

NGHIÊN CỨU THIẾT LẬP MÔ HÌNH MÔ PHỎNG THÍ NGHIỆM NÉN VẬT LIỆU Ở TỐC ĐỘ CAO SỬ DỤNG PHƯƠNG PHÁP ÁP LỰC SÚNG BẮN HOPKINSON

A STUDY ON MODELLING AND SIMULATION OF IMPACT COMPRESSIVE TEST AT HIGH STRAIN RATE BASED ON SPLIT HOPKINSON PRESSURE BAR METHOD

Phạm Thị Hằng*, Nghiêm Văn Vinh, Lê Quang Khải

Trường Đại học Thủy Lợi, Hà Nội, Việt Nam¹

*Tác giả liên hệ / Corresponding author: pthang@tlu.edu.vn

(Nhận bài / Received: 06/01/2023; Sửa bài / Revised: 25/2/2023; Chấp nhận đăng / Accepted: 13/3/2023)

Tóm tắt - Phương pháp thí nghiệm dựa trên nguyên lý áp lực súng bắn Hopkinson được sử dụng phổ biến trên thế giới để nghiên cứu ứng xử cơ học của vật liệu ở tốc độ biến dạng rất cao. Để phát triển mô hình thí nghiệm này ở Việt Nam, rất cần có những nghiên cứu thiết kế hệ thống thí nghiệm và được kiểm nghiệm bằng các kết quả mô phỏng để có phương án thiết kế tối ưu. Trong nghiên cứu này, mô hình thí nghiệm nén hợp kim nhôm ở tốc độ rất cao dựa trên nguyên lý áp lực súng bắn Hopkinson được mô hình hóa và mô phỏng bằng phương pháp phần tử hữu hạn. Ảnh hưởng của kích thước mẫu thử được xem xét qua các kết quả biểu đồ sóng thu được từ mô phỏng. Các kết quả cho thấy, tín hiệu sóng tốt hơn, đạt được cân bằng giữa sóng tới với sóng truyền và sóng phản hồi khi đường kính mẫu thử chỉ bằng một nửa so với chiều dài. Đồng thời, trường hợp đường kính mẫu thử nhỏ cũng cho kết quả tín hiệu sóng ít nhiễu hơn.

Từ khóa - Cơ học vật liệu; thí nghiệm nén; phương pháp áp lực súng bắn Hopkinson; mô phỏng phần tử hữu hạn.

1. Đặt vấn đề

Thông thường, các đặc trưng cơ học của vật liệu như mô đun đàn hồi, độ bền, độ dẻo... được xác định bởi thí nghiệm kéo đúng tâm trên thiết bị thử cơ tính kéo-nén truyền thống. Tuy nhiên, thí nghiệm này chỉ giới hạn nghiên cứu vật liệu trong điều kiện tải trọng tĩnh ở vùng tốc độ biến dạng thấp trong khoảng $0,001 \text{ s}^{-1}$ đến 10 s^{-1} . Trong khi đó, thực tế có nhiều trường hợp, đặc biệt khi chịu tác động của va chạm mạnh, vật liệu sẽ biến dạng trong điều kiện tải trọng động với tốc độ biến dạng của vật liệu có thể đạt 100 s^{-1} đến 10000 s^{-1} [1]. Trong điều kiện tải trọng động, ứng xử cơ học của vật liệu có thể rất khác khi vật liệu ở điều kiện tải trọng tĩnh. Một trong những phương pháp nghiên cứu tính chất cơ học vật liệu ở tốc độ biến dạng rất cao là phương pháp áp lực súng bắn Hopkinson. Dạng thí nghiệm này đầu tiên được thiết lập bởi nhà nghiên cứu Hopkinson [2], sau đó được hoàn thiện bởi Kolsky [3] để nghiên cứu tính chất cơ học vật liệu khi chịu nén. Mô hình Kolsky được sử dụng phổ biến ngày nay, trong đó thành phần chính bao gồm có thanh va đập, thanh áp suất đầu vào và thanh áp suất đầu ra, mẫu thí nghiệm được kẹp giữa hai thanh áp suất. Dựa trên nguyên lý của Kolsky, các thiết kế sau này tiếp tục được sửa đổi để thực hiện thí nghiệm vật liệu khi chịu kéo, xoắn, hoặc cắt hoặc uốn, đập [4-6]. Không giống như các loại thí nghiệm cơ tính vật liệu ở các tốc độ biến dạng cao khác, thí nghiệm áp lực súng bắn Hopkinson cung cấp lượng thông tin lớn về ứng xử động học của vật liệu, đặc

Abstract - The impact test based on split Hopkinson pressure bar technique is widely applied over the world to investigate the mechanical properties of materials at relatively high strain rate. In order to develop the model of this testing method in Vietnam, an investigation on finite element analysis is necessary to optimize the arrangement of testing apparatus. In this study, the impact compressive test based on split Hopkinson pressure bar method is modelled and simulated by finite element method. The effect of dimensions of specimen on the stress wave signals is examined. The obtained results show that, better results of stress wave can be seen in the case that the diameter of the specimen is about half of the length of the specimen. Moreover, the oscillation of stress wave signals decreases by using smaller specimen.

Key words - Mechanical properties; compressive impact test; split-Hopkinson-pressure-bar method; finite element analysis.

biệt là đường cong mối quan hệ ứng suất-biến dạng [7]. Trong khi đó, thí nghiệm động học tải trọng rơi hoặc phương pháp tẩm nổ chỉ cung cấp thông tin định tính hơn là định lượng.

Thí nghiệm áp lực súng bắn Hopkinson yêu cầu thiết kế rất cẩn thận để tạo ra kết quả thí nghiệm chính xác và có thể lặp lại kết quả. Thiết kế của thí nghiệm phải được sửa đổi dựa trên loại vật liệu được thử nghiệm và đặc tính của vật liệu. Do đó, thông thường thí nghiệm áp lực súng bắn Hopkinson được thiết kế riêng biệt cho một loại biến dạng cụ thể. Có rất ít thiết bị thí nghiệm này thương mại sẵn có, hoặc các thiết bị thương mại có giá thành rất cao. Chính vì vậy, để phát triển mô hình thí nghiệm nghiên cứu tính chất cơ học của vật liệu ở tốc độ biến dạng rất cao ở Việt Nam, rất cần có những nghiên cứu thiết kế hệ thống thí nghiệm và được kiểm nghiệm bằng các kết quả mô phỏng để có phương án thiết kế tối ưu.

Nhiều nghiên cứu mô phỏng thí nghiệm vật liệu ở tốc độ biến dạng cao dựa trên nguyên lý áp lực súng bắn Hopkinson đã được thực hiện. Ramirez và cộng sự [8] đã nghiên cứu lựa chọn kích thước các thanh áp suất của mô hình thí nghiệm Hopkinson khi nén vật liệu dẻo và vật liệu giòn. Ảnh hưởng của ma sát giữa bề mặt tiếp xúc mẫu thí nghiệm và các thanh áp suất được nghiên cứu bằng phương pháp phần tử hữu hạn thực hiện bởi Iwamoto và cộng sự [9]. Panowicz và cộng sự [10] đã xem xét đến ảnh hưởng của hình dạng mẫu thí nghiệm sử dụng phần mềm LS-DYNA. Ảnh hưởng của kích thước

¹ Thuyloi University, Hanoi, Vietnam (Pham Thi Hang, Nghiem Van Vinh, Le Quang Khai)

thanh va đập được nghiên cứu bởi Gupta [11] khi mô phỏng thí nghiệm Hopkinson nén hợp kim nhôm AA7075. Vừa qua, Cao và cộng sự [12] đã phát triển mô hình thí nghiệm đập mẫu nhỏ dựa trên nguyên lý áp lực súng bắn Hopkinson và thực hiện mô phỏng cho hợp kim nhôm và thép không gỉ 304.

Trong nghiên cứu này, mô hình thí nghiệm nén hợp kim nhôm ở tốc độ rất cao dựa trên nguyên lý áp lực súng bắn Hopkinson được mô hình hóa và mô phỏng bằng phương pháp phần tử hữu hạn sử dụng phần mềm Abaqus SE. Ảnh hưởng của kích thước mẫu thử được nghiên cứu qua các kết quả biểu đồ sóng thu được từ mô phỏng. Từ đó, lựa chọn phương án thiết kế tối ưu để có thể triển khai chế tạo mô hình và ứng dụng để thí nghiệm tính chất cơ học của các loại vật liệu khác nhau ở tốc độ biến dạng rất cao.

2. Phương pháp nghiên cứu

2.1. Mô hình thí nghiệm áp lực súng bắn Hopkinson

Hình 1 thể hiện sơ đồ mô hình thí nghiệm áp lực súng bắn Hopkinson. Bộ phận chính của thiết bị bao gồm thanh va đập và hai thanh áp suất là thanh áp suất đầu vào và thanh áp suất đầu ra. Mẫu thí nghiệm được kẹp giữa hai thanh áp suất. Thanh va đập được phóng ra ở tốc độ cao và chạm với một đầu của thanh áp suất đầu vào làm cho thanh áp suất chuyển động và tác động vào mẫu thí nghiệm. Tốc độ của thanh va đập được kiểm soát bởi áp suất khí nén chứa trong hệ thống súng hơi, thường lớn hơn 1 m/s và có thể lên tới vài trăm m/s. Sóng được truyền trong thanh áp suất đầu vào sẽ tiếp tục được truyền qua mẫu thí nghiệm. Một phần sóng sẽ được phản hồi ngược trở lại thanh áp suất đầu vào và một phần truyền sang thanh áp suất đầu ra. Các cảm biến đo độ biến dạng (strain gauge) được dán ở các thanh áp suất nối ra mạch cầu và các thiết bị chuyển đổi tín hiệu để thu được sóng ứng suất của các thanh áp suất. Tương ứng với tốc độ thanh va đập khác nhau sẽ cho kết quả tín hiệu sóng khác nhau. Từ kết quả sóng ứng suất sẽ áp dụng công thức và nguyên lý để tính toán ứng suất và biến dạng của mẫu thí nghiệm.



Hình 1. Mô hình thí nghiệm nén vật liệu dựa trên nguyên lý áp lực súng bắn Hopkinson

2.2. Cơ sở lý thuyết

Khi thanh va đập tác động vào một đầu của thanh áp suất đầu vào, nó sẽ tác dụng lực giống như va đập vào tường cứng. Giả thiết là vật liệu thanh trong điều kiện đàn hồi, toàn bộ năng lượng của thanh va đập truyền hết sang cho thanh áp suất đầu vào. Thanh va đập sẽ không còn sóng ứng suất. Trong khi đó, sóng được truyền sang thanh áp suất đầu vào. Sóng này chiều dài là gấp đôi chiều dài thanh va đập và được gọi là sóng tới. Sóng tới có biên độ được tính như sau:

$$\varepsilon_i = \frac{1}{2} \frac{v_{vd}}{C} \quad (1)$$

Trong đó, ε_i là biên độ sóng truyền trong thanh áp suất đầu vào (sóng tới); v_{vd} là tốc độ của thanh va đập trước khi tác động vào thanh áp suất; C là tốc độ truyền sóng, được tính theo công thức sau:

$$C = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad (2)$$

E là mô đun đàn hồi, ρ là khối lượng riêng của vật liệu làm thanh.

Sóng ứng suất của thanh áp suất đầu vào sẽ tác động đến mẫu thí nghiệm sau một khoảng thời gian là:

$$t = \frac{L_i}{C} \quad (3)$$

Trong đó, L_i là chiều dài thanh áp suất đầu vào.

Do trở kháng của thanh đầu vào và mẫu thí nghiệm khác nhau, khi sóng ứng suất truyền tới mẫu thí nghiệm, một phần sóng sẽ phản hồi ngược lại và trở thành sóng dạng kéo truyền trong thanh áp suất đầu vào, phần còn lại sẽ truyền qua mẫu thí nghiệm đến thanh áp suất đầu ra ở dạng sóng nén. Dựa trên nguyên lý truyền sóng Lagrangian, với giả thiết sóng truyền qua mẫu thí nghiệm là đồng nhất, ứng suất và biến dạng của mẫu thí nghiệm được tính từ các kết quả sóng thu được. Dịch chuyển của thanh áp suất đầu vào tại vị trí tiếp xúc với mẫu thí nghiệm là:

$$u_1 = C \int_0^t (\varepsilon_i - \varepsilon_r) dt \quad (4)$$

Dịch chuyển của đầu thanh áp suất đầu ra tại vị trí tiếp xúc với mẫu thí nghiệm là:

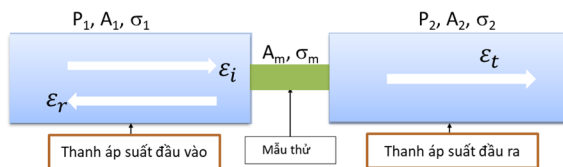
$$u_2 = C \int_0^t \varepsilon_t dt \quad (5)$$

ε_r là biên độ sóng phản hồi; ε_t là biên độ sóng truyền.

Biến dạng của mẫu thí nghiệm được tính như sau:

$$\varepsilon_m = \frac{u_1 - u_2}{l_m} = \frac{C}{l_m} \int_0^t (\varepsilon_i - \varepsilon_r - \varepsilon_t) dt \quad (6)$$

l_m : chiều dài ban đầu của mẫu thí nghiệm.



Hình 2. Mô hình tính toán

Từ mô hình để tính toán (Hình 2) cho thấy P_1, A_1, σ_1 lần lượt là lực tác dụng ở mặt mẫu tiếp xúc với thanh áp suất đầu vào, tiết diện ngang của thanh áp suất đầu vào và ứng suất trong thanh đầu vào. A_m, σ_m lần lượt là tiết diện ngang và ứng suất trong mẫu thí nghiệm. P_2, A_2, σ_2 lần lượt là lực tác dụng ở mặt mẫu tiếp xúc với thanh áp suất đầu ra, tiết diện ngang của thanh áp suất đầu ra và ứng suất trong thanh đầu ra. Thông thường, thiết kế hệ thống với tiết diện 2 thanh áp suất bằng nhau ($A_1=A_2=A$) và cùng vật liệu (nghĩa là hai thanh áp suất có mô đun đàn hồi E bằng nhau).

Với giá trị ứng suất được tính theo định luật Húc trong điều kiện vật liệu thanh biến dạng đàn hồi tuyến tính. Lực tác dụng ở mặt mẫu tiếp xúc với thanh áp suất đầu vào là:

$$P_1 = A_1\sigma_1 = A E(\varepsilon_i + \varepsilon_r) \tag{7}$$

Lực tác dụng ở mặt mẫu tiếp xúc với thanh áp suất đầu ra là:

$$P_2 = A_2\sigma_2 = A E\varepsilon_t \tag{8}$$

A: tiết diện ngang của thanh áp suất

Do đó, ứng suất trung bình tác dụng lên mẫu thí nghiệm là:

$$\sigma_m = \frac{AE(\varepsilon_i + \varepsilon_r + \varepsilon_t)}{2 A_m} \tag{9}$$

Với giả thiết đạt được cân bằng sóng ứng suất nghĩa là:

$$\varepsilon_t = \varepsilon_i + \varepsilon_r \tag{10}$$

Từ đó, được công thức thu gọn sau:

$$\sigma_m = \frac{AE\varepsilon_t}{A_m} \tag{11}$$

Biến dạng của mẫu thí nghiệm tính theo công thức sau:

$$\varepsilon_m = \frac{-2C}{L_s} \int_0^t \varepsilon_r dt \tag{12}$$

Tốc độ biến dạng của mẫu thí nghiệm:

$$\dot{\varepsilon}_m = -\frac{2C}{L} \varepsilon_r \tag{13}$$

Như vậy, từ kết quả sóng thu được từ thí nghiệm theo nguyên lý áp lực súng bắn Hopkinson có thể tính được các giá trị ứng suất và biến dạng của mẫu thí nghiệm theo công thức (10) và (11). Ứng suất được tính từ biên độ sóng truyền, biến dạng của mẫu thí nghiệm tính từ biên độ sóng phản hồi.

2.3. Mô hình phần tử hữu hạn

Các bước thiết lập mô phỏng như Hình 3.



Hình 3. Các bước để thiết lập mô phỏng mô hình thí nghiệm bằng phần mềm Abaqus

Ở trong mô phỏng này, các thanh áp suất (thanh áp suất đầu vào và thanh áp suất đầu ra) và thanh va đập chỉ làm việc trong giai đoạn biến dạng đàn hồi nên khi gán vật liệu sẽ chỉ gán “Elastic”. Vật liệu chế tạo các thanh áp suất và thanh va đập là thép C45. Trong khi đó, mẫu thử làm việc trong cả giai đoạn biến dạng đàn hồi và giai đoạn biến dạng dẻo nên sẽ gán “Elastic” và “Plastic” cho vật liệu mẫu thử. Vật liệu mẫu thử lựa chọn trong mô hình thí nghiệm là nhôm A1050.

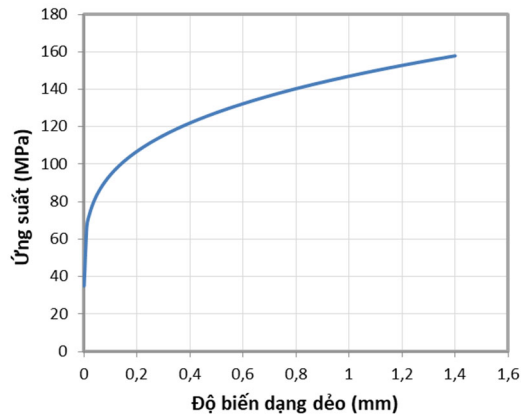
Bảng 1. Bảng khai báo thông số vật liệu của thép C45 và nhôm

Chỉ số	Thép C45	Nhôm
Khối lượng riêng (kg/m ³)	7800	2700
Mô đun đàn hồi (N/m ²)	2,05e11	6,9e10
Hệ số Poisson	0,29	0,33

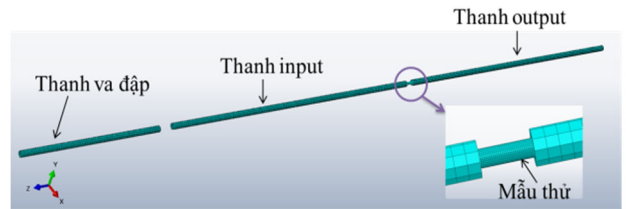
Mô hình vật liệu biến dạng dẻo của hợp kim nhôm được tham khảo từ kết quả quan hệ ứng suất – biến dạng dẻo như

trong Hình 4.

Mô hình phần tử hữu hạn được thể hiện trên Hình 5. Trong mô hình mô phỏng thí nghiệm nén vật liệu trên nguyên lý áp lực súng bắn Hopkinson gồm thanh áp suất đầu vào, thanh áp suất đầu ra, mẫu thử đặt giữa hai thanh áp suất. Thanh va đập cách thanh áp suất đầu vào khoảng 50 mm. Các thanh và mẫu thử được lắp ghép thẳng hàng và đồng tâm. Thanh va đập được hạn chế 5 bậc tự do, chỉ chuyển động theo phương z với tốc độ 50 m/s. Thanh áp suất và mẫu thử cũng được hạn chế 5 bậc tự do và chỉ chuyển động theo phương z. Hệ số ma sát giữa bề mặt mẫu thử và thanh áp suất đầu vào, giữa bề mặt mẫu thử và thanh áp suất đầu ra được đặt là 0,02. Phần tử hữu hạn dạng lập phương 8 nút với thuật toán Explicit được sử dụng trong mô phỏng.



Hình 4. Biểu đồ ứng suất-biến dạng dẻo của nhôm A1050



Hình 5. Mô hình phần tử hữu hạn

3. Kết quả và thảo luận

Như đã phân tích, từ kết quả tín hiệu sóng thu được sẽ tính được ứng suất và biến dạng của vật liệu thí nghiệm theo công thức ở trên. Do đó, kết quả quan trọng nhất của thí nghiệm áp lực súng bắn Hopkinson là đồ thị tín hiệu sóng ứng suất bao gồm sóng tới, sóng truyền và sóng phản hồi theo thời gian. Sóng ứng suất thu được phải đảm bảo sóng truyền bằng tổng sóng tới và sóng phản hồi. Ngoài ra, tín hiệu sóng không bị nhiễu.

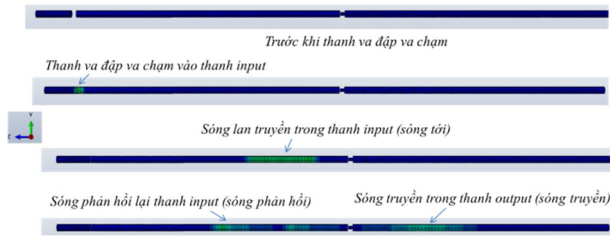
Trước hết, tiến hành mô phỏng cho trường hợp kích thước thanh áp suất được lựa chọn như bảng sau.

Bảng 2. Thông số kích thước của các thanh áp suất và mẫu thử

Thông số	Thanh va đập	Thanh áp suất đầu vào	Thanh áp suất đầu ra	Mẫu thử
Chiều dài (mm)	750	1500	1500	50
Đường kính (mm)	40	40	40	40

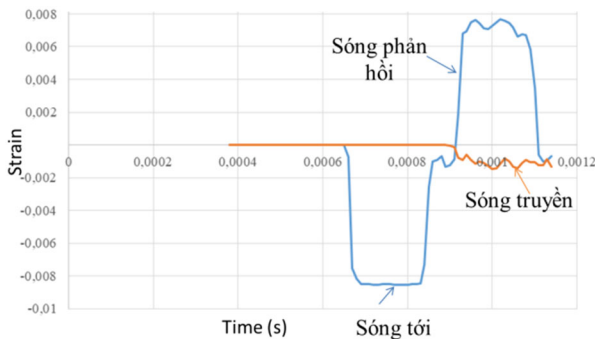
Kết quả mô phỏng quá trình truyền sóng trong các thanh được mô tả như Hình 6. Thanh va đập chuyển động

và khi va đập vào thanh áp suất đầu vào, sóng được truyền sang cho thanh áp suất đầu vào. Sóng lan truyền trong thanh áp suất đầu vào là sóng tới. Sóng này tiếp tục được truyền qua mẫu thử sang thanh áp suất đầu ra (sóng truyền) và một phần phản hồi ngược lại thanh áp suất đầu vào (sóng phản hồi). Kết quả này rất phù hợp với nguyên lý truyền sóng trong các thanh áp suất của hệ thống thí nghiệm áp lực súng bắn Hopkinson như trình bày ở trên.



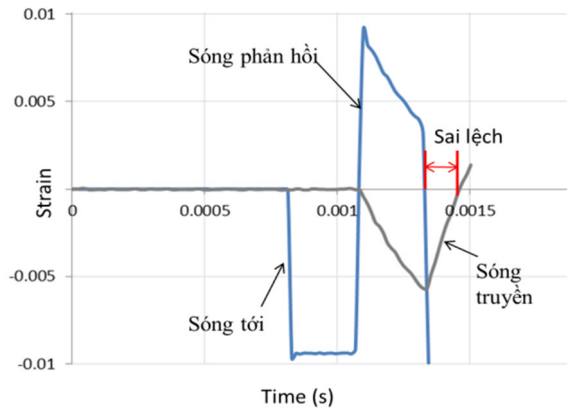
Hình 6. Quá trình truyền sóng trong các thanh áp suất

Kết quả mô phỏng thu được tín hiệu sóng được thể hiện trên Hình 7. Tín hiệu sóng tới và sóng phản xạ thu được tại điểm chính giữa của thanh áp suất đầu vào và tín hiệu sóng truyền thu được tại điểm chính giữa thanh áp suất đầu ra tương ứng với hai điểm gắn cảm biến đo độ biến dạng trong thực nghiệm. Trong trường hợp đường kính mẫu thử bằng đường kính thanh áp suất, do diện tích tiếp xúc bề mặt mẫu thử và thanh áp suất lớn nên gần như toàn bộ sóng tới phản hồi lại thanh áp suất đầu vào, tín hiệu sóng truyền rất nhỏ, dẫn đến làm biến dạng mẫu rất nhỏ. Hơn nữa, vật liệu thanh áp suất và mẫu thử khác nhau, trở kháng của hai loại vật liệu này khác nhau, tiết diện tiếp xúc lớn dẫn đến sóng truyền bị nhiễu nhiễu. Vì vậy, cần thiết phải thay đổi kích thước các thanh áp suất để khuếch đại và giảm nhiễu tín hiệu sóng truyền.

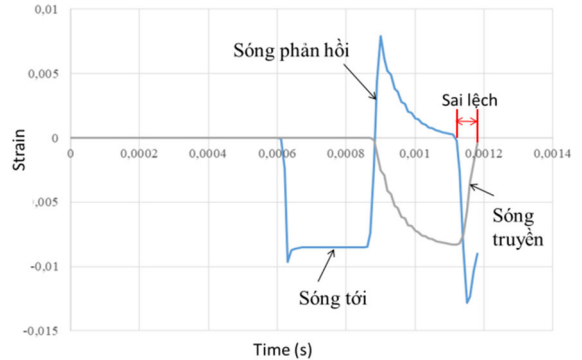


Hình 7. Tín hiệu sóng trong trường hợp đường kính mẫu thử bằng đường kính thanh áp suất

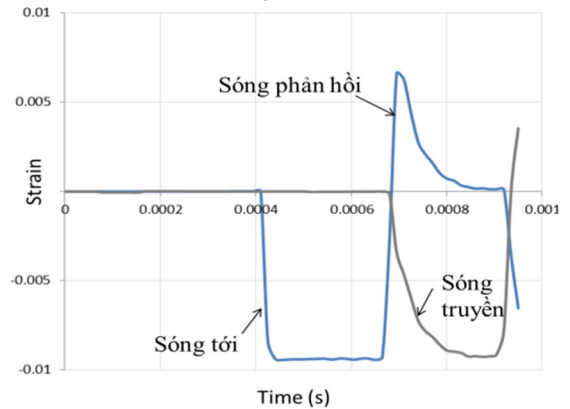
Tiếp theo, ảnh hưởng của kích thước mẫu thử đến kết quả tín hiệu sóng được xem xét. Mô phỏng được thực hiện theo các thông số cho trong Bảng 3 với sự thay đổi đường kính của mẫu thử, trong khi đó kích thước của thanh va đập, hai thanh áp suất như trong Bảng 2. Kết quả mô phỏng được thể hiện trên Hình 8. Khi giảm kích thước đường kính của mẫu thử, kết quả tín hiệu sóng đã tốt hơn rất nhiều, không bị nhiễu như Hình 7. Ngoài ra, tín hiệu sóng truyền được khuếch đại lên đủ lớn để làm biến dạng mẫu thí nghiệm. Từ Hình 8 có thể thấy ảnh hưởng của đường kính mẫu thử đến tín hiệu sóng ứng suất là rất lớn. Khi đường kính mẫu thử nhỏ chỉ 10 mm (Hình 8a), sự cân bằng sóng theo phương trình (10) dù đạt được về biên độ nhưng chu kỳ sóng truyền lớn hơn sóng tới và sóng phản hồi.



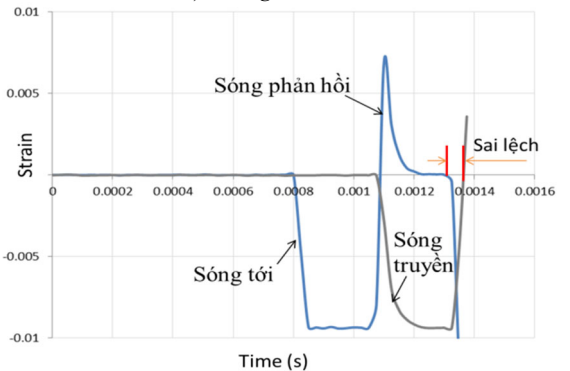
a) Thí nghiệm No21



b) Thí nghiệm No22



c) Thí nghiệm No23



d) Thí nghiệm No24

Hình 8. Ảnh hưởng đường kính mẫu thử

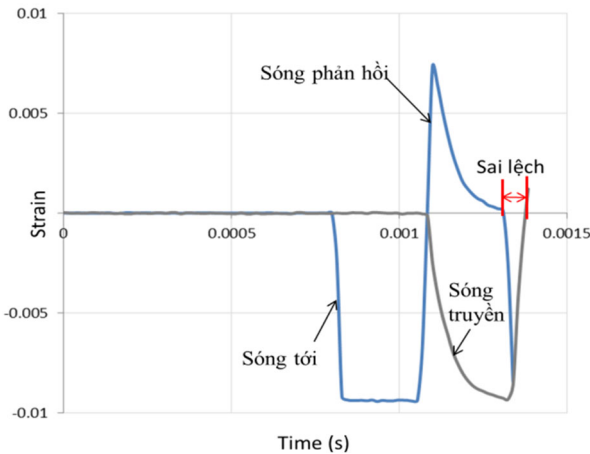
Trường hợp đường kính mẫu thử bằng 20 mm và 30 mm (Hình 8b và 8d), sự sai lệch chu kỳ có giảm so với khi đường kính mẫu thử là 10 mm. Tín hiệu sóng thu được tốt

nhất trong trường hợp mẫu thử có đường kính bằng một nửa chiều dài (Hình 8c). Trường hợp này, tín hiệu sóng đạt được cân bằng cả về biên độ và chu kỳ sóng truyền gần tương đương với chu kỳ sóng tới và sóng phản hồi. Như vậy, từ các tín hiệu sóng thu được Hình 7 và 8, có thể kết luận trường hợp mẫu thử có tỉ lệ đường kính và chiều dài là 0,5 cho kết quả tín hiệu sóng tốt nhất.

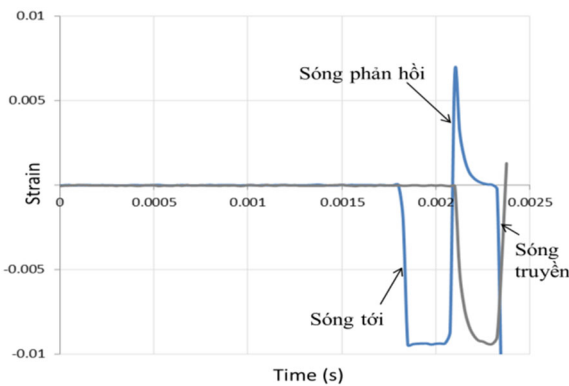
Mô phỏng được thực hiện với mẫu thử có chiều dài khác nhau, tuy nhiên luôn đảm bảo tỉ lệ đường kính và chiều dài mẫu thử là 0,5 như phân tích ở trên. Kết quả mô phỏng được thể hiện trên Hình 9 cho chiều dài mẫu thử là 40 và 60 mm. Khi thay đổi chiều dài mẫu thử, sự cân bằng biên độ sóng vẫn đảm bảo. Tuy nhiên, các trường hợp thử nghiệm này cho thấy có sự sai lệch chu kỳ của sóng truyền so với sóng phản hồi và sóng tới. Từ các kết quả mô phỏng cho thấy trường hợp mẫu thử có chiều dài 50 mm và đường kính bằng 0,5 lần chiều dài cho kết quả tín hiệu sóng tốt nhất.

Bảng 3. Thông số thay đổi đường kính của mẫu thử

Thí nghiệm	Chiều dài (mm)	Đường kính (mm)
No21	50	10
No22	50	20
No23	50	25
No24	50	30



a) Mẫu thử có chiều dài 40 mm, đường kính 20 mm

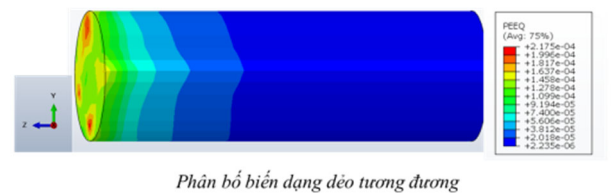
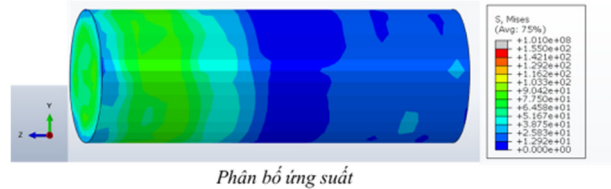


b) Mẫu thử có chiều dài 60 mm, đường kính 30 mm

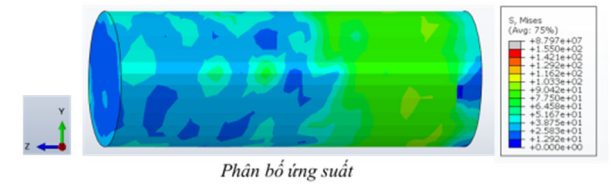
Hình 9. Ảnh hưởng chiều dài mẫu thử

Với kết quả mô phỏng ở trường hợp No22, phân bố ứng suất và độ biến dạng dẻo tương đương trong mẫu thí

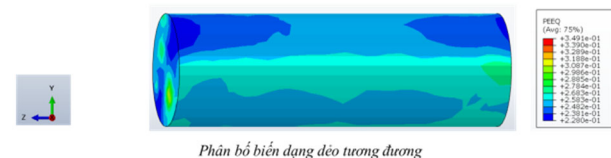
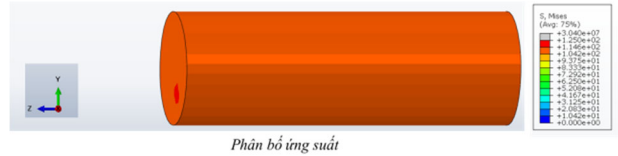
nghiệm được thể hiện trong Hình 10. Khi mẫu bắt đầu chịu tác động của thanh áp suất đầu vào từ phía bên trái, một phần mẫu chịu ứng suất và sinh ra biến dạng dẻo bề mặt tiếp xúc với thanh áp suất đầu vào như Hình 10a. Tiếp theo, quá trình sóng truyền trong mẫu thí nghiệm, ứng suất và biến dạng dẻo phân bố gần như đều trong mẫu thí nghiệm và mẫu thí nghiệm dịch chuyển dần sang bên phải. Độ biến dạng dẻo tăng theo thời gian. Khi quá trình truyền sóng kết thúc (Hình 10c), mẫu thí nghiệm bị biến dạng dẻo với độ biến dạng dẻo lớn nhất khoảng 0,3491%.



a) Khi thanh áp suất đầu vào bắt đầu tác động vào mẫu thí nghiệm



b) Khi sóng lan truyền trong mẫu thí nghiệm



c) Sau khi thí nghiệm

Hình 10. Phân bố ứng suất và biến dạng trong mẫu thử

4. Kết luận

Qua các kết quả nghiên cứu mô phỏng có thể đưa ra một số kết luận sau:

Đã thiết lập thành công mô hình phần tử hữu hạn mô phỏng thí nghiệm nén hợp kim nhôm ở tốc độ rất cao trên cơ sở nguyên lý áp lực súng bắn Hopkinson.

Ảnh hưởng của kích thước mẫu thử được xem xét và cho thấy kết quả tín hiệu sóng tốt hơn, đạt được cân bằng giữa sóng tới với sóng truyền và sóng phản hồi khi đường kính mẫu thử chỉ bằng một nửa so với chiều dài. Đồng thời, trường hợp đường kính mẫu thử nhỏ cũng cho kết quả ít nhiễu hơn.

Với các kết quả mô phỏng thu được có thể làm cơ sở cho việc thiết kế và chế tạo mô hình nén Hopkinson cho hợp kim nhôm và một số kim loại khác trong thực tế để có thể nghiên cứu tính chất cơ học vật liệu ở tốc độ biến dạng rất cao.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] D. J. Kim, K. Sirijaroonchai, S. El-Tawil, and A. E. Naaman, "Numerical simulation of the Split Hopkinson Pressure Bar test technique for concrete under compression", *International Journal of Impact Engineering*, vol. 37, pp. 141–149, 2010.
- [2] B. Hopkinson, "A Method of Measuring the Pressure Produced in the Detonation of High Explosives or by the Impact of Bullets", *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 1914.
- [3] H. Kolsky, "An Investigation of the Mechanical Properties of Materials at very High Rates of Loading", *Proceedings of the Physical Society. Section B*, vol. 62, no. 11, pp. 676–700, 1949.
- [4] T. Yokoyama, "Impact tensile stress-strain characteristics of wrought magnesium alloys", *Strain*, vol. 39, pp. 167–175, 2003.
- [5] S. Rajagopalan and V. Prakash, "A modified torsional Kolsky bar for investigating dynamic friction", *Experimental Mechanics*, vol. 39, pp. 295–303, 1999.
- [6] D. Rittel, S. Lee, and G. Ravichandran, "A shear-compression specimen for large strain testing", *Experimental Mechanics*, vol. 42, pp. 58–64, 2002.
- [7] M. Pankow, C. Attard, and A. M. Waas, "Specimen size and shape effect in split Hopkinson pressure bar testing", *The Journal of Strain Analysis for Engineering Design*, vol. 44, pp. 689–698, 2009.
- [8] H. Ramírez and C. Rubio-Gonzalez, "Finite-element simulation of wave propagation and dispersion in Hopkinson bar test", *Materials and Design*, vol. 27, pp. 36–44, 2006.
- [9] T. Iwamoto and T. Yokoyama, "Effects of radial inertia and end friction in specimen geometry in split Hopkinson pressure bar tests: A computational study", *Mechanics of Materials*, vol. 51, pp. 97–109, 2012.
- [10] R. Panowicz, J. Janiszewski, and K. Kochanowski, "Effects of Sample Geometry Imperfections on the Results of Split Hopkinson Pressure Bar Experiments", *Experimental Techniques*, vol. 43, pp. 397–403, 2019.
- [11] M. K. Gupta, "Numerical simulation of AA7075 under high strain rate with different shape of striker of split Hopkinson Pressure bar", *Materials Today Communications*, vol. 26, pp. 102178, 2021.
- [12] B. Cao, S. Yoshida, T. Iwamoto, and H. T. Pham, "Development of impact small punch test for investigating energy absorption", *International Journal of Mechanical Sciences*, vol. 208, pp. 106675, 2021.