốt thủy lực, máy rèn thủy lực, máy chặt thủy lực, máy cắt thủy lực, máy đột lỗ thủy lực... [5] và [7]. Một số sản phẩm dạng tấm như vỏ ô tô, máy bay, tấm ốp xe máy, chi tiết dạng vỏ hộp được gia công chế tạo bởi máy ép cho năng suất cao, tiết kiệm kim loại, gần như không phải thêm bước gia công nào sau dập [5]. Tùy theo kết cấu khuôn và cơ chế tác động lực, máy ép thủy lực có thể được sử dụng để thực hiện một trong số các chức năng sau [1], [2], [9] và [10].

Máy ép thủy lực hoạt động theo nguyên lý của định luật Pascal. Áp suất do bơm thủy lực thể tích tạo ra được truyền tới khoang làm việc của xy-lanh. Áp lực tác động lên bề mặt pit-tông do áp suất bên trong khoang làm việc tạo ra. Áp lực do xy-lanh tạo ra được sử dụng để gây biến dạng, tạo hình vật ép (phôi). Độ cứng vững của khung máy đóng vai trò quan trọng quyết định tới độ chính xác của sản phẩm gia công và độ bền của máy ép. Theo lý thuyết biến dạng đàn hồi, dưới tác dụng của ngoại lực, kết cấu khung máy sẽ bị biến dạng và bên trong kết cấu khung máy xuất hiện ứng suất nhằm chống lại sự biến dạng của vật liệu. Ngoại lực càng lớn, biến dạng càng tăng và ứng suất cũng tăng lên cho tới khi đạt tới giá trị cân bằng thì quá trình biến dạng kết thúc. Như vậy, để khống chế biến dạng của kết cấu cần sử dụng vật liệu có độ bền lớn hoặc tăng độ cứng vững của kết cấu bằng cách tăng bề dày của chi tiết, lựa chọn kết cấu hợp lý. Hiện nay, trên đà phát triển của nền công nghiệp Việt Nam, nhu cầu

sử dụng máy ép thủy lực trong gia công chế tạo kết cấu cơ khí, thiết bị áp lực, chi tiết ô tô, xe máy và thiết bị gia dụng... tăng cao. Qua khảo sát, nhóm nghiên cứu thấy rằng chỉ có một số máy ép cỡ nhỏ hoặc lực ép dưới 100 Tấn được gia công chế tạo trong nước, đa phần các máy ép vẫn phải nhập khẩu hoặc sửa chữa lại máy ép đã qua sử dụng ở nước ngoài. Với số máy ép tự chế tạo trong nước, kết cấu khung máy ép thủy lực còn tồn tại nhiều bất cập, khối lượng máy còn quá nặng nề, tiêu hao vật liệu nhiều, chưa khai thác triệt để khả năng làm việc của vật liệu (sức bền của vật liệu). Vì vậy, nghiên cứu tính toán thiết kế và tối ưu hoá kết cấu của khung máy ép, làm chủ công nghệ chế tạo trong nước có ý nghĩa rất quan trọng, đáp ứng yêu cầu cấp thiết hiện nay. Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu tối ưu kết cấu khung máy ép 4 trụ, lực ép 20 Tấn sử dụng gia công chế tạo để bánh kem sinh nhật. Trong nghiên cứu này, nhóm nghiên cứu đã phân tích hạn chế của bản thiết kế nguyên mẫu và đưa ra phương án thiết kế thay thế.

2. QUY TRÌNH TÍNH TOÁN THIẾT KẾ TỐI ƯU HOÁ CẤU TRÚC KHUNG MÁY

Tối ưu hoá kết cấu khung máy nhằm mục đích tiết kiệm vật liệu trong khi vẫn đảm bảo độ cứng vững của kết cấu và tính công nghệ, dễ dàng gia công chế tạo, lắp ráp máy. Việc tối ưu hoá kết cấu máy ép thủy lực đã thu hút sự quan tâm nghiên cứu của các nhà khoa học, các giáo sư và học viên tại trường đại học trên thế giới. Có nhiều công trình nghiên cứu tối ưu kết cấu máy ép được công bố tại Hội nghị khoa học toàn quốc về lĩnh vực Kỹ thuật cơ khí, Khoa học công nghệ được tổ chức tại Ấn Độ qua các năm từ 2014 tới 2021. Các nghiên cứu cho thấy rằng các nhà khoa học vẫn sử dụng phương pháp tính toán truyền thống để xác định kích thước cơ bản của khung máy. Kích

thước của khung máy cần đáp ứng yêu cầu làm việc về kích thước khuôn, gá kẹp khuôn, hành trình làm việc của xy-lanh, không gian thao tác cấp phối và lấy sản phẩm. Sau đó, sử dụng công cụ hỗ trợ thiết kế cơ khí để tiến hành xây dựng mô hình 3D và mô phỏng phân tích ứng suất, biến dạng của kết cấu. Kết quả phân tích, mô phỏng dự đoán ứng suất và biến dạng là cơ sở để điều chỉnh kết cấu nhằm mục đích thu được kết cấu tối ưu nhất đáp ứng yêu cầu đạt độ cứng vững, giới hạn biến dạng chuyển vị, giảm trọng lượng máy, tiết kiệm vật liệu [1], [3], [4] và [9].

Các phần mềm hỗ trợ thiết kế cơ khí hiện nay như Ansys, Creo, Autodesk Inventor và Solidworks... Mỗi phần mềm có những tính năng vượt trội riêng. Tuy nhiên, các phần mềm này đều dựa trên cơ sở lý thuyết phần tử hữu hạn. Phần mềm cung cấp tính năng giải các phương trình, ma trận ứng suất, biến dạng chuyển vị một cách nhanh chóng. Đây là một ưu điểm vượt trội so với phương pháp tính toán giải tích thuần túy. Tính năng hỗ trợ này đã vượt trội hơn nhiều so với các phần mềm như phần mềm SAP 2000 và các phần mềm tương tự.



Hình 1. Lưu trình toán thiết kế, tối ưu khung máy ép thủy lực

3. TÍNH TOÁN THIẾT KẾ KHUNG MÁY ÉP THỦY LỰC 4 TRỤ, LỰC ÉP 20 TẤN

Máy ép thủy lực 4 trụ có ưu điểm kết cấu vững chắc, lực ép chính tâm, đảm bảo độ chính xác cao của sản phẩm gia công. Máy ép thủy lực 4 trụ được sử dụng phổ biến trong công nghệ dập vuốt, gia công chi tiết yêu cầu có tính thẩm mỹ cao. Máy ép thủy lực 4 trụ, lực ép 20 Tấn được sử dụng trong xưởng sản xuất đế bánh kem sinh nhật có kích thước bàn máy: 860 mm x 660 mm, kết cấu nguyên bản sử dụng thép tấm dày 40 mm, 2 gân tăng cứng dày 30 mm và cao 50 mm.

Mô-men tĩnh của tiết diện dầm [6]:

$$\begin{cases} S_x = \int_A y \cdot dA = b \cdot A \\ S_y = \int_A x \cdot dA = a \cdot A \end{cases} \quad (3-1)$$

Trong đó: S_x – Mô-men tĩnh của diện tích tiết diện dầm đối với trục Ox; b – Khoảng rời trục Oy so với hệ tọa độ đi qua trọng tâm tiết diện; S_y – Mô-men tĩnh của diện tích tiết diện dầm đối với trục Oy; a – Khoảng rời trục Ox so với hệ tọa độ đi qua trọng tâm tiết diện; A – Diện tích tiết diện.

Nếu C là trọng tâm của tiết diện và hệ trục tọa độ vuông góc Oxy có gốc O trùng với C thì:

$$\begin{cases} S_x = 0 \\ S_y = 0 \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} \int y \cdot dA = 0 \\ \int x \cdot dA = 0 \end{cases} \quad (3-2)$$

Khi trục Oy được chọn trùng với trục đối xứng của tiết diện thì $\int x \cdot dA = 0$. Điều kiện C là trọng tâm mặt cắt sẽ là: $S_x = 0$.

$$S_x = \int_A y \cdot dA = \sum_{i=1}^n b_i \cdot A_i = 0 \quad (3-3)$$

Mô-men quán tính của tiết diện dầm đối với trục nằm ngang [6]:

$$J_x = \int_A y^2 \cdot dA \quad (3-4)$$

$$J_x = J_{Cx} + b^2 \cdot A$$

Trong đó: J_x – Mô-men quán tính của tiết diện đối với trục nằm ngang; J_{Cx} – Mô-men quán tính của tiết diện đối với trục nằm ngang đi qua trọng tâm tiết diện; b – Khoảng cách rời trục; A – Diện tích của tiết diện.

Chuyển vị (võng) dầm chịu uốn ngang phẳng [6]:

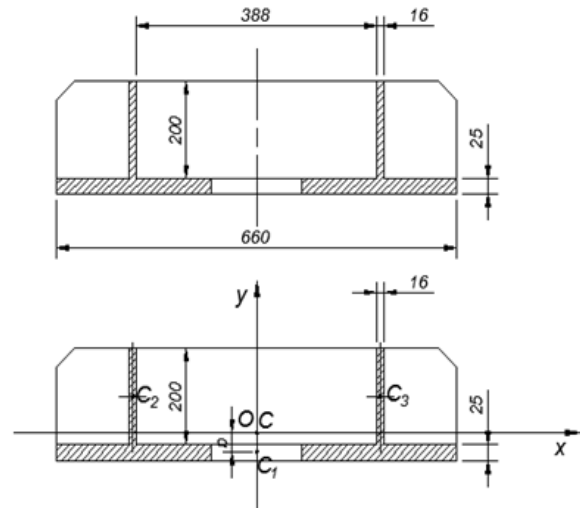
$$y'' = -\frac{M_x}{E \cdot J_x} \quad (3-5)$$

Trong đó: y'' – Đạo hàm bậc 2 của hàm chuyển vị; M_x – Mô-men uốn trên tiết diện dầm; E – Mô-đun đàn hồi của vật liệu; J_x – Mô-men quán tính của tiết diện đối với trục nằm ngang.

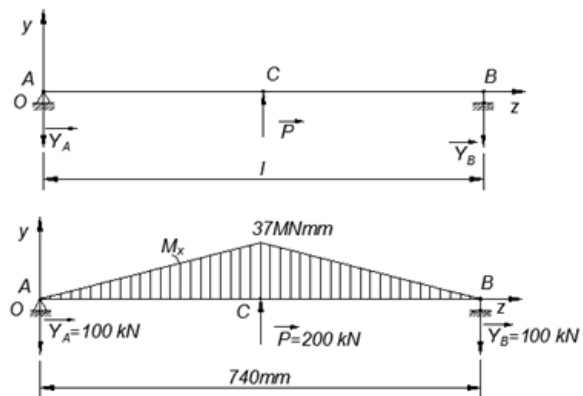
Kết cấu sửa đổi sử dụng gân tăng cứng dạng khung hộp. Kết quả tính toán lý thuyết thu được:

Dầm ngang trên:

- Bề dày tấm thép bản đế: 25 mm;
- Bề dày gân tăng cứng: 16 mm;
- Chiều cao gân tăng cứng: 200 mm;
- Liên kết hàn, đường hàn liên, mỗi hàn hai phía.



Hình 2. Mặt cắt ngang tiết diện dầm ngang trên tại vị trí tiết diện nguy hiểm



Hình 3. Sơ đồ xác định phản lực liên kết và biểu đồ mô-men uốn

Lựa chọn vật liệu thép tấm Q345B (Tiêu chuẩn GB-1591-2008).

Kết quả tính toán lý thuyết dầm ngang trên:

- Khối lượng: 171 kg;
- Mô-men quán tính tiết diện: 35119218,24 mm⁴;
- Ứng suất kéo lớn nhất: 117,59 MPa;
- Hệ số an toàn: 1,94;
- Chuyển vị lớn nhất: 0,1145 mm.



Dầm ngang dưới:

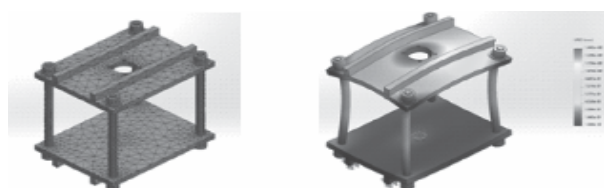
- Bản tấm thép mặt trên dày: 20 mm;
- Bề dày gân tăng cứng: 16 mm;
- Chiều cao gân tăng cứng: 200 mm;
- Bản tấm thép mặt dưới dày: 12 mm;
- Thép tấm Q345B (Tiêu chuẩn GB-1591-2008);
- Khối lượng: 192,5 kg;
- Mô-men quán tính: 209890653,34 mm⁴;
- Ứng suất kéo lớn nhất: 20 MPa;
- Hệ số an toàn: 17,25;
- Chuyển vị: 0,02 mm.

4. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG KHẢO SÁT ỨNG SUẤT VÀ CHUYỂN VỊ KẾT CẤU

Mô hình 3D của khung máy được xây dựng trong môi trường Solidworks, sau đó tiến hành mô phỏng đặt ngoại lực, gắn điều kiện biên tẩm để cố định. Điều này là hợp lý do kết cấu dầm ngang dưới có độ cứng vững lớn hơn nhiều so với dầm ngang trên. Nhóm nghiên cứu đã tiến hành mô phỏng dự đoán ứng suất và biến dạng của kết cấu máy ép nguyên bản và kết cấu máy ép sau khi được cải tiến với kết quả như sau:

Khung máy ép nguyên bản:

- Vật liệu: Thép AISI 1020;
- Giới hạn chảy: 350 MPa;
- Khối lượng riêng: 7870 kg/m³;
- Khối lượng: 485,65 kg;
- Ứng suất lớn nhất: 497 MPa;
- Chuyển vị lớn nhất: 1,44 mm.

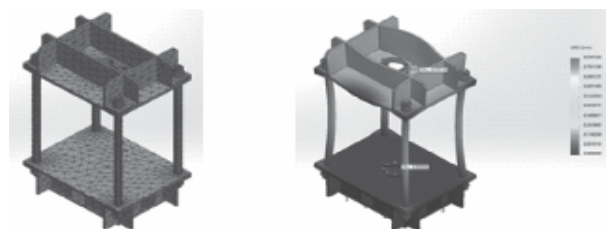


Hình 4. Mô hình 3D và kết quả mô phỏng biến dạng chuyển vị của khung máy ép để bánh kem nguyên bản

Kết cấu dầm ngang trên và dầm ngang dưới của khung máy nguyên bản có dạng tấm dẹt, kích thước bề dày nhỏ hơn nhiều so với kích thước bề rộng, vì vậy mô-men quán tính của mặt cắt có giá trị nhỏ dẫn tới độ cứng vững thấp. Việc bổ sung gân tăng cứng chỉ cải thiện được phần nào hạn chế này. Thêm vào đó, gân tăng cứng chỉ được bố trí theo một phương dẫn tới chuyển vị của kết cấu lớn. Kết quả là giảm chất lượng in hoa văn trang trí trên sản phẩm, đường vân không đủ sắc nét, tỷ lệ sản phẩm lỗi cao.

Khung máy ép thay thế:

- Vật liệu: Thép AISI 1020;
- Giới hạn chảy: 350 MPa;
- Khối lượng riêng: 7870 kg/m³;
- Khối lượng: 437,52 kg;
- Ứng suất lớn nhất: 299 MPa;
- Chuyển vị lớn nhất: 0,873 mm.



Hình 5. Mô hình 3D và kết quả mô phỏng biến dạng chuyển vị của khung máy ép để bánh kem sửa đổi

Ở khung máy ép sửa đổi, gân tăng cứng đã được bố trí theo cả hai phương vuông góc, để giảm khối lượng, chúng tôi đã sử dụng phương án giảm bề dày của gân tăng cứng và tăng chiều cao của gân tăng cứng để đạt được mô-men quán tính của mặt cắt lớn hơn, từ đó đảm bảo được độ cứng vững của kết cấu khung máy. Qua mô phỏng, chúng tôi cũng thấy được kích thước bề dày và chiều cao hợp lý của gân tăng cứng. Kết quả cho thấy biến dạng chuyển

vị của khung máy đã giảm rõ rệt. Chuyển vị lớn nhất chỉ còn 0,873 mm, giảm gần 40% so với kết cấu nguyên bản.

5. KẾT LUẬN

Lựa chọn tiết diện hợp lý là một yếu tố cơ bản đảm bảo sử dụng hiệu quả, tiết kiệm vật liệu, sử dụng triệt để khả năng làm việc của vật liệu. Kết quả mô phỏng khảo sát trường ứng suất, chuyển vị kết cấu và hệ số an toàn là một cơ sở quan trọng để người thiết kế đưa ra phương án điều chỉnh, xác định kích thước tối ưu của kết cấu khung máy.

Với công cụ hỗ trợ thiết kế Solidworks, người thiết kế có thể xây dựng bản thiết kế, mô phỏng kiểm tra khả năng chịu lực một cách nhanh chóng. Kết quả mô phỏng là một cơ sở khoa học để tính toán, xác định các kích thước, tối ưu hoá kết cấu khung máy nhằm tiết kiệm vật liệu, trong khi vẫn đảm bảo khả năng làm việc và thuận lợi trong gia công chế tạo. ❖

Ngày nhận bài: 17/9/2024

Ngày phản biện: 04/10/2024

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Asim M. Kamate, J.S. Bagi (2016), “*Design, development and analysis of a 20 Ton hydraulic press*”. International Journal of Innovative Technology and Research (IJITR), January, 2016, India.
- [2]. B. Ravi (2014), “*Computer aided design and analysis of power press*”. Middle - East Journal of Scientific Research 20th.
- [3]. Ganesh M Mudennavar, Gireesha Chalageri Prashant A Patil (2018), “*Design and analysis of 12 Ton hydraulic press machine*”. International Journal of Scientific Development and Research (IJS DR), August, 2018, India.
- [4]. Krishna Kr. Verma, M. S. Pardhmi (2018), “*A review on hydraulic press design and its optimization*”. International Journal for Research Publication & Seminar (IJRPS), January - March, 2018, India.
- [5]. Mohamad M. Saleh (1992), “*Design study of a heavy duty hydraulic machine using finite element techniques*”. Doctor of Philosophy Thesis, The School of Mechanical and Manufacturing Engineering, Damascus University, Syria.
- [6]. Nguyễn Đình Đức, Đào Như Mai (2011), “*Giáo trình sức bền vật liệu và kết cấu*”. NXB. Khoa học Kỹ thuật.
- [7]. Phạm Văn Nghệ, Đỗ Văn Phúc (2001), “*Máy búa và máy ép thủy lực*”. NXB. Giáo dục.
- [8]. Rangraj S. More, Shreenidhi R. Kulkarni (2015), “*Finite element analysis and optimization of C type hydraulic 200 T press*”. International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET), June, 2015, India.
- [9]. Santoshkumar S. Malipatil, Yogita N. Potdar, A.C. Mattikalli (2014), “*Analysis and structure optimization of 5 Ton H - Frame hydraulic press*”. International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology (IJSET), July, 2014, India.
- [10]. V. Tawade, R. J. Patil, S. A. Chaudhari (2021), “*Deflection reduction in C-structure of a 50 Ton hydraulic machine used to press stainless steel plate to get derised shape and dimensions*”. International Research Journal of Engineering and Technology, India.