

Nghiên cứu tính bền va đập của ống thành mỏng vuông chèn lõi ABS

Study of crashworthiness of thin – walled aluminum square structures reinforced with ABS cores

Nguyễn Ngọc Hoài Ân¹, Lê Văn Cường², Nguyễn Minh Khương³, Trần Quốc Đạt⁴,
Lê Hoàng Minh⁵, Nguyễn Bá Ba⁶

¹ Khoa Kỹ thuật công nghiệp, Trường Trung cấp công nghệ Bến Tre, Vĩnh Long

² Trường Đại học Bình Dương, Tp. Hồ Chí Minh

³ Khoa Cơ khí, Trường Cao đẳng Bách khoa Nam Sài Gòn

⁴ Khoa Cơ điện Ô tô, Trường Cao đẳng Công nghệ Tp. Hồ Chí Minh

⁵ Khoa Cơ khí – Ô tô, Trường Cao đẳng Kinh tế - Kỹ thuật Tp. Hồ Chí Minh

Tác giả liên hệ: Nguyễn Bá Ba. Email: nguyennbaba@hotec.edu.vn

Tóm tắt: Bài báo này nghiên cứu tính bền va đập của cấu trúc ống nhôm thành mỏng được chèn lõi nhựa ABS đa ô. Kết quả phân tích cho thấy rằng khi số lượng ô trong lõi ABS tăng, khả năng chịu lực và hiệu quả hấp thụ năng lượng của cấu trúc cũng được cải thiện đáng kể. Ngoài ra, tất cả các cấu trúc được khảo sát đều thể hiện chế độ biến dạng lũy tiến, trong đó các nếp gấp hình thành tuần tự trong quá trình va chạm. Đáng chú ý, hiện tượng biến dạng cong—một dạng biến dạng không mong muốn đối với các cấu trúc hấp thụ năng lượng—không xuất hiện trong các mẫu nghiên cứu.

Từ khóa: ABS; Hấp thụ năng lượng; Va đập

Abstract: This study investigates the crashworthiness of thin-walled aluminum square structures reinforced with multi-cell acrylonitrile butadiene styrene (ABS) cores. The findings reveal a positive correlation between the number of cells within the ABS core and both the load-bearing capacity and energy absorption efficiency of the composite structure. Furthermore, all tested configurations exhibited a progressive and stable deformation pattern, while undesirable curvature deformation—typically detrimental to the performance of energy-absorbing systems—was notably absent.

Keywords: ABS; Energy absorption; Impact

1. Mở đầu

Cấu trúc được chế tạo từ các ống nhôm thành mỏng, vốn đóng vai trò thiết yếu trong các ứng dụng ô tô nhờ khả năng chống va đập và hấp thụ năng lượng, đã thu hút sự quan tâm đáng kể từ giới nghiên cứu đang tìm cách tối ưu hóa thiết kế các cấu trúc chịu va chạm, do chức năng phân tán năng lượng trong quá trình va chạm của chúng. Khả năng chịu va chạm—được định nghĩa là năng lực của cấu trúc trong việc chống chịu và giảm thiểu năng lượng sinh ra khi xảy ra va chạm—giữ vai trò quan trọng trong thiết kế xe, nhằm đảm bảo an toàn cho hành khách [1-2].

Trong nhiều năm qua, các nghiên cứu thực nghiệm và mô phỏng số đã tập trung khám phá đa dạng hình dạng ống, bao gồm các cấu hình rỗng [3], đa ô [4], ống lồng vào nhau [5], với các mặt cắt ngang hình lục giác [6], hình tròn [7] và hình chữ nhật [8] được nghiên cứu thường xuyên nhất, chủ yếu nhờ vào tính dễ chế tạo, khả năng sản xuất hàng loạt và sự đơn giản trong phân tích, cùng với các nghiên cứu toàn diện về lựa chọn vật liệu.

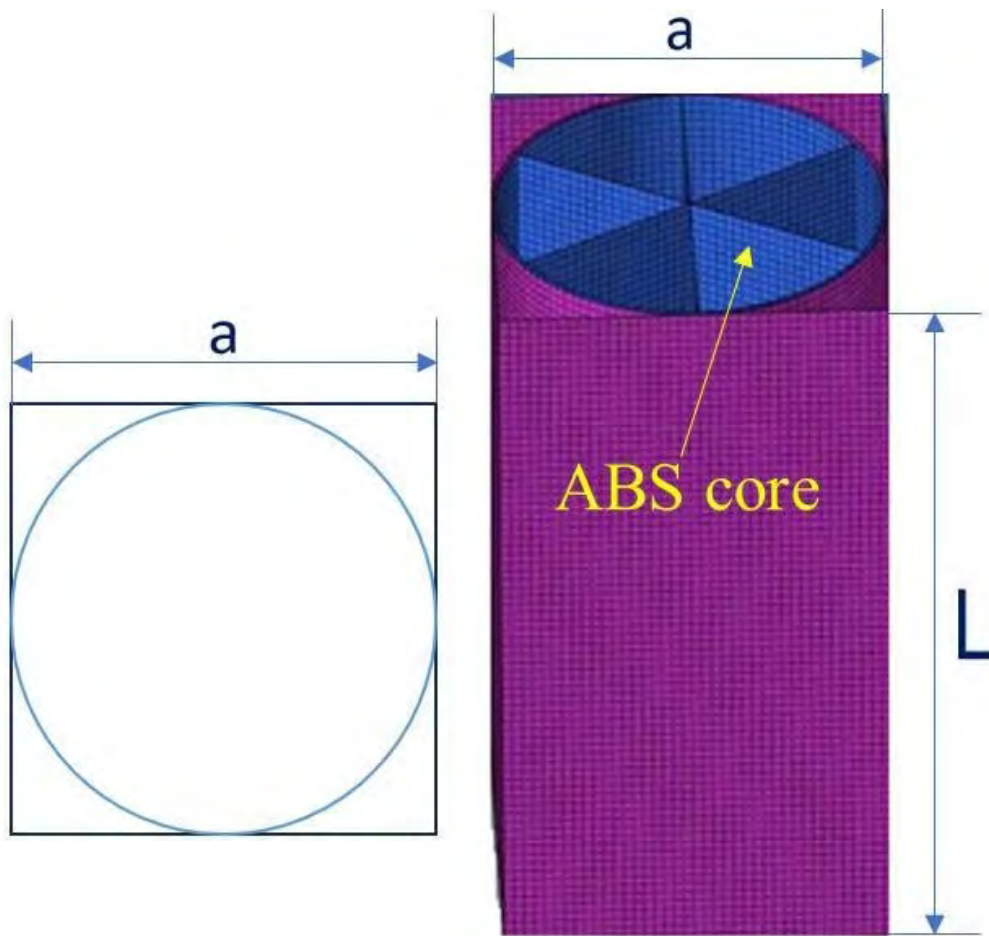
Mặc dù hiện nay đã có nhiều nghiên cứu tập trung vào các cấu trúc chống

va chạm được điền đầy bằng vật liệu bột foam [9], các nghiên cứu liên quan đến cấu trúc sử dụng lõi ABS nhiều ô với tiết diện tròn vẫn còn tương đối hạn chế. Nhằm khắc phục khoảng trống này, nghiên cứu hiện tại tiến hành một khảo sát có hệ thống về ảnh hưởng của sự thay đổi số lượng ô trong lõi ABS đến khả năng hấp thụ năng lượng và độ bền chịu lực của các cấu trúc ống nhôm thành mỏng được chèn lõi ABS.

2. Phương pháp nghiên cứu

2.1. Xây dựng mô hình

Cấu trúc được nghiên cứu bao gồm một ống nhôm thành mỏng kết hợp với lõi nhựa ABS đa tế bào. Ống thành mỏng có tiết diện hình vuông với cạnh dài 80 mm, chiều cao 150 mm và độ dày thành 1,2 mm. Vật liệu chế tạo ống là hợp kim nhôm AA6061-O, với mô đun đàn hồi là 68,2 GPa, mật độ $2,7 \times 10^{-6}$ kg/mm³, hệ số Poisson là 0,3 và giới hạn chảy là 45,27 MPa [10]. Lõi đa tế bào được làm từ nhựa ABS, có mô đun đàn hồi 1,1 GPa, mật độ $1,02 \times 10^{-6}$ kg/mm³, hệ số Poisson 0,33 và ứng suất đàn hồi 40 MPa [11].

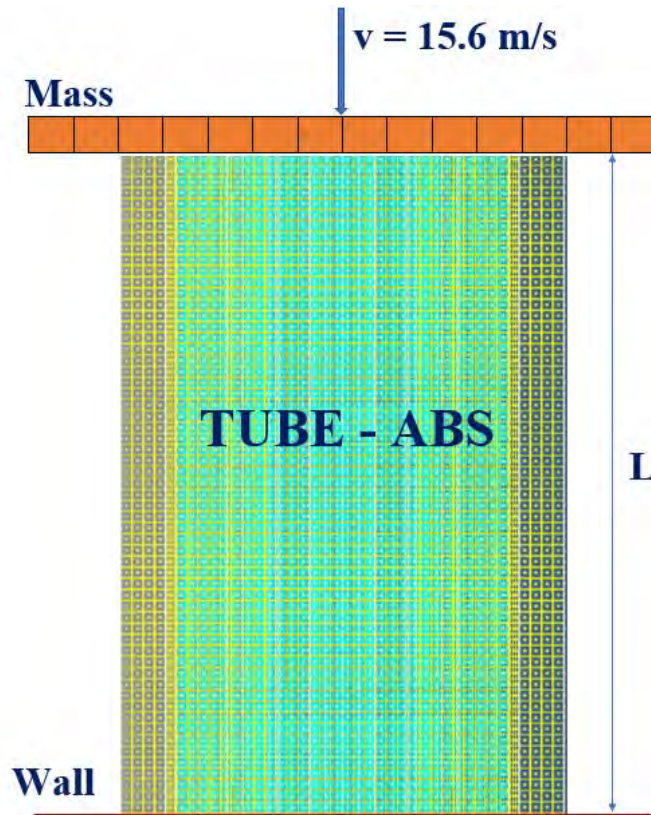


Hình 1. Cấu trúc ống nhôm thành mỏng

Thiết kế lõi ABS được thực hiện dựa trên số lượng ô bên trong, dao động từ 3 đến 5 ô, như minh họa trong Hình 1. Ví dụ, mẫu “E1.2_4” biểu thị cấu trúc có lõi ABS gồm 4 ô, với độ dày thành đồng nhất là 1,2 mm cho cả ống và lõi, và chiều cao tổng thể của cấu trúc là 150 mm. Các thông số chi tiết của ống và lõi ABS được trình bày trong Bảng 1. Để hạn chế nguy cơ nứt vỡ ống trong quá trình va đập, một khe hở 1,4 mm giữa lõi và thành trong của ống đã được bố trí.

Mô hình phần tử hữu hạn (FE) của cấu trúc được mô tả trong Hình 1, trong đó cấu trúc được đặt giữa hai tấm cứng: tấm dưới được cố định, còn tấm trên đóng vai trò là khối lượng va đập với giá trị được chọn là 500 kg. Phần mềm LS-DYNA được sử dụng để xây dựng mô hình phần tử hữu hạn, với tất cả các phần tử trong cấu trúc được chia lưới có kích thước $2 \times 2 \text{ mm}^2$. Trong quá trình mô phỏng, mô hình vật liệu đàn hồi dẻo tuyến tính từng phần (piecewise linear plasticity) được áp

dụng để mô tả hành vi cơ học của vật các tấm cứng. Hệ số ma sát cho tất cả
liệu. Tiếp xúc tự nhiên được xác định các tiếp xúc được đặt là 0,3 và vận tốc
cho các thành phần của ống, trong khi va chạm được thiết lập ở mức 15,6
tiếp xúc bề mặt–bề mặt được sử dụng m/s.
để mô hình hóa tương tác giữa ống và



Hình 2. Kích thước ống nhôm thành mỏng 80x80x150x1.2 mm

Bảng 1. Các thông số của ống nhôm thành mỏng

Cấu trúc	Ống vuông	Lõi ABS		Cao L (mm)
	a x a x t (mm)	Số cell	t (mm)	
E1.2_4		4		
E1.2_5	80 x 80 x 1.2	5	1.2	150
E1.2_6		6		

2.2. Tiêu chuẩn về khả năng chống va chạm

Để đánh giá khả năng chịu va đập của các kết cấu hấp thụ năng lượng, một số chỉ số đặc trưng thường được sử dụng, trong đó bao gồm chỉ số hấp thụ năng lượng (Energy Absorption – EA) và tải trọng va đập cực đại (Peak Crushing Load – PCL) [12].

Chỉ số EA được định nghĩa là tổng năng lượng mà kết cấu hấp thụ trong suốt quá trình va chạm, và được tính theo công thức sau là:

$$EA = \int_0^x F(x) dx \quad (1)$$

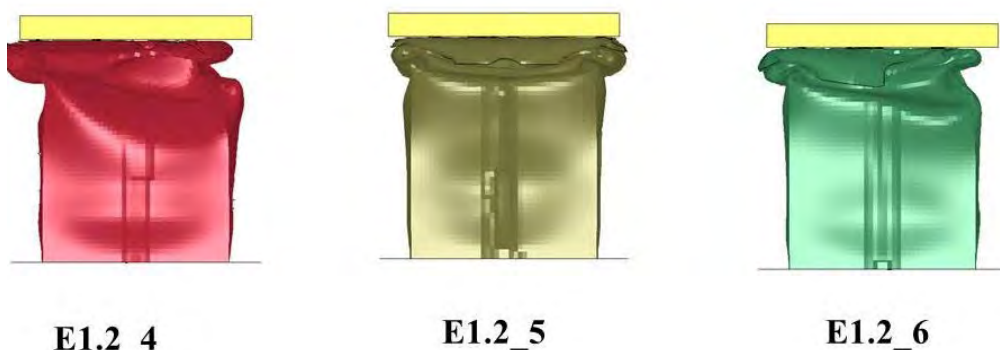
Tải trọng va đập cực đại (PCL) được xác định tại thời điểm đầu của quá trình va chạm, khi lực đạt giá trị lớn nhất. Giá trị PCL càng cao thì nguy cơ gây chấn thương cho hành khách

trong xe càng lớn, do lực tác động tức thời vượt quá ngưỡng an toàn sinh lý của con người.

3. Kết quả mô phỏng

Các mô phỏng số đã được thực hiện đối với cả ba mẫu cấu trúc. Hình 3 minh họa trạng thái biến dạng của các cấu trúc tại thời điểm 3,5 ms, trong đó nếp gấp đầu tiên bắt đầu hình thành ở đầu phía trên của mẫu, cho thấy một phần năng lượng va đập đã bắt đầu được hấp thụ.

Tại thời điểm 4,3 ms, như thể hiện trong Hình 4, các nếp gấp thứ hai bắt đầu hình thành và xếp chồng lên nếp thứ nhất, phản ánh quá trình hấp thụ năng lượng tiếp tục diễn ra một cách ổn định.



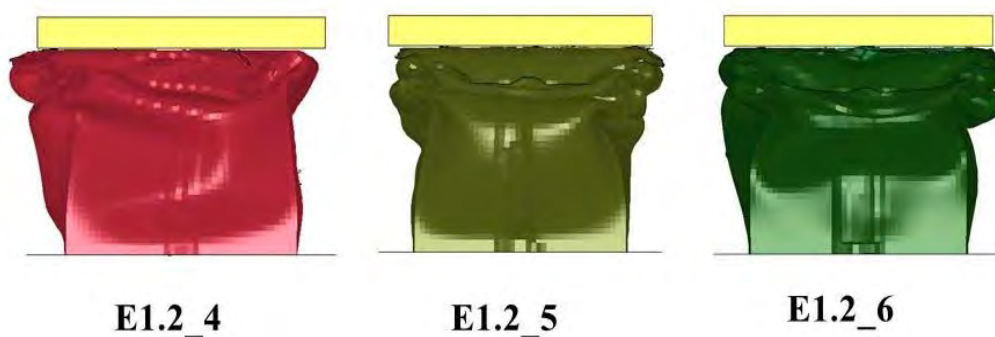
Hình 3. Biến dạng của các cấu trúc tại thời gian 3.5 ms



Hình 4. Biến dạng của các cấu trúc tại thời gian 4.3ms

Giai đoạn biến dạng thứ ba được trình bày trong Hình 5, cho thấy các nếp gấp tiếp tục hình thành và chồng lớp lên nhau, minh chứng cho quá trình hấp thụ năng lượng và đập diễn ra liên tục cho đến khi kết thúc va chạm. Cả ba mẫu đều thể hiện chế độ biến dạng tuần tự trong suốt quá trình va đập—một đặc điểm được đánh giá là tối ưu đối với các cấu trúc hấp thụ năng lượng. Đáng chú ý, các cấu trúc có lõi

ABS gồm 4 và 5 ô cho thấy mức độ biến dạng lớn hơn so với cấu trúc có lõi 6 ô. Điều này có thể được lý giải bởi việc các cấu trúc với lõi ít ô hơn có không gian trống lớn hơn, dẫn đến khả năng biến dạng cao hơn. Tuy nhiên, do lượng vật liệu ABS trong cấu trúc có lõi 6 ô lớn hơn, khả năng hấp thụ năng lượng của mẫu này cũng vượt trội hơn so với các mẫu còn lại.



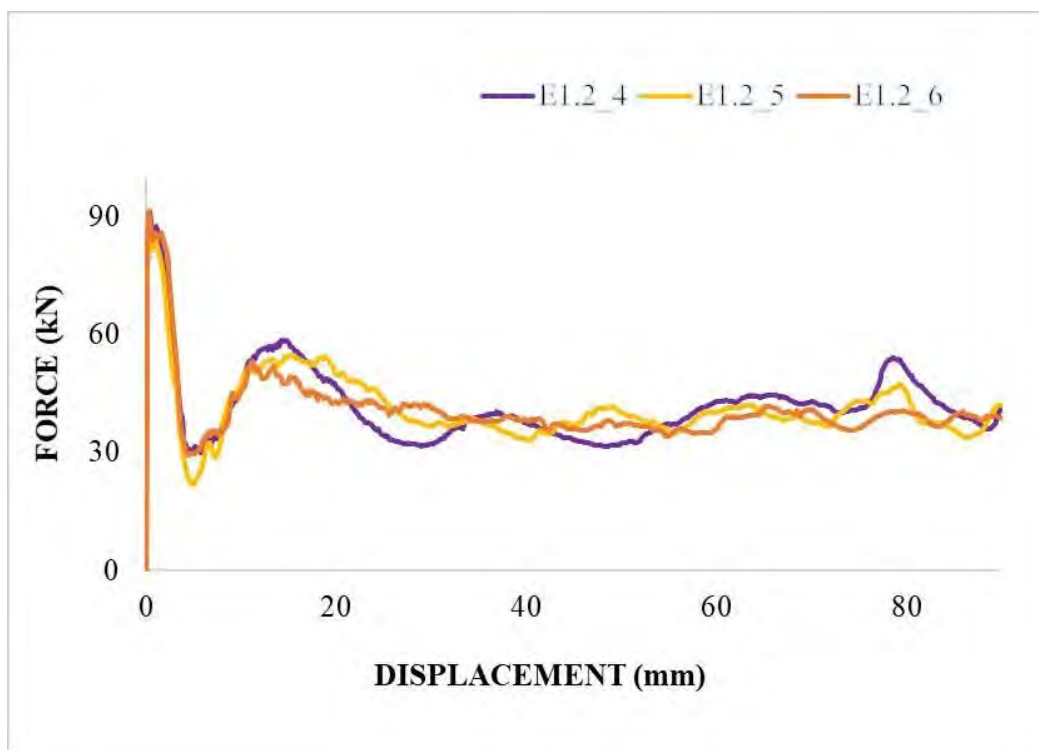
Hình 5. Biến dạng của các cấu trúc tại thời gian 5.37ms

Hình 6 minh họa mối quan hệ giữa lực va đập và độ lún biến dạng. Các đường cong lực–độ lún của ba mẫu đều thể

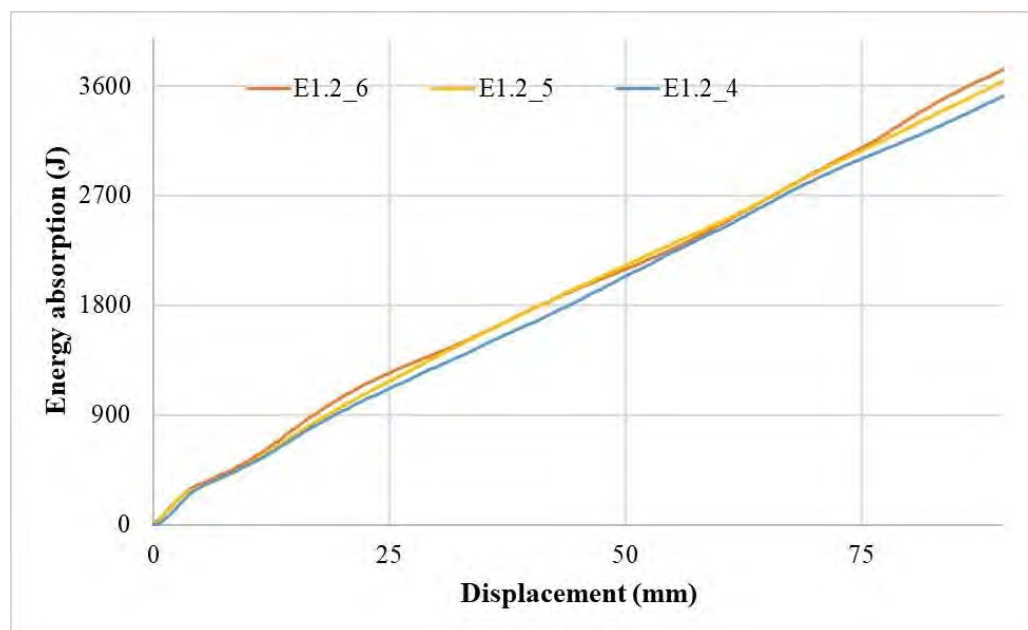
hiện ba giai đoạn đặc trưng: (1) giai đoạn khởi đầu va chạm giữa cấu trúc và khối lượng va đập, (2) giai đoạn

biến dạng ổn định, và (3) giai đoạn nén chặt. Trong giai đoạn đầu, lực va đập tăng nhanh đến giá trị cực đại (PCL), sau đó giảm đột ngột và duy trì ổn định trong giai đoạn thứ hai. Khi cấu trúc bị nén chặt ở giai đoạn cuối, lực va đập lại tăng dần cho đến khi kết thúc quá trình va chạm. Giá trị PCL đo được của các mẫu E1.2_4, E1.2_5 và E1.2_6 lần

lượt là 89,23 kN, 91,17 kN và 93,59 kN. Kết quả này cho thấy PCL của mẫu E1.2_6 cao hơn mẫu E1.2_4 khoảng 4,92%, chứng minh rằng số lượng ô trong lõi ABS có ảnh hưởng đáng kể đến khả năng chống biến dạng của cấu trúc—càng nhiều ô, lực PCL càng lớn.



Hình 6. Đáp ứng lực của các cấu trúc



Hình 7. Hấp thụ năng lượng của các cấu trúc

Hình 7 trình bày các đường cong hấp thụ năng lượng (EA) của ba mẫu tại vận tốc va chạm dọc trục là 15,6 m/s. Các mẫu đều cho thấy xu hướng tăng dần về năng lượng hấp thụ theo độ lún biến dạng. Trong suốt quá trình va chạm, khả năng hấp thụ năng lượng phụ thuộc trực tiếp vào số lượng ô của lõi ABS. Mẫu có lõi 6 ô đạt giá trị EA cao nhất, trong khi mẫu có lõi 4 ô đạt giá trị thấp nhất. Cụ thể, EA của mẫu E1.2_6 cao hơn mẫu E1.2_4 khoảng 7,32%, cho thấy hiệu quả hấp thụ năng lượng được cải thiện khi tăng số lượng ô trong lõi.

4. Kết luận

Bài báo nghiên cứu tính tin cậy và đập của cấu trúc mà nó được hình thành bởi ống nhôm bên ngoài và lõi ABS bên trong, với số lượng ô thay đổi từ 4 đến 6. Kết quả cho thấy số ô của lõi ABS có ảnh hưởng rõ rệt đến khả năng chống biến dạng và hấp thụ năng lượng va đập. Khi số ô tăng lên, trong khi độ dày thành ống được giữ cố định ở mức 1,2 mm, thì cả khả năng hấp thụ năng lượng và khả năng chống lại biến dạng ban đầu của cấu trúc đều tăng theo. Bên cạnh đó, cả ba mẫu cấu trúc đều thể hiện chế độ biến dạng lũy tiến—một dạng biến dạng được đánh giá là tối ưu đối với các hệ thống hấp thụ năng lượng trong ứng dụng ô tô.

Tài liệu tham khảo

- [1] N.S. Ha, G. Lu, “A review of recent research on bio-inspired structures and materials for energy absorption applications”, *Composites Part B: Engineering* 181 (2020) 107496.
- [2] V. Patel, G. Tiwari, R. Dumpala, “Review of the crushing response of collapsible tubular structures”, *Frontiers of Mechanical Engineering* 15(3) (2020) 438-474.
- [3] Y. Zhang, G. Sun, X. Xu, G. Li, Q. Li, “Multiobjective crashworthiness optimization of hollow and conical tubes for multiple load cases”, *Thin-Walled Structures* 82(0) (2014) 331-342.
- [4] M. Gokhan Atahan, H. Zeybek, “Effect of multi-cell approach on crashworthiness performance of 3D-printed thin-walled structures under lateral compression loading for unmanned aerial vehicle applications”, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part L: Journal of Materials: Design and Applications* (2025) 14644207251346785.
- [5] A. Alavi Nia, S. Chahardoli, “Optimizing the layout of nested three-tube structures in quasi-static axial collapse”, *Thin-Walled Structures* 107 (2016) 169-181.
- [6] R. Qin, X. Wang, F. Gao, B. Chen, “Energy absorption performance of hexagonal multi-cell tube with hierarchy under axial loading”, *Thin-Walled Structures* 169 (2021) 108392.
- [7] F.C. Bardi, H.D. Yun, S. Kyriakides, “On the axisymmetric progressive crushing of circular tubes under axial compression”, *International Journal of Solids and Structures* 40(12) (2003) 3137-3155.
- [8] S. Tabacu, “Axial crushing of circular structures with rectangular multi-cell insert”, *Thin-Walled Structures* 95 (2015) 297-309.
- [9] Y. Xiao, Q.W. Wu, Y. Liu, Y.J. Wang, H. Long, H.L. Hu, “Optimization design of crashworthiness of polyurethane foam filled Origami thin wall square tube based on an surrogate model”, *Structures* 65 (2024) 106713.
- [10] M. Farshidi, “Effect of aging treatment on the crushing behavior of aluminum 6061 alloy tube”, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part L: Journal of Materials: Design and*

- Applications* 229(5) (2014) 389-397.
- [11] D. Le, T. Doan, K. Do, V. Dang, H. Tu Pham, T. Tran, “Investigating and comparing the mechanical behavior of multicellular structures made with PLA and ABS under lateral loading”, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part L: Journal of Materials: Design and Applications 237(9) (2023) 1952-1963.
- [12] S. Hou, Q. Li, S. Long, X. Yang, W. Li, “Design optimization of regular hexagonal thin-walled columns with crashworthiness criteria”, *Finite Elements in Analysis and Design* 43(6–7) (2007) 555-565.

Ngày nhận bài: 01/8/2025

Ngày hoàn thành sửa bài: 24/9/2025

Ngày chấp nhận đăng: 27/9/2025