

Hiệu quả của dầm thép tổ hợp hàn tiết diện chữ I cánh rỗng

Effect of welded built-up I-section beam with hollow flange

Vy Sơn Tùng, Bùi Hùng Cường

Tóm tắt

Bài báo đưa ra các công thức giải tích để tính các đặc trưng hình học của dầm thép tiết diện chữ I tổ hợp hàn cánh trên rỗng. Bài báo cũng trình bày các công thức kiểm tra mất ổn định tổng thể dầm theo tiêu chuẩn thiết kế kết cấu thép của châu Âu (EC3). Một ví dụ được thực hiện để làm rõ các tính toán áp dụng cho tiết diện chữ I cánh rỗng và nêu bật được ưu điểm của loại tiết diện này so với tiết diện chữ I thông thường trong thực tế thiết kế.

Từ khóa: Tiết diện chữ I cánh rỗng, Ổn định tổng thể của dầm thép, Tiết diện kín-hở

Abstract

This paper presents a set of analytical formulas to determine section properties of a mono-symmetrical I-section beam with hollow flange. The paper presents also formulas for verifying the lateral buckling condition of the beam according to Eurocode 3. An example is performed to bring out the calculation and highlight advantages of this kind of section in comparison with the normal I-section in practical design of steel structures

Keywords I-section with hollow flange, Lateral buckling of steel beam, Opened-closed section.

1. Tổng quan

Hiện nay tại Việt Nam, kết cấu thép được sử dụng trong các công trình nhà dân dụng và công nghiệp. Khi thiết kế các công trình này, các kỹ sư thường lựa chọn dầm thép có tiết diện I. Tuy vậy, việc thiết kế dầm thép thường gặp các vấn đề về ổn định tổng thể mà giải pháp xử lý là bổ sung hệ giằng hoặc hệ dầm phụ. Những giải pháp này tốn kém về vật liệu và nhân công thi công. Từ thực tiễn đó, tiết diện I tổ hợp hàn có cánh trên rỗng đã được các tác giả Bùi Hùng Cường và Nguyễn Minh Tuyền [1] nghiên cứu và chỉ ra những ưu điểm của loại tiết diện này khi tính toán mất ổn định xoắn uốn.

Dầm thép tiết diện chữ I cánh trên rỗng có thể được thiết kế theo EC3 và áp dụng trong nhiều loại cấu kiện khác nhau như dầm cầu trục, dầm trong khung nhà dân dụng kết cấu thép, trong nhà công nghiệp, trong khung nhà kết cấu liên hợp... Tuy nhiên, hiện nay chưa có công thức giải tích để xác định các đặc trưng hình học khi mất ổn định xoắn uốn của tiết diện dầm chữ I cánh rỗng, điều này gây trở ngại cho việc áp dụng của các kỹ sư.

2. Khả năng chịu uốn của dầm thép theo điều kiện ổn định tổng thể của EC3

Điều kiện ổn định tổng thể của dầm thép:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} \leq 1 \quad (1)$$

Trong đó: M_{Ed} là mômen uốn trong dầm thép gây ra do tải trọng.

$M_{b,Rd}$ là khả năng chịu uốn của dầm thép theo điều kiện ổn định tổng thể.

Giá trị $M_{b,Rd}$ được xác định theo công thức.

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} W_x \frac{f_y}{\gamma_{M1}} \quad (2)$$

Trong đó:

$$W_x = W_{pl,x} \text{ đối với thép tiết diện loại 1 và tiết diện loại 2.} \quad (3)$$

χ_{LT} là hệ số giảm khả năng chịu uốn của dầm do mất ổn định tổng thể.

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \lambda_{LT}^2}} \quad \text{và} \quad \chi_{LT} \leq 1 \quad (4)$$

$$\Phi = 0.5 \left[1 + \alpha_{LT} (\lambda_{LT} - \lambda_{LT,0}) + \beta \lambda_{LT}^2 \right] \quad (5)$$

$$\lambda_{LT} \text{ là độ mảnh ổn định tổng thể của dầm: } \lambda_{LT} = \sqrt{\frac{W_x f_y}{M_{cr}}} \quad (6)$$

Đối với loại tiết diện I tổ hợp hàn có tỷ số $h/b > 2$ và các dạng tiết diện có hình dạng phức tạp, ta áp dụng phương pháp an toàn $\beta = 1$, $\lambda_{LT,0} = 0.2$, $\alpha_{LT} = 0.76$.

Để tính giá trị momen tới hạn M_{cr} , bài báo sử dụng các kết quả nghiên cứu của tác giả Trahair và các công sự [2] vì tính tổng quát, có thể áp dụng cho các trường hợp gặp trong thực tế thiết kế. Theo đó, công thức momen tới hạn là:

$$M_{cr} = M_{cr,0} \alpha_m \left[\sqrt{1 + \left(\frac{0.4 \alpha_m \gamma_0 N_{\alpha,y}}{M_{cr,0}} \right)^2} + \frac{0.4 \alpha_m \gamma_0 N_{\alpha,y}}{M_{cr,0}} \right] \quad (7)$$

α_m là hệ số ảnh hưởng do phân bố lực trên dầm:

$$\alpha_m = \frac{1.75 M_{\max}}{\sqrt{(M_2^2 + M_3^2 + M_4^2)}} \leq 2.5 \quad (8)$$

KS. Vy Sơn Tùng

Khoa Xây dựng DD&CN

Trường Đại học Xây dựng

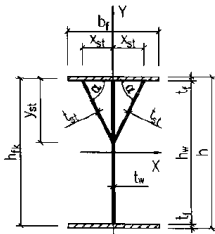
Email: tungvs@nuce.edu.vn

PGS.TS. Bùi Hùng Cường

Khoa Xây dựng DD&CN

Trường Đại học Xây dựng

Email: cuongbh@nuce.edu.vn



Hình 1. Tiết diện I cánh trên rỗng

M_{max} là giá trị mômen lớn nhất, M_2 , M_3 và M_4 lần lượt là mômen ở 1/4, 1/2 và 3/4 nhịp

y_0 là khoảng cách từ tâm xoắn (tâm cắt) của tiết diện dầm đến điểm đặt lực. Chiều dương được lấy là chiều của lực tác dụng.

$N_{cr,y}$ là lực nén tới hạn của tiết diện.

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 E I_y}{L^2} \quad (9)$$

L là chiều dài nhịp, I_y là mômen quán tính quanh trục yếu của dầm.

$M_{cr,0}$ là giá trị mômen tới hạn cơ sở, được xác định theo các công thức sau:

Đối với tiết diện có hai trục đối xứng

$$M_{cr,0} = \sqrt{\frac{\pi^2 E I_y}{L^2} \left(G I_t + \frac{\pi^2 E I_w}{L^2} \right)} \quad (10)$$

Đối với tiết diện chỉ có một trục đối xứng:

$$M_{cr,0} = \sqrt{\frac{\pi^2 E I_y}{L^2} \left[\sqrt{G I_t + \frac{\pi^2 E I_w}{L^2}} + \left(\beta_y \sqrt{\frac{\pi^2 E I_y}{L^2}} + \frac{\beta_y}{2} \sqrt{\frac{\pi^2 E I_y}{L^2}} \right) \right]} \quad (11)$$

Với β_y là hệ số ảnh hưởng đối với tiết diện chỉ có một trục đối xứng:

$$\beta_y = \frac{1}{I_x} \int (x^2 y + y^3) dA - 2(y_M - y_C) \quad (12)$$

3. Công thức giải tích các đặc trưng hình học của tiết diện chữ I cánh rỗng

Các tác giả Bùi Hùng Cường, Nguyễn Minh Tuyền [1] đã nghiên cứu về loại tiết diện này với các sườn chống xiên nghiêng 45° nhưng chưa đưa ra các công thức giải tích để xác định các đặc trưng hình học. Phát triển tiếp nghiên cứu trên, chúng tôi đã dựa trên các lý thuyết về thành hình mỏng của Vlasov [3], Karman & Christensen [4], Murray [5] để thiết lập được công thức giải tích cho các đặc trưng hình học của tiết diện chữ I cánh rỗng.

Các công thức để xác định các đặc trưng hình học cho tiết diện chữ I t hợp hàn có cánh trên rỗng (Hình 1) được

trình bày cụ thể như sau.

Diện tích chữ nhật diện, A :

$$A = 2b_f t_f + h_k t_w + \frac{2x_{st} t_{st}}{\cos \alpha} \quad (13)$$

Mômen quán tính quanh trục hoành, I_x :

$$I_x = I_c - \frac{\left(\frac{x_{st}^2 t_{st} \tan \alpha}{\cos \alpha} + \frac{h_k^2 t_w}{2} + h_k t_f b_f \right)^2}{2b_f t_f + h_k t_w + \frac{2x_{st} t_{st}}{\cos \alpha}} \quad (14)$$

$$I_c = \frac{1}{3} \left(2 \frac{x_{st}^3 t_{st} \tan^2 \alpha}{\cos \alpha} + h_k^3 t_w + 3h_k^2 b_f t_f \right) \quad (15)$$

Mômen quán tính quanh trục yếu, I_y :

$$I_y = \frac{1}{3} \left(\frac{b_f^3 t_f}{2} + \frac{2x_{st}^3 t_{st}}{\cos \alpha} \right) \quad (16)$$

Mômen quán tính quاط, I_w :

$$I_w = I_{wx} - \frac{I_{wy}^2}{I_y} \quad (17)$$

$$I_{wx} = \frac{t_{st}^2 x_{st}^4 \sin^2 \alpha}{3(t_{st} \cos \alpha + t_f)^2} \left[t_f (3b_f - 4x_{st}) + \frac{2x_{st} t_{st}}{\cos \alpha} \right] + \frac{b_f^2 h_k^2 t_f}{12} \quad (18)$$

$$I_{wy} = \frac{t_{st} x_{st}^2 \sin \alpha}{6(t_{st} \cos \alpha + t_f)} \left[t_f \left(2x_{st}^2 - \frac{3b_f^2}{2} \right) - \frac{4x_{st}^2 t_{st}}{\cos \alpha} \right] - \frac{b_f^3 h_k t_f}{12} \quad (19)$$

Mômen quán tính xoắn, I_t :

$$I_t = \frac{2x_{st}^3 t_{st} t_f \sin^2 \alpha}{(t_{st} \cos \alpha + t_f) \cos \alpha} + \frac{2t_{st}^3 (b_f - x_{st} + t_w h_k - x_{st} \tan \alpha)}{3} \quad (20)$$

Khoảng cách tâm cánh trên đến trục tâm tiết diện, y_c :

$$y_c = \frac{\frac{x_{st}^2 t_{st} \tan \alpha}{\cos \alpha} + \frac{h_k^2 t_w}{2} + h_k t_f b_f}{2b_f t_f + h_k t_w + \frac{2x_{st} t_{st}}{\cos \alpha}} \quad (21)$$

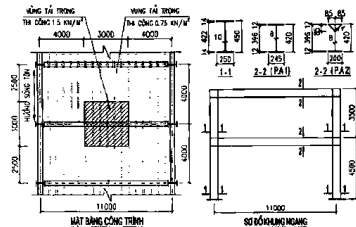
Khoảng cách tâm cánh trên đến tâm xoắn tiết diện, y_M :

$$y_M = -\frac{I_{wy}}{I_y} \quad (22)$$

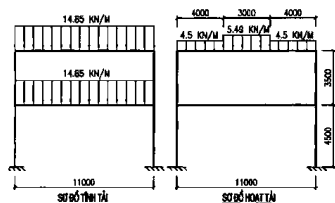
Hệ số ảnh hưởng với tiết diện đối xứng một phương, β_y :

$$\beta_y = \frac{1}{I_x} - 2(y_M - y_c) \quad (23)$$

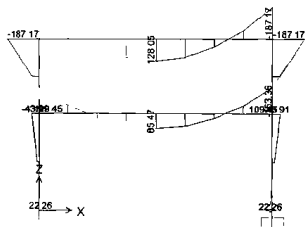
$$I_p = b_f t_f \left[(h_k - y_c)^3 - y_c^3 + \frac{h_k}{12} \frac{2y_c b_f^2}{\cos \alpha} \right] + \left[h_k - y_c^4 - y_c^4 \right] \frac{t_w}{4} + \frac{x_{st} t_{st}}{2 \cos \alpha} \left(y_c^3 - 4y_c y_{st}^2 + 6y_c^2 y_{st} - 4y_c^3 + \frac{y_{st}}{3} \frac{4y_c x_{st}^2}{\cos \alpha} \right) \quad (24)$$



Hình 2. Thiết kế công trình kết cấu thép 2 tầng, 1 nhịp



Hình 3. Sơ đồ tải trọng thiết kế chất lên khung ngang



Hình 4. Biểu đồ momen (PA2)

Mômen kháng uốn dẻo, $W_{pl,x}$:

Nếu $y_{PL} < h - t_f - x_{st} \tan \alpha$ thì:

$$y_{PL} = \frac{h}{2} + \frac{x_{st} t_{st}}{t_w \cos \alpha} \quad (25)$$

$$W_{pl,x} = b_f t_f (h - t_f) + \frac{t_w [(y_{PL} - t_f)^2 + (h - y_{PL} - t_f)^2]}{2} + \frac{2 x_{st} t_{st} (h - y_{PL} - t_f - 0.5 x_{st} \tan \alpha)}{\cos \alpha} \quad (26)$$

Nếu $y_{PL} > h - t_f - x_{st} \tan \alpha$ thì:

$$y_{PL} = \frac{2 t_{st} \left[\frac{2 h - t_f}{\sin \alpha} - \frac{x_{st}}{\cos \alpha} \right] + h t_w}{2 t_w + \frac{4 t_{st}}{\sin \alpha}} \quad (27)$$

$$W_{pl,x} = b_f t_f (h - t_f) + \frac{t_w [(y_{PL} - t_f)^2 + (h - y_{PL} - t_f)^2]}{2} + \frac{[(h - y_{PL} - t_f)^2 + (x \tan \alpha - h + y_{PL} + t_f)^2] t_w}{\sin \alpha} \quad (28)$$

4. Ví dụ tính toán

Thiết kế một công trình có sử dụng kết cấu liên hợp thép - bê tông (hình 2) với vật liệu thép S235. Cột thép tiết diện I-450x250x10x14 liên kết với dầm liên hợp. Người thiết kế cân nhắc 2 phương án (PA) cho cấu kiện dầm: (PA1) là tiết diện chữ I thông thường còn (PA2) là tiết diện chữ I có cánh trên rỗng. Sàn liên hợp có chiều dày trung bình là 110mm. Liên kết chân cột là ngàm, liên kết cột - dầm là công. Xét trường hợp là công trình đã thi công sàn tầng 2 và hiện đang thi công sàn mái. Tải trọng tác dụng gồm: trọng lượng bản thân kết cấu thép, trọng lượng bê tông tươi và tải trọng thi công. Tải trọng thi công được lấy như sau: tải trọng với giá trị 150daN/m² được chất lên diện tích 3mx3m của sàn mái ở vị trí bất lợi nhất. Phần diện tích sàn còn lại chất tải 75 daN/m².

Thiết kế dầm thép theo PA2 dùng tiết diện chữ I cánh rỗng ($L = 11m$)

Các thông số của vật liệu. $E = 205000 \text{ N/mm}^2$, $G = 78846 \text{ N/mm}^2$, $f_y = 235 \text{ N/mm}^2$.

Sử dụng các công thức trong mục 3, dễ dàng tính được các thông số đặc trưng hình học của tiết diện như sau: $A = 9026 \text{ mm}^2$, $I_x = 268023928 \text{ mm}^4$, $I_y = 18316010 \text{ mm}^4$, $I_z = 2998975 \text{ mm}^6$, $I_w = 693054107465 \text{ mm}^6$, $W_{pl,x} = 1413471 \text{ mm}^3$, $y_c = 186.79 \text{ mm}$, $y_M = 187.11 \text{ mm}$, $\beta_y = 35 \text{ mm}$.

Từ hình 3, các giá trị momen tại dầm mái dùng cho công thức (8) là: $M_{max} = 187.20 \text{ KNm}$; $M_2 = M_4 = 48.04 \text{ KNm}$ và $M_3 = 128.12 \text{ KNm}$. Từ đó, suy ra $\alpha_m = 2.26$.

Áp dụng công thức (11): $M_{ed,0} = 280.97 \text{ KNm}$.

Lưu ý: với PA1, dùng công thức (10) thay (11).

Áp dụng công thức (9): $N_{ed,y} = 306.27 \text{ N}$.

Do tải trọng chất ở cánh trên nên:

$y_0 = -y_M = -0.18711 \text{ m}$.

Áp dụng công thức (7): $M_{ed} = 528.41 \text{ KNm}$

(xem tiếp trang 60)