

NGHIÊN CỨU THIẾT KẾ DAO CHUỐT RÃNH XOẮN NÒNG PHÁO P-25HQ HẢI QUÂN

RESEARCH ON DESIGN OF BROACHING TOOL TO MACHINING SPIRAL GROOVE FOR P-25HQ NAVAL GUN BARREL

TS. Nguyễn Quang Mạnh, TS. Nguyễn Dương Phụng, ThS. Nguyễn Đức Trọng
Viện Công nghệ, Tổng cục Công nghiệp quốc phòng

TÓM TẮT

Bài báo giới thiệu kết quả nghiên cứu thiết kế dao chuốt rãnh xoắn nòng pháo P-25HQ của Hải quân. Gia công rãnh khương tuyến nòng pháo là một công nghệ đặc biệt trong gia công lỗ sâu. Nghiên cứu rãnh khương tuyến và các yêu cầu kỹ thuật đối với rãnh xoắn cho thấy độ chính xác gia công phụ thuộc rất nhiều vào phương pháp gia công, thiết bị gia công và dụng cụ gia công. Dao chuốt là một trong những dụng cụ quan trọng nhất để gia công rãnh khương tuyến. Trên cơ sở tính toán thiết kế, ứng dụng phần mềm Ansys để mô phỏng kiểm bền dao chuốt dùng để gia công rãnh xoắn nòng pháo P-25HQ. Kết quả nghiên cứu là căn cứ để lựa chọn các thông số công nghệ của bộ dao chuốt trong sản xuất.

Từ khóa: Ansys; Chuốt rãnh xoắn; Dao chuốt.

ABSTRACT

The article introduces the research results of designing the spiral groove broaching tool for P-25HQ gun barrel of the Navy. This is a special technologie of machining twist in long hole. The studies on twist and on technical requirements indicate that machining accuracy depends very much on manufacturing processing methods and machining tools. Broaching tool is one of the most important tools for machining spiral grooves. Based on the design calculation, Ansys software is applied to simulate the durability test of the broaching tool used to process the spiral groove of P-25HQ gun barrel. The research results are the basis for selecting the technological parameters of the broaching tool set in production.

Keywords: Ansys; Broaching; Broaching tool.



1. MỞ ĐẦU

Trong chế tạo các chi tiết của pháo thì vấn đề công nghệ và thiết bị chế tạo nòng pháo là cơ bản nhất, đặc biệt là phần rãnh xoắn nòng pháo. Rãnh xoắn nòng pháo là rãnh nằm trên bề mặt lòng nòng và chạy theo đường vít ở trên tất cả chiều dài phần dẫn hướng [1]. Công nghệ gia công tạo hình rãnh khương tuyến với bề mặt xoắn ốc trong lỗ sâu có chiều dài lớn là một trong những vấn đề rất khó khăn và phức tạp với rất nhiều đặc điểm riêng cùng sự khác biệt đáng kể so với công nghệ chế tạo các chi tiết máy thông thường. Một trong những phương pháp thường được sử dụng để gia công rãnh xoắn nòng pháo là phương pháp chuốt. Chuốt rãnh xoắn nòng pháo có nhiều đặc điểm giống với quá trình chuốt lỗ then hoa nhưng có góc xoắn nhỏ và gia công trong lỗ rất sâu [2]. Trong quá trình chuốt rãnh xoắn nòng pháo phải đảm bảo không được hỏng dao hay sửa bề rộng lưỡi cắt, bởi vì trong các trường hợp này đều dẫn đến kích thước sau chuốt nòng pháo không đạt yêu cầu. Do vậy việc tính toán kiểm bền dao chuốt trong quá trình làm việc là rất quan trọng, giảm việc hỏng phôi và dao trong quá trình gia công.

Để đảm bảo điều kiện làm việc của đầu cắt của dao theo chuẩn của các nhà sản xuất, việc áp dụng phần mềm Ansys trong mô phỏng tính toán kiểm bền đảm bảo độ tin cậy trong quá trình gia công là giải pháp hợp lý được nhóm nghiên cứu đề xuất.

2. CƠ SỞ TÍNH TOÁN THIẾT KẾ

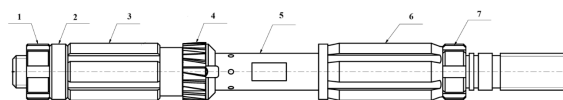
Vật liệu chế tạo nòng P-25HQ là thép hợp kim OXH3MΦA, ГОСТ 5192-78 (tương đương mác thép 38XH3MΦA, ГОСТ 4543-16). Yêu cầu độ cứng phôi thép trước khi chuốt là $34 \div 39$ HRC.

Bảng 1. Một số thông số chính của rãnh xoắn

nòng pháo P-25HQ.

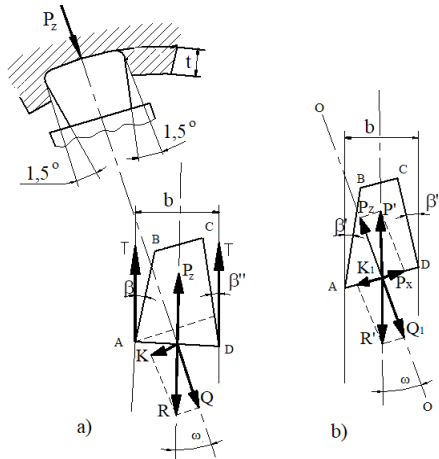
Đường kính dương tuyến d , mm	$\Phi 25^{+0,08}$
Đường kính âm tuyến, mm	$\Phi 25,6^{+0,08}$
Chiều dài l , mm	1775
Chiều dài bước xoắn, mm	625
Số rãnh xoắn	12 (hướng xoắn phải)
Góc xoắn	Không đổi, $7^{\circ}9'32''$
Chiều rộng rãnh xoắn, mm	$4 \pm 0,3$

Qua nghiên cứu biên dạng rãnh xoắn nòng pháo P-25HQ và phân tích ưu nhược điểm của các loại đầu cắt và khả năng công nghệ trong nước [4], chọn phương pháp cắt theo sơ đồ kéo với đầu dụng cụ dạng lưỡi đơn, cho phép thay dao trong quá trình cắt, phương pháp này dễ thoát phoi, bôi trơn; đảm bảo yêu cầu kỹ thuật rãnh xoắn nòng pháo, phù hợp với máy cải tạo và trình độ công nghệ nước ta.



Hình 1. Kết cấu bộ dao chuốt nòng pháo P-25HQ:
1, 7 - Đai ốc chặn; 2 - Vòng đệm; 3 - Dẫn hướng sau; 4 - Dao chuốt;
5 - Thân dao; 6 - Dẫn hướng trước

Để nghiên cứu bản chất của nguyên công cắt rãnh xoắn xem xét lực tác dụng lên đầu dao khi cắt rãnh xoắn được mô tả trên hình 2.



Hình 2. Sơ đồ lực cắt khi cắt rãnh xoắn:

a - Trường hợp lưỡi cắt của dao vuông góc với phương của rãnh xoắn; b - Trường hợp lưỡi cắt của dao vuông góc với phương chuyển động tịnh tiến của dụng cụ

Lực tác dụng lên dao R và R' tính theo công thức [5]:

$$R = \sqrt{Q^2 + K^2}; R' = \sqrt{Q_1^2 + K_1^2} \quad (1)$$

Trong đó: Q - Lực kéo của máy; K - Lực tiếp tuyến với phương chuyển động của dao, phát sinh do xoắn quay cường bức với dao. Các lực này được tính theo công thức:

$$Q = P_z \cdot \cos \omega \text{ và } K = P_z \cdot \sin \omega \quad (2)$$

Với P_z là lực cắt dọc đặt vào lưỡi dao, có hướng pháp tuyến với lưỡi cắt của dao (dọc theo hướng chuyển động của dao) được tính gần đúng theo công thức sau:

$$P_z = pf \text{ (N)} \quad (3)$$

Trong đó: p - Là lực cắt đơn vị, đối với thép làm nòng pháo thì $p = 3200 \text{ N/mm}^2$; f - Diện tích mặt cắt của lớp cắt (mm^2).

Tổng diện tích mặt cắt F của toàn bộ lớp cắt với đầu dao có n lưỡi cắt sau một lần cắt là:

$$F = \sum_{i=1}^n f_i = abn \text{ (mm}^2\text{)} \quad (4)$$

Trong đó: a - Chiều dày lớp cắt (mm); b - Chiều rộng lớp cắt (mm); n - Số dao của đầu cắt.

Lực tác dụng lên dao theo phương hướng kính P_Y (N). Lực này không cần xét đến vì đầu dao có 12 dao cắt đối xứng. Có thể tính theo công thức gần đúng sau:

$$P_Y = 0,3P_z \quad (5)$$

Nếu lưỡi cắt của dao không vuông góc với phương của rãnh xoắn, mà vuông góc với phương chuyển động tịnh tiến của đầu dụng cụ, thì lực sẽ phân bố như hình 3b. Khi đó, lực pháp tuyến P_z cần tăng hơn để cân bằng với thành phần lực xoắn và kéo R'. Hợp lực P_z và P_x là P' cân bằng với lực kéo R'. P_x xác định theo công thức:

$$P_x = P_z \tan \omega \quad (6)$$

Thành phần lực P_x sẽ gây ra sai lệch dao do độ lớn của nó thay đổi nên làm cho dao bị dao động, điều này đã được chứng minh trong thực tế sản xuất. Nguyên nhân gây ra ở đây chính là do thiết kế dao và mài dao không chính xác.

Trường hợp lưỡi cắt của dao vuông góc với phương rãnh xoắn:

$$P_z = 0,01 \cdot 4 \cdot 12 \cdot 3200 = 1536 \text{ (N)}$$

Lực kéo cần thiết là:

$$Q = 1536 \cdot \cos 7^\circ 9' 32'' = 1524 \text{ (N);}$$

$$K = 1536 \cdot \sin 7^\circ 9' 32'' = 191,4 \text{ (N)}$$

$$\text{Khi đó, ta có: } R = \sqrt{1524^2 + 191,4^2} = 1535 \text{ (N)}$$



Trường hợp lưỡi cắt không vuông góc với hướng xoắn, ta có:

$$P' = \sqrt{P_z^2 + P_x^2}$$

$$P_x = 1536 \cdot \tan^2(7^\circ 9' 32'') = 193 \text{ (N)}$$

$$P' = \sqrt{P_z^2 + P_x^2} = \sqrt{1536^2 + 193^2} = 1548 \text{ (N)}$$

Khi đó, ta có: $R' = P' = 1548 \text{ (N)}$.

Như vậy, qua phân tích lực như trên, ta nhận thấy rằng trường hợp lưỡi cắt vuông góc với hướng xoắn của rãnh xoắn thì lực kéo nhỏ

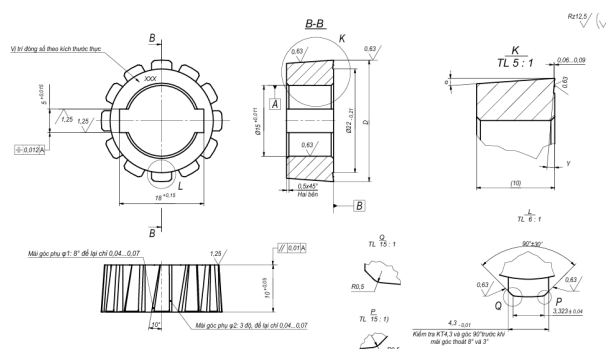
hơn nhưng không đáng kể. Tuy lưỡi cắt của dao khi gia công vuông góc với hướng xoắn có lợi về lực hơn nhưng quá trình gia công sẽ khó khăn, dễ dẫn đến sai số nên chọn phương án thiết kế lưỡi cắt vuông góc với trục dao.

Trên cơ sở phân tích và tham khảo các thông số công nghệ gia công tương tự, công nghệ chế tạo dao [4], ta có thể kết luận và chọn các thông số hình học của lưỡi cắt: Góc thoát sau α lấy bằng 5° ; Để tăng độ bền lâu của dao và nhám bề mặt gia công, góc cắt trước $\gamma = 5^\circ$; Do lượng dư nhỏ nên đỉnh lưỡi cắt để sắc nếu không sẽ gây trượt.

Bảng 2. Thông số các dao chuốt.

TT	Tên gọi	Đường kính D	Góc sau α (°)	Góc trước γ (°)
1	Dao chuốt số 1	Ø25,14-0,009	5	4
2	Dao chuốt số 2	Ø25,16-0,009	5	4
3	Dao chuốt số 3	Ø25,18-0,009	5	4
4	Dao chuốt số 4	Ø25,20-0,009	5	4
5	Dao chuốt số 5	Ø25,22-0,009	5	4
6	Dao chuốt số 6	Ø25,24-0,009	5	4
7	Dao chuốt số 7	Ø25,26-0,009	5	4
8	Dao chuốt số 8	Ø25,28-0,009	5	4
9	Dao chuốt số 9	Ø25,30-0,009	5	4
10	Dao chuốt số 10	Ø25,32-0,009	5	4
11	Dao chuốt số 11	Ø25,34-0,009	5	4
12	Dao chuốt số 12	Ø25,36-0,009	5	4
13	Dao chuốt số 13	Ø25,38-0,009	5	4
14	Dao chuốt số 14	Ø25,40-0,009	5	4
15	Dao chuốt số 15	Ø25,42-0,009	5	4
16	Dao chuốt số 16	Ø25,44-0,009	5	4
17	Dao chuốt số 17	Ø25,46-0,009	5	4
18	Dao chuốt số 18	Ø25,48-0,009	5	4
19	Dao chuốt số 19	Ø25,50-0,009	5	4
20	Dao chuốt số 20	Ø25,52-0,009	5	4
21	Dao chuốt số 21	Ø25,54-0,009	5	4
22	Dao chuốt số 22	Ø25,56-0,009	5	4
23	Dao chuốt số 23	Ø25,58-0,009	5	4

24	Dao chuốt số 24	Ø25,60-0,009	5	4
25	Dao chuốt số 25	Ø25,62-0,009	5	4
26	Dao chuốt số 26	Ø25,64-0,009	5	4
27	Dao chuốt số 27	Ø25,66-0,009	5	4
28	Dao chuốt số 28	Ø25,68-0,009	5	4
29	Dao chuốt số 29	Ø25,695-0,009	5	4
30	Dao chuốt số 30	Ø25,710-0,009	5	4
31	Dao chuốt số 31	Ø25,725-0,009	5	4
32	Dao chuốt số 32	Ø25,740-0,009	5	4
33	Dao chuốt số 33	Ø25,755-0,009	5	4
34	Dao chuốt số 34	Ø25,770-0,009	5	4



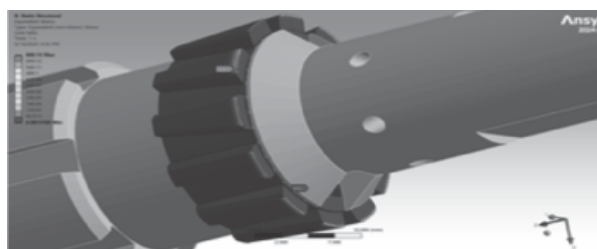
Hình 3. Thiết kế dao chuốt nòng pháo P-25HO

Để chuốt hoàn thiện rãnh xoắn nòng pháo P-25HQ đạt kích thước trước mạ crom (chiều dày lớp mạ $0,06 \div 0,09\text{mm}$), theo tính toán ở trên cần 34 con dao chuốt. Thông số của các dao được trình bày trong bảng 2. Tác giả lựa chọn dao chuốt số 1 để tính toán kiểm bền.

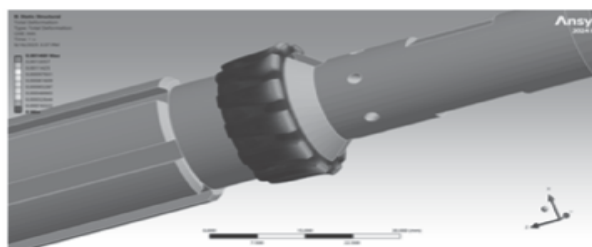
3. ỨNG DỤNG PHẦN MỀM ANSYS TÍNH TOÁN KIỂM BỀN DAO CHUỐT

Thông số đầu vào khai báo để tính toán ngoài các thông số lực, điều kiện biên như tính toán ở trên còn chọn vật liệu chế tạo dao chuốt là thép gió P18, đây là loại thép gió có độ cứng và độ dai va đập cao, chịu mài mòn tốt. Độ cứng phần đầu cắt của dao khoảng $63 \div 68$ HRC, chiều sâu mỗi lần cắt 0,01mm.

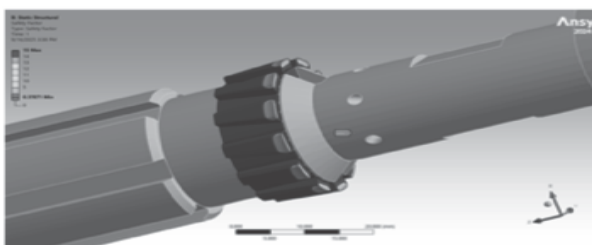
Kết quả phân tích ứng suất tương đương, chuyển vị và hệ số an toàn cho lần lượt trên các hình 4 ÷ 6. Các giá trị tương ứng theo màu và vị trí trên dao.



Hình 4. Ứng suất tương đương (Von Mises Stress)



Hình 5. Kết quả tính chuyển vị

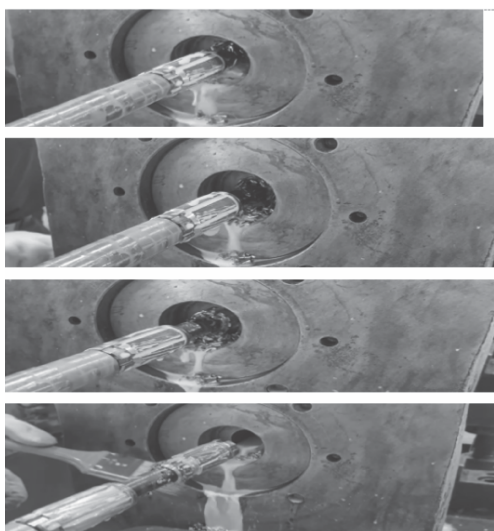


Hình 6. Kết quả tính hệ số an toàn

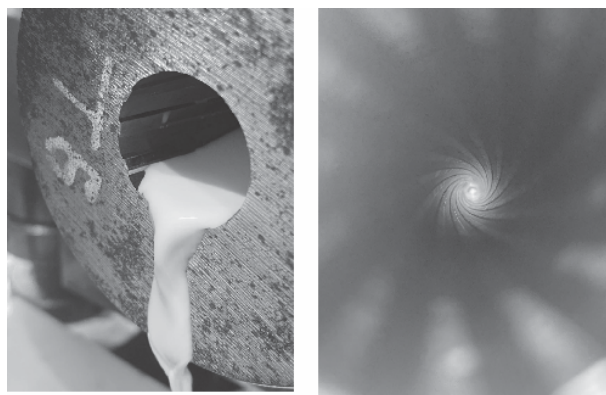
Từ kết quả tính toán kiểm nghiệm có thể thấy: Các giá trị ứng suất, chuyển vị, hệ số an toàn hoàn toàn nằm trong giới hạn cho phép của vật liệu chế tạo dao. Vùng có giá trị lớn nhất nằm ở phần lưỡi cắt, đây là vùng chịu các tải trọng trong quá trình cắt.

4. MỘT SỐ HÌNH ẢNH QUÁ TRÌNH CHẾ TẠO RÃNH XOẮN

Dựa trên kết quả nghiên cứu tính toán thiết kế đầu dao chuốt, đã chế tạo thành công rãnh xoắn trên nòng pháo P-25HQ.



Hình 7. Ảnh minh họa quá trình chuốt rãnh xoắn nòng pháo P-25HQ



Hình 8. Ảnh bề mặt rãnh xoắn bên trong nòng pháo P-25 HQ sau khi chuốt

5. KẾT LUẬN

- Bài báo đã trình bày nội dung tính toán thiết kế dao chuốt nòng pháo P-25HQ của Hải quân. Trên cơ sở phân tích lực cắt và tham khảo các thông số công nghệ gia công tương tự, công nghệ chế tạo dao chuốt, tác giả đã xác định được thông số hình học của lưỡi dao cắt và số lượng dao dùng để chuốt là 34. Sau đó, tác giả đã ứng dụng phần mềm Ansys để kiểm bền dao chuốt, xác định được các giá trị ứng suất min – max và chuyển vị xuất hiện trong quá trình gia công rãnh xoắn nòng P-25HQ.

- Kết quả đã đưa vào sản xuất thử thành công tại Viện Công nghệ, là tiền đề cho việc làm chủ công nghệ chế tạo trong nước, thay thế hàng nhập khẩu. ❖

Ngày nhận bài: **01/10/2025**

Ngày phản biện: **10/10/2025**

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Không Đình Tuy, “Nguyên lý kết cấu vũ khí có nòng”. Học viện Kỹ thuật quân sự (2003).
- [2]. “Sổ tay thiết kế cơ khí”. NXB. Khoa học và Kỹ thuật (1979).
- [3]. “Giáo trình thiết kế dụng cụ công nghiệp”. NXB. Khoa học Kỹ thuật (2005).
- [4]. “Giáo trình chế độ cắt gia công cơ khí”. NXB. Đà Nẵng (2002).
- [5]. Đoàn Ngọc Sơn, “Báo cáo tổng hợp đề tài “Nghiên cứu thiết kế, công nghệ chế tạo nòng pháo 105mm kiểu M2A2””. Đề tài cấp Nhà nước do Viện Công nghệ, Tổng cục Công nghiệp quốc phòng chủ trì (2024).