

SỰ VA CHẠM VÀ HẤP THU ĐỘNG NĂNG CỦA PHẦN TRƯỚC KHUNG XƯƠNG Ô TÔ KHÁCH TRƯỚC ĐỘNG LỰC HỌC VÀ ĐẬP

CRASH BEHAVIOR AND ENERGY ABSORPTION OF BUS'S FRONT STRUCTURE UNDER DYNAMIC IMPACT

Nguyễn Văn Sỹ¹, Nguyễn Thành Tâm¹, Trần Thăng Long²
¹ Trường Đại học Công nghiệp TP.HCM, Việt Nam
² Trường Đại học Trần Đại Nghĩa, Việt Nam

Ngày toà soạn nhận bài 20/12/2016, ngày phản biện đánh giá 30/12/2016, ngày chấp nhận đăng 27/2/2017

TÓM TẮT

Bài báo này trình bày mô phỏng phần tử hữu hạn liên quan đến hấp thu động năng và va chạm của phần trước khung xương ô tô khách. Khung trước được gia cố từ những thanh có tiết diện khác nhau để cải tiến lực đỉnh và sự hấp thu động năng. Trong nghiên cứu, phần mềm LS-DYNA được dùng để xác định tiết diện mặt cắt ngang như mong muốn cho việc thiết kế khung trước ô tô. Lực đỉnh và động năng hấp thu là hai yếu tố đánh giá chính cho hiệu quả của cấu trúc trước của ô tô khi va chạm. Kết quả cho thấy rằng việc sử dụng ống nhôm hình nón đa ống có thể làm giảm lực đỉnh đến 50%, trong khi tổng động năng hấp thu cũng tăng cao, do đó khả năng chịu đựng cú va chạm của khung trước ô tô khách được cải tiến một cách đáng kể.

Từ khóa: va chạm trực diện; khả năng va chạm; lực đỉnh; hấp thu động năng; cấu trúc ô tô khách; ống nhôm hình nón.

ABSTRACT

This paper presents finite element simulations for the crash behavior and the energy absorption of frontal structure of bus. The frontal structure is reinforced with variable tubular cross-sections to improve the peak-force and energy absorption. The explicit finite element code LS-DYNA is carried out by simulation to determine the desired cross-sections for the design of bus's front structure. The peak-force and the energy absorption responses during the head-on impact are the two main measurements of the frontal structure's performance. The research result shows that the use of multi-conic-aluminum tubes can reduce 50 % of the peak-force while the total absorbed energy can be greatly increased, so the crashworthiness of the bus's front structure is significantly improved.

Keywords: head-on impact; crashworthiness; peak-force; energy absorption; bus structure; conic aluminum-tube.

1. GIỚI THIỆU

Việc nâng cao tính an toàn ô tô khách đang là một vai trò quan trọng cho những nhà sản xuất ô tô. Mức độ giảm chấn thương cho người ngồi trên xe trong quá trình va chạm ngày càng chú trọng. Vì thế đã thúc đẩy các nhà sản xuất ô tô cần phải cải tiến tính va chạm của xe, đặc biệt trong lĩnh vực ô tô khách. Để đảm bảo sự toàn vẹn không gian an toàn và khả năng hấp thu động năng lớn

nhất, cần nghiên cứu sự va chạm của phần trước khung xương ô tô.

Sự biến dạng khung trước ô tô khách khi xảy ra va chạm trực diện phụ thuộc vào hành vi phá hủy của khung xương đầu xe và sát-xi phía trước. Điều này ảnh hưởng đến chấn thương cho người ngồi trong xe. Do đó sát-xi phía trước cần được thiết kế đến mức tối ưu khi tai nạn va chạm trực diện của ô tô xảy ra.

Có hai vấn đề chính cho việc tối ưu khung xương ô tô đáp ứng va chạm: một là thay vật liệu thép truyền thống bằng những vật liệu có cơ tính phù hợp và hai là thiết kế tối ưu kích thước mặt cắt của sít-xi. Việc phân tích tính toán sít-xi đã được thực hiện nhiều trong những năm gần đây, trong đó phần lớn chúng được nghiên cứu trên xe ô tô con. Xiong Zhang đã nghiên cứu ảnh hưởng của tiết diện sít-xi khác nhau cho quá trình va chạm [1]. Họ cho thấy rằng việc gia cố thêm cấu trúc ống đa lỗ làm tăng khả năng hấp thụ động năng. Nguyễn Văn Sỹ và Ahmed Elmarakbi cũng đã nghiên cứu thiết kế tối ưu sít-xi hình chữ S trên xe 7 chỗ ngồi, kết quả việc gia cố lực trên thanh dọc hình chữ S là điều cần thiết cho việc giảm chấn thương trong tai nạn va chạm trực diện [2-3]. Mới đây nhất, tác giả Hang Feng Yin đã nghiên cứu ứng dụng ống nhôm hình nón điền vật liệu nhôm có mật độ khác nhau dọc theo chiều dài ống [4]. Kết quả cho thấy rằng việc dùng ống hình nón có thể tránh được biến dạng cục bộ và tăng khả năng hấp thụ động năng cho xe ô tô. Hiện tại trong nước chúng ta việc nghiên cứu tính toán an toàn cho khung xe khách chưa được thực hiện nhiều. Tác giả Nguyễn Thành Tâm nghiên cứu tính toán tối ưu hóa kết cấu khung xương và sít-xi ô tô khách thái bền tĩnh [5].

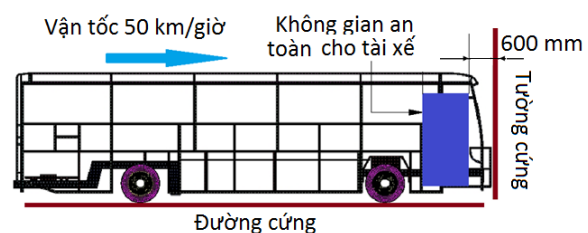
Trọng tâm của bài báo này là nghiên cứu hành vi va chạm trực diện, đặc tính hấp thụ động năng của sít-xi phía trước ô tô khách. Ngoài ra, bộ phận hấp thụ động năng được thiết kế từ những ống nhôm hình nón đa ống cũng được khảo sát. Phương pháp phân tích phần tử hữu hạn trên phần mềm LS-DYNA được thực hiện cho cả khung xe. Lực đỉnh và sự hấp thụ động năng là hai yếu tố được xem như hai chỉ tiêu cho sự thiết kế tối ưu.

2. MÔ TẢ MÔ HÌNH PHẦN TỬ HỮU HẠN

2.1 Mô hình phần tử hữu hạn khung xe

Mục tiêu của tiêu chuẩn an toàn châu Âu (ECE R94)[6] là đảm bảo không gian an toàn cho tài xế không bị xâm phạm vào khi xảy ra va chạm trực diện. Điều này có nghĩa là không có bộ phận nào của xe ở bên ngoài xen vào không gian tài xế và ngược lại. Khoảng

không gian đó được quy định từ ghế ngồi của tài xế tính về phía trước đầu xe là 600mm. Mô phỏng va chạm trực diện bằng cách cho mô hình xe chạy với vận tốc 50 km/giờ trên nền đường cứng và tông trực diện vào bức tường cứng hoàn toàn như hình 1. Để giảm thời gian tính toán khi phân tích, khoảng cách từ bức tường đến đầu xe là 10mm. Mô hình của xe khách được xây dựng dựa trên mô hình xe khách 2D do công ty Hyundai Tracomeco sản xuất thực hiện, có khối lượng là 13.250 kg, chiều dài của xe là 12m.



Hình 1. Mô hình phân tử hữu hạn của kết cấu xe khách va chạm trực diện

Dựa vào bản vẽ Cad 2D của mô hình xe khách, xây dựng mô hình xe khách 3D trên phần mềm Inventor. Phần mềm HYPERWORKS trong môi trường LS-DYNA được sử dụng xây dựng mô hình phần tử hữu hạn phân tích ô tô khách. Để cho kết quả tính toán có độ tin cậy và thời gian mô phỏng ngắn, khung xương ô tô khách được chia lưới dạng vuông có kích cỡ 20mm. Sau khi chia lưới, kiểm tra chỉnh sửa chất lượng lưới nhằm tăng độ chính xác trong quá trình mô phỏng và giảm thiểu mất mát động năng. Các thanh khung xương được liên kết với nhau bằng cùng tiếp điểm, nếu không liên kết được cùng tiếp điểm thì tiến hành hàn kết cấu. Sít-xi với cầu xe được liên kết bằng phương thức liên kết cố định điểm trên điểm lưới. Các bộ phận có khối lượng như hành khách, ghế ngồi, hành lý, thùng nhiên liệu, ắc quy, hệ thống điều hòa không khí, cửa kính, động cơ... được gán khối lượng cho mô hình. Tiếp đến, chọn vật liệu, thiết lập thuộc tính và gán điều kiện biên cho mô hình. Kết cấu khung xương sử dụng thép Q235, sít-xi sử dụng thép Q345, thuộc tính vật liệu như Bảng 1.

Mặt đất đặt xe và bức tường va chạm được sử dụng vật liệu cứng để mô phỏng. Tiếp xúc giữa các kết cấu trong xe sử dụng tiếp xúc đơn bề mặt; tiếp xúc giữa khung xương ô tô với mặt đường và tường cứng sử dụng tiếp xúc bề mặt với bề mặt để thiết lập, hệ số ma sát là 0,5. Gia tốc trọng trường $g = 9,81\text{m/s}^2$, vận tốc mô phỏng va chạm là 50km/h. Mô hình phần tử hữu hạn sau khi xây dựng như ở hình 1.

2.2 Đặc tính vật liệu

Trong nghiên cứu này chúng tôi dùng hai loại vật liệu thép và nhôm có cơ tính vật liệu khác nhau. Vật liệu thép có khối lượng riêng, mô đun đàn hồi, hệ số Poisson và ứng suất giới hạn ảnh hưởng của đặc tính biến dạng được trình bày như trong bảng 1.

Bảng 1. Đặc tính vật liệu

Vật liệu	Mô đun đàn hồi (GPa)	Hệ số poisson	Khối lượng riêng (kg/mm^3)	Ứng suất giới hạn (GPa)
Thép Q235	210	0,3	$7,85 \cdot 10^{-6}$	0.235
Thép Q345	210	0,3	$7,85 \cdot 10^{-6}$	0.386
Nhôm	68.2	0.3	$2,7 \cdot 10^{-6}$	0.08

2.3 Chỉ tiêu đánh giá

Trong va chạm ô tô, yếu tố ảnh hưởng đến chấn thương người ngồi trong xe là lực chấn động hay còn gọi là lực đỉnh và khả năng biến dạng khung xe. Dựa trên hai yếu tố này, để phân tích tính va chạm của ô tô nhiều nhà thiết kế ô tô đưa ra hai chỉ tiêu quan trọng trong nghiên cứu va chạm: lực đỉnh và khả năng hấp thu động năng [7]. Lực đỉnh là lực tương tác lớn nhất giữa xe và vật cản trong quá trình va chạm. Động năng hấp thu là mối liên hệ giữa lực tương tác trong suốt quá trình va chạm với độ biến dạng của cấu trúc theo thời gian.

Động năng hấp thu có thể được tính theo công thức:

$$EA(d) = \int_0^d P \cdot \delta d$$

Trong đó:

P là lực tương tác (N)

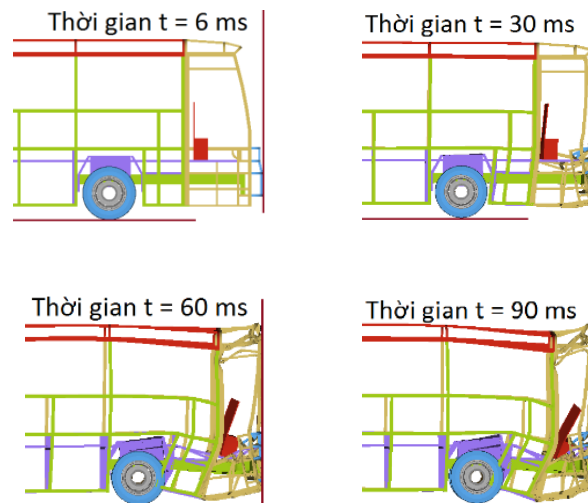
d là độ biến dạng theo chiều dọc của khung (m)

EA là động năng được hấp thu của cấu trúc (J)

3. CÁC KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

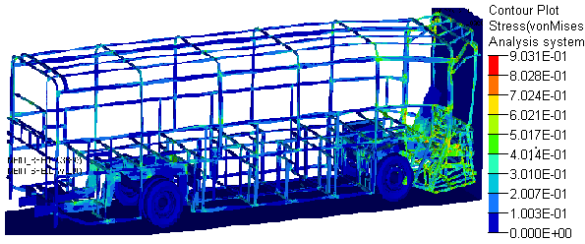
3.1 Khảo sát khả năng va chạm của phần trước khung xương ô tô khách khi xảy ra va chạm trực diện

Sự biến dạng và phá hủy khung xe được làm từ vật liệu thép do nhà sản xuất đưa ra và được phân tích. Hình 2 cho thấy trình tự biến dạng khung xương xe theo thời gian, độ biến dạng lớn nhất tại phần trước khung xương 887 mm tại thời điểm 90 mili giây sau thời gian bắt đầu va chạm.

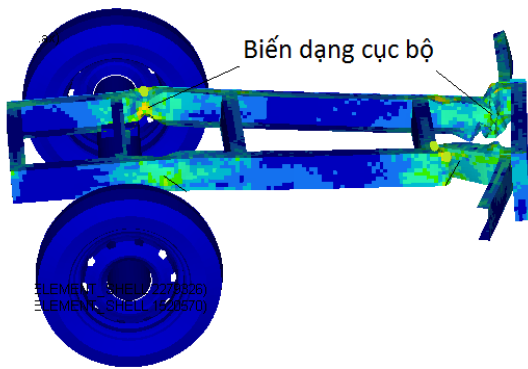


Hình 2. Trình tự biến dạng khung xe

Hình 3 và hình 4 cho thấy khi va chạm xảy ra, sự phân tán ứng suất trên toàn bộ khung xương xe. Tuy nhiên phần lớn ứng suất tập trung tại phần trước khung xương xe. Điều đáng lưu ý là ứng suất lớn gấp đôi so với ứng suất giới hạn của vật liệu. Hiện tượng biến dạng dẻo cục bộ xuất hiện tại một số điểm trên khung xương đầu xe và trên sát-xi. Qua phân tích trên chúng ta thấy độ cứng phần trước khung xương xe không đáp ứng lực tác động khi va chạm trực diện xảy ra.



Hình 3. Mô hình phân bố ứng suất trên khung xương xe khi va chạm xảy ra

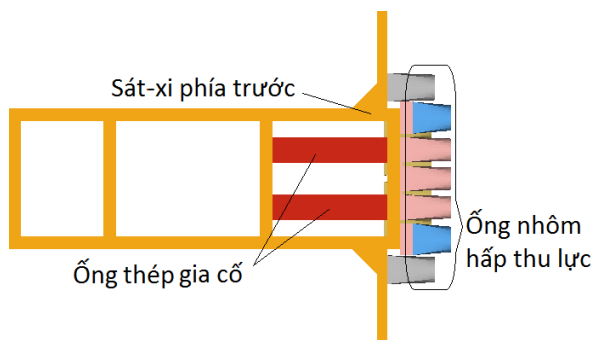


Hình 4. Mô hình biến dạng cục bộ trên sắt-xi khi va chạm

3.2 Ảnh hưởng của việc gia cố lực

a. Gia cố lần 1

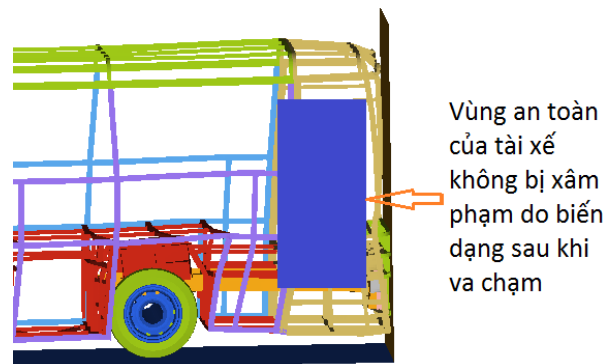
Trong phần này, ảnh hưởng của việc tăng bề dày của sắt-xi từ 6mm lên 8mm, tăng thêm hai ống thép vuông có kích thước vuông 160x160x720mm, dày 5mm và ống nhôm hình nón hấp thu lực có kích thước 400x160x140 mm, dày 5mm như hình 5.



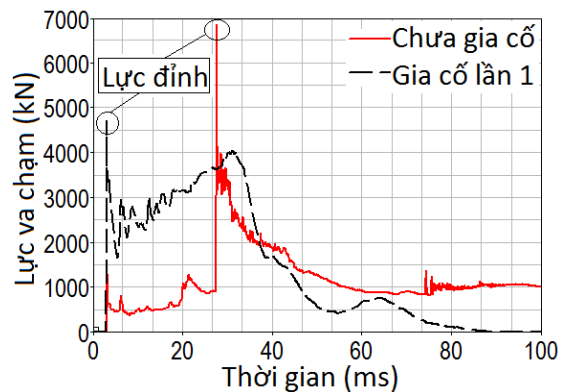
Hình 5. Mô hình gia cố phần trước khung xương

Sau khi cải tiến mô hình phần trước khung xương tiến hành mô phỏng kiểm nghiệm. Kết quả mô phỏng cho thấy, không

gian an toàn của tài xế được đảm bảo, hình 6. Lực va đập đỉnh giảm được 32% so với chưa cải tiến. Động năng được hấp thu hoàn toàn, điều này được thể hiện rõ như trên hình 7, sau thời gian va chạm 80 ms trên đồ thị **chưa gia cố**, lực va chạm vẫn còn ở mức 1000 kN nhưng trên đồ thị **gia cố lần 1** lực va chạm tiến về mức 0 kN. Qua phân tích trên chúng ta thấy vùng an toàn của tài xế, lực đỉnh và khả năng hấp thu động năng được cải tiến đáng kể, tuy nhiên lực đỉnh vẫn còn khá lớn với mức 4715 kN.



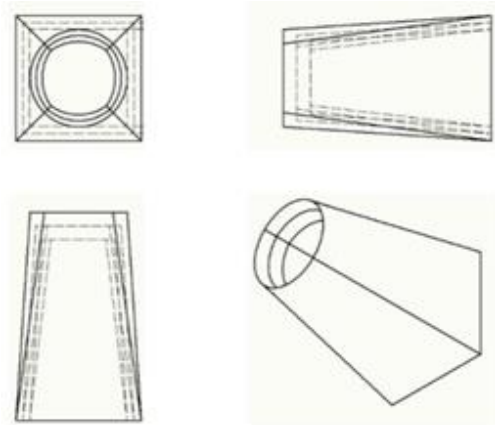
Hình 6. Sự biến dạng phần trước khung xương xe khi gia cố lần 1



Hình 7. Đồ thị lực va chạm khi gia cố lần 1

b. Gia cố lần 2

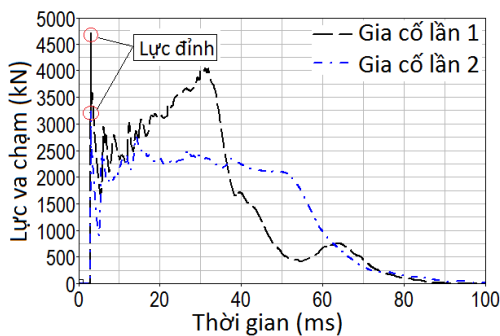
Dựa vào phương án cải tiến lần thứ 1 tiến hành gia cố lần 2, trong phương án gia cố này nhằm giảm tối đa lực đỉnh. Thay ống nhôm hình nón đơn ống như ở **gia cố lần 1** bằng ống nhôm hình nón đa ống. Mỗi ống nhôm đa ống được ghép ba ống nhôm đơn lồng vào nhau, ống nhôm trong ngắn hơn ống nhôm ngoài, như hình 8.



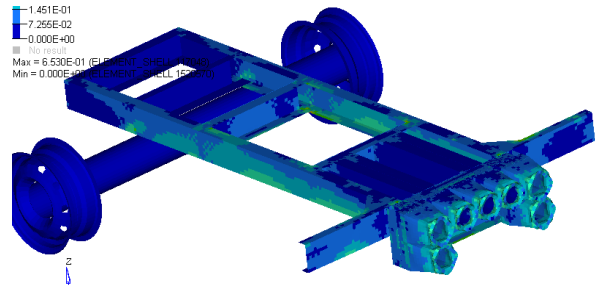
Hình 8. Hình chiếu của ống nhôm hình nón đa ống

Như trên hình 9 và hình 10, kết quả mô phỏng sau khi cải tiến lần 2 được thảo luận rõ qua ba giai đoạn va chạm như sau.

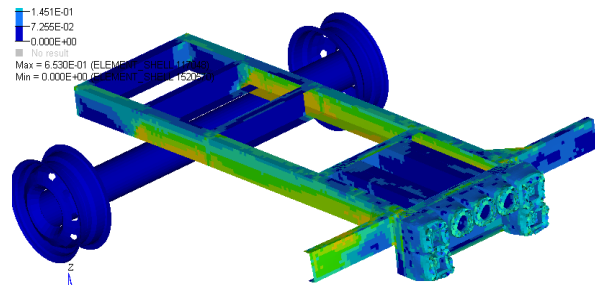
Giai đoạn bắt đầu va chạm (0-10 ms), sự hình thành lực đỉnh xảy ra. Điểm xuất phát biến dạng xảy ra trên tất cả đỉnh các ống nhôm, như hình 10a. Điều này giúp cho lực đỉnh giảm đáng kể, lực đỉnh giảm 50% so với chưa cải tiến; Giai đoạn hấp thu động năng (10-55 ms), kết cấu ống nhôm đa ống biến dạng đồng bộ, hình 9 thể hiện biên độ dao động xung lực trong giai đoạn này gần như bằng không. Hiện tượng biến dạng cục bộ không xảy ra, ứng suất phân tán hầu như trên toàn bộ khung xương, hình 10b -10c; Giai đoạn bắt đầu ngừng va chạm (55- 90 ms), quá trình hấp thu động năng giảm dần. Điều này thể hiện rõ trên hình 9, đường cong lực giảm về không và ứng suất phân bố trên khung xương giảm so với giai đoạn 2, như hình 10d. Kết quả cho thấy động năng của ô tô được hấp thu hoàn toàn thông qua khung xương.



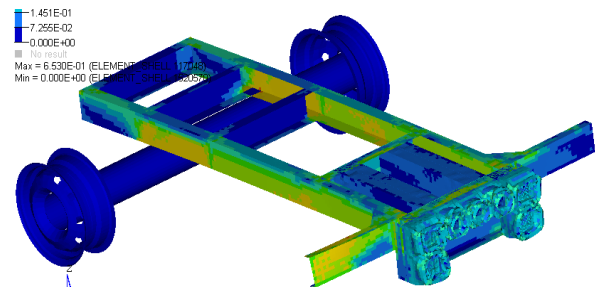
Hình 9. Đồ thị lực va chạm sau khi cải tiến lần 2



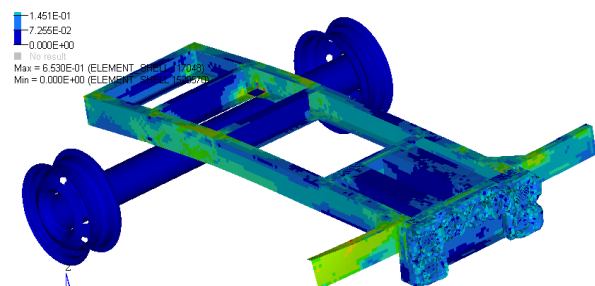
a. Thời điểm va chạm 6 ms



b. Thời điểm va chạm 30 ms



c. Thời điểm va chạm 50 ms



d. Thời điểm va chạm 55 ms

Hình 10. Trình tự biến dạng, sự phân bố ứng suất của sạt-xi và bộ phận hấp thu lực

4. KẾT LUẬN

Trong nghiên cứu này, tác giả trình bày phân tích mô phỏng va chạm trực diện cho toàn bộ khung xương xe khách. Một kết quả khá rõ ràng và mang tính ứng dụng rất cao. Mô hình mô phỏng cho phép xác định giá trị

biến dạng và ứng suất tại các điểm trên khung xương xe ở bất kỳ thời điểm nào trong quá trình va chạm. Kết quả mô phỏng còn biểu diễn được ứng suất trên toàn bộ khung xương xe. Có thể thấy phần sát-xi trước và khung xương đầu xe là những vùng có ứng suất tập trung lớn nhất. Đây là những cơ sở quan trọng để tính toán độ bền, an toàn bị động của khung vỏ xe trong quá trình thiết kế, chế tạo và hoàn thiện kết cấu khung vỏ cũng như đánh giá chính xác các tai nạn thực trên đường.

Ngoài ra, nghiên cứu này còn trình bày kết quả của việc ứng dụng cấu trúc ống nhôm hình nón đa ống trên khung xương đầu xe khách nhằm đáp ứng an toàn hành khách. Kết quả cho thấy ngoài đảm bảo không gian an toàn cho tài xế còn giảm lực đỉnh lên đến 50% so với ban đầu. Đây là một con số khá cao, có thể ứng dụng vào thực tế để thử nghiệm và sản xuất ứng dụng vào nước ta. Đặc biệt tình hình tai nạn giao thông xe khách ở nước ta như hiện nay.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Xiong Zhang, *Theoretical prediction and numerical simulation of multi-cell square thin-walled structures*; Thin-Wall Structures. 4, 1185-1191, 2006
- [2] Ahmed Elmarakbi, *Crash analysis and energy absorption characteristics of S-shaped longitudinal members*; Thin-Wall Structures, 68, 65-74, 2013
- [3] Nguyen-Wall Str *Optimisation design of reinforced S-shaped frame structure under axial dynamic loading*. International Journal Crashworthiness; 19, 385-393, 2014.
- [4] H.F Yin, *Multiobjective crashworthiness optimization design of functionally graded foam-filled tapered tube based on dynamic ensemble metamodel*. Materials design; 55,747-757, 2014.
- [5] Nguy-757, 2014.cra *Thiết kế tiết kế, 2014.crashworthiness optimization design o*, Ttiết kế Khoa hké, 2014.cra Khoa hké, 20, 29-35, 2015.
- [6] ECE R94, *Uniform provisions concerning the approval of vehicles with regard to the protection of the occupants in the event of a frontal collision*. Official Journal of the European Union, 2010.
- [7] HS. Kim, *New extruded multi-cell aluminum profile for maximum crash energy absorption and weight efficiency*. Thin Wall Structures; 40(4), 311-327, 2002.

Tác giả chịu trách nhiệm bài viết:

Nguyễn Văn Sỹ
Trường Đại học Công nghiệp Tp. HCM
Email: synguyen2@gmail.com