

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO

BỘ QUỐC PHÒNG

HỌC VIỆN KỸ THUẬT QUÂN SỰ

PHẠM HỮU NGUYỄN

**NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA TÁM CHẤN SÓNG NỔ ĐẾN
CHIỀU SÂU XUYÊN ĐẠN LỖM**

Chuyên ngành: Cơ kỹ thuật

Mã số: 9.52.01.01

TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SĨ KỸ THUẬT

HÀ NỘI - 2021

CÔNG TRÌNH ĐƯỢC HOÀN THÀNH TẠI
HỌC VIỆN KỸ THUẬT QUÂN SỰ - BỘ QUỐC PHÒNG

Người hướng dẫn khoa học 1: PGS.TS Lê Minh Thái

Người hướng dẫn khoa học 2: TS Nguyễn Phúc Linh

Phản biện 1: GS.TSKH Nguyễn Đông Anh

Phản biện 2: PGS.TS Phan Bùi Khôi

Phản biện 3: TS Nguyễn Quốc Hà

Luận án sẽ được bảo vệ tại Hội đồng đánh giá luận án cấp Học viện theo quyết định số: 740/QĐ-HV, ngày 15 tháng 3 năm 2021 của Giám đốc Học viện Kỹ thuật Quân sự, họp tại Học viện Kỹ thuật Quân sự vào hồi... giờ... ngày... tháng... năm 2021

Có thể tìm hiểu luận án tại:

- Thư viện Học viện Kỹ thuật Quân sự
- Thư viện Quốc gia

NHỮNG CÔNG TRÌNH KHOA HỌC ĐÃ CÔNG BỐ

1. Đỗ Văn Minh, Phạm Hữu Nguyên, Bùi Xuân Sơn và Nguyễn Duy Hồng (2018), Ảnh hưởng của bề dày phễu lót đến các tham số dòng xuyên, *Tạp chí Cơ khí Việt nam*, Số 8.
2. Phạm Hữu Nguyên, Lê Minh Thái (2018), Phương pháp xác định vận tốc nén ép phễu lót trong quá trình hình thành dòng xuyên đạn lõm, *Tạp chí Khoa học và Kỹ thuật*, Số 192, Học viện KTQS.
3. Phạm Hữu Nguyên, Lê Minh Thái, Nguyễn Phúc Linh (2018), Nghiên cứu ảnh hưởng của bề dày tấm chắn sóng đến việc hình thành bề mặt sóng nổ trong đạn lõm, *Hội nghị Khoa học toàn quốc Cơ học Vật rắn lần thứ XIV*, Đại học Trần Đại Nghĩa, Thành phố Hồ Chí Minh.
4. Phạm Hữu Nguyên, Lê Minh Thái, Bùi Xuân Sơn và Nguyễn Phúc Linh (2019), Nghiên cứu ảnh hưởng của vị trí, bề dày tấm chắn sóng đến quy luật thay đổi vận tốc dòng xuyên đạn lõm trên phần mềm Ansys Autodyn 2D, *Tạp chí Khoa học và Kỹ thuật*, Số 197, Học viện KTQS.
5. Phạm Hữu Nguyên, Lê Minh Thái, Đỗ Văn Minh, Bùi Xuân Sơn và Đỗ Văn Giôn (2020), Nghiên cứu ảnh hưởng của đường kính tấm chắn sóng đến các tham số dòng xuyên và chiều sâu xuyên đầu nổ lõm ứng dụng phần mềm mô phỏng Ansys Autodyn 2D, *Hội nghị Khoa học các nhà nghiên cứu trẻ lần thứ XV*, Học viện KTQS.
6. Phạm Hữu Nguyên, Lê Minh Thái, Đỗ Văn Minh, Bùi Xuân Sơn và Nguyễn Phúc Linh (2020), Phương pháp tính toán chiều sâu xuyên đầu nổ lõm có kể đến ảnh hưởng của vị trí tấm chắn sóng, *Hội nghị Khoa học các nhà nghiên cứu trẻ lần thứ XV*, Học viện KTQS.
7. V. Minh Do, M. Thai Le, X. Son Bui, H. Nguyen Pham and P. Linh Nguyen (2020), Influence of Wave Shaper Position on Jet Formation and Penetration Depth, *Advances in Military Technology*, 15(2), pp. 355-364, DOI 10.3849/aimt.01385.

MỞ ĐẦU

1. Lý do lựa chọn luận án

Sự phát triển của các loại xe tăng, xe bọc thép thế hệ mới, với khả năng phòng thủ trước các loại đạn xuyên thì yêu cầu về nâng cao khả năng xuyên phá bản thép của đạn lõm được đặt ra cho các nhà nghiên cứu kỹ thuật quân sự. Có nhiều phương pháp nâng cao khả năng xuyên của đạn lõm, một trong những phương án đơn giản và hiệu quả đó là sử dụng tấm chắn sóng chèn trong kết cấu đầu nổ lõm. Tuy nhiên, các công trình nghiên cứu ít được công bố rộng rãi, chủ yếu ở dạng tóm tắt phương pháp tiến hành và kết quả đạt được. Nhằm từng bước tự chủ trong nghiên cứu, thiết kế chế tạo các loại đạn lõm sử dụng tấm chắn sóng, cần phải xây dựng cơ sở khoa học của quá trình hình thành dòng xuyên và va xuyên của dòng xuyên vào mục tiêu. Xuất phát từ thực tế trên đề tài: “*Nghiên cứu ảnh hưởng của tấm chắn sóng nổ đến chiều sâu xuyên đạn lõm*” được hình thành.

2. Mục đích nghiên cứu của luận án

Thiết lập cơ sở khoa học của việc lựa chọn hợp lý các thông số của tấm chắn sóng để bảo đảm chiều sâu xuyên thép của dòng kim loại tập trung. Qua đó, đánh giá được ảnh hưởng của một số thông số tấm chắn sóng đến các tham số dòng xuyên và chiều sâu xuyên đạn lõm; phục vụ cho việc thiết kế, chế tạo các loại đạn lõm có sử dụng tấm chắn sóng.

3. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu của luận án

Đối tượng nghiên cứu: Đầu đạn lõm có sử dụng tấm chắn sóng.

Phạm vi nghiên cứu: Nghiên cứu phân tích, đánh giá định lượng ảnh hưởng của các thông số kích thước và vị trí tấm chắn sóng vật liệu trơ, hình trụ đến các tham số dòng xuyên, chiều sâu xuyên đạn lõm.

4. Nội dung nghiên cứu và bố cục của luận án

Nội dung luận án tập trung chủ yếu vào nghiên cứu ảnh hưởng của các thông số tấm chắn sóng đến chiều sâu xuyên đạn lõm bằng phương pháp giải tích và phương pháp mô phỏng số. Trong phương pháp giải tích bổ sung giả thuyết để đánh giá ảnh hưởng của vị trí tấm chắn sóng đến chiều sâu xuyên đạn lõm. Trong phương pháp mô phỏng số, xây dựng mô hình toán học mô tả quá trình hình thành dòng xuyên và va xuyên của dòng xuyên vào bản thép; ứng dụng phần mềm mô phỏng khảo sát ảnh hưởng của một số thông số tấm chắn sóng đến chiều sâu xuyên. Nội dung luận án cũng

tiến hành nghiên cứu thực nghiệm để so sánh, đánh giá và kiểm chứng các kết quả nghiên cứu lý thuyết.

Luận án gồm: phần mở đầu, bốn chương và phần kết luận, tài liệu tham khảo và phụ lục. Trong đó có 140 trang thuyết minh, 25 bảng, 70 hình vẽ và đồ thị, 52 tài liệu tham khảo và 07 trang phụ lục.

Mở đầu trình bày tính cấp thiết, mục đích, nội dung nghiên cứu, đối tượng, phạm vi và phương pháp nghiên cứu, ý nghĩa khoa học và thực tiễn của đề tài.

Chương 1 trình bày tổng quan về vấn đề nghiên cứu của luận án.

Chương 2 trình bày phương pháp giải tích và phương pháp mô phỏng số để đánh giá ảnh hưởng của tấm chắn sóng đến chiều sâu xuyên đạn lõm.

Chương 3 trình bày khảo sát ảnh hưởng của các thông số tấm chắn sóng, bao gồm: đường kính, bề dày và vị trí đến các tham số dòng xuyên và chiều sâu xuyên đạn lõm bằng phương pháp mô phỏng.

Chương 4 trình bày thực nghiệm nổ để nghiên cứu ảnh hưởng của vị trí, bề dày tấm chắn sóng đến chiều sâu xuyên đạn lõm. So sánh, đánh giá kết quả tính toán lý thuyết so với thực nghiệm.

Kết luận và kiến nghị trình bày những kết quả mới của luận án và một số kiến nghị của tác giả rút ra từ nội dung nghiên cứu.

5. Phương pháp nghiên cứu của luận án

Sử dụng phương pháp kết hợp nghiên cứu lý thuyết với thực nghiệm.

Nghiên cứu lý thuyết: Sử dụng lý thuyết vật lý nổ, lý thuyết cơ học môi trường liên tục và các công cụ toán học để bổ sung giả thuyết trong phương pháp tính toán giải tích và xây dựng mô hình toán học mô tả quá trình hình thành dòng xuyên cũng như quá trình va xuyên của dòng xuyên vào mục tiêu bản thép. Ứng dụng phần mềm Ansys Autodyn - 2D giải mô hình toán học được xây dựng để khảo sát ảnh hưởng của một số thông số tấm chắn sóng đến chiều sâu xuyên đạn lõm.

Nghiên cứu thực nghiệm: Thực nghiệm nổ tĩnh trên các mẫu thử nghiệm để xác định chiều sâu xuyên. So sánh, đánh giá và kiểm chứng kết quả tính toán mô phỏng so với kết quả thực nghiệm.

6. Ý nghĩa khoa học và ý nghĩa thực tiễn của luận án

Ý nghĩa khoa học: Bổ sung giả thuyết trong phương pháp giải tích tính toán chiều

sâu xuyên đạn lõm có tính đến ảnh hưởng của vị trí tấm chắn sóng. Thiết lập được mô hình toán học mô tả quá trình lan truyền sóng nổ, quá trình hình thành dòng xuyên và va xuyên của dòng xuyên vào bản thép của các loại đạn lõm sử dụng tấm chắn sóng; ứng dụng phần mềm Ansys Autodyn - 2D để giải mô hình toán học được xây dựng.

Đánh giá định lượng ảnh hưởng của một số thông số tấm chắn sóng đến các tham số dòng xuyên và chiều sâu xuyên đạn lõm, làm cơ sở khoa học khi nghiên cứu, lựa chọn phương án thiết kế đạn lõm sử dụng tấm chắn sóng.

Ý nghĩa thực tiễn: Phục vụ cho việc thiết kế, chế tạo các loại đầu đạn lõm có sử dụng tấm chắn sóng để nâng cao khả năng xuyên.

CHƯƠNG 1: TỔNG QUAN VỀ ĐẠN LÕM VÀ CÁC PHƯƠNG PHÁP TÍNH TOÁN CHIỀU SÂU XUYỀN, THAM SỐ DÒNG XUYỀN

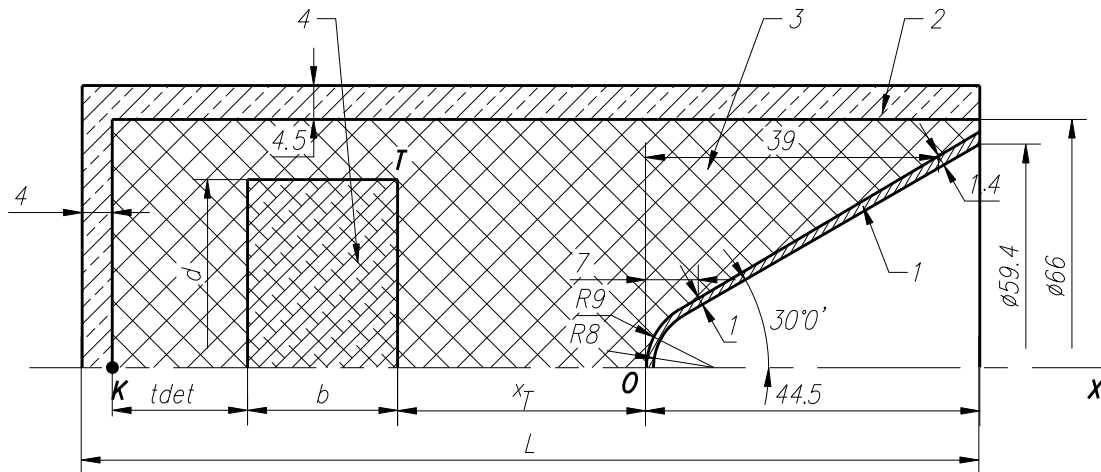
Đạn lõm là loại đạn sử dụng hiệu ứng nổ tập trung năng lượng. Ưu điểm của loại đạn là khả năng xuyên phá bản thép lớn, không phụ thuộc nhiều vào vận tốc chạm và tầm bắn của đầu đạn. Ngoài ra nó còn có khả năng xuyên phá bản thép với góc chạm nhỏ và tác dụng sát thương mục tiêu sau bản thép. Cùng với sự phát triển của mục tiêu, đạn lõm cũng được nghiên cứu và phát triển nhằm đáp ứng được yêu cầu chiến đấu đặt ra. Do vậy, việc nghiên cứu sử dụng các loại đạn lõm, nhằm nâng cao khả năng xuyên có ý nghĩa lớn trong việc tăng cường sức chiến đấu của Quân đội.

Trong các phương pháp nâng cao chiều sâu xuyên đạn lõm, sử dụng tấm chắn sóng vật liệu trơ là một trong những phương pháp đơn giản và hiệu quả. Tác dụng của tấm chắn sóng là thay đổi hướng lan truyền sóng nổ. Tác dụng này ảnh hưởng đến các tham số dòng xuyên và khả năng xuyên của dòng kim loại tập trung.

Đã có nhiều công trình nghiên cứu về đạn lõm sử dụng tấm chắn sóng, tuy nhiên các phương pháp chưa đánh giá cụ thể ảnh hưởng của các thông số tấm chắn sóng. Một số công trình nghiên cứu đã trình bày ảnh hưởng của đường kính và vị trí tấm chắn sóng thông qua vị trí của tâm nổ phụ. Tuy nhiên, các kết quả tính toán chưa thể hiện sự phù hợp so với kết cấu của các loại đạn lõm trong trang bị có sử dụng tấm chắn sóng. Mặt khác phương pháp tính toán chưa kể đến ảnh hưởng của các yếu tố khác như khả năng chắn sóng, vị trí, bề dày tấm chắn sóng.

Từ những yêu cầu trên, luận án sẽ tập trung nghiên cứu và giải quyết những vấn đề sau:

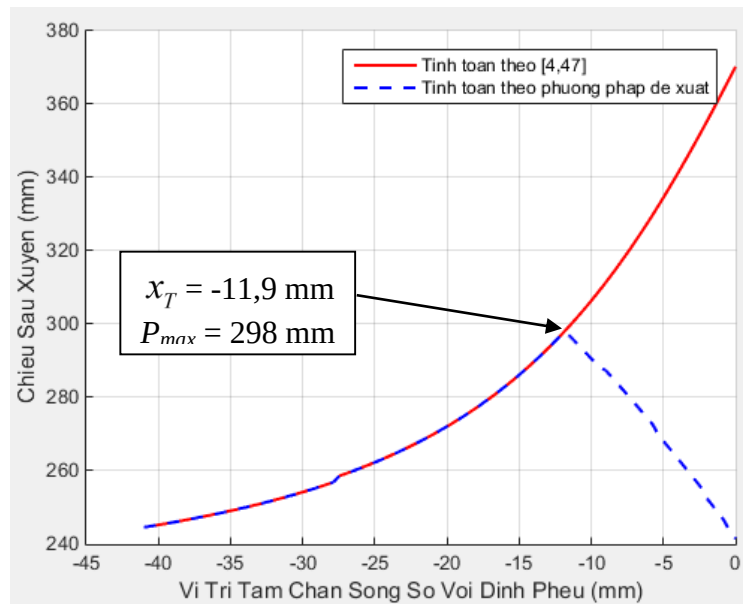
Mô hình khảo sát:



Hình 2.2: Kích thước mô hình đạn lõm

1 - Phế lõi; 2 - Vỏ bọc; 3 - Thuốc nổ; 4 - Tấm chắn sóng

Kết quả khảo sát:



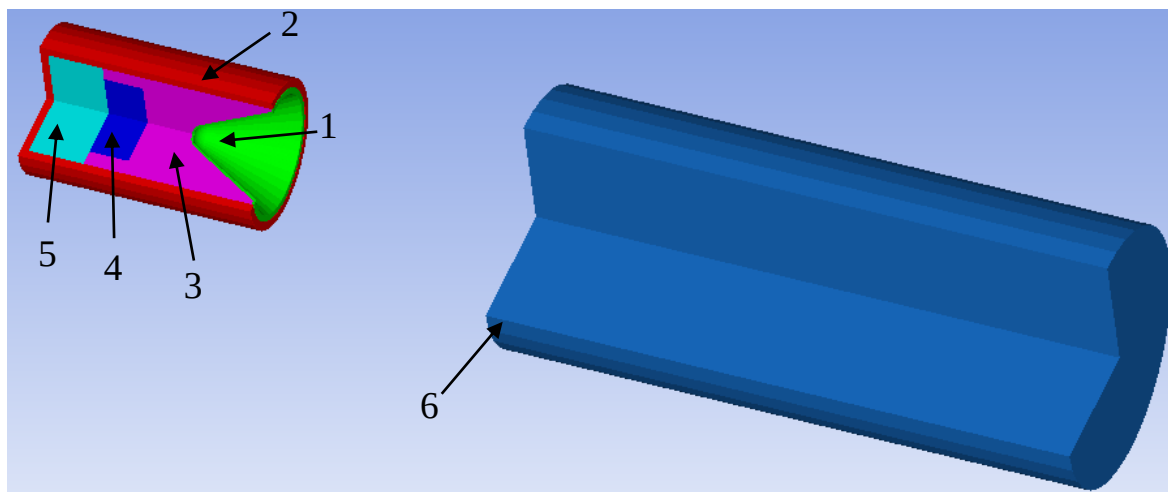
Hình 2.3: Chiều sâu xuyên theo vị trí tấm chắn sóng

Kết quả khảo sát cho thấy vị trí tấm chắn sóng có ảnh hưởng đến chiều sâu xuyên đạn lõm. Kết quả tính toán phản ánh đúng và giải thích được việc bố trí vị trí tấm chắn sóng trong kết cấu của các loại đạn lõm có sử dụng tấm chắn sóng. Phương pháp tính toán đề xuất là cơ sở ban đầu cho việc xác định nhanh chóng ảnh hưởng của vị trí tấm chắn sóng trong giai đoạn đầu của quá trình thiết kế. Tuy nhiên, phương pháp tính toán đề xuất vẫn chưa xét tới khả năng chắn sóng của tấm chắn sóng. Để giải quyết vấn đề nêu trên và khảo sát đầy đủ hơn ảnh hưởng của các thông số tấm chắn sóng, phương pháp mô phỏng số được sử dụng.

2.2. Phương pháp mô phỏng số quá trình hình thành dòng xuyên và va xuyên của dòng xuyên vào bản thép

2.2.1. Mô hình hình học

Mô hình hình học quá trình hình thành dòng xuyên và va xuyên của dòng xuyên vào bản thép được thể hiện trong Hình 2.4.



Hình 2.4: Mô hình hình học quá trình hình thành và va xuyên của dòng xuyên vào bản thép thời điểm ban đầu

1 - Phễu lót; 2 - Vỏ; 3 - Thuốc nổ chính; 4 - Tấm chắn sóng;
5 - Thuốc nổ phụ; 6 - Mục tiêu

2.2.2. Các giả thuyết

- Bỏ qua tác dụng của trọng lực;
- Ở thời điểm ban đầu, vỏ, tấm chắn sóng, phễu lót, bản thép và thuốc nổ không có nhiều động (không có ứng suất và biến dạng);
- Bỏ qua ảnh hưởng của áp suất không khí;
- Không có các nguồn phát nhiệt cũng như không có tác động của các lực bên ngoài hoặc nguồn nhiệt từ bên trong;
- Vật liệu có các tính chất đẳng hướng.

2.2.3. Mô hình toán học mô tả quá trình hình thành dòng xuyên và va xuyên của dòng xuyên vào bản thép

Phương pháp mô phỏng số được thực hiện trên cơ sở giải hệ phương trình vi phân đạo hàm riêng bậc 2 mô tả quá trình hình thành dòng xuyên và va xuyên của dòng xuyên vào bản thép. Để xây dựng hệ phương trình vi phân cần dựa trên các phương trình mô tả bản chất cơ lý của vật liệu, các phương trình bảo toàn trong cơ học, các

phương trình biểu diễn các mối quan hệ động học, quan hệ hình học và một số phương trình bổ sung.

$$\left\{ \begin{array}{l}
 \frac{d\rho}{dt} + \rho \frac{\partial v_i}{\partial x_i} = \frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho v_i)}{\partial x_i} = 0 \\
 \rho \frac{dv_i}{dt} = \rho \left(\frac{\partial v_i}{\partial t} + v_i \frac{\partial v_i}{\partial x_i} \right) = \nabla_j \sigma_i^j \\
 \rho \frac{dE}{dt} = \sigma_{ij} \dot{\varepsilon}_{ij} \\
 p = p_H + \Gamma \rho (e - e_H) \quad (VO, PL, TCS, MT) \\
 p = A \left(1 - \frac{\omega}{R_1 V} \right) e^{-R_1 V} + B \left(1 - \frac{\omega}{R_2 V} \right) e^{-R_2 V} + \frac{\omega E}{V} \quad (TN) \\
 \frac{dD_{\sigma ij}}{dt} + 2G \dot{\lambda} D_{\sigma ij} = 2G \left(\dot{\varepsilon}_{ij} + \frac{1}{3\rho} \frac{d\rho}{dt} g_{ij} \right) \\
 \sigma_c^d = \left[A + B(\varepsilon^p)^n \right] \left[1 + C \ln \left(\frac{\dot{\varepsilon}^p}{\varepsilon_0^p} \right) \right] [1 - \bar{T}^m] \quad (MT) \\
 \sigma_c^d = \sigma_c^0 \left\{ 1 + \left(\frac{(\sigma_c^d)'_p}{\sigma_c^0} \right) \frac{p}{\eta^{1/3}} + \left(\frac{G_T'}{G_0} \right) (T - 300) \right\} (1 + \beta \varepsilon^p)^n \quad (PL) \\
 \frac{\partial u_i}{\partial t} = v_i \\
 \frac{\partial^2 u_i}{\partial t^2} = a_i \\
 \dot{\varepsilon}_{ij} = \frac{1}{2} (\nabla_i v_j + \nabla_j v_i) \\
 \varepsilon_{ij} = \frac{1}{2} (\nabla_i u_j + \nabla_j u_i) \\
 \sigma_{ij} = -p g_{ij} + D_{\sigma ij} \\
 \dot{\lambda} = \frac{3}{2(\sigma_c^d)^2} \sigma_{ij} \dot{\varepsilon}_{ij}^p
 \end{array} \right. \quad (2.1)$$

Hệ phương trình (2.1) kết hợp với các điều kiện đầu và các điều kiện biên xác định mô hình toán học mô tả quá trình tương tác động lực học xảy ra trong quá trình hình thành dòng xuyên và va xuyên của dòng xuyên vào bản thép, trong đó kể đến tính tăng bền và khả năng phá hủy của vật liệu khi chịu tải trọng tốc độ cao.

2.2.4. Phương pháp giải hệ phương trình mô tả quá trình hình thành dòng xuyên và va xuyên của dòng xuyên vào bản thép

Do sự phức tạp của hệ phương trình (2.1) nên không thể giải quyết bằng phương pháp giải tích mà phải sử dụng các phương pháp số của cơ học môi trường liên tục. Để giải hệ phương trình mô tả quá trình hình thành dòng xuyên và va xuyên của dòng xuyên vào bản thép có thể sử dụng phương pháp giải Explicit Dynamic. Bởi vì các vấn đề vật lý diễn ra trong quá trình hình thành dòng xuyên và va xuyên của dòng xuyên vào bản thép diễn ra dưới điều kiện tải trọng vô cùng lớn trong khoảng thời gian ngắn ($10^{-6} \div 10^{-3}$ s), nên phương pháp giải tốt nhất là phương pháp giải Explicit Dynamic. Phương pháp giải Explicit Dynamic thực hiện rời rạc hóa không gian và thời gian để giải mô hình toán học. Explicit Dynamic rời rạc hóa không gian bằng phương pháp phần tử hữu hạn và rời rạc hóa thời gian sử dụng phương pháp tính sai phân trung tâm.

2.2.5. Mô phỏng quá trình hình thành dòng xuyên và va xuyên của dòng xuyên vào bản thép

Căn cứ vào các tài liệu nghiên cứu, có thể chia bài toán mô phỏng quá trình hình thành dòng xuyên và va xuyên của dòng xuyên vào bản thép thành 2 bài toán mô phỏng là mô phỏng quá trình hình thành dòng xuyên và mô phỏng quá trình va xuyên của dòng xuyên vào bản thép. Các tham số dòng xuyên được phân tích trong bài toán mô phỏng quá trình hình thành dòng xuyên là các thông số đầu vào cho bài toán mô phỏng quá trình va xuyên của dòng xuyên vào bản thép.

2.2.5.1. Mô phỏng quá trình hình thành dòng xuyên

Quá trình lan truyền sóng bên trong chất nổ và quá trình hình thành dòng xuyên được mô tả trong lưới Euler. Dòng xuyên được hình thành di chuyển trong lưới này tới khoảng cách tương tác với bản thép hoặc dừng ở thời gian bất kỳ. Vật liệu cho các thành phần của đạn lõm và mô hình vật liệu được cho trong Bảng 2.1.

Bảng 2.1: Mô hình vật liệu trong mô phỏng quá trình hình thành dòng xuyên

STT	Thành phần	Vật liệu	Phương trình trạng thái	Mô hình tăng bền	Mô hình phá hủy
1	Phễu lót	Cu-OFHC	Shock	Steinberg-Guinan	-
2	Vỏ	Polyethyl.	Shock	-	-
3	Thuốc nổ chính	C-4	JWL	-	-
4	Thuốc nổ phụ	C-4	Lee-Taver	-	-
5	Tấm chắn sóng	Plexiglass	Shock	-	-
6	Vùng tính toán	Avoid	Avoid		

Vật liệu chất nổ phụ là C-4. Mô hình vật liệu phù hợp là mô hình được mô tả bằng phương trình trạng thái JWL. Các thông số phương trình trạng thái JWL của chất nổ C-4 được cho trong (Bảng 2.2).

Bảng 2.2: Các thông số phương trình trạng thái JWL của chất nổ phụ

ρ_0 (g.cm ⁻³)	A (Mbar)	B (Mbar)	R_1	R_2	ω	E_0 (Mbar)	D (cm.μs ⁻¹)
1,601	6,0977	0,1295	4,5	1,4	0,25	0,09	0,8193

Vật liệu thuốc nổ chính là C-4. Mô hình vật liệu phù hợp cho khối thuốc nổ chính là mô hình gây nổ và giãn nở Lee-Tarver. Các thông số của mô hình gây nổ và giãn nở Lee-Tarver cho chất nổ C-4 (Bảng 2.3).

Bảng 2.3: Các thông số mô hình gây nổ và giãn nở Lee-Tarver cho chất nổ chính C-4

JWL cho thuốc nổ chưa phản ứng	JWL cho sản phẩm nổ	Thông số tốc độ phản ứng	
A = 778,1 Mbar	A = 6,0977 Mbar	a = 0,0367	x = 7
B = -0,05031 Mbar	B = 0,1295 Mbar	b = 0,667	y = 2
$R_1 = 11,3$	$R_1 = 4,5$	c = 0,667	z = 3
$R_2 = 1,13$	$R_2 = 1,4$	d = 0,333	$F_{igmax} = 0,022$
$\omega = 0,8938$	$\omega = 0,25$	e = 0,667	$F_{G1max} = 1$
G = 0,0354 Mbar	$E_0 = 0,09$ Mbar	g = 0,667	$F_{G2min} = 0$
$\sigma_c^0 = 0,002$ Mbar		$I = 4 \times 10^6 \mu s^{-1}$	$G_1 = 149$
$\rho_0 = 1,601$ g.cm ⁻³		-	$G_2 = 0$

Vật liệu phổ lót là đồng CU-OFHC. Các thông số phương trình trạng thái Shock và thông số mô hình bền của vật liệu CU-OFHC được cho trong (Bảng 2.4, Bảng 2.5).

Bảng 2.4: Các thông số phương trình trạng thái Shock của CU-OFHC

ρ_0 (g.cm ⁻³)	Γ	C_1 (cm.μs ⁻¹)	S_1	C_2 (cm.μs ⁻¹)	S_2	$\frac{VE}{v_0}$	$\frac{VB}{v_0}$
8,96	2,02	0,394	1,489	0	0	0	0

Bảng 2.5: Các thông số mô hình tăng bền Steinberg-Guinan của CU-OFHC

G (Mbar)	σ_c^0 (Mbar)	$\sigma_{c\max}^d$ (Mbar)	β	n	G_p'	G_T' (Mbar/K)	$(\sigma_c^d)'_p$	T_{nc} (K)
0,477	0,0012	0,0064	36	0,45	1,35	-1,798e-4	0,003396	1790

Vật liệu vỏ là nhựa Polyethyl. Các thông số phương trình trạng thái Shock của vật liệu vỏ Polyethyl được cho trong (Bảng 2.6).

Bảng 2.6: Các thông số phương trình trạng thái Shock của Polyethyl

ρ_0 (g.cm ⁻³)	Γ	C_1 (cm.μs ⁻¹)	S_1	C_2 (cm.μs ⁻¹)	S_2	$\frac{VE}{v_0}$	$\frac{VB}{v_0}$
0,915	1,64	0,2901	1,481	0	0	0	0

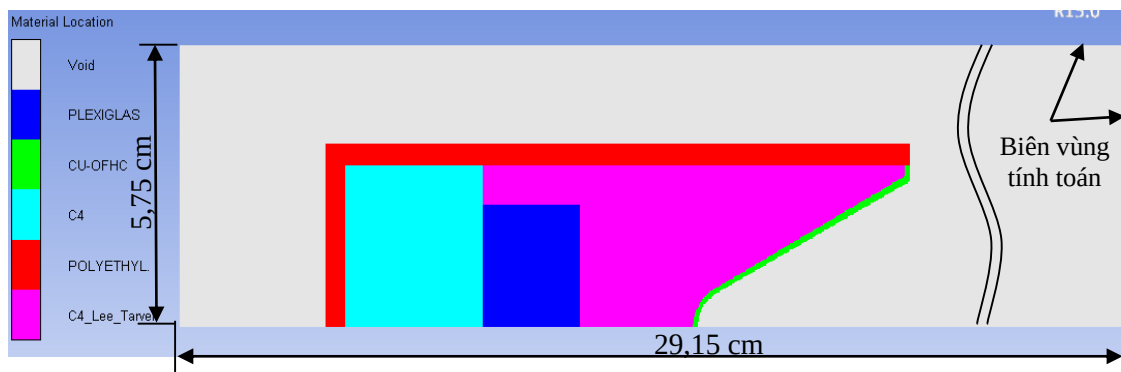
Vật liệu tấm chắn sóng là Plexiglass. Các thông số phương trình trạng thái Shock của vật liệu Plexiglass được cho trong (Bảng 2.7).

Bảng 2.7: Các thông số phương trình trạng thái Shock của vật liệu Plexiglass

ρ_0 (g.cm ⁻³)	Γ	C_1 (cm.μs ⁻¹)	S_1	C_2 (cm.μs ⁻¹)	S_2	$\frac{VE}{v_0}$	$\frac{VB}{v_0}$
1,186	0,97	0,2598	1,516	0	0	0	0

Kích thước mô hình mô phỏng quá trình hình thành dòng xuyên dựa vào kích thước mô hình trong Hình 2.2 với $x_T = -2,3$ cm, $L = 11,95$ cm. Tấm chắn sóng có kích thước $\Phi 5,0 \times 2,0$ cm. Mục tiêu có kích thước $\Phi 13 \times 40$ cm. Trục của đạn lõm được đặt vuông góc với bề mặt bản thép.

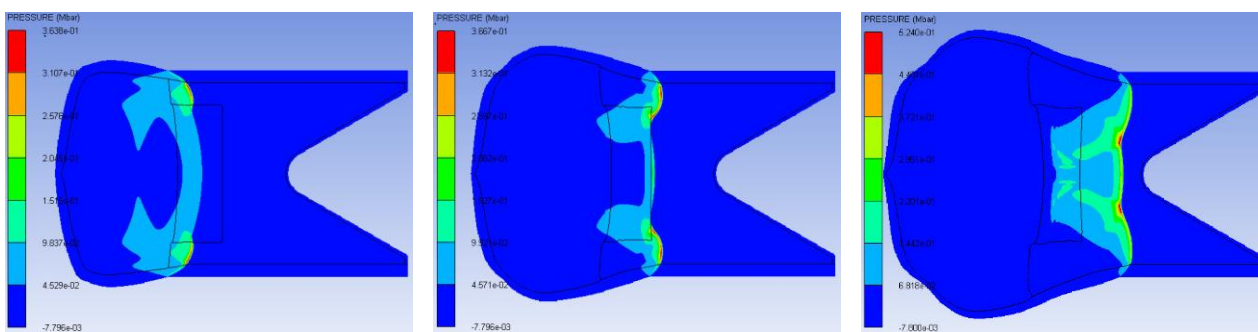
Mô hình mô phỏng và kích thước biên vùng tính toán được thể hiện trên Hình 2.5. Điều kiện biên Flowout được áp dụng cho tất cả các biên vùng tính toán. Điều này cho phép các sản phẩm nổ giãn nở và vỏ bay ra khỏi vùng tính toán mà không tương tác với các biên, làm ảnh hưởng đến quá trình hình thành dòng xuyên.



Hình 2.5: Mô hình mô phỏng và kích thước biên vùng tính toán

Sau khi mô phỏng nhận được một số kết quả chính:

- Quá trình lan truyền sóng nổ (Hình 2.6):



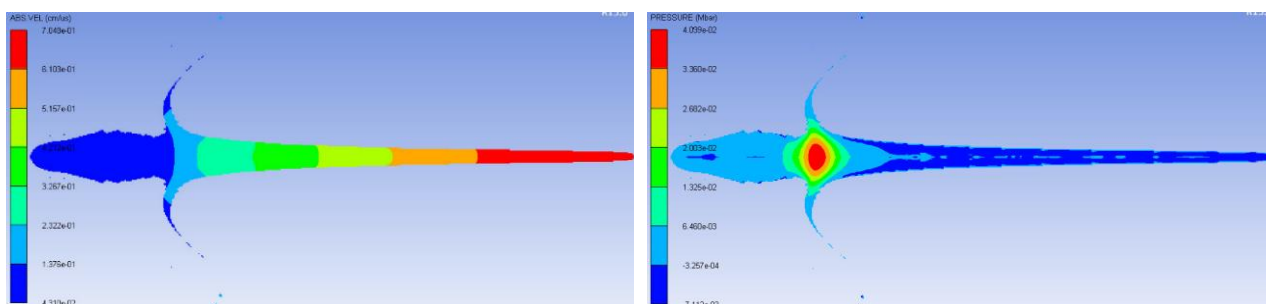
(a) $t = 6 \mu s$

(b) $t = 8 \mu s$

(c) $t = 10 \mu s$

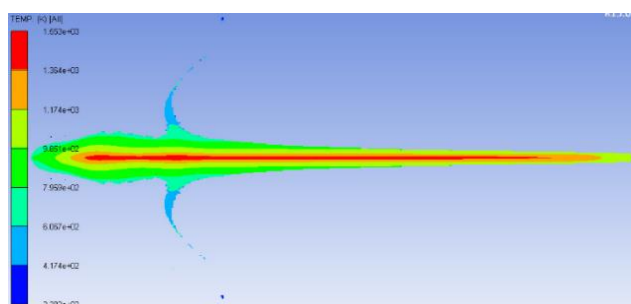
Hình 2.6: Quá trình lan truyền bề mặt sóng nổ tại các thời điểm khác nhau

- Quy luật phân bố vận tốc, áp suất và nhiệt độ (Hình 2.7):



(a) Vận tốc

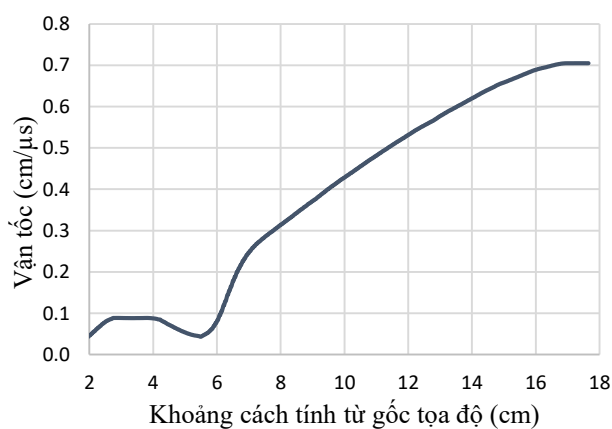
(b) Áp suất



(c) Nhiệt độ

Hình 2.7: Các quy luật phân bố vận tốc, áp suất và nhiệt độ dòng tại thời điểm 36,2 μs

- Sự thay đổi vận tốc dọc theo trục dòng (Hình 2.8):



Hình 2.8: Đồ thị quy luật thay đổi vận tốc trục dòng tại thời điểm 36,2 μs

2.2.5.2. Mô phỏng quá trình va xuyên của dòng xuyên vào bản thép

Mục tiêu là trụ thép có kích thước $\Phi 13 \times 40$ cm. Các thông số phương trình trạng thái Shock và mô hình tăng bền của vật liệu mục tiêu được cho trong Bảng 2.8 và Bảng 2.9.

Bảng 2.8: Các thông số phương trình trạng thái Shock của vật liệu mục tiêu

ρ_0 (g.cm ⁻³)	Γ	C_2 (cm.μs ⁻¹)	S_1	C_2 (cm.μs ⁻¹)	S_2	$\frac{VE}{v_0}$	$\frac{VB}{v_0}$
7,83	2,17	0,46	1,49	0	0	0	0

Bảng 2.9: Các thông số mô hình tăng bền Johnson-Cook của vật liệu mục tiêu

ρ_0 (g.cm ⁻³)	A (Mbar)	B (Mbar)	C	n	m	T_{room} (K)	T_{nc} (K)
7,83	0,005531	0,006008	0,0134	0,234	1	300	1733

Các thông số mô hình phá hủy Johnson-Cook cho vật liệu mục tiêu được thể hiện trong Bảng 2.10.

Bảng 2.10: Các thông số trong mô hình phá hủy của vật liệu mục tiêu

D_1	D_2	D_3	D_4	D_5
0,05	4,22	-2,73	0,0018	0,55

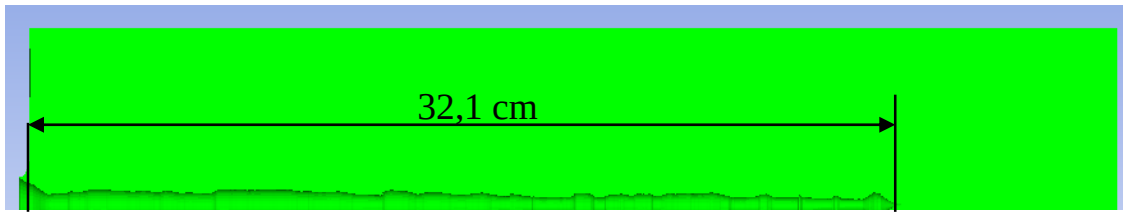
Để mô phỏng quá trình va xuyên, dòng xuyên và mục tiêu sử dụng lưới Lagrang. Kết quả mô phỏng các thông tin dòng xuyên bằng bộ giải Euler được dùng để xác định thông số của dòng xuyên khi va chạm. Dòng xuyên bắt đầu va xuyên vào mục tiêu tại vị trí cách miệng phễu 1 khoảng cách bằng hai lần đường kính khối thuốc nổ chính.

Cả dòng xuyên và mục tiêu đều được chia lưới với kích thước lưới là $0,05 \times 0,05$ cm. Tuy nhiên, đối với mục tiêu, kích thước lưới được kéo dài theo phương hướng kính từ bán kính 1,5 cm, để làm giảm tổng số phần tử. Vì tính đối xứng, quá trình mô phỏng được thực hiện với 1/2 mô hình của cả dòng xuyên và mục tiêu.



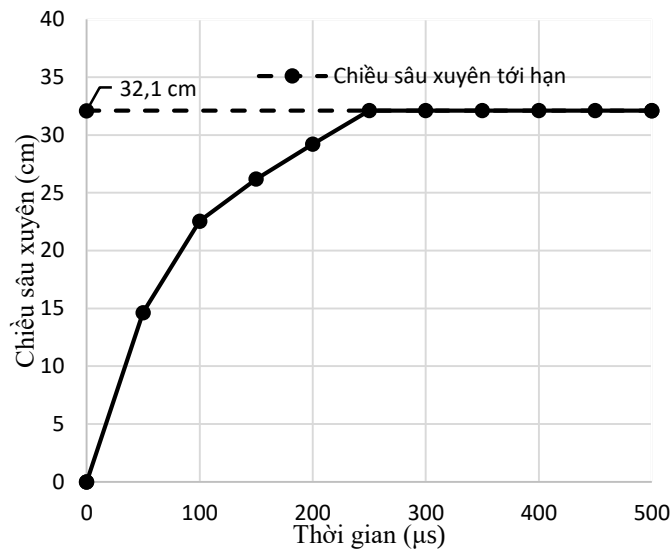
Hình 2.9: Kích thước của mô hình mô phỏng quá trình xuyên

Kết quả mô phỏng chiều sâu xuyên trên mục tiêu bản thép được thể hiện trong Hình 2.10.



Hình 2.10: Kết quả mô phỏng chiều sâu xuyên

Kết quả chiều sâu xuyên theo thời gian được cho trong đồ thị Hình 2..



Hình 2.11: Đồ thị chiều sâu xuyên theo thời gian

Các kết quả của mô phỏng quá trình hình thành dòng xuyên và va xuyên của dòng xuyên vào mục tiêu bản thép bao gồm quá trình lan truyền sóng nổ, quá trình hình thành dòng, các tham số dòng xuyên và chiều sâu xuyên. Các kết quả này hoàn toàn phù hợp với lý thuyết được trình bày trong các tài liệu chuyên ngành. Sai lệch giữa của phương pháp mô phỏng so với thực nghiệm là +11,8%.

Kết luận chương 2

Bổ sung giả thuyết trong phương pháp giải tích tính toán chiều sâu xuyên đạn lõm có tính đến ảnh hưởng của vị trí tâm chấn sóng. Phương pháp tính toán đề xuất cho phép xác định vị trí tâm chấn sóng mà tại đó chiều sâu xuyên đạn được là lớn nhất. Tuy nhiên, phương pháp tính toán chưa xét khả năng chấn sóng của tâm chấn sóng và ảnh hưởng của một số thông số khác của tâm chấn sóng đến chiều sâu xuyên đạn lõm.

Xây dựng mô hình toán học mô tả quá trình hình thành dòng xuyên và va xuyên của dòng xuyên vào mục tiêu bản thép có tính đến tính tăng bền và khả năng phá hủy của vật liệu kim loại chịu tải trọng động.

Kết quả giải bài toán mô phỏng quá trình hình thành dòng xuyên và va xuyên của

dòng xuyên vào bản thép cho thấy các thông số của dòng xuyên hình thành phù hợp với các nghiên cứu lý thuyết và thực nghiệm về đạn lõm. Sai lệch chiều sâu xuyên của phương pháp mô phỏng so với kết quả thực nghiệm nằm trong phạm vi cho phép (+11,8%). Mô hình toán học và phương pháp mô phỏng được trình bày trong luận án bảo đảm độ tin cậy và có thể sử dụng để khảo sát ảnh hưởng của tấm chắn sóng đến chiều sâu xuyên đạn.

CHƯƠNG 3: KHẢO SÁT ẢNH HƯỞNG CỦA TẤM CHẮN SÓNG ĐẾN CHIỀU SÂU XUYÊN ĐẠN LÕM BẰNG PHƯƠNG PHÁP MÔ PHỎNG

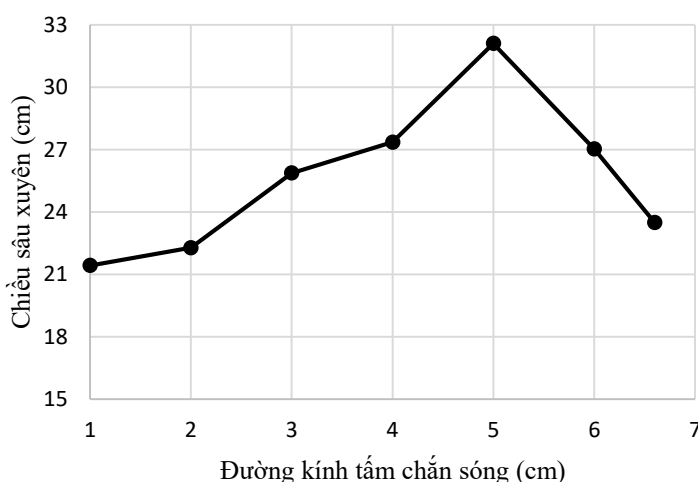
3.1. Ảnh hưởng của đường kính tấm chắn sóng đến các tham số dòng xuyên và chiều sâu xuyên đạn lõm

Mô hình đạn lõm dùng để khảo sát có kích thước theo Hình 2.2. Khoảng cách gần nhất của tấm chắn sóng (TCS) so với đỉnh phễu được xác định căn cứ vào kích thước đạn trong trang bị ($x_T = -2,3$ cm). Theo các tài liệu, việc sử dụng TCS chỉ hiệu quả khi bề dày lớn hơn 2,0 cm. Do vậy, trong mô hình khảo sát ảnh hưởng của đường kính TCS d thì bề dày TCS b được cố định ($b = 2,0$ cm). Chiều dài đầu nổ lõm ($L = 11,95$ cm). Đường kính khối thuốc nổ ($CD = 6,6$ cm). Các phương án khảo sát tương ứng với các kích thước đường kính TCS được cho trên Bảng 3.1

Bảng 3.1: Các phương án khảo sát đường kính TCS

Phương án	1	2	3	4	5	6	7
d (cm)	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	6,6

Kết quả chiều sâu xuyên khi thay đổi đường kính TCS được trình bày trong Hình 3.1 và Bảng 3.2:



Hình 3.1: Đồ thị chiều sâu xuyên khi thay đổi đường kính TCS

Bảng 3.2: Chiều sâu xuyên theo đường kính TCS

d (cm)	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	6,6
Chiều sâu xuyên (cm)	21,4	22,3	25,9	27,4	32,1	27,0	23,5

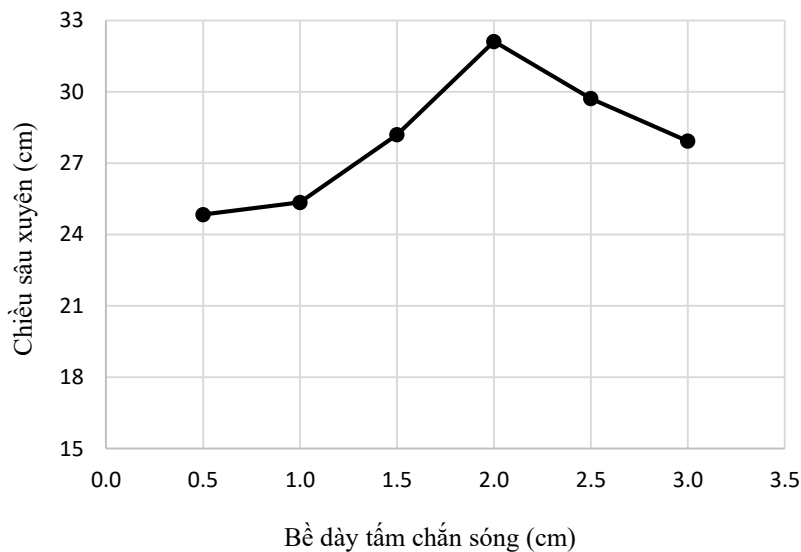
3.2. Ảnh hưởng của bề dày tấm chắn sóng đến các tham số dòng xuyên và chiều sâu xuyên đạn lõm

Mô hình đạn lõm dùng để khảo sát có kích thước theo Hình 2.2. Vị trí TCS được xác định căn cứ vào kích thước của đạn trong trang bị ($x_T = -2,3$ cm). Dựa vào kết quả khảo sát trong mục 3.1, đường kính tấm chắn sóng được cố định ($d = 5,0$ cm). Chiều dài đầu nỏ lõm ($L = 11,95$ cm). Các phương án khảo sát tương ứng với các bề dày tấm chắn sóng được cho trên Bảng 3.3.

Bảng 3.3: Các phương án khảo sát bề dày TCS

Phương án	1	2	3	4	5	6
b (cm)	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0

Kết quả chiều sâu xuyên: kết quả chiều sâu xuyên khi thay đổi bề dày TCS được trình bày trong Hình 3.2 và Bảng 3.4:



Hình 3.2: Đồ thị chiều sâu xuyên theo bề dày TCS

Bảng 3.4: Chiều sâu xuyên theo bề dày TCS

b (cm)	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
Chiều sâu xuyên (cm)	24,8	25,4	28,2	32,1	29,7	27,9

3.3. Ảnh hưởng của vị trí tấm chắn sóng đến các tham số dòng xuyên và chiều sâu xuyên đạn lõm

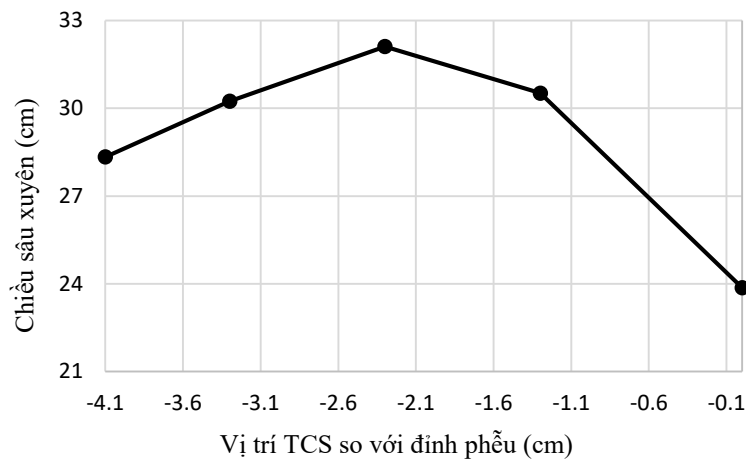
Mô hình đạn lõm dùng để khảo sát có kích thước theo Hình 2.2. Dựa vào kết quả

khảo sát trong mục 3.1 và mục 3.2 thì đường kính của TCS ($d = 5,0$ cm) và bề dày TCS ($b = 2,0$ cm). Chiều dài đầu nổ lõm ($L = 11,95$ cm). Các phương án khảo sát tương ứng với các vị trí TCS được cho trên Bảng 3.5.

Bảng 3.5: Các phương án khảo sát vị trí TCS

Phương án	1	2	3	4	5
x_T (cm)	-4,1	-3,3	-2,3	-1,3	0

Kết quả chiều sâu xuyên: kết quả chiều sâu xuyên khi thay đổi vị trí tấm chắn sóng được trình bày trong Hình 3.3 và Bảng 3.6:



Hình 3.3: Đồ thị chiều sâu xuyên theo vị trí TCS

Bảng 3.6: Chiều sâu xuyên theo vị trí TCS

x_T (cm)	-4,1	-3,3	-2,3	-1,3	0
Chiều sâu xuyên (cm)	28,3	30,2	32,1	30,5	23,9

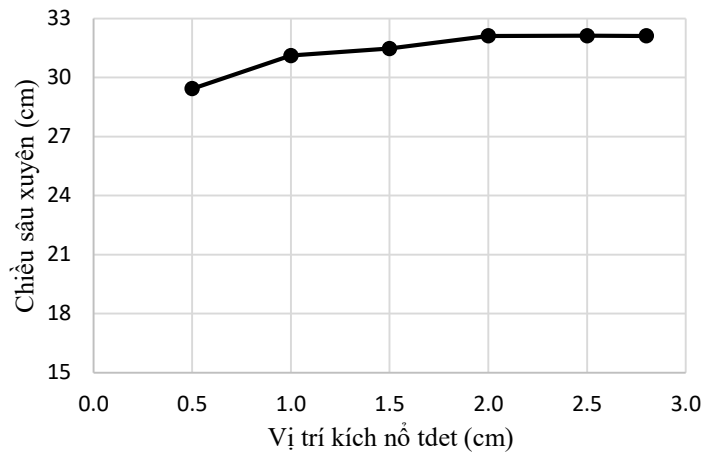
3.4. Ảnh hưởng của vị trí kích nổ đến các tham số dòng xuyên và chiều sâu xuyên đạn lõm

Mô hình đạn lõm dùng để khảo sát có kích thước theo Hình 2.2. Dựa vào kết quả khảo sát trong mục 3.1, 3.2 và 3.3 thì đường kính TCS ($d = 5,0$ cm), bề dày TCS ($b = 2,0$ cm) và vị trí TCS cách đỉnh phễu một khoảng cách $x_T = -2,3$ cm. Các phương án khảo sát được cho trên Bảng 3.7.

Bảng 3.7: Các phương án khảo sát ảnh hưởng của vị trí giữa TCS và điểm kích nổ

Phương án	1	2	3	4	5	6
t_{det} (cm)	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	2,8

Kết quả chiều sâu xuyên khi thay đổi vị trí kích nổ được trình bày trong Hình 3.4 và Bảng 3.8:



Hình 3.4: Đồ thị chiều sâu xuyên theo vị trí kích nổ

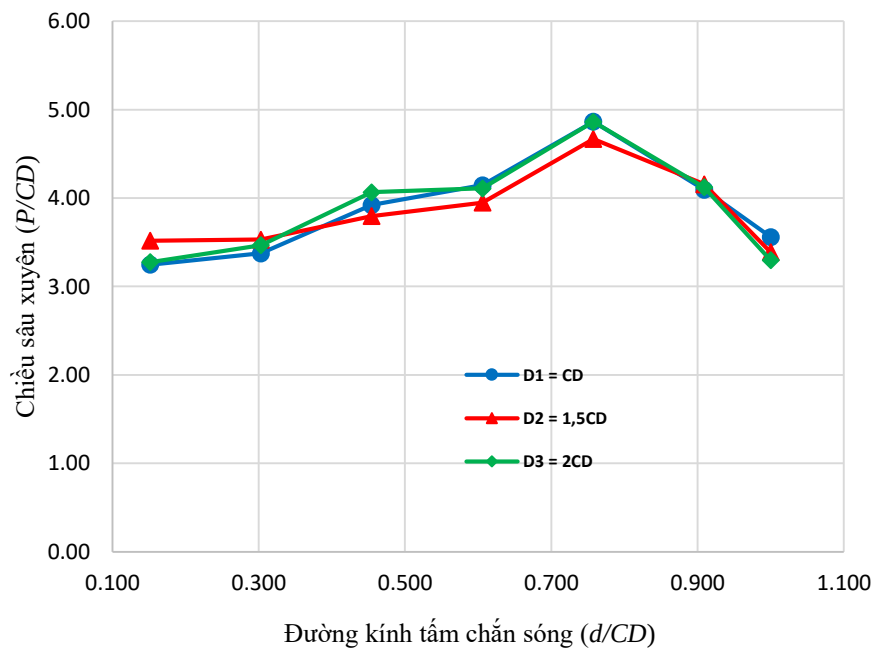
Bảng 3.8: Chiều sâu xuyên theo vị trí kích nổ

t_{det} (cm)	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	2,8
Chiều sâu xuyên (cm)	29,4	31,1	31,5	31,7	32,1	32,1

3.5. Tính đồng dạng của quy luật thay đổi chiều sâu xuyên theo các thông số tấm chắn sóng

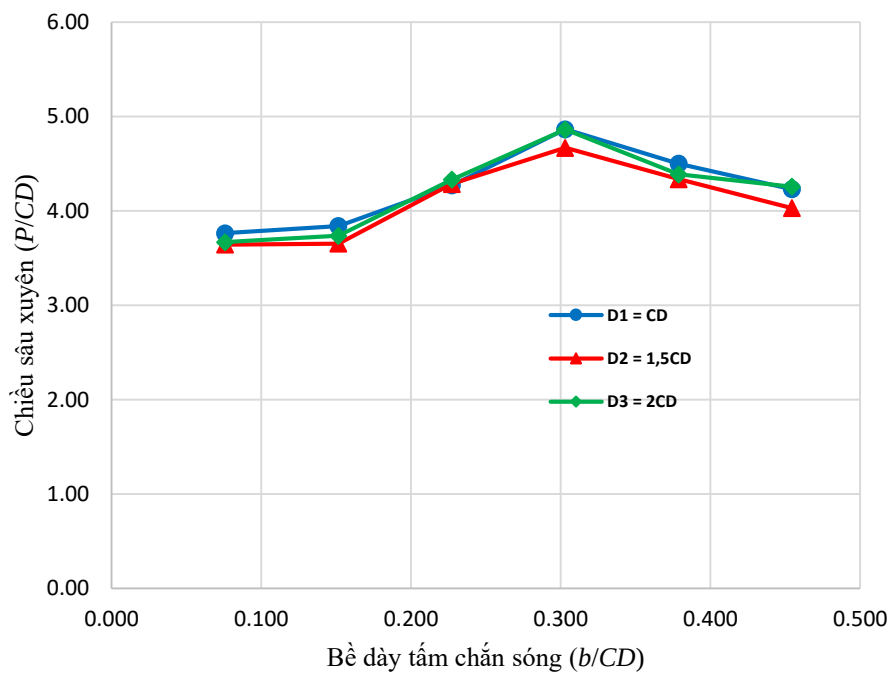
Để đánh giá khái quát ảnh hưởng của một số thông số TCS đến chiều sâu xuyên đạn lõm, tiến hành mô phỏng trong trường hợp đường kính khối thuốc nổ thay đổi.

- Quy luật thay đổi chiều sâu xuyên theo đường kính TCS ứng với các giá trị đường kính khối thuốc CD :



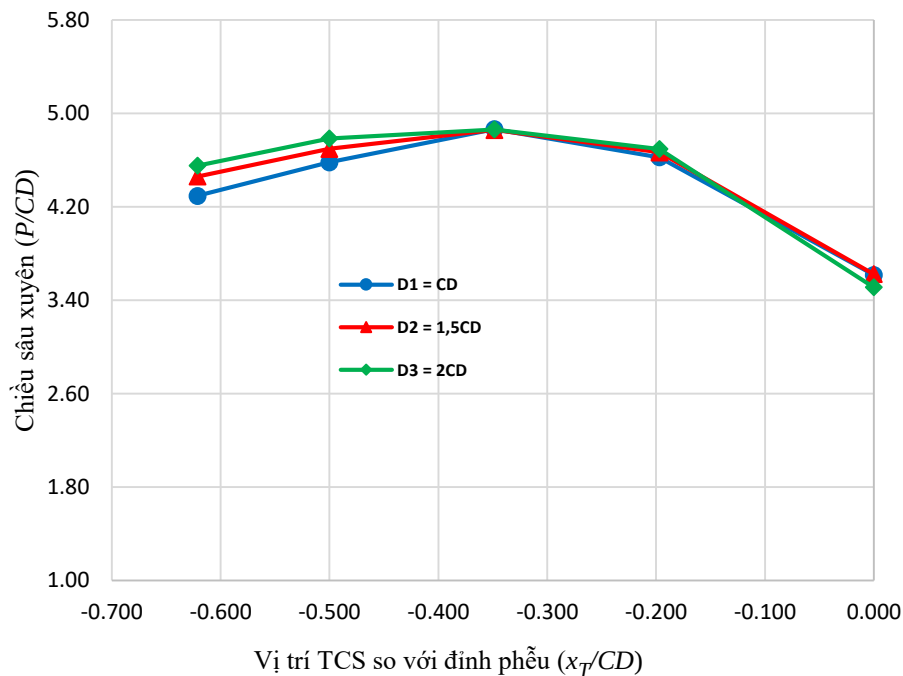
Hình 3.5: Quy luật thay đổi chiều sâu xuyên theo đường kính TCS

- Quy luật thay đổi chiều sâu xuyên theo bề dày TCS ứng với các giá trị đường kính khối thuốc CD :



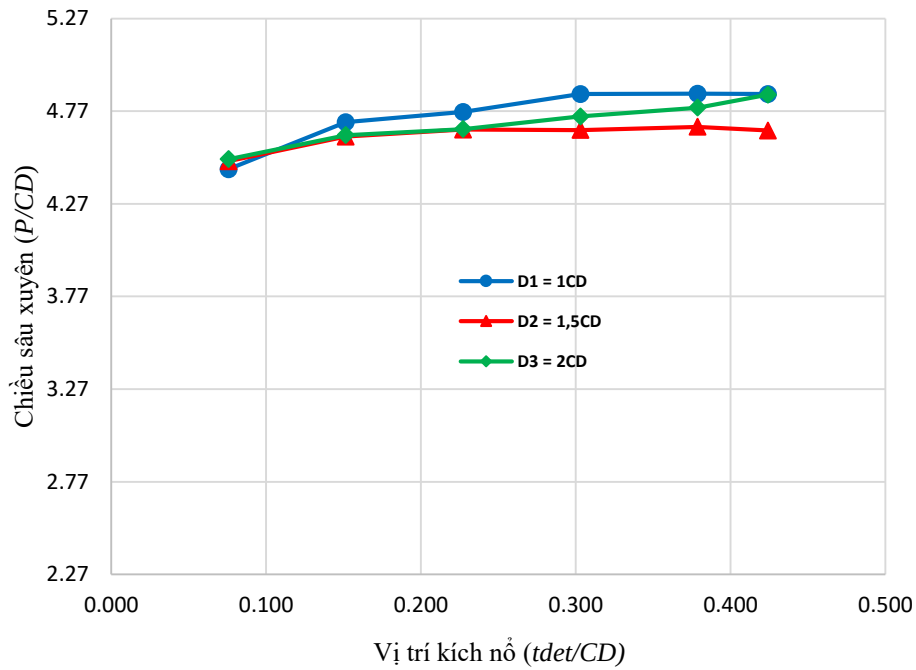
Hình 3.6: Quy luật thay đổi chiều sâu xuyên theo bề dày TCS

- Quy luật thay đổi chiều sâu xuyên theo vị trí TCS ứng với các giá trị đường kính khối thuốc CD :



Hình 3.7: Quy luật thay đổi chiều sâu xuyên theo vị trí TCS

- Quy luật thay đổi chiều sâu xuyên theo vị trí kích nổ ứng với các giá trị đường kính khối thuốc CD :



Hình 3.8: Quy luật thay đổi chiều sâu xuyên theo vị trí kích nổ

Kết luận chương 3

Khi thay đổi đường kính, bề dày và vị trí TCS so với đỉnh phễu thì quy luật thay đổi chiều sâu xuyên theo xu hướng tăng sau đó giảm dần. Đối với trường hợp khảo sát ảnh hưởng của vị trí TCS so với điểm kích nổ thì chiều sâu xuyên thay đổi trong phạm vi nhỏ. Các quy luật thay đổi chiều sâu xuyên theo các thông số kết cấu và vị trí TCS mang tính đồng dạng.

Bề mặt sóng kết hợp (giữa hai nguồn sóng vòng qua TCS và kích nổ trực tiếp sau TCS) tác động lên phần phân tổ phễu lót tạo đỉnh dòng (phần phân tổ từ khoảng 33% đến khoảng 50% chiều cao phễu lót) cho chiều sâu xuyên là lớn nhất.

Việc sử dụng tấm chắn sóng có đường kính $d \leq 0,303CD$ và bề dày $b \leq 0,152CD$ không có tác dụng trong việc tăng chiều sâu xuyên.

Vị trí tấm chắn sóng so với điểm kích nổ ảnh hưởng không lớn đến chiều sâu xuyên đạn lõm. Tuy nhiên, vị trí kích nổ cần phải bảo đảm khoảng cách $t_{det} > 0,076CD$.

CHƯƠNG 4: THỰC NGHIỆM NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA TẤM CHẮN SÓNG NỔ ĐẾN CHIỀU SÂU XUYỀN ĐẠN LỖM

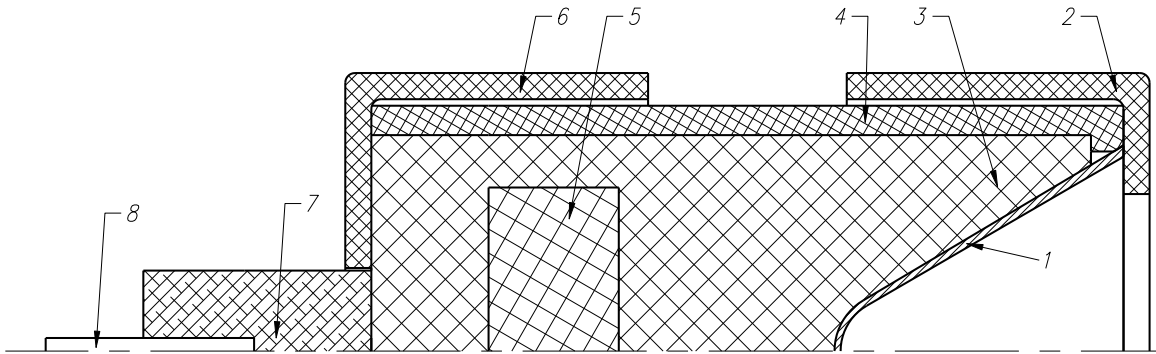
4.1. Mục đích nghiên cứu thực nghiệm

Nhằm xác định được ảnh hưởng của các thông số tấm chắn sóng đến chiều sâu xuyên; so sánh kết quả thực nghiệm với kết quả của các phương pháp tính toán lý

thuyết; kiểm chứng tính chính xác của mô hình và phương pháp nghiên cứu.

4.2. Đối tượng và nội dung thử nghiệm

Đối tượng thử nghiệm: Đạn lõm sử dụng tấm chắn sóng. Mô hình hình học của mẫu thử nghiệm được thể hiện trên Hình 4.1. Đầu đạn thử nghiệm dựa trên các kích thước chính của Hình 2.2. Đầu đạn sử dụng phễu lót đạn B41-M.

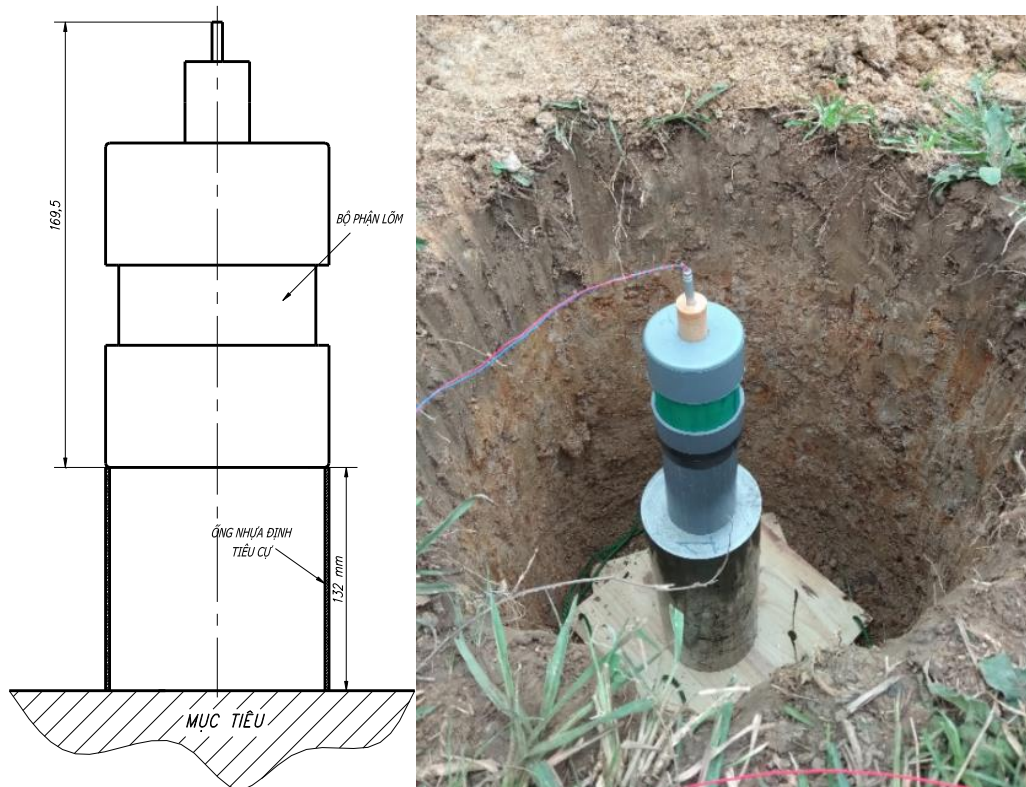


Hình 4.1: Mô hình hình học mẫu thử nghiệm ảnh hưởng của TCS nổ đến chiều sâu xuyên đạn lõm

1 - Phễu lót; 2 - Nắp chặn trên; 3 - Thuốc nổ chính; 4 - Vỏ bọc; 5 - Tấm chắn sóng;
6 - Nắp chặn dưới; 7 - Trạm nổ; 8 - Kíp nổ.

4.3. Bố trí thử nghiệm

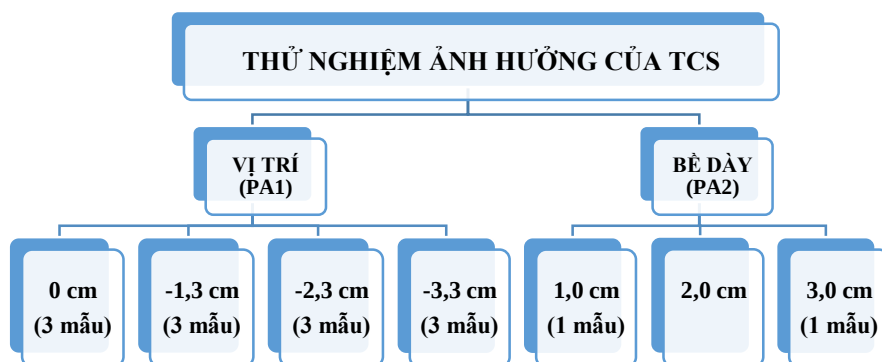
Sơ đồ bố trí thử nghiệm được thể hiện trên Hình 4.2.



Hình 4.2: Bố trí thử nghiệm

4.4. Phương án thử nghiệm và số lượng mẫu thử

Sơ đồ các phương án thử nghiệm và số lượng mẫu được thể hiện trên Hình 4.3.



Hình 4.3: Sơ đồ các phương án thử nghiệm ảnh hưởng của TCS

4.5. Kết quả thực nghiệm

Kết quả chiều sâu xuyên được thể hiện trên Bảng 4.1, Bảng 4.2

Bảng 4.1: Kết quả chiều sâu xuyên theo vị trí TCS

Kí hiệu mẫu	1.1.1	1.1.2	1.1.3	1.2.1	1.2.2	1.2.3	1.3.1	1.3.2	1.3.3	1.4.1	1.4.2	1.4.3
Vị trí x_T (cm)	0	0	0	-1,3	-1,3	-1,3	-2,3	-2,3	-2,3	-3,3	-3,3	-3,3
CSX (cm)	23,9	21,0	20,9	27,9	26,1	26,7	28,6	27,7	30,0	28,6	27,5	26,2
CSXTB (cm)	21,9			26,9			28,7			27,4		

Bảng 4.2: Kết quả chiều sâu xuyên theo bề dày TCS

Kí hiệu mẫu	2.1.1	2.2.1	2.3.1
Bề dày TCS (cm)	1,0	2,0	3,0
CSX (cm)	21,4	28,7	28,2

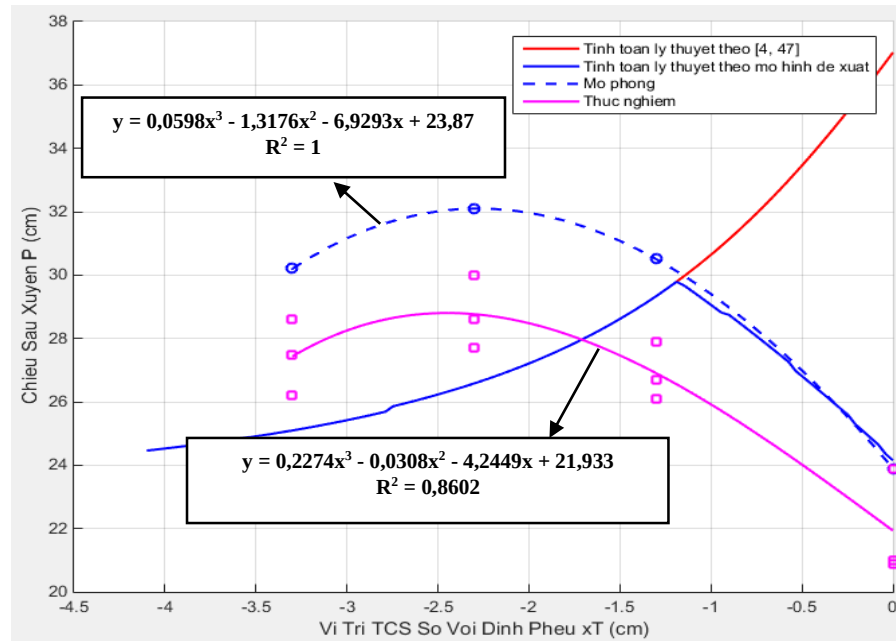
Sai lệch trong khoảng khảo sát giữa giá trị chiều sâu xuyên trung bình (CSXTB) lớn nhất và nhỏ nhất là 31,1%. Sai lệch giữa giá trị thực nghiệm lớn nhất và nhỏ nhất tại mỗi vị trí TCS so với giá trị CSXTB nhỏ hơn 14%.

Đối với kết quả thực nghiệm về ảnh hưởng của bề dày TCS, do điều kiện về số lượng mẫu thử chỉ cho phép thử mỗi phương án một mẫu nên kết quả chỉ mang tính thử nghiệm sơ bộ để đánh giá về chiều hướng ảnh hưởng.

4.6. So sánh kết quả thực nghiệm với phương pháp tính toán đề xuất và phương pháp mô phỏng số

4.6.1. So sánh kết quả khảo sát ảnh hưởng vị trí tấm chắn sóng

So sánh các kết quả chiều sâu xuyên của các phương pháp lý thuyết và thực nghiệm khi vị trí tấm chắn sóng thay đổi được thể hiện trên Hình 4.4.

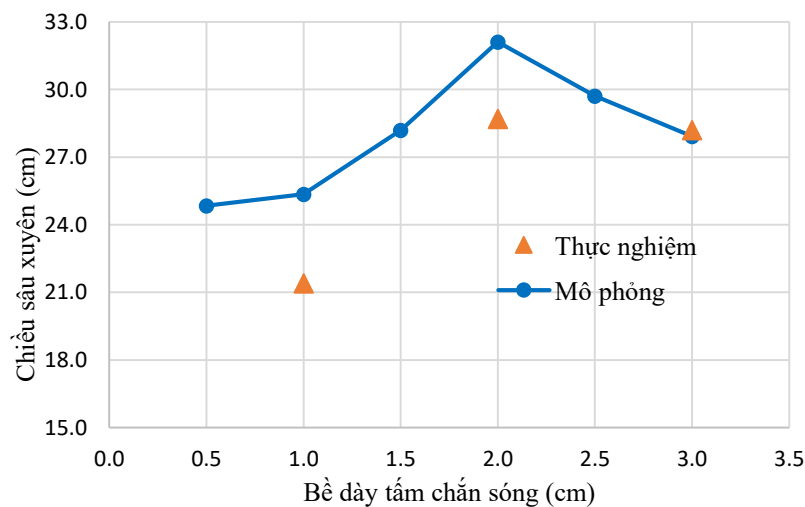


Hình 4.4: So sánh kết quả chiều sâu xuyên giữa lý thuyết và thực nghiệm khi vị trí TCS thay đổi

Về mặt quy luật thay đổi chiều sâu xuyên theo vị trí TCS, kết quả của phương pháp mô phỏng thể hiện sự phù hợp về dáng điệu đồ thị và xu hướng so với kết quả thực nghiệm. Các kết quả này cho thấy sự đúng đắn của phương pháp mô phỏng về quy luật thay đổi chiều sâu xuyên khi vị trí tấm chắn sóng thay đổi. Sai lệch giữa tính toán mô phỏng và thực nghiệm trong phạm vi cho phép nhỏ hơn 14%.

4.6.2. So sánh kết quả khảo sát ảnh hưởng bề dày tấm chắn sóng

So sánh các kết quả chiều sâu xuyên của các phương pháp mô phỏng và thực nghiệm khi bề dày tấm chắn sóng thay đổi được thể hiện trên Hình 4.5.



Hình 4.5: So sánh kết quả chiều sâu xuyên giữa mô phỏng và thực nghiệm khi bề dày TCS thay đổi

Căn cứ vào kết quả trên Hình 4.5 cho thấy, tồn tại một giá trị của bề dày TCS mà tại đó chiều sâu xuyên là lớn nhất.

4.7. Liên hệ kết quả tính toán mô phỏng với kết cấu của một số loại đạn

Để đánh giá mức độ phù hợp, tin cậy của các nghiên cứu lý thuyết, một số kết quả tính toán mô phỏng được liên hệ với kết cấu của một số loại đạn. Một số thông số kết cấu và vị trí của TCS so với đỉnh phễu của một số loại đạn được thể hiện trong Bảng 4.3.

Bảng 4.3: Một số thông số kết cấu và vị trí tấm chắn sóng của một số loại đạn

STT	Loại đạn	d/CD	b/CD	x_T/CD	$2\alpha_0$
1	PG-16 Liên Xô	0,914	0,293	-0,516	52
2	PG-18 Liên Xô	0,886	0,263	-0,661	52
3	PG-7 Liên Xô	0,622	0,199	-0,205	60
4	PG-7M Romani	0,757	0,215	-0,312	60
5	PG-9 Liên Xô	0,784	0,211	-0,273	60
6	PG-9S Liên Xô	0,756	0,232	-0,201	50

Căn cứ vào số liệu trong Bảng và kết quả khảo sát bằng phương pháp mô phỏng cho ta thấy:

- Trong kết cấu thực giá trị đường kính, bề dày tấm chắn sóng lần lượt thay đổi trong khoảng từ $0,6CD$ đến $0,9CD$ và từ $0,2CD$ đến $0,3CD$. Các khoảng thay đổi này chứng tỏ sự phù hợp của kết quả lý thuyết so với kết cấu thực (giá trị đường kính tấm chắn sóng phải lớn hơn $0,303CD$, giá trị bề dày tấm chắn sóng phải lớn hơn $0,152CD$);
- Do sự khác nhau trong hình dạng, vật liệu tấm chắn sóng, bản chất thuốc nổ, kết cấu lòng đạn, phễu lót nên để xác định chính xác vị trí tấm chắn sóng bảo đảm chiều sâu xuyên của dòng kim loại tập trung cần phải khảo sát các giá trị thay đổi của vị trí tấm chắn sóng.

Kết luận chương 4

Khi vị trí TCS tiến về phía đỉnh phễu, chiều sâu xuyên tăng sau đó giảm dần và có giá trị nhỏ nhất tại đỉnh phễu; Sai lệch giữa tính toán mô phỏng và thực nghiệm nhỏ hơn 14%. Bề dày TCS có ảnh hưởng đến chiều sâu xuyên đạn lõm khi có định đường kính và vị trí của nó so với đỉnh phễu. Tồn tại giá trị bề dày bảo đảm chiều sâu xuyên là lớn nhất. Trong trường hợp khảo sát là bề dày 2,0 cm.

Có sự phù hợp tương đối của các giá trị thông số tấm chắn sóng như đường kính, bề dày và vị trí tấm chắn sóng so với kết cấu thực của một số loại đạn.

KẾT LUẬN VÀ HƯỚNG PHÁT TRIỂN

Một số kết luận chính được rút ra:

1. Vị trí của tấm chắn sóng ảnh hưởng đến số lượng các phân tử phễu lót tham gia quá trình hình thành dòng xuyên và là nguyên nhân làm giảm chiều sâu xuyên khi TCS

dịch chuyển về phía đỉnh phễu.

2. Việc ứng dụng lý thuyết cơ học môi trường liên tục, lý thuyết đàn hồi, lý thuyết chảy dẻo cùng với các mô hình vật liệu kể đến tính tăng bền, khả năng phá hủy khi chịu tải trọng cao cho phép xây dựng mô hình toán học mô tả đầy đủ, chính xác quá trình hình thành dòng xuyên và va xuyên của dòng xuyên vào mục tiêu bản thép.

3. Các kết quả mô phỏng phù hợp với kết quả lý thuyết và thực nghiệm. Sai lệch chiều sâu xuyên của phương pháp mô phỏng so với kết quả thực nghiệm nằm trong phạm vi cho phép (+11,8%).

4. Các thông số của tấm chắn sóng ảnh hưởng lớn đến chiều sâu xuyên của dòng kim loại tập trung. Ảnh hưởng này là do sự thay đổi hình dạng bề mặt sóng nổ phía sau tấm chắn sóng.

5. Quá trình thiết kế chế tạo đạn lõm sử dụng TCS phải bảo đảm đường kính TCS $d > 0,303CD$, bề dày $b > 0,152CD$ và $t_{det} > 0,076CD$. Trong trường hợp áp dụng cho mô hình khảo sát có thể xác định được bộ thông số của TCS bảo đảm chiều sâu xuyên là lớn nhất ($d = 0,875CD$; $b = 0,303CD$; $x_T = -0,348CD$ và $t_{det} > 0,076CD$).

6. Kết quả thử nghiệm về vị trí và bề dày cho thấy các kết quả tính toán mô phỏng là tin cậy và có thể sử dụng để khảo sát đánh giá ảnh hưởng của các yếu tố đến tác dụng xuyên của đầu đạn lõm; đánh giá mẫu đạn mới trong trạng bị hay định hướng, hiệu chỉnh trong nghiên cứu thiết kế, chế tạo các loại mẫu đạn lõm.

7. Các giá trị của kết cấu, vị trí tấm chắn sóng và các khuyến cáo về các giá trị này phù hợp với kết cấu của một số loại đạn. Các số liệu khảo sát ảnh hưởng của tấm chắn sóng trình bày trong luận án là những cơ sở ban đầu phục vụ cho việc tính toán, thiết kế, đánh giá các mẫu đạn xuyên lõm sử dụng tấm chắn sóng.

Những đóng góp mới của luận án:

1. Bổ sung giả thuyết vào phương pháp giải tích tính toán chiều sâu xuyên đạn lõm có tính đến ảnh hưởng của vị trí tấm chắn sóng;

2. Đánh giá định lượng ảnh hưởng của đường kính, bề dày, vị trí tấm chắn sóng đến chiều sâu xuyên đạn lõm.

Hướng nghiên cứu tiếp theo của luận án:

- Nghiên cứu ảnh hưởng của hình dạng, vật liệu TCS đến các tham số dòng xuyên và chiều sâu xuyên đạn lõm;

- Nghiên cứu ảnh hưởng sự thay đổi đồng thời các thông số TCS tới quá trình hình thành dòng xuyên và va xuyên của dòng xuyên vào bản thép;

- Nghiên cứu xác định các bộ số liệu cho các vật liệu mới ứng dụng trong đầu đạn lõm và mục tiêu;

- Nghiên cứu xây dựng, đề xuất phương pháp tính toán giải tích có tính đến khả năng chắn sóng của tấm chắn sóng.