

XÁC ĐỊNH ÁP SUẤT CẦN THIẾT CHO MỐI GHÉP ĐỘ DÔI GIỮA ÁO TRỤC VÀ TRỤC CHÂN VỊT TÀU THỦY

DETERMINATION OF REQUIRED PRESSURE FOR INTERFERENCE FIT BETWEEN SHIP PROPELLER SHAFT AND ITS SLEEVE

ĐÀO NGỌC BIÊN

Viện Cơ khí, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

Email liên hệ: biendn@vamaru.edu.vn

Tóm tắt

Bài báo này trình bày việc tính toán áp suất cần thiết cho mối ghép độ dôi giữa áo trục và trục chân vịt tàu thủy dựa trên tải trọng tác dụng lên mối ghép, từ đó lựa chọn lắp ghép tiêu chuẩn tương ứng đảm bảo độ dôi này.

Từ khóa: Áo trục, trục chân vịt, lắp ghép độ dôi.

Abstract

Ship propeller shafts are covered by shaft sleeves to protect from wear and corrosion. These mating parts are normally interference-fitted and determined almost by experience. The aim of this study is to establish a general procedure to estimate necessary interference-fit for propeller shaft-sleeve mating parts based on working load.

Keywords: Shaft sleeve, propeller shaft, interference fit.

1. Đặt vấn đề

Để bảo vệ trục chân vịt khi hoạt động trong môi trường nước biển hay dầu nhờn áp lực đặc biệt là làm giảm ma sát giữa đoạn trục tiếp xúc với bạc đỡ trục, nâng cao tuổi thọ của trục chân vịt, người ta thường bọc phần trục làm việc trực tiếp với gối đỡ bằng một ống kim loại mỏng gọi là áo trục (Hình 1).



Hình 1. Trục chân vịt đã được bọc áo trục

Áo trục chân vịt là tiết máy bảo vệ trục trong điều kiện các ổ trục được bôi trơn bằng nước biển hay trong dầu nhờn áp lực. Mối ghép giữa áo trục và trục chân vịt là mối ghép có độ dôi. Việc chọn đúng chế độ lắp

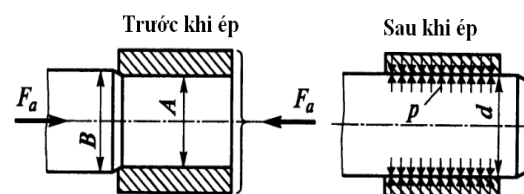
ghép cho mối ghép này không những đảm bảo khả năng chịu tải cho mối ghép, đảm bảo độ bền của áo trục, mà còn là một trong những yếu tố quyết định đến tuổi thọ của hệ trục, chu kỳ lên đà và hiệu quả khai thác của cả con tàu nói chung.

Hiện nay, việc tính toán, lựa chọn lắp ghép cho mối ghép giữa áo trục và trục chân vịt tàu thủy vẫn được tiến hành theo kinh nghiệm của đóng tàu Việt Nam và Nga (Liên xô cũ), chưa có cơ sở lý thuyết tính toán khoa học, rõ ràng [3, 4, 6].

Bài báo này trình bày việc xác định áp suất cần thiết cho mối ghép độ dôi giữa áo trục và trục chân vịt tàu thủy, làm cơ sở cho việc tính toán và lựa chọn (gọi tắt là tính chọn) lắp ghép tiêu chuẩn cho mối ghép này. Trước tiên, cần xác định được tải trọng tác dụng lên mối ghép, sau đó xác định áp suất và độ dôi cần thiết để chịu được tải trọng này và cuối cùng, từ độ dôi cần thiết, lựa chọn được lắp ghép tiêu chuẩn, đảm bảo điều kiện làm việc bình thường của mối ghép.

2. Cơ sở lý thuyết tính toán và lựa chọn lắp ghép cho mối ghép có độ dôi

Độ dôi N là hiệu dương giữa đường kính trục B và đường kính lỗ A : $N = B - A$ (Hình 2). Sau khi lắp, nhờ biến dạng đàn hồi và biến dạng dẻo, đường kính d của các bề mặt lắp ghép là chung cho các tiết máy ghép. Khi đó, trên bề mặt lắp ghép xuất hiện áp suất p và lực ma sát tương ứng. Lực ma sát đảm bảo trục và áo trục không dịch chuyển tương đối với nhau và cho phép mối ghép chịu được mô men xoắn T , lực dọc trục F_a và cả mô men uốn M .



Hình 2. Mối ghép độ dôi

Lắp ghép tiêu chuẩn được chọn theo điều kiện đảm bảo trục và moay ơ không dịch chuyển tương đối với

nhau mà không cần sử dụng thêm tiết máy phụ nào. Tuy nhiên, có thể có những trường hợp, lắp ghép được chọn không thỏa mãn điều kiện bền của trục và moay ơ vì độ dôi làm chúng bị phá hỏng hoặc biến dạng quá lớn. Vì vậy khi tính toán cần đảm bảo cả điều kiện bền của mỗi ghép (đảm bảo trục và moay ơ không dịch chuyển tương đối với nhau) và điều kiện bền của trục và moay ơ (trục và moay ơ không bị biến dạng quá lớn). Tính toán độ bền và biến dạng của trục và moay ơ là tính toán kiểm nghiệm tính khả dụng của lắp ghép được chọn [10].

Dựa theo tải trọng tác dụng lên mỗi ghép, cần tính áp suất trên bề mặt tiếp xúc giữa hai tiết máy, sau đó theo lý thuyết tính toán ống dày [5], tính được độ dôi tính toán tương ứng N .

Vì khi lắp ghép, những đỉnh nhấp nhô bị san phẳng một phần, nên độ dôi tính toán (độ dôi làm việc) nhỏ hơn độ dôi cần thiết ban đầu (độ dôi cho phép nhỏ nhất). Vì vậy độ dôi cần thiết phải là độ dôi tính toán được bù thêm một lượng bằng phần bị san phẳng:

$$N_C = N + 1,2(R_{Z1} + R_{Z2}), \quad (1)$$

R_{Z1}, R_{Z2} - chiều cao các mấp mô tế vi của bề mặt trục và lỗ.

Dựa theo N_C , tra các bảng tiêu chuẩn về dung sai và lắp ghép để chọn lắp ghép cần thiết có độ dôi nhỏ nhất N_{min} không nhỏ hơn N_C :

$$N_{min} \geq N_C. \quad (2)$$

Mặt khác, độ dôi lớn nhất của lắp ghép được chọn N_{max} phải không vượt quá độ dôi cho phép $[N_{max}]$ để không gây biến dạng dẻo cho các chi tiết lắp ghép. Như vậy, lắp ghép được chọn phải có độ dôi nhỏ nhất N_{min} và độ dôi lớn nhất N_{max} thỏa mãn điều kiện:

$$N_{min} \geq N_C; \quad (3)$$

$$N_{max} \leq [N_{max}]. \quad (4)$$

3. Xây dựng cơ sở lý thuyết tính chọn lắp ghép tiêu chuẩn giữa áo trục và trục chân vịt tàu thủy

3.1. Tải trọng tác dụng lên mỗi ghép

Áo trục được lắp có độ dôi với trục. Khi làm việc, áo trục chịu tác dụng của các tải trọng sau:

- Chịu ứng suất ban đầu do độ dôi. Ứng suất này giảm khi áo trục bị mòn;
- Chịu xoắn do mô men xoắn trên trục;
- Chịu uốn cùng với trục do trọng lượng chân vịt và trọng lượng bản thân trục;
- Chịu kéo, nén cùng với trục do lực đẩy từ chân vịt;
- Chịu ma sát khi làm việc với ổ đỡ, với đệm kín nước;

- Chịu ăn mòn do tác dụng của nước biển.

Ngoài ra, áo trục còn chịu tác dụng của lực ly tâm; chịu áp lực thủy động từ dòng nước; chịu tải trọng bổ sung do biến dạng của vỏ tàu, do sóng gió, do dao động và va đập, ... [1, 2, 3, 4].

Giả thiết gần đúng rằng áo trục chịu các thành phần nội lực chủ yếu là mô men xoắn và mô men uốn. Khi đó:

a) Mô men xoắn và ứng suất xoắn

Mô men xoắn

Nếu tiết diện cứng và không có chuyển vị tương đối (Hình 3):

$$\left(\frac{d\varphi}{dz}\right) = \frac{M_x(z)}{\sum G_p} = \text{const}, \quad (5)$$

Trong đó:

M_z - tổng mô men xoắn tại tiết diện z ;

G - mô đun đàn hồi trượt;

J_p - mô men quán tính độc cực của tiết diện:

$$J_{P_{trục}} = \frac{\pi d^4}{32}; J_{P_{áo}} = \frac{\pi(d_2^4 - d^4)}{32}, \quad (6)$$

Trong đó:

d - đường kính trục, bằng đường kính trong áo trục;

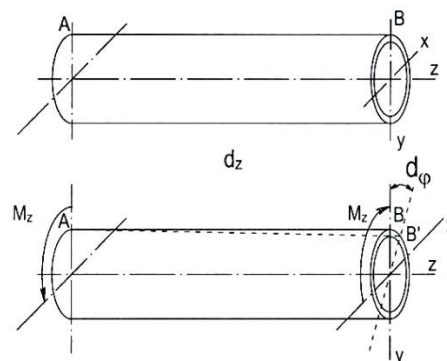
d_2 - đường kính ngoài áo trục.

Ta có:
$$\sum G_p = [G_p]_{áo} = [G_p]_{trục},$$

vậy:
$$\frac{M_z}{\sum G_p} = \frac{M_{xao}}{(G_p)_{áo}}$$

Do đó thành phần mô men do áo gánh là:

$$M_{xao} = \frac{(G_p)_{áo}}{\sum G_p} M_z. \quad (7)$$



Hình 3. Biến dạng xoắn của áo trục

Ứng suất xoắn

Mô men xoắn gây ra ứng suất tiếp trên mặt cắt ngang, được xác định theo công thức:

$$\tau_x = \frac{M_{xao}}{J_{pao}} \rho, \quad (8)$$

Trong đó:

M_{xao} - mô men xoắn trên áo trục;

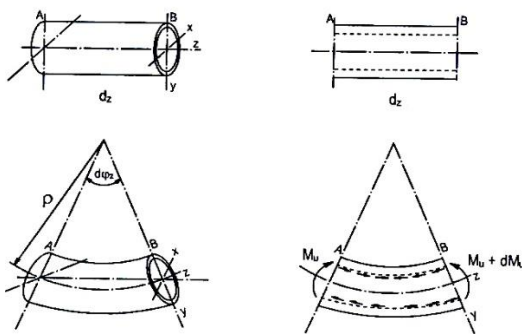
ρ - bán kính điểm tính ứng suất, $\rho_{max} = d/2$.

$$\rightarrow \tau_x = \frac{16M_{xao}d}{\pi(d_2^4 - d^4)}. \quad (9)$$

b) Mô men uốn và ứng suất uốn

Mômen uốn

Tại tiết diện lắp ghép (Hình 4) ta có:



Hình 4. Mỗi ghép độ đôi chịu mô men uốn

$$\frac{M_{u(x)}}{\sum EJ_x} = \frac{1}{\rho} = \frac{M_{uao}}{(EJ_x)_{ao}}, \quad (10)$$

Trong đó:

$M_{u(x)}$ - mô men uốn trên tiết diện;

M_{uao} - mô men uốn trên áo trục;

E - mô đun đàn hồi;

J_x - mô men quán tính của mặt cắt ngang,

$$J_{xtruc} = \frac{\pi d^4}{64}; \sum EJ_x = (EJ_x)_{ao} + (EJ_x)_{truc}.$$

Vậy mô men uốn trên áo trục:

$$M_{uao} = \frac{(EJ_x)_{ao}}{\sum EJ_x} M_{u(z)}. \quad (11)$$

Ứng suất uốn

Mô men uốn gây ra ứng suất pháp trên mặt cắt ngang, được xác định theo công thức:

$$\sigma_u = \frac{M_{u(ao)}}{J_x} y, \quad (12)$$

Trong đó:

M_{uao} - mô men uốn trên áo trục;

J_x - mô men quán tính của mặt cắt,

$$J_{xao} = \frac{\pi(d_2^4 - d^4)}{64};$$

y - tung độ của điểm cần tính ứng suất,

$$y_{max} = d/2. \rightarrow \sigma_u = \frac{32M_{uao}d}{\pi(d_2^4 - d^4)}. \quad (13)$$

c) Xác định áp suất cần thiết trên bề mặt tiếp xúc giữa áo trục và trục

Để xác định độ đôi cần thiết cần xác định áp suất cần thiết trên bề mặt lắp ghép giữa áo trục và trục. Theo [10], trong trường hợp mỗi ghép chịu tác dụng đồng thời cả mô men xoắn và mô men uốn thì áp suất cần thiết là trị số lớn hơn trong hai trị số do các mô men này gây nên.

- Áp suất cần thiết để chống trượt do mô men xoắn

Xét từ đầu mút tự do của áo trục (Hình 3) rõ ràng thành phần $\frac{\partial M_x}{\partial z} dz$ là do mô men của các lực ma sát trên bề mặt lắp ghép (τ_{ms}) tạo ra trên đoạn dz.

Ta có:

$$dM_x = \frac{\partial M_{xao}}{\partial z} dz = 2\pi r_{truc} \tau_{ms} dz, \quad (14)$$

do đó: $M_{xao} = 2\pi r_{truc} \tau_{ms} z$; $\tau_{ms} = pf$,

vậy:

$$M_{xao} = 2\pi r_{truc} pfz, \quad (15)$$

Trong đó:

p - áp suất trên bề mặt lắp ghép;

f - hệ số ma sát;

z - tọa độ tính mô men.

Ta có: $M_{xao} = \frac{(GJ_p)_{ao}}{\sum GJ_p} M_x,$

khi $z = L_0$, từ công thức (15)

$$\rightarrow 2\pi r_{truc} pfL_0 = \frac{(GJ_p)_{ao}}{\sum GJ_p} M_x.$$

Vậy điều kiện chống trượt do xoắn là:

$$p > \frac{(GJ_p)_{ao}}{\sum GJ_p} \frac{M_x}{2\pi r_{truc} fL_0}, \quad (16)$$

Trong đó: L_0 - chiều dài tính toán của áo trục.

- Áp suất cần thiết để chống trượt do mô men uốn

Nếu bỏ qua trọng lượng bản thân áo và các áp lực

(không do độ dôi) do trục trên áo thì ngoại lực (đối với áo) chỉ là do ma sát trục trên áo.

Xét cân bằng trên phân tố dz (Hình 4):

$$\begin{aligned} M_{(z)} + dM_u^{ms} &= \frac{\partial M_z}{\partial z} dz + M_{(z)} \rightarrow dM_u^{ms} = \frac{\partial M_z}{\partial z} dz; \\ \rightarrow Q_y^{ao} dz &= M_u^{ms} = \int_0^{\pi} 2\tau_{ms} r_{truc} d\varphi \cdot dz r_{truc} |\sin \varphi| dz = \\ &= 4\tau_{ms} r_{truc}^2 dz; \rightarrow Q_y^{ao} = 4\tau_{ms} r^2 \rightarrow \tau_{ms} = \frac{Q_y^{ao}}{4r_{truc}^2}, \end{aligned} \quad (17)$$

Trong đó:

M_u^{ms} - mô men uốn do ma sát trên phân tố dz ;

Q_y^{ao} - lực cắt trên áo, theo trục y , tại tiết diện z .

Thay $\tau_{ms} = p \cdot f$ vào công thức trên, ta tìm được giá trị áp suất p đảm bảo điều kiện chống trượt khi uốn:

$$p f > \frac{Q_y^{ao}}{4r_{truc}^2} \rightarrow p > \frac{Q_y^{ao}}{4fr_{truc}^2}. \quad (18)$$

Như vậy, áp suất dùng để tính toán độ dôi nhỏ nhất giữa áo trục và trục là trị số lớn hơn trong hai trị số xác định theo các công thức (16) và (18).

3.2. Tính chọn lắp ghép tiêu chuẩn giữa áo trục và trục chân vịt tàu thủy

Sau khi xác định được áp suất tính toán, trình tự tính chọn lắp ghép tiêu chuẩn cho mỗi ghép giữa áo trục và trục chân vịt như sau:

- Từ áp suất tính toán p , tính độ dôi tính toán N theo công thức La mê;
- Xác định áp suất lớn nhất không gây biến dạng dẻo bề mặt áo trục;
- Xác định độ dôi cho phép $[N_{max}]$;
- Tính toán độ dôi cần thiết N_C có kể đến ảnh hưởng của nhám bề mặt theo công thức (1);
- Tra bảng tiêu chuẩn về dung sai lắp ghép để tìm lắp ghép có độ dôi nhỏ nhất N_{min} không nhỏ hơn N_C và độ dôi lớn nhất không lớn hơn $[N_{max}]$ theo (3) và (4):

$$\begin{cases} N_{min} \geq N_C; \\ N_{max} \leq [N_{max}] \end{cases}$$

Khi chọn lắp ghép tiêu chuẩn theo các điều kiện (3) và (4), nếu có nhiều lắp ghép thỏa mãn thì nên chọn lắp ghép đó có độ dôi N_{max} nhỏ nhất để nâng cao độ bền của áo trục. Nếu không chọn được lắp ghép tiêu chuẩn nào thỏa mãn thì cần thay đổi số liệu ban đầu (kích thước mỗi ghép, vật liệu áo trục,...) và tiến hành tính toán chọn lại lắp ghép.

4. Kết luận

4.1. Bài báo đã xác định được tải trọng tác dụng lên mỗi ghép áo trục và trục chân vịt tàu thủy. Tải trọng này cho phép xác định áp suất cần thiết trên bề mặt tiếp xúc giữa chúng, từ đó xác định được độ dôi cần thiết, đảm bảo áo trục không dịch chuyển tương đối với trục khi làm việc. Đồng thời độ dôi này cũng cần đảm bảo độ bền của các tiết máy được ghép, nghĩa là áo trục và trục không bị biến dạng quá mức cho phép.

4.2. Bài báo cũng xây dựng được cơ sở lý thuyết tính chọn lắp ghép tiêu chuẩn giữa áo trục và trục chân vịt tàu thủy. Xuất phát từ độ dôi cần thiết và độ dôi lớn nhất cho phép, người thiết kế tra các bảng tiêu chuẩn về dung sai lắp ghép để tìm lắp ghép yêu cầu. Nếu có nhiều lắp ghép thỏa mãn thì nên chọn lắp ghép đó có độ dôi N_{max} nhỏ nhất để nâng cao độ bền của áo trục. Nếu không có lắp ghép nào thỏa mãn thì cần thay đổi số liệu ban đầu (kích thước mỗi ghép, vật liệu áo trục,...) và tiến hành tính toán chọn lại lắp ghép.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Nguyễn Đăng Cường, *Thiết kế và lắp ráp thiết bị tàu thủy*, NXB Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội, 2000.
- [2] Nguyễn Đăng Cường, Hà Tôn, *Lắp ráp và sửa chữa thiết bị tàu thủy*, NXB Nông Nghiệp, Hà Nội, 1983.
- [3] Đặng Hộ, *Thiết kế trang trí động lực tàu thủy, tập 1*, NXB Giao thông vận tải, Hà Nội, 1985.
- [4] Đặng Hộ, *Thiết kế trang trí động lực tàu thủy, tập 2*, NXB Giao thông vận tải, Hà Nội, 1986.
- [5] Bùi Trọng Lưu, Nguyễn Văn Vượng, *Bài tập Sức bền Vật liệu*, NXB Giáo dục, Hà Nội, 1998.
- [6] Nguyễn Huy Tiến, *Xây dựng tiêu chuẩn các mối ghép hệ trục tàu thủy*, Đề tài NCKH cấp Trường, Trường Đại học Hàng hải, 2004.
- [7] Ninh Đức Tôn, *Dung sai và Lắp ghép*, NXB Giáo dục, Hà Nội, 2007.
- [8] Vũ Anh Tuấn, *Nghiên cứu xác định chiều dày hợp lý áo bọc trục chong chóng và phương pháp lắp áo bọc trục*, Luận văn thạc sỹ kỹ thuật, Trường Đại học Hàng hải, 2009.
- [9] Vũ Văn Vân, *Nghiên cứu tính toán ứng suất và độ dôi của mối ghép giữa áo trục và trục chong chóng*, Đồ án tốt nghiệp đại học, Trường Đại học Hàng hải, 2007.
- [10] Ряховский О. Ф., *Детали Машин*, Изд. МГТУ имени Н. Э. Баумана, Москва, 2007.

Ngày nhận bài:	10/10/2020
Ngày nhận bản sửa:	21/10/2020
Ngày duyệt đăng:	30/10/2020