

NGHIÊN CỨU ĐỘ BỀN LIÊN KẾT GIỮA THÙNG XE VỚI KHUNG SẮT XI XE CƠ SỞ KHI CẢI TẠO THÀNH Ô TÔ CHUYÊN DỤNG

DURABILITY STUDY OF THE CONNECTION BETWEEN THE VEHICLE BODY AND THE STEEL FRAME OF THE BASE VEHICLE CHASSIS DURING THE TRANSFORMATION INTO A SPECIALIZED VEHICLE

Nguyễn Quang Trung^{1*}, Nguyễn Sĩ Đình², Trần Thành Lam²

¹Trường Đại học Trần Quốc Tuấn, Thị xã Sơn Tây, Hà Nội

²Trường Đại học Kỹ thuật Lê Quý Đôn

TÓM TẮT

Bài báo này nghiên cứu độ bền của các mối liên kết giữa thân xe được trang bị thiết bị chuyên dụng và khung gầm xe cơ sở Kamaz-4326 trong quá trình cải tạo. Mục tiêu chính là nâng cao sự an toàn trong quá trình chuyển động của xe, đặc biệt là trong các trường hợp như phanh, tăng tốc hoặc quay vòng. Bằng cách sử dụng phần mềm ANSYS Workbench, nghiên cứu sử dụng các thử nghiệm trên bu lông quang dầm, ke chống xô và các vị trí liên kết. Nghiên cứu xác định các thông số tối ưu phù hợp với các điều kiện vận hành đa dạng của ô tô.

Hơn nữa, nghiên cứu đề xuất các giải pháp kết cấu hiệu quả, trong đó có tăng cường cho các vị trí chịu lực. Những giải pháp này đảm bảo rằng mức ứng suất bằng hoặc lớn hơn ứng suất cho phép của vật liệu, từ đó cải thiện độ bền và độ an toàn tổng thể của xe trong các tình huống lái xe khác nhau.

Từ khóa: Kết cấu khung; Bu lông quang dầm; Ke chống xô; Độ bền tĩnh.

ABSTRACT

This article studies the strength of the connections between the car body equipped with specialized equipment and the base car chassis Kamaz-4326 during the refurbishment process. The main goal is to improve safety during vehicle movement, especially during actions such as braking, accelerating or turning. Using ANSYS Workbench software, the study employed tests on optical beam bolts, bucket racks, and connection points. Research to determine optimal parameters suitable for diverse automobile operating conditions.

Furthermore, the study proposes effective structural solutions, including reinforcement for load-bearing locations. These solutions ensure that stress levels equal or exceed the allowable stress of the material, thereby improving the vehicle's overall durability and safety in various driving situations.

Keywords: Frame structure; Beam optical bolts; Anti-bucket cream; Static durability.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Sau khi cải tạo xe sát xi thành xe chuyên dụng, đặc biệt các loại xe có đóng các loại thùng kín. Khung xương và sàn thùng xe được liên kết với khung xe bằng các bu lông quang dầm và ke chống xô. Trong quá trình làm việc, một số cụm chi tiết chính như: Khung xương sàn xe, bu lông quang dầm, ke chống xô sẽ chịu tác dụng của tải trọng động và tải trọng tĩnh, các tải trọng này gây ra các ứng suất kéo, nén và xoắn bên trong chi tiết. Nếu cụm chi tiết không đủ điều kiện bền, sẽ xảy ra hiện tượng biến dạng và hư hỏng do mỏi theo thời gian. Ta có các điều kiện biên để khảo sát độ bền các cụm chi tiết chính như sau: Chế độ lực thẳng đứng cực đại, chế độ lực phanh cực đại và chế độ lực ngang cực đại khi quay vòng.

2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT

2.1. Mô hình kiểm bền các chi tiết bằng phương pháp phần tử hữu hạn

Các bước thực hiện quá trình kiểm bền bằng phương pháp phần tử hữu hạn bao gồm:

- Xây dựng mô hình 3D sát với thực tế, đối với khung xe và khung sàn gồm các phần tử gần như dạng thanh, nên cần đơn giản hóa như không vẽ các góc lượn, vát nhằm chia lưới thuận lợi, giảm chi phí tính toán, các chi tiết còn lại mô hình cần thực hiện tỉ mỉ chính xác.

- Gán vật liệu: Để có thể phân tích đánh giá độ bền chi tiết, các phần mềm CAE đều đòi hỏi cung cấp các thông tin cơ bản về vật liệu. Bản thân phần mềm ANSYS có thư viện vật liệu phong phú, ngoài ra có thể thêm vật liệu khác. Các đặc tính của vật liệu được nhập vào phần mềm tùy thuộc các bài toán cần giải, đối với kiểm bền cần nhập các thông tin: Loại vật

liệu, khối lượng riêng, mô đun đàn hồi, hệ số poisson, giới hạn chảy, giới hạn bền. Các loại vật liệu được chọn phải thỏa mãn các yêu cầu cơ bản sau:

+ Có các thông số về cơ tính như giới hạn chảy, giới hạn bền, mô đun đàn hồi phù hợp với yêu cầu của các kết cấu tương ứng;

+ Có tính công nghệ trong chế tạo phù hợp như tính cắt gọt, tính hàn, khả năng gia công bằng biến dạng dẻo... phù hợp với yêu cầu gia công tương ứng;

+ Có khả năng cung ứng để thực hiện theo tiến độ.

Sau khi chọn vật liệu, cần xác định ứng suất cho phép của vật liệu trong các kết cấu tương ứng.

- Đối với các chi tiết chịu tải trọng phức tạp khi tính bền áp dụng phương pháp phần tử hữu hạn sẽ mang lại nhiều ưu điểm, tại mỗi điểm có thể xuất hiện ứng suất theo nhiều phương, khi đó không thể sử dụng các dạng ứng suất đơn. Do vậy, trong các phần mềm CAE thường được sử dụng ứng suất Von Mises. Ứng suất Von Mises được xác định dựa trên lý thuyết năng lượng biến dạng: Nếu năng lượng biến dạng trong trường hợp chịu tải phức tạp bằng với năng lượng biến dạng trường hợp chi tiết chịu kéo nén thuần túy ở trạng thái giới hạn (đạt được ứng suất giới hạn) thì chi tiết coi như bị hỏng. Ứng suất giới hạn trong trường hợp này được chọn là giới hạn chảy σ_y (Yield stress). Từ đó, chi tiết được coi là không bị hỏng nếu ứng suất Von Mises σ_v không vượt quá giá trị giới hạn [1]:

$$\sigma_v = \sqrt{\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2} + 6 \cdot (\tau_{12}^2 + \tau_{23}^2 + \tau_{31}^2)} \quad (1)$$



Nếu các ứng suất theo phương chính hoặc bỏ qua các thành phần ứng suất tiếp thì:

$$\sigma_v = \sqrt{\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2}} \quad (2)$$

- Chia lưới: Chất lượng chia lưới ảnh hưởng đến độ chính xác và thời gian tính toán trong quá trình mô phỏng. Trong nội dung này sử dụng phương pháp chia lưới được chọn là kiểu chia lưới tự động kết hợp với chia lưới thủ công đối với các chi tiết chưa đạt được tiêu chuẩn và các chi tiết cần quan tâm như khung sàn, bu lông quang dầm, ke chống xô (khung xe có thể chia lưới kém hơn do xe cơ sở không chở quá tải cho phép). Các tiêu chuẩn đánh giá chất lượng của việc chia lưới trong phần mềm ANSYS bao gồm [2]:

+ Chất lượng phần tử (Element quality) là chỉ số tổng hợp đánh giá nhanh chất lượng lưới và có thể quan sát ở trên các biểu đồ hiển thị lưới theo từng vùng, chạy loại phần tử 0 đến 1 (1 là phần tử hoàn hảo), từ 0,5 trở lên là đạt. Thông thường, chất lượng lưới lớn hơn 0,7 là tốt. Khi chất lượng lưới đạt 0,9 trở lên là phần tử được chia lưới rất tốt.

+ Độ lệch (Skewness) được tính bằng góc tối thiểu giữa 02 véc tơ tới một mặt đối diện, các mặt và véc tơ giữa 02 mặt tiếp xúc tại mỗi nút của các phần tử. Trong Ansys, tỷ lệ số phần tử sai lệch 0 đến 1 (0 là phần tử hoàn hảo), gần về 0 là tốt, nhỏ hơn 0,5 là chấp nhận được.

+ Chất lượng ma trận trực giao (Orthogonal quality) chạy từ 0 đến 1 (1 là phần tử hoàn hảo), khi chất lượng của ma trận trực giao gần về 1 là tốt, lớn hơn 0,5 là chấp nhận được.

+ Tỷ số Jacobian (Jacobian ratio) là

thước đo độ lệch của một phần tử so với phần tử hoàn hảo. Giá trị của Jacobian chạy từ 0 đến 1 (1 là phần tử hoàn hảo). Trong bài toán phân tích kết cấu thì giá trị Jacobian lớn hơn 0,5 được chấp nhận.

- Đặt các ràng buộc và đặt lực (điều kiện biên): Tùy các chế độ tính toán mà đặt điều kiện cho phù hợp, có thể đơn giản nhưng vẫn phải đảm bảo đúng điều kiện làm việc của chi tiết. Cần nghiên cứu và đặt ràng buộc cũng như các tải trọng kỹ lưỡng, vì chia lưới chất lượng thấp chỉ làm giảm độ chính xác của bài toán, nhưng đặt điều kiện sai thì kết quả sẽ sai hoàn toàn.

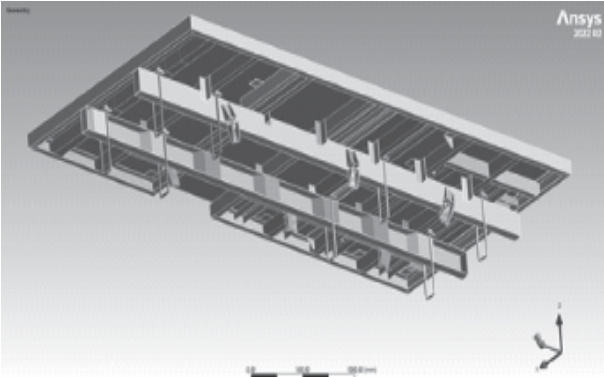
2.2. Tính toán, kiểm bền cho cụm Bu lông quang dầm – ke chống xô

2.2.1. Xây dựng mô hình kiểm nghiệm

Khung xương thùng và khung xe cơ sở được liên kết với nhau thông qua các bu lông quang dầm và các ke chống xô. Giữa hai phần sử dụng tấm đệm cao su để tăng ma sát, hạn chế sự xô dịch trong quá trình xe di chuyển, bu lông quang dầm và ke chống xô có tác dụng tạo lực ép giữa hai bề mặt tạo lực ma sát, đồng thời hạn chế các di chuyển theo các phương nếu có.

Sau một thời gian dài sử dụng, dưới tác động của các tải trọng động, đặc biệt là các dao động do điều kiện môi trường, đường xá thông qua hệ thống treo gây các tải trọng lớn, có chu kỳ, dẫn tới các chi tiết có hiện tượng mỏi, rão, các mối ghép bu lông – đai ốc có hiện tượng bị lỏng. Khi đó, lực ép giữa hai bề mặt không còn đủ lớn, dẫn tới sự xô dịch, khi đó ke chống xô và bu lông quang dầm sẽ phải chịu tải trọng, chủ yếu là uốn và cắt [4]. Do vậy, tách kiểm bền đối với cụm khung xương, bu lông quang dầm và ke chống xô.

- Xây dựng mô hình 3D liên kết giữa sàn thùng và khung xe cơ sở:



Hình 1. Mô hình 3D cụm khung xương sàn, bu lông quang dầm – ke chống xô

- Gán vật liệu:

Bảng 1. Thông số vật liệu thép CT3

Thông số	Ký hiệu	Giá trị	Đơn vị
Giới hạn chảy	σ_{ch}	240	Mpa
Giới hạn bền	σ_b	380	Mpa
Khối lượng riêng	γ	7830	kg/m ³
Độ giãn dài khi đứt	ϵ_0	21	%

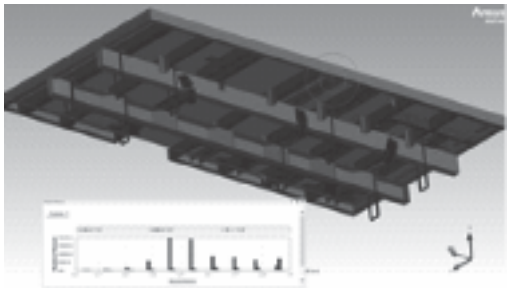
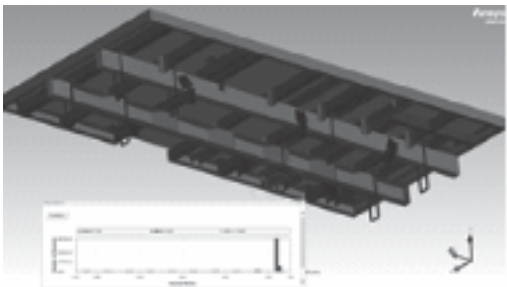
- Chia lưới:

Sử dụng chia lưới tự động kết hợp điều chỉnh thủ công ở các chi tiết có chỉ số thấp nhằm đạt được tiêu chuẩn. Kết quả chia lưới và các tiêu chuẩn đánh giá được cho ở các bảng sau:

Bảng 2. Kết quả đánh giá các tiêu chuẩn đối với khung sàn thùng xe – bu lông quang dầm – ke chống xô

Tiêu chí	Giá trị	Nhận xét
Số phần tử	809002	
Số nút	470806	
Chất lượng phần tử (Element quality)		Chất lượng lưới trung bình là 0,67641 (Đạt)
Skewness		Chỉ số Skewness là 0,40554 (Đạt)



Orthogonal quality		Chỉ số trung bình là 0,61454 (Đạt)
Jacobian ratio		Chỉ số trung bình là 0,98306 (Rất tốt)

- Đặt các ràng buộc và đặt lực (điều kiện biên):

Giải phóng liên kết với khung cơ sở, thay thế bằng áp lực và lực ma sát. Lực ma sát được tính dựa vào khối lượng thùng xe đặt lên khung và lực siết của bu lông quang dầm. Tuy nhiên, ta khảo sát tại trường hợp khắc nghiệt nhất là bu lông quang dầm và bu lông ke đã bị lỏng không tạo được lực ép cần thiết (lực ép do bu lông quang dầm nhỏ, chỉ còn lực ép do tải trọng từ thùng xe và trang bị là chủ yếu), dẫn tới có thể xảy ra khung xương sàn không thể ép chặt lên khung cơ sở dẫn tới lực ma sát suy giảm, khi phanh gấp dẫn tới khung bị xô khỏi vị trí một đoạn nhỏ. Hệ số ma sát giữa cao su và thép là 0,65, giữa thép và thép là 0,12.

Lực ép lên hai thanh dọc chính gồm lực ép do trọng lượng của thùng xe, của bu lông

quang dầm và của các bu lông kết nối hai phần trên dưới của các ke chống xô. Có thể kể đến suy giảm lực ma sát do sự tiếp xúc không đủ của hai bề mặt, nguyên nhân do biến dạng hoặc dao động khiến tải trọng thùng không tạo lực ép không tối đa, giả thiết hệ số truyền lực ép chỉ còn 0,6.

$$F_{ms1} = \mu_1 \cdot N_{ep1};$$

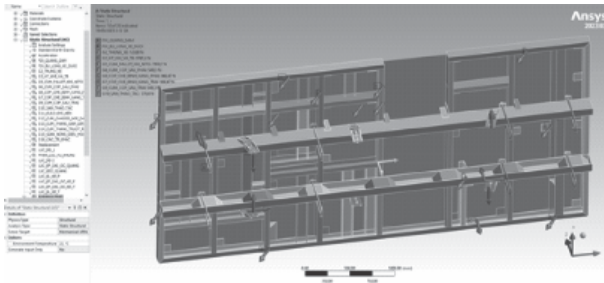
$$N_{ep1} = G_{thung} \cdot \eta_G + n_1 \cdot F_{k1} + (n_{21} \cdot F_{k2} + n_{22} \cdot F_{k2} \cdot \cos \alpha) \quad (\alpha = \frac{\pi}{6}) \quad (3)$$

Lực ma sát tác dụng lên mặt dưới hai thanh dọc chính:

$$F_{ms1} = \mu_1 \cdot N_{ep1} \quad (4)$$

Lực ma sát tác dụng lên mặt trong của phần dưới ke chống xô:

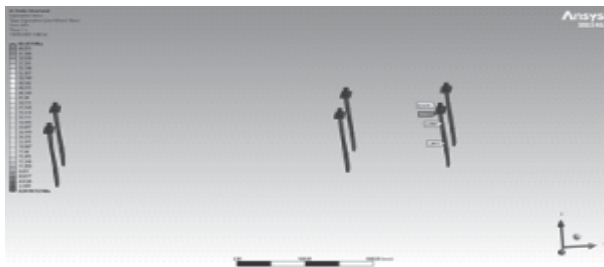
$$F_{ms2} = \mu_2 \cdot N_{ep2} \quad (5)$$



Hình 2. Điều kiện biên khảo sát độ bền liên kết các mối ghép

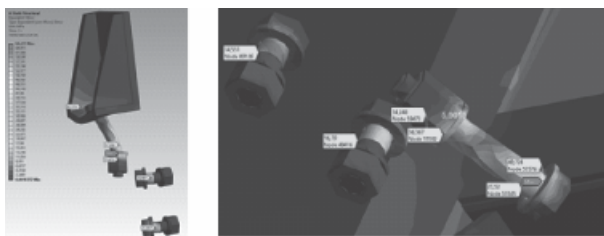
3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

- Bu lông quang dầm: Bu lông quang dầm trong trường hợp này không chịu nhiều các tải trọng tác động do bu lông đã lỏng, xô dịch chủ yếu theo mặt phẳng ngang không đáng kể.



Hình 3. Ứng suất tại bu lông quang dầm

- Ke chống xô: Bu lông kết nối hai phần của ke chống xô đều chịu ứng suất lớn nhất 40 Mpa, bu lông phần dưới ke chống xô kết nối với khung cơ sở chịu ứng suất lớn nhất 22 Mpa. Độ giãn (biến dạng tỉ đối) cũng như biến dạng tổng của cụm ke không đáng kể.



Hình 4. Ứng suất tại ke chống xô – vị trí có ứng suất lớn nhất

Bảng 3. Kết quả kiểm bền các liên kết giữa khung sàn xe và khung xe chuyên dụng

Vị trí tác động	σ_{ch} (MPa)	σ_{max} (MPa)	Các vị trí khác (MPa)
Bu lông quang dầm	240	10	3-5
Ke chống xô	240	41	10-20
Gân tăng cứng thanh chính – thanh ngang	240	66	10-47

Các ứng suất tương đương đều nhỏ hơn nhiều so với ứng suất giới hạn, biến dạng tổng, độ giãn đều không đáng kể. Như vậy, ke chống xô và bu lông quang dầm đủ điều kiện bền với các điều kiện giả lập đã chọn.

4. KẾT LUẬN

Với các kết quả khảo sát, nhận thấy việc bố trí 08 bu lông quang dầm và 06 ke chống xô có đường kính 20 mm đều về hai bên, đảm bảo độ bền liên kết giữa khung thùng xe và khung xe. Ứng suất lớn nhất tại các vị trí nguy hiểm nhỏ hơn rất nhiều lần so với giới hạn chảy của vật liệu, như vậy việc bố trí này đảm bảo sự hợp lý. Các thông số về đường kính của bu lông, số lượng bu lông quang dầm, ke chống xô và vị trí bố trí cũng ảnh hưởng đến độ bền của liên kết khi ứng với các chế độ hoạt động của ô tô (chế độ lực thẳng đứng cực đại, chế độ lực phanh cực đại và chế độ lực ngang cực đại khi quay vòng). Việc khảo sát độ bền liên kết với một bộ số liệu tiêu chuẩn giúp cho nhóm tác giả lựa chọn hợp lý các thông số về mặt kích thước, lựa chọn vật liệu liên kết đảm bảo cân bằng các yếu tố giá thành, sự ổn định và an toàn khi ô tô cơ động trên đường. ❖



Ngày nhận bài: **28/12/2023**

Ngày phản biện: **15/01/2024**

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Lương Văn Vạn (2020); “*Nghiên cứu độ bền khung sắt xi xe chữa cháy rừng đa năng*”, Luận án tiến sĩ Kỹ thuật Cơ khí.
- [2]. Nguyễn Quang Anh (2008); “*Nghiên cứu động lực học độ bền khung vỏ ô tô khi va chạm trực diện*”, Luận án tiến sĩ Kỹ thuật Cơ khí.
- [3]. M. Meghana, Ch. Shashikanth, M. Pradeep kumar (2016), “*Impact Analysis of Bumper and Car Chassis Frame Due to Frontal Collision for Different Materials*”, International Journal of Engineering and Management Research, Page Number: 131-135.
- [4]. Vinay N. Rao, Jeffrey W. Eischen (2016), “*Failure analysis of mixed mode crack growth in heavy duty truck frame rail*”, Case Studies in Engineering Failure Analysis 5–6 (2016) 67–74. <http://dx.doi.org/10.1016/j.csefa.2016.03.002>.