

PHÂN TÍCH HƯ HẠI CỦA ỐNG NHÔM CHỊU VA CHẠM DỌC TRỤC BẰNG LUẬT HƯ HẠI THEO CƠ CHẾ DẪO CỦA VẬT LIỆU

CRUSHING TEST SIMULATION OF ALUMINIUM TUBE
USING DAMAGE BEHAVIOR LAW OF DUCTILE MATERIAL

Lê Thị Tuyết Nhung
Đại học Bách khoa Hà Nội

TÓM TẮT

Ba-đờ-sốc là một kết cấu được gắn vào phía trước hoặc phía sau của ô tô bằng các cơ cấu ống nhôm rỗng, nhằm mục đích hấp thụ những chấn động trong thí nghiệm va chạm (crash test). Về mặt kết cấu, các ống nhôm này khi chịu tải nghiền nén thể hiện khả năng hấp thụ động năng được sinh ra trong quá trình va chạm. Việc mô phỏng đúng ứng xử của các ống này khi chịu va chạm phụ thuộc vào luật ứng xử của vật liệu sử dụng. Trong nghiên cứu này, 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 ở vận tốc 10m/s, đồng thời cũng nghiên cứu cũng chỉ ra ảnh hưởng của việc sử dụng luật dẻo thông thường và luật dẻo có tính đến hư hại trong việc dự đoán ứng xử va chạm hấp thụ sốc của ống nhôm.

Từ khóa: Nghiền dọc trục; Hư hại dẻo; Thử nghiệm va chạm.

ABSTRACT

The bumper is a structure attached to the front or rear of an automobile by hollow aluminum tube mechanisms, intended to absorb shocks in a crash test. Structurally, these aluminum tubes when subjected to compression crushing loads exhibit the ability to absorb kinetic energy generated during collisions. The correct simulation of the behavior of these pipes when subjected to impact depends on the rules of conduct of the materials used. In this study, damage modeling of plastic materials was applied in simulation.

Keywords: Axial crushing; Ductile damage; Crash test.

1. TỔNG QUAN

Các vật liệu mới như hợp kim nhôm, hợp kim ma-giê và thép có độ bền cao đang được sử dụng ngày càng nhiều trong các lĩnh vực 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. Các phương pháp đơn giản hóa này dự đoán sự phá hủy không chính xác [1]. Nghiên cứu của Jung Yun Won và cộng sự [2] khảo sát hiệu suất nghiền của bốn ống nhôm ép đùn được nghiền cứu thông qua phân tích dựa trên mô phỏng phần tử hữu hạn (FE) kết hợp mô hình kết hợp số thí nghiệm của mẫu uốn chịu biến dạng hư hại dẻo. Việc đánh giá hiệu suất nghiền được thực hiện dựa trên cả thử nghiệm nghiền trực và mô phỏng phần tử hữu hạn ba chiều tương ứng, có thể xác nhận các định luật về độ dẻo và gãy được sử dụng và dự đoán các chỉ số hiệu suất nghiền với độ chính xác đáng tin cậy. Nghiên cứu của Hossein 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 nghiền 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]. Tác giả này đã xây dựng mô hình thực nghiệm và mô phỏng số mẫu thử hình lăng trụ được làm từ hợp kim nhôm. Công trình nghiên cứu đã xác định được các thông số hư hại của vật liệu, khi ứng dụng các thông số hư hại vào mô phỏng số IDS (Instability Ductile Shear failure criteria) đã cho kết quả hình dạng phá hủy của mô phỏng số bị phá hủy giống với thực nghiệm. Trong nghiên cứu này, 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, đồng thời cũng nghiên cứu ảnh hưởng của việc sử dụng luật dẻo thông thường và luật dẻo có tính đến hư hại.

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

Tiêu chuẩn phá hủy do ứng suất dẻo là một mô hình hiện tượng học để dự đoán sự ứng xử khi bắt đầu hư hỏng của vật liệu bằng sự tạo ra lỗ rỗ bề mặt, sự phát triển của các lỗ rỗ và sự kết dính của các lỗ rỗ với nhau. Tiêu chuẩn sẽ được đáp ứng nếu biến dạng thực đạt đến giá trị cho trước (preset value), biến dạng dẻo tương đương tại sự can thiệp hư hại dẻo được ký hiệu là ϵ_p^{-pl} . Giá trị cho trước này phụ thuộc vào ứng suất ba phương (stress triaxiality) và tốc độ biến dạng (strain rate) [4].

$$\epsilon_D^{-pl}(\eta, \bar{\epsilon}^{pl}) \quad (1)$$

Trong đó, $\eta = -\frac{p}{q}$, p là ứng suất nén, η là ứng suất ba phương, q là ứng suất tương đương Mises, $\bar{\epsilon}^{pl}$ là độ biến dạng dẻo tương đương.

Đối với tiêu chuẩn phá hủy do ứng suất kéo biến dạng dẻo tương đương được cho bởi phương trình của ứng suất ba phương η (Hooputra et al., 2004) [4].

$$\varepsilon_D^{pl}(\eta, \dot{\varepsilon}^{pl}) = \frac{\varepsilon_T^+ \sinh[k_0(\eta^- - \eta)] + \varepsilon_T^- \sinh[k_0(\eta - \eta^+)]}{\sinh[k_0(\eta^- - \eta^+)]} \quad (2)$$

Trong đó, ε_T^+ và ε_T^- tương ứng với biến dạng dẻo tương đương khi bắt đầu phá hủy do ứng suất kéo trong trường hợp kéo và nén hai phương tương ứng. Với vật liệu đẳng hướng ứng suất ba phương trong trạng thái kéo hai phương $\eta^+ = \frac{2}{3}$ và ở trạng thái nén hai phương $\eta^- = -\frac{2}{3}$.

Bảng 1. Các thông số phá hủy do ứng suất kéo được xác định từ thực nghiệm của Hooputra [3].

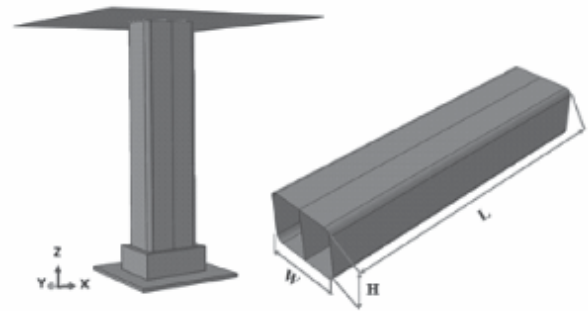
Các tham số	Bán kính	Chuyển động ($\varepsilon = 250s^{-1}$)
ε_T^+	0,26	0,44
ε_T^-	193	1494
k_0	5,277	8,6304

3. MÔ HÌNH HÓA ỐNG NHÔM CHỊU TẢI NGHIÊN VÀ CHẠM

3.1. 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 được coi là kết cấu thành mỏng hình lăng trụ được làm từ hợp kim nhôm EN AW-7108 T6 với chiều dài L khoảng 396,5 mm, chiều rộng W = 95mm,

chiều cao H = 68 mm và độ dày t = 2,5 mm. Tải dọc trục được đặt ở tấm phẳng để tác động vào kết cấu hình lăng trụ và coi tấm phẳng là mô hình cứng tuyệt đối (rigid) có khối lượng 500 kg và có vận tốc ban đầu là 10 m/s. Ống hình lăng trụ có đế để giữ khi tác động và chạm như hình:

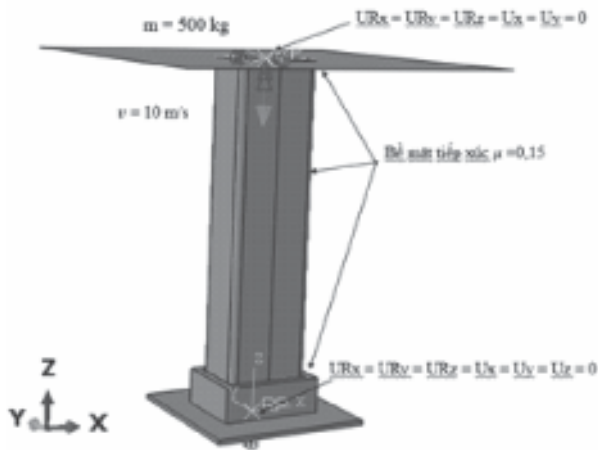


Hình 1. Mô hình và chạm trong Abaqus

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. 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 M $\ddot{u}$ schenborn-Sonne cho sự mất ổn định của hiện tượng thắt cổ chai. Các thông số này sẽ lấy từ dữ liệu thực nghiệm như trong bảng 1, tham khảo từ tài liệu [4].

Tấm phẳng được tạo ra với 1444 phần tử R3D4 (có nghĩa là phần tử cứng hoàn toàn 4 nút trong không gian ba chiều), kích thước của các phần tử có diện tích là 5 mm như trong hình 2.

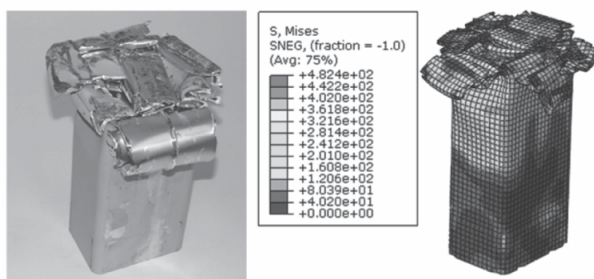
Đối với mô hình thành mỏng hình lăng trụ, kích thước tiết diện của phần tử là 5 mm. mô hình được tạo ra với 6162 phần tử S4R (phần tử vỏ 4 nút hoặc lưới vuông). Điều kiện tải và điều kiện biên được biểu thị trên hình 2.



Hình 2. Điều kiện biên và điều kiện tải

3.2. Kết quả mô phỏng ống nhôm chịu va chạm

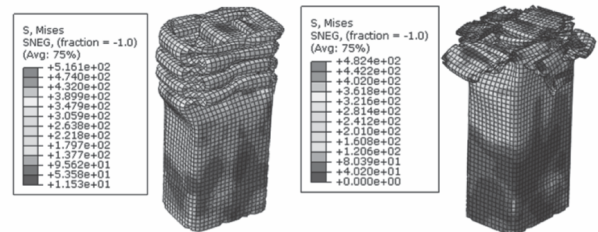
Mô hình được mô phỏng đầu tiên với vận tốc va chạm 10 m/s. Hai loại ứng xử của vật liệu được sử dụng để mô phỏng kết cấu ống nhôm: vật liệu dẻo có sử dụng luật hư hại, và vật liệu dẻo không sử dụng luật hư hại. Kết quả trên hình 3 cho thấy hình dạng phá hủy của mẫu ống nhôm khi sử dụng luật hư hại của vật liệu dẻo mô tả đúng trạng thái khi bị tải nghiêng và đập của ống. Hình dạng và kích thước phần bị nghiền tương thích cao so với kết quả thực nghiệm của Hooputra [4]. Kết quả này 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.



Hình 3. Ứng xử thực nghiệm của ống nhôm chịu va đập với vận tốc 10 m/s [4] (trái) và mô phỏng với luật hư hại (phải)

3.3. Phân tích ảnh hưởng của việc sử dụng luật hư hại và luật dẻo thông thường

Các thông số vật liệu được chọn để mô phỏng là trường hợp vật liệu dẻo thông thường, với trường hợp vật liệu dẻo có dùng mô hình hư hại của Hooputra [4]. Phân bố ứng suất trong chi tiết ứng với vận tốc va chạm 10 m/s được biểu thị trong Hình 4. Sự khác biệt rõ rệt về cả hình dạng của ống sau khi va chạm và trường phân bố ứng suất được thể hiện trong kết quả mô phỏng. Ứng suất lớn nhất khi sử dụng vật liệu dẻo thông thường là 516 MPa, trong khi với luật hư hại là 482 MPa.



Hình 4. Ứng xử của ống khi dùng luật dẻo (trái) và luật hư hại (phải)

Hình 4 cũng chỉ ra trong hai trường hợp mô phỏng không sử dụng luật hư hại, vật liệu bị nén sẽ xếp lớp và tạo thành dạng nếp gấp, ở đây gồm 4 nếp gấp nhưng bản thân vỏ không bị rách hay tách rời. Đối với ứng xử có sử dụng luật hư hại, các phần vật liệu va chạm phía đầu bị vi phạm luật và do đó bị rách theo các cạnh và nén từng phần. Hiện tượng này phù hợp với hình ảnh thực nghiệm và cho thấy khả năng dự đoán tốt ứng xử của ống bằng luật hư hại Hooputra [4].

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 chỉ ra phương pháp là đáng tin cậy khi được so sánh với kết quả thực nghiệm của Hooputra và đồng nghiệp [4] đối với trường hợp ống lăng trụ. Từ đó, mô hình tính toán này với các thông số cơ học của vật liệu nhôm đã thí nghiệm có thể dùng để đánh giá lực va chạm trong các thí nghiệm crash test ảo với mô hình ba-đờ-sốc có gắn ống nhôm để có được các kết quả đánh giá về ảnh hưởng của vận tốc hay các tham số khác. ❖

Ngày nhận bài: **03/5/2024**

Ngày phản biện: **05/6/2024**

Tài liệu tham khảo:

- [1]. E. El-Magd, H. Gese, R. Tham, H. Hooputra, H. Werner, “*Fracture criteria for automobile crashworthiness simulation of wrought aluminium alloy components*”. Materials science and Engineering Technology, p712-724. 2001.
- [2]. Jung Yun Won et al., “*Evaluation of crush performance of extruded aluminum alloy tubes based on finite element analysis with ductile fracture modeling*”, Thin-Walled Structures, Volume 200, 2024.
- [3]. Hossein Taghipoor, Ahmad Ghiaskar, Aghil Shavalipour, “*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, Gese H, Werner H. Dell H., “*A Compressive failure model for crashworthiness simulation of aluminium extrusions*”, International Journal of Crashworthiness, p 449-464, 2010.