

NGHIÊN CỨU VỀ LỖ GIẢM KHỐI LƯỢNG
TRÊN KHUNG SƠ MI RƠ MOỐC SẢN XUẤT TẠI VIỆT NAM
A STUDY ON LIGHTENING HOLE
FOR SEMI-TRAILER CHASSIS FRAME MANUFACTURED IN VIETNAM

TRƯƠNG ĐẶNG VIỆT THẮNG*, NGUYỄN TRỌNG HOAN,
TRỊNH MINH HOÀNG

Viện Cơ khí động lực, Trường Đại học Bách khoa Hà Nội

*Email liên hệ: thang.truongdangviet@hust.edu.vn

Tóm tắt

Khung xe tải nặng là bộ phận chính để nâng đỡ và giữ toàn bộ hàng hóa ổn định trong mọi điều kiện vận hành. Kết cấu khung phải đảm bảo độ bền và độ cứng vững để có thể chịu được các dao động, va đập gây ra khi di chuyển trên đường. Khung xe tải nặng thường có có dạng khung chịu lực có đặc điểm công kênh và chiếm phần lớn tự trọng của xe. Hiện nay, xu hướng nghiên cứu thiết kế khung xe theo hướng giảm tự trọng của xe tải ngày được quan tâm giúp cải thiện hiệu suất nhiên liệu cũng như giảm phát khí thải. Việc cải tiến khung xe theo khía cạnh giảm khối lượng bản thân của khung vẫn phải đảm bảo công năng, độ bền và tuổi thọ của khung cũng như phương tiện. Nghiên cứu này trình bày đề xuất phương án giảm tự trọng của khung xe bằng cách cắt các lỗ giảm khối lượng trên các dầm của khung. Việc xác định vị trí, kích thước các lỗ được đề xuất sau khi khảo sát trên một xe nguyên mẫu được sản xuất tại Việt Nam. Các trường hợp cải tiến được đánh giá qua khảo sát độ bền khung xe bằng phương pháp phân tích phần tử hữu hạn. Thiết kế cải tiến bằng phương pháp này giúp giảm trọng lượng khung xe khoảng 2,65%.

Từ khóa: Xe tải nặng, khung xe, nhẹ, lỗ giảm khối lượng.

Abstract

The heavy-duty truck chassis frame is the major part supporting the entire cargo stable under all vehicle operating conditions. The vehicle frame must ensure strength and rigidity to be able to withstand vibrations and impacts that cause torsion, bending and oscillation while travelling on the road. Heavy-duty truck frame often has body-on-frame structure, which makes up the primary mass of the vehicle. Currently, the research and development on chassis frame tend

to focus on reducing the self-weight of trucks in order to improve vehicle fuel efficiency as well as to cut down emission. Improving the chassis frame structure in terms of light-weight aspect while remaining its performance, durability and lifetime. This study proposes a method to reduce the weight of the chassis by creating holes on the frame member to reduce frame chassis weight. The location and size of holes are determined after analysing an existing truck manufactured in Vietnam. Proposed study cases were simulated and evaluated through numerical simulation using the finite element analysis method. The improved design in this paper help reducing the weight of the chassis by about 2,65%.

Keywords: Heavy-duty truck, frame, lightweight, lightening hole.

1. Giới thiệu

Đối với ô tô tải nặng, khung xe được xem là bộ phận chịu lực chính và phần lớn sử dụng dạng khung chịu lực. Khung xe tải có kết cấu công kênh, chiếm phần lớn khối lượng bản thân của xe, thường có dạng khung hình thang bao gồm hai dầm dọc chịu lực chính được liên kết với nhau bằng dầm ngang gia cường đảm bảo khả năng chịu tải. Hai dầm dọc của khung thường được chế tạo từ thép định hình chữ I, C hoặc hình hộp theo hết chiều dài toàn bộ khung.

Xu hướng thiết kế khung gầm các dòng xe tải nặng đòi hỏi khả năng chịu tải trọng cao hơn và giảm trọng lượng bản thân hơn, đảm bảo tuổi thọ làm việc của phương tiện. Nước ta hiện nay có khoảng 45 doanh nghiệp sản xuất khung gầm, thân xe, thùng xe trong nền công nghiệp ô tô và có tỷ lệ nội địa hóa lớn nhất là đối với xe chuyên dụng đạt tỷ lệ 45- 55%, nhất là phương tiện vận chuyển hàng hóa chuyên dụng. Đối với công nghệ sản xuất khung xe trong nước hiện nay vẫn còn có hạn chế nhất định mặc dù vẫn đảm bảo được độ bền, an toàn trong vận hành, sử dụng. Tuy

nhiên, khung xe sắt xi nhập khẩu hiện nay vẫn có nhiều ưu điểm hơn như kết cấu gọn nhẹ, có dạng kết cấu đặc biệt liền khối, tự trọng bản thân nhỏ, tải trọng cho phép lớn, tuổi thọ cao.

Theo nghiên cứu của DuPont Automotive Technology, các nhà sản xuất ô tô tập trung vào trọng lượng nhẹ để đáp ứng các tiêu chuẩn về khí thải và hiệu ứng nhà kính, chẳng hạn tiêu chuẩn Tiết kiệm Nhiên liệu Trung bình Doanh nghiệp (CAFE) và khí thải gây hiệu ứng nhà kính (GHG) của hội Ủy ban An toàn giao thông đường bộ Mỹ (NHTSA).

Khoan cắt lỗ giảm khối lượng trên khung ô tô đã được thực hiện từ rất sớm trên xe đua trong những năm 1920 và 1930. Các dầm dọc và dầm chéo khung gầm, các thành phần hệ thống treo, vô động cơ và thậm chí cả các thanh kết nối đều được khoan một loạt các lỗ, có kích thước gần bằng kích thước các dầm của khung mà không thực hiện lại bất kỳ tính toán ứng suất nào sau đó.

Phương pháp triển khai lỗ giảm khối lượng cho xe tải hạng nhẹ đáp ứng tiêu chuẩn nghiêm ngặt của CAFE sử dụng hiệu suất mỗi làm mục tiêu thiết kế để tối ưu hóa khung xe tải hạng nhẹ trong công bố [1]. Để đáp ứng các tiêu chuẩn nghiêm ngặt của CAFE, các nhà sản xuất ô tô đang cố gắng giữ cho trọng lượng xe càng nhẹ càng tốt. Giảm trọng lượng trên khung là một nhiệm vụ đầy thách thức vì nó vẫn cần duy trì sức mạnh, độ an toàn và độ bền khi thực hiện. Nghiên cứu khác về việc giảm trọng lượng của khung xe loại khung vô liên thân trong chu kỳ thiết kế tạo ra các lỗ giảm tải trọng hoặc các loại bỏ phần trọng lượng không ảnh hưởng kết cấu của khung xe trong khi vẫn đảm bảo được tuổi thọ. Một nghiên cứu xác định vị trí các lỗ giảm tải trên khung xe tải nhằm giúp giảm trọng lượng của xe trong khi vẫn bảo toàn tính năng độ bền khung được đề xuất trong [2]. Vấn đề này đã được các kỹ sư nhà sản xuất ô tô Fiat Chrysler nghiên cứu từ rất sớm trên xe bán tải trình bày khái quát [3]. FCA đang nghiên cứu về các lỗ giảm khối lượng trên các thành phần kết cấu của khung xe để giảm tự trọng cho khung xe từ 3% đến 5% theo kết quả nghiên cứu mô phỏng ảo. Kích thước, hình dạng và vị trí các lỗ này có thể rất đa dạng và có thể áp dụng cho bất kỳ bộ phận nào của xe mà không làm giảm hiệu suất, tính năng, độ cứng và độ bền của toàn bộ xe.

Việc nghiên cứu tìm các vật liệu mới nhằm giảm tự trọng của ô tô thì các kỹ sư ngành công nghiệp ô tô phải khám phá các giải pháp thay thế hiệu quả về chi phí và phát triển ô tô. Bài báo trình bày nghiên cứu đề xuất phương án giảm khối lượng bản thân khung xe tải nặng bằng cách tạo ra các lỗ trên các dầm ngang của khung xe tải nặng.

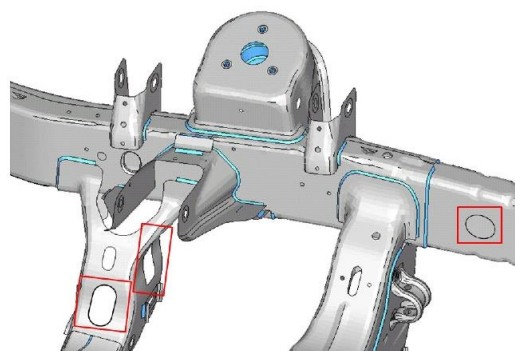
2. Phương pháp nghiên cứu

Để đảm bảo độ bền của khung xe tải thông thường chúng được thiết kế thừa bền dẫn đến tự trọng lớn, cồng kềnh,... Giảm khối lượng bản thân khung xe hiện đang là xu hướng được lựa chọn cho tính toán tối ưu kết cấu của khung xe. Quá trình thực hiện tối ưu thường tập trung vào các yếu tố làm giảm tự trọng đảm bảo chính hệ thống khung và tăng khả năng chịu tải của chúng theo các hướng nghiên cứu sau:

- Thay đổi vật liệu chế tạo khung;
- Thực hiện khoan các lỗ giảm tải các khối lượng không cần thiết trên khung, giảm ứng suất gây ra lên các vùng nguy hiểm mà không ảnh hưởng đến độ bền;
- Thay đổi chiều dày của dầm chính mà không làm giảm section modulus nhằm không thay đổi cấu trúc hoàn toàn hay giảm khả năng chịu tải của khung.

Trong nghiên cứu này tập trung vào việc thực hiện nghiên cứu và đề xuất tạo các lỗ giảm khối lượng (lightening holes) trên các dầm của hệ khung. Lỗ giảm khối lượng được xem là một phần cấu trúc được sử dụng trong thiết kế cơ khí để làm cho cấu trúc nhẹ hơn.

Các lỗ này thường có dạng hình tròn hoặc elip được cắt tại các vùng an toàn, không sinh ra ứng suất hay biến dạng trong quá trình hoạt động. Vị trí và kích thước lỗ phụ thuộc vào kết cấu, vật liệu, các mối lắp ghép với các bộ phận hay chi tiết khác như Hình 1. Trong thực tế, các thanh dầm ngang thường được khoét lỗ với số lượng và kích thước vị trí phải tùy theo kết quả khảo sát sơ bộ ứng suất sinh ra ở một số trạng thái nguy hiểm của toàn bộ khung xe.



Nguồn: Fiat Chrysler Automobiles

Hình 1. Các lỗ giảm tải trên khung xe
hạng Fiat Chrysler

Trong thực tế, khi di chuyển dưới tải trọng nhất định trên đường có mấp mô các lực tổng hợp có thể làm cho khung bị uốn, xoắn hoặc va đập thì các lỗ này trở thành điểm yếu nhất của khung góp phần nhanh

chóng làm khung nhanh bị phá hủy hơn. Theo khảo sát sơ bộ của nhóm nghiên cứu thì một số mẫu khung xe bán moóc chở container thời gian đầu sản xuất và lắp ráp tại Việt Nam sau một thời gian vận hành ngắn thì xuất hiện các vết nứt khu vực mối hàn giữa các dầm ngang và dầm dọc. Các khung xe sau khi cải tiến theo mẫu bằng cách khoét các lỗ giảm tải ở một số vị trí theo xe mẫu thì hiện tượng nứt khung hầu như không còn nữa. Để xác định được vị trí giảm tải cần phải khảo sát, phân tích phần tử hữu hạn mô hình ở các trường hợp tĩnh và động để xác định vùng ứng suất thấp để đề xuất phương án khoét lỗ.

Các nghiên cứu sâu về phương pháp này hiện nay chưa có nhiều. Tuy nhiên qua các nghiên cứu, việc tạo các lỗ giảm khối lượng phải đảm bảo một số nguyên tắc sau:

- Xác định vùng ứng suất thấp trên kết cấu để đề xuất phương án khoét lỗ nhằm đảm bảo không ảnh hưởng đến chức năng, độ cứng, độ bền của kết cấu;
- Hình dáng các lỗ giảm khối lượng có thể là hình tròn, hình tam giác, hình elip hoặc hình chữ nhật và phải có các cạnh được bo tròn, tuyệt đối không có các góc nhọn;
- Các lỗ phải cách xa khu vực mối hàn ít nhất 20mm để tránh ảnh hưởng đến hiệu suất mối của mỗi hàn.

Sau khi thực hiện tạo ra các lỗ giảm khối lượng, kết cấu khung mới sẽ cần phải được khảo sát, phân tích của mối hàn và kim loại góc trong điều kiện vật liệu và tải ban đầu. Dựa vào các kết quả khảo sát, cần lặp lại để khắc phục các vấn đề phát sinh cũng như tìm các vị trí lỗ sáng mới và đạt được thiết kế được tối ưu hóa cho hiệu suất và trọng lượng.

Ưu điểm lớn nhất của phương pháp lỗ giảm khối lượng không có nhiều hạn chế, đặc tính mặt cắt trên các mối hàn vẫn giữ nguyên và nếu các lỗ này được đặt một cách hợp lý tại các khu vực không quan trọng, thì hiệu suất độ bền của khung có thể vẫn đảm bảo.

Để thực hiện quy trình khảo sát và khoét lỗ giảm khối lượng trên khung xe, nghiên cứu sử dụng công cụ hỗ trợ máy tính (CAE) để khảo sát độ bền khung xe trước và sau khi thực hiện khoét lỗ nhằm giúp việc tiết kiệm chi phí và thời gian nghiên cứu, cụ thể là sử dụng phương pháp phân tích phần tử hữu hạn (FEA) để khảo sát. Đối tượng nghiên cứu trong bài báo này sử dụng khung xe bán moóc sản xuất trong nước.

Các phương án khoét lỗ cụ thể phụ thuộc vào kết quả khảo sát độ bền mẫu xe tham khảo nguyên bản và được dùng trong mô phỏng được thực hiện trong các phần tiếp theo của bài báo. Có hai phương án khoét lỗ giảm khối lượng được đề xuất trong nghiên cứu này.

Phương án đầu tiên là khoan hai lỗ trên bốn dầm ngang chính của khung xe hiện có. Phương án thứ hai là cắt ba lỗ ở bốn dầm ngang chính như trong tùy chọn đầu tiên. Chi tiết số lượng, hình dáng, kích thước các lỗ cho các phương án đề xuất khoét lỗ được mô tả chi tiết theo Bảng 1.

Bảng 1. Các phương án tạo lỗ giảm khối lượng

Phương án khảo sát	Chi tiết
Khung xe hiện tại	Dầm ngang dạng tám không cắt lỗ
Khoan cắt 2 lỗ trên 4 dầm ngang chính (PA1)	8 x ϕ 200 mm
Khoan cắt 3 lỗ trên 4 dầm ngang chính (PA2)	12 x ϕ 200 mm

Các sửa đổi về hình dạng dầm ngang của khung xe nguyên bản được thể hiện trong mô hình theo các Hình 4 và 5 cho hai phương án khoét lỗ giảm khối lượng trong nghiên cứu này.

3. Mô hình



Hình 2. Xe bán moóc chở container 40 feet, 2 trục
Bảng 2. Các thông số cơ bản khung SMRM 40 feet, 2 trục

Tham số	Giá trị	Đơn vị
Kích thước bao (DxRxC)	12.500x2.480x1.520	mm
Kích thước dầm dọc I	500x140x6x16	mm
Kích thước dầm ngang đầu U	270x170x6	mm
Kích thước dầm ngang kép	410x160x6	mm
Kích thước dầm ngang cuối	170x270x6	mm
Khoảng cách trục	9.000+1310	mm
Trọng lượng bản thân	4800	kg
Trọng tải	27.200	kg
Trọng lượng toàn bộ	32.000	kg

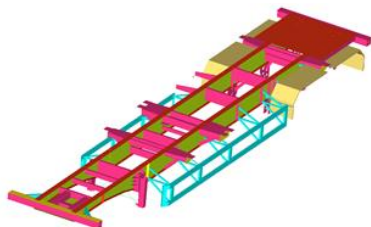
Bài báo sử dụng kết cấu khung xe bán moóc chở container 40 feet, 2 trục được sản xuất tại Việt Nam như Hình 1 để mô phỏng và khảo sát. Khung xe bao

gồm 02 dầm dọc chịu lực chính và được liên kết với nhau bằng các dầm ngang. Đặc điểm khung này là các dầm ngang là thép dạng tấm ghép lại với nhau thông qua các mối hàn.

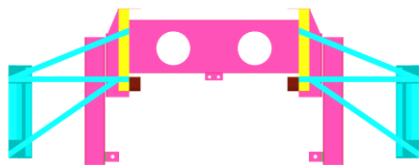
Mô hình khung xe ban đầu được dựng thành mô hình CAD chính xác thông qua tài liệu kỹ thuật và đo đạc được trực tiếp trên khung xe thật. Thông số kỹ thuật cơ bản của khung được trình bày chi tiết trong Bảng 2.

Sau đó, thực hiện chia lưới và thực hiện phân tích phần tử hữu hạn trong môi trường Hyperworks, nhằm phục vụ cho quá trình mô phỏng, mô hình đã được đơn giản hóa mô hình tính toán các cấu trúc hình học không ảnh hưởng tới giá trị ứng suất như các lỗ, loại bỏ các đỉnh tán. Coi như các thanh dầm dọc và dầm ngang liên kết tuyệt đối cứng qua các mối hàn. Các mối hàn được mô tả thông qua các phần tử chuyên dụng trong phần mềm để mô phỏng mối hàn. Các giá trị tải trọng là giá trị tải trọng định mức theo thông số kỹ thuật. Mô hình được xây dựng nhằm nghiên cứu khảo sát về độ bền khung, một số chi tiết phụ gắn lên khung nhưng không đóng góp vào độ cứng của khung khi chịu tải được giản lược. Phương thức xây dựng mô hình và trình tự thực hiện phân tích phần tử hữu hạn khung xe được mô tả chi tiết trong nghiên cứu [4] nhóm cùng tác giả.

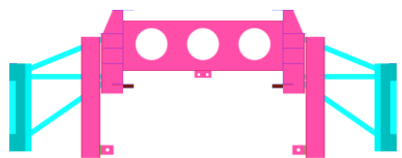
Mô hình chia lưới toàn bộ khung xe nguyên bản được thể hiện qua Hình 3.



Hình 3. Xe bán moóc chở container 40 feet, 2 trục



Hình 4. Dầm ngang khung SMRM được cắt 2 lỗ

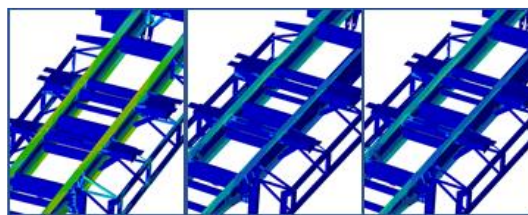


Hình 5. Dầm ngang khung SMRM được cắt 3 lỗ

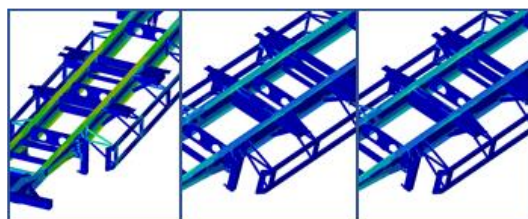
Từ mô hình khung xe nguyên mẫu, 2 phương án khoét lỗ giảm khối lượng được đề xuất và thể hiện qua Hình 4 và 5.

4. Kết quả

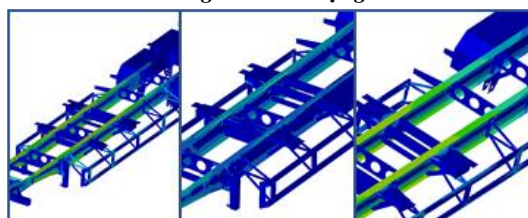
Các chế độ khảo sát đánh giá độ bền thông qua ứng suất, độ võng của kết cấu khung được thực hiện ở một số trạng thái đặc trưng như sau: 1) xe đầy tải đứng yên trên mặt đường phẳng; 2) xe đầy tải và khung xe bị xoắn khi bánh xe một bên cầu sau xe trên mấp mô cao 20cm; 3) xe đầy tải và khung xe chịu uốn khi toàn bộ bánh xe cầu sau xe trên mấp mô cao 20cm.



Hình 6. Ứng suất phân bố trên các dầm ngang trên khung xe nguyên bản



Hình 7. Ứng suất phân bố trên các dầm ngang với 2 lỗ giảm khối lượng



Hình 8. Ứng suất phân bố trên các dầm ngang

Trong phạm vi nghiên cứu, bài báo trình bày một số kết quả mô phỏng phân bố ứng suất tương đương (von Mises) và độ võng khung xe theo phương thẳng đứng. Kết quả khảo sát kết cấu khung xe nguyên mẫu cho thấy ứng suất và chuyển vị lớn nhất tập trung ở phần giữa hai dầm chính của khung, trong khi các dầm ngang nằm trong vùng ứng suất rất thấp.

Theo Hình 6, kết quả khảo sát khung xe theo 3 chế độ khảo sát lần lượt được trình bày từ trái sang phải, cho thấy ứng suất phân bố trên các dầm ngang của khung xe trong các trường hợp khảo sát đều nằm trong vùng ứng suất gần như bằng không. Đây là cơ sở để đề xuất phương án khoét lỗ nhằm đảm bảo không ảnh

hường đến chức năng, độ cứng, độ bền của kết cấu.

Kết quả phân bố ứng suất và chuyển vị theo phương thẳng đứng trên các thanh dầm ngang theo các phương án đề xuất cắt lỗ giảm khối lượng được thể hiện qua Hình 7 và Hình 8.

Qua các kết quả, các dầm ngang khi bị khoét lỗ hầu như cũng không chịu ứng suất hoặc rất thấp khi khung chịu xoắn và chịu uốn. Ngoài ứng suất, kết quả chuyển vị cho thấy ở trạng thái đầy tải trên đường bằng thì chuyển vị khi các dầm ngang bị khoét lỗ nhỏ hơn đối với khung xe nguyên bản cho thấy độ cứng của hệ khung xe tăng hơn sau khi khoét lỗ. Tại vùng tiếp giáp, xung quanh mỗi hàn, giữa dầm chính và dầm ngang cho thấy phân bố ứng suất có giá trị ứng suất trong các trường hợp khảo sát 1, 2 và 3 lần lượt nằm trong khoảng 19,4÷96,7 MPa, 67,2÷336,3 MPa và 36÷180 MPa với dao động rất ít. Như vậy, việc tạo các lỗ giảm khối lượng trên các dầm ngang khung xe tải không ảnh hưởng đến tính năng và độ bền của kết cấu khung nguyên bản.

Kết quả nghiên cứu việc tạo các lỗ giảm khối lượng giúp giảm tự trọng của xe được thể hiện chi tiết trong Bảng 3. Việc thực hiện tạo các lỗ giảm tải ở các dầm ngang trên khung xe tải nặng thì cơ bản không ảnh hưởng đến khả năng làm việc và độ bền cũng như độ cứng vững của khung xe và giúp giảm được tự trọng của xe nhằm hướng đến mục tiêu giảm tự trọng khung xe và giúp giảm khí thải gây hiệu ứng nhà kính.

Bảng 3. Kết quả giảm khối lượng khung xe với các phương án cải tiến

Khung xe	Khối lượng toàn bộ khung	
	(kg)	Khối lượng giảm (%)
Xe nguyên bản	3.280	-
Phương án cải tiến 1	3.245	1,75
Phương án cải tiến 2	3.227	2,65

5. Kết luận

Nội dung nghiên cứu đề xuất có hiệu quả phương án cải tiến giúp giảm tự trọng của khung xe mang tính khả thi có thể ứng dụng vào quy trình thiết kế, sản xuất khung cho xe tải nặng nói chung sản xuất tại Việt Nam mà không thay đổi quá nhiều về mặt kết cấu hiện tại của khung xe. Bài báo tập trung phương pháp cải tiến theo hướng giảm khối lượng bản thân cấu trúc khung xe tải nhờ vào việc tạo ra các lỗ giảm tải trên các dầm ngang.

Với các kỹ thuật CAE thích hợp được trình bày trong bài báo này, cách tiếp cận này có thể dễ dàng

được tích hợp vào các quy trình thiết kế và phân tích trong nghiên cứu và phát triển kết cấu khung xe. Tuy nhiên, để đánh giá một cách chính xác hơn nữa thì cần phải thực nghiệm để kiểm chứng tính đúng đắn của mô hình. Hướng nghiên cứu tiếp theo đối với bài toán tối ưu hóa kết cấu khung xe có thể thực hiện theo hướng đa mục tiêu hoặc sử dụng phương pháp tô pô (topology).

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Lin, B., bhat, R., Zhang, S., Sykes-Green, T. et al., *A New Weight Reduction Lightening Holes Development Approach Based on Frame Durability Fatigue Performance*, SAE Technical Paper 2017-01-1348, 2017.
<https://doi.org/10.4271/2017-01-1348>.

[2] Bhat, R., Sharma, N., Rivard, C., and Thomson, K., *Simplified Approach for Optimizing Lightening Holes in Truck Frames for Durability Performance*," SAE Technical Paper 2017-01-1345, 2017.
<https://doi.org/10.4271/2017-01-1345>.

[3] Website, <https://fsmdirect.com/tools/automotive/450-lighten-up>.

[4] Trương Đặng Việt Thắng, Nguyễn Trọng Hoan, *Xây dựng mô hình nghiên cứu độ bền khung sơ mi rô moóc sử dụng Hyperworks*, Tuyển tập công trình khoa học Hội nghị Cơ học toàn quốc lần thứ X, 2017.

Ngày nhận bài:	30/6/2021
Ngày nhận bản sửa:	10/8/2021
Ngày duyệt đăng:	15/8/2021