

NGHIÊN CỨU TÍNH TOÁN THIẾT KẾ PHẪU LÓT CỦA MCT ĐÁNH GÀM MCT-72

COMPUTATIONAL STUDY AND DESIGN OF THE LINER FOR THE MCT-72 UNDERBELLY ANTI-TANK MINE

ThS. Nguyễn Văn Thái

Viện Vũ khí, Tổng cục Công nghiệp quốc phòng

*Email: nguyenthaivvk@gmail.com

TÓM TẮT

Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu mô phỏng tính toán và thiết kế phễu lót dạng vành khăn cho MCT đánhغام MCT-72, là loại mìn tiêu diệt mục tiêu theo nguyên lý nổ tạo hình (Explosively Formed Penetrator - EFP). Do đặc điểm kết cấu mìn sử dụng ngòi nổ cảm ứng từ bố trí tại trục trung tâm nên phễu lót của mìn được thiết kế rỗng giữa tạo biên dạng hình vành khăn đặc biệt nhằm đảm bảo không gian lắp ghép và khả năng hội tụ, hình thành phần tử xuyên. Nhóm tác giả đã thiết lập mô hình toán học và sử dụng phần mềm mô phỏng Ansys Autodyn 2D để khảo sát quá trình hình thành phần tử xuyên dưới tác động của sóng nổ từ thuốc nổ TT-40/60. Các thông số vật liệu được mô tả qua phương trình trạng thái JWL và mô hình bền Steinberg-Guinan/Johnson-Cook. Kết quả thực nghiệm số xác định được bộ thông số hình học phù hợp: phễu lót đồng CU-OFHC (tương đương đồng M1) có chiều dày 2,5 mm, bán kính cong $R = 40$ mm. Phần tử xuyên hình thành đạt vận tốc từ (1600÷2000) m/s, cho phép xuyên thủng hoàn toàn bản thép CT3 dày 100 mm ở khoảng cách tác dụng từ (250÷500) mm. Kết quả nghiên cứu là cơ sở quan trọng cho việc thiết kế, chế thử và thử nghiệm dòng mìn đánhغام thế hệ mới.

Từ khóa: Ansys Autodyn; CU-OFHC; Nổ tạo hình; Phễu lót.

ABSTRACT

This paper presents the results of a computational and simulation-based study on the design of an annular liner for the MCT-72 underbelly anti-tank mine, which operates based on the Explosively Formed Penetrator (EFP) principle. Due to the structural configuration of the mine, which incorporates a magnetic influence fuze positioned along the central axis, the liner is designed with a hollow core, forming a distinctive annular geometry. This configuration ensures sufficient assembly space while maintaining the required convergence characteristics for effective penetrator formation. The authors developed a mathematical model and employed Ansys Auto 2D simulation software to investigate the formation process of the penetrator under the action of detonation waves generated by TT-40/60 explosive. Material behavior was described using the JWL equation of state in combination with the Steinberg–Guinan/Johnson–Cook strength models. Simulation results identified an optimal set of geometric parameters for the liner: CU-OFHC copper (equivalent to M1 copper) with a thickness of 2.5 mm and a curvature radius of $R = 40$ mm. The resulting penetrator achieved a velocity in the range of 1600 to 2000 m/s, enabling complete penetration of a 100 mm thick CT3 steel plate at a standoff distance of 250 to 500 mm. The findings provide a significant basis for the design, prototyping, and experimental validation of next-generation underbelly anti-tank mines.

Keywords: Ansys Autodyn; CU-OFHC; Shaped charge; Liner.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong bối cảnh tác chiến hiện đại, sự phát triển mạnh mẽ của vật liệu và công nghệ chế tạo vỏ giáp trên các dòng xe tăng chủ lực đã làm giảm đáng kể hiệu quả của các loại vũ khí chống tăng thông thường. Điều này đặt ra yêu cầu cấp thiết về việc phát triển các hệ thống vũ khí nhằm tấn công vào những vị trí hiểm yếu của xe, nơi có lớp giáp mỏng nhất - đó là phần gầm xe. Do đó, MCT đánh gầm được xem là giải pháp chiến thuật tối ưu, không chỉ gây hư hỏng nặng hệ thống truyền động mà còn xuyên thủng khoang chiến đấu, phá hủy thiết bị máy móc bên trong và sát thương kíp lái trên xe [1]. Với những tính năng ưu việt như vậy nên hiện nay MCT đánh gầm đã được nhiều nước trên thế giới nghiên cứu chế tạo và đưa vào trong trang bị.

MCT đánh gầm MCT-72 là sản phẩm nghiên cứu của Viện Vũ khí được thiết kế dựa trên nguyên lý mìn TM-72 của Liên bang Nga, mìn sử dụng ngòi cảm ứng từ và tiêu diệt mục tiêu theo nguyên lý nổ tạo hình. Với đặc điểm đây là sản phẩm nghiên cứu thiết kế mới, hoàn toàn không có mẫu mìn của Nga, do đó việc tính toán thiết kế phần chiến đấu để đạt hiệu quả uy lực tương đương với mìn của Nga là một nội dung quan trọng đặt ra đối với nhóm nghiên cứu. Trong đó, ngoài các yếu tố ảnh hưởng trực tiếp đến uy lực xuyên của mìn như: thuốc nổ nhồi nạp, vật liệu chế tạo phễu lót,... thì cần phải tính toán thiết kế xác định được bộ các thông số kích thước hình học của phễu lót. Các tính toán lý thuyết theo phương pháp giải tích đòi hỏi phải giải quyết khối lượng bài toán rất lớn nhưng đôi khi chưa phản ánh hết sự tương tác giữa phần tử xuyên và giáp chống tăng hiện nay. Bên cạnh đó, việc đánh giá uy lực của mìn thông qua thực nghiệm thường rất tốn kém và khó quan sát quá trình hình thành phần tử xuyên.

Để giải quyết vấn đề nêu trên, nội dung bài báo trình bày phương pháp bán thực nghiệm, kết hợp mô phỏng số để mô phỏng lại quá trình tương tác giữa thuốc nổ với phễu lót để đánh giá, hiệu chỉnh kết quả nghiên cứu nhằm tối ưu hóa bộ thông số kích thước hình học của phễu lót dạng vành khăn cho MCT-72. Kết quả nghiên cứu sẽ làm cơ sở để tối ưu hóa thiết kế MCT-72 đồng thời nâng cao hiệu quả tác chiến của loại vũ khí chống tăng trong tương lai.

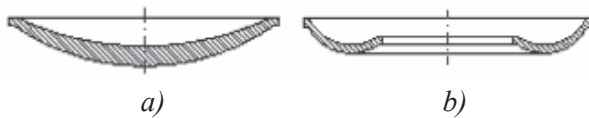
2. NỘI DUNG VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Phân tích kết cấu phễu lót [3]

Trên cơ sở đối tượng tác chiến là các loại xe tăng hiện đại có lớp giáp gầm dày từ (20÷80) mm bằng thép đồng nhất. Để tối ưu hóa khả năng nguy trang thì thân mìn MCT-72 có dạng hình trụ dẹt với tỷ lệ giữa chiều cao và đường kính h/d rất nhỏ ($h/d \approx 0,3 \div 0,4$). Theo lý thuyết vật lý nổ [2], với tỷ lệ h/d như vậy, việc áp dụng nguyên lý nổ tập trung xuyên lõm truyền thống là không phù hợp do khoảng cách từ mìn đến mục tiêu gầm xe tăng nhỏ không đủ để dòng xuyên kéo dài và ổn định, dẫn đến không đảm bảo uy lực xuyên. Do đó, lựa chọn nguyên lý “nổ tạo hình” cho thân mìn MCT-72 là phương án tối ưu. Nguyên lý nổ tạo hình giúp hình thành phần tử xuyên, bay ổn định với vận tốc cao và duy trì động năng tốt ở dải khoảng cách tác dụng từ (250÷500) mm.

Về kết cấu, để đảm bảo độ nhạy và tính đối xứng của trường cảm ứng từ thì ngòi nổ của mìn cần phải được bố trí phía trên và ở trung tâm của thân mìn. Điều này dẫn đến phễu lót của mìn MCT-72 không thể là một đĩa lõm liền khối như ở một số loại đạn xuyên lõm hoặc MCT nổ tạo hình thông thường mà phễu lót phải có dạng hình vành khăn (Hình 1.1). Điều này phù hợp với kết cấu của MCT đánh gầm

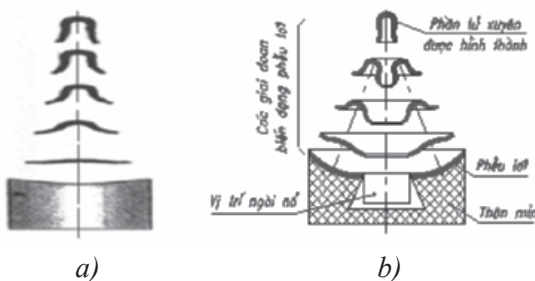
mà vẫn đảm bảo hình thành và duy trì ổn định phần tử xuyên tạo hình trước khi va chạm mục tiêu.



Hình 2.1. Phểu lót của đạn tạo hình:

a. Phểu lót có dạng bán cầu; b. Phểu lót có dạng hình vành khăn

Khi đó, quá trình hình thành phần tử xuyên của phểu lót sẽ có sự khác biệt (Hình 2.2), phần tử xuyên thay vì hội tụ trực tiếp trên trục đối xứng giống các loại đạn lõm thông thường (Hình 2a) thì vật liệu từ phểu hình vành khăn dưới tác động của áp suất nổ sẽ trải qua quá trình hội tụ không đối tâm (Hình 2b). Lúc này, dòng kim loại tương tác và dẫn hội tụ tại vùng không gian xung quanh trục thân mìn thành một khối phần tử xuyên. Như vậy, nếu thông số hình học của phểu lót (đường kính phểu, góc mở, bán kính cong, góc nghiêng giữa mặt trong và mặt ngoài phểu...) không được tính toán chính xác thì sự tương tác sóng nổ sẽ gây ra hiện tượng phân mảnh hoặc mất ổn định, khiến phần tử xuyên không thể đạt được vận tốc yêu cầu đặt ra từ (1600÷2000) m/s để xuyên thủng bản thép thậm chí không thể hội tụ để hình thành phần tử xuyên [4].



Hình 2.2. Mô hình biến dạng phểu lót:

a. Đối với phểu lót dạng bán cầu;
b. Đối với phểu lót hình vành khăn.

Như vậy, để khảo sát đánh giá xác định

được bộ các thông số kích thước hình học phù hợp của phểu lót MCT đánh găm MCT-72, trong quá trình tính toán sử dụng phương pháp bán thực nghiệm là kết hợp giữa mô phỏng số quá trình tương tác giữa thuốc nổ - phểu lót trong bài toán nổ tạo hình với thực nghiệm để đánh giá nhằm giảm thiểu số lượng lần thử nghiệm cho kết quả.

2.2. Mô hình tính toán [2]

Để mô tả sự biến thiên về không gian và thời gian của trường vận tốc, áp suất và nhiệt độ trong quá trình này, nghiên cứu áp dụng hệ phương trình bảo toàn cơ bản của cơ học môi trường liên tục dưới dạng vi phân Euler:

2.2.1. Phương trình bảo toàn khối lượng

Sự liên tục của dòng khối lượng vật chất trong quá trình phểu vành khăn bị nén ép được mô tả bởi phương trình:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{u}) = 0$$

Trong đó: ρ là khối lượng riêng và $\mathbf{u} = (u_x, u_y, u_z)$ là vector vận tốc dòng kim loại tại thời điểm t .

2.2.2. Phương trình bảo toàn năng lượng

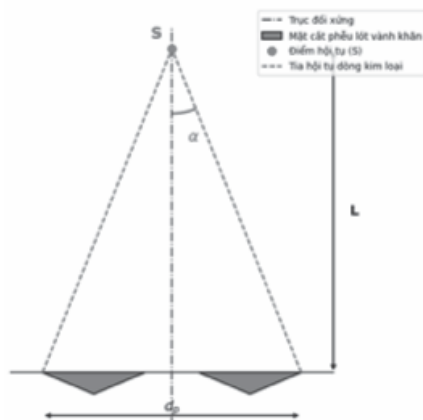
Do quá trình hình thành phần tử xuyên diễn ra trong thời gian cực kỳ ngắn (< 1 ms), sự truyền nhiệt không kịp diễn ra nên hệ thống được giả thiết là một quá trình đoạn nhiệt:

$$\rho \frac{de}{dt} = -P(\nabla \cdot \mathbf{u}) + \mathbf{S} : \dot{\epsilon}^p$$

Trong đó: e là nội năng riêng. Đại lượng $-P(\nabla \cdot \mathbf{u})$ thể hiện cho công nén thể tích, và $\mathbf{S} : \dot{\epsilon}^p$ là công tán nhiệt sinh ra do ma sát dẻo (với $\dot{\epsilon}^p$ là tensor tốc độ biến dạng dẻo).

2.2.3. Mô hình hình học hội tụ động học

Dựa trên hệ phương trình bảo toàn, quỹ đạo của dòng khối lượng u có thể được mô hình hóa về mặt hình học để xác định tiêu cự hội tụ của phễu. Mỗi quan hệ giữa đường kính phễu (d_p), khoảng cách hội tụ (L) và góc nghiêng của dòng kim loại (α) được xác định theo mô hình hình học tại Hình 2.3: $d_p = 2L \tan(\alpha)$.



Hình 2.3. Sơ đồ xác định kích thước hình học và điểm hội tụ của phần tử xuyên

2.3. Phương trình trạng thái và mô hình vật liệu [5-7]

Để giải quyết bài toán mô phỏng thủy động lực học, nghiên cứu tiến hành khai báo các phương trình trạng thái và mô hình cấu tạo đặc thù cho từng thành phần vật liệu. Sự lựa chọn các mô hình này dựa trên đặc tính biến dạng ở tốc độ siêu thanh và áp suất cực đại của quá trình nổ tạo hình.

2.3.1. Phương trình trạng thái

Áp suất P của sản phẩm nổ được xác định thông qua phương trình trạng thái JWL (Jones-Wilkins-Lee) dưới dạng hàm của thể tích tương đối V và nội năng riêng E :

$$P = A \left(1 - \frac{\omega}{R_1 V} \right) e^{-R_1 V} + B \left(1 - \frac{\omega}{R_2 V} \right) e^{-R_2 V} + \frac{\omega E}{V}$$

Trong đó: A, B, R_1, R_2, ω là các hằng số nhiệt động học được xác định thông qua thực nghiệm.

2.3.2. Mô hình bền Steinberg-Guinan cho vật liệu phễu lót

Dưới tác động của sóng xung kích, phễu lót chuyển sang trạng thái chảy dẻo nhưng vẫn phải duy trì tính liên tục (không bị phân mảnh). Mô hình bền Steinberg-Guinan được lựa chọn để mô tả chính xác sự phụ thuộc của mô đun đàn hồi trượt G vào áp suất P và nhiệt độ T :

$$G = G_0 \left[1 + \left(\frac{G'_P}{G_0} \right) \frac{P}{\eta^{1/3}} + \left(\frac{G'_T}{G_0} \right) (T - 300) \right]$$

2.3.3. Mô hình bền Johnson-Cook cho bản thép tiêu chuẩn (CT3)

Quá trình phân tử xuyên va chạm xuyên thủng bản thép được mô tả bởi mô hình Johnson - Cook. Mô hình này phù hợp cho vật liệu bia mục tiêu nhờ khả năng kết hợp tác động của biến dạng dẻo lớn, tốc độ biến dạng dẻo $\dot{\epsilon}^*$ và hiện tượng mềm hóa do nhiệt:

$$\sigma = [A + B(\epsilon^p)^n][1 + C \ln \dot{\epsilon}^*][1 - (T^*)^m]$$

Trong đó: T^* là nhiệt độ tương đối.

2.4. Thiết lập bài toán mô phỏng số [3]

Sử dụng các thông số kết cấu, vật liệu nêu ở Bảng 2.2 để xây dựng bài toán mô phỏng hiện tượng nổ PCĐ MCT trong Asys Autodyn. Để phù hợp với tốc độ tính toán của máy tính, chúng ta sử dụng mô hình 2D đối xứng qua trục Ox .



Để giải quyết bài toán nổ tạo hình của mìn MCT-72, nghiên cứu sử dụng phần mềm Ansys Autodyn 2D - một công cụ mô phỏng chuyên dùng cho các bài toán va chạm và nổ tốc độ cao. Quy trình thiết lập mô hình được thực hiện qua các bước chuẩn hóa sau:

2.4.1. Cấu hình hình học và thuật toán giải

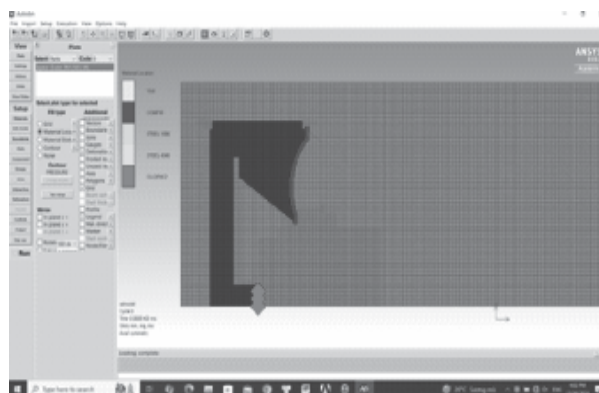
Do kết cấu thân mìn và phễu lót vành khăn hoàn toàn đối xứng qua trục thân mìn nên để phù hợp với tốc độ tính toán của máy tính, chúng ta sử dụng mô hình 2D đối xứng qua trục Ox.

Về thuật toán giải, nghiên cứu sử dụng phương pháp Euler. Khác với phương pháp Lagrange (dễ bị lỗi khi vật liệu biến dạng cực lớn), phương pháp Euler cho phép các vật liệu (thuốc nổ, đồng, thép) di chuyển xuyên qua một lưới cố định trong không gian. Điều này đặc biệt quan trọng trong việc mô tả sự giãn nở của sản phẩm nổ và quá trình hình thành phần tử xuyên của phễu ở dải vận tốc cao.

2.4.2. Chia lưới và điều kiện biên

Độ chính xác của mô phỏng thủy động lực học phụ thuộc trực tiếp vào kích thước lưới, không xét tới tương tác của sản phẩm nổ và thân vỏ mìn tại biên vùng tính toán; điều kiện biên được sử dụng là Flowout; phương pháp kích nổ điểm được sử dụng trong mô phỏng. Sử dụng lưới Euler với kích thước lưới $0,5 \times 0,5 \text{ mm}$, mục tiêu bản thép sử dụng lưới Lagrange với kích thước lưới $0,5 \times 0,5 \text{ mm}$.

Sơ đồ thiết lập miền tính toán, vị trí các thành phần và cấu trúc lưới được thể hiện chi tiết tại Hình 2.4.

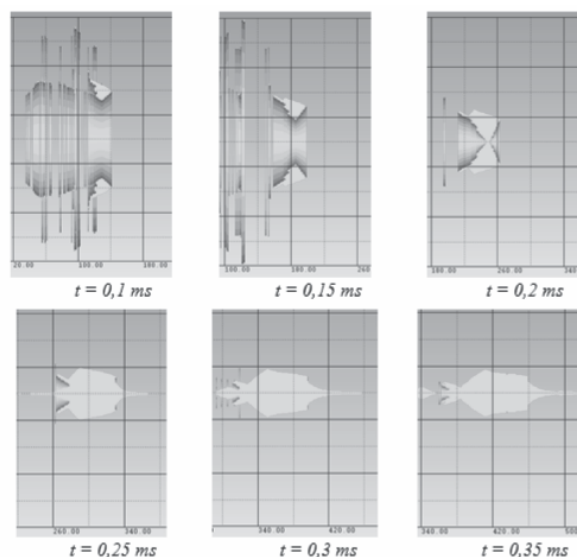


Hình 2.4. Thiết lập mô hình mô phỏng số 2D đối xứng trục trên Ansys Autodyn

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Quá trình biến dạng và hình thành phần tử xuyên

Kết quả mô phỏng quá trình hình thành phần tử xuyên từ phễu lót vành khăn được thể hiện tại Hình 3.1.



Hình 3.1. Kết quả mô phỏng quá trình hình thành phần tử xuyên

Dựa trên sự thay đổi hình dạng theo thời gian, quá trình này được chia thành 3 giai đoạn:

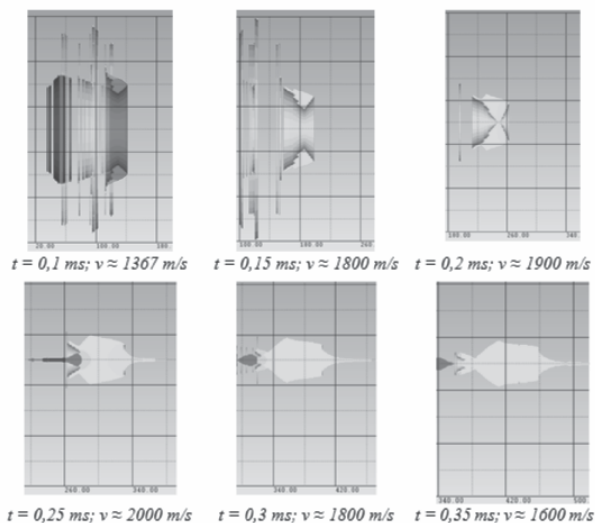
- Giai đoạn nén ép (từ 0,1÷0,15 ms): Sóng nổ tác động lên bề mặt phễu đồng. Vật liệu tại các vùng biên xung quanh hình vành khăn bị đẩy theo hướng vào trục thân mình.

- Giai đoạn hội tụ (từ 0,2÷0,25 ms): Dòng kim loại thực hiện quá trình hội tụ. Các dòng vật liệu hội tụ tại vùng không gian xung quanh trục, tạo ra một vùng áp suất cao cục bộ buộc vật liệu nén ép dọc theo trục đối xứng.

- Giai đoạn ổn định hình dạng (từ 0,25÷0,35 ms): Phần tử xuyên được hình thành. Cấu trúc này giúp dịch chuyển tâm áp suất ra phía sau, tạo ra sự ổn định trong quá trình bay.

3.2. Phân tích đặc tính trường vận tốc của phần tử xuyên

Quá trình hình thành phần tử xuyên và vận tốc phần tử xuyên tại các thời điểm khác nhau được trích xuất từ mô phỏng Ansys Autodyn (Hình 3.2). Kết quả cho thấy Gradient vận tốc phân bố rõ rệt dọc theo phần tử xuyên.



Hình 3.2. Quá trình hình thành phần tử xuyên và phân bố vận tốc

Vận tốc tại mũi phần tử xuyên đạt giá

trị cực đại xấp xỉ 2000 m/s, trong khi vận tốc tại phần đuôi duy trì ở mức 1200÷1300 m/s. Độ chênh lệch vận tốc $\Delta v = 700$ m/s là thông số quyết định khả năng tự kéo dài của phần tử xuyên trên đường bay. Nếu Δv quá lớn, phần tử xuyên sẽ bị đứt đoạn sớm; ngược lại, nếu Δv quá nhỏ, phần tử xuyên sẽ bị co ngắn và giảm khả năng xuyên sâu. Với thiết kế hiện tại, phần tử xuyên duy trì được tính liên tục và hình dạng cho tới khi va chạm mục tiêu.

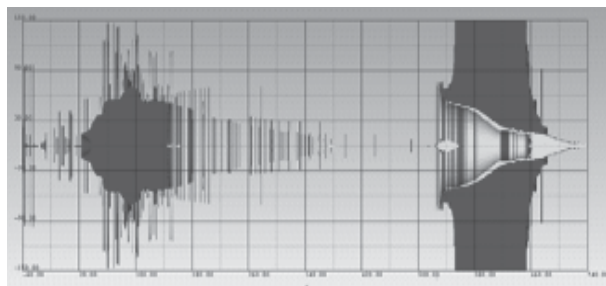
3.3. Đánh giá uy lực xuyên phá bản thép CT3

Các thông số đặc trưng của phần tử xuyên được tổng hợp tại Bảng 3.1.

Bảng 3.1. Các thông số của phần tử xuyên

STT	Thông số kết quả	Đơn vị	Tại 250 mm	Tại 500 mm
1	Vận tốc mũi khi chạm bia	m/s	1980	1860
2	Chiều dài phần tử xuyên	mm	85,4	112,6
3	Đường kính lỗ xuyên trung bình	mm	64,5	58,2
4	Trạng thái xuyên bản thép 100 mm	-	Thủng hoàn toàn	Thủng hoàn toàn

Uy lực của mìn MCT-72 được kiểm chứng thông qua bài toán va chạm giữa phần tử xuyên và bia thép CT3 dày 100 mm ở hai khoảng cách tác dụng tiêu chuẩn là 250 mm và 500 mm (Hình 3.3).



Hình 3.3. Mô phỏng quá trình phần tử xuyên xuyên thủng bản thép CT3 dày 100 mm

Kết quả tại Bảng 2 cho thấy, mặc dù vận tốc mũi có sự suy giảm nhẹ do lực cản không khí khi tăng khoảng cách, nhưng nhờ quá trình kéo dài liên tục, phần tử xuyên vẫn duy trì đủ động năng để xuyên thủng hoàn toàn bản thép dày 100 mm. Đường kính lỗ xuyên đạt hơn 50 mm đảm bảo khả năng gây hư hỏng diện rộng bên trong khoang chiến đấu của mục tiêu.

3.4. Kết quả thực nghiệm với MCT-72

Nội dung của bài báo đi sâu nghiên cứu kết cấu phễu lót dạng vành khăn của MCT-72, thiết lập đưa ra mô hình tính toán xác định uy lực xuyên của mìn. Sử dụng phương pháp mô phỏng số bằng phần mềm Ansys Autodyn để mô phỏng lại quá trình nổ hình thành phần tử xuyên và tương tác tốc độ cao giữa phần tử xuyên với bia thép. Dựa vào kết quả mô phỏng để hiểu rõ hơn bản chất quá trình nổ, cơ chế hình thành phần tử xuyên đối với phễu lót dạng vành khăn và quá trình tương tác tốc độ cao giữa đầu đạn với mục tiêu.

Dựa vào kết quả tính toán đánh giá ảnh hưởng của các yếu tố kết cấu đến uy lực xuyên, nhóm đề tài lựa chọn đưa ra phương án thiết kế phù hợp đối với phễu lót dạng vành khăn, từ đó chế thử và thử nghiệm theo phương án đã chọn. Dưới đây là hình ảnh kết quả bắn thực nghiệm MCT-72.



Hình 3.4. Kết quả bắn thực nghiệm MCT-72

Như vậy, từ các kết quả nghiên cứu đạt được, để kiểm chứng kết quả tính toán và giảm bớt chi phí phục vụ thử nghiệm, hoàn toàn có thể sử dụng kết quả khảo sát bằng phương pháp mô phỏng số làm cơ sở lựa chọn đưa ra các phương án thiết kế phù hợp cho MCT đánh găm MCT-72.

4. KẾT LUẬN

Trên cơ sở nghiên cứu tính toán, thiết kế và mô phỏng số quá trình hình thành phần tử xuyên của mìn chống tăng đánh găm MCT-72, nhóm tác giả rút ra các kết luận chính sau:

- Về giải pháp kết cấu: Nghiên cứu đã chứng minh tính đúng đắn và bắt buộc của việc sử dụng phễu lót dạng vành khăn kết hợp với bộ phận chắn sóng để đáp ứng yêu cầu về tỷ lệ hình học h/d thấp. Đây được coi là giải pháp tối ưu đảm bảo sự hội tụ của vật liệu phễu lót đồng nhất để hình thành phần tử xuyên của mìn chống tăng đánh găm MCT-72.

- Về thông số tối ưu và uy lực: Qua quá trình thực nghiệm số, đã xác định được bộ thông số hình học tối ưu cho phễu lót đồng M1 ($t = 2,5$ mm, $R = 40$ mm). Phần tử xuyên hình thành đạt vận tốc từ $(1600 \div 2000)$ m/s, cho phép xuyên thủng hoàn toàn bản thép chuẩn CT3 dày 100 mm tại dải khoảng cách tác dụng từ $(250 \div 500)$ mm, đạt và vượt các chỉ tiêu chiến-kỹ thuật đề ra.

- Giá trị thực tiễn: Các kết quả nghiên cứu, hệ thống bảng biểu và mô hình mô phỏng

trong bài báo cung cấp cơ sở khoa học tin cậy, giúp rút ngắn quá trình thiết kế và giảm thiểu chi phí thử nghiệm thực tế. Đây là tiền đề quan trọng cho việc hoàn thiện bộ tài liệu kỹ thuật và đưa vào chế thử loạt mìn chống tăng đánh găm MCT-72. ❖

Ngày nhận bài: **28/4/2026**

Ngày phản biện: **08/5/2026**

Tài liệu tham khảo:

- [1]. “Инженерные боеприпасы”, книга третья, Военное издательство Министерства Обороны СССР.
- [2]. Под ред, Орленко Л. П, “Физика взрыва Т.2”. ФИЗМАТЛИТ, 2002.
- [3]. Viện Vũ khí, “*Báo cáo tổng kết đề tài nghiên cứu tính toán, thiết kế mìn chống tăng đánh găm MCT-72*”. Tổng cục Công nghiệp quốc phòng, 2024.3.
- [4]. Vũ Văn Giang, Hồ Khắc Ứng, Trịnh Đình Toàn, “*Nghiên cứu, thiết kế đạn tạo hình phóng chùm*”. Viện Vũ khí, Tổng cục Công nghiệp quốc phòng, 2003.
- [5]. Oleg V.Svirsky, Nicolai P.Kovalev, Boris A.Klopov, “*The shaped charge jet interaction with finite thickness targets*”. International Journal of Impact Engineering, 2001.
- [6]. B. Grove, I. Walton, “*Shaped charge jet velocity & density profiles*”. International Symposium on Ballistics, 2007.
- [7]. Oliver Jeremic, Momcilo Milinovic, Milos Markovic, “*Analytical and numerical method of velocity fields for the explosively formed projectiles*”. University of Belgrade.