



Tạp chí Khoa học và Kinh tế Phát triển
Trường Đại học Nam Cần Thơ

Website: jsde.nctu.edu.vn



Ảnh hưởng của cấu trúc lõi đến đặc tính cơ học của hộp hấp thụ năng lượng

Trần Minh Kết¹, Đoàn Thanh Sơn¹, Phạm Hoàng Tú^{1*}, Trần Trọng Nhân², Đàm Văn Tráng³

¹Khoa kỹ thuật ô tô, Trường đại học Văn Lang, Thành phố Hồ Chí Minh

²Khoa cơ khí, Trường đại học công nghiệp TPHCM, Thành phố Hồ Chí Minh

³Khoa Cơ Khí Động Lực, Trường Trung cấp Kinh tế Kỹ Thuật Quận 12, Thành phố Hồ Chí Minh

*Người chịu trách nhiệm bài viết: Trần Minh Kết (email: Ket.tm@vlu.edu.vn)

Ngày nhận bài: 30/12/2023

Ngày phản biện: 15/1/2024

Ngày duyệt đăng: 10/2/2024

Title: Effect of the core structure on mechanical characteristics of the crash box

Keywords: biomimetic structure, energy absorption, thin-walled tube

Từ khóa: cấu trúc mô phỏng sinh học, hấp thụ năng lượng, ống thành mỏng

ABSTRACT

This study investigated the influence of the core structure on the mechanical characteristics of energy-absorbing structures in automobiles. The energy-absorbing structure consists of an outer tube and an inner core, with the proposed structural core design based on the shape of a lotus root. The study was conducted using simulation methods, with a finite element model used to examine the energy absorption and compression resistance of the structure, varying the core wall thickness and core size. The results showed that keeping the bottom size unchanged and changing the top size of the core was an effective design that improved the mechanical properties of the energy-absorbing structure. The research also indicated that the larger the top size, the greater the maximum force, which improved the compression resistance of the structure.

TÓM TẮT

Mục đích của nghiên cứu này là nghiên cứu ảnh hưởng của cấu trúc lõi đến đặc tính cơ học của cấu trúc hấp thụ năng lượng của xe ô tô. Cấu trúc hấp thụ năng lượng này bao gồm ống ngoài và một lõi bên trong và thiết kế lõi cấu trúc được đề nghị dựa trên hình dáng củ sen. Nghiên cứu tiến hành bằng cách sử dụng phương pháp mô phỏng. Mô hình phần tử hữu hạn được sử dụng để nghiên cứu khả năng hấp thụ năng lượng và khả năng chống nén của cấu trúc với sự thay đổi về độ dày thành lõi, kích thước của lõi. Kết quả nghiên cứu cho thấy giữ nguyên kích thước của đáy dưới và thay đổi kích thước đáy trên của lõi ở trường hợp 1

là một thiết kế hiệu quả giúp cải thiện đặc tính cơ học của cấu trúc hấp thụ năng lượng. Kết quả nghiên cứu cũng cho thấy, kích thước của đáy trên càng lớn thì lực cực đại càng lớn, giúp cải thiện khả năng chống nén của cấu trúc.

1. GIỚI THIỆU

Với sự phát triển của công nghiệp sản xuất ô tô trên thế giới, tiết kiệm năng lượng, bảo vệ môi trường và an toàn là ba chủ đề của công nghiệp ô tô hiện nay. Như thế chỉ số an toàn là một trong những chỉ số quan trọng nhất của ô tô. Sự quan tâm ngày càng tăng đến an toàn khi xảy ra va chạm của ô tô đã dẫn đến các nghiên cứu sâu rộng về phản ứng cấu trúc của các ống kim loại có thành mỏng, mà chúng được dùng để thiết kế bộ phận hấp thụ năng lượng trong thiết kế và sản xuất xe [1]. Việc thiết kế thiết bị hấp thụ năng lượng mới là phương pháp hiệu quả để nâng cao tính an toàn va chạm của ô tô, bởi vì thiết bị hấp thụ năng lượng ảnh hưởng lớn đến khả năng chịu va chạm của xe [2].

Nhằm nâng cao đặc tính cơ học của thiết bị hấp thụ năng lượng mà nó bao gồm khả năng chống biến dạng và khả năng hấp thụ năng lượng, rất nhiều nghiên cứu về thiết kế các ống thành mỏng đã được thực hiện bởi vì thiết bị hấp thụ năng lượng của ô tô thường được làm chế tạo bởi cấu trúc thành mỏng. Kết quả nghiên cứu cho thấy cấu trúc thành mỏng có thể hấp thụ hiệu quả động năng của xe trong quá trình xảy ra va chạm [3]. Một số nhà nghiên cứu đã nghiên cứu hiệu suất hấp thụ năng lượng của các ống có mặt cắt khác nhau, chẳng hạn như hình tròn [4], hình vuông [5], và hình chữ nhật [6]. Một số cấu trúc mà hình dáng của nó được hiệu chỉnh cũng được nghiên cứu. Việc sử dụng hợp lý cấu trúc thành mỏng tùy chỉnh cũng có thể cải thiện hiệu suất khả năng va chạm [7].

Bên cạnh đó, vật liệu Foam cũng được xem là một trong những thành phần giúp cải thiện khả năng hấp thụ năng lượng của thiết bị hấp thụ năng lượng. Vật liệu Foam có thể được chế tạo từ kim loại [8] hoặc polyme [9]. Kết quả nghiên cứu của những công trình đã công bố ở trên cho thấy sử dụng vật liệu Foam có thể làm tăng khả năng hấp thụ năng lượng của các cấu trúc hình ống như vậy và rất hữu ích trong việc thiết kế ô tô.

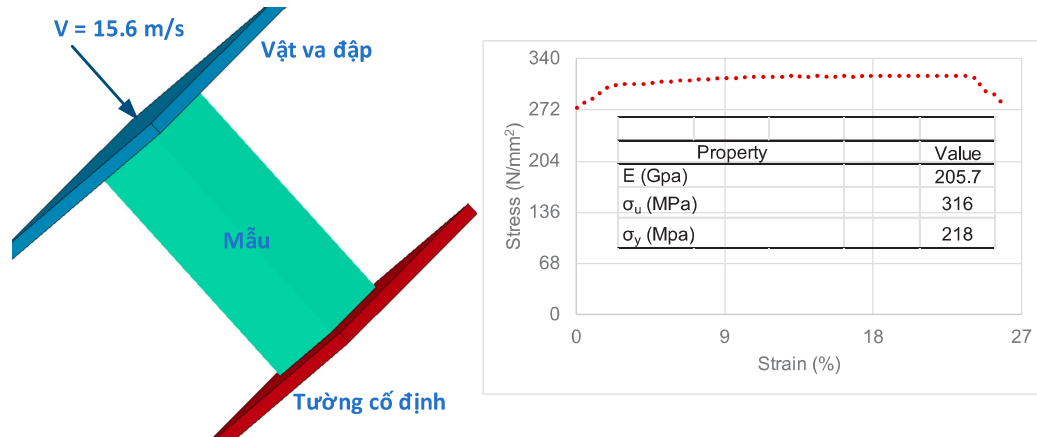
Dù khả năng hấp thụ năng lượng của những thiết bị va chạm đã được cải thiện rất nhiều qua các nghiên cứu ở trên, nhưng đặc tính cơ học của thiết bị này vẫn còn rất hạn chế do những hạn chế về cách bố trí hoặc kết hợp các yếu tố cấu thành của chúng. Để giải quyết vấn đề này và xem xét ảnh hưởng của lõi cấu trúc đến khả năng hấp thụ năng lượng và khả năng chống nén của cấu trúc hấp thụ năng lượng, thiết kế lõi dựa trên hình dáng của củ sen được đề xuất trong nghiên cứu này. Khi đó đặc tính cơ học của cấu trúc bao gồm ống ngoài và lõi bên trong được nghiên cứu.

2. PHƯƠNG PHÁP

Cấu trúc hấp thụ năng lượng đóng vai trò quan trọng trong việc hấp thụ năng lượng và va chạm khi có một sự va đập xảy ra. Để nghiên cứu đặc tính cơ học của cấu trúc hấp thụ năng lượng của một cấu trúc chịu va đập, nghiên cứu mô phỏng ở Hình 1 được thực hiện. Mẫu thí nghiệm này được chế tạo bằng thép và đặc tính cơ học của thép chế tạo mẫu được mô tả trên Hình 1. Sự sắp xếp thí nghiệm trên Hình 1 cho thấy mẫu thí nghiệm được gắn cố định

trên tường cố định và chịu va đập của vật va đập có khối lượng 500 kg với vận tốc 15.6 m/s theo tiêu chuẩn va đập dọc trục của Euro

NCAP. Phần mềm sử dụng để mô phỏng là Hypermesh/lsdyna.



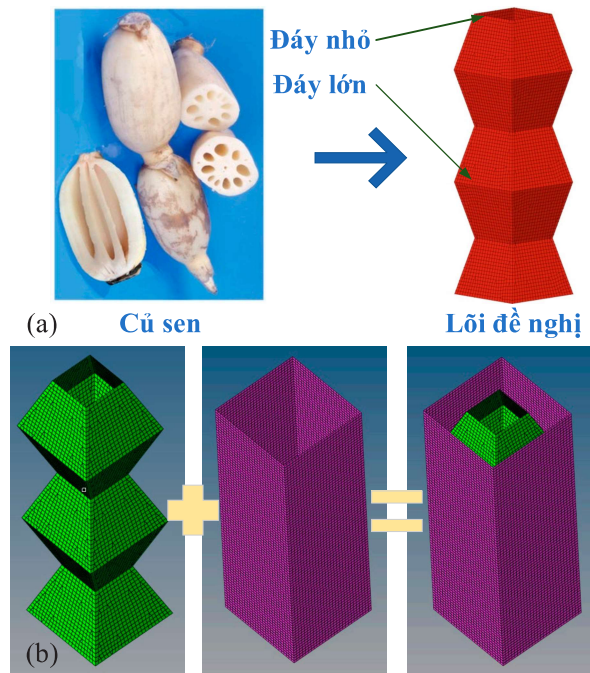
Hình 1. Sơ đồ thí nghiệm và đặc tính cơ học của thép

Cấu tạo mẫu thí nghiệm được trình bày ở Hình 2 mà nó được đề nghị nhằm mục đích xem xét ảnh hưởng của thông số của lõi đến đặc tính cơ học của cấu trúc. Cấu tạo của mẫu thí nghiệm bao gồm ống bên ngoài và lõi bên trong. Hình dáng của lõi được đề nghị dựa trên bất chước cấu trúc tự nhiên. Trong trường hợp này, củ sen được xem như cấu trúc tham chiếu. Nhằm mục

đích xem xét ảnh hưởng của lõi đến đặc tính cơ học của cấu trúc, hai trường hợp thiết kế được đề nghị: i). Kích thước đáy dưới được cố định và thay đổi kích thước của đáy trên và ii). Kích thước đáy trên được cố định và thay đổi kích thước của đáy dưới. Độ dày của lõi thay đổi từ 1,8 đến 2,2 mm. Như vậy các thông số chính của cấu trúc được trình bày ở Bảng 1.

Bảng 1. Các thông số chính của 3 mẫu thí nghiệm

Mẫu	Khối lượng (kg)	Ống ngoài (mm)		Lõi (mm)			Chiều dài (mm)	
		Rộng x sâu	Dày	Đáy trên	Đáy dưới	Cao		
7030601,8	1,367			30x30			1,8	
7040602	1,466			40x40	60x60		2	
7050602,2	1,579	70x70	2	50x50		40	2,2	
7050551,8	1,419				55x55			1,8
7050602	1,515				50x50		60x60	
7050652,2	1,621				65x65		2,2	



Hình 2. Mẫu thí nghiệm: a) Cấu trúc lõi đề nghị lấy cảm hứng từ củ sen [10], b) Cấu trúc mẫu

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Để đánh giá đặc tính cơ học của thiết bị hấp thụ năng lượng, chúng ta cần định nghĩa những thông số sau: Năng lượng hấp thụ (kJ), Năng lượng hấp thụ hiệu quả (kJ/kg), Lực cực đại (kN), và Lực trung bình (kN).

(i) Năng lượng hấp thụ (kJ)

Năng lượng hấp thụ là sự hấp thụ năng lượng của cấu trúc thông qua biến dạng dẻo của nó. Nó được tính toán từ diện tích bên dưới của biểu đồ lực – chuyển vị tương ứng như sau

$$\text{Năng lượng hấp thụ} = \int_0^d F(x)dx \quad (1)$$

với $F(x)$ là lực va đập tức thời và là hàm của chuyển vị x trong quá trình va đập và d là độ lún.

(ii) Năng lượng hấp thụ hiệu quả (kJ/kg)

Năng lượng hấp thụ hiệu quả là hấp thụ năng lượng của cấu trúc liên quan đến khối lượng (m) của nó. Do đó, nó có thể được tính toán bằng công thức:

$$\text{Năng lượng hấp thụ hiệu quả} = \frac{\text{Năng lượng hấp thụ}}{m} \quad (2)$$

(iii) Lực cực đại (kN)

Lực cực đại là lực va đập tức thời lớn nhất ở giai đoạn đầu của cấu trúc chịu va đập.

(iv) Lực trung bình (kN)

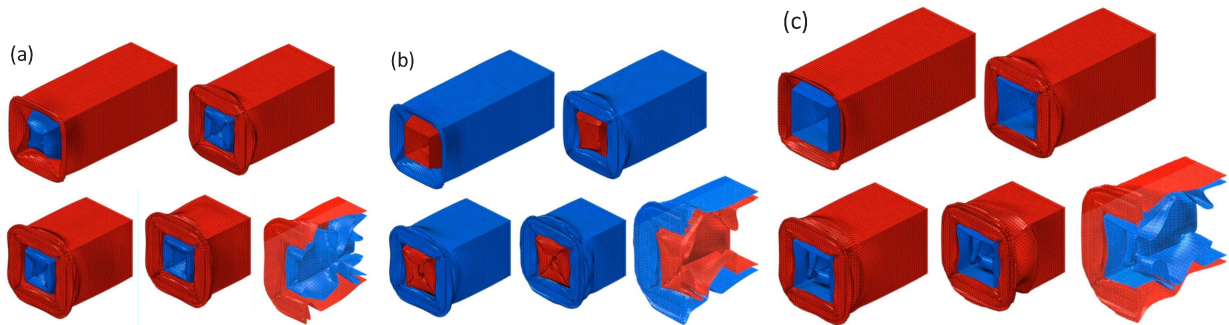
Lực trung bình là lực nghiền ép trung bình được tính bởi lượng hấp thụ năng lượng của ống thành mỏng đối với chuyển vị (d) và được tính bằng công thức:

$$\text{Lực trung bình} = \frac{\text{Năng lượng hấp thụ}}{d} \quad (3)$$

Quá trình biến dạng của tất cả các mẫu xem xét được thể hiện ở Hình 3 và 4. Đối với những mẫu thí nghiệm mà kích thước của đáy dưới là 60x60 mm và kích thước của cửa đáy trên thay đổi từ 30x30 mm đến 50x50 mm (7030601,8, 7040602 và 7050602,2) thì quá trình biến dạng của mẫu diễn ra từ đầu trên xuống đầu dưới theo cách dần dần lũy tiến (Hình 3). Tuy nhiên do kích thước của lõi thay đổi nên biến dạng của

của những mẫu này cũng có sự khác biệt nhỏ. Sự khác biệt này được thể hiện ở những hình cắt trên Hình 3. Và cũng có sự khác biệt trong kích thước của lõi, tương tác giữa lõi và ống ngoài

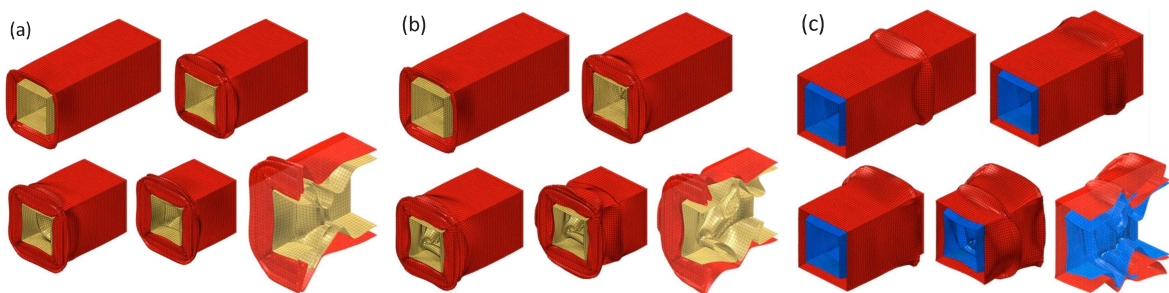
cũng khác nhau. Khác biệt này được thể hiện rõ ở Hình 3(c) của mẫu 7050602,2 so với hai hình (a) và (b) của Hình 3 của mẫu 7030601,8 và 7040602.



Hình 3. Biến dạng của mẫu: a) 7030601,8 b) 7040602 và c) 7050602,2

Với những mẫu thí nghiệm mà kích thước của đáy trên là 50x50 mm và kích thước của của đáy trên thay đổi từ 55x55 mm đến 60x60 mm (7050551,8, 7050602 và 7050652,2) thì quá trình biến dạng của tất cả ba mẫu là biến dạng lũy tiến (Hình 4). Tuy nhiên, biến dạng của hai mẫu 7030601,8 và 7040602 diễn ra từ đầu trên xuống đầu dưới và biến dạng của mẫu 7050652,2 bắt

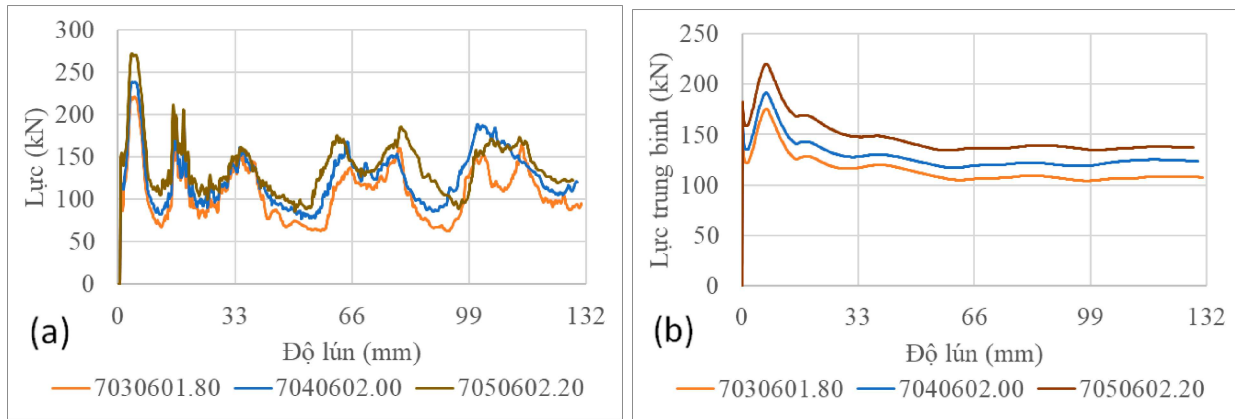
đầu từ giữa mẫu. Như thế, kích thước của lõi thay đổi nên biến dạng của của những mẫu này khác biệt. Sự khác biệt này được thể hiện ở biến dạng của lõi ở những hình cắt trên Hình 4. Biến dạng của lõi của mẫu 7050602 trên Hình 4(b) hỗn loạn hơn so với hai lõi của hai mẫu còn lại trên Hình 4(a) và (c).



Hình 4. Biến dạng của mẫu: a) 7050551,8 b) 7050602 và c) 7050652,2

Đáp ứng lực của tất cả các mẫu được mô tả trên Hình 5 và Hình 6. Đáp ứng lực của ba mẫu 7030601,8, 7040602 và 7050602,2 cho thấy lực của chúng có ứng xử giống nhau (Hình 5). Ban đầu lực va đập tăng đến giá trị ban đầu và tiếp

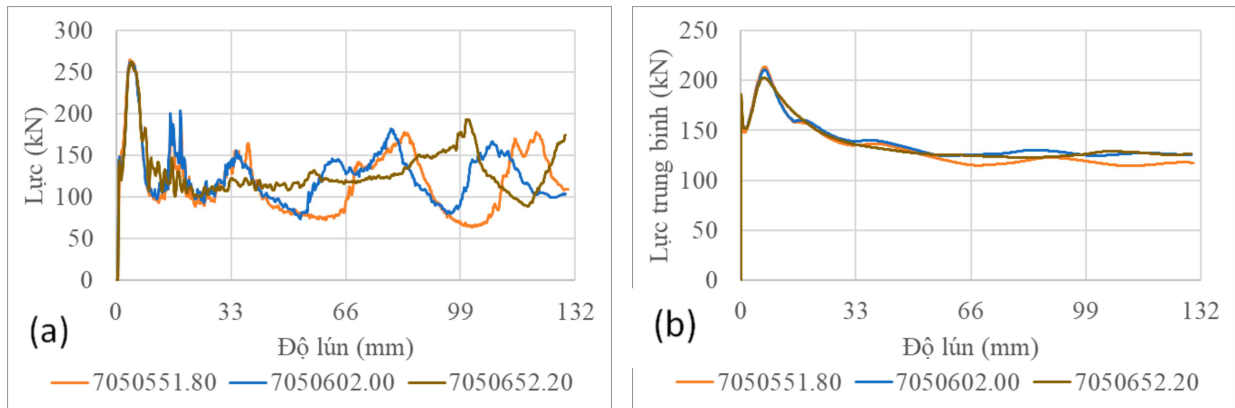
đến là giá trị cực đại. Sau đó, lực va đập sẽ dao động quanh giá trị trung bình cho đến khi kết thúc quá trình qua đập. Diễn biến ở Hình 5 (b) cho thấy lực trung bình của hai mẫu 7050602,2 và 7030601,8 là lớn nhất và nhỏ nhất.



Hình 5. Đáp ứng lực của mẫu 7030601,8 7040602 và 7050602,2: a) Lực, và b) Lực trung bình

Đối với đáp ứng lực của ba mẫu 7050551,8, 7050602, và 7050652,2 ở Hình 6, lực và đập của những mẫu này cũng tương tự như lực và đập của ba mẫu 7030601,8, 7040602 và 7050602,2 ở giai đoạn đầu. Tuy nhiên, chúng có sự khác biệt ở giai đoạn sau của quá trình và đập. Mặc

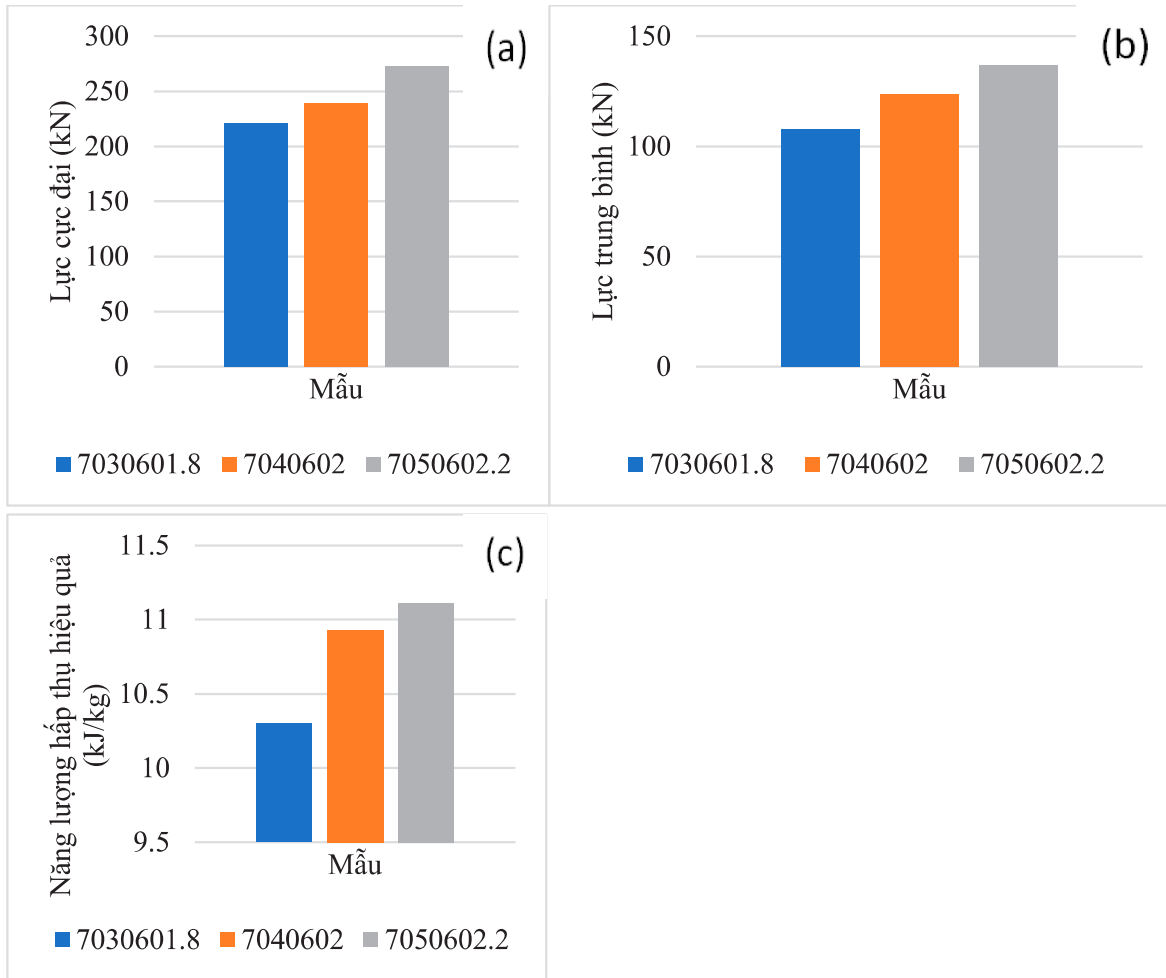
dù rằng, lực và đập của ba mẫu 7050551,8, 7050602 và 7050652,2 cũng dao động quanh giá trị trung bình, nhưng với cường độ nhỏ hơn. Hình 6 (b) cho thấy lực trung bình của hai mẫu 7050551,8 và 7050602 thì xấp xỉ nhau và lớn hơn giá trị lực trung bình của mẫu 7050652,2.



Hình 6. Đáp ứng lực của mẫu 7050551,8, 7050602, và 7050652,2: a) Lực, và b) Lực trung bình

Để thấy được ảnh hưởng của lõi đến đặc tính cơ học của thành phần hấp thụ năng lượng xem xét. Các chỉ số lực cực đại, lực trung bình và năng lượng cần được so sánh. Các thông số của trường hợp I của ba mẫu 7030601,8, 7040602, và 7050602,2 được thể hiện ở Hình 7 mà nó cho thấy rằng lực cực đại, lực trung bình, và năng lượng hấp thụ hiệu quả tăng dần khi tăng cả hai thông số là kích thước của đáy trên và chiều dày của lõi. Chênh lệch giữa giá trị lớn nhất và nhỏ nhất của

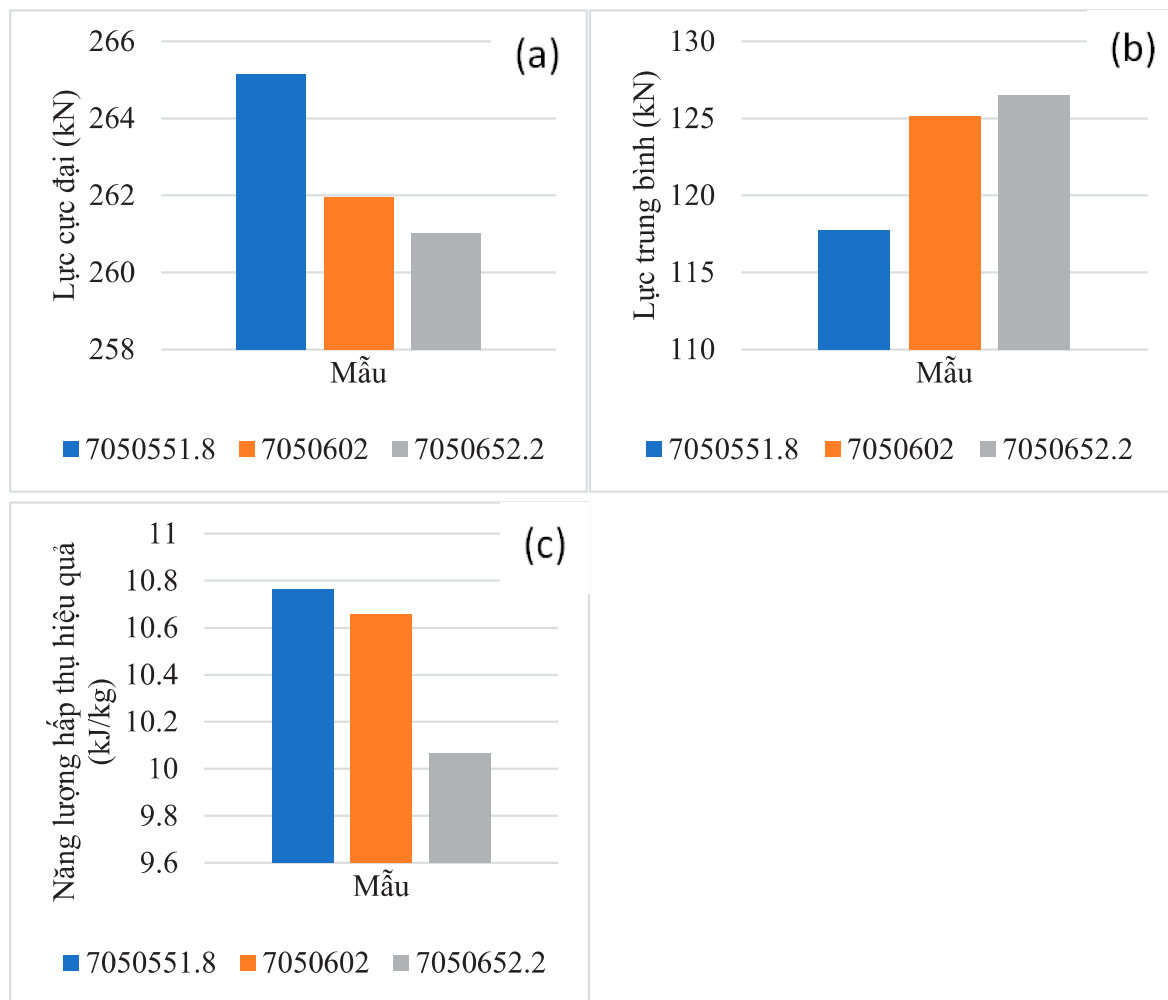
hai mẫu 7030601,8 và 7050602,2 của cả ba chỉ số bao gồm lực cực đại, lực trung bình, và năng lượng hấp thụ hiệu quả của hai mẫu là 18,86%, 21,26%, và 7,33%. Như vậy, mặc dù khối lượng của 3 mẫu tăng dần từ mẫu 7030601,8 đến mẫu 7050602,2, nhưng các chỉ số đánh giá khả năng chống biến dạng và hấp thụ năng lượng đều tăng. Điều này cho thấy ảnh hưởng tích cực của kiểu mẫu số 1 là giữ nguyên kích thước đáy dưới và thay đổi kích thước của đáy trên.



Hình 7. Đáp ứng lực của mẫu 7030601,8, 7040602, và 7050602,2: a) Lực cực đại, b) Lực trung bình, và c) Năng lượng hấp thụ hiệu quả

Sự so sánh của những chỉ số lực cực đại, lực trung bình, và năng lượng hấp thụ hiệu quả của trường hợp hai của ba mẫu 7050551,8, 7050602, và 7050652,2 được thể hiện ở Hình 8. Cũng tương tự như ba mẫu ở trường hợp 1, khối lượng của cả ba mẫu ở trường hợp 2 tăng dần theo thứ tự từ mẫu 7050551,8 đến mẫu 7050652,2. Nhưng chúng có sự khác biệt khi so sánh các chỉ số đánh giá đặc tính cơ học của cấu trúc hấp thụ năng lượng. Lực cực đại và năng lượng hấp thụ của cả ba mẫu này giảm dần. Chênh lệch giữa lực cực đại lớn nhất của mẫu 7050551,8 và của mẫu 7050652,2 là

1,57% và chênh lệch giữa năng lượng hấp thụ hiệu quả lớn nhất của mẫu 7050551,8 và của mẫu 7050652,2 là 6,91%. Mặc dù tỉ lệ 6,91% cũng là chênh lệch của lực trung bình lớn nhất và nhỏ nhất giữa hai mẫu 7050551,8 và 7050652,2, nhưng mà lực trung bình của mẫu 7050652,2 thì lớn hơn lực trung bình của mẫu 7050551,8. Như vậy sự thay đổi của những chỉ số của các mẫu ở trường hợp 2 thì khác biệt với các mẫu của trường hợp 1. So sánh hai kết quả của Hình 7 và Hình 8 cho thấy cấu trúc của mẫu kiểu lõi 1 thì hiệu quả hơn so với cấu trúc của kiểu lõi 2.



Hình 8. Đáp ứng lực của mẫu 7050551,8, 7050602, và 7050652,2: a) Lực cực đại, b) Lực trung bình, và c) Năng lượng hấp thụ hiệu quả

4. KẾT LUẬN

Cấu trúc lõi được thiết kế bằng cách bắt chước hình dạng của củ sen. Khi đó ảnh hưởng của lõi đến đặc tính cơ học của cấu trúc được nghiên cứu ở trường hợp chịu tải va đập. Kết quả nghiên cứu cho thấy so với việc giữ nguyên kích thước của đáy trên và thay đổi kích thước của đáy dưới ở trường hợp 2 thì giữ nguyên kích thước của đáy dưới và thay đổi kích thước đáy trên của lõi ở trường hợp 1 là một thiết kế hiệu quả giúp

cải thiện đặc tính cơ học của cấu trúc hấp thụ năng lượng. Kết quả nghiên cứu cũng cho thấy, kích thước của đáy trên càng nhỏ thì lực cực đại càng nhỏ. Trong cả hai trường hợp thì tăng độ dày của lõi sẽ tăng lực cực đại nhưng ở trường hợp 1 thì hấp thụ năng lượng hiệu quả tăng lên, trong khi hấp thụ năng lượng hiệu quả ở trường hợp 2 thì giảm xuống. Và điều này là không được mong muốn trong trường hợp thiết kế thiết bị hấp thụ năng lượng.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Lu, G., & Yu, T. (2003). *Energy Absorption of Structures and Materials*. Woodhead Publishing.
- [2] Wang, S., Zhang, M., Pei, W., Yu, F., & Jiang, Y. (2022). Energy-absorbing mechanism and crashworthiness performance of thin-walled tubes diagonally filled with rib-reinforced foam blocks under axial crushing. *Composite Structures*, 299 (2022) 116149.
- [3] Tran, T., Le, D., & A. Baroutaji, A. (2019). Theoretical and numerical crush analysis of multi-stage nested aluminium alloy tubular structures under axial impact loading. *Engineering Structures*, 182 (2019) 39-50.
- [4] Abramowicz, W., & Jones, N. (1984). Dynamic axial crushing of circular tubes. *International Journal of Impact Engineering*, 2 (1984) 263-281.
- [5] Abdullahi, H.S., & Gao, S. (2020). A novel multi-cell square tubal structure based on Voronoi tessellation for enhanced crashworthiness. *Thin-Walled Structures*, 150 (2020) 106690.
- [6] Gupta, N.K., & Khullar, A. (1993). Collapse of square and rectangular tubes in transverse loading. *Archive of Applied Mechanics*, 63 (1993) 479-490.
- [7] Duan, L., Sun, G., Cui, J., Chen, T., Cheng, A., & Li, G. (2016). Crashworthiness design of vehicle structure with tailor rolled blank. *Struct Multidisc Optim*, 53 (2016) 321-338.
- [8] Reyes, A., Hopperstad, O.S., & Langseth, M. (2004). Aluminum foam-filled extrusions subjected to oblique loading: experimental and numerical study. *International Journal of Solids and Structures*, 41 (2004) 1645-1675.
- [9] Tarlochan, F., & Ramesh, S. (2012). Composite sandwich structures with nested inserts for energy absorption application. *Composite Structures*, 94 (2012) 904-916.
- [10] Li, L., Li, J., Zou, Q., Zuo, Y., Lin, L., Cai, B., & Li, Y. (2022). Lotus root and osteons-inspired channel structural scaffold mediate cell biomineralization and vascularized bone tissue regeneration. *Journal of Biomedical Materials Research Part B: Applied Biomaterials*, 110 (2022) 1178-1191.