

Nghiên cứu ảnh hưởng của độ cứng đầu đạn đến khả năng xuyên bản thép đồng nhất của đạn xuyên thép 7,62x39 mm hai cấu tử kiểu K56 bằng phương pháp mô phỏng số

Nguyễn Đình Hùng^{1*}, Trần Văn Doanh², Đỗ Văn Minh²,
Mai Quốc Vương², Bùi Xuân Sơn², Đặng Bá Ngọc¹

¹Viện Vũ khí/ Tổng cục Công nghiệp Quốc phòng;

²Học viện Kỹ thuật Quân sự.

*Email: dhungvkk@gmail.com

Nhận bài: 08/02/2023; Hoàn thiện: 26/3/2023; Chấp nhận đăng: 10/4/2023; Xuất bản: 28/4/2023.

DOI: <https://doi.org/10.54939/1859-1043.j.mst.86.2023.137-143>

TÓM TẮT

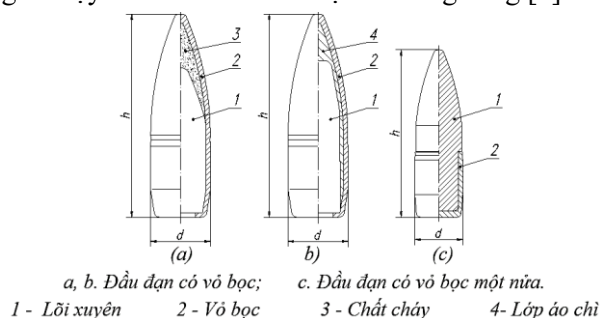
Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu ảnh hưởng của độ cứng đầu đạn đến khả năng xuyên bản thép đồng nhất của đạn xuyên thép 7,62 x 39 mm hai cấu tử kiểu K56 bằng phương pháp mô phỏng số; xây dựng được quy luật ảnh hưởng của độ cứng lõi xuyên đến vận tốc còn lại của đầu đạn sau bản thép, đánh giá kết quả nhận được với kết quả thử nghiệm 02 mẫu đạn thật tại trường bắn, so sánh vận tốc còn lại sau bản thép của đầu đạn giữa lý thuyết và thực nghiệm, đóng góp cơ sở khoa học cho việc tính toán thiết kế, chế tạo đạn xuyên thép 7,62 x 39 mm có kết cấu hai cấu tử.

Từ khóa: Đạn xuyên giáp; Độ cứng; Vận tốc còn lại; Khả năng xuyên thép.

1. MỞ ĐẦU

Trong Quân đội các nước trên thế giới, đạn xuyên thép luôn luôn có vai trò quan trọng trong tác chiến, đặc biệt được trang bị nhiều cho các lực lượng đặc nhiệm, giải quyết các tình huống nguy hiểm, bất ngờ, quan trọng, nhằm thay đổi tình hình chiến đấu. Ngoài các loại đạn xuyên động năng cỡ lớn trang bị cho pháo binh, các loại đạn xuyên động năng cỡ nhỏ trang bị cho bộ binh dã và đang rất được quan tâm phát triển nhằm trang bị cho các lực lượng đặc biệt loại đạn có uy lực đủ mạnh để xuyên thủng áo giáp, phá hủy và tiêu diệt các phương tiện có che chắn gây bất ngờ và tạo thế chủ động trong chiến đấu [8].

Đạn xuyên động năng theo kết cấu có thể chia thành đầu đạn hai cấu tử và ba cấu tử có vỏ bọc hoặc vỏ bọc một nửa (hình 1). Đối với đầu đạn xuyên thép hai cấu tử, vỏ bọc thường sử dụng vật liệu bằng đồng, tompac, đồng bạch để đảm bảo đầu đạn cắt vào rãnh xoắn, dẫn đạn chuyển động trong nòng tin cậy và đảm bảo tuổi thọ của nòng súng [2].



Hình 1. Đầu đạn xuyên thép.

Vật liệu để chế tạo lõi xuyên thường sử dụng các loại thép cacbon chất lượng cao, các loại thép hợp kim như Y10A, Y12A, 70C2XA, các loại vật liệu hợp kim cứng như CacbitVonfram. Yêu cầu đầu đạn phải có độ cứng cao, độ nhót vừa phải, mật độ cao, dễ gia công, giá thành hợp lý và không khan hiếm.

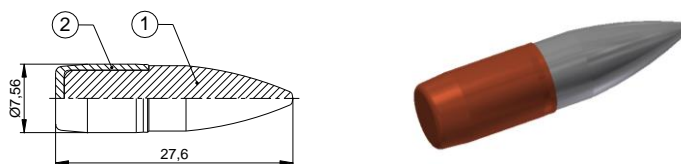
Quá trình xuyên bản thép của đầu đạn xuyên động năng là một quá trình vật lý phức tạp, hiện tượng xuyên xảy ra trong thời gian rất ngắn, chịu ảnh hưởng của nhiều yếu tố như vật liệu, kết cấu của lõi xuyên, vật liệu kết cấu của mục tiêu, điều kiện va chạm giữa đầu đạn và bản thép [10, 11],... Cơ tính của vật liệu lõi xuyên, trong đó có độ cứng là một trong những yếu tố thường được can thiệp bằng các biện pháp công nghệ khi chế tạo để nâng cao hiệu quả xuyên cho đầu đạn.

Hiện nay, có rất nhiều phương pháp được sử dụng để nghiên cứu quá trình tương tác của đầu đạn với mục tiêu, tuy nhiên, các kết quả thường không kể đến ảnh hưởng của độ cứng, hoặc chỉ đưa ra một vùng giá trị của các hệ số kể đến ảnh hưởng của độ cứng đến quá trình xuyên mà chưa có các đánh giá chi tiết, cụ thể, gây khó khăn cho việc nghiên cứu, tính toán thiết kế các loại đạn xuyên thép.

Trên cơ sở ứng dụng phương pháp mô phỏng số giải bài toán tương tác của đầu đạn xuyên thép 2 cấu tử kiểu K56 với bản thép đồng nhất CT3, kết hợp với thực nghiệm kiểm chứng, bài báo đã xây dựng được quy luật ảnh hưởng của độ cứng lõi xuyên đầu đạn đến vận tốc còn lại của đầu đạn sau khi xuyên qua bản thép. Kết quả nghiên cứu cho phép ứng dụng để tính toán, thiết kế các loại đạn xuyên thép 2 cấu tử.

2. MÔ PHỎNG KHẢ NĂNG XUYÊN THÉP CỦA ĐẠN XUYÊN THÉP HAI CẤU TỬ VÀO BẢN THÉP ĐỒNG NHẤT

Theo [4, 5], độ cứng của lõi xuyên của đầu đạn xuyên thép có mối quan hệ chặt chẽ với độ bền và ảnh hưởng trực tiếp tới khả năng xuyên thép của đạn. Ở vùng vận tốc trung bình, khả năng xuyên thép của đầu đạn tăng khi tăng độ cứng của đầu đạn. Xây dựng mô hình và giải bài toán mô phỏng quá trình tương tác của đầu đạn với bản thép có kể đến ảnh hưởng của độ cứng, thông qua xác định vận tốc còn lại của đầu đạn sau khi xuyên cho phép đánh giá về khả năng xuyên của đầu đạn. Đề nghiên cứu bài báo lựa chọn đối tượng là đầu đạn xuyên thép 7,62x39 mm (kiểu K56) có kết cấu dạng hai cấu tử bắn trên súng tiểu liên AK, AKM (hình 2), mục tiêu là bản thép CT-3 đồng nhất.



1 – Lõi xuyên; 2 – Vỏ bọc.

Hình 2. Đầu đạn xuyên thép 7,62x39 mm hai cấu tử kiểu K56.

2.1. Mô hình mô phỏng bằng phần mềm ANSYS AUTODYN

Từ bản vẽ sản phẩm đầu đạn 7,62x39 mm hai cấu tử (hình 2), với lõi xuyên được làm từ thép Y12A ГОСТ 1435-99, phần vỏ bọc được làm từ đồng M1 ГОСТ 1535-2006, được tổng lắp đầu đạn đảm bảo yêu cầu kỹ thuật của bản vẽ sản phẩm. Đầu đạn sau khi tổng lắp có hình dạng, kích thước đúng với hình dạng kích thước của đầu đạn 7,62x39 mm (K56) hiện trong trang bị.

Mục tiêu là bản thép CT-3 ГОСТ 380-94 đồng nhất dày 12 mm, kích thước 500x500 mm (bằng với kích thước thực tế khi thử nghiệm) – là kích thước đủ lớn để nghiên cứu quá trình đâm xuyên của đầu đạn vào mục tiêu (theo [10], ảnh hưởng của sóng va đập đến quá trình xuyên nằm trong phạm vi dưới 6 lần cỡ đạn).

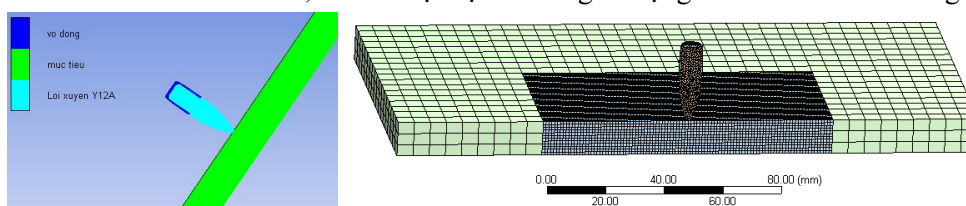
Khi bắn, đầu đạn chuyển động từ đầu nòng đến mục tiêu, giả thiết quá trình va chạm của đầu đạn vào mục tiêu bản thép là va chạm vuông góc. Vận tốc va chạm của đầu đạn được tính toán dựa trên vận tốc đo được V_{25} của đầu đạn, thông số tài liệu thiết kế và các bài toán thuật phóng ngoài [2, 3] có kiểm chứng qua số liệu đo vận tốc bằng thực nghiệm.

Thực hiện xây dựng mô hình hình học trên ứng dụng Design Modeler tích hợp sẵn trong

ANSYS Workbench [7]. Xây dựng mô hình 2D và sử dụng trục đối xứng để tiết kiệm dung lượng bộ nhớ của máy tính (hình 3).

Mô hình phần tử hữu hạn (hình 3) được xây dựng trên ANSYS Explicit Dynamics, sau đó chuyển sang ANSYS AUTODYN và chỉnh sửa các mô hình vật liệu và đặt các điều kiện giải bài toán.

Để mô tả cơ tính vật liệu lõi xuyên đầu đạn và bản thép trong điều kiện tương tác tốc độ cao, sử dụng mô hình bền Johnson Cook, đối với vật liệu vỏ đồng sử dụng mô hình bền Steinberg Guinan:



Hình 3. Mô hình kết cấu và phần tử hữu hạn đầu đạn xuyên thép hai cấu tử.

- Mô hình tăng bền Johnson Cook [9]: Theo mô hình này, ứng suất chảy động được xác định theo công thức sau:

$$\sigma_y = \left[A + B \cdot (\epsilon_i^p)^n \right] (1 + C \ln e_{i0}^p) (1 - \bar{T}^m) \quad (1)$$

Trong đó: A, B, C, m và n – Các hệ số vật liệu được xác định qua thực nghiệm; ϵ_i^p - Cường độ biến dạng dẻo; e_{i0}^p – Cường độ tốc độ biến dạng dẻo; $\bar{T} = \frac{T - T_0}{T_{nc} - T_0}$, T – Nhiệt độ quy đổi (°K), T_0

– Nhiệt độ môi trường (°K), T_{nc} – Nhiệt độ nóng chảy của vật liệu (°K).

- Phương trình trạng thái Shock:

$$\begin{aligned} p &= p_H + \Gamma p (E - E_H) . \\ p_H &= \frac{p_0 c_0^2 \mu (1 + \mu)}{[1 - (s - 1) \mu]^2} \\ E_H &= \frac{1}{2} \frac{p_H}{p_0} \left(\frac{\mu}{1 + \mu} \right) \end{aligned} \quad (2)$$

Vận tốc sóng va đập U được tính theo công thức:

$$U = C_1 + S_1 u_p + S_2 u_p^2 \quad (3)$$

Trong đó: C_1, S_1, S_2 – Các hệ số; u_p – Vận tốc môi trường; Γ – Hệ số Greneisen.

Xác định các tham số vật liệu phù hợp với vật liệu của lõi xuyên, theo [5] Banerjee đưa ra quan hệ giữa hằng số vật liệu A với độ cứng vật liệu (tính theo HRC): $A = \text{EXP}(A_1 \cdot \text{HRC} + A_2)$ (MPa) và tỉ số B/A là hằng số không đổi với mọi độ cứng khi cùng một vật liệu. ($A_1 = 0,0355$; $A_2 = 5,5312$).

Khi đó, ta có tham số vật liệu lõi xuyên theo mô hình Johnson Cook với từng giá trị độ cứng khác nhau như sau:

Bảng 1. Tham số A, B của vật liệu lõi xuyên theo độ cứng HRC.

	20	30	40	43	50	56	60	65
A	493,3	689,7	964,1	1066	1347,8	1647,8	1884,1	2227,6
B	387,6	541,9	757,5	837,6	1059	1294,7	1480,4	1750,3

Giá trị các thông số vật liệu khác được trình bày trong bảng 2 [7].

Bảng 2. Thông số vật liệu khác lõi xuyên và mục tiêu.

Thông số vật liệu	Đơn vị	Lõi xuyên (Thép Y12A)	Áo đồng	Mục tiêu (Thép 1006)
Phương trình trạng thái Shock				
Khối lượng riêng, ρ	kg/m ³	7,85	8,93	7,896
Hệ số Gruneisen Γ		2,17	2,02	2,17
Hệ số C_1	m/s	4569	3940	4569
Hệ số S_1		1,49	1,489	1,49
Hệ số S_2	s/m	0	0	0
Nhiệt dung riêng	J/kgK	477	383	452
Mô hình bền Johnson Cook				
Mô đun cắt	Mpa	81800		81,8
Giới hạn chảy tĩnh, A	Mpa	Theo bảng 1		364,9
Hệ số hóa cứng, B	Mpa	Theo bảng 1		286,7
Số mũ hóa cứng, n	-	0,18		0,36
Hệ số tốc độ biến dạng, C	-	0,012		0,022
Số mũ mềm nhiệt, m	-	1,0		1,0
Nhiệt độ nóng chảy, T_{nc}	K	1763		1811
Mô hình bền Steinberg Guinan				
Giới hạn chảy tĩnh	Mpa		120	
Ứng suất chảy lớn nhất	Mpa		640	
Hệ số hóa cứng B	-		36	
Số mũ hóa cứng	-		0,45	
<i>Điều kiện phá hủy</i>				
Biến dạng chính lớn nhất	-	0,3		0,5

Sau khi mô phỏng tương tác của đầu đạn với mục tiêu là bản thép CT-3 đồng nhất dày 12 mm, cần xác định vận tốc còn lại của đầu đạn sau khi xuyên để đánh giá năng lượng còn lại của đầu đạn sau khi xuyên, từ đó có cơ sở đánh giá khả năng xuyên của nó.

2.2. Kết quả mô phỏng bằng phần mềm ANSYS AUTODYN

Tiến hành mô phỏng tương tác giữa đầu đạn với mục tiêu trên phần mềm Ansys Autodyn với thông số đầu vào: vận tốc đầu đạn trước khi chạm bia thép $v_c = 630$ m/s, độ cứng lõi xuyên thay đổi từ 20 HRC đến 64 HRC, vận tốc còn lại của đầu đạn v_r khi ra khỏi bản thép được lấy tại thời điểm đầu đạn mất hoàn toàn liên kết với bản thép.

Kết quả mô phỏng quá trình xuyên của đầu đạn vào bản thép và đồ thị thay đổi vận tốc của đầu đạn khi xuyên được trình bày trên hình 4.

Giá trị vận tốc còn lại của đầu đạn khi xuyên qua bản thép ứng với các giá trị độ cứng thay đổi được thể hiện trên bảng 3.

Bảng 3. Kết quả vận tốc còn lại của đầu đạn khi xuyên bản thép.

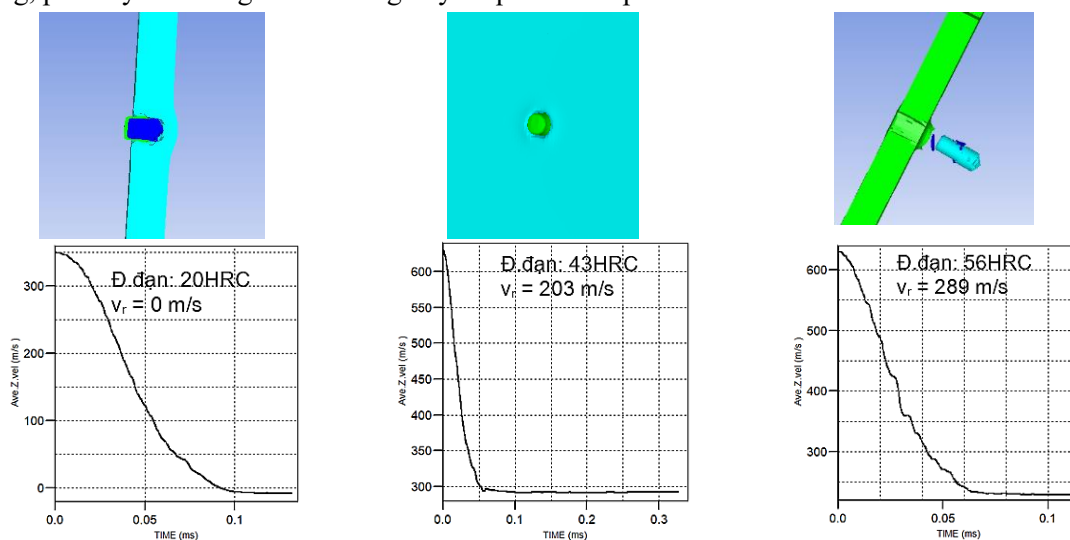
	1	2	3	4	5	6	7	8
Độ cứng, HRC	20	30	40	43	50	56	60	64
Vận tốc còn lại, m/s	0	164	182	203	264	289	294	296

Căn cứ kết quả tính toán mô phỏng, xây dựng đồ thị mối quan hệ giữa v_r và độ cứng của lõi xuyên (hình 5).

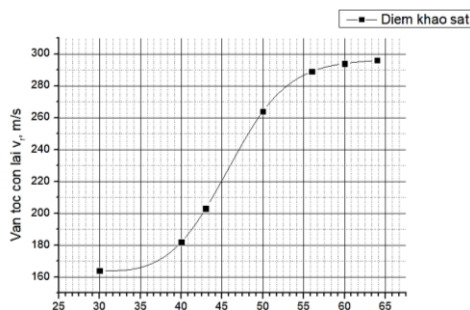
Qua kết quả mô phỏng nhận thấy phù hợp với lý thuyết cũng như các tài liệu tham khảo. Các trường hợp khảo sát mô phỏng đều cho kết quả xuyên thủng bia thép dày 12 mm. Từ kết quả trên cho thấy, với mỗi loại đạn khác nhau, bằng việc tính toán lý thuyết và mô phỏng đều có khả năng xây dựng được đường cong mối liên hệ giữa độ cứng của lõi xuyên HRC với vận tốc còn lại của đầu

đạn v_r , qua đó người thiết kế có thể dựa vào đó để xác định được vận tốc sau xuyên của đạn xuyên thép đối với mỗi mẫu đạn thiết kế để đảm bảo các chỉ tiêu tính năng chiến kỹ thuật của đầu đạn.

Kết quả mô phỏng (hình 5) cho thấy ở vùng vận tốc va chạm nghiên cứu, khi độ cứng của lõi xuyên tăng từ 30 HRC đến 56 HRC khả năng xuyên của đầu đạn tăng đáng kể, tuy nhiên ở vùng độ cứng từ 56 HRC trở lên, tăng độ cứng lõi xuyên ít mang lại hiệu quả xuyên cho đầu đạn. Ở vùng độ cứng tương đương hoặc nhỏ hơn độ cứng của bản thép lõi xuyên sẽ dễ dàng bị biến dạng, phá hủy và không có khả năng xuyên qua bản thép.



Hình 4. Kết quả mô phỏng quá trình tương tác của đầu đạn với lõi xuyên có độ cứng khác nhau 20, 43, 56 HRC.



Hình 5. Mối quan hệ giữa v_r và độ cứng HRC của lõi xuyên.

3. KẾT QUẢ THỰC NGHIỆM

3.1. Điều kiện tiến hành thực nghiệm

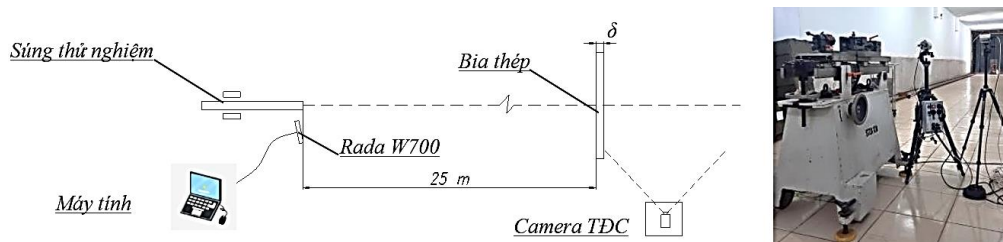
Thực nghiệm được tiến hành tại trường bắn tại Hàm bắn của Viện Vũ khí/Tổng cục Công nghiệp Quốc phòng. Súng thử nghiệm được kiểm định định kỳ theo quy định, được gá trên giá chuyên dụng. Bia thép mục tiêu là thép CT-3 có độ dày 12 mm, độ cứng 180HB đạt yêu cầu theo tiêu chuẩn cơ sở thử nghiệm, được gá chắc chắn trên giá thử.

Đầu đạn 7,62 x39 mm hai cấu tử có các kích thước, khối lượng được thiết kế đúng theo mẫu của đạn K56 trong trang bị. Vỏ liều, thuốc phóng được lấy đúng theo đạn K56 để đảm bảo đúng điều kiện thuật phóng đạn mẫu.

Các thiết bị đo được đặt trong boong ke che chắn đảm bảo an toàn bao gồm: Thiết bị đo vận tốc chạm bia v_c : Rada DRS-1; Thiết bị đo vận tốc còn lại của đầu đạn sau bia v_r : Camera tốc độ cao.

Sơ đồ thử nghiệm được bố trí trên hình 6.

Cách thức tiến hành thử nghiệm: Mục tiêu đặt cách miệng nòng 25 m. Nòng súng đặt vuông góc với mục tiêu.



Hình 6. Bố trí thử nghiệm tại hầm bắn Viện Vũ khí.

Phần lõi xuyên được gia công theo bản vẽ sản phẩm, nhiệt luyện theo phương pháp tôi thể tích đạt được các độ cứng khác nhau, cụ thể:

- Không nhiệt luyện: độ cứng đạt 20 HRC, số lượng 07 viên;
- Nhiệt luyện đạt độ cứng 43 HRC, số lượng 07 viên;
- Nhiệt luyện đạt độ cứng 56 HRC, số lượng 07 viên.

3.2. Kết quả thử nghiệm

Đạn không nhiệt luyện: 07/07 phát không xuyên thủng bia, cụ thể ở bảng 4.

Bảng 4. Kết quả bắn đầu đạn không nhiệt luyện.

TT	1	2	3	4	5	6	7	TB
v_c , m/s	630,9	629,1	631,5	631,8	630,1	632,8	631,1	631,0
v_r , m/s	-	-	-	-	-	-	-	

Đạn nhiệt luyện có độ cứng 43 HRC: 07/07 phát xuyên thủng bia, vận tốc chạm bia v_c và vận tốc v_r đo được cụ thể ở bảng 5.

Bảng 5. Vận tốc v_r của đầu đạn có độ cứng 43HRC khi xuyên bản thép.

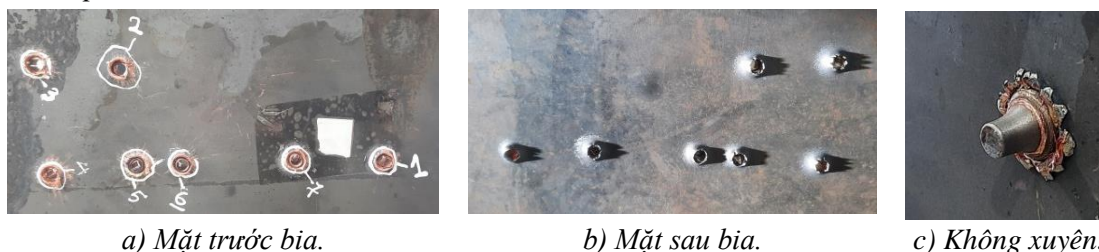
TT	1	2	3	4	5	6	7	TB
v_c , m/s	630,1	631,4	631,3	629,5	629,2	629,1	629,9	630,1
v_r , m/s	213,9	212,8	214,4	212,4	215,5	212,1	213,2	213,5

Đạn nhiệt luyện có độ cứng 56 HRC: 07/07 phát xuyên thủng bia, vận tốc chạm bia v_c và vận tốc v_r đo được cụ thể ở bảng 6.

Bảng 6. Vận tốc V_r của đầu đạn có độ cứng 56HRC khi xuyên bản thép.

TT	1	2	3	4	5	6	7	TB
v_c , m/s	629,4	628,7	629,6	631,6	630,1	631,3	628,9	629,9
v_r , m/s	305,8	300,5	306,2	303,4	305,4	302,6	300,3	303,5

Kết quả bắn được thể hiện trên hình 7.



a) Mặt trước bia.

b) Mặt sau bia.

c) Không xuyên.

Hình 7. Thử nghiệm bắn đạn 7,62x39 mm hai cấu tử xuyên bia thép dày 12 mm tại Hầm bắn Viện Vũ khí.

Số liệu thực nghiệm có so sánh với giá trị tính toán cụ thể ở bảng 7

Bảng 7. Bảng so sánh kết quả.

TT	Độ cứng HRC	Vận tốc chạm trung bình nhóm bắn v_c , m/s		Vận tốc còn lại trung bình nhóm bắn v_r , m/s		Sai số
		Thực nghiệm	Tính toán	Thực nghiệm	Tính toán	
	20	631,0	630	Không xuyên	Không xuyên	
	43	630,1	630	203	213,5	4,92%
	56	629,9	630	289	303,5	4,77%

4. KẾT LUẬN

Trên cơ sở mô hình khảo sát kết hợp với việc ứng dụng các phần mềm hiện có, nhóm tác giả đã tính toán, mô phỏng quá trình tương tác giữa đầu đạn khi va chạm mục tiêu. Kết quả tính toán mô phỏng ngoài việc mô phỏng được quá trình tương tác giữa hai đối tượng còn xác định được ảnh hưởng của một số tham số cơ bản của quá trình như độ cứng lõi xuyên đến khả năng xuyên bản thép của đầu đạn.

Nhóm tác giả đã tổ chức thử nghiệm nhằm đánh giá kiểm chứng mô hình tính toán đã xây dựng và quy luật ảnh hưởng của độ cứng lõi xuyên đến khả năng xuyên thép của đầu đạn. Ảnh hưởng của độ cứng lõi xuyên đến khả năng xuyên tương đối rõ rệt ở vùng độ cứng cao hơn độ cứng của mục tiêu cho đến khoảng 56 HRC. Khi mở rộng nghiên cứu ở vùng độ cứng cao hơn 56 HRC, khả năng xuyên vẫn tăng lên nhưng hiệu quả sử dụng đạn tăng lên không nhiều. Kết quả cho thấy sai lệch của vận tốc còn lại sau khi xuyên của đầu đạn nằm trong khoảng 5%.

Kết quả nghiên cứu của nhóm tác giả không chỉ áp dụng cho đạn 7,62x39 mm mà còn làm cơ sở phục vụ thiết kế một số loại đạn xuyên thép có tính năng tương tự.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Đề tài cấp TCCNQP: “Nghiên cứu thiết kế, chế tạo đạn xuyên giáp 7,62x39 mm”.
- [2]. G.A. Đanhilin, V.P. Ogorodnicov, A.B. Davolocin, “Основы проектирования патронов к стрелковому оружию”, (2007).
- [3]. N. V. Thọ, N. Đ. Sài: “Giáo trình Thuật phóng ngoài” – Học viện Kỹ thuật Quân sự, (2003).
- [4]. Trần Đình Thành: “Uy lực đạn” – Học viện Kỹ thuật Quân sự, (2003).
- [5]. Biswajit Banerjee: “The Mechanical Threshold stress model for various tempers of AISI 4340 steel” – International Journal of Solids and Structures, pp 834-859, (2007).
- [6]. Autodyn Training Course. Ansys Workbench Release, (2006).
- [7]. Hallquist, John O. “LS-DYNA theoretical manual. Livermore Software Technology Corporation”, (2006).
- [8]. Jane’s Ammunition Handbook 2001 – 2002.
- [9]. LA-4167-MS. Selected Hugoniot: EOS 7th Int. Symp. Ballistics. Johnson & Cook, (1969).
- [10]. Зукас Дж. А., Киколаас Т., Свифт Х. Ф., Грешук Л. Б., Курран Д. Р. И др. Динамика удара: пер. с англ. –М., Мир, (1985).
- [11]. Высокоскоростные ударные явления: пер. с англ. –М., Мир, (1973).

ABSTRACT

The study of the effects of bullet material hardness on the penetration capability of a 7.62x39 mm armor-piercing ammunition by numerical simulation method

This paper presents the results of research on the effect of the bullet material hardness on the penetration capability of a 7.62 x 39 mm two-component K56-type Armor-Piercing ammunition; establishes the rule of the influence of the bullet material hardness on the residual velocity of the bullet after the steel plate and compares the simulation results with the experiment results of 02 samples of real ammunition at the firing range, compare the residual velocity of the bullet after the steel plate between theory and experiment. The research results contribute to the scientific theoretical basis for calculating, designing, and manufacturing 7.62x39 mm Armor-Piercing ammunition with a two-component structure.

Keywords: Armor-Piercing ammunition; Hardness; Residual velocity; Penetration capability.