

# Tính toán nút hàn liên kết giàn thép ống tròn

Design of weld joints in hollow section truss

Nguyễn Hồng Sơn<sup>(1)</sup>, Nguyễn Lệ Thủy<sup>(2)</sup>

## Tóm tắt

Bài báo này trình bày cách tính toán nút liên kết hàn trực tiếp các thanh thép ống trong giàn thép theo Tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 5575:2022. Đồng thời, thực hiện ví dụ tính toán nút liên kết trong giàn nhằm minh họa quy trình tính.

**Từ khóa:** Giàn thép ống, Nút liên kết

## Abstract

This paper presents the method of design's joints of steel pipe members in steel truss according to TCVN 5575:2022. At the same time, a numerical example a joint in a truss is performed to illustrate the design procedure.

**Key words:** Hollow section truss, Joint

## 1. Tổng quan

Giàn thép ống được sử dụng trong các công trình xây dựng, chẳng hạn như các giàn mái nhíp lớn, giàn đỡ đường ống trong các công trình dẫn nước vượt sông v.v... Đặc điểm chung của chúng là các thanh được liên kết với nhau tại nút thông qua bản mã hoặc hàn trực tiếp, trường hợp liên kết hàn trực tiếp thì đầu mút của thanh bụng được hàn với thành của thanh cánh, việc xác định chiều dài đường hàn cũng như chiều cao đường hàn là khó. Vì thế, việc tính toán khả năng chịu lực của liên kết khá phức tạp. Tiêu chuẩn thiết kế kết cấu thép của Việt Nam TCVN 5575:2022 có quy định việc tính toán thiết kế đối với kết cấu thép ống tròn, trong số đó có nút liên kết [1, 2, 3].

## 2. Cấu tạo và tính toán nút giàn thép ống tròn [1, 2, 3]

### 2.1. Cấu tạo

Kết cấu giàn làm bằng thép ống với các liên kết hàn trực tiếp đầu ống với thanh tại các nút (khi đó, không sử dụng bản mã như giàn có các thanh thép góc L), các đầu ống có đường cắt uốn cong và cắt mép ống.

Khi sử dụng giàn thép ống tròn trong môi trường xâm thực, các thanh chịu nén cũng như các thanh chịu kéo, khi đó các thanh chịu lực hơn cả (thanh chịu nén – khi độ mảnh không lớn hơn 60) cần được làm bằng thép có  $f_y \geq 440$  MPa.

Chiều dày thành ống dùng làm các thanh chịu lực chính (thanh cánh và thanh xiên gối tựa, các nhánh cột và tương tự) cần được lấy không nhỏ hơn 3 mm, và dùng làm các thanh khác – không nhỏ hơn 2,5 mm.

Độ mỏng thành tương đối  $\delta$  của thanh cánh và thanh tiếp giáp lấy tối đa, nhưng không lớn hơn các giá trị ghi trong Bảng 50 của TCVN 5575:2022. Chiều dày thành thanh tiếp giáp cần lấy không lớn hơn chiều dày thành thanh cánh.

Đường kính ống của các thanh bụng cần được lấy không nhỏ hơn 0,3 lần đường kính thanh cánh và không lớn hơn đường kính thanh cánh.

### 2.2. Tính toán

Khi tính toán liên kết hàn đối đầu các thanh ống bằng hàn không có ống lót, cần bổ sung thêm hệ số điều kiện làm việc  $\gamma_{wc} = 0,75$ , còn khi tính toán các liên kết chữ T có góc mở đường hàn lớn hơn  $30^\circ$  (được tính toán như liên kết hàn đối đầu) khi không hàn đắp gốc đường hàn thì lấy  $\gamma_{wc} = 0,85$ .

Tính toán các liên kết hàn đối đầu các thanh làm bằng thép ống chịu kéo đúng tâm và nén đúng tâm cần được tiến hành theo công thức:

$$\frac{N}{\pi D_m t f_w \gamma_{wc}} \leq 1 \quad (1)$$

trong đó:

$D_m$  là đường kính trung bình (bằng một nửa tổng đường kính ngoài và đường kính trong) của ống có chiều dày thành nhỏ hơn;

$t$  là chiều dày thành nhỏ nhất của các ống được nối;

$f_w$ ,  $\gamma_{wc}$  là cường độ tính toán theo giới hạn chảy và hệ số điều kiện làm việc của liên kết hàn đối đầu tương ứng.

Tính toán liên kết hàn chữ T trong các liên kết các thanh ống thép hàn với các thanh khác có mặt trụ hoặc mặt phẳng (các thanh cái) dưới tác dụng của lực dọc  $N$  cần được thực hiện theo các công thức:

$$N \leq 0,85(S_{wh} + S_{wt}) \quad (2)$$

$$N \leq 2S_{wh} \quad (3)$$

$$N \leq 2S_{wt} \quad (4)$$

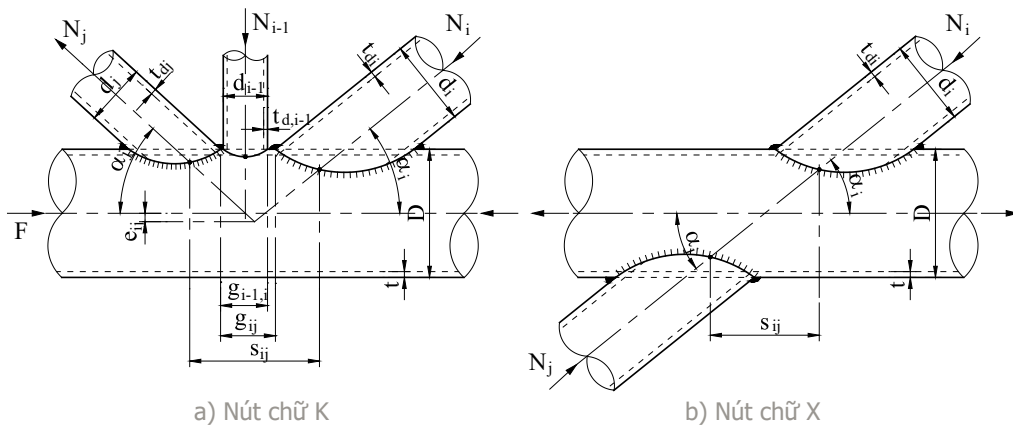
<sup>(1)</sup>PGS.TS, Giảng viên, khoa Xây dựng,  
Trường Đại học Kiến trúc Hà Nội,  
Email: <nguyenhongsondhkt@gmail.com>

<sup>(2)</sup>Ths, Giảng viên, khoa Xây dựng,  
Trường Đại học Kiến trúc Hà Nội,  
Email: <nlthuy.hau@gmail.com>

Ngày nhận bài: 30/7/2022

Ngày sửa bài: 05/8/2022

Ngày duyệt đăng: 22/5/2023



**Hình 1. Nút giàn thép ống**

trong đó:

$S_{wh}$  và  $S_{wt}$  lần lượt là khả năng chịu lực của các đoạn đường hàn góc và mũi (các đoạn đường hàn thuộc một nửa tiết diện thanh xiên tính từ phía góc nhọn và góc tù tương ứng của trục giao nhau của ống với bề mặt thanh cái), được xác định theo các công thức:

$$S_{wh} = (t_d L_{wah} f_w \gamma_{wc} + h_f L_{wh} f_{wd}) \gamma_c \quad (5)$$

$$S_{wt} = (t_d L_{wat} f_w \gamma_{wc} + h_f L_{wt} f_{wd}) \gamma_c \quad (6)$$

$f_w$  là cường độ chịu nén tính toán hoặc chịu kéo tính toán của liên kết hàn đối đầu theo giới hạn chảy;

$f_{wd}$  là giá trị nhỏ hơn trong hai giá trị:  $0,7f_{wf}$  hoặc  $f_{ws}$  với  $f_{wf}$  và  $f_{ws}$  là cường độ chịu cắt (hoặc cắt quy ước) của đường hàn góc theo kim loại đường hàn và theo kim loại biên nóng chảy tương ứng;

$t_d$  là chiều dày thành ống được liên kết;  $h_f$  là chiều cao đường hàn góc;

$L_{wah}$  và  $L_{wat}$  là các tổng chiều dài các đoạn đường hàn mà được coi như là đường hàn đối đầu ở các đoạn đường hàn góc và mũi tương ứng;

$L_{wh}$  và  $L_{wt}$  là các tổng chiều dài các đoạn đường hàn mà được coi như là đường hàn góc ở các đoạn đường hàn góc và mũi tương ứng;

$\gamma_{wc}$  là hệ số điều kiện làm việc của liên kết hàn chữ T.

Góc  $\theta$  được xác định theo công thức:

$$\theta = \arcsin(\beta_{in} \sin^2 \varphi_d + \cos \alpha \cdot \cos \varphi_d \sqrt{1 - \beta_{in}^2 \sin^2 \varphi_d}) \quad (7)$$

trong đó:

$\theta$  là góc tạo bởi mép cắt đầu thanh ống với tiếp tuyến mép ống tại điểm hàn;  $\alpha$  là góc tạo bởi trục thanh ống và thanh cánh (xem Hình 24 trong TCVN 5575:2022);

$\beta_{in} = d_{in}/D$  là tỉ số đường kính trong của ống được liên kết và đường kính thanh cái (khi liên kết vào bề mặt phẳng  $\beta_{in} = 0$ );

$\varphi_d$  là tọa độ góc của ống được liên kết đối với điểm hàn đang xét, tính từ đường sinh ở đoạn đường hàn mũi.

Tổng chiều dài đoạn đường hàn góc  $L_{wh}$  và tổng chiều dài đoạn đường hàn mũi  $L_{wt}$  được xác định theo đồ thị trên Hình 28 của TCVN 5575:2022, còn chiều dài tương đối của các đoạn đường hàn góc – theo các đồ thị trên Hình 29 của TCVN 5575:2022.

Chiều dài các đoạn đường hàn góc bằng:

$$L_{wah} = L_{wh} - L_{whf}; \quad L_{wat} = L_{wt} - L_{wft}$$

Đối với nút kết cấu rỗng (giàn phẳng hoặc không gian), gồm một thanh ống liên tục tại nút với độ mỏng thành tương đối ( $\delta = D/t$ ) không nhỏ hơn 20 và không lớn hơn 60, hoặc gồm  $n$  thanh tiếp giáp, thì tính toán chịu uốn cục bộ thành thanh cánh cần được tiến hành đối với liên kết của từng thanh thứ  $j$  ( $d_j \geq 0,2D$ ) dưới tác dụng của tất cả các tổ hợp tải trọng tính toán trong các thanh của nút theo các công thức:

$$\frac{\sum_{i=1}^n \left( \varepsilon_{ij} \mu_i N_i \frac{\sin \alpha_i}{\psi_i} \right)}{\gamma_{Dj} \gamma_{\eta} S} \leq 1; \quad j = 1, \dots, n; \quad (8)$$

$$\frac{|N_j| \sin \alpha_j}{\psi_j 2S} \leq 1 \quad (9)$$

trong đó:

$i$  là số thứ tự thanh tiếp giáp;

$j$  là số thứ tự thanh tiếp giáp đang xét;

$N_i, N_j$  là nội lực trong thanh tiếp giáp, lấy có kể đến dấu (dấu “dương” khi kéo, dấu “âm” khi nén);

$\mu_i$  là hệ số,

khi  $i = j$  được xác định theo công thức:

$$\mu_i = \frac{\gamma_{dij}}{\gamma_{zj}} + \frac{1,7M_j}{N_j L_{zj} \sin \alpha_j} \quad (10)$$

khi  $i \neq j$ :  $\mu_i = 1$

Trong công thức (10):

$\gamma_{dij}$  là hệ số ảnh hưởng của dấu nội lực trong thanh tiếp giáp đang xét, lấy bằng 0,8 khi kéo và bằng 1,0 trong các trường hợp còn lại;

$L_{zj}$  là chiều dài đoạn tiếp giáp của thanh đang xét (đối với thanh ống  $L_{zj} = d_j / \sin \alpha_j$ );

$\gamma_{zj}$  là hệ số ảnh hưởng của chiều dài tiếp giáp của thanh đang xét, được xác định như sau:

- Đối với các tiếp giáp không mặt trụ: theo công thức

$$\gamma_{zj} = 1 + \frac{L_{\eta j} - b_j}{2(2D - b_j)} \quad (11)$$

**Bảng 1. Hệ số  $\varepsilon_{ij}$**

| Vị trí trục thanh tiếp giáp so với trục thanh đang xét | Dạng nút | $S_{ij}$            | $\varepsilon_{ij}$                                                                                                    |
|--------------------------------------------------------|----------|---------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Cùng phía với cánh                                     | K        | —                   | $1 - \frac{1,3\zeta_{ij}(1+0,02\delta)}{(1+0,04\delta)}$                                                              |
| Phía đối diện với cánh                                 | X        | $0 \leq s_{ij} < D$ | $\cos^2\left(\frac{\pi s_{ij}}{2D}\right) \left[ \frac{3\psi_i(1+0,02\delta)}{1+5,4\beta_i+5,6\beta_i^8} - 1 \right]$ |
|                                                        |          | $s_{ij} \geq D$     | 0                                                                                                                     |

$g_{ij}$  là khoảng cách nhỏ nhất dọc theo trục cánh giữa các đường hàn liên kết thanh đang xét và thanh bụng liền kề với cánh (khoảng cách thông thủy):

$$g_{ij} = \left( \frac{D}{2} + e_{ij} \right) (ctg\alpha_i + ctg\alpha_j) - \frac{D}{2} \left( \frac{\beta_i}{\sin\alpha_i} + \frac{\beta_j}{\sin\alpha_j} \right);$$

$s_{ij}$  là khoảng cách dọc theo cánh giữa các điểm bên của thanh tiếp giáp đang xét và thanh tiếp giáp liền kề:

$$s_{ij} = \left( \frac{D}{2} \sqrt{1-\beta_{wi}^2} + e_{ij} \right) ctg\alpha_i + \left( \frac{D}{2} \sqrt{1-\beta_{wj}^2} + e_{ij} \right) ctg\alpha_j;$$

$\beta_i = b_i/D$  là tỉ số chiều rộng tiếp giáp của thanh liền kề và đường kính thanh cánh (đối với thanh ống  $\beta_i = b_i/D$ );

Giá trị  $\zeta_{ij}$  lấy bằng:

khi  $g_{ij} \leq 0$ :  $\zeta_{ij} = 0,6$ ;

khi  $0 < g_{ij} \leq D$ :  $\zeta_{ij} = 1 - 0,4(1 - g_{ij}/D)^4$ ;

khi  $g_{ij} > D$ :  $\zeta_{ij} = 1$ .

- Đối với các tiếp giáp mặt trụ (ống):  $\gamma_{zj} = 1$ ;

$b_i$  hoặc  $b_j$  là chiều rộng thanh tiếp giáp (đối với thanh ống  $b_i = d_i$  hoặc  $b_j = d_j$ );

$S$  là đặc trưng khả năng chịu lực của cánh, được xác định theo công thức:

$$S = 13(1+0,02\delta)t^2f_{yd}\gamma_c \quad (12)$$

trong đó:

$\delta = D/t$  là độ mỏng thành tương đối;

$\gamma_{Dj}$  là hệ số ảnh hưởng của lực dọc trong cánh:

- Khi nén trong cánh: được xác định theo công thức:

$$\gamma_{Dj} = 1 - 0,5 \left( \frac{F_j}{Af_{yd}} \right)^2 \quad (13)$$

- Trong các trường hợp còn lại:  $\gamma_{Dj} = 1$ ,

trong đó:

$F_j$  là lực dọc trong cánh ở phía thanh chịu kéo của hệ thanh bụng;

$\gamma_{rj}$  hệ số ảnh hưởng của sự tăng cứng thành thanh cánh trong nút bằng các sườn cứng ngang, vách cứng và tương tự, lấy bằng: 1,25 – khi sườn cứng ngang tăng cứng bố trí trong phạm vi đoạn tiếp giáp đang xét; 1,0 – trong các trường hợp còn lại;

$\varepsilon_{ij}$  là hệ số ảnh hưởng của vị trí mỗi thanh trong số các thanh tiếp giáp so với thanh đang xét thứ  $j$ , được xác định theo Bảng 1; khi  $i = j$  thì  $\varepsilon_{ij} = 1$ :

$$\psi_i = \arcsin\beta_{wi};$$

$$\text{Khi } \beta_i \leq 0,7: \quad \psi_i = 1,05\beta_i$$

$$\text{Khi } \beta_i > 0,7: \quad \psi_i = 1,05\beta_i(1+0,15\beta_i^8)$$

$$\beta_{wi} = b_{wi}/D;$$

$b_{wi}$  là chiều rộng phần ôm cánh bởi thanh tiếp giáp giữa các mép đường hàn (khi  $\beta_i \leq 0,7$  thì  $b_{wi} = \beta_i$ ; khi  $\beta_i > 0,7$  thì  $b_{wi} = b_i - t_{di}$ ).

Khả năng chịu lực của thành các thanh bụng ống tại vị trí gần chỗ tiếp giáp với thanh cánh cần được kiểm tra theo công thức:

$$\frac{N(1+\chi\delta)}{\gamma_c\gamma_d\gamma_{cd}f_{yd}A_d} \leq 1 \quad (14)$$

trong đó:

$\chi$  là hệ số, lấy bằng: 0,008 – đối với các thanh xiên tại nút chữ K mà khi tính toán liên kết của chúng giá trị  $\zeta_{ij}$  xác định được theo Bảng 1, nhỏ hơn 0,85; 0,015 – trong các trường hợp còn lại.

$\gamma_{cd}$  là hệ số điều kiện làm việc, lấy bằng: 0,85 – đối với các thanh giao nhau tại nút với hai thanh khác có dấu nội lực khác nhau; 1,0 – trong các trường hợp còn lại.

Độ bền đường hàn trong trường hợp cắt vát đầu ống được kiểm tra theo công thức:

$$\frac{1,05N}{A_d f_w} \leq 1 \quad (15)$$

trong đó:

$f_w$  là cường độ tính toán của liên kết hàn đối đầu theo giới hạn chảy,  $f_w = 0,85 f_{yd}$ .

Trong trường hợp, nếu thanh bụng đang xét giao nhau với  $m$  thanh liền kề khác trong vùng nút nằm trong cùng một

mặt phẳng tiếp giáp thì trong các công thức (8) và (9) thay  $N_j \sin \alpha_i = N_j \sin \alpha_j$  bằng giá trị lực quy đổi  $P_{efj}$ , xác định theo công thức:

$$P_{efj} = P_j + \sum_{k=1}^m \xi_{kj} P_{kj} \quad (16)$$

trong đó:

$P_{kj}$  là giá trị  $P_j$  đối với các thanh liền kề giao nhau với thanh đang xét thứ  $j$ ;

$\xi_{kj}$  là tỉ lệ chu vi tiết diện thanh liền kề, ứng với đoạn giao nhau của nó với thanh đang xét (đối với thanh ống  $\xi_{kj} = L_{kj}/(\pi d_k)$ ; ở đây  $L_{kj}$  là chiều dài đoạn chu vi tiết diện thanh liền kề, ứng với đoạn giao nhau của nó với thanh đang xét,  $d_k$  là đường kính ngoài của thanh ống).

Nếu đường hàn không ôm hết toàn bộ chu vi thanh liền kề thì  $\xi_{kj}$  lấy bằng:

$$\xi_{kj} = \frac{L_{kj}}{\sum_{w=1}^v i_{kw}} \quad (17)$$

trong đó:  $\sum_{w=1}^v L_{kw}$  là tổng các đoạn chu vi tiết diện thanh liền kề ứng với các đoạn đường hàn.

### 3. Ví dụ tính toán

#### 3.1. Số liệu ban đầu

Kiểm tra khả năng chịu lực của nút giàn thép ống theo điều kiện lõm vào ở vùng cánh. Thanh cánh có  $D = 168,3$  mm, tiếp giáp với thanh xiên chịu nén có  $d_1 = d_2 = 70$  mm, lực trong thanh xiên  $N_2 = -170$  kN, góc nối thanh xiên vào cánh  $\alpha = 45,0^\circ$ , lực trong thanh bụng  $N_1 = 80$  kN,  $2c = 0,036$  m, thép S355JOH có  $f_{yd} = 33,8$  kN/cm<sup>2</sup> (Hình 2).

#### 3.2. Tính toán

(1) Tính toán theo uốn cục bộ (kiểm tra khả năng chịu lực thành thanh cánh tại vị trí tiếp xúc với thanh bụng).

Xác định giá trị các tham số tham gia vào các công thức kiểm tra theo TCVN 5575:2022.

$$g_{21} = 36 \text{ mm};$$

$$\zeta_{21} = 1 - 0,4 \times (1 - 3,6/16,8)^4 = 0,85;$$

$$\beta_1 = \beta_2 = 7/16,8 = 0,42; \quad \delta = 16,8/0,5 = 33,6;$$

$$\varepsilon_{21} = 1 - 1,3 \times \frac{0,85 \times (1 + 0,02 \times 33,6)}{1 + 0,04 \times 33,6} = 0,21;$$

$$\varepsilon_{11} = 1; \quad \mu_1 = 1; \quad \mu_2 = 1;$$

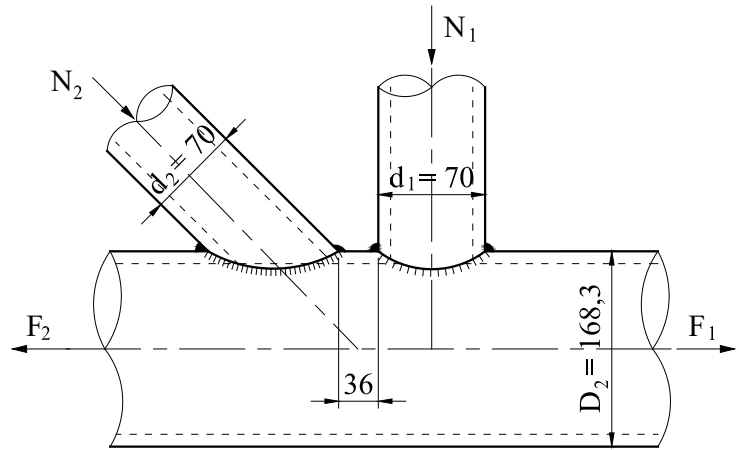
$$\psi_1 = \psi_2 = 1,05 \times 0,42 = 0,44;$$

$$\gamma_{D1} = 1; \quad \gamma_{ij} = 1;$$

$$S = 13 \times (1 + 0,02 \times 33,6) \times 0,5^2 \times 33,8 \times 1 = 183,7 \text{ kN};$$

Kiểm tra độ bền theo công thức:

$$\frac{\left| \sum_{i=1}^n \varepsilon_{ij} \mu_i N_i \frac{\sin \alpha_i}{\psi_i} \right|}{\gamma_{Dj} \gamma_{ij} S} = \frac{\left| 1 \times 1 \times (-80) \times \frac{1}{1} + 0,21 \times 1 \times 170 \times \frac{0,707}{1} \right|}{1 \times 1 \times 183,7} = 0,30 \leq 1$$



Hình 2. Tính toán nút giàn không bản mã từ ống tròn

Kiểm tra độ bền theo công thức:

$$\frac{|N_j| \sin \alpha_j}{\psi_j 2S} = \frac{|-80| \sin 90^\circ}{1 \times 2 \times 183,7} = 0,22 \leq 1$$

tức là độ bền thành thanh cánh tại vị trí nối thanh xiên được bảo đảm.

(2) Tính toán theo độ bền thanh bụng tại vị trí nối chúng vào thanh cánh giàn.

Xác định giá trị các tham số tham gia vào công thức kiểm tra:  $\chi = 0,015$ ;  $\gamma_d = 1$ ;  $\gamma_{cd} = 1$ ;  $A_d = 8,29$  cm<sup>2</sup>.

Kiểm tra độ bền theo công thức:

$$\frac{N(1 + \chi \delta)}{\gamma_c \gamma_d \gamma_{cd} f_{yd} A_d} = \frac{80 \times (1 + 0,015 \times 33,6)}{1 \times 1 \times 1 \times 33,8 \times 8,29} = 0,43 \leq 1$$

tức là độ bền thanh xiên gần chỗ nối vào thanh cánh được bảo đảm.

(3) Tính toán mối hàn theo công thức:

$$\frac{1,05N}{A_d f_w} = \frac{1,05 \times 80}{8,29 \times 0,85 \times 33,8} = 0,35 \leq 1$$

tức là độ bền mối hàn nút cố định vào thanh cánh được bảo đảm.

### 4. Kết luận

Việc tính toán nút hàn liên kết thép ống cần kiểm tra độ bền của liên kết hàn, cũng như điều kiện chịu lực của thành ống. Đồng thời, tiêu chuẩn thiết kế kết cấu thép TCVN 5575 :2022 có nhiều điểm mới, cần có những nghiên cứu tiếp theo, ví dụ giàn làm từ thanh thép ống hộp hoặc thép hình./.

#### Tài liệu tham khảo

1. Tiêu chuẩn Việt Nam (2022), TCVN 5575:2022 - Thiết kế kết cấu thép.
2. SP 16.13330.2017, Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81\*\* (с Поправкой, с Изменениями N 1, 2) (Kết cấu thép – Phiên bản cập nhật của SniP II-23-81 (với đính chính, sửa đổi 1, 2)).
3. SP 43.13330.2012, Сооружения промышленных предприятий. Актуализированная редакция СНиП 2.09.03-85 (с Изменениями N 1, 2) (Các công trình xí nghiệp công nghiệp – Phiên bản cập nhật của SniP 2.09.03-85 (với các sửa đổi 1, 2)).