

Thiết kế dầm tổ hợp hàn sử dụng hai loại thép

Design of welded built-up steel beam using two steel grades

Nguyễn Lệ Thủy, Nguyễn Hồng Sơn

Tóm tắt

Bài báo trình bày bài toán thiết kế dầm tổ hợp hàn sử dụng hai loại thép, theo tiêu chuẩn thiết kế kết cấu thép của Nga, cho loại tiết diện đối xứng và không đối xứng. Ví dụ minh họa làm sáng tỏ việc lựa chọn và kiểm tra khả năng chịu lực của dầm đơn tiết diện đối xứng và không đối xứng chịu tải trọng phân bố.

Từ khóa: dầm hai loại thép, dầm tổ hợp hàn

Abstract

This paper presents the problem of designing of welded built-up steel beam using two steel grades, according to Russian steel structures design standard, for symmetric and asymmetric sections. Examples illustrate the design and analysis of simple steel beams with symmetric and asymmetric sections under contribution loading.

Key words: two steel grades, welded built-up steel beam

1. Đặt vấn đề

Dầm thép là cấu kiện cơ bản, chịu uốn là chủ yếu và được sử dụng rộng rãi trong các công trình xây dựng. Theo đặc điểm tiết diện, dầm tiết diện chữ I tổ hợp hàn có cấu tạo đơn giản và tiết kiệm vật liệu, chúng gồm có bản cánh và bản bụng thường làm từ một mác thép, được liên kết với nhau bằng đường hàn góc.

Việc giảm chi phí thép cho dầm có thể đạt được bằng nhiều cách, chẳng hạn sử dụng giải pháp dầm có bụng khoét lỗ, bụng mảnh hoặc sử dụng bụng lượn sóng v.v..., cũng như chính xác hóa sự làm việc của vật liệu thép bằng việc xét sự làm việc ngoài miền đàn hồi. Các hướng nghiên cứu về giải pháp tiết diện phù hợp cũng như xét sự làm việc thực tế của vật liệu thép đã được nhiều tài liệu đề cập [1, 3]. Nhưng việc đồng thời tìm kiếm giải pháp kết cấu hiệu quả và xét đến vật liệu làm việc ngoài miền đàn hồi sẽ cho tiết diện dầm tối ưu, vừa phản ánh sự làm việc thực của vật liệu nhằm nâng cao khả năng chịu lực, cũng như giảm chi phí xây dựng. Việc giảm chi phí thép có thể đạt được ở dầm sử dụng hai mác thép khác nhau còn được gọi là dầm hai loại thép.

Hiện nay, tiêu chuẩn thiết kế kết cấu thép hiện hành của Việt Nam TCVN 5575:2012 [2] không đề cập đến thiết kế dầm sử dụng hai loại thép, vấn đề này đã được đề cập trong tiêu chuẩn thiết kế kết cấu thép của Nga [3, 4] và gần đây là tài liệu SP 16.13330.2016 - Chỉ dẫn thiết kế kết cấu thép [5]. Nhận thấy rằng, tài liệu [3, 4] cũng khá quen thuộc với các nhà chuyên môn ở Việt Nam, vì thế nội dung bài báo sẽ đề cập đến cách tính toán dầm hai loại thép theo tài liệu [3, 4].

Trong tiết diện dầm sử dụng hai loại thép [3, 4], vùng cánh có ứng suất pháp lớn nhất được làm từ thép với cường độ cao có cường độ f_t (sử dụng loại thép hợp kim thép có cường độ từ 300–455 MPa), bản bụng và vùng cánh có ứng suất pháp thấp hơn được làm từ thép các bon thấp với cường độ f_w (cường độ từ 230–330 MPa) và tỷ lệ $f_t/f_w = 1,30\text{--}1,97$. Trong bản bụng dầm nói chung, thường khả năng chịu lực không được tận dụng hết, với giải pháp dầm hai loại thép, vùng bụng liên kết với cánh có ứng suất pháp đạt tới giới hạn chảy $\sigma_{w(p=0)} = f_{tw}$. Biểu đồ ứng suất pháp trong tiết diện dầm đối xứng được trình bày ở Hình 1, đã phản ánh sự làm việc của tiết diện ở giai đoạn đàn dẻo. Phần trung tâm của bụng và bản cánh nằm trong giai đoạn đàn hồi, các vùng biên của bụng trong giai đoạn dẻo (điều kiện hạn chế dẻo). Các tài liệu [3, 4, 5] khuyến nghị khi tính toán bền của các dầm như thế cần định hướng theo một trong hai tiêu chí sau:

- Biến dạng dẻo tới hạn, biến dạng dẻo cho phép chỉ ở phần bụng mà không có ở phần cánh, dẫn đến hạn chế giá trị biến dạng dẻo cho phần bụng

$$\varepsilon_{p, w} \leq \varepsilon_{p, \lim} \quad (1)$$

- Ứng suất tới hạn trong cánh dầm, biến dạng dẻo cho phép chỉ ở bụng, sự làm việc của cánh được giới hạn chỉ ở giai đoạn đàn hồi.

$$\sigma_t \leq f_t \quad (2)$$

Phụ thuộc vào tiêu chuẩn về cường độ biến dạng dẻo và tiêu chí tính toán, các dầm hai loại thép được phân ra làm bốn nhóm:

1. Dầm đỡ cầu trục với chế độ làm việc rất nặng đến nhẹ, tính toán về bền cho dầm được thực hiện theo tiêu chí ứng suất trong cánh dầm đảm bảo theo công thức (2) với cường độ tính toán của thép cánh $f_t = f_{ty}$, ở đây $\gamma_u = 1,3$.

2. Các dầm chịu tải trọng di động và rung động (dầm sàn công tác, dầm chất – đỡ tải của bunker, băng tải và v.v...) với $\varepsilon_{\lim} = 0,1\%$.

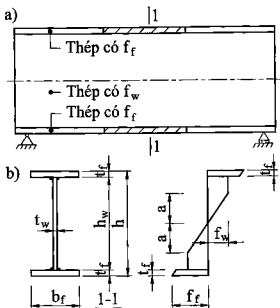
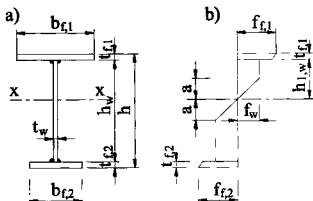
3. Các dầm chịu tải trọng tĩnh (dầm sàn và mái, xà khung tường đầu hồi và các cấu kiện dầm chịu uốn, kéo – uốn và nén – uốn v.v...), với $\varepsilon_{\lim} = 0,2\%$

4. Các dầm thuộc nhóm 3 nhưng không chịu tác động cơ bộ và không có sườn cứng dọc, và có ổn định cục bộ và ổn định tổng thể cao, với $\varepsilon_{\lim} = 0,4\%$.

Trong các dầm thuộc nhóm 2 đến 4, chúng được nhóm lại cùng một nhóm và việc tính toán về bền thực hiện theo tiêu chí hạn chế biến dạng dẻo $\varepsilon_{p, w} \leq \varepsilon_{p, \lim}$

ThS. Nguyễn Lệ Thủy,
PGS.TS. Nguyễn Hồng Sơn
Email: nltthuy.hau@gmail.com
Điện thoại: 0903226382

Ngày nhận bài: 15/5/2017
Ngày sửa bài: 25/5/2017
Ngày duyệt đăng: 05/10/2018


Hình 1. Tiết diện dầm hai loại thép

Hình 2. Tiết diện dầm hai loại thép không đối xứng

2. Thiết kế dầm tổ hợp hàn sử dụng hai loại thép

2.1. Cấu tạo

Các dạng tiết diện (có hình vẽ) của dầm tổ hợp hàn sử dụng hai mức thép không khác sơ với tiết diện dầm tổ hợp hàn sử dụng một mức thép thông thường.

2.2. Lựa chọn kích thước tiết diện

a) Xác định chiều cao và chiều dày bụng dầm

Chiều cao tiết diện dầm được lựa chọn theo yêu cầu tối thiểu và tối ưu, có thể được xác định như đối với dầm thông thường với cường độ f_t , tức là không kể đến sự xuất hiện vùng dẻo ở bụng và sự khác nhau của mức thép. Khuyến nghị chiều dày bụng dầm t_w theo các chỉ dẫn ở Bảng 1 và kiểm tra điều kiện chịu cắt kể đến cường độ chịu cắt $f_w = 0,58 \cdot f_t$ từ loại thép chế tạo phần bụng.

Bảng 1.

h (m)	1,0	1,5	2,0
t_w (mm)	8+10	10+12	12+24
h/t_w	100+125	125+150	145+165

b) Xác định chiều rộng và chiều dày cánh dầm

(1) Đối với tiết diện đối xứng

Mô men uốn chịu bởi tiết diện khi cánh làm việc ở giai đoạn đàn hồi, còn phần bụng tiếp giáp với cánh làm việc ở

giai đoạn dẻo, có thể biểu diễn dưới dạng

$$M = \int \sigma z dA = 2 \int \sigma z dA_f + \int \sigma z dA_w \quad (3)$$

trong đó: σ - ứng suất pháp, biểu đồ của nó được trình bày trên Hình 1b. Trong về phải của đẳng thức này số hạng thứ nhất tương ứng với mô men M_f do cánh chịu, số hạng thứ hai tương ứng với mô men M_w do bụng chịu. Các mô men này bằng:

$$M_f = 2 \int \sigma z dA = f_{t,c} A_f (h_w + t_f) = f_{t,c} A_f h \quad (4)$$

$$M_w = \int \sigma z dA \approx \frac{f_w \gamma_c h_w^2 t_w}{4} m \quad (5)$$

Trong đó: $m = 1 - (1/3)(f_w/f_t)^2$

Từ (4) với việc tính đến công thức (3) và (5), ta nhận được biểu thức xác định diện tích yêu cầu của cánh:

$$A_f = \frac{M - M_w}{f_t \cdot \gamma_c \cdot h} \quad (6)$$

Giống như đối với dầm một loại thép, chiều dày cánh $t_w \leq t_f \leq 3t_w$ hoặc chiều rộng cánh $h/5 \leq b_f \leq h/3$, nhưng không nhỏ hơn 180 mm. Bản cánh dưới cần được lựa chọn sao cho diện tích bằng diện tích bản cánh trên.

(2) Đối với tiết diện không đối xứng.

Thực tế, mô men uốn được chịu bởi tiết diện, và các thành phần của chúng phù hợp với biểu đồ ứng suất pháp (Hình 2b), có thể viết ở dạng

$$M = M_{f1} + M_{f2} + M_w \quad (7)$$

trong đó

$$M_{f1} = \int \sigma z dA \approx A_{f1} f_{t1} \gamma_c \frac{h}{\alpha + 1}$$

$$M_{f2} = \int \sigma z dA \approx A_{f2} f_{t2} \gamma_c \frac{\alpha \cdot h}{\alpha + 1}$$

$$M_w = \int \sigma z dA \approx f_w \gamma_c \frac{t_w h_w^2}{2} \frac{\alpha^2 + 1}{(\alpha + 1)^2} m \quad (8)$$

Cho trước điều kiện không đối xứng của tiết diện $\alpha = W_{y1}/W_{y2} = h_2/h_1$, theo (8) xác định mô men chịu bởi bụng M_w , còn theo (7) xác định mô men chịu bởi cánh:

$$M_f = M_{f1} + M_{f2} = M - M_w$$

Tổng diện tích cánh

$$A_f = A_{f1} + A_{f2} = \frac{M_f}{h_{f1} \cdot \gamma_c} \quad (9)$$

Khi đó

$$A_{f1} = \frac{1}{1 + \alpha} \left[\alpha \cdot A_f + \frac{1 - \alpha}{2} \cdot A_w \right] \quad (10)$$

$$A_{f2} = \frac{1}{1 + \alpha} \left[A_f + \frac{1 - \alpha}{2} \cdot A_w \right] \quad (11)$$

Theo các giá trị đã biết về diện tích yêu cầu của các cánh A_{f1} và A_{f2} , và thường lấy $A_f/A_w = 0,25 \div 2$, diện tích cánh lớn lớn gấp khoảng hai lần diện tích cánh bé ($A_{f1} \approx 2A_{f2}$).

2.3. Kiểm tra khả năng chịu lực

a) Kiểm tra điều kiện bền uốn

Đối với tất cả các nhóm dầm, cần thực hiện kiểm tra và bên có kể đến biến dạng đàn dẻo [3, 4]

- Khi uốn trong một mặt phẳng chính

$$\frac{M_x}{c_x \cdot W_{x, \min} \cdot f_t \cdot \gamma_c} \leq 1 \quad (12)$$

- Khi uốn trong hai mặt phẳng chính

$$\frac{1}{f_t \cdot \gamma_c} \left(\frac{M_x \cdot y}{c_x \cdot I_x} + \frac{M_y \cdot x}{c_y \cdot I_y} \right) \leq 1 \quad (13)$$

Trong đó:

c_x và c_y - các hệ số lấy theo Bảng 2 và Bảng 3, phụ thuộc vào nhóm dầm, cường độ tính toán của thép được lấy cho cánh và bụng, cũng như dạng của tiết diện và theo tỷ lệ diện tích các thành phần của tiết diện này. Hệ số c_x có thể xác định bằng nội suy tuyến tính theo A_y/A_w và theo tỷ lệ diện tích của cánh khi lấy giá trị gần nhất của f_w và f_t . Đối với dầm thuộc nhóm 3, khi xác định hệ số c_x ngoài điều đó ra, cần chú ý đến $\varepsilon_{ip, \lim}$.

Khi có vùng chịu uốn thuần túy, hệ số c_x và c_y được xác định theo công thức

$$c_x = \frac{f_w}{f_t} + \left(c'_x - \frac{f_w}{f_t} \right) \left(1 - 0,5 \cdot \sqrt{\frac{v}{L}} \right) \quad (14)$$

$$c_y = 1 + \left(c'_y - \frac{f_w}{f_t} \right) \left(1 - 0,5 \cdot \sqrt{\frac{v}{L}} \right) \quad (15)$$

trong đó:

L và v - tương ứng là chiều dài nhịp dầm và vùng uốn thuần túy;

c'_x, c'_y - là các hệ số tương ứng với hệ số c_x và c_y được lấy theo Bảng 2 và Bảng 3, phụ thuộc vào $\varepsilon_{ip, \lim}$ và các cường độ tính toán f_t và f_w .

Ngoài ra, theo tài liệu [5], việc kiểm tra bền uốn của dầm được thực hiện với điều kiện ứng suất tiếp $\tau_x \leq 0,9 \cdot f_t$ và $\tau_y \leq 0,5 \cdot f_w$ theo công thức

- Khi uốn trong một mặt phẳng chính

$$\frac{M_x}{c_x \cdot \beta_r \cdot W_{x, n} \cdot f_w \cdot \gamma_c} \leq 1 \quad (16)$$

- Khi uốn trong hai mặt phẳng chính

$$\frac{M_x}{c_x \cdot \beta_r \cdot W_{x, n} \cdot f_w \cdot \gamma_c} + \frac{M_y}{c_y \cdot W_{y, n} \cdot f_t \cdot \gamma_c} \leq 1 \quad (17)$$

Trong đó:

$$c_x = \frac{\alpha_t \cdot r + 0,25 - 0,0833 / r^2}{\alpha_t + 0,167}$$

$$\alpha_t = A_t / A_w; \quad r = f_t / f_w;$$

β_r - hệ số, xác định như sau:

khi $\tau_x \leq 0,5 \cdot f_{vw}$ thì $\beta_r = 1,0$; khi $0,5 \cdot f_{vw} \leq \tau_x \leq 0,9 \cdot f_{vw}$ thì

$$\beta_r = 1 - \frac{0,2}{\alpha_t \cdot r + 0,25} \left(\frac{\tau_x}{f_{vw}} \right)^4; \quad (18)$$

c_y - hệ số, lấy bằng 1,0 đối với dầm chữ I, và bằng 1,05/r đối với dầm hộp

b) Kiểm tra điều kiện bền cắt và ứng suất cục bộ

Thực hiện kiểm tra điều kiện bền cắt theo ứng suất tiếp và ứng suất cục bộ như dầm làm việc trong giai đoạn đàn hồi. Khi kiểm tra ứng suất tiếp và cục bộ cần sử dụng công thức

$$\frac{V_{\max} \cdot S}{I_x \cdot t_w \cdot f_{vw} \cdot \gamma_c} \leq 1. \quad (19)$$

$$\frac{F}{t_r \cdot I_{ef} \cdot f_{vw} \cdot \gamma_c} \leq 1, \quad (20)$$

f_{vw} - cường độ tính toán chịu cắt của vật liệu thép làm bụng dầm, $f_{vw} = 0,85 \cdot f_w$.

Theo [3, 4], không cần kiểm tra điều kiện bền về ứng suất tương đương đối với dầm hai loại thép.

2.4. Kiểm tra độ cứng

Kiểm tra độ cứng của dầm hai loại thép, cho phép với giả thiết vật liệu làm việc đàn hồi kể cả trường hợp ứng suất pháp trong phần bụng dầm (nhận được theo giả thiết này) do tải trọng tiêu chuẩn là vượt quá giá trị f_w .

2.5. Kiểm tra ổn định

a) Ổn định tổng thể

Dầm hai loại thép cho phép kiểm tra ổn định tổng thể tương tự dầm một loại thép sử dụng cường độ f_t của cánh nén.

b) Ổn định cục bộ cánh dầm và bụng dầm

Với dầm tiết diện chữ I thuộc nhóm 1, việc kiểm tra cần thiết đảm bảo như dầm thép thông thường với giả thiết vật liệu thép làm việc đàn hồi ở tất cả các tiết diện. Các dầm tiết diện chữ I thuộc nhóm 2 đến nhóm 4 phải thỏa mãn điều kiện

$$b_0 / t_r \leq 0,35 \sqrt{E / f_t}. \quad (21)$$

Trong dầm được gia cường bởi các sườn cứng ngang, khi có ứng suất cục bộ σ_{loc} , ổn định cục bộ của bụng được kiểm tra theo các công thức sau:

- Đối với tiết diện đối xứng

$$M \leq f_t \cdot \gamma_c \cdot h_w^2 \cdot t_w \cdot (\psi + \beta \cdot f_w / f_t), \quad (22)$$

- Đối với tiết diện không đối xứng với cánh chịu nén lớn hơn

$$M \leq \sigma_{t1} \cdot A_{t1} \cdot h_{1w} + \sigma_{t2} \cdot A_{t2} \cdot (h_w - h_{1w}) + 4h_{1w}^2 t_w \gamma_f \gamma_c + \frac{h_w t_w}{2} (h_w - h_{1w}) \sqrt{f_w^2 - 3\tau}, \quad (23)$$

Trong công thức (22) và (23):

$\psi = b_1 t_1 / (b_w h_w)$, nhưng không nhỏ hơn 0,25;

$$\gamma = 0,24 - 0,15 \left(\tau / f_w \right)^2 - 8,5 \cdot 10^{-3} \cdot (\bar{\lambda}_w - 2,2)^2;$$

τ - ứng suất tiếp trung bình trong bụng dầm, nhưng không lớn hơn $0,5 \cdot f_{vw}$ ($f_{vw} = 0,58 \cdot f_w$);

σ_{t2}, σ_{t1} - ứng suất lớn nhất trong các cánh nếu một trong chúng lớn hơn giá trị tính toán f_t thì lấy chúng bằng f_t .



Bảng 2.

Số hiệu	Cường độ tính toán MPa		Hệ số c_x cho dầm											
			Nhóm 1				Nhóm 2 (với $\varepsilon_{p, \text{lim}} = 0,1\%$)				Nhóm 4 (với $\varepsilon_{p, \text{lim}} = 0,4\%$)			
	khi A_f/A_w bằng													
	f_w	f_f	0,25	0,5	1	2	0,25	0,5	1	2	0,25	0,5	1	2
1	260	330	0,98	0,98	0,99	1,00	1,02	1,02	1,01	1,00	1,06	1,04	1,02	1,01
		370	0,95	0,97	0,98	0,99	0,98	0,99	0,99	0,99	1,01	1,01	1,00	1,00
		400	0,93	0,96	0,98	0,99	0,95	0,97	0,98	0,99	0,98	0,99	0,99	1,00
2	260	330	0,97	0,97	0,97	0,98	1,10	1,09	1,05	1,03	1,17	1,19	1,17	1,20
		370	0,94	0,96	0,96	0,98	1,02	1,02	1,00	1,00	1,11	1,14	1,12	1,07
		400	0,92	0,94	0,95	0,97	0,96	0,97	0,98	0,98	1,06	1,10	1,08	1,04

Ghi chú:

1. Các hệ số C_x xác định bằng nội suy tuyến tính theo tỷ số A_f/A_w và theo tỷ lệ diện tích của cánh khi lấy với giá trị gần nhất của f_w và f_f ;

2. Đối với dầm thuộc nhóm 3, hệ số C_x xác định bằng nội suy tuyến tính phù hợp với ghi chú 1 và ngoài ra còn theo $\varepsilon_{p,lim} = 0,2\%$.

3. Số hiệu 1 - dầm có tiết diện đối xứng, số hiệu 2 - dầm có tiết diện không đối xứng.

4. Bảng này được trích lược từ tài liệu [3, trang 92, 93], có thể tìm thấy theo đường dẫn [6].

Các yêu cầu cấu tạo và bố trí sườn, các kích thước không có gì khác so với dầm một loại thép.

Thay đổi tiết diện cánh dầm hai loại thép là không hiệu quả, vì có thể đạt được bằng việc sử dụng các đoạn cánh có ứng suất nhỏ hơn bằng loại thép cường độ tính toán thấp hơn.

Bảng 3.

Nhóm dầm	Hệ số c_y khi cường độ tính toán f_t , MPa				
	300	330	370	400	455
1	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
2	1,33	1,31	1,30	1,28	1,00
3	1,41	1,40	1,39	1,38	1,00
4	1,47	1,46	1,45	1,44	1,00

3. Ví dụ tính toán

3.1. Ví dụ 1: Tiết diện dầm đối xứng

Chọn tiết diện dầm cho dầm đơn giản một nhịp sử dụng hai loại thép (Hình 3), nhịp dầm $L=12m$, dạng tiết diện chữ I đối xứng hàn quy ước làm từ thép cán nóng, độ mảnh quy ước của bản bụng $\lambda_w < 6$; tải trọng phân bố đều ($q_c = 67,8 \text{ kN/m}$; $q = q_c \cdot \gamma_Q = 87,8 \text{ kN/m}$); cường độ tính toán của vật liệu thép làm cánh $f_t = 37 \text{ kN/cm}^2$, làm bụng $f_w = 26 \text{ kN/cm}^2$, độ võng giới hạn $[\Delta] = L/250$; dầm thuộc nhóm 4, ổn định tổng thể của dầm được đảm bảo bởi các giằng nằm ở cánh chịu nén.

a) Tính nội lực và chọn sơ bộ tiết diện

Giá trị nội lực tiêu chuẩn và tính toán được xác định

$$M_{c,max}^c = 1220 \text{ kNm}, M_{max} = 1580 \text{ kNm}, V = 526,8 \text{ kN}.$$

Mô men chống uốn yêu cầu đối với dầm một loại thép

$$W_{yc} = \frac{M_{max}}{f_t \cdot \gamma_Q} = \frac{1580 \cdot 10^2}{37 \cdot 0,10} = 4270 \text{ cm}^3$$

Xác định chiều cao tiết diện dầm:

- Chiều cao tối thiểu của dầm

$$h_{min} = \frac{10 L^2 f_w \cdot \gamma_Q M_{max}^c}{48 E [\Delta] M_{max}} = \frac{10 \cdot 12^2 \cdot 10^4 \cdot 37 \cdot 1220}{48 \cdot 2,06 \cdot 10^4 \cdot (1200 / 250) \cdot 1580} = 86,7 \text{ cm}$$

- Chiều cao tối ưu xác định theo công thức, khi cho trước $A_w = 140$,

$$h_{opt} = k \cdot \sqrt[3]{W_x \cdot \lambda_w} = 1,15 \cdot \sqrt[3]{4270 \cdot 140} = 96,9 \text{ cm}$$

Ta lấy $h_{opt} = 950 \text{ mm}$, $t_w = 8 \text{ mm}$. Tương ứng các giá trị này $A_w = 76 \text{ cm}^2$, $\lambda_w = 119$. Để xác định các kích thước của cánh ta sẽ tính mô men uốn chịu bởi phản bụng theo (4)

$$M_w = \frac{26 \cdot 10 \cdot 95^2 \cdot 0,8}{4} \left[1 - \frac{1}{3} \left(\frac{26}{37} \right)^2 \right] = 39205 \text{ kNcm} = 392,05 \text{ kNm}$$

Diện tích yêu cầu của cánh, tính theo công thức (9)

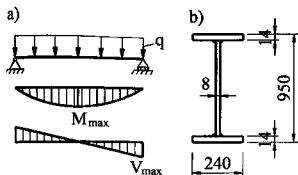
$$A_f = \frac{(1580 - 392,05) \cdot 10^2}{37 \cdot 1,0 \cdot 97,8} = 32,83 \text{ cm}^2$$

Ở đây $h = 978 \text{ mm}$ được lấy có kể đến chiều dày cánh dự kiến $t_f = 14 \text{ mm}$. Theo A_f ta được tiết diện cánh $t_f = 14 \text{ mm}$, $b_f = 240 \text{ mm}$ và $A_f = 33,6 \text{ cm}^2$.

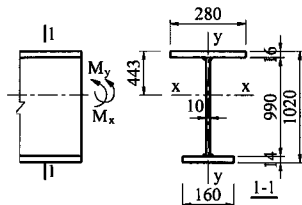
Các đặc trưng hình học thực tế của tiết diện (theo Hình 3b)

$$I_x = \frac{0,8 \cdot 95^2}{12} + 0,24 \cdot 1,4 \cdot (47,5 + 0,7)^2 = 213280,1 \text{ cm}^4$$

$$W_x = \frac{213280,1 \cdot 2}{98,7} = 4361,56 \text{ cm}^3$$



Hình 3. Sơ đồ dầm, biểu đồ nội lực và tiết diện dầm



Hình 4. Tiết diện dầm

$$S = 1,4.24.48,2 + \frac{0,8.95^2}{8} = 2522,02 \text{ cm}^3$$

b) Kiểm tra khả năng chịu lực

Theo điều kiện bền, theo công thức (12)

$$\frac{M_x}{c_x \cdot W_{x \min} \cdot f_c} = \frac{1580}{1,01.4361,56.37,1} = 0,98 \leq 1,$$

Hệ số $c_x = 1,01$ được lấy theo Bảng 2, theo phân loại dầm 4, khi tỷ lệ:

$$A_f/A_w = 33,6/76 = 0,44 \text{ và } f_t = 37 \text{ kN/cm}^2, f_w = 26 \text{ kN/cm}^2.$$

$$\frac{V_{\max} S}{I_x t_w \gamma_c} = \frac{526,8.2522,02}{213280,1.0,8} = 7,79 \text{ kN/cm}^2$$

$$\leq 0,58.f_w = 15,08 \text{ kN/cm}^2.$$

Theo ổn định cục bộ của cánh chịu nén (21), ổn định cục bộ của cánh nén dầm

$$b_{0f}/t_f \leq 0,35\sqrt{E/f_t}$$

$$[0,5.(240-8)/1,4]=8,29 = 8,26.$$

Độ chênh lệch nhỏ hơn 0,5%, vì thế có thể xem rằng điều kiện ổn định cục bộ của cánh được thỏa mãn

Theo ổn định cục bộ (22), giả thiết rằng có lắp đặt sườn cứng ngang với khoảng cách nhỏ hơn $2.h_w$.

$$37,95.0,8 \cdot \left\{ \frac{24,1,4}{95,0,8} + \left[0,24 - 0,5.10^2 \left(\frac{95}{0,8 \sqrt{2,06.10^4}} - 2,2 \right)^2 \right] \frac{26}{37} \right\}$$

$$= 1549,41 \text{ kNm}$$

Ổn định không thỏa mãn.

Tăng chiều cao bản bụng lên 1000 mm và vẫn giữ các kích thước còn lại, khi tăng chiều cao bản bụng, chiều cao vùng dáo giảm nên khả năng chịu lực của cấu kiện tăng và điều kiện ổn định sẽ thỏa mãn $M = 1580 \text{ kNm} < 1657,6 \text{ kNm}$

c) Kiểm tra độ cứng

Đối với dầm tiết diện $h_w = 1000 \text{ mm}$, $t_w = 8 \text{ mm}$, $b_f = 240 \text{ mm}$, $t_f = 14 \text{ mm}$ và $I_x = 222799,4 \text{ cm}^4$

$$\Delta = \frac{M_c^{\max} L^2}{10 E I_x} = \frac{1220.10^2.12^2.10^4}{10.2,06.10^4.222788,4} = 3,83 \text{ cm}$$

$$\Delta = 3,83 \text{ cm} < [\Delta] = 4 \text{ cm}, \text{ độ cứng dầm bảo.}$$

3.2. Ví dụ 2: Tiết diện dầm không đối xứng

Kiểm tra về bền cho dầm tiết diện chữ I sử dụng hai loại thép, dầm thuộc nhóm 3, chịu uốn bởi các mô men $M_x = 1500 \text{ kNm}$ và $M_y = 46 \text{ kNm}$; cường độ tính toán của vật liệu thép cánh là $f_t = 370 \text{ MPa}$, và của bụng $f_w = 260 \text{ MPa}$.

Ta lấy tiết diện chỉ ra ở Hình 4, Tỷ lệ diện tích các phần tiết diện $A_f/A_w = 44,8/99 = 0,453$; diện tích của cánh dưới $0,5 A_f$. Theo Bảng 2, đối với tiết diện số 2 (tiết diện không đối xứng) khi $\epsilon_{p,lim} = 0,2\%$ hệ số $c_x = 1,06$, theo Bảng 3, hệ số $c_y = 1,39$.

Dễ dàng tính được vị trí trục trung hòa $y_1 = 443 \text{ mm}$, và các đặc trưng hình học của tiết diện $I_x = 242986 \text{ mm}^2$, $I_y = 3405 \text{ mm}^4$.

Kiểm tra theo công thức (13)

$$\frac{1}{370,1} \left(\frac{1500.10^3.44,3}{1,089.242986} + \frac{46.10^3.14}{1,66.3405} \right) < 1$$

Nhận xét: tiết diện dầm đã chọn đủ khả năng chịu lực theo điều kiện bền.

4. Kết luận và kiến nghị

Trên đây đã trình bày các bước thiết kế dầm tổ hợp hàn sử dụng hai loại thép, bản cánh sử dụng thép hợp kim thấp và bản bụng sử dụng thép các bon. Phương pháp tính cho phép bản cánh và phần trung tâm bản bụng làm việc trong giai đoạn đàn hồi còn phần biên bản bụng tiếp giáp với cánh làm việc trong giai đoạn đàn dẻo.

Đã trình bày lý thuyết tính toán theo Chỉ dẫn thiết kế kết cấu thép của Nga (theo CHN II-23-81*), tương đồng với tiêu chuẩn thiết kế kết cấu thép hiện hành của Việt Nam TCVN 5575:2012 và Chỉ dẫn thiết kế kết cấu thép của Nga theo phiên bản cập nhật 2016 (CП 16.13330.2016). Ví dụ tính toán đã sử dụng Chỉ dẫn thiết kế kết cấu thép của Nga, theo CHN II-23-81*. Việc áp dụng phiên bản cập nhật CП 16.13330.2016 không được trình bày ở đây, người đọc có thể dễ dàng tiếp cận.

Các ký hiệu chính

A_f – diện tích tiết diện phần cánh;

$A_{f,1}, A_{f,2}$ – diện tích tiết diện phần cánh lớn (cánh trên) và phần cánh bé (cánh dưới);

A_w – diện tích tiết diện phần bụng;

b_{0f} – độ nhô ra của bản cánh;

(xem tiếp trang 69)