

NGHIÊN CỨU LÝ THUYẾT ẢNH HƯỞNG SAI SỐ GIA CÔNG ĐẾN SỰ LỆCH CỦA KÍCH THƯỚC TỌA ĐỘ ĐƯỜNG ỐNG THIẾT KẾ TRÊN TÀU

THEORETICAL RESEARCH ON INFLUENCE OF PROCESSING ERRORS ON THE DEVIATIONS OF COORDINATE DIMENSIONS OF DESIGN PIPELINE ON THE SHIP

Phạm Trường Thi

Trường Đại học Bách khoa, Đại học Đà Nẵng; ptthi@dut.udn.vn

Tóm tắt - Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu tìm ra mối liên hệ hình học giữa sai số trong gia công đến sự lệch của kích thước tọa độ đường ống thiết kế trên tàu. Một phân đoạn ống khi gia công sẽ phải trải qua các nguyên công cắt và uốn, nguyên công uốn trong trường hợp tổng quát sẽ bao gồm các bước: dịch chuyển dọc, bẻ ống, dịch chuyển dọc, xoay ống, bẻ ống... Để nghiên cứu ảnh hưởng tổng hợp của các sai số gia công lên độ lệch kích thước tọa độ của đường ống, tác giả sẽ nghiên cứu ảnh hưởng độc lập của từng sai số, ảnh hưởng tổng hợp của các sai số khi đó sẽ là tổng véc tơ của tất cả các lệch gây nên bởi tất cả các sai số gia công đường ống.

Từ khóa - đường ống tàu thủy; sai số; gia công ống; kích thước tọa độ; công nghệ đóng tàu; uốn ống tàu thủy

1. Đặt vấn đề

Trên thế giới đã có những nghiên cứu chế tạo ra những dây chuyền hiện đại sản xuất ống cho tàu thủy, tuy nhiên ứng dụng của những dây chuyền này vào thực tế sản xuất ống tại các nhà máy đóng tàu vẫn rất hạn chế, tỉ lệ ống sản xuất trên dây chuyền không đạt yêu cầu vẫn còn cao do sai số trong chế tạo kéo theo sự lệch về kích thước đường ống thiết kế.

Hiện nay, phương án di chuyển những công việc chính và nặng nhất liên quan đến vạch tuyến, sửa lắp, điều chỉnh ống từ trên tàu vào các xưởng đang được nghiên cứu. Việc tính toán chính xác ảnh hưởng các sai số trong chế tạo lên sự lệch của kích thước tọa độ tuyến đường ống thiết kế trên tàu giúp chúng ta có thể đánh giá, xây dựng được dây chuyền sản xuất chế tạo ống tốc độ, hiệu quả cao, giảm khối lượng công việc và giá thành chế tạo ống.

Nghiên cứu lý thuyết ảnh hưởng sai số gia công đến sự lệch của kích thước tọa độ tuyến đường ống giúp cho quá trình tính toán trong những trường hợp cụ thể được nhanh chóng và thuận tiện.

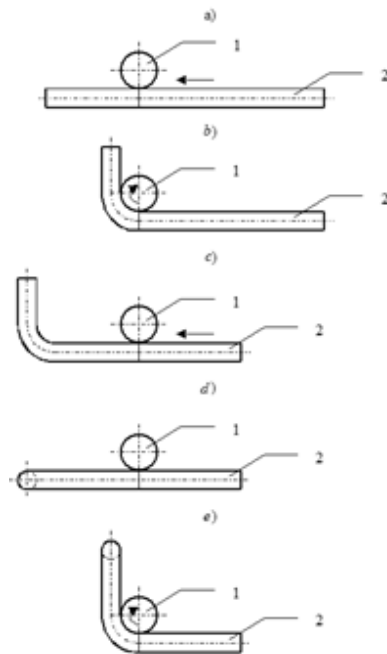
2. Tính toán lý thuyết ảnh hưởng sai số gia công đến sự lệch của kích thước tọa độ phân đoạn ống trên tàu

Quá trình gia công ống tàu thủy trải qua các nguyên công cắt và uốn, tính chính xác của các nguyên công này ảnh hưởng đến sự sai lệch về kích thước tọa độ của tuyến đường ống thiết kế. Uốn ống được thực hiện trên các máy uốn ống có điều khiển tự động, bán tự động hay bằng tay. Quá trình uốn ống trong trường hợp tổng quát bao gồm 3 bước chính: dịch chuyển dọc, bẻ ống và xoay quanh trục.

Khi gia công các đoạn ống với những biên dạng cong khác nhau sẽ phải thực hiện những tổ hợp nguyên công mà sai số khi thực hiện chúng sẽ ảnh hưởng đến độ lệch kích thước tọa độ của ống (Hình 2).

Abstract - In this paper, the author will carry out the research to find out the geometric relationships between processing errors and the deviations of coordinate dimensions of design pipeline on the ship. A pipe segment must undergo the cutting and bending. Bending the material in the general case includes the following steps moving along, curling pipe, moving along, turning the hose, curling pipe ... To study the synthetic effects of machining errors on deviation of coordinate dimensions of the pipe, the author will examine the impact of each error independently, form the formula for the general case. Aggregate impact of these errors would then be total vector of all deviations vectors caused by all the pipeline processing errors.

Key words - ship pipeline; processing errors; pipe processing; coordinate dimensions; shipbuilding technology; shippipe curling



Hình 1. Quá trình uốn ống: a) dịch chuyển dọc đến điểm bẻ thứ nhất; b) điểm bẻ thứ nhất; c) dịch chuyển dọc đến điểm bẻ thứ hai; d) xoay quanh trục; e) điểm bẻ thứ hai

Trong thiết kế tuyến đường ống, tư thế không gian của ống được xác định bởi tọa độ của những điểm đặc trưng – điểm đầu, các điểm bẻ và điểm cuối của ống (Hình 3).

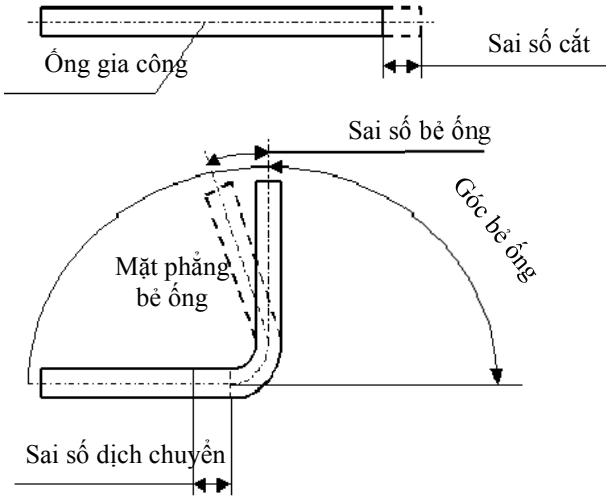
Trong trường hợp tổng quát, chiều dài đoạn ống thứ i xác định bởi công thức:

$$L_i = \sqrt{(x_{i+1} - x_i)^2 + (y_{i+1} - y_i)^2 + (z_{i+1} - z_i)^2}$$

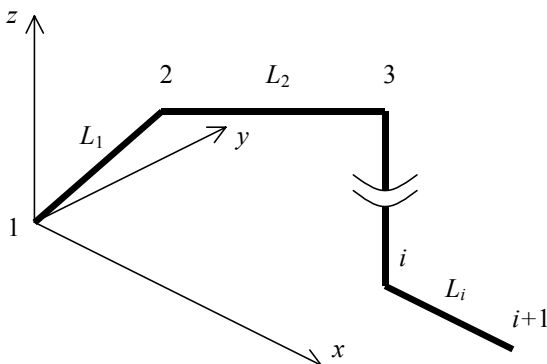
Trục lý thuyết của ống là đường gãy khúc với những véc tơ dẫn hướng $L_1; L_2; \dots; L_n$. Tọa độ véc tơ L_i được tính theo các công thức:

$X_1 = L_1 \cdot \cos(\alpha)$; $Y_1 = L_1 \cdot \cos(\beta)$; $Z_1 = L_1 \cdot \cos(\gamma)$ trong đó, L_1 – chiều dài véc tơ; $\cos(\alpha)$, $\cos(\beta)$, $\cos(\gamma)$ – các cosin dẫn hướng $L_1 = \sqrt{X_1^2 + Y_1^2 + Z_1^2}$

$$X_1 = x_2 - x_1, \quad Y_1 = y_2 - y_1, \quad Z_1 = z_2 - z_1$$



Hình 2. Sai số cắt, dịch chuyển dọc, bề, xoay ống



Hình 3. Tư thế không gian của tuyến đường ống

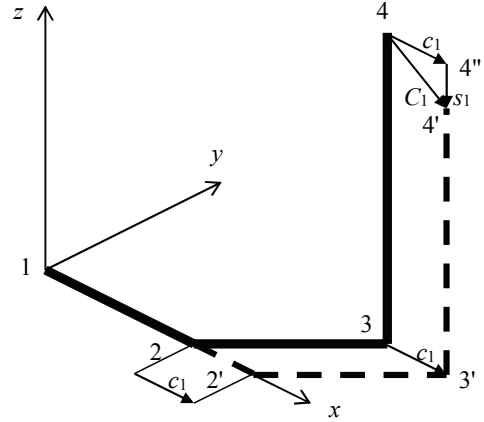
Tọa độ của một điểm M(X, Y, Z) bất kỳ:

$$X = R \cdot \cos(\alpha); \quad Y = R \cdot \cos(\beta); \quad Z = R \cdot \cos(\gamma)$$

Trong đó: R – độ dài véc tơ bán kính của điểm M (khoảng cách từ M đến gốc tọa độ).

2.1. Ảnh hưởng của sai số dịch chuyển dọc

Độ lệch của điểm đặc trưng bất kỳ (trừ điểm cuối cùng) dưới ảnh hưởng của sai số dịch chuyển (c_i) trên phần tử ống thứ $-i$ chính là véc tơ có cùng độ dài và cùng chiều với véc tơ sai số.



Hình 4. Ảnh hưởng của sai số dịch chuyển đến độ lệch kích thước tọa độ

Độ lệch của điểm số 2 theo các trục tọa độ: $x\Delta_1$, $y\Delta_1$, $z\Delta_1$ dưới ảnh hưởng của sai số dịch chuyển (c_1) xác định theo biểu thức:

$$x\Delta_1 = x_{2'} - x_2, \quad y\Delta_1 = y_{2'} - y_2, \quad z\Delta_1 = z_{2'} - z_2$$

Vì 1, 2 và 2' cùng nằm trên 1 đường thẳng:

$$\frac{X_1}{L_1} = \frac{X_{1'}}{L_1 + c_1} \Rightarrow X_{1'} = X_1 \cdot \frac{L_1 + c_1}{L_1}$$

$$\frac{Y_1}{L_1} = \frac{Y_{1'}}{L_1 + c_1} \Rightarrow Y_{1'} = Y_1 \cdot \frac{L_1 + c_1}{L_1}$$

$$\frac{Z_1}{L_1} = \frac{Z_{1'}}{L_1 + c_1} \Rightarrow Z_{1'} = Z_1 \cdot \frac{L_1 + c_1}{L_1}$$

trong đó, $X_{1'} = x_{2'} - x_1$, $Y_{1'} = y_{2'} - y_1$,

$$Z_{1'} = z_{2'} - z_1, \quad L_1 = \sqrt{X_1^2 + Y_1^2 + Z_1^2}$$

Như vậy,

$$x_{2'} = x_1 + X_1 \cdot \frac{\sqrt{X_1^2 + Y_1^2 + Z_1^2} + c_1}{\sqrt{X_1^2 + Y_1^2 + Z_1^2}}$$

$$y_{2'} = y_1 + Y_1 \cdot \frac{\sqrt{X_1^2 + Y_1^2 + Z_1^2} + c_1}{\sqrt{X_1^2 + Y_1^2 + Z_1^2}}$$

$$z_{2'} = z_1 + Z_1 \cdot \frac{\sqrt{X_1^2 + Y_1^2 + Z_1^2} + c_1}{\sqrt{X_1^2 + Y_1^2 + Z_1^2}}$$

Kết quả là:

$$x\Delta_1 = X_1 \cdot \left(-1 + \frac{\sqrt{X_1^2 + Y_1^2 + Z_1^2 + c_1}}{\sqrt{X_1^2 + Y_1^2 + Z_1^2}}\right)$$

$$y\Delta_1 = Y_1 \cdot \left(-1 + \frac{\sqrt{X_1^2 + Y_1^2 + Z_1^2 + c_1}}{\sqrt{X_1^2 + Y_1^2 + Z_1^2}}\right)$$

$$z\Delta_1 = Z_1 \cdot \left(-1 + \frac{\sqrt{X_1^2 + Y_1^2 + Z_1^2 + c_1}}{\sqrt{X_1^2 + Y_1^2 + Z_1^2}}\right)$$

với

$$X_1 = x_2 - x_1, \quad Y_1 = y_2 - y_1, \quad Z_1 = z_2 - z_1$$

Ta sẽ có

$$x\Delta_1 = (x_2 - x_1) \cdot \left(-1 + \frac{\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2 + c_1}}{\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2}}\right)$$

$$y\Delta_1 = (y_2 - y_1) \cdot \left(-1 + \frac{\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2 + c_1}}{\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2}}\right)$$

$$z\Delta_1 = (z_2 - z_1) \cdot \left(-1 + \frac{\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2 + c_1}}{\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2}}\right)$$

Đối với điểm cuối của ống: sự tăng chiều dài của phần từ ống thứ $-i$ kéo theo sự ngắn đi của phần từ ống thứ $-n$ và ngược lại. Kết quả là, véc tơ lệch $C_i(xc_i, yc_i, zc_i)$ bằng tổng véc tơ sai số $c_i(x\Delta_i, y\Delta_i, z\Delta_i)$ và véc tơ $s_i(xs_i, ys_i, zs_i)$ (véc tơ có cùng độ dài với véc tơ sai số cùng phương với phần từ ống thứ $-n$): $\vec{C}_i = \vec{c}_i + \vec{s}_i$

$$\text{Ta có: } xc_1 = x\Delta_1 + xs_1, \quad yc_1 = y\Delta_1 + ys_1,$$

$$zc_1 = z\Delta_1 + zs$$

$$\text{Nhu vậy: } \frac{X_3}{L_3} = -\frac{xs_1}{c_1} \Rightarrow xs_1 = -X_3 \cdot \frac{c_1}{L_3}$$

$$\frac{Y_3}{L_3} = -\frac{ys_1}{c_1} \Rightarrow ys_1 = -Y_3 \cdot \frac{c_1}{L_3}$$

$$\frac{Z_3}{L_3} = -\frac{zs_1}{c_1} \Rightarrow zs_1 = -Z_3 \cdot \frac{c_1}{L_3}$$

Trong trường hợp tổng quát, độ lệch kích thước tọa độ (C_i) của một điểm đặt trung bất kỳ trên đoạn ống gây ra do sai số dịch chuyển (c_i) được xác định theo biểu thức:

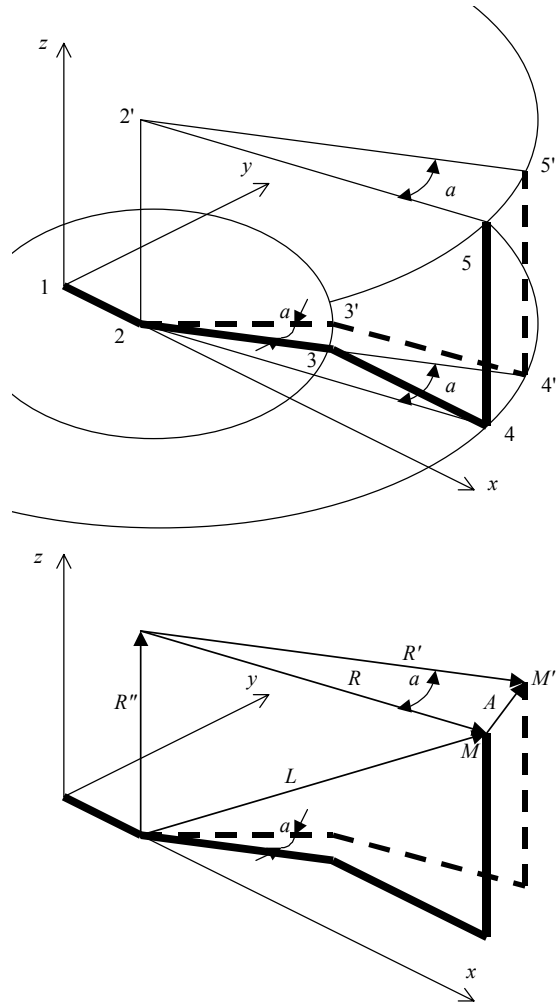
$$C_i \begin{pmatrix} xc_i \\ yc_i \\ zc_i \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \end{pmatrix} \cdot \left(-1 + \frac{|L_i| + c_i}{|L_i|}\right) + s_i$$

với $s_i = 0$ cho mọi điểm đặc trưng trừ điểm cuối cùng;

$$s_i = -\begin{pmatrix} X_\kappa \\ Y_\kappa \\ Z_\kappa \end{pmatrix} \cdot \frac{c_i}{|L_\kappa|} - \text{cho điểm cuối cùng của ống.}$$

2.2. Ảnh hưởng của sai số bề ống

Khi bề ống, một phần ống sẽ xoay xung quanh trục 22° vuông góc với mặt phẳng bề ống và đi qua đỉnh uốn.



Hình 5. Sự lệch kích thước tọa độ của ống dưới ảnh hưởng của sai số bề ống

Độ lệch các điểm đặc trưng của ống dưới ảnh hưởng của sai số bề ống a sẽ diễn ra trên mặt phẳng bề ống hoặc mặt phẳng song song với nó, theo cung tròn bán kính: $/23/$ - đối với điểm 3; $/24/$ - đối với điểm 4; $/2'5/$ - đối với điểm 5 (Hình 5). Độ lệch dài: $/33'/=23/a$, $/44'/=24/a$, $/55'/=2'5/a$.

Xét một cách tổng quát phương pháp phân tích hình học, độ lệch (A) một điểm đặc trưng bất kỳ của ống dưới ảnh hưởng của sai số bề ống (a) được xác định bằng công thức: $A = R \cdot a$, trong đó R - độ dài đường vuông góc hạ từ điểm đang xét đến trục uốn.

Ở dạng véc tơ, độ lệch của điểm đang xét là 1 véc tơ có tọa độ $A(xa, ya, za)$, được xác định bởi hiệu số của véc tơ bán kính vị trí thực $R'(X', Y', Z')$ và véc tơ bán kính vị trí lý thuyết $R(X-X'', Y-Y'', Z-Z'')$:

$$\vec{A} = \vec{R}' - \vec{R} = \vec{R}' - (\vec{L} - \vec{R}'')$$

Trong đó, véc tơ $L(X, Y, Z)$ và $R''(X'', Y'', Z'')$ lần lượt là véc tơ bán kính điểm đang xét đối với đỉnh uốn và véc tơ hình chiếu của nó trên trục uốn.

Độ lệch A được tính theo các phương trình sau:

$$xa = X' - (X - X''), ya = Y' - (Y - Y''), za = Z' - (Z - Z'')$$

Để xác định X', Y', Z' ta sẽ thực hiện phép biến đổi và lập hệ phương trình.

Góc giữa 2 véc tơ $N'(N'x, N'y, N'z)$ và $L(X, Y, Z)$:

$$\cos(\phi) = \frac{N'x \cdot X + N'y \cdot Y + N'z \cdot Z}{\sqrt{N'^2x^2 + N'^2y^2 + N'^2z^2} \cdot \sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2}}$$

với $N'(N'x, N'y, N'z)$ là véc tơ pháp tuyến của mặt phẳng bề ống, được xác định bởi tích 2 véc tơ $L_1(X_1, Y_1, Z_1)$ và $L_2(X_2, Y_2, Z_2)$:

$$N'x = Y_1 \cdot Z_2 - Z_1 \cdot Y_2, N'y = Z_1 \cdot X_2 - X_1 \cdot Z_2,$$

$$N'z = X_1 \cdot Y_2 - Y_1 \cdot X_2$$

Theo định luật tam giác vuông: $R'' = L \cdot \cos(\phi)$

Độ dài L: $L = \sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2}$, như vậy:

$$R'' = \frac{N'x \cdot X + N'y \cdot Y + N'z \cdot Z}{\sqrt{N'^2x^2 + N'^2y^2 + N'^2z^2}}$$

Vì $\vec{R''}$ và $\vec{N'}$ cùng nằm trên 1 trục bề ống /22' nên:

$$\frac{X''}{R''} = \frac{N'x}{N'} \Rightarrow X'' = N'x \cdot \frac{R''}{N'}$$

$$\frac{Y''}{R''} = \frac{N'y}{N'} \Rightarrow Y'' = N'y \cdot \frac{R''}{N'}$$

$$\frac{Z''}{R''} = \frac{N'z}{N'} \Rightarrow Z'' = N'z \cdot \frac{R''}{N'}$$

$$\text{lại có: } N' = \sqrt{N'^2x^2 + N'^2y^2 + N'^2z^2}$$

$$\text{nư vậy: } X'' = \frac{Nx \cdot (N'x \cdot X + N'y \cdot Y + N'z \cdot Z)}{N'^2x^2 + N'^2y^2 + N'^2z^2}$$

$$Y'' = \frac{Ny \cdot (N'x \cdot X + N'y \cdot Y + N'z \cdot Z)}{N'^2x^2 + N'^2y^2 + N'^2z^2}$$

$$Z'' = \frac{Nz \cdot (N'x \cdot X + N'y \cdot Y + N'z \cdot Z)}{N'^2x^2 + N'^2y^2 + N'^2z^2}$$

Chiều của góc bề xác định bởi góc giữa 2 véc tơ $N(Nx, Ny, Nz)$ và $R(X-X'', Y-Y'', Z-Z'')$:

$$\cos(\phi) = \frac{Nx \cdot (X - X'') + Ny \cdot (Y - Y'') + Nz \cdot (Z - Z'')}{\sqrt{Nx^2 + Ny^2 + Nz^2} \cdot \sqrt{(X - X'')^2 + (Y - Y'')^2 + (Z - Z'')^2}}$$

với $N(Nx, Ny, Nz)$ – véc tơ pháp tuyến của mặt phẳng tạo bởi véc tơ $L(X, Y, Z)$ và $N'(N'x, N'y, N'z)$:

$$Nx = Y \cdot N'z - Z \cdot N'y, Ny = Z \cdot N'x - X \cdot N'z$$

$$Nz = X \cdot N'y - Y \cdot N'x$$

Góc bề thực: $\phi' = \alpha + \phi$

Như vậy:

$$\begin{aligned} \cos(\alpha + \arccos(\frac{Nx(X-X'') + Ny(Y-Y'') + Nz(Z-Z'')}{\sqrt{Nx^2 + Ny^2 + Nz^2} \cdot \sqrt{(X-X'')^2 + (Y-Y'')^2 + (Z-Z'')^2}})) &= \\ &= \frac{NxX' + NyY' + NzZ'}{\sqrt{Nx^2 + Ny^2 + Nz^2} \cdot \sqrt{X'^2 + Y'^2 + Z'^2}} \end{aligned} \quad (1)$$

Theo định nghĩa,

$$R = R' \Rightarrow \sqrt{(X - X'')^2 + (Y - Y'')^2 + (Z - Z'')^2} = \sqrt{X'^2 + Y'^2 + Z'^2} \quad (2)$$

Phương trình mặt phẳng bề ống chính là phương trình mặt phẳng tạo bởi 2 véc tơ $N(Nx, Ny, Nz)$ và $R(X-X'', Y-Y'', Z-Z'')$:

$$\begin{vmatrix} X' & Y' & Z' \\ Nx & Ny & Nz \\ X - X'' & Y - Y'' & Z - Z'' \end{vmatrix} = 0 \quad (3)$$

Giải hệ phương trình (1), (2), (3) đối với X', Y', Z' ta sẽ có được tọa độ thực của điểm đang xét đối với trục uốn.

Trong trường hợp tổng quát, độ lệch (A_i) của điểm đặc trưng bất kỳ đường ống (điểm $M(x,y,z)$) dưới ảnh hưởng của sai số bề ống (a_i) (Hình 5) xác định theo phương trình:

$$A_i \begin{pmatrix} xa_i \\ ya_i \\ za_i \end{pmatrix} = R' \begin{pmatrix} X' \\ Y' \\ Z' \end{pmatrix} - \left(L \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} - R'' \begin{pmatrix} X'' \\ Y'' \\ Z'' \end{pmatrix} \right),$$

với $R' \begin{pmatrix} X' \\ Y' \\ Z' \end{pmatrix}$ – nghiệm của hệ phương trình:

$$\left. \begin{aligned} \cos \left(a_i + \arccos \left(\frac{N \cdot (L - R)}{|N| \cdot |L - R|} \right) \right) &= \frac{N \cdot R'}{|N| \cdot |R'|} \\ |L - R''| &= |R'| \\ R' \cdot N \cdot (L - R'') &= 0 \end{aligned} \right\}$$

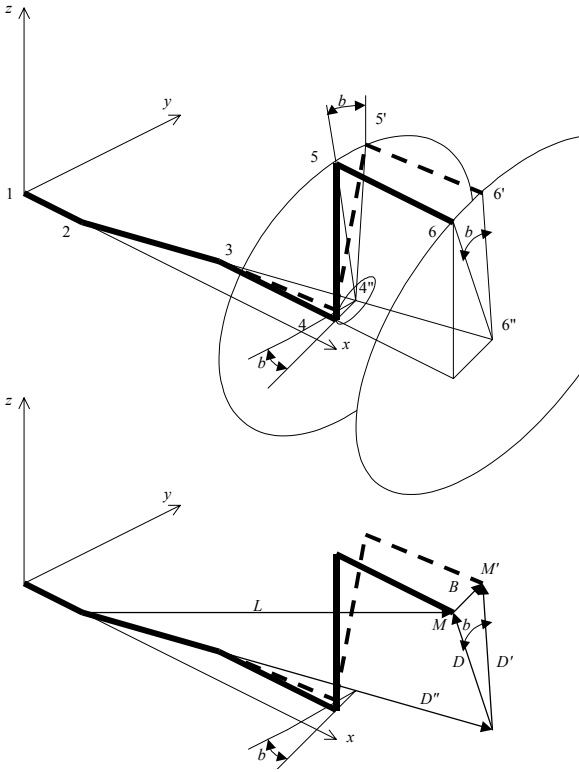
$$\text{trong đó, } L \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x - x_{i+1} \\ y - y_{i+1} \\ z - z_{i+1} \end{pmatrix};$$

$$R'' \begin{pmatrix} X'' \\ Y'' \\ Z'' \end{pmatrix} = N \begin{pmatrix} Nx \\ Ny \\ Nz \end{pmatrix} \cdot \frac{(L_i \times L_{i+1}) \cdot L}{|L_i \times L_{i+1}|}; \quad N = (L \times (L_i \times L_{i+1}))$$

2.3. Ảnh hưởng của sai số xoay ống

Xoay ống diễn ra xung quanh trục (23) – trục xoay. Độ lệch của các điểm đặc trưng trên ống dưới ảnh hưởng của sai số xoay ống (b) sẽ nằm trên những mặt phẳng vuông góc với trục xoay, theo các cung tròn với bán kính: /4'4' - đối với điểm 4; /4'5' - đối với điểm 5; /6'6' - đối với điểm 6. Theo định nghĩa, các đoạn /4'4', /4'5', /6'6' là các đường vuông góc hạ từ các điểm 4, 5, 6 đến trục xoay: /44' = /4'4' · b, /55' = /5'5' · b, /66' = /6'6' · b.

Độ lệch (B) điểm đặc trưng bất kỳ dưới ảnh hưởng của sai số xoay ống (b) xác định bằng biểu thức: $B = D \cdot b$, với D – chiều dài đường vuông góc hạ từ điểm đang xét lên trục xoay ống.



Hình 6. Ảnh hưởng của sai số xoay ống lên độ lệch kích thước tọa độ của đường ống

Ở dạng vectơ, độ lệch điểm M đang xét là một vectơ $B(xb, yb, zb)$, xác định bằng hiệu của vectơ vị trí thực $D'(X', Y', Z')$ (dưới ảnh hưởng sai số xoay ống) và vectơ vị trí lý thuyết $D(X'', Y'', Z'')$ của điểm đang xét đối với trục xoay: $\vec{B} = \vec{D}' - \vec{D} = \vec{D}' - (\vec{L} - \vec{D}'')$, với $L(X, Y, Z)$ và $D''(X'', Y'', Z'')$ lần lượt là vectơ bán kính điểm đang xét đối với đỉnh uốn và vectơ hình chiếu của nó lên trục xoay (Hình 6).

Độ lệch kích thước tọa độ của ống đối với các trục x, y, z dưới ảnh hưởng của sai số xoay ống được tính theo các biểu thức sau:

$xb = X' - (X - X'')$, $yb = Y' - (Y - Y'')$, $zb = Z' - (Z - Z'')$ sẽ có tọa độ thực của điểm đang xét đối với trục xoay ống. Để xác định X', Y', Z' ta sẽ thực hiện những biến đổi cần thiết và lập hệ phương trình. Theo định nghĩa, vectơ $L_2(X_2, Y_2, Z_2)$ và $D''(X'', Y'', Z'')$ nằm trên trục xoay [23], theo đó, biểu thức sau sẽ đúng:

$$\begin{aligned} \frac{X''}{D''} &= \frac{X_2}{L_2} \Rightarrow X'' = X_2 \cdot \frac{D''}{L_2} \\ \frac{Y''}{D''} &= \frac{Y_2}{L_2} \Rightarrow Y'' = Y_2 \cdot \frac{D''}{L_2} \\ \frac{Z''}{D''} &= \frac{Z_2}{L_2} \Rightarrow Z'' = Z_2 \cdot \frac{D''}{L_2} \end{aligned}$$

Theo quy tắc tam giác vuông: $D'' = L \cdot \cos(\nu)$,

$$\text{với } \cos(\nu) = \frac{X_2 \cdot X + Y_2 \cdot Y + Z_2 \cdot Z}{\sqrt{X_2^2 + Y_2^2 + Z_2^2} \cdot \sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2}},$$

trong đó: $L = \sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2}$ $L_2 = \sqrt{X_2^2 + Y_2^2 + Z_2^2}$.

Sau khi biến đổi, ta có:

$$X'' = \frac{X_2 \cdot (X_2 \cdot X + Y_2 \cdot Y + Z_2 \cdot Z)}{X_2^2 + Y_2^2 + Z_2^2};$$

$$Y'' = \frac{Y_2 \cdot (X_2 \cdot X + Y_2 \cdot Y + Z_2 \cdot Z)}{X_2^2 + Y_2^2 + Z_2^2};$$

$$Z'' = \frac{Z_2 \cdot (X_2 \cdot X + Y_2 \cdot Y + Z_2 \cdot Z)}{X_2^2 + Y_2^2 + Z_2^2};$$

Chiều của góc xoay xác định bởi góc giữa hai vectơ $N''(N_x, N_y, N_z)$ và $D(X-X'', Y-Y'', Z-Z'')$:

$$\cos(\psi) = \frac{N_x \cdot Dx + N_y \cdot Dy + N_z \cdot Dz}{\sqrt{N_x^2 + N_y^2 + N_z^2} \cdot \sqrt{Dx^2 + Dy^2 + Dz^2}}$$

với $N''(N_x, N_y, N_z)$ – vectơ pháp tuyến của mặt phẳng tạo bởi hai vectơ $L_2(X_2, Y_2, Z_2)$ và $L(X, Y, Z)$:

$$N_x = Y_2 \cdot Z - Z_2 \cdot Y, \quad N_y = Z_2 \cdot X - X_2 \cdot Z$$

$$N_z = X_2 \cdot Y - Y_2 \cdot X$$

Gọi góc xoay thực là $\psi' = b + \psi$, ta có:

$$\begin{aligned} \cos b + \arccos \left(\frac{N_x(X-X'') + N_y(Y-Y'') + N_z(Z-Z'')}{\sqrt{N_x^2 + N_y^2 + N_z^2} \cdot \sqrt{(X-X'')^2 + (Y-Y'')^2 + (Z-Z'')^2}} \right) &= \\ &= \frac{N_x X' + N_y Y' + N_z Z'}{\sqrt{N_x^2 + N_y^2 + N_z^2} \cdot \sqrt{X'^2 + Y'^2 + Z'^2}} \end{aligned} \quad (4)$$

$$D = D' \Rightarrow \sqrt{(X-X'')^2 + (Y-Y'')^2 + (Z-Z'')^2} = \sqrt{X'^2 + Y'^2 + Z'^2} \quad (5)$$

Phương trình mặt phẳng xoay ống là phương trình mặt phẳng tạo bởi $N''(N_x, N_y, N_z)$ và $D(X-X'', Y-Y'', Z-Z'')$:

$$\begin{vmatrix} X' & Y' & Z' \\ N_x & N_y & N_z \\ X - X'' & Y - Y'' & Z - Z'' \end{vmatrix} = 0 \quad (6)$$

Giải hệ phương trình (4), (5), (6) đối với ẩn X', Y', Z' ta

Trong trường hợp tổng quát, độ lệch (B_i) của điểm đặc trưng bất kỳ $M(x, y, z)$ dưới ảnh hưởng của sai số xoay ống (b_i) sẽ được xác định theo biểu thức:

$$B_i \begin{pmatrix} xb_i \\ yb_i \\ zb_i \end{pmatrix} = D' \begin{pmatrix} X' \\ Y' \\ Z' \end{pmatrix} - \left(L \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} - D'' \begin{pmatrix} X'' \\ Y'' \\ Z'' \end{pmatrix} \right)$$

với, $D' \begin{pmatrix} X' \\ Y' \\ Z' \end{pmatrix}$ – nghiệm của hệ phương trình:

$$\left. \begin{aligned} \cos \left(b_i + \arccos \left(\frac{N'' \cdot (L - D'')}{|N''| \cdot |L - D''|} \right) \right) &= \frac{N'' \cdot D'}{|N''| \cdot |D'|}, \\ |L - D''| &= |D'| \\ D' \cdot N'' \cdot (L - D'') &= 0 \end{aligned} \right\}$$

trong đó:
$$L \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x - x_{i+1} \\ y - y_{i+1} \\ z - z_{i+1} \end{pmatrix},$$

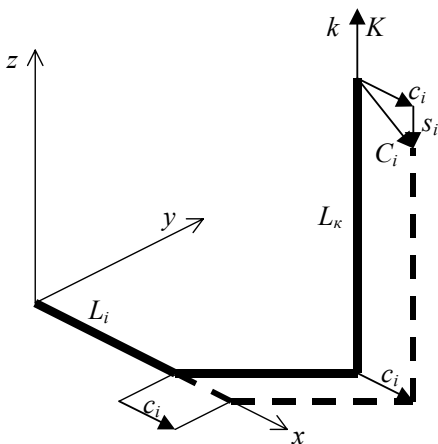
$$D'' \begin{pmatrix} X'' \\ Y'' \\ Z'' \end{pmatrix} = N'' \begin{pmatrix} Nx \\ Ny \\ Nz \end{pmatrix} \cdot \frac{L_{i+1} \cdot L}{|L_{i+1}|}; \quad N'' = L_{i+1} \times L$$

2.4. Ảnh hưởng của sai số cắt ống

Sai số cắt ống chỉ ảnh hưởng đến độ lệch của điểm cuối của ống. Độ lệch điểm cuối của ống dưới ảnh hưởng sai số cắt (k) có thể biểu diễn bằng một véc tơ có cùng độ dài và cùng hướng với véc tơ sai số. Véc tơ sai số xác định bởi giá trị sai số và hướng của phần tử ống cuối cùng n .

Ảnh hưởng của sai số cắt đến độ lệch kích thước tọa độ của ống sẽ tương tự như ảnh hưởng của sai số dịch chuyển. Kết quả tính toán, độ lệch (K) điểm cuối của ống dưới ảnh hưởng sai số cắt (k) được xác định bởi biểu thức:

$$K \begin{pmatrix} xk \\ yk \\ zk \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_k \\ Y_k \\ Z_k \end{pmatrix} \cdot \left(-1 + \frac{|L_k| + k}{|L_k|} \right)$$



Hình 7. Ảnh hưởng của sai số cắt lên độ lệch kích thước tọa độ của ống

3. Bàn luận

Để đánh giá mức độ ảnh hưởng của các sai số gia công lên độ lệch kích thước tọa độ của tuyến đường ống thiết kế, cần thiết phải tính toán chúng trong những trường hợp cụ thể, có xét đến dấu của các sai số.

Các công thức tổng quát được tìm ra ở trên cũng có thể được sử dụng để tìm ra những công thức cụ thể hơn đối với từng hình dạng, kích thước của từng phân đoạn ống cụ thể.

Trong 4 sai số gia công đường ống có 2 sai số gia công tính theo đơn vị độ dài là sai số cắt và sai số dịch chuyển dọc, 2 sai số gia công còn lại tính theo đơn vị góc là sai số bẻ ống và xoay ống. Tính toán ảnh hưởng của các sai số góc khó khăn và phức tạp hơn so với tính toán ảnh hưởng của các sai số dài.

Trong thực tế, phân đoạn ống trên tàu là những đoạn ống có hình dạng kích thước khác nhau, có tối đa 6 phần tử (5 điểm uốn), vì vậy những sai số gia công của những phần tử ống càng gần gốc tọa độ đang xét (i càng nhỏ) càng có khả năng ảnh hưởng lớn đến độ lệch chung của kích thước tọa độ đường ống.

4. Kết luận

Sau quá trình tính toán lý thuyết, tác giả đã tìm ra những mối liên hệ hình học giữa các sai số trong gia công với độ lệch kích thước tọa độ của những điểm đặc trưng của tuyến đường ống thiết kế, bước đầu có thể hỗ trợ được cho quá trình tính toán tính chính xác của những đường ống trong các hệ thống phức tạp trên tàu thủy.

Trong quá trình tính toán, tác giả đã sử dụng những hình vẽ cho những phân đoạn ống cụ thể, sau đó khái quát lên thành những công thức tổng quát. Những công thức này hoàn toàn có thể áp dụng cho mọi trường hợp khác.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] P.A. Dorosenko, A.G. Rokhlin, V.P. Bulatov, *Công nghệ sản xuất hệ thống năng lượng tàu thủy*, NXB Đóng tàu Leningrat – 1988.
- [2] I.N.Ovchinnikov, E.I. Ovchinnikov, *Các hệ thống và đường ống trên tàu thủy*, NXB Đóng tàu Leningrat – 1988.
- [3] V.D. Mathkevich, *Cơ sở công nghệ đóng tàu*, NXB Đóng tàu Leningrat – 1980.
- [4] K.N. Sakhno, “Thiết kế công nghệ gia công và lắp đặt đường ống trên tàu và những cơ sở kinh tế của chúng”, *Báo khoa học Vestnik ASTU* – 2011.

(BBT nhận bài: 07/12/2016, hoàn tất thủ tục phản biện: 28/12/2016)