

KHẢO SÁT ẢNH HƯỞNG VỊ TRÍ LỖ TRÊN TRỤC ỐNG NHÔM ĐẾN KHẢ NĂNG HẤP THỤ NĂNG LƯỢNG VA CHẠM

ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF THE HOLE POSITION ON THE ALUMINUM
TUBE SHAFT ON THE IMPACT ENERGY ABSORPTION CAPACITY

Lê Thị Tuyết Nhung

Đại học Bách khoa Hà Nội

Email: nhung.lethituyet@hust.edu.vn

TÓM TẮT

Thí nghiệm va chạm dọc trục và các phương pháp tăng khả năng hấp thụ va chạm trong mô phỏng kết cấu của Ba-đờ-sốc trong ô tô vẫn là hướng nghiên cứu được các nhà sản xuất ô tô khai thác trong những năm gần đây. Các nghiên cứu về thiết kế của ống nhôm rỗng gắn vào mặt sau của Ba-đờ-sốc sao cho lực nén va chạm giảm đi là mục đích của nghiên cứu này. Thiết kế đục các lỗ tròn trên trục ống nhôm rỗng này là một trong các ý tưởng được các nhà nghiên cứu quan tâm. Trong nghiên cứu này, vị trí đặt lỗ sẽ được khảo sát, các lỗ sẽ nằm ở thân của mô hình cách độ cao H dọc theo chiều dài của biên dạng L , kích thước của lỗ sẽ được xác định từ chiều rộng hiệu dụng của thành mỏng dựa trên nguyên tắc của Von Karman. Ba vị trí đặt lỗ khác nhau được phân tích, từ đó có thể đánh giá được ảnh hưởng của vị trí của lỗ trên sự hấp thụ năng lượng cùng một kết cấu.

Từ khóa: *Nghiên cứu dọc trục; Hư hại dẻo; Thử nghiệm va chạm.*

ABSTRACT

The axial impact experiment and methods to enhance impact absorption in the structural simulation of car bumpers have remained a focus of research by automotive manufacturers in recent years. This study aims to investigate the design of hollow aluminum tubes attached to the rear of bumpers to reduce the compressive impact force. One of the ideas attracting researchers' attention is the design of circular holes on the axis of these hollow aluminum tubes. In this study, the placement of the holes will be examined. The holes will be located on the body of the model at a height H along the length L of the profile. The hole diameter is determined based on the effective width of the thin wall according to Von Karman's principle. Three different hole placement positions will be analyzed to evaluate the influence of hole positions on energy absorption within the same structure.

Keywords: *Axial crushing; Ductile damage; Crash test.*

1. TỔNG QUAN

Các vật liệu mới như hợp kim nhôm, hợp kim magiê và thép có độ bền cao đang được sử dụng càng ngày càng nhiều trong các linh kiện ô tô, máy bay để giảm trọng lượng và để tăng hiệu suất tổng thể của các phương tiện. Những vật liệu này thường có độ dẻo thấp khi bị phá hủy so với vật liệu truyền thống và có thể bị hư hại, phá hủy trong điều kiện tải và va chạm. Thông thường sự lựa chọn này đặt ra giới hạn để đơn giản hóa mô hình phá hủy dựa trên tiêu chuẩn biến dạng tối đa (biến dạng phá hủy không thay đổi cho tất cả trạng thái ứng suất). Với các mô hình này là chúng không phụ thuộc vào biến dạng phá hủy hoàn toàn trong trạng thái ứng suất của một thành phần.

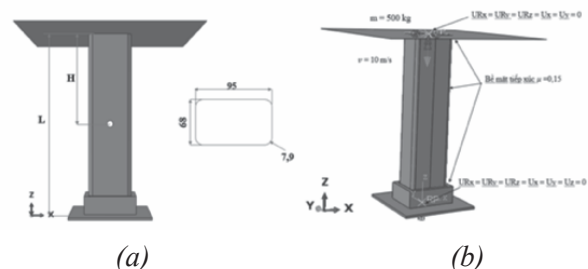
Elyasi và cộng sự đã nghiên cứu phương pháp sản xuất hợp kim nhôm ảnh hưởng tới khả năng hấp thụ năng lượng khi va chạm [1]. Nghiên cứu của Nikkhah và cộng sự [2] khảo sát các phản ứng nghiền nát của các ống có hình dạng lỗ khoét khác nhau cũng như ống đơn giản được nghiên cứu trong điều kiện tải dọc trục và xiên. Nghiên cứu của Taghipoor và cộng sự [3] trình bày một khảo sát thực nghiệm về ảnh hưởng của lỗ đối với lực nghiền của các ống mỏng với tiết diện vuông dưới tác động dọc trục với tốc độ biến dạng cao. Trong đó, 24 mẫu hấp thụ sốc đã được nghiên cứu và tính chất nghiền (crushing) của chúng đã được chỉ ra và so sánh với một mô hình hấp thụ đơn giản. Ảnh hưởng của các thông số khác nhau, bao gồm đường kính lỗ, chiều dài mẫu, kích thước mặt cắt mẫu và tốc độ va đập cũng được đánh giá. Ứng xử va đập của kim loại ngày càng được nghiên cứu nhiều hơn trong những năm gần đây bằng các phương pháp thực nghiệm và mô phỏng số như các phương trình hư hại dẻo đều dựa theo công trình nghiên cứu của Hooputra [4]. Tiếp nối kết quả nghiên cứu về mô hình hư

hại của vật liệu dẻo được ứng dụng trong mô phỏng phần tử hữu hạn của mẫu ống nhôm có vách ngăn nhằm nghiên cứu ứng xử của ống khi chịu tải va đập 10m/s [5], nghiên cứu này phân tích ảnh hưởng của vị trí các lỗ tròn được khoét trên thành ống nhôm tới lực nén và khả năng hấp thụ năng lượng va chạm của kết cấu.

2. MÔ HÌNH VÀ LUẬT ỨNG XỬ HƯ HẠI CỦA VẬT LIỆU

2.1. Hình học và vật liệu

Hình học đầu tiên được sử dụng mô phỏng số trong đề án này là hình học đã xây dựng bởi Hooputra [4]. Mô hình dùng vật liệu hợp kim nhôm EN AW7108T6 va chạm với khối lượng 500 kg và vận tốc ban đầu là 10m/s, thời gian sử dụng để xác định hiệu quả của vị trí lỗ là 0.03s. Mô hình được coi là kết cấu thành mỏng hình lăng trụ được làm từ hợp kim nhôm EN AW-7108 T6 với chiều dài L là 400 mm, chiều rộng $W = 95$ mm, chiều cao $B = 68$ mm và độ dày $t = 2.5$ mm. Vị trí các lỗ cách mặt phẳng va chạm một khoảng là H (Hình 1a).



Hình 1. a) Mô hình và va chạm trong ABAQUS; b) Điều kiện biên và điều kiện tải

Để nghiên cứu ảnh hưởng của vị trí đục lỗ tới khả năng hấp thụ năng lượng va chạm của ống nhôm, bốn mô hình ống T0, T50, T125 và T200 tương ứng với khoảng cách H lần lượt là không đục lỗ, $H = 50$ mm, $H = 125$ mm và $H = 200$ mm được tiến hành mô phỏng. Khối lượng

của mô hình không đục lỗ là 0.843kg trong khi khối lượng của ba mô hình có lỗ là 0.841 kg.

2.2. Vật liệu và thông số mô phỏng

Mô phỏng số được sử dụng các thông số vật liệu của hợp kim nhôm có các thông số khối lượng riêng 2700 kg/m³, Mô-đun đàn hồi 70 GPa, hệ số Poisson 0.33. Ứng suất chảy dẻo là 311 MPa, ứng suất đứt là 697 MPa tại biến dạng dẻo là 2.1. Đối với tiêu chuẩn phá hủy, mô hình kết hợp với các tiêu chuẩn phá hủy như phá hủy do ứng suất kéo, phá hủy do ứng suất cắt và tiêu chuẩn Műschenborn-Sonne cho sự mất ổn định của hiện tượng thắt cổ chai. Các thông số này sẽ lấy từ dữ liệu thực nghiệm tham khảo từ tài liệu [4] là:

$\epsilon_T^+ = 0.44$, $\epsilon_T^- = 1.494$, $k_0 = 8.63$. Thông số phá hủy do ứng suất cắt: $\epsilon_S^+ = 0.35$, $\epsilon_S^- = 1.2$, $f = 2.05$, $k_s = 8.63$.

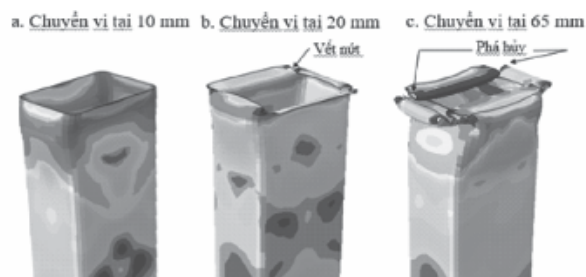
Đối với mô hình thành mỏng hình lăng trụ, kích thước tiết diện của phần tử là 5 mm. Mô hình không lỗ được tạo ra với 6162 phần tử S4R (phần tử vỏ 4 nút hoặc lưới vuông). Lưới của trường hợp ống nhôm có đục lỗ gồm 5088 phần tử (S4R). Điều kiện tải và điều kiện biên được biểu thị trên hình 1b.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

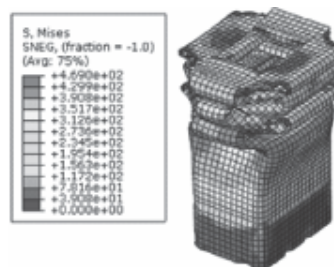
3.1. Kết quả mô phỏng ống nhôm không lỗ chịu va chạm

Mô hình được mô phỏng đầu tiên được tiến hành cho mô hình T0 với vận tốc va chạm 10 m/s. Ứng xử của vật liệu được sử dụng để mô phỏng kết cấu ống nhôm: vật liệu dẻo có sử dụng luật hư hại. Kết quả trên hình 4 cho thấy hình dạng phá hủy của mẫu ống nhôm khi sử dụng luật hư hại của vật liệu dẻo mô

tả đúng trạng thái khi bị tải nghiền va đập của ống. Hình dạng và kích thước phần bị nghiền tương thích cao so với kết quả thực nghiệm của Hoopoutra [4]. Đối với phân tích chuyển vị tại các vị trí khác nhau, Hình 2 cho thấy, đầu tiên kết cấu sẽ hình thành và lan truyền các vết nứt tại vùng lân cận góc dẫn đến phá hủy.



Hình 2. Ứng xử và va chạm của mô hình T0 ở chuyển vị 10 mm, 20mm và 65 mm



Hình 3. Ứng xử mô phỏng của ống nhôm chịu va đập với vận tốc 10 m/s với luật hư hại

Đối với phân tích trạng thái ứng suất trong ống nhôm, kết quả ở hình 3 cho thấy ứng xử của ống bị chèn là hình thành nếp gấp, ứng suất lớn nhất đạt 469 MPa. Kết quả cho thấy độ tin cậy của mô hình mô phỏng cũng như các thông số vật liệu thực nghiệm dự đoán chính xác ứng xử của kết cấu ống.

3.2. Phân tích ảnh hưởng vị trí đục lỗ trên thành ống

Kết quả mô phỏng về ứng suất của ba mô hình T50, T125, T200 được trình bày trong hình số 5.

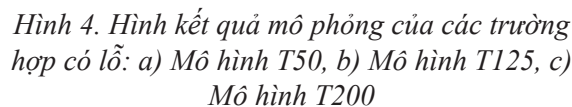


Figure 10 is a line graph showing the variation of force (Lực nén [mm]) on the y-axis (ranging from 0 to 250) versus displacement (Chuyển vị [mm]) on the x-axis (ranging from 0 to 220). Three curves are plotted for different temperatures: T50 (black line), T125 (grey line), and T200 (white line). The T50 curve shows the highest force, peaking around 230 mm at a displacement of approximately 10 mm. The T125 and T200 curves show lower forces, with T200 being the lowest. All curves exhibit a similar trend of initial high force followed by a decrease and then a slight increase before settling into a relatively stable region.

Hình 5. Đồ thị của lực nén – chuyển vị của ba mô hình T50, T125 và T200

Bảng 1. Bảng tổng hợp kết quả mô phỏng lực nén

Mô hình	Lực nén lớn nhất $P_{\max}$ (kN)	Lực nén danh nghĩa P_m (kN)	Năng lượng hấp thụ E_a (kJ)	Hấp thụ năng lượng riêng (J/gr)
T0	250,90	73,86	16,25	19,28
T50	227,92	74.82	16,46	19,57
T125	220,68	75.18	16,54	19,68
T200	217.40	73.95	16,27	19,35

4. KẾT LUẬN

Trong nghiên cứu này, phương pháp sử dụng tiêu chuẩn hư hại thông qua biến dạng dẻo đã được ứng dụng trong dự đoán ứng xử chịu tải va đập của ống nhôm với vận tốc 10 m/s. Nghiên cứu so sánh khả năng hấp thụ năng lượng của vị trí đặt các lỗ tròn trên trục cho thấy hấp thụ năng lượng tăng lên khi đặt lỗ. Ảnh hưởng của lỗ tròn trong kết cấu ống nhôm tuần tự: lực nén lớn nhất giảm từ 9.16 - 13.23%, năng lượng hấp thụ tăng 0.12 - 1.79% và vị trí đặt lỗ tròn của mô hình T125 là vị trí tối ưu nhất. Từ đó, mô hình tính toán này với các thông số cơ học của vật liệu nhôm đã thí nghiệm có thể được dùng để đánh giá lực va chạm trong các thí nghiệm crash test ảo với mô hình ba-dờ-sóc có gắn ống nhôm để có được các kết quả đánh giá về ảnh hưởng của vận tốc hay các tham số khác.

Lời cảm ơn:

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Đại học Bách Khoa Hà Nội trong đề tài mã số T2023-PC-017. Tác giả xin chân thành cảm ơn.❖

Ngày nhận bài: **08/11/2024**

Ngày phản biện: **05/12/2024**

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Elyasi M., Hossein T.G., Khatir F.A., Modanloo V., “*Numerical and experimental study of energy absorption in multilayer tubes manufactured through spinning forming process under quasi-static axial loading*”. Alexandria Engineering Journal, Vol. 106, p571-581, 2024.
- [2]. Nikkhah H., Guo F., Chew Y., Bai J., Song J., Wang P., “*The effect of different shapes of holes on the crushing characteristics of aluminum square windowed tubes under dynamic axial loading*”. Thin-Walled Structures, Volume 119, 2017.
- [3]. Taghipoor H., Ghiaskar A., Shavalipour A., “*Crashworthiness performance of thin-walled, square tubes with circular hole discontinuities under high-speed impact loading*”. International Journal of Crashworthiness, Volume 27, 2022.
- [4]. Hooputra H., Gese H., Werner H., Dell H., “*A Compressive failure model for crashworthiness simulation of aluminium extrusions*”. International Journal of Crashworthiness, p 449-464, 2010.
- [5]. Lê Thị Tuyết Nhung, “*Phân tích hư hại của ống nhôm chịu va chạm dọc trục bằng luật hư hại theo cơ chế dẻo của vật liệu*”. Tạp chí Cơ khí Việt Nam, số 316, 2024.