

MÔ PHỎNG SỐ TÁC ĐỘNG CỦA ĐẠN VÀ SÓNG XUNG KÍCH LÊN TẤM COMPOSITE LÀM TỪ SỢI TRE

NUMERICAL SIMULATION OF THE IMPACT OF BULLETS AND SHOCK WAVES ON COMPOSITE PLATES MADE FROM BAMBOO FIBERS

Phùng Văn Minh¹, Nguyễn Xuân Thành³,
Vũ Cao Cường², Lê Minh Thái^{2,*}

DOI: <http://doi.org/10.57001/huiv5804.2024.211>

TÓM TẮT

Với sự phát triển vượt bậc của ngành khoa học vật liệu, vật liệu composite đã và đang được sử dụng rộng rãi trong tất cả các ngành kỹ thuật như: công nghệ ô tô, xây dựng, hàng không vũ trụ, quân sự... Đặc biệt trong giai đoạn hiện nay, với xu hướng phát triển xanh và bền vững, các nhà khoa học đang quan tâm sâu sắc tới việc nghiên cứu và ứng dụng vật liệu composite làm từ tự nhiên như: sợi tre, sợi chuối, sợi dừa... Bài báo này lần đầu tiên nghiên cứu và mô phỏng số khả năng chống xuyên đạn và ảnh hưởng của sóng xung kích lên tấm làm bằng vật liệu composite từ sợi tre. Các thông số về hình học được đánh giá cho hai trường hợp tấm composite sợi tre chịu tác động của xuyên đạn và sóng xung kích của vụ nổ TNT. Các kết quả nghiên cứu của bài báo sẽ là cơ sở quan trọng để phát triển, ứng dụng các vật liệu composite làm từ sợi tự nhiên trong lĩnh vực dân sự cũng như trong quốc phòng.

Từ khóa: Vật liệu composite; sợi tự nhiên; xuyên đạn; sóng xung kích; Ansys AutoDyn.

ABSTRACT

With the outstanding development of materials science, composite materials have been widely used in all engineering industries such as automotive technology, construction, aerospace, military, and so on. Especially in the current period, with the trend of green and sustainable development, scientists are deeply interested in the research and application of composite materials made from natural materials such as bamboo, banana, and coconut fibers. This article for the first time researches and numerically simulates bullet penetration resistance and the impact of shock waves on plates made of bamboo fiber composite materials. Geometric parameters were evaluated for two cases of natural fiber composite plates subjected to bullet penetration and the shock wave of a TNT explosion. The research results of the article will be an important basis for the development and application of composite materials made from natural fibers in the civil sector as well as in defense.

Keywords: Composite materials; natural fibers; bullet penetration; shockwave; Ansys Autodyn.

¹Khoa Cơ khí, Học viện Kỹ thuật Quân sự

²Khoa Vũ khí, Học viện Kỹ thuật Quân sự

³Viện Tên lửa, Viện Khoa học và Công nghệ Quân sự

*Email: thaileminh@lqdtu.edu.vn

Ngày nhận bài: 10/4/2024

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 12/5/2024

Ngày chấp nhận đăng: 25/6/2024

1. GIỚI THIỆU

Vật liệu composite là sự kết hợp của hai vật liệu có tính chất vật lý và hóa học khác nhau. Khi chúng được kết hợp với nhau sẽ tạo ra một loại vật liệu chuyên dụng để đáp ứng các yêu cầu kỹ thuật nhất định [1]. Khi đó, vật liệu sẽ trở nên bền hơn, nhẹ hơn hoặc có khả năng chống nhiệt và điện [2]. Vật liệu composite cũng có thể cải thiện độ bền và độ cứng [3]. Lý do vật liệu composite được sử dụng thay vì các vật liệu truyền thống là vì chúng cải thiện các đặc tính của vật liệu cơ bản và có thể áp dụng trong nhiều lĩnh vực kỹ thuật khác nhau như công nghiệp ô tô, hàng không vũ trụ, quân sự quốc phòng [2, 4].

Trong nước, Nguyễn Thanh Vy và cộng sự [5] tổng hợp và nghiên cứu tính chất vi sợi lai từ cây dừa nước. Từ đó đưa ra các tiềm năng trong ứng dụng chế tạo. Nguyễn Ngọc Thanh và nhóm nghiên cứu [6] nghiên cứu ảnh hưởng của bã cà phê đã qua xử lý kiềm và chất tương thích lên tính chất cơ học của vật liệu composite sinh học nền polypropylen. Nguyễn Thị Ngọc An và Phạm Lệ Chi [7] nghiên cứu chiết tách cấu trúc vi tinh thể từ sợi bông và ứng dụng làm chất gia cường làm khối cao su thiên nhiên. Nguyễn Tuấn Anh và Nguyễn Thị Hương [8, 9] nghiên cứu tính chất cơ học của vật liệu composite cốt sợi chuối. Nhóm nghiên cứu của Đỗ Văn Thơm và cộng sự [10-13] nghiên cứu ứng xử cơ học của các kết cấu dầm, tấm làm bằng vật liệu tiên tiến và tự nhiên dưới tác dụng của các dạng tải trọng khác nhau.

Về thử nghiệm vũ khí với khả năng chống xuyên đạn và sóng xung kích, tại Việt Nam, Phan Hoàng Cường và cộng sự [14] nghiên cứu khả năng chống xuyên đạn lên tấm thép có cường độ cao với các khoảng cách và góc nghiêng khác nhau. Nguyễn Văn Hưng và đồng nghiệp [15] nghiên cứu dao động của súng trường lợi nước cố định trên giá đỡ khi bắn và hoạt động dưới nước. Tiếp đó, nhóm của Nguyễn Văn Hưng [16] nghiên cứu ảnh hưởng của vòng xoắn súng trường đối với lực truyền động và chuyển động quay của đai quay. Một số nghiên cứu về thử nghiệm vũ khí trong nước có thể được tìm hiểu thêm tại các công trình này [17-19].

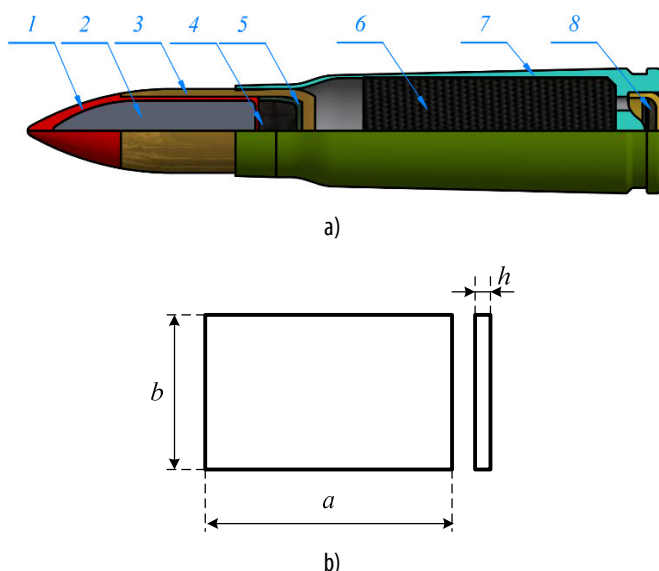
Trên thế giới, vật liệu composite từ sợi tự nhiên được nhiều nhà khoa học trong và ngoài nước quan tâm nghiên

cứu. Các nghiên cứu bao gồm việc xác định cơ tính của vật liệu và tìm ra tiềm năng ứng dụng của chúng trong thực tế kỹ thuật. Trên thế giới, gần đây nhất, năm 2023, Choudhary và cộng sự [20] tổng quan tài liệu có hệ thống về đặc tính nhiệt và truyền âm của vật liệu tổng hợp từ sợi tự nhiên cho các ứng dụng trong ngành công nghiệp ô tô. Kumar và nhóm nghiên cứu [21] phân tích cơ học tĩnh và động của vật liệu tổng hợp sợi tự nhiên lai cho các ứng dụng kỹ thuật. Imraan và cộng sự [22] nghiên cứu phương pháp xử lý và tiềm năng ứng dụng của sợi cọ đường trong các ngành kỹ thuật. Lokesh và đồng nghiệp [23] phân tích thực nghiệm tổ hợp sợi tự nhiên từ bột vỏ trấu và vỏ trứng. Seixas và cộng sự [24] khảo sát ảnh hưởng của nước đến tính chất cơ và nhiệt của vật liệu composite lai gia cố bằng sợi tự nhiên. Maithil và cộng sự [25] nghiên cứu tính chất cơ lý của vật liệu composite với các cấu hình góc xếp khác nhau gia cố bằng sợi tổng hợp tự nhiên.

Từ những phân tích ở trên, có thể thấy rằng vấn đề nghiên cứu khả năng chống xuyên đạn và sóng xung kích của vật liệu composite làm từ sợi tự nhiên, hiện tại trong và ngoài nước chưa có công trình khoa học nào đề cập tới. Chính vì vậy, trong bài báo này, các tác giả mô phỏng số tác động của đạn và sóng xung kích lên tấm composite làm từ sợi tre tự nhiên.

2. VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP

Đối tượng nghiên cứu của bài báo là tấm composite làm từ sợi tre có các kích thước $a \times b \times h$ như thể hiện ở hình 1. Lý do các tác giả chọn sợi tre là do sự phổ biến của cây tre tại nước ta. Hơn nữa, đã có nhiều nghiên cứu thực nghiệm xác định cơ tính của sợi tre được các tác giả công bố trên các tạp chí uy tín. Loại đạn được sử dụng là đạn tiêu chuẩn đạn 7,62x39 mm API BZ [14], thuốc nổ TNT cũng phổ biến và thuận tiện cho quá trình tiến hành thực nghiệm sau này.

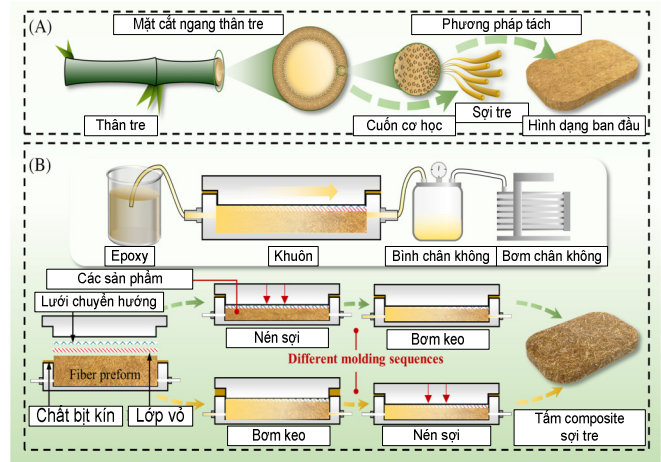


Hình 1. Đối tượng khảo sát của bài báo

a) Sơ đồ và mặt cắt ngang của đạn 7,62x39mm API BZ (1) nắp chì, (2) lõi thép cứng, (3) vỏ đồng thau, (4) bột, (5) đồng thau, (6) nhiên liệu đẩy, (7) vỏ, (8) sơn lót; b) Mô hình tấm composite

2.1. Quá trình xử lý sợi tre và tạo mẫu composite

Trong thực tế người ta xác định cơ tính của sợi tre và tấm composite bằng thực nghiệm. Quy trình xử lý sợi tre và chế tạo tấm composite sợi tre được thể hiện ở hình 2 [26].



Hình 2. Quy trình xử lý sợi tre và tạo tấm composite

2.2. Cơ tính của sợi tre và mẫu tấm composite sợi tre

Sợi tre và nền epoxy là hai thành phần tạo nên tấm composite cốt tre. Đặc điểm của các thành phần được trình bày chi tiết trong bảng 1 [27].

Bảng 1. Đặc tính vật liệu của sợi tre và nền epoxy

Cơ tính	Sợi tre	Nền epoxy
Mô đun đàn hồi, E (GPa)	11,10	3,27
Hệ số Poát-xông, ν	0,30	0,35
Khối lượng riêng, ρ (kg/m ³)	6356,88	1177,72
Mô đun đàn hồi trượt, G_{12} (GPa)	0,78	0,35

Các đặc tính hiệu dụng của lớp sợi tre - epoxy được thiết lập theo quy luật trộn, giả sử sợi tre và epoxy được liên kết ở điều kiện lý tưởng. Các chỉ số c , b và e lần lượt là viết tắt của composite, sợi tre và nền epoxy. Công thức cơ tính hiệu dụng cho khối lượng riêng hỗn hợp ρ_c , mô đun đàn hồi dọc E_1 , mô đun đàn hồi ngang E_2 , mô đun đàn hồi trượt G_{12} và hệ số poát-xông ν_{12} được tính như sau [27]:

$$\begin{aligned} \rho_c &= V_b \rho_b + V_e \rho_e; E_1 = E_b V_b + E_e (1 - V_b); \\ \frac{1}{E_2} &= \frac{V_b}{E_b} + \frac{1 - V_b}{E_e} \\ G_{12} &= \frac{G_b G_e}{V_m G_b + V_e G_e}; \nu_{12} = \nu_b V_b + \nu_e (1 - V_b) \\ \nu_{21} &= \nu_{12} \left(\frac{E_2}{E_1} \right), \nu_{23} = \nu_{12}, G_{23} = G_{13} = G_{12} \end{aligned} \quad (1)$$

trong đó, V_b và V_e là tỷ số thể tích của tre và epoxy; E_b và E_e là mô đun đàn hồi của sợi tre và nền epoxy; G_b và G_e là mô đun đàn hồi trượt của sợi tre và nền epoxy; ν_b và ν_e là hệ số poát-xông của sợi tre và nền epoxy.

Các cơ tính hiệu dụng của sợi tre và nền epoxy được tính toán và kết quả trình bày trong bảng 2.

Bảng 2. Cơ tính hiệu dụng của tấm composite sợi tre

Cơ tính	Giá trị
Mô đun đàn hồi dọc, E_1 (GPa)	6,402
Mô đun đàn hồi ngang, E_2 (GPa)	4,560
Mô đun đàn hồi trượt, G_{12} (GPa)	2,407
Hệ số Poisson dọc, ν_{12}	0,330
Hệ số Poisson ngang, ν_{21}	0,235
Khối lượng riêng, ρ_c (kg/m ³)	3,249

3. MÔ PHỎNG KẾT QUẢ VÀ NHẬN XÉT

Trên cơ sở lý thuyết và thông số cơ tính được trình bày ở phần trên, trong phần này sẽ tiến hành nghiên cứu khả năng chống xuyên đạn và sóng xung kích của tấm composite được làm từ sợi tự nhiên. Quá trình mô phỏng được thực hiện trong phần mềm Ansys AutoDyn.

Các bước thực hiện mô phỏng được thể hiện trong hình 3.

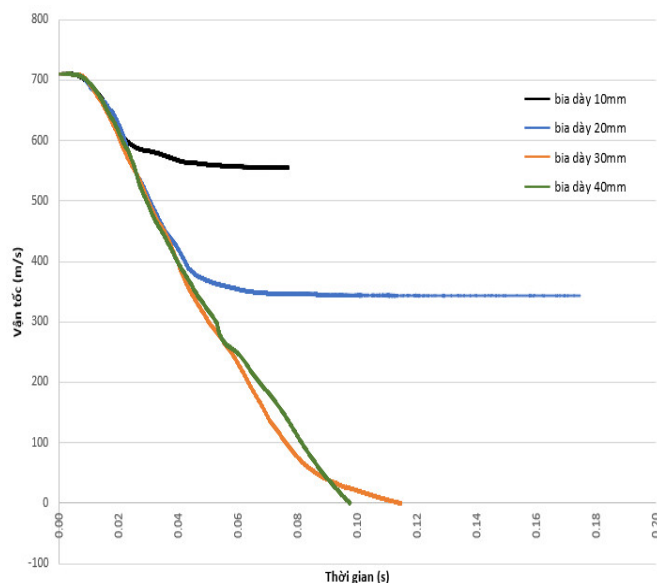


Hình 3. Các bước thực hiện mô phỏng

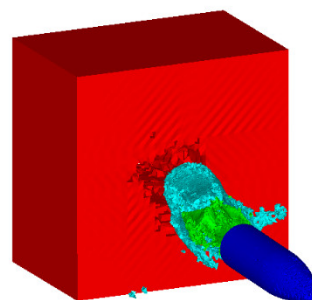
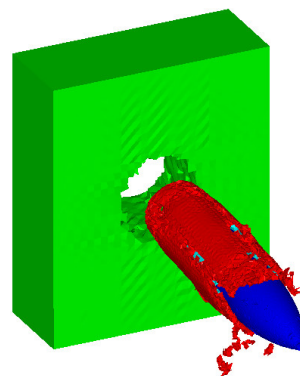
3.1. Khả năng chống xuyên đạn

- Khảo sát chiều dày tấm

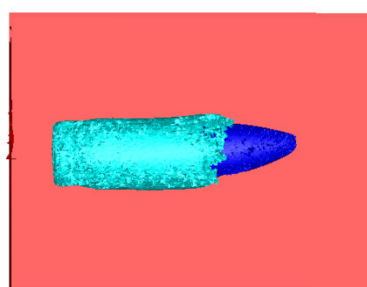
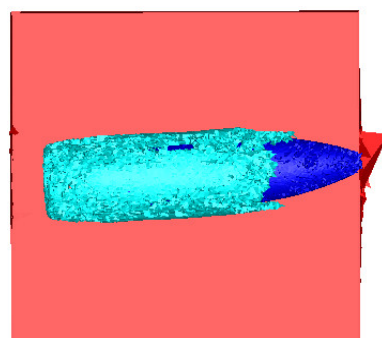
Xem xét kết cấu composite được làm từ sợi tre với các cơ tính xác định như bảng 1 và 2, có các kích thước 30x30x*i* mm (với *i* = 10, 20, 30 và 40mm) được giữ cố định trong tất cả các phần mô phỏng. Đạn được sử dụng trong mô phỏng là đạn xuyên cỡ 7,62mm tiêu chuẩn. Thiết lập điều kiện đầu vào của đạn là vận tốc 710m/s và vận tốc góc là 36250 rad/s. Khoảng cách từ đạn tới tấm bia (mẫu tấm composite sợi tre) coi như bằng 0 và được giữ cố định. Thay đổi chiều dày của kết cấu composite với các trường hợp 10, 20, 30 và 40mm. Kết quả mô phỏng được miêu tả trong hình 4 - 6.



Hình 4. Biểu đồ vận tốc của đạn theo thời gian khi đạn xuyên vào bia có độ dày khác nhau



Hình 5. Đạn xuyên vào bia dày 10mm tại 0,075s và 20mm tại 0,17s

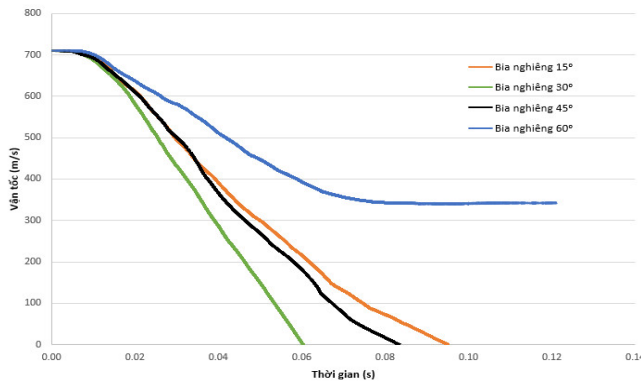


Hình 6. Đạn xuyên vào bia dày 30mm tại 0,09s và 40mm tại 0,118s

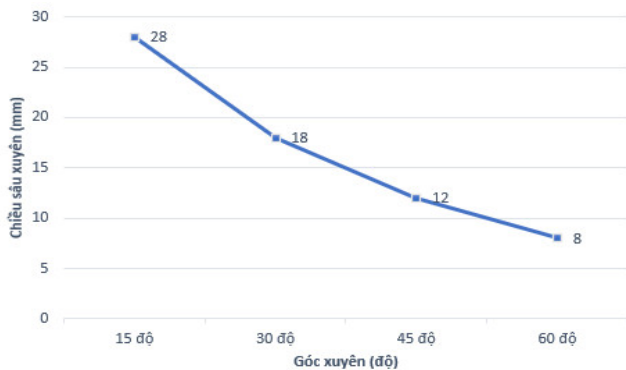
Nhận xét: Có thể thấy qua biểu đồ thể hiện vận tốc của đạn xuyên qua các bia có chiều dày thay đổi từ 10 đến 40mm, nhận thấy đạn có thể xuyên thủng bia có chiều dày 10 và 20mm. Các tấm composite có chiều dày 30mm và 40mm đạn không thể xuyên thủng. Đạn sau khi xuyên qua các tấm 10 và 20mm có vận tốc lần lượt khoảng 560m/s và 350m/s, nhận thấy chúng đều bị lắc dọc trục khá mạnh, ảnh hưởng lớn đến độ ổn định của quỹ đạo sau khi xuyên vào tấm, nhất là tấm 20mm.

- Khảo sát góc nghiêng

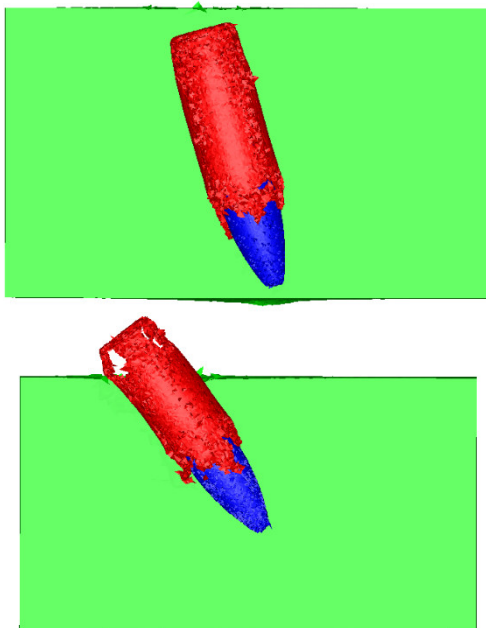
Thay đổi góc nghiêng của tấm với các trường hợp 15° , 30° , 45° và 60° , xem xét kết cấu composite có kích thước $30 \times 50 \times 30$ mm. Kết quả mô phỏng được miêu tả trong hình 7 - 10.



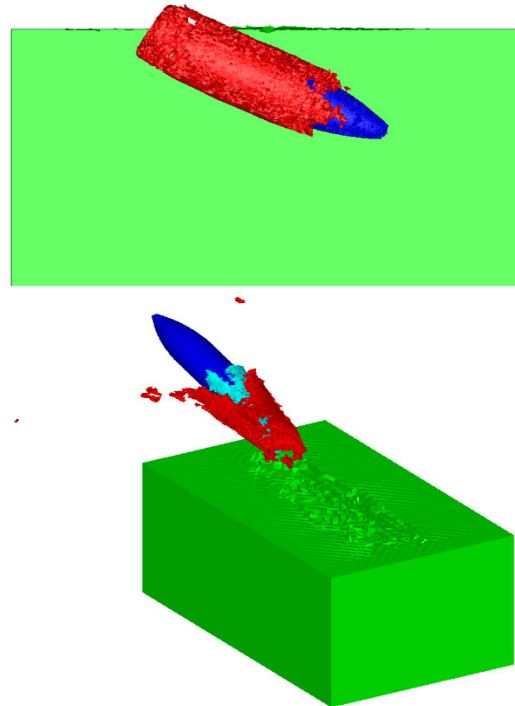
Hình 7. Biểu đồ vận tốc của đạn khi xuyên vào bia dày 30mm với các góc khác nhau



Hình 8. Biểu đồ chiều sâu xuyên phụ thuộc góc độ của đạn AK và kết cấu composite



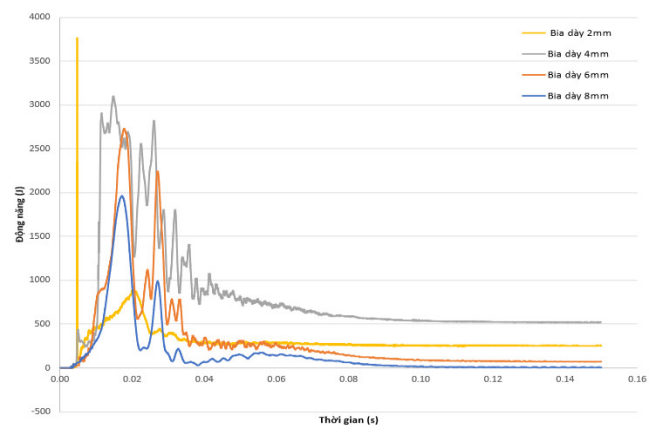
Hình 9. Đạn xuyên vào mục tiêu góc 15° tại 0,08s và góc 30° tại 0,09s



Hình 10. Đạn xuyên vào mục tiêu góc 45° tại 0,085s và góc 60° tại 0,12s

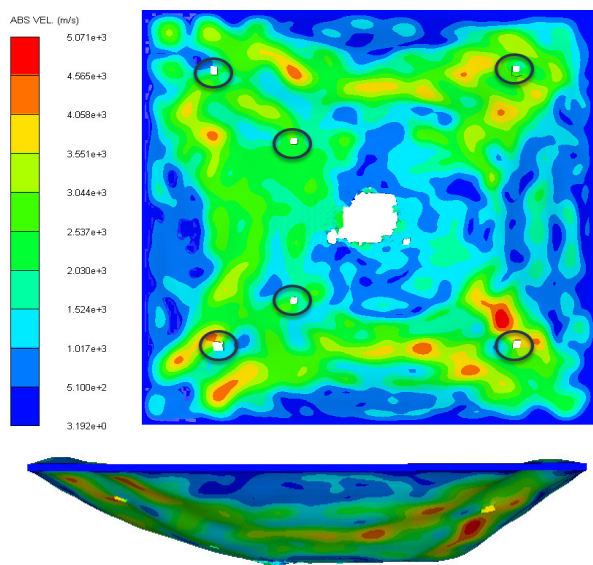
Nhận xét: Đối với tấm composite sợi tre có kích thước $30 \times 50 \times 30$ mm, khi góc nghiêng xuyên đạn thay đổi, thì khả năng xuyên của đạn cũng thay đổi đáng kể. Với 4 góc nghiêng được xem xét, không có trường hợp nào để đạn xuyên thủng tấm. Trường hợp góc nghiêng càng nhỏ thì độ xuyên sâu càng lớn. Trường hợp góc nghiêng của đạn là 60° thì đạn không xuyên vào tấm mà bị phản xạ hất ngược lên. Đây cũng là kết quả thú vị để gợi ý cho chúng ta trong quá trình thiết kế, bố trí kết cấu tấm che chắn cho khí tài làm từ vật liệu composite sợi tự nhiên.

3.2. Khả năng chống sóng xung kích

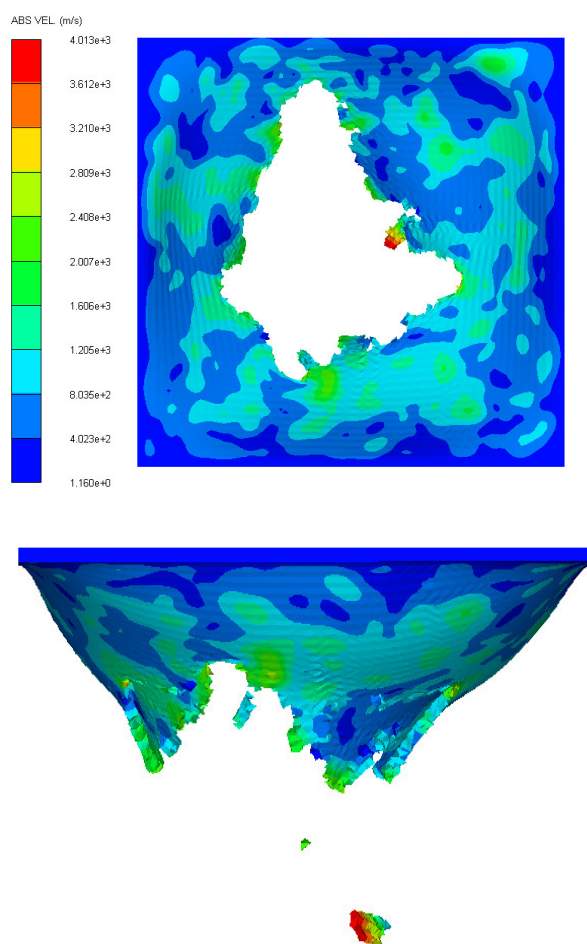


Hình 11. Biểu đồ động năng của tấm composite có chiều dày khác nhau khi chịu tải trọng nổ

Miêu tả bài toán: xem xét tấm composite sợi tre có kích thước $100 \times 100 \times j$ mm (với $j = 2, 4, 6$ và 8 mm), với lượng thuốc nổ TNT có dạng hình cầu, khối lượng 55g và coi như đặt sát bề mặt tấm composite. Tấm được giữ cố định trong suốt quá trình diễn ra tương tác với sản phẩm nổ.



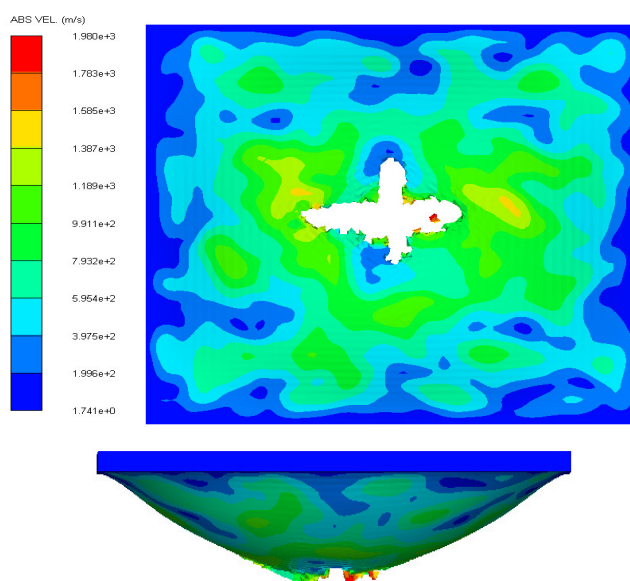
Hình 12. Tấm composite dày 2mm khi chịu tải trọng nổ tại 0,0225s



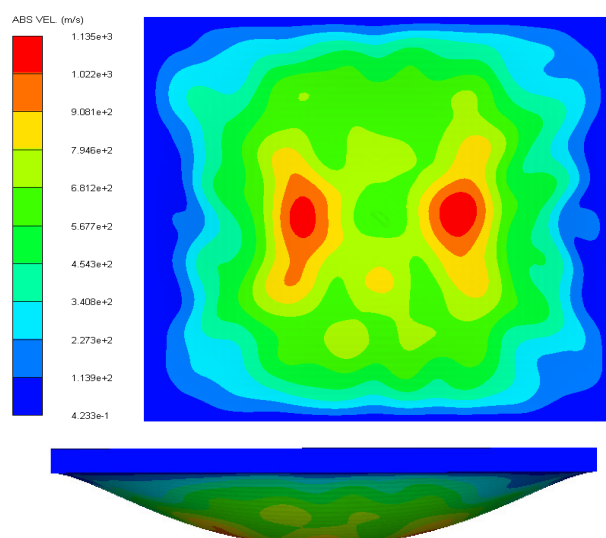
Hình 13. Tấm composite dày 4mm khi chịu tải trọng nổ tại 0,065s

Nhận xét: Có thể thấy dưới tác dụng của tải trọng nổ, tấm càng dày càng ít dao động, các tấm có chiều dày 2, 4 và 6mm bị rách, vết rách xuất hiện lớn nhất ở tấm dày 4mm, tấm 2mm không bị rách mảng lớn nhưng xuất hiện các vết thủng nhỏ hơn. Trong quá trình chịu tải trọng nổ, tấm 2mm bị rách

gần như ngay sau khi chịu tác dụng, sản phẩm nổ đi qua bề mặt tấm, làm giảm ảnh hưởng gây ra bởi áp suất của sản phẩm nổ lên toàn bộ bề mặt tấm trước khi nó bị kéo giãn đến vùng ứng suất nguy hiểm. Do đó tấm 2mm mỏng nhất nhưng không bị rách quá nhiều, thay vào đó nó bị rách một lỗ lớn ở chính giữa và xuất hiện các vết thủng nhỏ rải rác trên bề mặt tấm. Động năng của các tấm nhận được khi chịu tải trọng nổ giảm dần từ tấm dày 4mm, 6mm và 8mm. Qua biểu đồ bảo toàn động năng của các tấm, có thể thấy tấm 4mm dao động rất mạnh, động năng của tấm bị chuyển hoá một phần thành động năng của các mảnh bị rách văng ra ngoài cũng là lớn nhất, tấm 8mm gần như không có thiệt hại đáng kể, động năng của tấm 8mm sau tác động của vụ nổ gần như trở về 0.



Hình 14. Tấm composite dày 6mm khi chịu tải trọng nổ tại 0,065s



Hình 15. Tấm composite dày 8mm khi chịu tải trọng nổ tại 0,065s

4. KẾT LUẬN

Dựa trên phần mềm Ansys AutoDyn, bài báo đã đánh giá khả năng chống xuyên đạn tiểu liên và sóng xung kích của

tấm composite làm từ sợi tre. Các kết quả cho thấy các thông số về hình học như độ dày, góc động nghiêng khi xuyên của đạn có ảnh hưởng rõ rệt tới khả năng chống xuyên đạn và sóng xung kích từ vụ nổ TNT. Các đánh giá đã được chỉ ra và thảo luận trong bài báo. Kết quả của nghiên cứu này là tiền đề quan trọng để phát triển các hướng nghiên cứu tiếp theo trong tương lai như: Nghiên cứu ảnh hưởng của sóng xung kích tới các kết cấu tấm và vỏ làm bằng các vật liệu hữu cơ như sợi tre, dừa, chuối, dứa, mía. Đây cũng là tài liệu có giá trị khi tiến hành thử nghiệm vũ khí với các vật liệu composite được làm từ sợi tự nhiên trong thực tế kỹ thuật.

LỜI CẢM ƠN

Bài báo này được hỗ trợ bởi Quỹ nghiên cứu khoa học của Trường Đại học Kỹ thuật Lê Quý Đôn mã số: 23.1.10.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. I. H. Marshall, "An Introduction to Composite Materials," *J. Mech. Work. Technol.*, 7, 3, 298-299, 1983. doi: 10.1016/0378-3804(83)90009-8.
- [2]. D. Gay, S. V. Hoa, S. W. Tsai, "Composite materials: Design and applications," *Compos. Mater. Des. Appl.*, 1-528, 2002.
- [3]. H. Estrada, L. S. Lee, "Mechanics of composite materials," *Int. Handb. FRP Compos. Civ. Eng.*, 51-78, 2013. doi: 10.1115/1.3423688.
- [4]. P. D. Mangalgi, "Composite materials for aerospace applications," *Bull. Mater. Sci.*, 22, 3, 657-664, 1999. doi: 10.1007/BF02749982.
- [5]. V. T. Nguyen, N. T. Tran, T. L. Huynh, D. V. H. Le, D. Q. Hoang, "Reduced graphene oxide/cellulose microfiber hybrid from the Vietnamese Nipa palm tree: Synthesis, properties, and applications for preparation of poly(methyl methacrylate) composite," *J. Thermoplast. Compos. Mater.*, 36, 1, 253-273, 2023. doi: 10.1177/08927057211001910.
- [6]. N. N. Thanh, et al., "Effect of alkaline-treated spent coffee grounds and compatibilizer on the mechanical properties of bio-composite based on polypropylene matrix," *Vietnam J. Chem.*, 61, 53, 148-153, 2023. doi: 10.1002/vjch.202300064.
- [7]. N. N. An, P. T. Le Chi, "Extraction of microcrystalline cellulose from cotton fiber, and application to block natural rubber as reinforcing agent," *Vietnam J. Chem.*, 61, 52, 73-80, 2023. doi: 10.1002/vjch.202300070.
- [8]. T. A. Nguyen, T. H. Nguyen, "Banana Fiber-Reinforced Epoxy Composites: Mechanical Properties and Fire Retardancy," *Int. J. Chem. Eng.*, 2021. doi: 10.1155/2021/1973644.
- [9]. T. A. Nguyen, T. H. Nguyen, "Study on Mechanical Properties of Banana Fiber-Reinforced Materials Poly (Lactic Acid) Composites," *Int. J. Chem. Eng.*, 2022. doi: 10.1155/2022/8485038.
- [10]. D. M. Tien, D. Van Thom, P. Van Minh, N. C. Tho, T. N. Doan, D. N. Mai, "The application of the nonlocal theory and various shear strain theories for bending and free vibration analysis of organic nanoplates," *Mech. Based Des. Struct. Mach.*, 52, 1, 588-610, 2024. doi: 10.1080/15397734.2023.2186893.
- [11]. T. L. Doan, "Dynamic Analysis of the Laminated Composite Plate Resting on Two-Parameter Elastic Foundation Subjected To Moving Mass Using Finite Element Method," *J. Sci. Tech.*, 14, 1, 2019. doi: 10.56651/lqdtu.jst.v14.n1.467.
- [12]. D. M. Tien, D. Van Thom, N. T. Hai Van, A. Tounsi, P. Van Minh, D. N. Mai, "Buckling and forced oscillation of organic nanoplates taking the structural drag coefficient into account," *Comput. Concr.*, 32, 6, 553-565, 2023. doi: 10.12989/cac.2023.32.6.553.
- [13]. P. T. Dat, D. Van Thom, D. T. Luat, "Free vibration of functionally graded sandwich plates with stiffeners based on the third-order shear deformation theory," *Vietnam J. Mech.*, 38, 2, 103-122, 2016. doi: 10.15625/0866-7136/38/2/6730.
- [14]. C. Phan Hoang, D. Nguyen Van, H. Pham Quoc, N. Nguyen Thi Cam, M. Phung Van, T. Le Minh, "Experimental and numerical studies on the effectiveness of high-strength steels protecting against API BZ projectiles," *Nondestruct. Test. Eval.*, 2023. doi: 10.1080/10589759.2023.2274005.
- [15]. H. Nguyen Van, D. Dao Van, A. M. Zenkour, P. Van Minh, D. Van Thom, "Movement of amphibious rifles fixed on the mount when shooting and operating underwater," *Waves in Random and Complex Media*, 2022. doi: 10.1080/17455030.2022.2147244.
- [16]. N. Van Hung, P. Van Minh, D. Van Thom, N. Van Dung, "Effect of Barrel Rifling Twist on the Driving Force and the Spin Movement of the Rotation Band," *J. Vib. Eng. Technol.*, 2024. doi: 10.1007/s42417-024-01282-7.
- [17]. D. Thai Nguyen, V. Horák, L. The Nguyen, D. Van Nguyen, L. Do Duc, "A Motion Model of a Remotely Operated Underwater Vehicle: CFD Simulation," *Adv. Mil. Technol.*, 16, 2, 253-263, 2021. doi: 10.3849/aimt.01491.
- [18]. D. N. Thai, D. N. Van, P. T. Van, L. Do Duc, "Biomechanical analysis of the shooter-weapon system oscillation," *ICMT 2017 - 6th Int. Conf. Mil. Technol.*, 48-53, 2017. doi: 10.1109/MILTECHS.2017.7988729.
- [19]. N. Van Hung, N. Van Dung, P. Van Minh, T. Van Ke, D. Van Thom, "Vibration Behavior Analysis of the Ammunition Belt of the Gas-Operated Machine Gun," *J. Vib. Eng. Technol.*, 12, 2, 1563-1575, 2024. doi: 10.1007/s42417-023-00926-4.
- [20]. S. Choudhary, J. Haloi, M. Kumar Sain, P. Saraswat, V. Kumar, "Systematic literature review on thermal and acoustic characteristics of natural fibre polymer composites for automobile applications," *Mater. Today Proc.*, 2023. doi: 10.1016/j.matpr.2023.01.349.
- [21]. S. S. Kumar, et al., "Static and dynamic mechanical analysis of hybrid natural fibre composites for engineering applications," *Biomass Convers. Biorefinery*, 2023. doi: 10.1007/s13399-022-03689-2.
- [22]. M. Imraan, R. A. Ilyas, A. S. Norfarhana, S. P. Bangar, V. F. Knight, M. N. F. Norrahman, "Sugar palm (Arenga pinnata) fibers: new emerging natural fibre and its relevant properties, treatments and potential applications," *J. Mater. Res. Technol.*, 24, 4551-4572, 2023. doi: 10.1016/j.jmrt.2023.04.056.
- [23]. K. S. Lokesh, et al., "Experimental Analysis of the Rice Husk and Eggshell Powder-Based Natural Fibre Composite," *J. Inst. Eng. Ser. D*, 2023. doi: 10.1007/s40033-023-00557-9.
- [24]. G. B. de Seixas, H. F. M. de Queiroz, J. S. S. Neto, M. D. Banea, "Effect of water on the mechanical and thermal properties of natural fibre reinforced hybrid composites," *J. Compos. Mater.*, 57, 11, 1941-1958, 2023. doi: 10.1177/00219983231166570.
- [25]. P. Maithil, P. Gupta, M. L. Chandravanshi, "Study of mechanical properties of the natural-synthetic fiber reinforced polymer matrix composite," *Mater. Today Proc.*, 2023. doi: 10.1016/j.matpr.2023.01.245.
- [26]. J. Shi, et al., "Bamboo fiber-reinforced epoxy composites fabricated by vacuum-assisted resin transfer molding (VARTM): Effect of molding sequence and fiber content," *Polym. Compos.*, 45, 1, 256-266, 2024. doi: 10.1002/pc.27774.
- [27]. Z. Qiu, H. Fan, "Nonlinear modeling of bamboo fiber reinforced composite materials," *Compos. Struct.*, 238, 2020. doi: 10.1016/j.compstruct.2020.111976.

AUTHORS INFORMATION

Phung Van Minh¹, Nguyen Xuan Thanh³, Vu Cao Cuong², Le Minh Thai²

¹Faculty of Mechanical Engineering, Military Technical Academy, Vietnam

²Faculty of Special Equipment, Military Technical Academy, Vietnam

³Institute of Missile, Military Institute of Science and Technology, Vietnam