

STUDY ON THE PENETRATION RESISTANCE OF MULTILAYER STITCHED MATERIALS USING WOVEN FABRICS AND COATED SHEETS

Duong Tu Tien

Nha Trang University

ARTICLE INFO	ABSTRACT
Received: 05/02/2025 Revised: 28/3/2025 Published: 03/4/2025 KEYWORDS Soft body armor Stab-resistant materials Aramid UHMWPE Multilayer stitched materials	Aramid and UHMWPE are two high-strength fibers widely used in the fabrication of stab-resistant materials for soft body armor. This study evaluates the stab resistance of multilayered stitched materials using Twaron® woven fabric and Dyneema® SB21 coated sheets. Stab penetration tests were conducted following the NIJ Standard 0115.00, with some modifications for research purposes. The results indicate that woven fabric offers a weight advantage, while coated sheets provide thinner protection when used individually. When combining both materials, the configuration with the woven fabric on the outer layer and the coated sheet on the inner layer exhibited superior stab resistance. This difference is attributed to the design of the S1 knife and the distinct mechanical properties of the two materials. Under the tested conditions, the optimal structure was determined to consist of approximately 54% woven fabric on the outside and 46% coated sheet on the inside, significantly reducing penetration depth. This study provides a scientific basis for designing lightweight and flexible soft body armor, contributing to practical applications in personal protection.

NGHIÊN CỨU KHẢ NĂNG CHỐNG ĐÂM XUYÊN CỦA VẬT LIỆU NHIỀU LỚP MAY VIỀN SỬ DỤNG VẢI DỆT VÀ TẮM TRẮNG PHỦ

Dương Tử Tiên

Trường Đại học Nha Trang

THÔNG TIN BÀI BÁO	TÓM TẮT
Ngày nhận bài: 05/02/2025 Ngày hoàn thiện: 28/3/2025 Ngày đăng: 03/4/2025 TỪ KHÓA Áo giáp mềm Vật liệu chống đâm xuyên Aramid UHMWPE Vật liệu nhiều lớp may viền	Aramid và UHMWPE là hai loại sợi siêu bền được sử dụng rộng rãi để chế tạo vật liệu chống đâm xuyên trong áo giáp mềm. Nghiên cứu này đánh giá khả năng chống đâm xuyên của vật liệu nhiều lớp may viền sử dụng vải dệt Twaron® và tẩm trắng phủ Dyneema® SB21. Thử nghiệm đâm xuyên được thực hiện theo tiêu chuẩn NIJ (NIJ Standard-0115.00), với một số điều chỉnh để phù hợp với nghiên cứu. Kết quả cho thấy vải dệt có lợi thế về khối lượng, trong khi tẩm trắng phủ mỏng hơn khi sử dụng riêng từng loại. Khi kết hợp hai loại vật liệu, cách sắp xếp với vải dệt ở lớp ngoài và tẩm trắng phủ ở lớp trong mang lại khả năng chống đâm xuyên tốt hơn. Sự khác biệt này do thiết kế của dao S1 và tính chất cơ học riêng biệt của hai vật liệu. Theo điều kiện thử nghiệm, cấu trúc tối ưu xác định được là với khoảng 54% khối lượng vải dệt ở ngoài và khoảng 46% tẩm trắng phủ ở trong, giúp giảm đáng kể độ sâu xuyên thủng. Nghiên cứu này cung cấp cơ sở khoa học cho việc thiết kế áo giáp mềm có khối lượng nhẹ và tính linh hoạt, hướng tới ứng dụng thực tế trong bảo vệ cá nhân.

DOI: <https://doi.org/10.34238/tnu-jst.11969>

Email: tiendt@ntu.edu.vn

<http://jst.tnu.edu.vn>

28

Email: jst@tnu.edu.vn

1. Giới thiệu

Khả năng chống đâm xuyên của vật liệu, đặc biệt đối với các vũ khí sắc nhọn như các loại dao, đóng vai trò thiết yếu trong việc phát triển các trang phục bảo hộ như áo giáp chống đâm xuyên, găng tay bảo hộ, và thiết bị bảo vệ cá nhân khác. Các vật liệu bảo vệ này thường được chế tạo từ sợi siêu bền như para-aramid và UHMWPE (Ultra High Molecular Weight Polyethylene), vốn nổi bật với khả năng chịu lực kéo cao và chống cắt. Chúng thường tồn tại dưới dạng vải dệt, lớp tráng phủ,... xếp lớp có chủ đích và may viền xung quanh chống xê dịch để tạo thành vật liệu nhiều lớp may viền (VLNLMV). Các tấm VLNLMV này giúp cân bằng giữa hiệu quả bảo vệ và tính linh hoạt trong áo giáp mềm.

Đặc điểm phá hủy của vũ khí sắc nhọn khác biệt rõ rệt so với đạn đạo. Đạn và mảnh vỡ phá hủy vật liệu bằng động năng lớn (hàng trăm đến hàng nghìn J), trong khi vũ khí sắc nhọn sử dụng động năng nhỏ (vài chục J) nhưng tập trung vào cơ chế cắt (do cạnh sắc) và xuyên thủng (do đầu nhọn). Do đó, VLNLMV chống đâm cần có những lớp ngoài chống cắt hiệu quả và những lớp trong chống xuyên thủng.

Nhiều nghiên cứu trước đây đã tìm hiểu khả năng chống đâm xuyên của vật liệu bảo vệ. Ví dụ, Decker và cộng sự [1] đã cải thiện tính chống đâm xuyên của vật liệu bằng cách xử lý với chất lỏng tăng độ nhớt (STF). Tương tự, Vũ Thị Bích Nga và cộng sự [2] phân tích các yếu tố ảnh hưởng đến khả năng chống cắt và xuyên thủng của vật liệu polymer mỏng. Magdi và cộng sự [3], [4] nghiên cứu tác động của lực, hướng và chạm và các thông số dệt đến đặc tính cơ học của vải dệt sợi siêu bền.

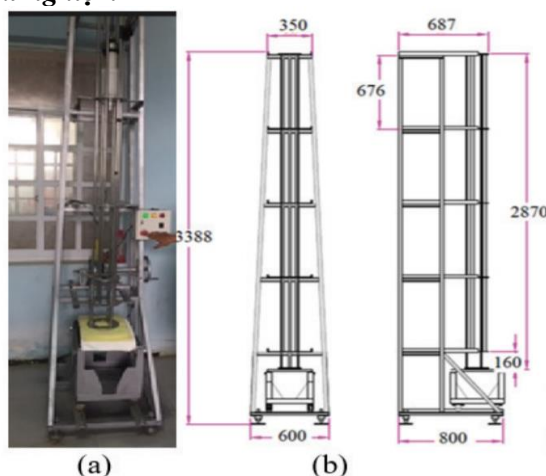
Một số nghiên cứu gần đây đã mở rộng hướng nghiên cứu bằng cách kết hợp nhiều lớp vật liệu. Dương Tử Tiên và cộng sự [5]-[7] đã công bố các kết quả về vật liệu composite nhiều lớp sử dụng sợi siêu bền, sợi lõi và sợi lai; đã phát triển áo phao chống đâm bằng cách kết hợp vải dệt para-aramid, Dyneema® SB21 và foam nổi đáp ứng mức bảo vệ 1 theo tiêu chuẩn NIJ.

Tuy nhiên, việc kết hợp vải dệt và tấm tráng phủ trong cấu trúc VLNLMV để tối ưu hóa khả năng chống đâm vẫn chưa được nghiên cứu đầy đủ. Nghiên cứu này tập trung đánh giá hiệu quả của vải dệt sợi Twaron® (para-aramid 495de) và tấm tráng phủ Dyneema® SB21 (UHMWPE), đồng thời xác định cấu trúc xếp lớp tối ưu.

Để đạt được mục tiêu này, nghiên cứu sử dụng phương pháp thực nghiệm với các mẫu thử VLNLMV được chế tạo từ hai loại vật liệu trên, sau đó tiến hành thử nghiệm đâm xuyên theo tiêu chuẩn NIJ (NIJ Standard-0115.00) [8] với một số điều chỉnh phù hợp. Các thông số chính được phân tích bao gồm độ sâu xuyên thủng và ảnh hưởng của thứ tự sắp xếp các lớp vật liệu.

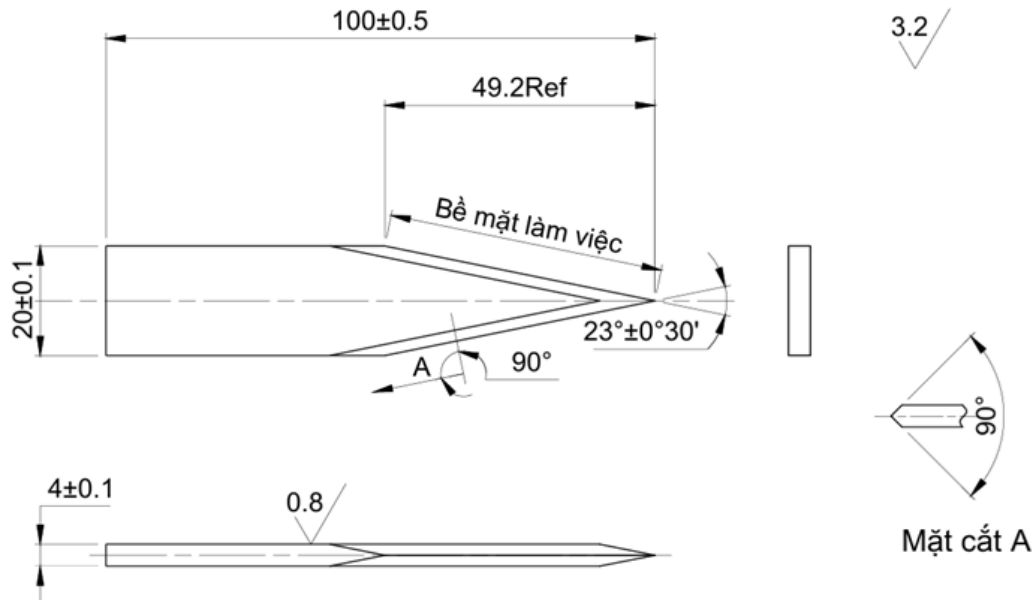
2. Phương pháp nghiên cứu

2.1. Thiết bị và điều kiện thử nghiệm

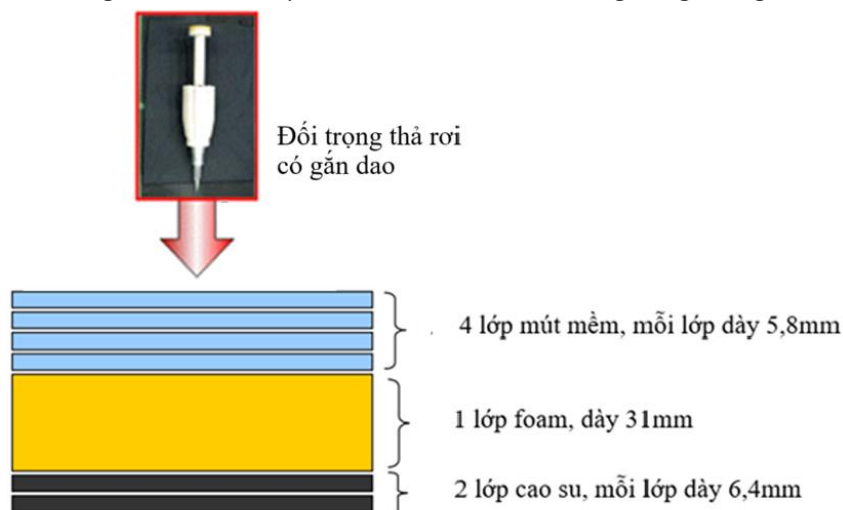


Hình 1. Tháp thử nghiệm chống đâm xuyên: (a) hình chụp, (b) thông số kích thước

Nghiên cứu tập trung so sánh đánh giá khả năng chống đâm xuyên giữa các cấu trúc VLNLMV với nhau, không nhằm xác minh mẫu thử hay sản phẩm có đạt mức độ bảo vệ theo chuẩn NIJ hay không [8]. Do đó, thiết bị thử nghiệm là tháp thử thả rơi gồm các bộ phận chính (Hình 1, Hình 2, Hình 3) được chế tạo theo tiêu chuẩn NIJ. Các điều kiện thử nghiệm được điều chỉnh để phù hợp nghiên cứu cụ thể gồm:



Hình 2. Các thông số kích thước, kỹ thuật cơ bản của dao S1 dùng trong thử nghiệm đâm xuyên



Hình 3. Cấu tạo bia đỡ và đối trọng thả rơi có gắn vật đâm

- Vật đâm: Nghiên cứu này chỉ chọn dao S1 (Hình 2), đại diện cho những vật sắc nhọn phổ biến trong đời sống với đầu nhọn và cạnh sắc. Không áp dụng dùi vì khi thực nghiệm thường xảy ra hai trường hợp: hoặc không xuyên thủng hoàn toàn các lớp vật liệu và bị văng ngược, hoặc xuyên quá sâu, không phản ánh chính xác đặc tính chống đâm của vật liệu.

- Độ sâu xuyên thủng (ĐSXT): Là khoảng cách từ mũi dao đến mặt sau của vật liệu, được dùng để đánh giá khả năng chống đâm xuyên của vật liệu. ĐSXT nhỏ thì tính chống đâm xuyên cao và ngược lại. ĐSXT trong nghiên cứu này được đo lường thông qua vết trên giấy dai xen giữa các tấm mút mềm.

- Năng lượng đâm xuyên: Chỉ chọn một mức 24 J, tương ứng mức 1 theo tiêu chuẩn NIJ, phù hợp với động lực đâm của một người bình thường tạo ra.

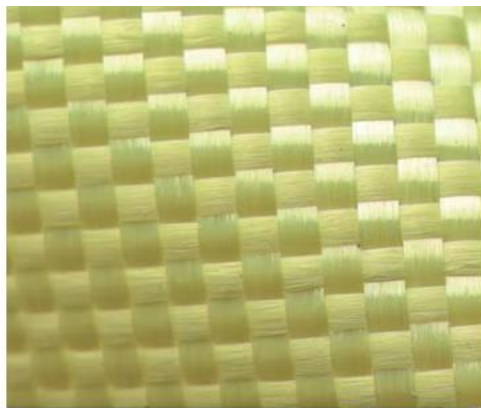
- Góc tấn công (đâm): Chỉ chọn vuông góc với bề mặt vật liệu, do đây là góc thường tạo ra ĐSXT lớn nhất.

2.2. Vật liệu chống đâm xuyên

Sản phẩm phải thuận tiện và thoải mái nên cần chọn các lớp dạng tấm mỏng mềm mại đã được thương mại hoá có các đặc tính chống cắt và xuyên thủng để tạo thành VLNLMMV chống đâm xuyên. Kế thừa các kết quả nghiên cứu trước đó [4]-[6], chúng tôi chọn 2 dạng vật liệu thành phần là vải dệt thoi và tấm tráng phủ sử dụng 2 loại sợi siêu bền aramid và UHMWPE (thông số kỹ thuật và hình ảnh xem thêm ở Bảng 1 và Hình 4) như sau:

Bảng 1. Thông số kỹ thuật của vật liệu thành phần tổ hợp làm VLNLMMV chống đâm xuyên

Tên	Thông số KT sợi (denier)	Mật độ dệt (sợi/in)	Bề dày 1 lớp (mm)	Khối lượng mặt riêng 1 lớp (g/m ²)
A: Vải dệt thoi sợi Twaron® (Para-aramid 495de)	495	45x45	0,31	210
B: Tấm mỏng tráng phủ (Dyneema® SB21)			0,2	145



1 mm

(A)



(B)

Hình 4. Hình chụp hai loại vật liệu thành phần dùng tổ hợp thành VLNLMMV chống đâm xuyên
(A): Vải dệt thoi sợi Twaron® (para-aramid 495de); (B): Tấm mỏng tráng phủ (Dyneema® SB21)

- Vải dệt vân điểm, với mật độ dệt cao từ sợi siêu bền Twaron® (para-aramid 495de) liên tục của hãng Teijin (Ký hiệu: A). Đây là các lớp vật liệu chịu cả cắt và xuyên thủng. Sợi aramid và vải dệt từ loại sợi siêu bền cơ bản này hiện nay được ứng dụng nhiều trong các sản phẩm chống đạn và chống đâm xuyên.

- Tấm vật liệu mỏng tráng phủ Dyneema® SB21 mềm mại (spectra shield) của hãng DSM chế tạo, loại có tác dụng chịu xuyên thủng là chính, chịu cắt ít hơn (Ký hiệu: B), đây là vật liệu phổ biến chế tạo các loại áo giáp chống đạn. Cấu trúc 1 tấm Dyneema® SB21 được chế tạo từ 2 lớp sợi siêu bền liên tục UHMWPE xếp theo 2 phương vuông góc nhau, 2 mặt là 2 lớp fim mỏng PE dùng cố định 2 lớp sợi siêu bền bên trong.

2.3. Tổ hợp vật liệu mẫu thử chống đâm xuyên

Các mẫu thử là tấm VLNLMMV được tạo ra với kích thước 35×40 cm², tương ứng với diện tích của một tấm chống đâm xuyên trong áo giáp. Mục tiêu nghiên cứu này nhằm: So sánh khả

năng chống đâm xuyên của VLNLNV chỉ sử dụng 1 vật liệu (A hoặc B); xác định cấu trúc kết hợp tối ưu của VLNLNV khi sử dụng cả hai loại vật liệu A và B. Do đó, hai nhóm mẫu thử được thực hiện tổ hợp như sau:

Mẫu thử sử dụng một loại vật liệu (A hoặc B):

Khả năng chống đâm xuyên của VLNLNV sử dụng một loại vật liệu (A hoặc B) được đánh giá thông qua hai mối quan hệ: ĐSXT và độ dày của mẫu thử; ĐSXT và khối lượng của mẫu thử. Nhóm mẫu thử được thiết kế với số lớp thay đổi có kiểm soát, sau đó thử nghiệm tính chất chống đâm xuyên trên tháp thử nghiệm thả rơi như Hình 1.

Mẫu thử sử dụng hai loại vật liệu (A và B):

Khi kết hợp hai loại vật liệu, thứ tự sắp xếp và tỷ lệ giữa các lớp vải dệt A và tấm tráng phủ B ảnh hưởng lớn đến khả năng chống đâm xuyên. Do đó, hai cách sắp xếp tiêu biểu được thiết kế, với khối lượng cố định khoảng 700 g/tấm.

Cách 1: Tất cả lớp A ở phía ngoài, lớp B ở phía trong.

Cách 2: Tất cả lớp B ở phía ngoài, lớp A ở phía trong.

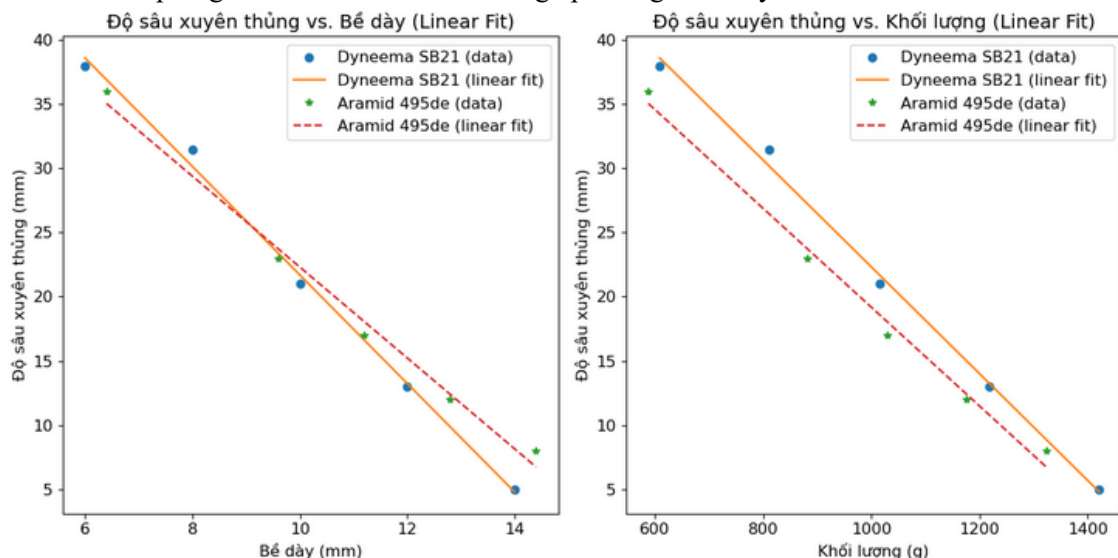
Mỗi cách sắp xếp bao gồm 7 điểm thí nghiệm ứng với 7 mẫu thử với tỷ lệ % lớp A và lớp B thay đổi tăng giảm ngược nhau từ 0% đến 100%. Việc thay đổi cấu trúc theo cách này cho thấy hiệu quả chống đâm và cách hai loại vật liệu phối hợp để phân tán lực xuyên thủng và cắt.

3. Kết quả và bàn luận

3.1. Khả năng chống đâm xuyên của VLNLNV khi chỉ sử dụng 1 loại vật liệu

Hình 5 thể hiện mối quan hệ giữa ĐSXT với độ dày và khối lượng của hai loại vật liệu khi thử nghiệm chống đâm xuyên vuông góc với dao S1 ở mức năng lượng 24 J. ĐSXT lớn phản ánh khả năng chống đâm kém, trong khi giá trị nhỏ hơn cho thấy hiệu quả bảo vệ cao hơn. Kết quả cho thấy, khi xét trên cùng độ dày, nếu ĐSXT lớn hơn 25 mm, tấm tráng phủ B có khả năng chống đâm xuyên kém hơn so với vải dệt A. Tuy nhiên, khi ĐSXT nhỏ hơn 25 mm, tấm tráng phủ lại thể hiện hiệu quả bảo vệ tốt hơn. Điều này cho thấy tấm tráng phủ có khả năng phân tán năng lượng tốt hơn khi độ xuyên thủng ở mức thấp. Khi so sánh trên cùng khối lượng, vải dệt A luôn có ĐSXT nhỏ hơn so với tấm tráng phủ B, chứng tỏ hiệu quả bảo vệ vượt trội trong điều kiện này.

Như vậy, tấm tráng phủ B thích hợp để giảm độ dày sản phẩm, trong khi vải dệt A có lợi thế hơn trong việc giảm khối lượng. Mối quan hệ này cung cấp cơ sở khoa học cho việc thiết kế VLNLNV đáp ứng tiêu chuẩn NIJ đối với áo giáp chống đâm xuyên.



Hình 5. Mối quan hệ giữa ĐSXT với độ dày (a) và khối lượng (b) mẫu thử của hai loại vật liệu vải dệt và tấm tráng phủ

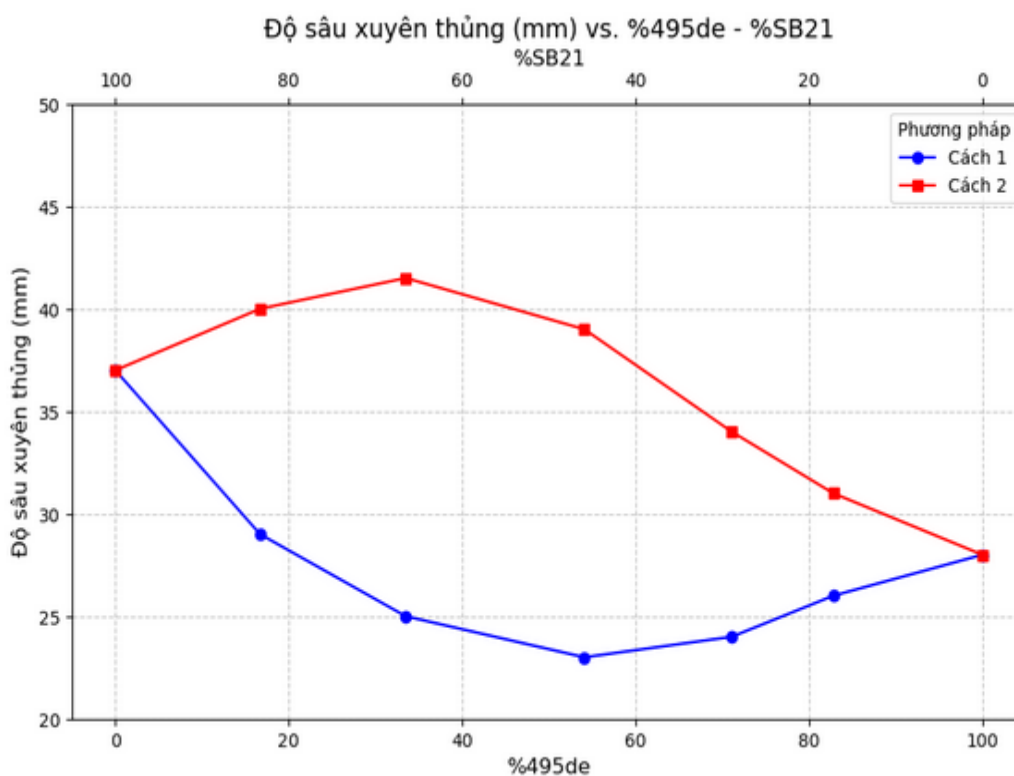
3.2. Hiệu quả chống đâm xuyên của VLNLNV khi kết hợp hai loại vật liệu

Hình 6 minh họa mối quan hệ giữa ĐSXT với tỷ lệ % khối lượng của vải dệt A và tấm tráng phủ B trong hai cách sắp xếp VLNLNV. Kết quả cho thấy trong cả hai cách sắp xếp, điểm đầu tiên của đường biểu diễn (100% B, 0% A) có ĐSXT lớn hơn so với điểm cuối (100% A, 0% B). Điều này khẳng định rằng khi sử dụng đơn lẻ với cùng khối lượng, vải dệt A có khả năng chống đâm xuyên tốt hơn tấm tráng phủ B.

Khi kết hợp cả hai vật liệu, thứ tự xếp lớp ảnh hưởng đáng kể đến khả năng chống đâm xuyên. Cách 1 (vải dệt bên ngoài, tấm tráng phủ bên trong) luôn có ĐSXT thấp hơn so với **Cách 2** (tấm tráng phủ bên ngoài, vải dệt bên trong), chứng tỏ hiệu quả bảo vệ tốt hơn. Trong **Cách 1**, cấu trúc tối ưu được xác định tại điểm thực nghiệm thứ 4, với khoảng 54% khối lượng vải dệt ở lớp ngoài và khoảng 46% khối lượng tấm tráng phủ ở lớp trong, mang lại giá trị ĐSXT thấp nhất.

Sự khác biệt này xuất phát từ đặc điểm thiết kế của dao S1 và tính chất cơ học của hai vật liệu: Vải dệt bên ngoài hấp thụ năng lượng cắt từ cạnh sắc của dao, giúp giảm đáng kể tác động ban đầu của lực đâm; Tấm tráng phủ bên trong phân tán năng lượng xuyên thủng từ mũi dao, ngăn chặn dao đâm sâu vào VLNLNV.

Như vậy, cách sắp xếp với vải dệt ở ngoài và tấm tráng phủ ở trong là giải pháp để tăng cường khả năng chống đâm xuyên của VLNLNV. Tỷ lệ hai loại vật liệu thành phần có thể được xác định thông qua thực nghiệm trong những điều kiện cụ thể, giúp tối ưu hóa hiệu suất bảo vệ.



Hình 6. Mối quan hệ giữa ĐSXT với % khối lượng vải dệt 495de và tấm tráng phủ SB21 theo 2 cách sắp xếp

4. Kết luận

Nghiên cứu này đã đánh giá khả năng chống đâm xuyên của VLNLNV được tạo từ vải dệt mật độ cao Twaron® (para-aramid 495de) (A) và tấm tráng phủ Dyneema® SB21 (B). Thử nghiệm đâm xuyên được thực hiện theo tiêu chuẩn NIJ với một số điều chỉnh phù hợp với nghiên cứu, rút ra các kết luận chính như sau:

Vật liệu đơn lẻ: Khi xét trên cùng độ dày, VLNLMMV từ những tấm tráng phủ Dyneema® SB21 có khả năng chống đâm tốt hơn. Ngược lại, khi so sánh trên cùng khối lượng, những lớp vải dệt Twaron® vượt trội hơn.

Vật liệu kết hợp: Thứ tự sắp xếp và tỷ lệ lớp vật liệu ảnh hưởng đáng kể đến hiệu quả bảo vệ. Với VLNLMMV có khối lượng khoảng 700 g/tấm, thử nghiệm với dao S1 ở mức năng lượng 24 J cấu trúc tối ưu là khoảng 54% khối lượng vải dệt ở lớp ngoài và khoảng 46% khối lượng tấm tráng phủ ở lớp trong. Cách bố trí này tối ưu hóa khả năng chống đâm xuyên nhờ sự kết hợp giữa khả năng hấp thụ lực cắt của vải dệt và khả năng ngăn xuyên thủng của tấm tráng phủ.

Nghiên cứu này cung cấp cơ sở khoa học cho việc thiết kế áo giáp mềm có trọng lượng nhẹ, linh hoạt và khả năng bảo vệ cao, hướng đến ứng dụng thực tế trong bảo vệ cá nhân. Để hoàn thiện hơn, các nghiên cứu tiếp theo nên mở rộng thử nghiệm với nhiều loại dao khác nhau, mức năng lượng đâm xuyên cao hơn và sự kết hợp nhiều loại vật liệu hơn, nhằm tối ưu hóa tính bảo vệ trong các điều kiện thực tế đa dạng.

Để hoàn thiện hơn, hướng nghiên cứu tiếp theo của chúng tôi là mở rộng thử nghiệm với dao P1, mức năng lượng đâm xuyên cao hơn và sự kết hợp nhiều loại vật liệu hơn nhằm tối ưu hóa tính bảo vệ trong các điều kiện thực tế đa dạng. Ngoài ra, cần nghiên cứu bổ sung các lớp vật liệu hỗ trợ, chẳng hạn như lớp hấp thụ năng lượng hoặc lớp ma sát cao để tăng hiệu quả chống đâm. Việc đánh giá độ bền của VLNLMMV sau nhiều lần sử dụng hoặc tiếp xúc với môi trường khắc nghiệt cũng là một hướng quan trọng để đảm bảo hiệu suất bảo vệ lâu dài của sản phẩm.

Lời cảm ơn

Xin trân thành cảm ơn đến Trường Đại học Nha Trang đã hỗ trợ nghiên cứu này qua đề tài: "Nghiên cứu chế tạo vật liệu laminated composites dùng trong áo phao cứu sinh chống đâm xuyên" (TR2023-13-40).

TÀI LIỆU THAM KHẢO/ REFERENCES

- [1] M. J. Decker, C. J. Halbach, C. H. Nam, N. J. Wagner, and E. D. Wetzel, "Stab resistance of shear thickening fluid (STF)-treated fabrics," *Composites Science and Technology*, vol. 66, no. 13, pp. 1716-1724, 2006.
- [2] T. B. N. Vu, T. Vu-Khanh, and J. Lara, "Effect of friction on cut resistance of polymers," *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, vol. 18, no. 23, pp. 23-35, 2005.
- [3] E. Magdi, "Investigation of Puncture Behaviour of Flexible Silk Fabric Composites for Soft Body Armour," *Journal of Fibers & Textiles in Eastern Europe*, vol. 22, no. 5(107), pp. 71-76, 2014.
- [4] E. Magdi, A. Affaf, and E. Shaimaa, "Cutting resistance of flexible armour using multiple layers of triaxial Kevlar fabric," *J. Ind. Text.*, vol. 51, no. 1_suppl, pp. 1564S-1591S, 2022.
- [5] T. T. Duong, J. S. Kim, and Y. Huh, "Evaluation of anti-stabbing performance of fabric layers woven with various hybrid yarns under different fabric conditions," *Journal of Fibers and Polymers*, vol. 12, no. 6, pp. 808-815, 2011.
- [6] T. T. Duong, Y. S. Kim, and G. S. Chung, "Stab resistance of woven and nonwoven aramid fabric composites," *Journal of Textile Science and Engineering*, vol. 48, no. 4, pp. 246-251, 2012.
- [7] T. T. Duong and D. H. Duong, "Research and manufacture stab-resistant life jacket," *TNU Journal of Science and Technology*, vol. 226, no. 16, pp. 54-59, 2021.
- [8] National Institute of Justice, "Stab Resistance of Personal Body Armor NIJ Standard-0115.00," U.S. NIJ Standard-0115.00, Sept. 2000.