

Ảnh hưởng của vị trí trọng tâm đến độ bền mỏi khung xe ô tô - Tổng quan và hướng nghiên cứu

Effect of center of gravity position on fatigue strength of automobile frame:
An overview and research direction

Nguyễn Thái Vân^a, Vũ Dương^{b*}
Nguyen Thai Van^a, Vu Duong^{b*}

^aPhòng Khoa học Công nghệ và Hợp tác quốc tế, Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Vĩnh Long, Thành phố Vĩnh Long, 850000, Việt nam

^aDepartment of Science and Technology, Vinh Long University of Technology and Education, Vinh Long City, 850000, Viet Nam

^bTrường Công nghệ và Kỹ thuật, Đại học Duy Tân, Đà Nẵng, Việt Nam

^bSchool of Engineering and Technology, Duy Tan University, Da Nang, 550000, Viet Nam

(Ngày nhận bài: 25/03/2025, ngày phản biện xong: 24/07/2025, ngày chấp nhận đăng: 08/08/2025)

Tóm tắt

Bài báo đề cập đến vấn đề độ bền của khung xe - một kết cấu chịu lực quan trọng có ảnh hưởng đến độ an toàn xe trong vận hành lẫn tuổi thọ của xe. Do tác động của một hệ động lực, khung xe sẽ chịu ứng suất và biến dạng. Điều này cuối cùng dẫn đến độ bền mỏi của khung xe. Đã có những công trình nghiên cứu tác động của các ngoại lực đến độ ổn định (chống trượt, chống lật, vết phanh) của xe. Trong đó vị trí trọng tâm xe có vai trò đáng kể đến tính năng vận hành xe. Tuy nhiên có khá ít công bố liên quan đến giải pháp điều chỉnh vị trí trọng tâm và tác động của nó đến độ bền mỏi khung xe. Đồng thời dao động khung xe cũng cần được tính đến trong mô hình tổng thể đánh giá độ bền mỏi khung xe. Kết quả phân tích tổng quan đã xác nhận một hướng nghiên cứu mới để giải quyết vấn đề này.

Từ khóa: độ bền; khung xe; trọng tâm; độ bền mỏi; điều chỉnh vị trí; độ an toàn.

Abstract

The article deals with the durability of the chassis - an important load-bearing structure that affects the safety of the vehicle in operation and the life of the vehicle. Due to the impact of a dynamic system, the chassis will be subjected to stress and deformation. This eventually leads to the fatigue strength of the chassis. There have been studies on the impact of external forces on the stability (anti-skid, anti-roll, braking marks) of the vehicle, in which the position of the vehicle's center of gravity plays a significant role in the vehicle's operating performance. However, there are few publications related to the solution of adjusting the center of gravity position and its impact on the fatigue strength of the vehicle frame. At the same time, the vibration of the vehicle frame also needs to be taken into account in the overall model of evaluating the fatigue strength of the vehicle frame. The overall analysis results have confirmed a new research direction to solve this problem.

Keywords: durability; chassis; centroid; fatigue resistance; adjust the position; safety.

*Tác giả liên hệ: Vũ Dương
Email: duongvuastralia@gmail.com

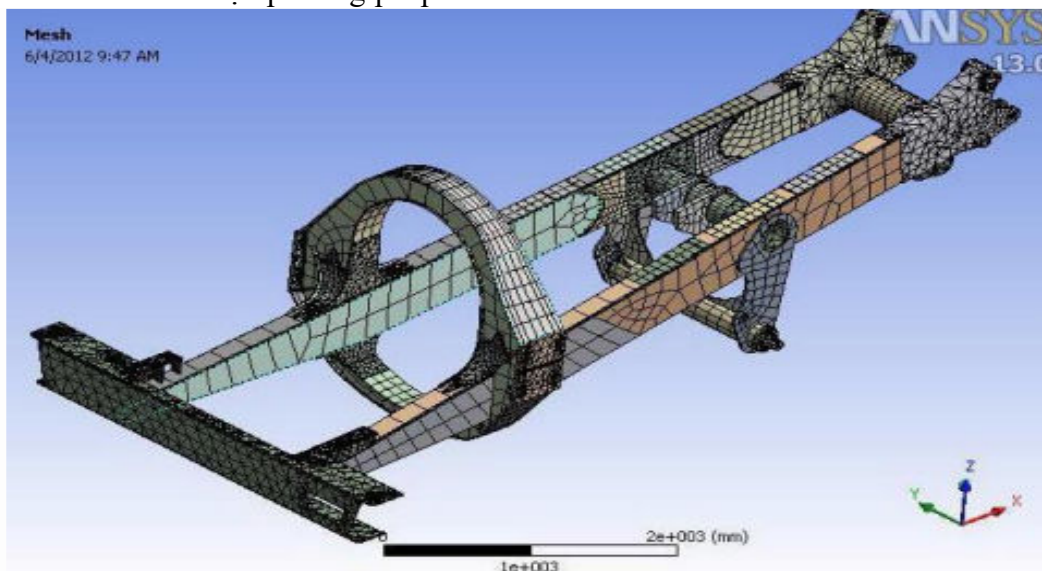
1. Đặt vấn đề

Vấn đề độ bền khung xe ô tô có ý nghĩa quan trọng ảnh hưởng hệ số an toàn vận hành và tuổi thọ của xe. Do tác động của nhiều yếu tố: động lực học, phân bố tải trọng, cấu hình toàn bộ thân xe lẫn từng cụm chi tiết lẫn vật liệu và công nghệ chế tạo khung xe, mà có nhiều công trình nghiên cứu xung quanh vấn đề này. Về các yếu tố lực ảnh hưởng đến độ bền phải kể đến: ứng suất, khả năng chịu tải uốn, tải kéo và tải xoắn. Ngoài ra, bài toán cân đối tỷ lệ trọng lượng - độ bền cũng được cân nhắc để đạt hiệu quả về giá thành sản phẩm. Để giải quyết bài toán này, phương pháp chung là xây dựng mô hình chịu tải của thân xe và mô phỏng sự biến đổi các thông số đầu vào/đầu ra dựa trên một số phần mềm như: FEA, ANSYS, ABAQUS và NASTRAN. Tiếp theo, trên mô hình vật lý người ta đo lường, phân tích các thông số ảnh hưởng đến độ bền thân xe để đối chứng mức độ hoàn hảo của mô hình và tiến hành tối ưu hoá trong những điều kiện biên nhất định như: chủng loại xe, điều kiện vận hành, đặc điểm mặt đường v.v. Mục tiêu của bài tổng quan này nhằm phân tích những mô hình và giả thiết đã công bố về các tác động ngoại lực ảnh hưởng đến độ bền thân xe ô tô. Trên cơ sở đó, rút ra những vấn đề chưa được đề cập để tiếp tục nghiên cứu nhằm hoàn thiện phương pháp thiết

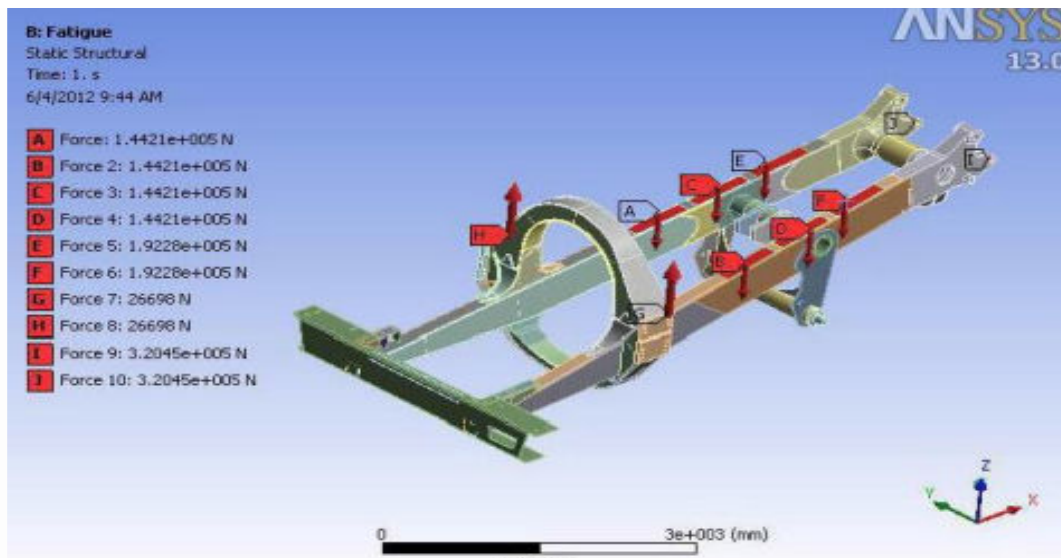
kế chế tạo khung xe ô tô - một bộ phận quan trọng chịu lực, ảnh hưởng đến tuổi thọ của xe.

2. Các mô hình và phương pháp

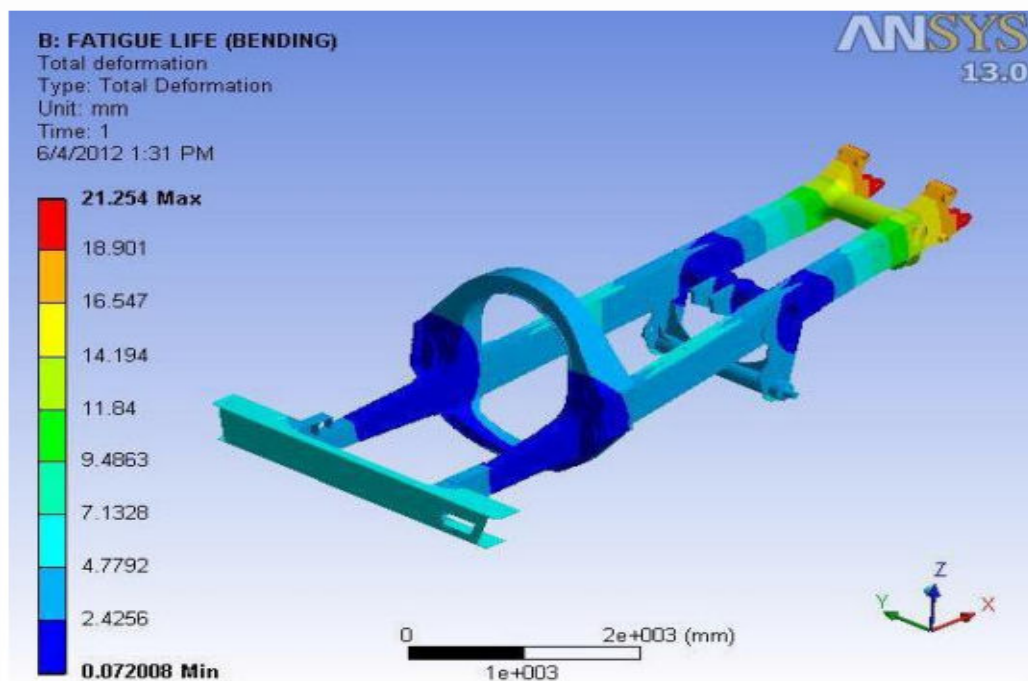
Tác giả Kalva et al., [1] đã dùng các phần mềm Pro-E, HYPER MESH, và ANSYS để phân tích mô hình khung xe tải, trong đó khung gầm xe ben là một thành phần hệ thống xe địa hình. Mục tiêu chính là tính toán sự phân bố ứng suất tĩnh tuyến tính trong phần quan trọng của khung xe và dự đoán tuổi thọ mỏi của nó. Khung xe được làm bằng thép kết cấu cường độ cao (IS 1030) dạng tấm và đúc ASTM A148 Gr.150-125 để chịu tải trọng lớn và ngăn ngừa phá hủy mỏi. Điểm đáng chú ý là tác giả công trình này áp dụng phương pháp tinh chỉnh lưới (Hình 1) cho khu vực quan trọng của khung xe. Tải trọng đường dọc trái và phải uốn và xoắn được tính toán thủ công và thêm vào mô hình FE. Theo kết quả áp dụng phương pháp phần tử hữu hạn (Finite Element-FE) thì tập trung ứng suất lớn nhất là ở phía sau của kết cấu khung gầm xe. Sau các phân tích FE, hệ số an toàn và tuổi thọ mỏi (Hình 2) của khung xe đã được xác định. Phương pháp phân tích FE đã được lặp lại để thiết lập sự phân bố ứng suất và tuổi thọ mỏi của khung gầm được cải thiện. Phân phối ứng suất ở phần trước và sau của khung xe, tuổi thọ bền mỏi (Hình 3) vượt quá 30.000 giờ.



Hình 1. Mô hình khung xe đã chia phần tử



Hình 2. Độ bền mỗi chịu tải uốn



Hình 3. Tuổi thọ bền mỏi do uốn

Kết quả nghiên cứu này cho thấy: Tăng cường độ uốn và xoắn tổng thể. Độ lệch tổng thể cũng ít hơn 10%. Thử nghiệm độ mỏi khung gầm yêu cầu 3,5 triệu chu kỳ. Kéo dài tuổi thọ mỏi, độ võng và độ bền của khung gầm bằng cách tăng độ dày tấm, chiều rộng tiết diện hộp và thanh ngang trung tâm đã được chứng minh là tối ưu. Tại điểm tiếp xúc với mặt đất, việc đo phản ứng camber cũng rất quan trọng. Cấu trúc khung gầm này cần được nghiên cứu thêm và tinh chỉnh về hiệu suất tổng thể, hành vi động lực kết cấu và kiểm tra chất

lượng. Dựa trên các tiêu chí này, lời khuyên chung là nghiên cứu phân tích cấu trúc trước, sau đó tập trung vào các khu vực cụ thể như khung gầm. Do đó, phân tích này có thể giúp tăng sự tinh chỉnh và tiến bộ của toàn bộ cơ thể.

Đáng chú ý, các tác giả trong công bố [2] lại cho rằng điều quan trọng là phải nghiên cứu và đánh giá *độ bền của khung xe*. Đặc biệt, cần nghiên cứu ảnh hưởng của *tần số tải đến độ bền khung xe* là rất quan trọng trong việc đánh giá

độ bền khung gầm. Mục tiêu của nghiên cứu này là điều tra ảnh hưởng của tần suất tải, từ mặt đường và động cơ đến độ bền khung gầm cho loại xe chữa cháy rừng đa năng hoạt động trong một số trường hợp khi di chuyển trên đường. Việc đánh giá ảnh hưởng của tần số tải trọng đến độ bền khung gầm của xe chữa cháy rừng đa dụng góp phần vào các thông số đầu vào để xác định và đánh giá vấn đề mỏi và độ bền đứt của khung gầm. Nghiên cứu được thực hiện trên xe URAL 4320 sử dụng đất cát để chữa cháy. Một trong những trở ngại chính là *rung động* có thể gây ra *cộng hưởng tập trung ứng suất cao* lên cấu trúc phá hủy khung hoặc có thể gây mỏi cho khung trong quá trình hoạt động. Các nghiên cứu về sự dao động của khung gầm ô tô cho thấy tầm quan trọng của sự dao động của khung gầm ô tô. Ví dụ, độ bền của khung gầm có thể góp phần đảm bảo an toàn thụ động và có thể cải thiện tuổi thọ của khung gầm. Khung gầm được quan tâm bởi nó là một hệ thống chính đóng vai trò nhận và truyền lực phản ứng trong quá trình vận hành của ô tô với điều kiện đường xá khác nhau. Ngoài ra, khung gầm còn bị ảnh hưởng bởi các rung động từ động cơ và hệ thống truyền lực. Tầm quan trọng và độc đáo của nghiên cứu này là góp phần đánh giá ảnh hưởng của tần số đến độ bền của khung xe tải nhẹ nói riêng và cơ sở khoa học trong quá trình hoàn thiện thiết kế xe chữa cháy rừng. Những phát hiện thực nghiệm trong nghiên cứu này cung cấp thêm nhận thức mới về ảnh hưởng của các cụm chi tiết khác đối với khung gầm như hệ thống truyền động và cụm động cơ, đồng thời mở rộng kiến thức của chúng ta về đánh giá dao động và độ bền của khung.

Với quan điểm thừa nhận tầm quan trọng của độ bền khung xe, các tác giả trong [3] lại áp dụng kiểm tra quá trình thiết kế, sau đó là phân tích khung gầm bằng cách sử dụng phần mềm SOLIDWORKS 2018 và ABAQUS/CAE 6.14. Quá trình phân tích được thực hiện với thử nghiệm thẳng đứng tĩnh, thử nghiệm độ cứng xoắn và thử nghiệm va chạm bằng tiêu chuẩn an

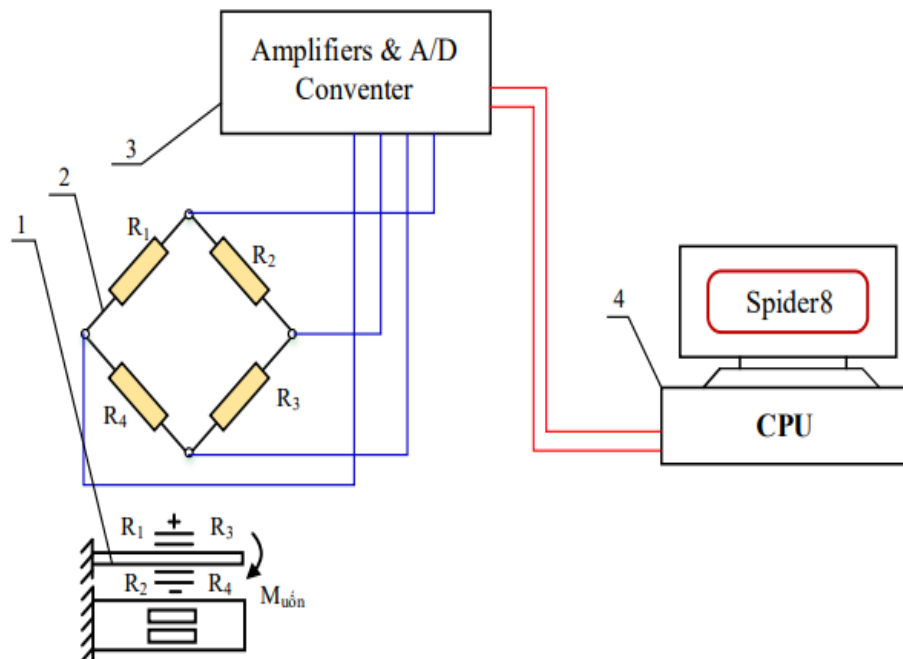
toàn dưới dạng hệ số an toàn phải *lớn hơn 1* ($SF > 1$) để đảm bảo an toàn cho người lái. Tác giả dùng các phần mềm SOLIDWORKS 2018 and ABAQUS / CAE 6.14 để đánh giá tác động của: tải tĩnh theo phương đứng, tải xoắn, tải uốn tĩnh theo phương ngang, độ cứng vững chống xoắn và cuối cùng là tải phá hủy để xem chúng tác động như thế nào đến biến dạng toàn bộ khung xe?

Theo quan điểm của các tác giả trong [4] thì ứng suất cắt tối đa gây ra trong khung và độ lệch trong các điều kiện hoạt động khác nhau là tiêu chí quan trọng cho thiết kế khung gầm. Các thanh giằng ngang hỗ trợ cho các dầm dài chịu được tải trọng gây uốn và xoắn. Trong bài báo này, người ta thảo luận một phương pháp tối ưu hóa thiết kế được sử dụng để tối ưu hóa khung gầm cho ứng dụng xe tải. Trước hết, họ đã kết hợp các vật liệu khác nhau và các yếu tố lý thuyết khác và sau đó dùng phương pháp phân tích để tính toán lực cắt (SF) và mômen uốn (BM) cùng các thông số kỹ thuật cần thiết khác để tính toán dầm dài. Mọi biện pháp tăng cứng chống xoắn chủ yếu nhằm vào thay đổi kích thước mặt cắt ngang của kết cấu dạng dầm.

Ở một góc độ khác, tác giả công trình [5] lại cho rằng điều kiện địa hình có tác động mạnh đến sự thay đổi tải động ảnh hưởng tới độ bền mỏi và tuổi thọ của khung xe. Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu xác định tải trọng động từ mặt đường tác động lên khung gầm xe chữa cháy rừng đa năng bằng phương pháp thí nghiệm (Hình 4). Nhóm tác giả dùng phần mềm MATLAB SIMULINK để mô phỏng và đối sánh kết quả thực nghiệm khi xe chạy ở các dải tốc độ: 10-15-20 km/h. So sánh giữa kết quả mô phỏng và thí nghiệm cho thấy định luật biến đổi lực thẳng đứng theo tính toán lý thuyết và đo lường là như nhau. Sự khác biệt tối đa giữa kết quả mô phỏng và kết quả thí nghiệm là 12,01%. Với các giả định được chấp nhận khi xây dựng các mô hình mô phỏng, độ lệch như vậy có thể chấp nhận được. Sự khác biệt giữa kết quả tính toán theo mô hình và kết quả thực nghiệm không

quá lớn, điều này cho thấy mô hình động lực của xe mô tả chính xác các quá trình vật lý xảy ra

trong hệ thống, với độ chính xác và độ tin cậy chấp nhận được.



Hình 4. Thiết bị đo lực pháp tuyến

Đối với nghiên cứu độ bền của xe, được thực hiện với mô phỏng hoặc thử nghiệm trong phòng thí nghiệm, tác động lên đối tượng phải được mô tả dưới dạng tập hợp các tín hiệu tải miền thời gian, phản ánh các chế độ dịch vụ tăng tốc của hoạt động của xe. Đối với một phương tiện mới được phát triển, các tín hiệu tải trọng này có thể dựa trên chu kỳ tải đã chuẩn bị trước đó của một phương tiện tương tự bằng cách sử dụng lý thuyết chia tỷ lệ tải. Tầm quan trọng và tính chắc chắn của lý thuyết mở rộng tải được chấp thuận bởi việc sử dụng tích cực giữa các nhà sản xuất ô tô nước ngoài và các trung tâm kỹ thuật (Hình 5). Tuy nhiên, mô tả toán học về lý thuyết và quy

trình tỷ lệ được phân loại nghiêm ngặt, mặc dù dựa trên các nguyên tắc cơ bản của động lực học xe. Trong bài báo này [6], *phương pháp mở rộng tải trọng bánh xe miền thời gian và hệ thống truyền động được đề xuất*. Phương pháp này dựa trên tỷ lệ kích thước và tính chất khối lượng của xe ban đầu và xe mới. Giả sử rằng chu kỳ tải được ghi lại trước đó tương ứng với tuổi thọ của xe. *Điều đáng chú ý là mức độ tích lũy tải trọng và hư hỏng, được thể hiện với chu kỳ tải theo tỷ lệ và sau khi thử nghiệm nguyên mẫu đầu tiên trên bãi thử nghiệm, sẽ khác nhau do tác động của độ cứng khung gầm và đặc tính giảm chấn.*

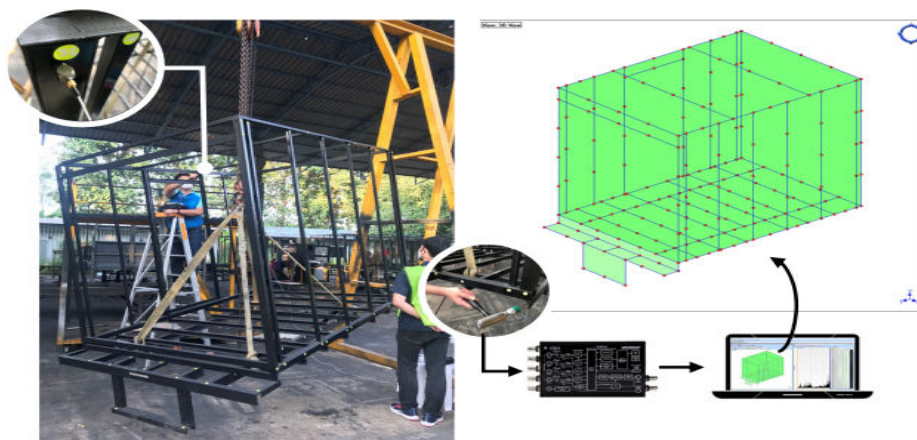


Hình 5. Thiết bị thử tải đa trục cho hệ thống treo

Các tác giả đã kết luận: Lý thuyết chia tỷ lệ tín hiệu tải theo miền thời gian là một công cụ quan trọng để phân tích độ an toàn và độ bền của các bộ phận xe mới được phát triển. Việc sử dụng bộ dữ liệu ban đầu có sẵn và công thức không phức tạp cho phép lý thuyết tương đối dễ sử dụng và đồng thời đảm bảo kết quả khả quan, đủ cho giai đoạn đầu của quá trình phát triển xe.

Có một mô hình khác [7], trong đó tác giả giả thiết rằng mô hình chung của xe là một khối hộp, từ đó nghiên cứu tác động tải lên toàn bộ khung xe (chứ không chỉ kết cấu gầm bộ xe). Khung thùng hàng (CBF) (Hình 6) là cấu trúc chính của xe thương mại được thiết kế để xử lý tải trọng và các bộ phận trong quá trình di chuyển. Khung xe có thể bị rung động do đường gồ ghề và các bộ

phần gắn trên đó. Nghiên cứu này đề xuất một quy trình phân tích và xác nhận cấu trúc CBF bằng cách sử dụng kết hợp phân tích phương thức không phá hủy và phân tích phần tử hữu hạn để điều tra các đặc tính rung động của CBF bốn bánh, bao gồm cả tần số tự nhiên và hình dạng chế độ của nó. Phản ứng của CBF đối với các điều kiện tải khác nhau, bao gồm phân bố ứng suất và dịch chuyển, đã được phân tích. Kết quả cho thấy tần số truyền động có thể ảnh hưởng đến khung gầm của xe tải do tần số tự nhiên của CBF nằm trong phạm vi kích thích. Hình dạng chế độ kết quả có thể cải thiện độ bền CBF, giảm trọng lượng, xác định các mối hàn bị lỗi và xác định vị trí lắp đặt tối ưu dựa trên trọng tâm (CG) cho các bộ phận.



Hình 6. Khung CBF 3D

Để đảm bảo sự ổn định và an toàn của phương tiện trong quá trình vận chuyển hàng hóa, phân tích xem xét vị trí trọng tâm (CG) tối ưu. Các phương pháp phương thức không phá hủy và phân tích phần tử hữu hạn đã được sử dụng để phân tích xe bốn bánh CBF trên nhiều chiều khác nhau. Phần mềm MEscape được sử dụng để kiểm tra các đặc điểm của cấu trúc chính, cung cấp mô tả về thiết bị cần thiết để tiến hành các hoạt động va chạm. Thiết bị này bao gồm gia tốc kế ba trục chuyển động có điều kiện và mô-đun thu thập dữ liệu. Quá trình phân tích bao gồm một số bước, bao gồm thu thập dữ liệu, xử lý, xác định chế độ và giải thích kết quả. Bằng cách mô phỏng hành vi rung động ở các tần số khác nhau, so sánh đã được thực hiện bằng cách sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn trong phần mềm ANSYS để tiến hành phân tích thiết hại trong các điều kiện khác nhau. Hơn nữa, sự kết hợp của kết quả thử nghiệm thực tế và mô phỏng trong cả hai kỹ thuật đã nâng cao độ chính xác của quá trình phân tích và xác minh. Bài báo này góp phần thiết kế và sản xuất các CBF lớn với số lượng mỗi hàn đáng kể, cuối cùng dẫn đến các thiết kế CBF được sửa đổi giúp giảm chi phí sản xuất cho ngành lắp ráp CBF cạnh tranh.

Luận án tiến sĩ [8] có đề xuất ứng dụng AI để phát triển công cụ đầu vào trên đường nhân tạo dựa trên ANN, có khả năng mô hình hóa tác động của 5 cấu hình xe khác nhau và các thông số thiết kế đối với tín hiệu đầu vào đường để lái các mô hình xe trong giai đoạn tiền nguyên mẫu.

Xuất phát từ quan điểm: độ bền mỗi khung xe là quan trọng, tác giả [9,10] đã cho rằng khía cạnh quan trọng của thiết kế và phân tích khung gầm là *sự phân bố ứng suất và tuổi thọ mỏi của quá trình dự đoán*. Phân tích ứng suất rất quan trọng trong nghiên cứu mỏi và dự đoán tuổi thọ của các thành phần để xác định điểm tới hạn có ứng suất cao nhất. *Để giảm cường độ ứng suất tại điểm tới hạn của khung gầm, độ dày thanh bên, độ dày thanh ngang và vị trí của*

thanh ngang từ phía sau đã được thay đổi. Ngoài ra, để tránh khớp tần số tự nhiên của khung gầm với tần số kích thích, tần số tự nhiên và chế độ rung đã được phân tích trong điều kiện tải. Mỗi là một trong những thông số quan trọng nhất cần xem xét khi thiết kế các bộ phận xe tải. Các thành phần thường chịu tải trọng động khi sử dụng. Trong bài báo này, một nỗ lực được thực hiện để xem xét các nghiên cứu đã được thực hiện về các kỹ thuật phân tích độ mỏi khác nhau của khung xe tải. Một số kỹ thuật phân tích và thử nghiệm có sẵn để phân tích khung ô tô.

Khẳng định ý nghĩa quan trọng của việc đánh giá độ bền tổng quát của khung xe thông qua bền mỏi, trong công trình [11] đã phân tích bền mỏi vì cho rằng nó đảm bảo an toàn vì đứt gãy xảy ra ngay cả khi ứng suất thấp hơn ứng suất chảy, ngay cả khi có đủ biên độ về độ bền.

Để đánh giá một cách tổng thể tác động của hệ ngoại lực lên khung xe, cần gắn với trọng tâm của xe, cho nên phải xác định chính xác vị trí trọng tâm của một chiếc xe có tác động đáng kể đến động lực học của nó. Biết vị trí chính xác của nó là điều cần thiết cho các tính toán và mô phỏng khác nhau liên quan đến động lực học của xe và kích thước của các bộ phận riêng lẻ của xe. Đồng thời, họ cũng xác nhận vị trí trọng tâm xe ảnh hưởng đến sự cân bằng và ổn định của xe nhưng chưa đề cập đến tác động của nó đến độ bền của khung xe.

Trong luận án tiến sĩ cơ khí [15], tác giả đã nghiên cứu sâu về tác động của từng hệ thống như: Active Aerodynamics Control (AAC), Active Rear Steering (ARS), Electronic Stability Control (ESC), Hydraulically Interconnected Suspension (HIS), Active Anti-Roll Bar (AARB), Torque Vectoring system (TV), và Active Suspension system (ASS), đến động lực học tích hợp toàn bộ xe, nhưng cũng chưa đề cập đến riêng độ bền của khung xe như là một kết cấu chịu lực chính.

Vấn đề thiết kế khung xe có được đề cập riêng biệt trong một nghiên cứu xe ô tô điện [16] do cụm pin có ảnh hưởng khá lớn. Tuy nhiên giải pháp ở đây để đảm bảo độ bền khung xe, tác giả ngoài việc sắp xếp bố trí hợp lý cụm pin xe điện, còn đề cập cả vật liệu chế tạo và mặt cắt ngang bộ phận khung xe.

3. Phân tích rút ra giải pháp nâng cao độ bền khung xe

Trong các nghiên cứu đã công bố [1-16], một vấn đề còn để ngỏ là tác động của vị trí trọng tâm toàn bộ xe đến không chỉ độ ổn định (chống lật, chống trượt) mà còn là độ bền mỏi của khung xe. Tiếp theo là cách điều chỉnh vị trí trọng tâm của xe để đảm bảo độ bền mỏi khung xe. Đi kèm theo đó là phương pháp thiết kế mới được kiểm chứng. Đây sẽ là một hướng nghiên cứu mới trong cơ khí - động lực. Để xác định chính xác vị trí trọng tâm xe có thể áp dụng phương pháp số dùng phần mềm SOLIDWORKS, ANSYS [17,18]. Một trong những giải pháp nâng cao độ bền khung xe có thể là kết hợp dịch chuyển vị trí trọng tâm của xe đồng thời thay đổi cấu hình (profile) của khung xe để đánh giá độ bền mỏi của nó [18,19]. Trong xây dựng mô hình mới để đánh giá độ bền mỏi khung xe cũng cần chú ý đến tác động của tần số dao động khung xe [20] vì đây là tác nhân đáng kể trên thực tế.

4. Kết luận

Hướng nghiên cứu mới nên tập trung phân tích cách thức phân bố vị trí cùng khối lượng và trọng lượng từng bộ phận cấu thành gầm bộ xe có ảnh hưởng như thế nào đến độ bền mỏi của khung xe (chassis). Trong các công bố gần đây, người ta đều thừa nhận vai trò của các lực tác động theo cả 3 phương (dọc, ngang và đứng) lẫn ảnh hưởng của mặt đường, cách thiết kế tăng bền kết cấu dạng dầm v.v. đến độ bền tổng hợp của khung xe. Tuy nhiên giải pháp tái phân bố các khối trọng lượng ảnh hưởng đến vị trí trọng tâm chung của khung xe chưa được đề cập và chưa

được luận giải cả về học thuật lẫn thí nghiệm kiểm chứng. Đồng thời đặc biệt chú ý đến độ bền mỏi khung xe do tác động của tần số dao động (địa hình, tải trọng, kết cấu). Những nội dung này gợi mở một hướng nghiên cứu mới trong động lực học xe ô tô nhằm nâng cao độ ổn định của xe do tác động tổng hợp của hệ nội và ngoại lực.

Tài liệu tham khảo

- [1] Kalva. J. K.R.; P. Syam. (2022). "Analysis and Design of Heavy-Vehicle Chassis for the Effects of Different Stress Distributions on their Performance". *International Research Journal of Modernization in Engineering Technology and Science*, 4(4).
- [2] Hôi, N.X.; Văn, L.V.; Quang, N.T.; Tường, T.V. (2020). "Assessment on Effect of Load Frequency to Durability of Chassis of the Multi-Purpose Forest Fire Fighting Vehicle". *10th TSME-International Conference on Mechanical Engineering (TSME-ICoME 2019) IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* 886 ,012007, Pattaya, Thailand. doi:10.1088/1757-899X/886/1/012007.
- [3] Irsyadi.Y.; Amir.A.; Ahmad.I.J.; Gunawan.G. (2021). "Chassis Frame Design and Analysis based on Formula SAE Japan". *Indonesian Journal of Engineering and Science*, 2(2).
- [4] Deepak.J.J.; Rajesh.M.; Anbarasan.K. (2022). "Design Optimization of Chassis Frame Long Member for Truck Application". *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)* <http://www.ijert.org>, 11(12). ISSN: 2278-0181 IJERTV11IS120009.
- [5] Luong.V.V.; Nguyen.T.Q.; Le.H.Q.; Le.V.A.; Tran.P.H.; Nguyen.X.Hoi.; Tran.V.T. (2020). "Determination of Dynamic Loads from the Road Surface Acting on the Chassis by Experimental Methods". *10th TSME-International Conference on Mechanical Engineering (TSME-ICoME 2019) IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* 886, 012008, Pattaya, Thailand, doi:10.1088/1757-899X/886/1/012008.
- [6] Bokarev.A.I.; Kulagin.V. A.; Nazarov.I.A. (2021). "Development and validation of vehicle wheel load scaling method for formation of durability testing loading cycle". *International Conference on Actual Issues of Mechanical Engineering (AIME 2021) Journal of Physics: Conference Series* 2061 (2021) 012028, IOP Publishing doi:10.1088/1742-6596/2061/1/012028.
- [7] Nitisak.N.; Kontorn.C.; Jiraphon.S. (2023). "Enhancing the Performance and Durability of Commercial Vehicle Cargo Box Frames through

- Modal Analysis". *Appl. Sci.* 13,9303. <https://doi.org/10.3390/app13169303>.
- [8] Abdebola.O.O. (2015). "Artificial Road input Data Generation Tool for Vehicle Durability Assessment using Artificial Intelligence". *A thesis submitted to the College of Engineering and Physical Sciences of the University of Birmingham for the degree of Doctor of Philosophy*.
- [9] Hailemariam.F.N.; Yang.H. (2015). "Study of Fatigue Analysis of Vehicle Truck Chassis", *Manufacturing Engineering*, 4(5), 1636-1640.
- [10] Simulation and Analysis of a Vehicle Chassis by ANSYS Program. <https://www.ansys.com/applications/vehicle-chassis>.
- [11] Jaick.J.; Chang.Y.S.; Jongsoo.L.; Juhee.L. (2017). "Fatigue and Durability Based Analysis and Design of Lower Control Arm with Composite Materials". *Asia Pacific Conference of the Prognostics and Health Management Society*, 779-782.
- [12] František.S.; Eva.N. (2024). "Changing the Position of the Vehicle's Center of Gravity as a Result of Different Load Distribution". *Appl. Sci.* 14, 9328. <https://doi.org/10.3390/app14209328>.
- [13] Joseph.S.; Siyad.S.; Subin.A.J.; Ton.D. (2016). "Concept Of Moving Centre of Gravity for Improved Directional Stability for Automobiles – Simulation". *IJIRST –International Journal for Innovative Research in Science & Technology*, 2(11). ISSN (online): 2349-6010.
- [14] Jack.T.;Tian.; Clifford.W. (2021). "Effect of mass and center of gravity on vehicle speed and braking performance". *Journal of Emerging Investigators*, 4 • www.emerginginvestigators.org.
- [15] Arash.H.A. (2017). "Integrated Control of Active Vehicle Chassis Control Systems", *Doctoral dissertation in Mechanical Engineering Politecnico di Milano*.
- [16] Koray.E.; Mustafa.C.K.; Feriha.E.K. (2023). "Determination and Static Analysis of the Chassis Model for Electric Vehicles". *International Journal of New Findings in Engineering, Science and Technology*, 1(1), 25-35.
- [17] Václav.M.; Jaroslav.K. (2022). "Numerical Determination of the Accuracy of Gravity Center Coordinates and Stability of a Model Concept of Harvester with the Rigid Frame". *Forests*, 13, 592. <https://doi.org/10.3390/f13040592>.
- [18] Vipul.U.D.; Rav.G.L. (2018). "Weight Optimization and Fatigue life estimation of Heavy Vehicle Chassis under service loading conditions". *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 5(7), 722-728.
- [19] Mehmet.H.D. (2019). "Topology Optimization of Truck Chassis Under Multi Loading Conditions". *El-Cezeri Journal of Science and Engineering* .6(3), 856-867, DOI: 10.31202/ecjse.612531.
- [20] Hailemariam.F.N.; Yang.H. (2015). "Study of Fatigue Analysis of Vehicle Truck Chassis". *International Journal of Science and Research (IJSR)*, 4(5), 1636-1640.