

Nghiên cứu biến dạng ống chuyên dụng dưới tác dụng của tải trọng áp suất và nhiệt độ

Lại Thanh Tuấn*, Uông Sỹ Quyền

Bộ môn Vũ khí, Khoa Vũ khí, Học viện Kỹ thuật quân sự.

*Email: thanh tuan711@gmail.com

Nhận bài: 21/8/2022; Hoàn thiện: 15/10/2022; Chấp nhận đăng: 02/02/2023; Xuất bản: 28/02/2023.

DOI: <https://doi.org/10.54939/1859-1043.j.mst.85.2023.126-133>

TÓM TẮT

Bài báo trình bày mô hình tính toán và giải bài toán phân tích trạng thái ứng suất biến dạng của ống chuyên dụng khi tính đến tác dụng đồng thời của tải trọng áp suất động và nhiệt không dừng. Mô hình này của ống phù hợp khi khảo sát hoạt động của các nòng súng pháo khi bắn ở chế độ liên thanh. Kết quả bài toán thuật phóng trong và bài toán truyền nhiệt trong thành ống là thông số đầu vào cho mô hình tính toán. Quá trình khảo sát dựa trên cơ sở phương pháp phần tử hữu hạn và được thực hiện bởi phần mềm Ansys Mechanical. Kết quả khảo sát nhận được lần lượt là các ứng suất, biến dạng của ống khi xét đến riêng tải trọng áp suất tĩnh, áp suất động, riêng tải trọng nhiệt độ không dừng và tải trọng đồng thời áp suất và nhiệt độ. Đây là căn cứ để đánh giá ảnh hưởng của các yếu tố tải trọng áp suất và nhiệt độ tới việc tính bền cho các ống chuyên dụng, đặc biệt là khi đánh giá phần miệng nòng súng pháo và đưa ra những khuyến cáo trong quá trình tính toán, thiết kế và khai thác sử dụng các trang bị vũ khí trong thực tế.

Từ khóa: Ứng suất; Biến dạng; Nhiệt độ; Thuật phóng trong; Ống chuyên dụng.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Một trong các bộ phận quan trọng trong các trang bị vũ khí, quyết định đến độ chính xác của phát bắn và tuổi thọ của súng pháo là nòng pháo. Nòng pháo là các dạng ống chuyên dụng được gia công chế tạo đặc biệt, có độ bền cao, độ cứng cần thiết, độ mòn nhỏ nhất và khả năng chịu nhiệt độ cao. Việc nghiên cứu trạng thái ứng suất, biến dạng của các dạng ống chuyên dụng là một vấn đề cấp thiết, có ý nghĩa thực tiễn trong việc thiết kế, khai thác sử dụng các trang bị vũ khí của Quân đội. Ở trong nước, những vấn đề liên quan đến quá trình xung nhiệt của nòng súng pháo, tuổi thọ nòng và nghiên cứu trường nhiệt độ, ứng suất, biến dạng của nòng súng pháo được nhiều tác giả quan tâm nghiên cứu [1, 2]. Tuy nhiên, các nghiên cứu này tập trung chủ yếu vào các loại vũ khí có cỡ nòng nhỏ như pháo phòng không 37 mm [3]. Các nghiên cứu đối với pháo có cỡ nòng lớn và tốc độ bắn cao chưa được nhiều tác giả quan tâm. Trên thế giới, các công bố liên quan đến lĩnh vực vũ khí được công bố khá hạn chế. Trong công trình [4], tác giả đã sử dụng phương pháp năng lượng và tiêu chuẩn Von Mises để đưa ra lời giải giải tích đơn giản cho bài toán ứng suất và biến dạng của nòng súng trường bắn tỉa M24. Kết quả giải bằng giải tích được so sánh với phương pháp số để đánh giá độ chính xác. Trong bài báo [5], các tác giả đã nghiên cứu bài toán truyền nhiệt không ổn định để tính toán sự phân bố nhiệt độ của nòng súng máy. Hệ số truyền nhiệt đối lưu theo thời gian được tính toán bởi lý thuyết thuật phóng trong. Nghiệm số của phương trình vi phân được thực hiện bằng phương pháp sai phân hữu hạn. Tuy nhiên, bài toán chỉ đi sâu nghiên cứu trạng thái ứng suất biến dạng của nòng súng dưới tác dụng của nhiệt độ.

Đầu nòng súng pháo là vị trí ảnh hưởng rất lớn đến chất lượng của phát bắn, đồng thời tại đây chịu sự tác động phức tạp của các yếu tố đặc thù riêng so với các vị trí khác trên nòng như sự thay đổi đột ngột của mô men xoắn, sự va đập do mất cân bằng động của đầu đạn cũng như chịu sự tác động của khí thuốc ở thời kỳ tác dụng sau cùng của khí thuốc gây biến dạng cục bộ nòng. Ngoài ra, do bề dày thành nòng tại vị trí miệng nòng là nhỏ nhất nên có những thay đổi về trạng thái ứng suất biến dạng lớn khi xem xét ảnh hưởng của nhiệt độ. Việc nghiên cứu trạng thái ứng suất của nòng súng pháo dưới tác dụng của tải trọng phức tạp được nghiên cứu bằng nhiều

phương pháp khác nhau. Hiện nay, với sự phát triển của khoa học kỹ thuật, bài toán đã được mô hình hóa, giải quyết một cách đơn giản hơn thông qua các công cụ lập trình và phần mềm tính toán CAE mà vẫn đảm bảo độ chính xác cao [6-8].

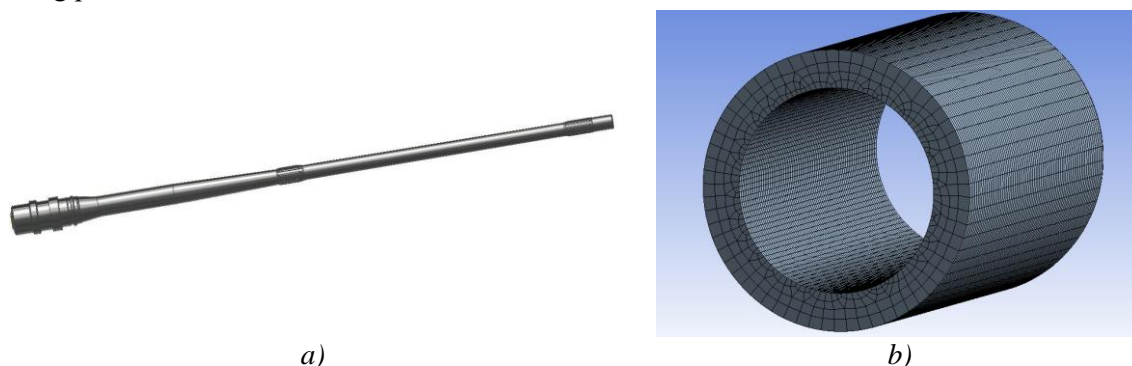
Trên cơ sở phân tích ứng suất biến dạng của nòng và đầu nòng dưới tải trọng phức tạp, đồng thời phân tích các yếu tố khác ảnh hưởng đến đầu nòng, từ đó, có thể đưa ra các khuyến cáo, giải pháp khi tính toán, thiết kế, gia công chế tạo và khai thác sử dụng nòng pháo nói riêng và hệ thống pháo nói chung.

2. MÔ HÌNH TÍNH TOÁN

Mô hình tính toán được lựa chọn là nòng pháo tàu AK-176, chịu tác dụng bởi áp suất khí thuốc và nhiệt độ cao khi bắn. Khi khảo sát trạng thái ứng suất của nòng pháo, ta sử dụng các giả thuyết sau:

- Nòng pháo có kết cấu nòng đơn là một ống trụ dày, lòng nòng trơn;
- Nòng pháo nóng lên chỉ do tác động của nhiệt độ khí thuốc và ma sát của đai dẫn đầu đạn lên bề mặt trong của nòng và nhiệt độ phân bố đối xứng với trục nòng;
- Mô đun đàn hồi và hệ số giãn nở tuyến tính của vật liệu nòng là hằng số. Hệ số tỏa nhiệt bên trong nòng bằng không từ thời điểm kết thúc quá trình phụt khí cho đến thời điểm viên đạn của phát bắn tiếp theo bắt đầu chuyển động;
- Dòng nhiệt theo chiều dày nòng pháo coi là dừng, tức là ta chỉ xét quá trình truyền nhiệt theo phương hướng kính và bỏ qua biến dạng chiều dày thành nòng do mài mòn khi bắn.

Mô hình đoạn đầu nòng pháo được chia thành nhiều đoạn nhỏ, mỗi đoạn sẽ chịu một thông số tải trọng khác nhau về giá trị và thời gian. Mô hình 3D và mô hình phần tử hữu hạn của đoạn đầu nòng pháo được thể hiện trên hình 1.



Hình 1. Mô hình nòng pháo AK-176.

a - Mô hình 3D; b - Mô hình phần tử hữu hạn đoạn đầu nòng.

Các thông số vật liệu nòng pháo được sử dụng để khảo sát: khối lượng riêng $\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$; hệ số dẫn nhiệt $\lambda = 50 \text{ W/kgK}$; nhiệt dung riêng $c = 502,42 \text{ J/kgK}$; mô đun đàn hồi của vật liệu: $E = 3.10^{11} \text{ Pa}$.

3. PHƯƠNG PHÁP TÍNH TOÁN BIẾN DẠNG ĐẦU NÒNG PHÁO

Để khảo sát trạng thái ứng suất của nòng pháo dưới tác dụng đồng thời của tải trọng nhiệt độ và áp suất khí bắn bằng phương pháp phần tử hữu hạn, trước hết cần phải xác định được áp suất khí thuốc tác dụng lên nòng pháo và giải bài toán truyền nhiệt của nòng pháo. Quá trình khảo sát được thực hiện trên mô hình với việc ứng dụng phần mềm phân tích Ansys Mechanical.

3.1. Giải bài toán thuật phóng trong của pháo

Hệ phương trình vi phân thuật phóng trong của pháo có dạng sau [9]:

$$\begin{cases} \frac{dv}{dt} = \frac{pS}{fm}; & \frac{dl}{dt} = v; & \frac{d\psi}{dt} = \frac{\chi\sigma}{I_k} p \\ \frac{dT}{dt} = \frac{\theta T_1}{f\omega\psi} \left(\frac{f\omega d\psi}{\theta dt} - T \frac{f\omega}{\theta T_1} \frac{d\psi}{dt} - \psi m v \frac{dv}{dt} \right) \end{cases} \quad (1)$$

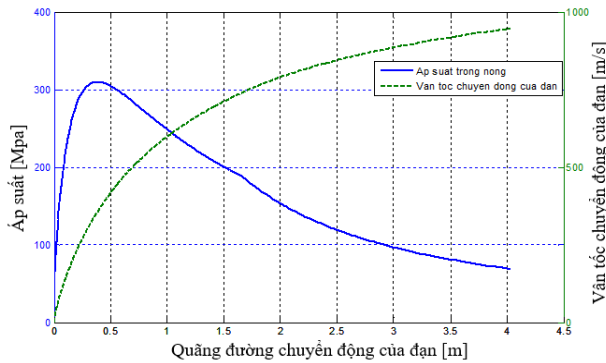
Ở đây,

$$\chi\sigma = \sqrt{\chi^2 - 4(\chi-1)\psi}; \quad p = \frac{f\omega\psi - v^2/v_{gh}^2}{s \quad l_\psi + 1}$$

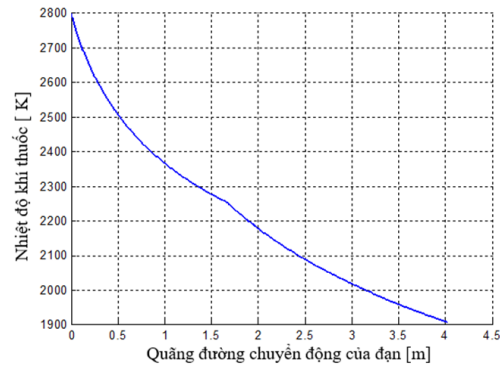
$$l_\psi = l_0 \left[1 - \frac{\Delta}{\delta} - \Delta \left(\alpha - \frac{1}{\delta} \right) \psi \right]; \quad \varphi = k + \frac{1}{3} \frac{\omega}{q}$$

Trong đó: v - Vận tốc chuyển động của đạn trong lòng nòng; p - Áp suất khí thuốc trong lòng nòng; S - Diện tích tiết diện lòng nòng; f - Lực thuốc phóng; m - Khối lượng đầu đạn; l - Chiều dài quãng đường đạn chuyển động trong lòng nòng; ψ - Thể tích tương đối đã cháy của thuốc phóng; I_k - Xung lượng toàn phần của khí thuốc; T - Nhiệt độ khí thuốc trong lòng nòng; T_1 - Nhiệt độ trung bình của khí thuốc tại thời điểm tạo thành khí cháy thuốc phóng; θ - Chỉ số đa biến của sản phẩm khí; ω - Trọng lượng của thuốc phóng; χ, λ, μ - Các đặc trưng hình dạng của thuốc phóng.

Sử dụng phương pháp tích phân số với thuật toán Runge-Kutta và sự trợ giúp của phần mềm Matlab với các tham số đầu vào là thông số thuật phóng, thông số cấu tạo của pháo AK-176 và đạn, giải bài toán thuật phóng trong và nhận được đồ thị biến thiên áp suất, vận tốc và nhiệt độ theo chiều dài nòng (hình 2, hình 3).



Hình 2. Đồ thị biến thiên áp suất và vận tốc của đầu đạn trong lòng nòng.



Hình 3. Đồ thị biến thiên nhiệt độ khí thuốc trong lòng nòng.

3.2. Giải bài toán truyền nhiệt nòng pháo

Quá trình trao đổi nhiệt trong lòng nòng của súng pháo khi bắn có đặc trưng rất phức tạp và gồm có trao đổi nhiệt đối lưu, dẫn nhiệt và bức xạ nhiệt. Trong các yếu tố đó, sự trao đổi nhiệt đối lưu có ý nghĩa lớn nhất, do đó, các quá trình khác như sự dẫn nhiệt và bức xạ nhiệt của khí thuốc thực tế có thể bỏ qua.

Giá trị trung bình của hệ số truyền nhiệt thành nòng trong khoảng thời gian tác dụng nhiệt của phát bắn được tính theo công thức [1]:

$$\bar{\alpha}_r(x) = A_\alpha \frac{(\overline{p.u})^{0.8}}{d_k^{0.2}} \quad \text{khi } x \geq x_{\min} \quad (2)$$

Trong đó: x - Vị trí mặt cắt tương ứng so với mặt cắt đầu nòng; x_{\min} - Mặt cắt đầu rãnh xoắn trong nòng; A_α - Hệ số thực nghiệm; $(\overline{p.u})_x$ - Giá trị trung bình của tích áp suất và vận tốc khí thuốc tại mặt cắt x trong khoảng thời gian tác dụng nhiệt của phát bắn; d_k - Đường kính tương đương của lòng nòng.

Giá trị trung bình của nhiệt độ lòng nòng sau khoảng thời gian tác dụng nhiệt của phát bắn được xác định theo công thức :

$$\bar{T}_x = A_T \frac{1}{\tau_{x,td}} \left[\bar{T}_{x,cd} \tau_{x,cd} + \bar{T}_{x,ph} \tau_{ph} \right] \quad (3)$$

Trong đó, $\bar{T}_{x,cd}$ là nhiệt độ trung bình của khí thuốc trong nòng tại mặt cắt x trong khoảng thời gian đạn chuyển động trong lòng nòng, được xác định theo biểu thức:

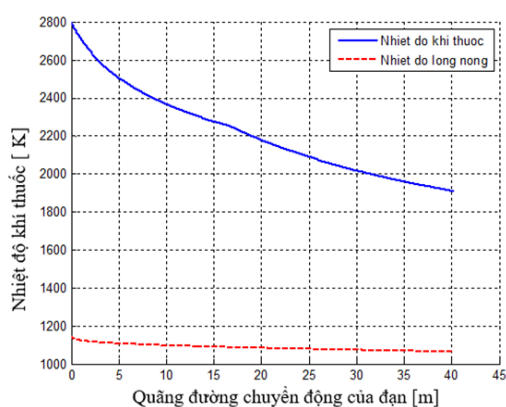
$$\bar{T}_{x,cd} = \frac{1}{\tau_{x,cd}} \int_0^{\tau_{x,cd}} T(\tau) d\tau; \quad T(\tau) = T_0 \left\{ 1 - \frac{\varphi m \theta [v(\tau)]}{2 f \omega \psi(\tau)} \right\} \quad (4)$$

Trong đó, $\bar{T}_{x,ph}$ là nhiệt độ trung bình của khí thuốc tại mặt cắt x trong thời gian phụt khí, được xác định theo biểu thức:

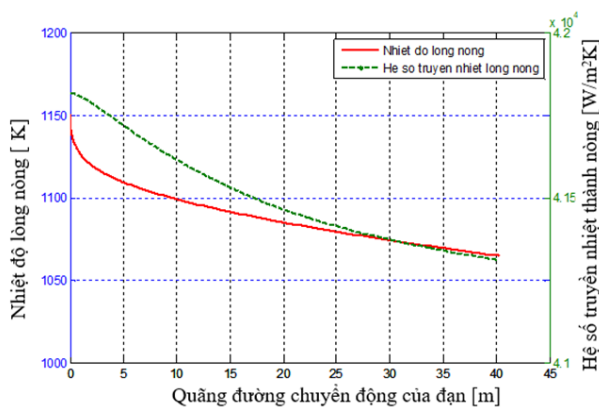
$$\bar{T}_{x,ph} = T_{dn} \cdot \left(\frac{p_\phi}{p_{dn}} \right)^{\frac{k-1}{k}} \cdot \left(\frac{p_\phi}{9,81 \cdot 10^4} \right)^{\frac{k-1}{k}} \quad (5)$$

Ở đây, T_0 - Nhiệt độ cháy của thuốc phóng; T_{dn} - Nhiệt độ của khí thuốc ở thời điểm đạn bay ra khỏi nòng; $\tau_{x,td}$ - Thời gian tác dụng nhiệt của phát bắn ở tiết diện x ; $\tau_{x,cd}$ - Thời gian chuyển động của đạn trong nòng từ tiết diện x tới mặt cắt miệng nòng; τ_{ph} - Thời gian phụt khí trong giai đoạn tác dụng sau cùng của khí thuốc; p_ϕ - Áp suất được xác định thông qua áp suất ở vị trí miệng nòng pháo và vận tốc đạn khi qua mặt cắt miệng nòng. Hệ số $A_T = 1$ đối với nòng pháo trơn.

Giải bài toán nhiệt kết hợp với giải hệ phương trình vi phân thuật phóng trong của pháo bằng phần mềm Matlab. Kết quả nhận được đồ thị nhiệt độ khí thuốc, nhiệt độ lòng nòng và hệ số truyền nhiệt thành nòng (hình 4, hình 5).



Hình 4. Đồ thị nhiệt độ khí thuốc và nhiệt độ lòng nòng.



Hình 5. Đồ thị nhiệt độ lòng nòng và hệ số truyền nhiệt thành nòng.

Trong kết quả nhận được, nhiệt độ thành nòng lớn nhất tại phần đầu rãnh xoắn, còn tại đoạn đầu nòng thì khoảng 1066 - 1064 K. Bảng 1 dẫn ra các giá trị áp suất, nhiệt độ và hệ số truyền nhiệt thành nòng tại vị trí đầu nòng.

Bảng 1. Các giá trị áp suất, nhiệt độ và hệ số truyền nhiệt thành nòng tại vị trí đầu nòng.

Tham số	Đơn vị	Giá trị
Chiều dài (l_{2d})	m	0,0762
Thời gian (t)	s	0,0081 ÷ 0,0082
Áp suất thay đổi (p)	Mpa	72,123 ÷ 69,005
Nhiệt độ thay đổi (T)	K	1.0661 ÷ 1.0647
Hệ số truyền nhiệt thành nòng ($\bar{\alpha}_r$)	W/m ² K	41.318 ÷ 41.310

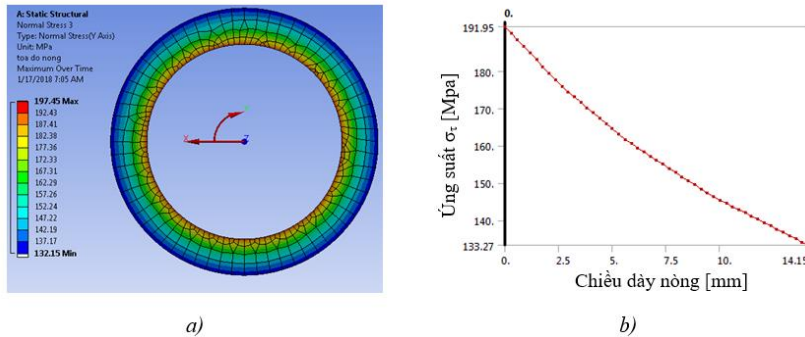
3.3. Phân tích trạng thái ứng suất của nòng pháo bằng phương pháp phần tử hữu hạn

Để phân tích trạng thái ứng suất của nòng pháo dưới tác dụng của tải trọng nhiệt độ và áp suất tại vị trí đầu nòng, tác giả sử dụng phần mềm Ansys Mechanical với các mô đun Transient Thermal và Transient Structural. Việc phân tích được thực hiện khi bắn phát một, khi bắn loạt liên thanh 4 phát với chu kỳ trung bình 0,37 phát/giây ứng với tốc độ bắn thực tế của pháo AK-176.

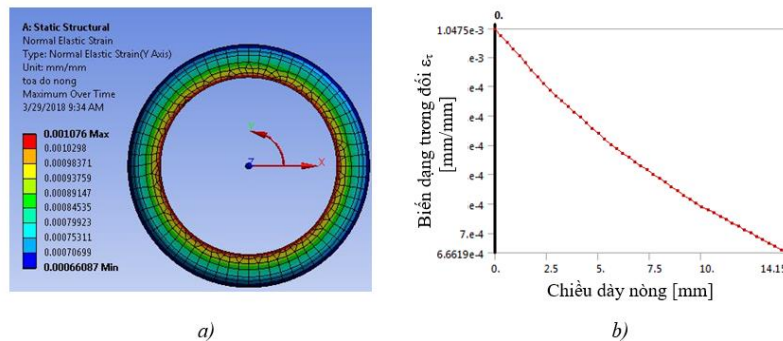
Để thiết lập các thông số ban đầu cho bài toán, các tải trọng áp suất được lấy từ kết quả bài toán thuật phóng trong, các tải trọng nhiệt độ lấy từ kết quả bài toán truyền nhiệt của khí thuốc trong thành nòng. Các tải trọng áp suất động và nhiệt độ không dùng tác dụng lên từng tiết diện của đoạn đầu nòng trong mỗi phát bắn từ thời điểm bắt đầu tác dụng đến thời điểm kết thúc giai đoạn tác dụng sau cùng của khí thuốc. Áp suất và nhiệt độ mặt ngoài nòng là áp suất và nhiệt độ môi trường. Đoạn đầu nòng được cố định dịch chuyển ở mặt cắt hai đầu.

4. KẾT QUẢ PHÂN TÍCH VÀ THẢO LUẬN

Phân tích bài toán áp suất tĩnh, trên hình 6 và 7 lần lượt nhận được là phân bố ứng suất (hình 6a), đồ thị ứng suất pháp theo phương tiếp tuyến (hình 6b) và phân bố biến dạng tương đối (hình 7a), đồ thị phân bố biến dạng tương đối hướng kính (hình 7b).

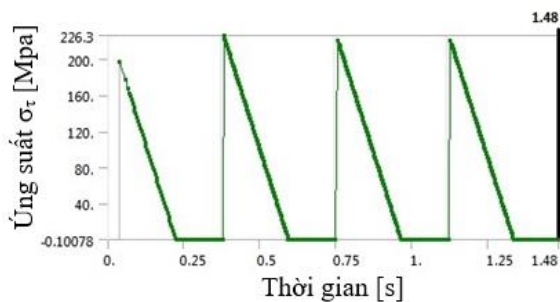


Hình 6. Phân bố ứng suất pháp theo phương tiếp tuyến theo chiều dày thành nòng:
a) Minh họa mô phỏng; b) Đồ thị phân bố.

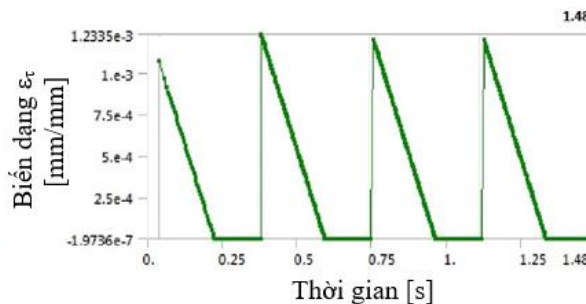


Hình 7. Phân bố biến dạng tương đối tiếp tuyến theo chiều dày thành nòng:
a) Minh họa mô phỏng; b) Đồ thị phân bố biến dạng tương đối.

Phân tích bài toán áp suất động với 4 phát bắn liên thanh, ta nhận được các kết quả là phân bố ứng suất (ứng suất pháp theo phương tiếp tuyến, ứng suất pháp theo phương pháp tuyến), phân bố biến dạng tương đối (tiếp tuyến, hướng kính) theo thời gian. Trên hình 8, 9 là đồ thị ứng suất pháp lớn nhất theo phương tiếp tuyến và biến dạng tương đối tiếp tuyến lớn nhất theo thời gian. Ta thấy rằng, dưới tác dụng của tải trọng áp suất nòng sẽ chịu ứng suất và biến dạng theo nhịp độ phát bắn. Tuy nhiên, do sự đàn hồi của vật liệu làm nòng và ứng suất sinh ra của phần đầu nòng pháo khi chịu tải vẫn nhỏ hơn giới hạn đàn hồi của vật liệu nên đầu nòng nhanh chóng phục hồi trở lại như ban đầu trước khi bị biến dạng.

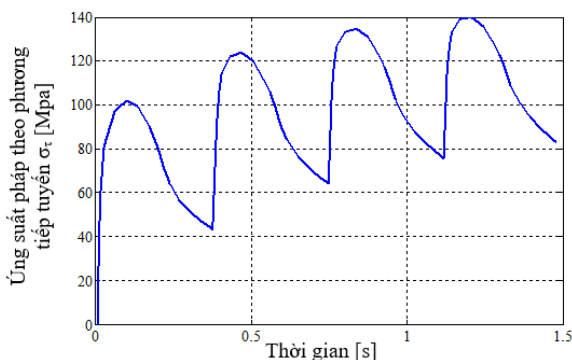


Hình 8. Ứng suất pháp theo phương tiếp tuyến dưới tải trọng áp suất.

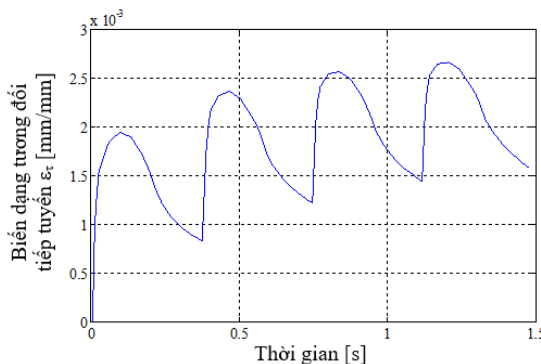


Hình 9. Biến dạng tương đối tiếp tuyến dưới tải trọng áp suất.

Phân tích bài toán trạng thái ứng suất do tải trọng nhiệt, kết quả nhận được là các ứng suất do nhiệt độ (ứng suất pháp theo phương tiếp tuyến, ứng suất pháp theo phương pháp tuyến), biến dạng tương đối do nhiệt độ (tiếp tuyến, hướng kính) theo thời gian. Trên hình 10, 11 là đồ thị ứng suất pháp lớn nhất theo phương tiếp tuyến và đồ thị biến dạng tương đối tiếp tuyến dưới tác dụng của nhiệt độ theo thời gian.



Hình 10. Ứng suất pháp theo phương tiếp tuyến dưới tải trọng nhiệt độ.

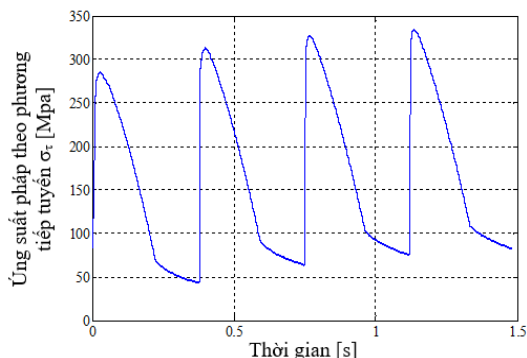


Hình 11. Biến dạng tương đối tiếp tuyến dưới tải trọng nhiệt độ.

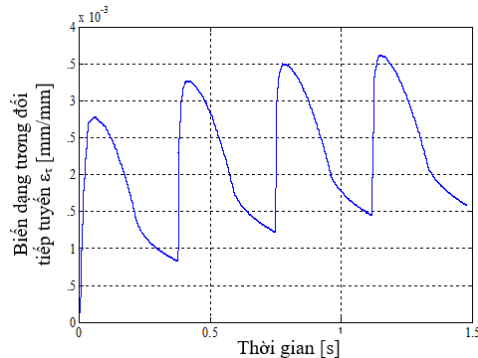
Phân tích kết hợp các yếu tố áp suất động và nhiệt độ theo thời gian tác dụng lên thành nòng ta nhận được các ứng suất và biến dạng tương ứng. Trên hình 12, hình 13 là đồ thị thay đổi ứng suất pháp lớn nhất theo phương tiếp tuyến và biến dạng tương đối tiếp tuyến lớn nhất dưới tải trọng đồng thời của áp suất và nhiệt độ.

Từ kết quả, ta thấy rằng ứng suất và biến dạng của đầu nòng do áp suất và nhiệt độ gây ra không chỉ phụ thuộc vào độ lớn của áp suất, nhiệt độ mà còn phụ thuộc vào số lượng phát bắn và thời gian tác dụng của áp suất và nhiệt độ. Ta thấy rằng, nòng chịu xung nhiệt rất lớn của khí thuốc khiến cho lớp trong cùng bị đốt nóng rất nhanh, tạo ra sự chênh lệch nhiệt độ lớn so với lớp bên ngoài làm xuất hiện ứng suất nhiệt. Trong quá trình bắn, theo thời gian nhiệt độ bề ngoài cũng tăng làm cho biên độ của sự chênh lệch nhiệt độ sau mỗi phát bắn cùng giảm. Do đó, ta

thấy rằng ứng suất và biến dạng của đầu nòng sau mỗi phát bắn sẽ có lượng gia tăng, nhưng biên độ của sự gia tăng thì giảm dần. Đỉnh mới luôn cao hơn đỉnh cũ, nhưng độ lệch của đỉnh mới so với đỉnh cũ thì giảm hơn so với chu kỳ bắn trước đó.



Hình 12. Ứng suất pháp theo phương tiếp tuyến dưới tác dụng đồng thời tải trọng áp suất và nhiệt độ.



Hình 13. Biến dạng tương đối tiếp tuyến dưới tác dụng đồng thời tải trọng áp suất và nhiệt độ.

5. KẾT LUẬN

Nội dung bài báo đã trình bày phương pháp và kết quả bài toán phân tích trạng thái ứng suất của đầu nòng pháo AK-176 trên tàu Hải quân. Dựa vào kết quả giải bài toán thuật phóng trong của pháo và bài toán truyền nhiệt của khí thuốc trong lòng nòng, sử dụng phần mềm phân tích kỹ thuật Ansys Mechanical xác định được các ứng suất và biến dạng phần đầu nòng pháo dưới tác dụng đồng thời của tải trọng áp suất thay đổi và nhiệt độ không dừng khi bắn liên thanh. Kết quả phân tích bài toán truyền nhiệt cho ta thấy được quy luật biến đổi nhiệt trong lòng nòng, là cơ sở cho việc tính toán, đánh giá độ bền nòng pháo, đặc biệt là khu vực đầu nòng và đưa ra chế độ khai thác sử dụng hợp lý. Kết quả phân tích ứng suất, biến dạng đầu nòng cho phép giải thích hiện tượng biến dạng tại đầu nòng như thực tế xảy ra khi khai thác. Do tác dụng của nhiệt độ cao nên khả năng lớp kim loại bề mặt tại vùng này bị nóng chảy cục bộ, đồng thời chịu tác động của đai dẫn của đạn nên bị biến dạng chảy, sự tích lũy này gây ra hiện tượng mòn cục bộ tại vị trí này. Kết quả nghiên cứu cũng cho phép khảo sát, đánh giá số phát bắn giới hạn khi bắn liên tục mà vẫn đảm bảo độ bền của nòng. Những kết quả thu được là cơ sở cho việc tính toán bền nòng, nghiên cứu biến dạng tại đầu nòng cũng như là cơ sở để tính toán chế độ làm mát nòng pháo bằng băng nước đối với pháo AK-176.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Nguyễn Hồng Lanh, Nguyễn Thanh Hải, Nguyễn Quang Thuần, “*Quá trình xung nhiệt của nòng súng pháo*”, NXB Học viện Kỹ thuật Quân sự, (2006).
- [2]. Phạm Huy Chương, “*Tuổi thọ nòng*”, NXB Học viện Kỹ thuật Quân sự, (2001).
- [3]. Hà Huy Nguyễn, “*Nghiên cứu trường nhiệt, ứng suất, biến dạng của nòng pháo phòng không 37 mm K65-2 khi bắn liên thanh*”, Luận văn cao học, Học viện Kỹ thuật Quân sự, (2017).
- [4]. Babaei H., Malakzadeh M., Asgari H., “*Stress Analysis of Gun Barrel Subjected to Dynamic Pressure*”, International Journal of Mechanical Engineering and Applications, Vol. 3, No. 4, pp. 71-80.
- [5]. Akcay M., Yukselen M.A., “*Unsteady thermal studies of gun barrels during the interior ballistic cycle with non-homogenous gun barrel material thermal characteristics*”, Military Academy Defense Institute, Turkey, (2014).
- [6]. Nguyễn Hoài Sơn, Lê Thanh Phong, Mai Đức Đãi, “*Ứng dụng phương pháp phần tử hữu hạn trong tính toán kỹ thuật*”. NXB Đại học Quốc gia TP. Hồ Chí Minh, (2008).
- [7]. Nguyễn Quốc Bảo, Trần Nhất Dũng, “*Lý thuyết phần tử hữu hạn*”, NXB Học viện Kỹ thuật Quân sự, (2002).

- [8]. Sham Tichkoo, “ANSYS workbench 14.0 A Tutorial Approach”, University Calumet Hammond, Indiana, USA.
- [9]. Nguyễn Ngọc Du, Đỗ Văn Thọ, “*Thuật phóng trong của súng pháo*”, NXB Trường Đại học Kỹ thuật Quân sự, (1976).

ABSTRACT

Research of the strains of the specialized tube when calculating the simultaneous effects of dynamic pressure and non-stop thermal loads

The article presents a computational model and solves the problem of analyzing the stress state of the specialized tubes when calculating the simultaneous effects of dynamic pressure and non-stop thermal loads. This model of the tube is suitable for surveying the operation of the cannon barrels when firing in automatic firing mode. The results of the internal ballistic task and the heat transfer problem in the tube wall are input parameters for the computational model. The survey is based on the finite element method and is performed by Ansys Workbench software. The survey results obtained are the stresses and strains of specialized tubes when considering static pressure, dynamic pressure, non-stop temperature load and simultaneous pressure and temperature load. This is the basis for evaluating the influence of pressure and temperature factors on the durability of specialized pipes, especially when evaluating the muzzle of the cannon and making recommendations in the process of calculation, design and use of weapons in practice.

Keywords: Stress; Deformation; Temperature; Internal ballistic; Specialized tube.