

Tính toán nút liên kết hàn trực tiếp thanh thép ống theo tiêu chuẩn châu Âu EN 1993-1-8

Design of weld joints for hollow section steel to Eurocode EN 1993-1-8

Trịnh Xuân Vinh

Tóm tắt

Bài báo này trình bày cách tính toán nút liên kết thanh thép ống trong giàn theo tiêu chuẩn châu Âu EN 1993-1-8. Đồng thời, thực hiện một số ví dụ tính toán để minh họa cách tính toán này, qua đó vận dụng trong tính toán thực hành ở Việt Nam.

Từ khóa: Nút liên kết thép ống; liên kết hàn

Abstract

The paper presents a design of weld joints for hollow section steel in truss according to Eurocode EN 1993-1-8. At the same time, some examples illustrate this design, thereby applying it in practice in Vietnam.

Key words: Weld joint for hollow section steel; weld joints

1. Đặt vấn đề

Nút liên kết hàn trực tiếp được sử dụng để liên kết các thanh giàn cấu tạo từ thép ống hoặc thép hộp, loại nút liên kết này thay thế việc sử dụng bản mã trong các giàn có các thanh cấu tạo từ thép góc. “Tiêu chuẩn thiết kế - Kết cấu thép” TCVN 5575:2012 của Việt Nam có đề cập đến yêu cầu cấu tạo và tính toán loại nút liên kết thanh thép ống bằng hàn trực tiếp, nhưng nội dung đề cập còn sơ sài, gây khó khăn cho các nhà thiết kế, các kỹ sư Việt Nam vẫn phải sử dụng tiêu chuẩn nước ngoài, trong số đó có tiêu chuẩn của châu Âu (EN 1993-1-8), Mỹ (AISI), Úc hoặc Nga. Thấy rằng, bộ tiêu chuẩn thiết kế về kết cấu xây dựng của châu Âu gồm có 10 phần (từ Phần 0 đến Phần 9), được sử dụng ở các nước châu Âu, và một số nước ở châu Á như Singapore, Malaysia, HongKong. Tại Việt Nam, tiêu chuẩn châu Âu cũng khá quen thuộc đối với các kỹ sư, trong số đó đã có phần được chuyển dịch thành tiêu chuẩn Việt Nam (ví dụ, TCVN 9386:2012), việc tìm hiểu tiêu chuẩn châu Âu để vận dụng trong tính toán thiết kế kết cấu xây dựng nói chung và thiết kế nút liên kết cấu kiện rỗng bằng liên kết hàn trực tiếp nói riêng là cần thiết.

Nút liên kết thanh thép ống được đề cập trong mục 7 của EN 1993-1-8, theo đó mục 7.1 trình bày tổng quan về nút liên kết và phạm vi áp dụng các yêu cầu về cấu tạo và tính toán nút liên kết; mục 7.2 trình bày về điều kiện kiểm tra bền nút liên kết và các dạng phá hoại nút điển hình; mục 7.3 trình bày về liên kết hàn trực tiếp các thanh; mục 7.4 dành riêng để trình bày tính toán nút liên kết thanh thép ống (CHS). Theo đó, nội dung bài báo này chỉ đề cập đến vấn đề tính toán nút liên kết thanh thép ống, tương ứng với mục 7.4 của EN 1993-1-8.

2. Cấu tạo và tính toán

2.1. Nút liên kết hàn thanh thép ống

EN 1993-1-8 trình bày dưới dạng bảng các biểu thức khai triển và quy trình kiểm tra độ bền đối với mỗi cách bố trí thanh. Theo đó, độ bền tĩnh thiết kế của nút liên kết được biểu diễn dưới dạng độ bền chịu lực dọc trục hoặc độ bền chịu mô men uốn lớn nhất của thanh bụng. Các quy định áp dụng này có giá trị với cả tiết diện rỗng cán nóng theo tiêu chuẩn EN 10210 và cho tiết diện rỗng cán nguội theo EN 10219, nếu kích thước kết cấu của tiết diện rỗng đáp ứng các yêu cầu sau [3].

Đối với các thanh tiết diện rỗng cán nóng và cán nguội có $f_y < 460 \text{ N/mm}^2$. Đối với thanh có $f_y > 355 \text{ N/mm}^2$, độ bền tĩnh thiết kế cần phải chiết giảm bằng hệ số 0,9. Chiều dày danh nghĩa của thành tiết diện rỗng đối với thanh bụng không nên nhỏ hơn 2,5mm, chiều dày danh nghĩa của thành tiết diện rỗng đối với thanh cánh giàn không nên lớn hơn 25mm, trừ khi có các biện pháp đặc biệt để bảo đảm tính chất của vật liệu phù hợp với độ dày. Cấu kiện chịu nén cần thỏa mãn yêu cầu được dẫn ra trong EN 1993-1-1 cho các tiết diện ngang loại 1 hoặc 2 trong điều kiện uốn thuần túy.

Ngoài ra, cần thỏa mãn các điều kiện cấu tạo sau:

- Góc giữa các thanh bụng và thanh cánh, cũng như giữa các thanh bụng liền kề cần thỏa mãn điều kiện $\theta_i \geq 30^\circ$.
- Đầu các cấu kiện liên kết vào nút cần được gia công sao cho không làm thay đổi hình dạng tiết diện ngang của chúng.
- Khe hở giữa các thanh bụng để đặt mối hàn, cần không nhỏ hơn $(t_1 + t_2)$.
- Trong các nút có sự chồng lấn các thanh bụng, giá trị chồng lấn cần đủ để liên kết các thanh đảm bảo truyền lực cắt từ thanh bụng này đến thanh bụng khác. Trong trường hợp bất kỳ hệ số λ_{ov} đặc trưng giá trị chồng lấn cần lớn hơn 25%.
- Nếu các thanh bụng được liên kết chồng có chiều dày khác nhau hoặc được làm từ thép mác khác nhau thì cần cắt thanh với giá trị t_{f,y_i} nhỏ hơn.
- Nếu các thanh bụng được liên kết chồng có chiều rộng khác nhau thì cần cắt thanh hẹp hơn.

Phạm vi áp dụng đối với nút liên kết hàn các thanh bụng và thanh cánh làm từ ống tròn, cho trong Bảng 2.1.

Ths. Trịnh Xuân Vinh

Bộ môn Thí nghiệm công trình
Viện công nghệ, Kiến trúc, xây dựng và
đô thị

Email: vinh.trinhkt@gmail.com
Tel: 0904330488

Ngày nhận bài: 27/5/2019
Ngày sửa bài: 30/5/2019
Ngày duyệt đăng: 9/3/2022

2.2. Độ bền thiết kế của nút liên kết

Các giá trị nội lực thiết kế trong các thanh bụng và thanh cánh ở trạng thái giới hạn độ bền không được vượt quá giá trị độ bền thiết kế của cấu kiện được xác định dưới đây (tương ứng với mục 6.3 của EN 1993-1-1).

Các giá trị nội lực thiết kế trong các thanh bụng trong trạng thái giới hạn độ bền cũng không được quá giá trị độ bền thiết kế của nút được dẫn ra dưới đây [3].

Ứng suất $\sigma_{0,Ed}$ hoặc $\sigma_{p,Ed}$ xuất hiện trong các thanh cánh tại vị trí nút cần xác định theo các công thức:

$$\sigma_{0,Ed} = \frac{N_{0,Ed}}{A_0} + \frac{M_{0,Ed}}{W_{el,0}} \quad (1)$$

$$\sigma_{p,Ed} = \frac{N_{p,Ed}}{A_0} + \frac{M_{0,Ed}}{W_{el,0}} \quad (2)$$

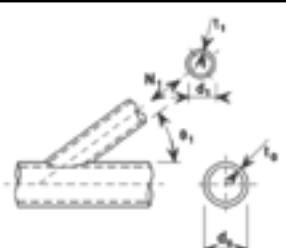
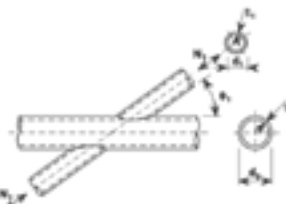
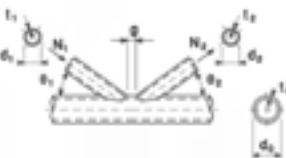
trong đó:

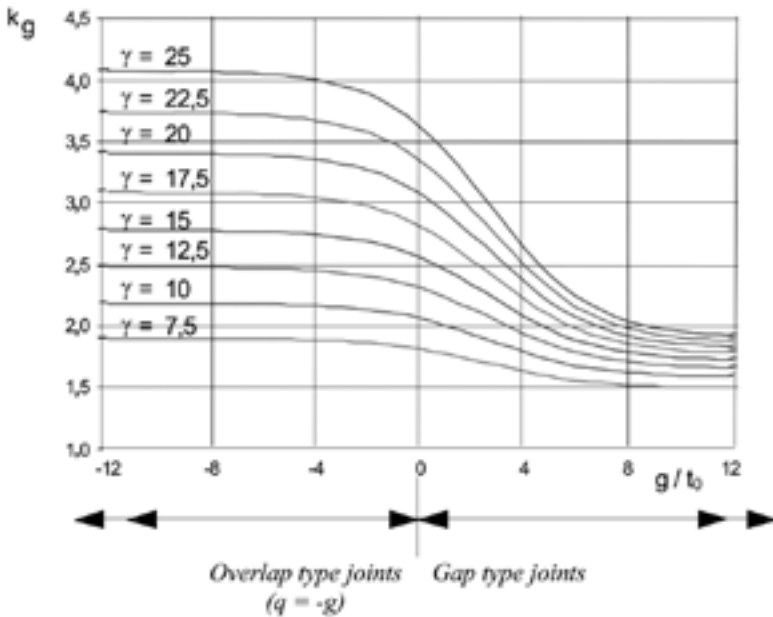
$$N_{p,Ed} = N_{0,Ed} - \sum_{i>0} N_{i,Ed} \cos \theta_i$$

Bảng 2.1. Phạm vi áp dụng đối với nút liên kết hàn với thanh bụng và thanh cánh làm từ ống tròn [3]

Tỷ lệ đường kính		$0,2 \leq d_i/d_0 \leq 1,0$
Thanh cánh	Chịu kéo	$10 \leq d_0/t_0 \leq 50$ (trong trường hợp tổng quát)
	Chịu nén	Tiết diện ngang loại 1 hoặc 2, và $10 \leq d_0/t_0 \leq 50$ (trong trường hợp tổng quát)
Thanh bụng	Chịu kéo	$d/t_i \leq 50$
	Chịu nén	Tiết diện ngang loại 1 hoặc 2
Khoảng chồng		$25\% \leq \lambda_{ov} \leq \lambda_{ov,lim}$ (xem mục 7.1.2(6) của EN 1993-1-8)
Khe hở		$g \geq t_1 + t_2$

Bảng 2.2. Giá trị độ bền thiết kế theo lực dọc của nút hàn nối các thanh bụng từ ống tròn với thanh cánh từ ống tròn [3]

Phá hoại bề mặt thanh cánh - nút dạng chữ T và Y	
	$N_{1,Rd} = \frac{\gamma^{0,2} k_p f_{y0} t_0^2}{\sin \theta_1} (2,8 + 14,2\beta^2) / \gamma_{M5}$ <p>trong đó:</p> $\gamma = \frac{d_0}{2t_0}; \quad \beta = \frac{d_1}{d_0}$
Phá hoại bề mặt thanh cánh - nút dạng chữ X	
	$N_{1,Rd} = \frac{k_p f_{y0} t_0^2}{\sin \theta_1} \frac{5,2}{(1 - 0,81\beta)} / \gamma_{M5}$
Phá hoại bề mặt thanh cánh - nút dạng chữ K và N với phần chồng hoặc khe hở	
	$N_{1,Rd} = \frac{k_g k_p f_{y0} t_0^2}{\sin \theta_1} \left(1,8 + 10,2 \frac{d_1}{d_0} \right) \frac{1}{\gamma_{M5}}$ $N_{2,Rd} = \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} N_{1,Rd}$
Phá hoại chọc thủng đối với nút dạng chữ K, N và KT với khe hở và nút dạng chữ T, Y và X [i = 1, 2 hoặc 3]	<p>Khi $d_i \leq d_0 - 2t_0$:</p> $N_{i,Rd} = \frac{f_{y0}}{\sqrt{3}} t_0 \pi d_i \frac{1 + \sin \theta_i}{2 \sin^2 \theta_i} / \gamma_{M5}$
Các hệ số k_g và k_p	
$k_g = \gamma^{0,2} \left(1 + \frac{0,024 \gamma^{1,2}}{1 + \exp(0,5g/t_0 - 1,33)} \right)$ <p>(xem Hình 2.2)</p>	<p>Đối với $n_p > 0$ (nén),</p> $k_p = 1 - 0,3n_p(1 + n_p), \text{ nhưng } k_p \leq 1,0$ <p>Đối với $n_p \leq 0$ (kéo), $k_p = 1,0$</p>



Hình 2.1. Các giá trị của hệ số k_g được sử dụng trong công thức

$N_{0,Ed}$ – giá trị thiết kế của nội lực dọc trục trong thanh cánh;

$N_{i,Ed}$ – giá trị thiết kế của nội lực dọc trục trong thanh bụng thứ i ($i = 1, 2, 3$);

$M_{0,Ed}$ – giá trị thiết kế của mô men nội lực trong thanh cánh;

A_0 - diện tích tiết diện ngang của thanh cánh;

$W_{el,0}$ – mô men chống uốn của tiết diện ngang thanh cánh;

θ - góc nghiêng của thanh bụng thứ i ($i = 1, 2, 3$);

Giá trị độ bền thiết kế của nút hàn nối các thanh bụng và thanh cánh làm từ ống tròn với điều kiện các tham số hình học của nút phù hợp với phạm vi áp dụng được chỉ ra ở Bảng 2.1. Theo đó, chỉ cần tính toán về sự phá hoại bề mặt và chọc thủng thanh cánh, giá trị độ bền thiết kế của nút cần lấy theo giá trị nhỏ hơn từ các giá trị của hai tiêu chí này.

a) Đối với nút phẳng

Trường hợp 1: Nút liên kết các thanh bụng chỉ chịu tác động của lực dọc, giá trị của lực dọc thiết kế trong thanh $N_{1,Ed}$ không được vượt quá độ bền tính toán của nút liên kết hàn $N_{1,Rd}$. Giá trị của $N_{1,Rd}$ được xác định theo các Bảng 2.2 hoặc Bảng 2.4.

Trường hợp 2: Nút liên kết các thanh bụng chịu tác động đồng thời của lực dọc và mô men uốn, cần thỏa mãn điều kiện:

$$\frac{N_{i,Ed}}{N_{i,Rd}} + \frac{\left[\frac{M_{ip,i,Ed}}{M_{ip,i,Rd}} \right]^2}{\frac{M_{op,i,Ed}}{M_{op,i,Rd}}} \leq 1 \quad (3)$$

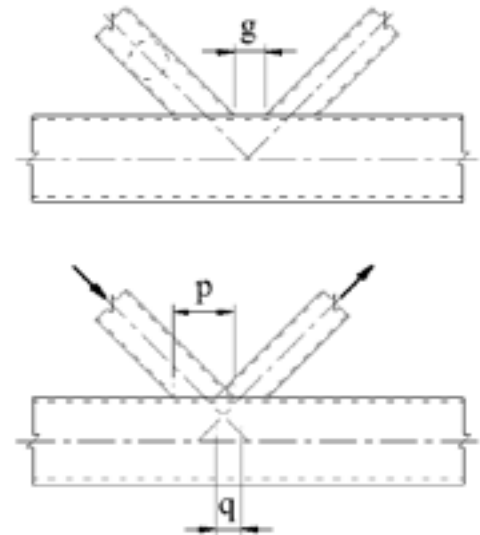
trong đó:

$M_{ip,i,Rd}$ - độ bền thiết kế khi chịu tác động mô men uốn trong mặt phẳng nút;

$M_{ip,i,Ed}$ - giá trị thiết kế của mô men uốn trong mặt phẳng nút;

$M_{op,i,Rd}$ - độ bền thiết kế khi chịu tác động mô men uốn ngoài mặt phẳng nút;

$M_{op,i,Ed}$ - giá trị thiết kế của mô men uốn ngoài mặt phẳng nút.



Hình 2.2. Ký hiệu khoảng hở và chồng lấn của nút liên kết

Có thể lấy giá trị mô men tại điểm giao của trục thanh bụng với mặt trên của thanh cánh làm giá trị thiết kế của mô men nội lực $M_{i,Ed}$.

Các giá trị của $M_{ip,i,Rd}$ và $M_{op,i,Rd}$ được xác định tương ứng theo các Bảng 2.3.

Giá trị của hệ số k_g được sử dụng trong công thức cho nút dạng chữ K, N và KT được dẫn ra ở Hình 2.1. Hệ số k_g được lấy cho nút có khoảng hở cũng như nút có sự chồng lấn tương ứng với g , đồng thời cho khoảng hở và chồng lấn, và sử dụng giá trị âm của đại lượng g để thể hiện sự chồng lấn q đã được chỉ ra ở Hình 2.2.

b) Đối với nút không gian

Trong từng mặt phẳng của nút không gian cần tuân thủ các tiêu chí thiết kế như đối với nút phẳng, với giá trị của hệ số chiết giảm độ bền thiết kế μ được xác định theo Bảng 2.5. Theo đó, giá trị độ bền thiết kế đối với của từng mặt phẳng của nút không gian cần lấy bằng độ bền tương ứng của nút phẳng nhân với hệ số giảm yếu μ , bằng cách sử dụng lực tương ứng trong thanh cánh để xác định hệ số k_p .

3. Ví dụ tính toán

Dưới đây trình bày hai ví dụ tính toán, minh họa phương pháp tính nút liên kết hàn trực tiếp thanh thép ống, các số liệu trong ví dụ được trích dẫn từ tài liệu [2].

3.1. Liên kết nút chữ T, thanh tiết diện ống chữ nhật chịu mô men trong mặt phẳng (Hình 3.1) [2]

Các kích thước thanh cánh và thanh bụng:

- Thanh cánh: $b_0 = 150\text{mm}$, $h_0 = 150\text{mm}$, $t_0 = 10,0\text{mm}$

- Thanh bụng đứng: $b_1 = 150\text{mm}$, $h_1 = 150\text{mm}$, $t_1 = 8,0\text{mm}$

Kiểm tra phạm vi áp dụng công thức:

- Thanh cánh:

$(b_0 - 3t_0)/t_0$; $(h_0 - 3t_0)/t_0 \leq 38\epsilon$ (cho tiết diện ngang loại 1 hoặc 2 chịu nén)

$$38\epsilon = 38\sqrt{235 / f_{y0}} = 38\sqrt{235 / 355} = 30,92$$

$(b_0 - 3t_0)/t_0 = (150 - 3 \times 10)/10 = 12 < 38\epsilon$ - Đạt

$(h_0 - 3t_0)/t_0 = (150 - 3 \times 10)/10 = 12 < 38\epsilon$ - Đạt

Bảng 2.3. Giá trị độ bền thiết kế theo mô men của nút hàn nối thanh bụng và thanh cánh làm từ ống tròn[3]

Phá hoại bề mặt thanh cánh - nút dạng chữ T, X và Y	
	$M_{ip,1,Rd} = 4,85 \frac{f_{y0} t_0^2 d_1}{\sin \theta_1} \sqrt{\gamma \beta} k_p / \gamma_{M5}$
Phá hoại bề mặt thanh cánh - nút dạng chữ K, N, T, X và Y	
	$M_{op,1,Rd} = \frac{f_{y0} t_0^2 d_1}{\sin \theta_1} \frac{2,7}{1 - 0,81\beta} k_p / \gamma_{M5}$
Nhỏ khối bề mặt thanh cánh - nút dạng chữ K và N với khe hở và chữ T, Y và X với tất cả các dạng	
Khi $d_1 \leq d_0 - 2t_0$:	
$M_{ip,1,Rd} = \frac{f_{y0} t_0 d_1^2}{\sqrt{3}} \frac{1 + 3 \sin \theta_1}{4 \sin^2 \theta_1} / \gamma_{M5}$	$M_{op,1,Rd} = \frac{f_{y0} t_0 d_1^2}{\sqrt{3}} \frac{3 + \sin \theta_1}{4 \sin^2 \theta_1} / \gamma_{M5}$
Hệ số k_p	
Khi $n_p > 0$ (nén): $k_p = 1 - 0,3n_p(1 + n_p)$, nhưng $k_p \leq 1,0$	Khi $n_p \leq 0$ (kéo): $k_p = 1,0$

Bảng 2.4. Các tiêu chí thiết kế đối với dạng đặc biệt của nút hàn nối thanh bụng và thanh cánh làm từ ống tròn[3]

Dạng nút	Tiêu chí thiết kế
Thanh có thể bị kéo hoặc bị nén nhưng lực tác động cần phải ở cùng một hướng đối với cả hai thanh 	$N_{1,Ed} \leq N_{1,Rd}$ trong đó: giá trị $N_{1,Rd}$ được lấy bằng $N_{1,Rd}$ đối với nút dạng chữ X theo Bảng 2.2
Thanh 1 và thanh 3 luôn bị nén, còn thanh 2 luôn bị kéo 	$N_{1,Ed} \sin \theta_1 + N_{2,Ed} \sin \theta_3 \leq N_{1,Rd} \sin \theta_1$ $N_{2,Ed} \sin \theta_2 \leq N_{1,Rd} \sin \theta_1$ trong đó: giá trị $N_{1,Rd}$ được lấy bằng $N_{1,Rd}$ cho nút dạng chữ K theo Bảng 2.2, bằng cách thay thế tỷ số d_1/d_0 bằng tỷ số: $\frac{d_1 + d_2 + d_3}{3d_0}$
Tất cả các thanh bụng cần phải luôn nén hoặc kéo 	$N_{1,Ed} \sin \theta_1 + N_{3,Ed} \sin \theta_2 \leq N_{x,Rd} \sin \theta_x$ trong đó: giá trị $N_{x,Rd}$ được lấy bằng $N_{x,Rd}$ cho nút dạng chữ X theo Bảng 2.2, trong đó $N_{x,Rd} \sin \theta_x$ bằng giá trị lớn nhất từ hai giá trị: $ N_{1,Rd} \sin \theta_1 $ và $ N_{2,Rd} \sin \theta_2 $
Thanh 1 luôn bị nén, còn thanh 2 luôn bị kéo 	$N_{1,Ed} \leq N_{1,Rd}$ trong đó: giá trị $N_{1,Rd}$ được lấy bằng $N_{1,Rd}$ cho nút dạng chữ K theo Bảng 2.2 trong điều kiện ở nút với khe hở tiết diện 1-1 của thanh cánh thỏa mãn điều kiện: $\left[\frac{N_{0,Ed}}{N_{pl,0,Rd}} \right]^2 + \left[\frac{V_{0,Ed}}{V_{pl,0,Rd}} \right]^2 \leq 1,0$

Bảng 2.5. Hệ số chiết giảm cho nút không gian[3]

Dạng nút	Hệ số chiết giảm μ
Nút dạng TT, $60^\circ \leq \varphi \leq 90^\circ$	
Thanh 1 có thể bị kéo hoặc nén	$\mu = 1,0$
Nút dạng XX	
Các thanh 1 và 2 có thể bị kéo hoặc bị nén. Giá trị $N_{2,Ed}/N_{1,Ed}$ là âm nếu một thanh bị kéo còn thanh kia bị nén	$\mu = 1 + 0,33N_{2,Ed}/N_{1,Ed}$ kê đến dấu của $N_{1,Ed}$ và $N_{2,Ed}$ trong đó: $ N_{2,Ed} \leq N_{1,Ed} $
Nút dạng chữ KK, $60^\circ \leq \varphi \leq 90^\circ$	
Thanh 1 luôn bị nén còn thanh 2 luôn bị kéo	$\mu = 0,9$ trong điều kiện, tại nút với khe hở, tiết diện 1-1 của thanh cánh thỏa mãn điều kiện: $\left[\frac{N_{0,Ed}}{N_{pl,0,Rd}} \right]^2 + \left[\frac{V_{0,Ed}}{V_{pl,0,Rd}} \right]^2 \leq 1,0$

$b_0/t_0 \leq 35$ $b_0/t_0 = 150/10 = 15 < 35$ - Đạt
 $h_0/t_0 = 150/10 = 15 < 35$ - Đạt
 - Thanh bụng đứng chịu nén:
 $b_1/t_1; h_1/t_1 < 35$ $b_1/t_1 = 150/8 = 18,75 < 35$ - Đạt
 $h_1/t_1 = 150/8 = 18,75 < 35$ - Đạt
 - Thanh bụng đứng chịu nén:
 $(b_1 - 3t_1)/t_1; (h_1 - 3t_1)/t_1 \leq 38\epsilon$ (cho tiết diện ngang loại 1 hoặc 2 chịu nén)
 $38\epsilon = 38\sqrt{235/f_{y0}} = 38\sqrt{235/355} = 30,92$
 $(b_1 - 3t_1)/t_1 = (150 - 3 \times 8)/8 = 15,75 < 30,92$ - Đạt
 $(h_1 - 3t_1)/t_1 = (150 - 3 \times 8)/8 = 15,75 < 30,92$ - Đạt
 $0,25 \leq b_1/b_0 \leq 1,0$ $b_1/b_0 = 150/150 = 1,0$ - Đạt
 $0,5 \leq h_0/b_0 \leq 2,0$ $h_0/b_0 = 150/150 = 1,0$ - Đạt
 $0,5 \leq h_1/b_1 \leq 2,0$ $h_1/b_1 = 150/150 = 1,0$ - Đạt
 $30^\circ \leq \theta_1 \leq 90^\circ$ $\theta_1 = 90^\circ$ - Đạt
 Lực dọc: Phá hoại bề mặt thanh cánh (biến dạng)
 (áp dụng khi $\beta \leq 0,85$)

$$\beta = \frac{b_1}{b_0} = \frac{150}{150} = 1,0$$

Không yêu cầu phải kiểm tra

Mặc dù việc kiểm tra này không bắt buộc trong trường hợp cụ thể, tính toán hệ số ứng suất ở cuối thanh cánh được chỉ ra ở dưới đây bao gồm cả mô men.

 Hệ số ứng suất ở đầu thanh cánh tiết diện ống chữ nhật k_n :

 Ứng suất nén trong thanh cánh $\sigma_{0,Ed}$:

$$\sigma_{0,Ed} = \frac{N_{0,Ed}}{A_0} + \frac{|M_{ip,0,Ed}|}{W_{el,ip,0}} + \frac{|M_{op,0,Ed}|}{W_{el,op,0}}$$

Lưu ý: mô men bổ sung cho ứng suất nén có giá trị dương. Đối với thanh cánh tiết diện ống chữ nhật phát huy hết các ứng suất nén.

$$A_0 = 54,9 \text{ cm}^2 = 5490 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_{0,Ed} = \frac{136 \times 1000}{54,9 \times 10^2} + \frac{35,8 \times 1000 \times 1000}{236 \times 10^3} = 176,47 \text{ N/mm}^2$$

Tỷ số hệ số ứng suất trong thanh cánh n:

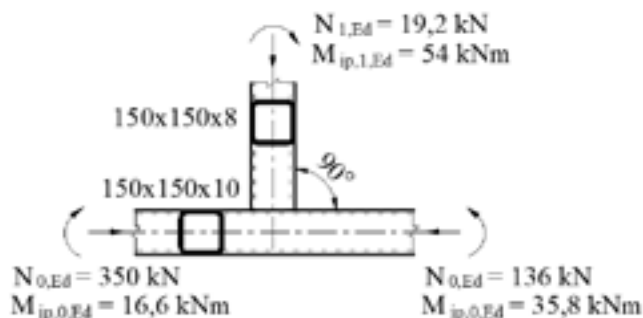
$$n = \left(\frac{\sigma_{0,Ed}}{f_{y0}} \right) = \left(\frac{176,47}{355} \right) = 0,497$$

 Cách 1: Sử dụng công thức, với $n > 0$ (nén):

$$k_n = 1,3 - \frac{0,4n}{\beta} = 1,3 - \frac{0,4 \times 0,497}{1,0} = 1,101 > 1,0$$

 nhưng do $k_n \leq 1,0$, lấy $k_n = 1,0$.

 Cách 2: Sử dụng biểu đồ, từ biểu đồ cho giá trị $\beta = 1,0$ suy ra $k_n = 1,0$.

 (Tuy nhiên, không bắt buộc trong trường hợp này vì biến dạng của thanh cánh không đạt tới hạn do $\beta > 0,85$.)
 
Hình 3.1. Liên kết nút chữ T

Lực dọc: Cắt thanh cánh

(Phạm vi cho nút chữ X với $\cos\theta_1 > h_1/h_0$). Như ở đây, nút chữ T với $\theta_1 = 90^\circ$ việc kiểm tra này không yêu cầu.

Lực dọc: Thành bên của thanh cánh bị mất ổn định (áp dụng khi $\beta = 1,0$) $\beta = 1,0$ - Yêu cầu kiểm tra

$$N_{1,Rd} = \frac{k_n f_b t_0}{\sin\theta_1} \left(\frac{2h_1}{\sin\theta_1} + 10t_0 \right) / \gamma_{M5}$$

Cường độ mất ổn định thành bên của thanh cánh f_b :

Đối với thanh bụng chịu nén, nút chữ T:

$$\bar{\lambda} = 3,46 \frac{\left(\frac{h_0}{t_0} - 2 \right) \sqrt{\frac{1}{\sin\theta_1}}}{\pi \sqrt{\frac{E}{f_{y0}}}}$$

$$= 3,46 \frac{\left(\frac{150}{10} - 2 \right) \sqrt{\frac{1}{\sin 90^\circ}}}{\pi \sqrt{\frac{210000}{355}}} = 0,589$$

trong đó $E = 210000 \text{ N/mm}^2$

Cách 1: Sử dụng công thức theo EN 1993-1-1, Bảng 6.1, $\alpha = 0,21$ (đường cong a):

$$\phi = 0,5 \left(1 + \alpha (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right)$$

$$= 0,5 \left(1 + 0,21 (0,589 - 0,2) + 0,589^2 \right) = 0,714$$

Từ EN 1993-1-1, mục 6.3.1.2, hệ số chiết giảm khi mất ổn định uốn, χ

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,714 + \sqrt{0,714^2 - 0,589^2}}$$

$$= 0,895 \leq 1,0$$

Cách 2: Sử dụng đồ thị, từ đồ thị cho:

$$\bar{\lambda} = 0,589; \chi = 0,895.$$

$f_b = \chi f_{y0} = 0,895 \times 355 = 318 \text{ N/mm}^2$ (cho nút chữ Y và T với thanh bụng chịu nén).

$$N_{1,Rd} = \frac{1,0 \times 318 \times 10}{\sin 90^\circ} \left(\frac{2 \times 150}{\sin 90^\circ} + 10 \times 10 \right) / 1,0$$

Lực dọc: Thanh cánh chọc thủng

(áp dụng khi $0,85 \leq \beta \leq 1 - 1/\gamma$)

$$\gamma = \frac{2b_0}{2t_0} = \frac{150}{2 \times 10} = 7,5$$

- Không yêu cầu kiểm tra

Lực dọc: Thanh cánh bị phá hoại (bề rộng hữu hiệu)

(áp dụng khi $\beta \geq 0,85$), $\beta = 1,0$ - Yêu cầu kiểm tra

$$N_{1,Rd} = f_{y1} t_1 (2h_1 - 4t_1 + 2b_{eff,i}) / \gamma_{M5}$$

trong đó:

$$b_{eff} = \frac{10t_0}{b_0} \frac{f_{y0} t_0}{f_{y1} t_1} b_i$$

nhưng $b_{eff,i} \leq b_i$

$$b_{eff} = \frac{10 \times 10}{150} \times \frac{355 \times 10}{355 \times 8} \times 150 = 125 \text{ mm}$$

nhưng $b_{eff,i} \leq 150 \text{ mm}$

$$b_{eff} = 125 \text{ mm}$$

$$N_{1,Rd} = 355 \times 8 \times (2 \times 150 - 4 \times 8 + 2 \times 125) / 1,0$$

$$= 1471 \text{ kN} > 19,2 \text{ kN}$$

- Đạt

Mô men trong mặt phẳng: Phá hoại bề mặt thanh cánh (biến dạng)

(áp dụng khi $\beta \leq 0,85$)

$$\beta = \frac{b_1}{b_0} = \frac{150}{150} = 1,0$$

- Không yêu cầu kiểm tra

Mô men trong mặt phẳng: Thanh cánh bị ép dẹt thành bên

(áp dụng khi $0,85 < \beta \leq 1,0$) - Không yêu cầu kiểm tra

$$M_{ip,1,Rd} = 0,5 f_{yk} t_0 (2h_1 + 5t_0) / \gamma_{M5}$$

trong đó:

$$f_{yk} = f_{y0} \quad (\text{cho nút chữ T}) \quad - f_{yk} = 355 \text{ N/mm}^2$$

$$M_{ip,1,Rd} = 0,5 \times 355 \times 10 (150 + 5 \times 10) / 1,0$$

$$= 71 \text{ kNm} > 54 \text{ kNm}$$

- Đạt

Mô men trong mặt phẳng: Thanh cánh bị phá hoại (bề rộng hữu hiệu)

(áp dụng khi $0,85 < \beta \leq 1,0$)

$$\beta = \frac{b_1}{b_0} = \frac{150}{150} = 1,0$$

- Yêu cầu kiểm tra

$$M_{ip,1,Rd} = f_{y1} \left[W_{pl,ip,1} - \left(1 - \frac{b_{eff,1}}{b_1} \right) b_1 (h_1 - t_1) t_1 \right] / \gamma_{M5}$$

$$= 355 \times \left[237000 - \left(1 - \frac{125}{150} \right) \times 150 \times (150 - 8) \times 8 \right] / 1,0$$

$$= 74,1 \text{ kNm} > 54 \text{ kNm}$$

- Đạt

trong đó: $W_{pl,ip,1} = 237 \text{ cm}^3 = 237000 \text{ mm}^3$

$$b_{eff,1} = 125 \text{ mm}$$

Kết luận:

Độ bền của nút liên kết chịu lực trục, đối với thanh bụng 1 giới hạn bởi mất ổn định thành bên của thanh cánh và độ bền chịu mô men trong mặt phẳng bởi độ bền ép dẹt thành bên của thanh cánh.

Độ bền của nút liên kết chịu lực trục,

$$N_{1,Rd} = 1272 \text{ kN} > 19,2 \text{ kN}$$

- Đạt

Độ bền của nút liên kết chịu mô men trong mặt phẳng,

$$M_{ip,1,Rd} = 71 \text{ kNm} > 54 \text{ kNm}$$

- Đạt

Kiểm tra tương tác:

Khi có nhiều thành phần lực tồn tại, ví dụ: lực dọc trục và mô men trong mặt phẳng (xem như không có mô men ngoài mặt phẳng), yêu cầu phải kiểm tra đối với thanh cánh tiết diện hộp chữ nhật theo công thức tương tác:

$$\frac{|N_{i,Ed}|}{N_{i,Rd}} + \frac{|M_{ip,i,Ed}|}{M_{ip,i,Rd}} + \frac{|M_{op,i,Ed}|}{M_{op,i,Rd}}$$

$$= \frac{19,2}{1272} + \frac{54}{71} + \frac{0}{M_{op,i,Rd}} = 0,776 \leq 1,0$$

- Đạt

3.2. Liên kết nút chữ K, có khoảng hở, thanh tiết diện ống tròn chịu lực trục (Hình 3.2) [2]

Các kích thước thanh cánh và thanh bụng:

- Thanh cánh: $d_0 = 219,1 \text{ mm}$, $t_0 = 12,5 \text{ mm}$.

- Thanh bụng 1: $d_1 = 139,7 \text{ mm}$, $t_1 = 5,0 \text{ mm}$.

- Thanh bụng 2: $d_2 = 114,3\text{mm}$, $t_2 = 3,6\text{mm}$.

Kiểm tra phạm vi áp dụng:

- Thanh cánh:

$$10 \leq d_0/t_0 \leq 50 \quad d_0/t_0 = 219,1/12,5 = 17,53 \quad \text{- Đạt}$$

$d_0/t_0 \leq 70\varepsilon^2$ (tiết diện ngang loại 1 hoặc 2 chịu nén):

$$70\varepsilon^2 = 70 \left(\sqrt{235 / f_{y0}} \right)^2 = 70 \left(\sqrt{235 / 355} \right)^2 = 46,34$$

- Đạt

- Thanh bụng 1 và 2:

$d_1/t_1 \leq 70\varepsilon^2$ (tiết diện ngang loại 1 hoặc 2 chịu nén):

$$d_1/t_1 = 139,7/5,0 = 27,94$$

$$70\varepsilon^2 = 70 \left(\sqrt{235 / f_{y0}} \right)^2 = 70 \left(\sqrt{235 / 355} \right)^2 = 46,34$$

- Đạt

$$d_1/t_1 \leq 50 \quad d_1/t_1 = 139,7/5,0 = 27,94$$

- Đạt

$$d_2/t_2 = 114,3/3,6 = 31,75$$

- Đạt

$$0,2 \leq d_i/t_0 \leq 1,0 \quad d_1/d_0 = 139,7/219,1 = 0,64$$

- Đạt

$$d_2/d_0 = 114,3/219,1 = 0,52$$

- Đạt

$$-0,55d_0 \leq e \leq +0,25d_0$$

$$-0,55 \times 219,1 \leq e \leq +0,25 \times 219,1$$

$$-120,5 \leq e \leq +54,8$$

$$e = 0 \text{ mm}$$

- Đạt

$$g \leq t_1 + t_2 \quad t_1 + t_2 = 5 + 3,6 = 8,6 < g = 40\text{mm}$$

- Đạt

$$30^\circ \leq \theta_i \leq 90^\circ \quad \theta_1 = 45^\circ$$

- Đạt

$$\theta^2 = 45^\circ$$

- Đạt

Phá hoại bề mặt thanh cánh (biến dạng):

Thanh bụng chịu nén (1):

Phá hoại bề mặt thanh cánh,

$$N_{1,Rd} = \frac{k_g k_p f_{y0} t_0^2}{\sin \theta_1} \left(1,8 + 10,2 \frac{d_1}{d_0} \right) / \gamma_{M5}$$

Hàm số khoảng hở/chồng lấn, k_g

$$\gamma = \frac{d_0}{2t_0} = \frac{219,1}{2 \times 12,5} = 8,764$$

Cách 1: Sử dụng công thức.

$$k_g = \gamma^{0,2} \left[1 + \frac{0,024 \gamma^{1,2}}{1 + \exp(0,5g/t_0 - 1,33)} \right]$$

Lưu ý: g là dương đối với khoảng hở, là âm đối với chồng lấn.

$$k_g = 8,764^{0,2} \left[1 + \frac{0,024 \times 8,764^{1,2}}{1 + \exp(0,5 \times 40 / 12,5 - 1,33)} \right] = 1,761$$

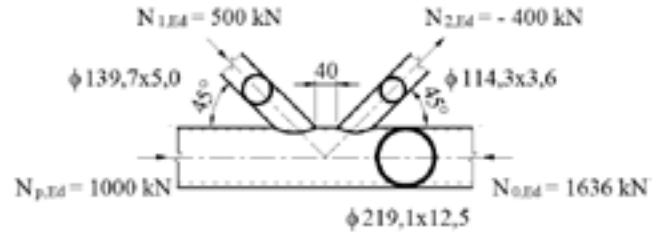
Cách 2: Sử dụng đồ thị, từ đồ thị cho: $g/t_0 = 40/12,5 = 3,2$ do đó $k_g = 1,761$.

Hệ số ứng suất ở đầu thanh cánh tiết diện ống tròn, k_p

Thanh cánh tiết diện ống tròn chịu nén ít nhất, hệ số ứng suất, $\sigma_{p,Ed}$:

$$\sigma_{p,Ed} = \frac{N_{p,Ed}}{A_0} + \frac{|M_{ip,0,Ed}|}{W_{el,ip,0}} + \frac{|M_{op,0,Ed}|}{W_{el,op,0}}$$

Lưu ý: mô men bổ sung cho ứng suất nén có giá trị



Hình 3.2. Liên kết nút chữ K có khoảng hở

dương. Đối với thanh cánh tiết diện ống tròn sử dụng ứng suất thanh cánh chịu nén ít nhất.

$$\sigma_{p,Ed} = \frac{1000 \times 1000}{81,1 \times 10^2} = 123,30 \text{ N/mm}^2$$

Tỷ số hệ số ứng suất trong thanh cánh n_p :

$$n_p = \left(\frac{\sigma_{p,Ed}}{f_{y0}} \right) = \left(\frac{123,3}{355} \right) = 0,347$$

Cách 1: Sử dụng công thức, đối với $n_p > 0$ (nén):

$k_p = 1 - 0,3n_p(1+n_p) = 1 - 0,3 \times 0,347(1+0,347) = 0,860$ nhưng $\leq 1,0$

$$k_p = 0,860$$

Cách 2: Sử dụng biểu đồ, từ biểu đồ, cho: $k_p = 0,860$

$$N_{1,Rd} = \frac{1,761 \times 0,86 \times 355 \times 12,5^2}{\sin 45^\circ} \left(1,8 + 10,2 \frac{139,7}{219,1} \right) / 1,0$$

$$= 986\text{kN.}$$

Thanh bụng chịu kéo (2):

$$N_{2,Rd} = \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} N_{1,Rd} = \frac{\sin 45^\circ}{\sin 45^\circ} \times 986 = 986\text{kN}$$

Thanh cánh bị chọc thủng: (áp dụng khi $d_i \leq d_0 - 2t_0$)

$$d_i \leq d_0 - 2t_0 = 219,1 - 2 \times 12,5 = 194,1\text{mm}$$

$d_1 = 139,7\text{mm} < 194,1\text{mm}$ - Kiểm tra chọc thủng thanh cánh

$d_2 = 114,3\text{mm} < 194,1\text{mm}$ - Kiểm tra chọc thủng thanh cánh

$$N_{i,Rd} = \frac{f_{y0}}{\sqrt{3}} t_0 \pi d_i \frac{1 + \sin \theta_i}{2 \sin^2 \theta_i} / \gamma_{M5}$$

Thanh bụng (1):

$$N_{1,Rd} = \frac{355}{\sqrt{3}} \times 12,5 \times \pi \times 139,7 \times \frac{1 + \sin 45^\circ}{2 \sin^2 45^\circ} / 1,0$$

$$= 1919 \text{ kN.}$$

Thanh bụng (2):

$$N_{2,Rd} = \frac{355}{\sqrt{3}} \times 12,5 \times \pi \times 114,3 \times \frac{1 + \sin 45^\circ}{2 \sin^2 45^\circ} / 1,0$$

$$= 1570 \text{ kN.}$$

Độ bền của nút được quyết định bởi phá hoại bề mặt thanh cánh cho cả hai thanh bụng.

Độ bền nút của thanh bụng 1: $N_{1,Rd} = 986\text{kN} > 500\text{kN}$

- Đạt

(xem tiếp trang 31)