

TỐI ƯU HÓA THIẾT KẾ KHUNG XE KÉO ĐA NĂNG BẰNG PHƯƠNG PHÁP PHÂN TÍCH TẢI TRỌNG VÀ ỨNG DỤNG VẬT LIỆU THÉP CT3

OPTIMIZATION OF MULTI-PURPOSE TRAILER FRAME DESIGN USING LOAD ANALYSIS AND CT3 STEEL MATERIAL APPLICATION

Đặng Văn Hòa

Khoa Cơ khí, Trường Đại học Kinh tế – Kỹ thuật Công nghiệp

Email: dvhoa@uneti.edu.vn

TÓM TẮT

Bài báo trình bày quá trình thiết kế, tính toán và tối ưu hóa kết cấu khung xe kéo đa năng phục vụ cho các hoạt động dân dụng và công nghiệp. Trọng tâm nghiên cứu đặt vào phân tích tải trọng tác dụng lên khung xe trong các điều kiện vận hành điển hình, qua đó đề xuất cấu trúc hình học và vật liệu tối ưu. Vật liệu thép CT3 được lựa chọn cho toàn bộ khung nhờ các ưu điểm về độ bền công tác, khả năng gia công và chi phí hợp lý. Mô hình được giám định bằng các tiêu chí: Độ biến dạng, tải trọng tối đa và khả năng làm việc trong thực tế.

Từ khóa: Xe kéo đa năng; Thiết kế khung; Tối ưu tải trọng; Thép CT3; Vận chuyển hàng hóa.

ABSTRACT

This paper presents the process of designing, calculating, and optimizing the structural frame of a multi-purpose trailer intended for both civil and industrial applications. The research focuses on analyzing the loads acting on the trailer frame under typical operating conditions, thereby proposing an optimal geometric structure and material selection. CT3 steel was chosen for the entire frame due to its advantages in working strength, machinability, and cost-effectiveness. The model is evaluated based on criteria such as deformation, maximum load capacity, and practical performance.

Keywords: Multi-purpose trailer; Frame design; Load optimization; CT3 steel; Cargo transportation. 

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong nhiều ngành nghề hiện nay, đặc biệt là trong lĩnh vực vận chuyển hàng hóa quy mô nhỏ như hộ gia đình, nhà xưởng, kho vận hay công trình xây dựng, xe kéo đóng vai trò là thiết bị cơ khí quan trọng. Tuy nhiên, hầu hết các loại xe kéo hiện hành chỉ đáp ứng được một số yêu cầu nhất định: Chở hàng nhẹ, tải trọng thấp hoặc hoạt động trên mặt phẳng.

Trong khi đó, địa hình vận hành đa dạng có thể bao gồm mặt đường gồ ghề, bậc thang, làm cho nhu cầu về một loại xe kéo đa năng, bền, linh hoạt trở nên bức thiết. Phần khung xe là nơi chịu tải và chuyển lực thành phần quan trọng nhất cần được thiết kế tối ưu.

Bài viết này trình bày quá trình thiết kế và tối ưu hóa kết cấu khung xe bằng phương pháp phân tích tải trọng, tính toán kết cấu và ứng dụng vật liệu thép CT3 để tăng khả năng chịu lực, đảm bảo độ bền mà vẫn duy trì được chi phí hợp lý trong sản xuất.

2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT

2.1. Nguyên tắc thiết kế kết cấu khung chịu lực

Khung xe là bộ phận chịu tải trọng chính, truyền lực từ hàng hóa xuống các bánh xe. Để đảm bảo khả năng chịu tải và ổn định khi di chuyển, khung phải được thiết kế đảm bảo:

- Độ bền chịu kéo, nén và uốn;
- Độ võng nhỏ dưới tải trọng làm việc;
- Tỷ số giữa tải trọng và trọng lượng khung tối ưu;
- Kết nối cơ khí đơn giản, dễ tháo lắp.

2.2. Ứng suất và biến dạng

Theo lý thuyết sức bền vật liệu, ứng suất tác dụng lên khung bao gồm:

- Ứng suất nén do tải trọng hàng hóa;
- Ứng suất uốn khi xe hoạt động trên địa hình không phẳng;
- Ứng suất xoắn nếu khung chịu tác động lệch tâm hoặc xoay.

Biến dạng của khung được xác định theo định luật Hooke:

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E}$$

Ứng suất uốn tối đa tại tiết diện ngang của khung được tính theo công thức, [2]:

$$\sigma = \frac{M_{\max} \cdot y}{I}$$

Trong đó: $M_{\max}$ là mô-men uốn lớn nhất (N.mm); y là khoảng cách từ trục trung hòa đến bề mặt ngoài cùng của tiết diện (mm); I là mô-men quán tính tiết diện (mm⁴).

Độ võng tối đa của dầm chịu tải phân bố đều có thể ước tính bằng, [2]:

$$f_{\max} = \frac{5qL^4}{384EI}$$

Trong đó: $f_{\max}$ là độ võng cực đại (mm); q là tải trọng phân bố đều (N/mm); L là chiều dài dầm (mm); E là mô đun đàn hồi; I là mô-men quán tính tiết diện ngang.

2.3. Tính chất cơ học của thép CT3

Thép CT3 (theo tiêu chuẩn GOST 380 hoặc TCVN 1765) có các đặc tính phù hợp chế tạo khung xe, [1]:

- Giới hạn bền kéo: 370-490 MPa;
- Độ dẻo tương đối: 23-25%;
- Dễ hàn, dễ gia công nguội hoặc nóng;
- Khả năng chịu lực và va đập tốt trong điều kiện thường.

2.4. Tính toán số liệu

Giả sử một dầm ngang của khung xe có chiều dài $L = 900$ mm, chịu tải trọng phân bố đều $q = 2,78$ N/mm (tương đương tổng tải trọng 250 kg).

Mô đun đàn hồi của thép CT3:

$$E = 2,1 \times 10^5 \text{ MPa} = 2,1 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$$

Mô-men quán tính của tiết diện 30 mm:

$$I = \frac{a^4}{12} = \frac{30^4}{12} = 202500 \text{ mm}^4$$

Tính độ võng tối đa:

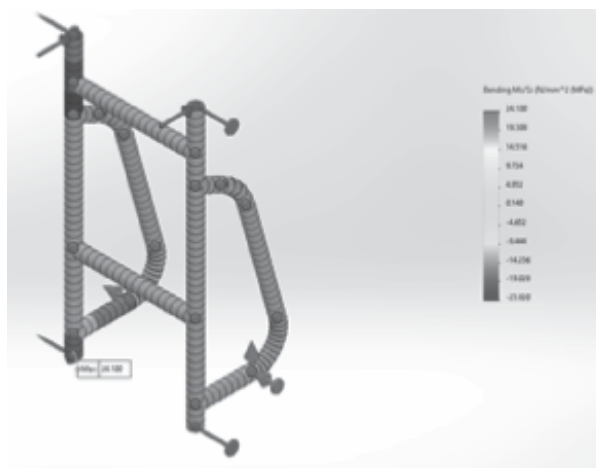
$$f_{\max} = \frac{5qL^4}{384EI} = \frac{5 \cdot 2,78 \cdot (900)^4}{384 \cdot 2,1 \times 10^5 \cdot 202500} \approx 3,12 \text{ mm}$$

Kết quả cho thấy độ võng nằm trong giới hạn cho phép (< 5 mm), đảm bảo yêu cầu về độ cứng và độ bền trong thiết kế thực tế.

3. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

3.1. Mô hình thiết kế và giả định tính toán

Khung xe được thiết kế dạng hình hộp chữ nhật có các thanh giằng chịu lực, kết cấu dạng mô-đun để có thể thay đổi chiều dài khi cần. Mô hình tính toán sử dụng phần mềm Solidworks Simulation [3] mô phỏng tải trọng phân bố đều và tải tập trung.



- Biến dạng dư sau tải thử không vượt quá 0,5%;

- Không xuất hiện rạn nứt mối hàn hoặc cong vênh khung;

- Dễ dàng tháo lắp, vận chuyển và bảo trì.

4. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

4.1. Kết quả mô phỏng

Kết quả phân tích ứng suất bằng phần mềm Solidworks Simulation cho thấy:

- Ứng suất lớn nhất tập trung tại các vị trí giao nhau giữa khung chính và thanh giằng, đạt khoảng 185 MPa, thấp hơn giới hạn bền kéo của CT3 (370 MPa), đảm bảo an toàn.

- Độ võng tối đa tại điểm giữa khung là 3,21 mm dưới tải trọng 250 kg, đạt yêu cầu thiết kế (< 5 mm).

- Mô hình không xuất hiện vùng biến dạng dẻo trong giới hạn làm việc, chứng tỏ khung làm việc trong vùng đàn hồi.

4.2. Kết quả thực nghiệm

Một mẫu khung xe kéo đã được chế tạo theo thiết kế mô phỏng và thử tải tại xưởng thực hành:

- Xe chịu được tải trọng 240 kg liên tục trong 30 phút mà không xảy ra cong vênh hoặc rạn nứt;

- Độ lún khung đo được là 3,5 mm, sai lệch không đáng kể so với mô phỏng;

- Các mối hàn ở vị trí kết nối thanh chịu lực không xuất hiện nứt gãy sau 10 lần thử tải lặp lại.

4.3. Thảo luận

Kết quả cho thấy mô hình thiết kế khung xe kéo bằng thép CT3 có khả năng chịu tải tốt, ổn định và đáng tin cậy. Việc lựa chọn tiết diện và bố trí giằng giúp giảm ứng suất tập trung và tăng độ cứng tổng thể. Tuy nhiên, có thể cải tiến thêm bằng cách tối ưu hình học vật liệu nhẹ hơn cho tay kéo.

5. KẾT LUẬN

- Nghiên cứu đã xây dựng thành công mô hình khung xe kéo đa năng bằng vật liệu thép CT3 có khả năng chịu tải trọng lên tới 250 kg trong điều kiện làm việc thông thường.

- Thông qua quá trình mô phỏng và thử nghiệm thực tế, thiết kế đã chứng minh được tính hiệu quả trong việc phân bố tải, hạn chế biến dạng và duy trì độ ổn định khi vận hành.

- Thép CT3 cho thấy là lựa chọn phù hợp với các yêu cầu về cơ lý tính, khả năng hàn cắt, cũng như hiệu quả về mặt kinh tế trong sản xuất hàng loạt quy mô nhỏ đến trung bình. ❖

Ngày nhận bài: **19/3/2025**

Ngày phản biện: **10/4/2025**

Tài liệu tham khảo:

- [1]. TCVN 1765-75: Thép các bon kết cấu - Phân loại và yêu cầu kỹ thuật.
- [2]. Nguyễn Văn Dũng, “*Sức bền vật liệu*”. NXB. Khoa học và Kỹ thuật, 2017.
- [3]. Solidworks Simulation User Manual 2023.
- [4]. Trần Văn Địch, “*Thiết kế chi tiết máy*”. NXB. Bách khoa Hà Nội, 2020.