PHÂN TÍCH ẢNH HƯỞNG CỦA XUNG KÍCH THÍCH TRONG MÔ PHỎNG SỐ

Lương Việt Dũng*, Dương Phạm Tường Minh, Ngô Như Khoa

Tóm tắt: *Trong bài báo này, ảnh hưởng của xung kích thích tới kết quả mô phỏng số một bao bì (hộp các tông) chịu tác động va chạm được nghiên cứu. Kết quả thu được cho thấy việc phân tích, lựa chọn hình dáng, giá trị gia tốc và khoảng thời gian diễn ra va chạm có ảnh hưởng rất lớn đến kết quả mô phỏng số. Đặc biệt trong trường hợp bao bì chịu các va chạm lặp lại liên tiếp. Những ảnh hưởng này được xác nhận bằng việc so sánh kết quả phân tích phần tử hữu hạn với kết quả thực nghiệm*

Từ khóa: Phần tử hữu hạn; Abaqus; Fe-safe; Sốc; Rung động.

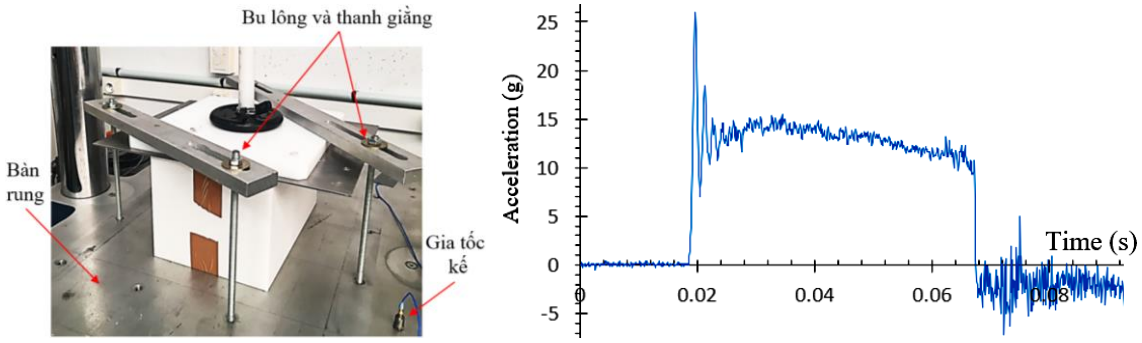
1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong ngành công nghiệp bao bì, các hộp các tông được thiết kế, để bảo vệ sản phẩm khỏi các nguy cơ từ môi trường phân phối, vận chuyển và lưu trữ, để sản phẩm có thể được vận chuyển đến tay người tiêu dùng mà không bị hư hỏng. Khi vận chuyển các sản phẩm đóng gói, chúng có thể gặp nhiều tác động cơ học như rơi, va đập, nén, rung. Trong quá trình xử lý và vận chuyển có thể gây hư hỏng cho sản phẩm. Va chạm là một trong những tác động cơ học nghiêm trọng nhất gây ra hư hỏng cho sản phẩm. Cường độ của một va chạm nhất định được đặc trưng bởi mức gia tốc hoặc biên độ của nó và khoảng thời gian diễn ra [1]. Một đặc điểm quan trọng khác của xung kích thích là sự thay đổi vận tốc, được biểu thị bằng diện tích dưới biên độ gia tốc so với đường cong thời gian. Đường cong ranh giới hư hỏng (*Damage Boundary Conditions-DBC*) được sử dụng rộng rãi để xác định thiệt hại do va chạm của một sản phẩm dựa trên độ nhạy của nó đối với sự thay đổi gia tốc và vận tốc [2]. DBC được áp dụng để đánh giá mức độ thiệt hại do va chạm lặp đi lặp lại [3-5]. Quy trình thử nghiệm thường yêu cầu sử dụng máy tạo xung kích thích có thể lập trình được để thay đổi các thông số biên độ, thời gian và vận tốc của các tác động lặp lại [6-8]. Thực tế, phân tích phần tử hữu hạn đã được ứng dụng trong phân tích thiết kế cho hộp các tông. Tuy nhiên, đối với phân tích bài toán động còn rất nhiều vấn đề cần được nghiên cứu. Mục tiêu chính của nghiên cứu này là phân tích ảnh hưởng của biên dạng xung kích thích tới kết quả mô phỏng số. Điểm mới của nghiên cứu này là sử dụng phương pháp tiếp cận phần tử hữu hạn với mô hình hộp các tông chịu va chạm.

2. NỘI DUNG CẦN GIẢI QUYẾT

2.1. Thí nghiệm

Quá trình xử lý và vận chuyển, hàng hóa đựng trong hộp các tông có nguy cơ bị hư hỏng. Va chạm là một trong những mối nguy hiểm nhất đối với hàng hóa khi vận chuyển. Do đó, thí nghiệm va chạm được sử dụng để xác định các lỗ hổng của các hộp các tông đã được thiết kế. Đầu vào của thí nghiệm va chạm được kiểm soát bằng máy tạo xung kích, cung cấp một phương pháp để đánh giá khả năng chịu va đập của hộp các tông. Trong nghiên cứu này, thí nghiệm được thực hiện bằng cách sử dụng bàn rung thủy lực servo được kết nối với bộ điều khiển rung theo thời gian thực và được lập trình để tạo ra các va chạm có biên dạng xung khác nhau. Thí nghiệm được thực hiện trong điều kiện: 23 °C và độ ẩm tương đối 50%. Thiết lập thử nghiệm để kiểm tra độ bền mỏi do va chạm lặp lại của hộp các tông trên bàn rung như hình 1a. Hộp các tông có kích thước *L x B x H = 300 x 200 x 180* được đặt trên bàn rung, được cố định với mặt bàn bằng kết cấu gồm các thanh liên kết và bu lông (*Kết cấu này có tổng khối lượng M = 8,4 kg*). Quy trình thử nghiệm được tiến hành như sau: Bàn rung tạo ra xung kích thích hình thang theo phương thẳng đứng trong khoảng thời gian rất ngắn (ms) (hình 1b). Hộp phải chịu một loạt các va chạm có cùng cường độ cho đến khi nó bị hỏng.



a) *b)*

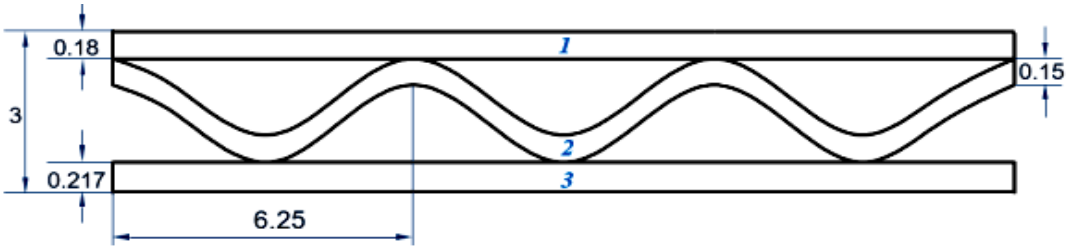
Hình 1. *Thiết lập thí nghiệm.*

2.2. Mô phỏng thí nghiệm

2.2.1. Mô hình ứng xử của giấy

Giấy là vật liệu được sử dụng trong việc sản xuất ra các tông lượn sóng. Quá trình sản xuất giấy tạo ra ba hướng ứng xử đặc trưng: Hướng máy (*MD*); Hướng ngang (*CD*); Hướng chiều dày (*ZD*). Các tông lượn sóng sử dụng trong nghiên cứu này có cấu trúc như hình 2. Các lớp giấy trong cấu trúc có khối lượng như sau: Giấy 1: 140 (g/m^2); Giấy 2: 113 (g/m^2); Giấy 3: 130 (g/m^2).

Trong nghiên cứu này, chúng tôi sử dụng mô hình IPE (*Isotropic Plasticity Equivalent*) [9] để mô tả ứng xử của giấy. Ứng suất đàn hồi trực hướng trong mặt phẳng được xác định bởi:



Hình 2*. Cấu trúc của carton lượn sóng.*

$$\{\sigma\}=\begin{Bmatrix}\sigma_x\\ \sigma_y\\ \sigma_{xy}\end{Bmatrix}=[H]\{\varepsilon^e\}=\frac{1}{\left(1-\nu_{xy}\nu_{yx}\right)}\begin{bmatrix}E_x & \nu_{yx}E_x & 0\\ \nu_{xy}E_y & E_y & 0\\ 0 & 0 & G_{xy}\left(1-\nu_{xy}\nu_{yx}\right)\end{bmatrix}\begin{Bmatrix}\varepsilon_x^e\\ \varepsilon_y^e\\ \gamma_{xy}^e\end{Bmatrix} \quad (1)$$

Vectơ ứng suất lệch tâm và tiêu chí độ dẻo của mô hình IPE được đưa ra bởi:

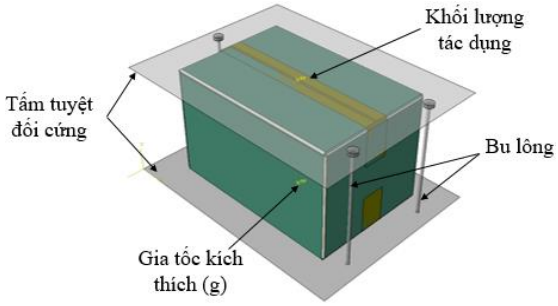
$$\{s\}=\begin{Bmatrix}s_x\\ s_y\\ s_z\\ s_{xy}\end{Bmatrix}=[L]\{\sigma\}=\frac{1}{3}\begin{bmatrix}2A & C-A-B & 0\\ C-A-B & 2B & 0\\ B-C-A & A-B-C & 0\\ 0 & 0 & 3D\end{bmatrix}\begin{Bmatrix}\sigma_x\\ \sigma_y\\ \sigma_{xy}\end{Bmatrix} \quad (2)$$

$$f=\sigma_{eq}-Y=\left(\frac{3}{2}\langle s\rangle\{s\}\right)^{1/2}-E_0\left(\varepsilon_0+\varepsilon_{eq}^p\right)^{1/n}=0 \quad (3)$$

Trong đó: Y là ứng suất đàn hồi. A, B, C, D, $E_0,\varepsilon_0,\varepsilon_{eq}^p,n$ là các tham số của mô hình IPE có thể xác định được từ đường cong của thí nghiệm kéo. Mô hình IPE này được triển khai trong phần mềm Abaqus bằng chương trình con *VUMAT*.

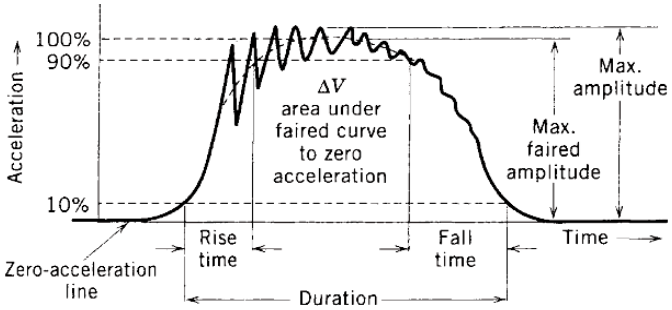
2.2.2. Mô hình phần tử hữu hạn của thử nghiệm va chạm

Thí nghiệm va chạm được mô hình hóa bằng một mô hình phần tử hữu hạn trong phần mềm Abaqus (hình 3). Mô hình này được sử dụng để mô phỏng hành vi nén của hộp khi chịu va chạm. Chia lưới sử dụng phần tử S4R có kích thước 10 mm. Hộp được coi là hỏng khi biến dạng vượt quá 5% giới hạn biến dạng dẻo.

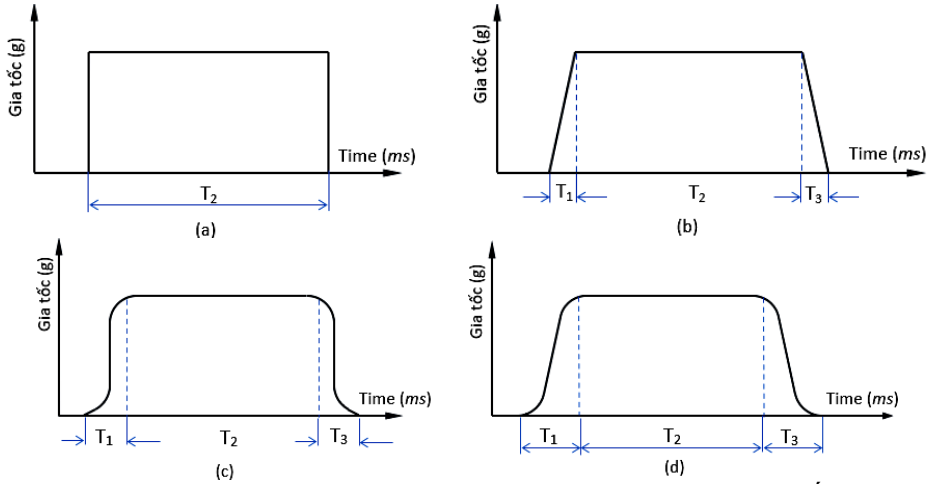


***Hình 3**. Mô hình hóa thử nghiệm va chạm trên bàn rung.*

Một trong những thông số đầu vào quan trọng để thực hiện mô phỏng này là biên dạng xung kích thích. Theo đó, khi nghiên cứu một dạng xung kích thích hình thang điển hình, đặc điểm đầu tiên là mức gia tốc tối đa được ghi nhận trong va chạm. Đặc điểm thứ hai là khoảng thời gian mà va chạm xảy ra, được gọi là khoảng thời gian của xung kích thích. Khoảng thời gian xung kích thích đo được thông thường nằm trong khoảng từ 2 -50 ms. Do khó xác định chính xác thời điểm dạng sóng giao với trục x để bắt đầu và dừng phép đo thời gian xung kích, thời gian của xung xung kích được đo theo quy ước từ các điểm ghi gia tốc như một hàm của thời gian ở một mức 10% mức gia tốc tối đa [10] (hình 4).



***Hình 4.** Xung kích thích đo trong thí nghiệm [10].*

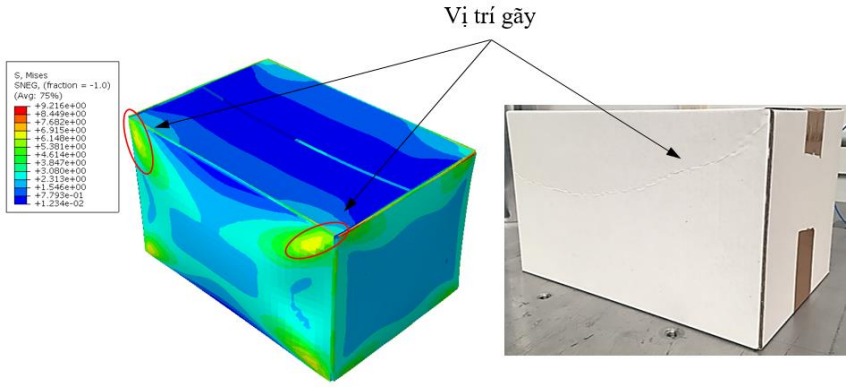


***Hình 5.** Biên dạng xung kích thích sử dụng cho mô phỏng số.*

Trong nghiên cứu này, việc sử dụng dữ liệu xung kích thích thu được từ thí nghiệm cho mô phỏng số dẫn tới kết quả chưa chính xác. Do đó, sau khi thử nghiệm cho rất nhiều trường hợp xung khác nhau, chúng tôi đưa ra số dạng xung điển hình như hình 5. Trong đó: T_1, T_3 lấy giá trị trong khoảng (0.01-0.02)T_{tn}; T_1 - Khoảng thời gian tăng đến khi gia tốc đạt giá trị lớn nhất; T_2 - Khoảng thời gian duy trì gia tốc ở giá trị cao nhất; T_3 - Khoảng thời gian gia tốc giảm về không, T_{tn} - Thời gian diễn ra va chạm đo được trong thí nghiệm; Gia tốc $A_{mp} = 0.8A_{tn}$; A_{mp} - Gia tốc mô phỏng; A_{tn} - Gia tốc đo được trong thí nghiệm.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Hình 6 biểu diễn kết quả của một mô phỏng số điển hình khi sử dụng các xung đề xuất trong phần trước.



Hình 6. *Biến dạng của hộp thu được sau một vài va chạm.*

So sánh các kết quả giữa mô phỏng và thí nghiệm được thể hiện trong bảng 1. Dễ dàng nhận thấy rằng đối với trường hợp xung kích thích có dạng như hình 5a, 5b, hộp chỉ chịu được 1-2 va chạm. Xung kích thích trong hình 5c, 5d cho kết quả sát với thí nghiệm. Để chọn được dạng xung kích thích hợp lý nhất, đặc biệt cho trường hợp hộp chịu tác động liên tiếp của các va chạm có cùng cường độ, chúng tôi tiếp tục thực hiện bài toán mô phỏng số trên phần mềm tính toán phân tích mỏi *Fe-safe* để xác định chính xác số lượng va chạm cho hộp (*trường hợp hình 5c, 5d*). Kết quả nhận được như trong bảng 2. Từ đó, có thể kết luận rằng xung kích thích trong hình 5d cho kết quả tốt nhất.

Bảng 1. *So sánh kết quả mô phỏng Abaqus hộp chịu sốc với kết quả thí nghiệm.*

Xung kích thích (*mô phỏng*)	**Gia tốc (*g*)**	**Thời gian va chạm (*s*)**	**Số lần va chạm(*mô phỏng Abaqus*)**	**Số lần va chạm (*thực nghiệm*)**
Hình 5a	*14*	*1.62E-02*	*1*	*9*
Hình 5b	*14*	*1.62E-02*	*1*	*9*
Hình 5c	*14*	*1.62E-02*	*3*	*9*
Hình 5d	*14*	*1.62E-02*	*13*	*9*
Hình 5a	*16*	*1.33E-02*	*1*	*25*
Hình 5b	*16*	*1.33E-02*	*1*	*25*
Hình 5c	*16*	*1.33E-02*	*5*	*25*
Hình 5d	*16*	*1.33E-02*	*30*	*25*

Bảng 2. *So sánh kết quả mô phỏng Fe-Safe hộp chịu các cú sốc liên tiếp với kết quả thí nghiệm.*

Xung kích thích (*mô phỏng*)	**Gia tốc (*g*)**	**Thời gian va chạm (*s*)**	**Số lượng va chạm (*thực nghiệm*)**	**Số lần va chạm (*mô phỏng Fe-safe*)**
Hình 5c	*6*	*5.94E-02*	*>1000*	*290*
Hình 5d	*6*	*5.94E-02*	*>1000*	*4436*

4. KẾT LUẬN

Trong nghiên cứu này, thông qua việc phân tích phân tử hữu hạn, chúng tôi đã làm rõ ảnh hưởng của hình dáng biên dạng xung kích thích của một va chạm tới kết quả mô phỏng va chạm của hộp các tông. Các kết quả mô phỏng được so sánh với kết quả thực nghiệm để xác nhận các ảnh hưởng đã chỉ ra. Kết quả nghiên cứu này cũng có thể áp dụng cho các nghiên cứu liên quan khác. Đặc biệt, nó là cơ sở quan trọng để chúng tôi tiếp tục nghiên cứu việc xác định đường giới hạn phá hỏng (DBC) và giới hạn mỏi cho bao bì bằng phân tích phần tử hữu hạn.

Lời cảm ơn: *Nhóm tác giả cảm ơn sự tài trợ về kinh phí của trường Đại học Kỹ thuật Công nghiệp Thái Nguyên.*

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. D. Goodwin and D. Young, *"Protective packaging for distribution"*. 439 North Duke Street Lancaster, Pennsylvania 17602 U.S.A: DEStech Publications, (2011).
[2]. R. E. Newton, *"Fragility Assessment Theory and Practice"*, (1976).
[3]. G. J. Burgess, "*Product fragility and damage boundary theory*," Packag. Technol. Sci., vol. 1, no. 1, (1988) pp. 5–10.
[4]. W. I. Kipp, "*Developments in testing products for distribution*," Packag. Technol. Sci., vol. 13, no. 3, (2000) pp. 89–98.
[5]. H. Kitazawa, K. Saito, and Y. Ishikawa, "*Effect of difference in acceleration and velocity change on product damage due to repetitive shock*," Packag. Technol. Sci., vol. 27, no. 3,(2014) pp. 221–230.
[6]. S. Horiguchi and K. Saito, "*Test method for enhanced mechanical shock fragility statistics accuracy*," Packag. Technol. Sci., vol. 32, no. 4,(2019) pp. 199–210.
[7]. H. Li, A. Chen, and N. Duan, "*Dropping Shock Characteristics of the Suspension Cushioning System with Critical Components*," Shock Vib., vol. 2017, (2017).
[8]. S. Song and A. J. Chen, "*Variational iteration method of dropping shock response for the suspension spring packaging system*," Shock Vib., vol. 2015, 2015.
[9]. P. Mäkelä and S. Östlund, "*Orthotropic elastic-plastic material model for paper materials*," Int. J. Solids Struct., vol. 40, no. 21, pp. 5599–5620, 2003.
[10]. K. L. Yam, *"The Wiley encyclopedia of packaging technology"*, 3rd ed., vol. 47, no. 11. Wiley (2010).

ABSTRACT

FINITE ELEMENT ANALYSIS OF SHOCK PULSES IN NUMERICAL SIMULATION

In this paper, the effect of the excitation pulse on the simulation results of a packaging (cardboard box) subject to impact is studied. The results showed that the analysis and selection of the shape, the acceleration value and the duration of the impact have a great influence on the numerical simulation results. Especially, in the case of the packaging being subjected to repeated bumps. These effects are confirmed by comparing the results of finite element analysis with experimental results.

Keywords: Finite element; Abaqus; Fe-safe; Vibration; Shock.

Nhận bài ngày 15 tháng 4 năm 2021
Hoàn thiện ngày 20 tháng 8 năm 2021
Chấp nhận đăng ngày 05 tháng 9 năm 2021

Địa chỉ: Trường Đại học Kỹ thuật Công nghiệp Thái Nguyên.
*Email: luongvietdung@tnut.edu.vn.