

Xác định khả năng chịu lực của dầm nhôm hợp kim theo tiêu chuẩn hiện hành của Australia, Hoa Kỳ và Châu Âu theo điều kiện ổn định tổng thể

Determination of capacities of aluminum alloy beams according to the current standards of Australia, America, and Europe undergoing the global buckling

Phạm Ngọc Hiếu

Tóm tắt

Nhôm hợp kim được coi là một loại vật liệu tương đối mới trong kết cấu xây dựng. Các tính chất ưu điểm của nhôm là tính nhẹ và tính chống ăn mòn cao cho phép kết cấu nhôm có thể cạnh tranh với kết cấu thép trong lĩnh vực này. Kết cấu nhôm đã được dùng nhiều trong các kết cấu cải tạo, kết cấu mái và các kết cấu ở trong các điều kiện môi trường khắc nghiệt nhờ các ưu điểm trên. Loại kết cấu này, do đó, ngày càng được sử dụng rộng rãi trong các kết cấu xây dựng. Việc tính toán các cấu kiện nhôm hợp kim chưa được quy định trong tiêu chuẩn Việt Nam. Bài báo này do đó sẽ trình bày tính toán khả năng chịu lực của dầm nhôm hợp kim theo các tiêu chuẩn hiện hành của Australia, Hoa Kỳ và Châu Âu trong trường hợp cấu kiện bị phá hoại do mất ổn định tổng thể. Các nhận xét và so sánh sau đó được đưa ra dựa trên cơ sở phương pháp tính toán và các kết quả về khả năng chịu lực thu được.

Từ khóa: Khả năng chịu lực; Dầm nhôm; Tiêu chuẩn Australia, Hoa Kỳ và Châu Âu; Mất ổn định tổng thể

Abstract

Aluminum alloy can be seen as a relatively new material in construction. The advantageous properties of aluminum material are light and excellent corrosion resistance allowing such structures to compete with steel structures in this field. Aluminum structures have been widely applied for refurbishment, space structures, and structures in hazardous environments due to their competitive advantages. These structures, therefore, have been progressively used in structural buildings. The design of aluminum members has been not regulated by Vietnam standards. The paper, therefore, presents the determination of capacities of aluminum alloy beams according to the current Australian, American, and European standards in case of global buckling failures of these such members. Comments and comparisons are subsequently provided based on the design methods and the obtained strengths.

Key words: Capacities; Aluminium beams; Australian, American and European standards; Global buckling

TS. Phạm Ngọc Hiếu

Bộ môn Kết cấu thép - gỗ, Khoa Xây dựng

ĐT: 0862120185

Mail: hieupn@hau.edu.vn

Ngày nhận bài:

Ngày sửa bài:

Ngày duyệt đăng: 20/12/2022

1. Giới thiệu

Nhôm hợp kim là loại vật liệu mới được ứng dụng trong kết cấu xây dựng. Vật liệu này đã chứng minh được tính kinh tế cũng như tính cạnh tranh của nó trong các ứng dụng với các ưu điểm bao gồm: 1) Tính nhẹ cho phép đơn giản và nhẹ nhàng trong lắp dựng và vận chuyển, giảm trọng lượng truyền xuống móng, tiết kiệm năng lượng trong lắp dựng và các dịch vụ; giảm công lao động thủ công; 2) Tính chống ăn mòn cho phép giảm chi phí cho bảo dưỡng, làm việc tốt trong môi trường ăn mòn cao.

Trong xây dựng, các ứng dụng chính thuộc vào các nhóm sau: 1) Mái nhíp lớn mà hoạt tải nhỏ hơn so với tải bản thân. Nó bao gồm kết cấu lưới phẳng hay không gian; 2) Kết cấu ở các điểm xa và khó đến được từ nơi sản xuất, nên giảm chi phí vận chuyển và dễ dàng lắp dựng rất quan trọng. Nó dùng để chế tạo cầu thang, cầu tạm mà lắp dựng bằng trực thăng hay cần trục tháp; 3) Kết cấu ở nơi ăn mòn hay độ ẩm cao. Nó có thể là mái bể bơi, cầu vượt sông, công trình thủy và các kết cấu trên biển; 4) Các kết cấu di động, tính nhẹ của nhôm cho phép tiết kiệm được năng lượng trong sử dụng. Nó dùng làm cầu di động cho người đi bộ hay ô tô; 5) Kết cấu cho các công trình khó khăn trong bảo dưỡng, vận chuyển như cột ăng ten, tháp nhẹ.

Kết cấu nhôm đã chứng minh được các ưu điểm của nó và cạnh tranh với kết cấu thép trong lĩnh vực kết cấu xây dựng. Việc thiết kế kết cấu nhôm đã được quan tâm và quy định rõ trong các tiêu chuẩn thiết kế của nước ngoài, có thể thấy với ba tiêu chuẩn thiết kế tiêu biểu của Australia, Hoa Kỳ và Châu Âu. Trong khi đó hiện tại chưa có các tiêu chuẩn Việt Nam dùng cho thiết kế kết cấu nhôm. Do đó, bài báo sẽ đi trình bày cách xác định khả năng chịu lực của dầm nhôm hợp kim theo các tiêu chuẩn hiện hành của Australia, Hoa Kỳ và Châu Âu. Cấu kiện nhôm được xem xét tính toán chịu uốn thuần túy trong trường hợp xảy ra mất ổn định tổng thể. Các dạng mất ổn định cục bộ hay ảnh hưởng của mất ổn định cục bộ đến khả năng chịu lực của cấu kiện không được xem xét trong bài báo này. Tiết diện nhôm dùng dạng chữ C, có các đặc trưng vật liệu được lấy từ thí nghiệm thu thập được từ một số nghiên cứu trước ([1], [2]). Bài báo giúp cho người đọc có những hiểu biết sơ bộ về các phương pháp tính toán dầm nhôm theo một số tiêu chuẩn hiện hành và chỉ dẫn áp dụng các phương pháp đó trong xác định khả năng chịu lực của dầm nhôm hợp kim khi bị phá hoại do mất ổn định tổng thể. Các so sánh về phương pháp thiết kế của các tiêu chuẩn sau đó được đưa ra và bàn luận.

2. Thiết kế cấu kiện nhôm theo tiêu chuẩn Australia, Hoa Kỳ và Châu Âu

Trong bài báo chỉ xét đến dạng phá hoại cấu kiện do mất ổn định tổng thể khi chịu uốn thuần túy. Do đó, bài báo cũng chỉ dừng lại ở việc trình bày cách xác định khả năng mất ổn định tổng thể của cấu kiện, còn các dạng mất ổn định cục bộ

hay ảnh hưởng của mất ổn định cục bộ đến khả năng chịu lực của cầu kiện không được đề cập đến.

2.1. Tiêu chuẩn Australia/New Zealand AS/NZS 1664.1:1997

Theo tiêu chuẩn AS/NZS 1664.1: 1997 [3], khả năng chịu lực do uốn khi mất ổn định tổng thể của cầu kiện được xác định bằng cách lấy ứng suất thiết kế tới hạn (F_L) nhân với độ cứng chống uốn (W_{el}) như trong các công thức dưới đây.

$$M_{AS/NZS} = F_L W_{el} \quad (1)$$

FL được xác định như sau:

Khi $L_b/r_y \leq S_1$:

$$F_L = F_{cy} \quad (2)$$

Khi $S_1 < L_b/r_y < S_2$:

$$F_L = B_c - \frac{D_c L_b}{1,2 r_y} \quad (3)$$

Khi $L_b/r_y \geq S_2$:

$$F_L = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{L_b}{1,2 r_y} \right)^2} \quad (4)$$

trong đó

S_1, S_2 là các giới hạn độ mảnh;

L_b là chiều dài của dầm giữa các điểm giằng;

r_y là bán kính quán tính của tiết diện theo trục song song với bản bụng;

B_c, D_c là các hệ số mất ổn định, được xác định theo Bảng 3.3 của Tiêu chuẩn này;

F_{cy} là giới hạn chảy chịu nén.

Ảnh hưởng của mất ổn định cục bộ đến khả năng chịu lực của cầu kiện được xem xét đến và trình bày trong Mục 4.7 của Tiêu chuẩn [3].

2.2. Tiêu chuẩn Hoa Kỳ AA 2015

Khả năng chịu lực của cầu kiện dầm được trình bày trong Chương F của tiêu chuẩn này [4]. Khả năng chịu lực do mất ổn định tổng thể được xác định là giá trị nhỏ nhất trong các giá trị xác định dưới đây.

Chảy dẻo:

$$M_{np} = \text{Min} \left(1,5 S_t F_{ty}; 1,5 S_c F_{cy} \right) \quad (5)$$

Phá hoại giòn:

$$M_{nu} = Z F_{tu} / k_t \quad (6)$$

Mất ổn định tổng thể:

Giai đoạn phi tuyến $\lambda < C_c$:

$$M_{nb} = M_{np} \left(1 - \frac{\lambda}{C_c} \right) + \frac{\pi^2 E \lambda S_{xc}}{C_c^3} \quad (7)$$

Giai đoạn tuyến tính $\lambda \geq C_c$:

$$M_{nb} = \frac{\pi^2 E \lambda S_{xc}}{\lambda^2} \quad (8)$$

trong đó

Z, S_t, S_c tương ứng là độ cứng chống uốn có kể biến dạng dẻo, độ cứng chống uốn theo phía kéo và phía nén

của tiết diện;

S_{xc} là mô men nửa tĩnh của tiết diện đối với trục nén của trục x;

F_{tu} là giới hạn chịu kéo đứt của vật liệu;

F_{cy}, F_{ty} là giới hạn chảy chịu nén và chịu kéo của vật liệu.

Ảnh hưởng của mất ổn định cục bộ đến khả năng chịu lực của cầu kiện cũng được xem xét và trình bày trong Mục F.4 của Tiêu chuẩn [4].

2.3. Tiêu chuẩn Châu Âu BS EN:1999-2007

Tiêu chuẩn này [5] đưa ra cách xác định khả năng chịu lực tiết diện do uốn như công thức sau:

$$M_{c,Rd} = \text{Min} \left(W_{eff} f_y; W_{el} + (W_{pl} - W_{el}) 4 \left(1 - \lambda / \lambda_{el} \right) f_y; W_{pl} f_y \right) \quad (9)$$

trong đó

W_{el}, W_{pl} là độ cứng chống uốn đàn hồi và có xét đến chảy dẻo của tiết diện;

W_{eff} là mô đun chống uốn hiệu dụng của tiết diện. Chi tiết thêm các ký hiệu khác có thể tham khảo trong Tiêu chuẩn [5].

Ảnh hưởng của mất ổn định cục bộ được xem xét đến thông qua việc xác định giá trị hiệu dụng W_{eff} sử dụng phương pháp chiều dày hiệu dụng [5]. Khả năng chịu lực của cầu kiện dầm do mất ổn định tổng thể được xác định bằng khả năng chịu lực của tiết diện nhân với một hệ số giảm khả năng chịu lực cho dầm. Hệ số này được xác định như sau:

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \left(\phi_{LT}^2 - \lambda_{LT}^2 \right)^{0,5}} \leq 1 \quad (10)$$

$$\phi_{LT} = 0,5 \left(1 + \alpha_{LT} (\lambda_{LT} - \lambda_{0,LT}) + \lambda_{LT}^2 \right) \quad (11)$$

trong đó

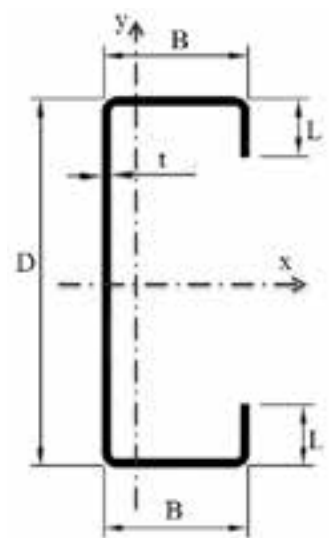
χ_{LT} là hệ số giảm khả năng chịu lực cho nén và uốn;

α_{LT} là các hệ số xét đến ảnh hưởng của sai số hình học;

$\lambda_{0,LT}$ là các giá trị độ mảnh giới hạn cho chịu uốn, xem trong Mục 6.2 [5].

3. Tính toán khả năng chịu lực của dầm nhôm hợp kim theo các tiêu chuẩn hiện hành

Bài báo đưa ra các ví dụ tính toán cụ thể cho một số cầu kiện chịu uốn theo các tiêu chuẩn hiện hành của Australia, Hoa Kỳ và Châu Âu. Tính toán khả năng chịu uốn của dầm nhôm C25025 chiều dài 4,23m theo các Tiêu chuẩn Australia, Hoa Kỳ và Châu Âu với các số liệu tính toán như sau: kích thước của tiết diện C25025 bao gồm chiều cao $D=255\text{mm}$; chiều rộng $B=76\text{mm}$; chiều dài sườn biên $L=25,5\text{mm}$; chiều dày tiết diện $t=2,5\text{mm}$; bán kính trong các góc uốn $r_{inner}=5\text{mm}$ (xem Hình 1). Điều kiện biên cho



Hình 1. Các đặc trưng hình học của tiết diện chữ C

dầm là liên kết khớp theo cả trục x-x và y-y, và tự do xoắn theo trục z, nên $L_x = L_y = L_z = L$.

Các đặc trưng hình học được tính toán sử dụng phần mềm hỗ trợ THIN-WALL-2 [6] bao gồm: $A_g = 1087,5 \text{ mm}^2$; $I_x = 1030000 \text{ mm}^4$; $I_y = 817000 \text{ mm}^4$; $J = 2242$; $C_w = 1,07 \times 10^{10}$; $r_x = 97,32 \text{ mm}$; $r_y = 27,41 \text{ mm}$. Ứng suất mất ổn định cục bộ cũng được xác định từ phần mềm THIN-WALL-2 có giá trị $F_e = 193,2 \text{ MPa}$.

Nhôm hợp kim thuộc loại H5052 có các đặc trưng vật liệu $F_{ty} = 220 \text{ MPa}$; $F_{tu} = 267 \text{ MPa}$; $E = 70000 \text{ MPa}$ được lấy từ nghiên cứu trước ([1], [2]).

3.1. Tiêu chuẩn Australia/ New Zealand

Các đặc trưng cơ học vật liệu $F_{ty} = 220 \text{ MPa}$; $F_{cy} = 198 \text{ MPa}$; $F_{tu} = 267 \text{ MPa}$.

- Ứng suất giới hạn F_L : được xác định theo Mục 3.4.12 trong Tiêu chuẩn này.

Xác định các độ mảnh giới hạn:

$$S_1 = \frac{1,2 \left(B_p - \frac{\phi_y F_{cy}}{\phi_b} \right)}{D_c}$$

$$= \frac{1,2 \times \left(231,54 - \frac{0,95 \times 198}{\phi_b} \right)}{1,63} = 7,54 \quad (\text{Mục 3.4.12})$$

$$S_2 = 1,2 C_c = 1,2 \times 94,65 = 113,57$$

trong đó B_c , C_c và D_c được xác định theo Bảng 3.3 (C) của Tiêu chuẩn

$$B_c = F_{cy} \left(1 + \left(\frac{F_{cy}}{6900} \right)^{1/2} \right)$$

$$= 198 \times \left(1 + \left(\frac{198}{6900} \right)^{1/2} \right) = 231,54$$

$$D_c = \frac{B_p}{20} \left(\frac{6 B_c}{E} \right)^{0,5} = \frac{231,54}{20} \left(\frac{6 \times 231,54}{70000} \right)^{0,5} = 1,63$$

$$C_c = \frac{2 B_c}{3 D_c} = \frac{2 \times 231,54}{3 \times 1,63} = 94,65$$

Xác định tỉ số L_b/r_{ye}

$$L_b = L = 4230 \text{ mm}$$

r_{ye} xác định theo công thức 4.9.2(1) trong tiêu chuẩn

$$r_{ye} = \frac{\sqrt{C_b}}{1,7} \sqrt{\frac{I_y D}{Z_c} \sqrt{1 + 0,152 \frac{J}{I_y} \left(\frac{k_y L_b}{D} \right)^2}}$$

$$= \frac{\sqrt{1,0}}{1,7} \sqrt{\frac{817000 \times 255}{80784} \sqrt{1 + 0,152 \frac{2242}{817000} \left(\frac{1,0 \times 4230}{255} \right)^2}}$$

$$= 30,69 \text{ mm}$$

$$L_b/r_{ye} = 4230/30,69 = 137,81 > S_2 = 113,57$$

Do đó, giá trị ứng suất F_L được xác định theo công thức 3.4.12(3) trong Tiêu chuẩn và bằng:

$$F_L = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{L_b}{1,2 r_{ye}} \right)^2} = \frac{\pi^2 \times 70000}{\left(\frac{4230}{1,2 \times 30,69} \right)^2} = 52,33 \text{ MPa}$$

- Mô men chịu lực danh nghĩa được xác định bằng giá trị ứng suất giới hạn F_L nhân với độ cứng chống uốn tuyến tính (Wel):

$$M_{AS/NZS} = F_L W_{el} = 52,33 \times 80784$$

$$= 4227636 \text{ Nmm} = 4,227 \text{ kNm}$$

- Ảnh hưởng của mất ổn định cục bộ đến khả năng chịu lực của dầm được xác định thông qua Mục 4.7.1 và 4.7.5 của Tiêu chuẩn, bằng cách xác định ứng suất mất ổn định cục bộ của từng thành phần của tiết diện, cụ thể như sau:

Với bản bụng:

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{0,67 h}{t} \right)^2} = \frac{\pi^2 \times 70000}{\left(\frac{0,67 \times (255 - 2 \times 7,5)}{2,5} \right)^2} = 166,82 \text{ MPa}$$

Trong đó

$$h = D - 2(r_{inner} + t) = 255 - 2 \times (5 + 2,5) = 240 \text{ mm}$$

Với bản cánh:

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{1,6 b}{t} \right)^2} = \frac{\pi^2 \times 70000}{\left(\frac{1,6 \times (76 - 2 \times 7,5)}{2,5} \right)^2} = 452,83 \text{ MPa}$$

Trong đó $b = B - 2(r_{inner} + t) = 76 - 2 \times (5 + 2,5) = 61 \text{ mm}$

Với sườn biên:

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{5,1 b}{t} \right)^2} = \frac{\pi^2 \times 70000}{\left(\frac{5,1 \times (25,5 - 7,5)}{2,5} \right)^2} = 511,86 \text{ MPa}$$

Trong đó $b = L - (r_{inner} + t) = 25,5 - (5 + 2,5) = 18 \text{ mm}$

Các giá trị ứng suất mất ổn định cục bộ của các thành phần tiết diện đều lớn hơn giá trị ứng suất $F_L = 52,33 \text{ MPa}$, nên mất ổn định cục bộ không ảnh hưởng đến khả năng chịu lực của dầm đang xem xét.

Do đó, mô men chịu lực của dầm $M_{AS/NZS} = 4,227 \text{ kNm}$.

3.2. Tiêu chuẩn Hoa Kỳ

Nhôm hợp kim thuộc loại H5052 có các đặc trưng vật liệu $F_{ty} = 220 \text{ MPa}$; $F_{cy} = 198 \text{ MPa}$; $F_{tu} = 267 \text{ MPa}$. Khả năng chịu uốn của dầm C25025 được xác định là giá trị nhỏ nhất trong các thành phần sau:

- Mô men chảy dẻo:

$$M_{np} = \text{Min}(Z F_{cy}, 1,5 S_t F_{ty}, 1,5 S_c F_{cy})$$

S_t và S_t là các thành phần mô đun tiết diện với thớ kéo và thớ nén của tiết diện

$$S_t = S_c = 2 \times I_y / D = 8,08 \times 10^4 (\text{mm}^3)$$

Z là mô đun chảy dẻo của tiết diện;

$$Z = 2 \times [(B - t) \times B \times (0,5 \times (D - t)) + (0,5 \times (D - t))^2 \times 0,5 \times t + (B - 0,5 \times t) \times t \times (0,5 \times (D - t) - 0,5 \times (L - 0,5 \times t))] = 100082,19 \text{ mm}^3$$

$$M_{np} = \text{Min}(100082,19 \times 198; 1,5 \times 8,08 \times 10^4 \times 198; 1,5 \times 8,08 \times 10^4 \times 220)$$

$$= 1,98 \times 10^7 \text{ Nmm} = 19,8 \text{ kNm}$$

- Mô men phá hoại giòn:

$$M_{nu} = ZF_{tu}/k_t = 100082,19 \times 267/1 = 2,67 \times 10^7 \text{ Nmm} \\ = 26,7 \text{ kNm} \quad (\text{trong đó } k_t = 1.0)$$

- Mô men mất ổn định cục bộ: được xác định theo Mục F.3.2 tiêu chuẩn Hoa Kỳ [4]

$$M_{nib} = F_b S_{xc} = 180,32 \times 8,08 \times 10^4 = 1,46 \times 10^7 \text{ Nmm} \\ = 14,6 \text{ kNm}$$

$$\text{trong đó: } S_{xc} = 8,08 \times 10^4 \text{ mm}^3$$

Fb được xác định theo Mục B.5.5.5 của tiêu chuẩn Hoa Kỳ [4]:

$$\lambda_1 = \frac{B_p - F_{cy}}{D_p} = \frac{277,71 - 198}{2,142} = 37,209$$

$$\lambda_2 = C_p = 86,149$$

$$\lambda_{eq} = \pi \sqrt{\frac{E}{F_c}} = \pi \sqrt{\frac{70000}{193,2}} = 59,76$$

F_e là ứng suất mất ổn định cục bộ của tiết diện, như đề bài đã đưa ra F_e = 193,2 MPa

Do $\lambda_1 < \lambda_{eq} < \lambda_2$, Fb được xác định như sau:

$$F_b = \frac{M_{np}}{S_{xc}} - \left(\frac{M_{np}}{S_{xc}} - \frac{\pi^2 E}{C_p^2} \right) \left(\frac{\lambda_{eq} - \lambda_1}{C_p - \lambda_1} \right) \\ = \frac{1,98 \times 10^7}{8,08 \times 10^4} - \left(\frac{1,98 \times 10^7}{8,08 \times 10^4} - \frac{\pi^2 \times 70000}{86,149^2} \right) \left(\frac{59,76 - 37,209}{86,149 - 37,209} \right) \\ = 180,32 \text{ MPa}$$

Trong đó B_p, C_p, D_p được xác định theo Bảng B.4.1.

$$D_p = \frac{B_p}{20} \left(\frac{6B_p}{E} \right)^{0,5} = \frac{277,71}{20} \left(\frac{6 \times 277,71}{70000} \right)^{0,5} = 2,142$$

(trong đó k = 6,895 theo tiêu chuẩn)

$$D_p = \frac{B_p}{20} \left(\frac{6B_p}{E} \right)^{0,5} = \frac{277,71}{20} \left(\frac{6 \times 277,71}{70000} \right)^{0,5} = 2,142$$

$$C_p = \frac{2B_p}{3D_p} = \frac{2 \times 277,71}{3 \times 2,142} = 86,149$$

- Mô men mất ổn định tổng thể:

Xác định độ mảnh:

$$\lambda = \frac{L_b}{r_{ye} \sqrt{C_b}} = \frac{4230}{35,9 \times \sqrt{1}} = 117,79$$

Trong đó C_b là hệ số chịu uốn, C_b = 1,0 cho trường hợp này.

$$L_b = L = 4230 \text{ (mm)}$$

$$r_{ye} = r_y D / (2r_x) = 27,41 \times 255 / (2 \times 97,32) = 35,9 \text{ mm}$$

Hệ số C_c được xác định theo Bảng B.4.1 trong tiêu chuẩn [4]

$$B_c = F_{cy} \left(1 + \left(\frac{F_{cy}}{1000k} \right)^{1/2} \right) \\ = 198 \times \left(1 + \left(\frac{198}{1000 \times 6,895} \right)^{1/2} \right) = 231,55$$

(trong đó k = 6,895 theo tiêu chuẩn)

$$D_c = \frac{B_p}{20} \left(\frac{6B_c}{E} \right)^{0,5} = \frac{231,55}{20} \left(\frac{6 \times 231,55}{70000} \right)^{0,5} = 1,631$$

$$C_c = \frac{2B_c}{3D_c} = \frac{2 \times 231,55}{3 \times 1,631} = 94,64$$

Với $\lambda = 117,79 > C_c = 94,64$, mô men mất ổn định tổng thể:

$$M_{nmb} = \frac{\pi^2 E S_{xc}}{\lambda^2} = \frac{\pi^2 \times 70000 \times 8,08 \times 10^4}{117,79^2} \\ = 3869107 \text{ Nmm} = 3,869 \text{ kNm}$$

- Ảnh hưởng đồng thời của mất ổn định cục bộ và mất ổn định tổng thể:

Xác định ứng suất mất ổn định cục bộ Fe của bản cánh theo Mục B.5.6 [4]:

$$b/t = (B - 2 \times (r_{inner} + t))/t = (76 - 2 \times 7,5)/2,5 = 24,4.$$

$$\lambda_e = 1,28 \sqrt{E/F_{cy}} = 1,28 \sqrt{70000/198} = 24,07$$

Do $\lambda_e < b/t < 2\lambda_e$ nên xác định được:

$$\rho_{st} = \frac{r_s}{1,5t \left(\frac{b/t}{\lambda_e} + 3 \right)} = \frac{10,39}{1,5 \times 2,5 \left(\frac{24,4}{24,07} + 3 \right)} = 0,69$$

(Theo Mục B.5.4.3)

Trong đó:

$$r_s = (d_s \sin \theta_s) / \sqrt{3} = (L - r_{inner} - t) \times \sin(90^\circ) / \sqrt{3} = 10,39$$

$$F_c = (1 - \rho_{st}) \frac{\pi^2 E}{(5,0b/t)^2} + \rho_{st} \frac{\pi^2 E}{(1,6b/t)^2} \\ = (1 - 0,69) \times \frac{\pi^2 \times 70000}{(5,0 \times 24,4)^2} + 0,69 \times \frac{\pi^2 \times 70000}{(1,6 \times 24,4)^2}$$

$$F_c = 327,01 \text{ MPa} > F_b = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2} = \frac{\pi^2 \times 70000}{117,79^2} = 49,74 \text{ MPa}$$

Suy ra, mất ổn định cục bộ và mất ổn định tổng thể không xảy ra đồng thời.

Do đó, khả năng chịu uốn của dầm C25025 có chiều dài 4,23m được xác định bằng:

$$M_{nmb} = \min(19,8 \text{ kNm}; 14,6 \text{ kNm}; 3,869 \text{ kNm}) = 3,869 \text{ kNm}.$$

Dầm bị phá hoại do mất ổn định tổng thể.

3.3. Tiêu chuẩn Châu Âu

Nhôm hợp kim có các đặc trưng vật liệu $F_{ty} = F_{cy} = 220 \text{ MPa}$; $F_{tu} = 267 \text{ MPa}$. Bán kính trong của góc uốn $r_{inner} = 5 \text{ mm} < (10t = 25 \text{ mm})$ và $0,15b_p = 0,15 \times (76 - 2,5) = 11 \text{ mm}$, nên ảnh hưởng của các góc uốn này có thể bỏ qua theo như quy định tại Mục 5.1 Tiêu chuẩn Châu Âu [5]. Khả năng chịu uốn của dầm C25025 được xác định như sau:

- Xác định độ cứng chống uốn hữu hiệu của tiết diện thông qua xác định kích thước hữu hiệu của từng thành phần của tiết diện

Bản cánh có độ mảnh danh nghĩa được xác định bằng

$$\lambda_p^- = 1,052 \frac{b_p}{t} \sqrt{\frac{f_0}{E k_\sigma}} = 1,052 \frac{73,5}{2,5} \sqrt{\frac{220}{70000 \times 4}} \\ = 0,8669 > \lambda_{lim} = 0,517$$

(Bảng 5.2 [5])

trong đó

$$b_p = B - t = 76 - 2,5 = 73,5\text{mm}$$

Hệ số mất ổn định $k_\sigma = 4,0$ (Theo Bảng 5.3 [5])

$$f_0 = F_{cy} = 220 \text{ MPa}$$

Hệ số giảm chiều dày tiết diện được xác định theo Công thức 5.2(a) và 5.2 (b) [5] và bằng

$$\rho = \frac{\alpha \left(1 - \frac{0,22}{\lambda_p^-} \right)}{\lambda_p^-} = \frac{0,9 \left(1 - \frac{0,22}{0,8669} \right)}{0,8669} = 0,7746$$

Chiều dày hữu hiệu của bản cánh nén xác định bằng:

$$t_{\text{eff}} = 0,7746 \times 2,5 = 1,9367 \text{ mm}$$

Sườn biên có độ mảnh danh nghĩa được xác định bằng

$$\lambda_p^- = 1,052 \frac{b_p}{t} \sqrt{\frac{f_0}{E k_\sigma}} = 1,052 \frac{24,25}{2,5} \sqrt{\frac{220}{70000 \times 0,43}} = 0,8067 > \lambda_{\text{lim}} = 0,517$$

(Bảng 5.2 [5])

trong đó

$$b_p = L - 0,5t = 25,5 - 0,5 \times 2,5 = 24,25\text{mm}$$

Hệ số mất ổn định $k_\sigma = 0,43$ (Theo Bảng 5.3 [5])

$$f_0 = F_{cy} = 220 \text{ MPa}$$

Hệ số giảm chiều dày tiết diện được xác định theo Công thức 5.2(a) và 5.2 (b) [5] và bằng

$$\rho = \frac{\alpha \left(1 - \frac{0,22}{\lambda_p^-} \right)}{\lambda_p^-} = \frac{0,9 \left(1 - \frac{0,22}{1,219} \right)}{1,219} = 0,6047$$

Chiều dày hữu hiệu sườn biên chịu nén bằng:

$$t_{\text{eff}} = 0,811 \times 2,5 = 2,0286\text{mm}$$

Bản bụng có độ mảnh danh nghĩa được xác định bằng

$$\lambda_p^- = 1,052 \frac{b_p}{t} \sqrt{\frac{f_0}{E k_\sigma}} = 1,052 \frac{252,5}{2,5} \sqrt{\frac{220}{70000 \times 23,85}} = 1,219 > \lambda_{\text{lim}} = 0,517$$

(Bảng 5.2 [5])

trong đó

$$b_p = H - t = 255 - 2,5 = 252,5\text{mm}$$

Hệ số ψ được lấy bằng (-1) do tiết diện đối xứng theo trục khỏe.

Hệ số mất ổn định:

$$k_\sigma = 7,81 - 6,26 \psi + 9,78 \psi^2 = 7,81 - 6,26 \times (-1) + 9,78 \times (-1)^2 = 23,85$$

(Theo Bảng 5.3 [5])

$$f_0 = F_{cy} = 220\text{MPa}$$

Hệ số giảm chiều dày tiết diện được xác định theo Công thức 5.2(a) và 5.2 (b) [5] và bằng

$$\rho = \frac{\alpha \left(1 - \frac{0,22}{\lambda_p^-} \right)}{\lambda_p^-} = \frac{0,9 \left(1 - \frac{0,22}{1,219} \right)}{1,219} = 0,6047$$

Chiều dày hữu hiệu bản bụng chịu nén bằng:

$$t_{\text{eff}} = 0,6047 \times 2,5 = 1,5119\text{mm}$$

Tính lặp cho bản bụng:

$$\lambda_p^- = 1,052 \frac{b_p}{t} \sqrt{\frac{f_0}{E k_\sigma}} = 1,052 \frac{252,5}{2,5} \sqrt{\frac{220}{70000 \times 22,005}} = 1,268 > \lambda_{\text{lim}} = 0,517$$

(Bảng 5.2[5])

trong đó

$$b_p = H - t = 255 - 2,5 = 252,5 \text{ mm}$$

Hệ số ψ được xác định bằng (-0,9265) căn cứ theo Bảng 5.5 [5]

Hệ số mất ổn định

$$k_\sigma = 7,81 - 6,26 \psi + 9,78 \psi^2 = 7,81 - 6,26 \times (-0,9265) + 9,78 \times (-0,9265)^2 = 22,005$$

(Theo Bảng 5.3 [5])

$$f_0 = F_{cy} = 220 \text{ MPa}$$

Hệ số giảm chiều dày tiết diện được xác định theo Công thức 5.2(a) và 5.2 (b) [5] và bằng

$$\rho = \frac{\alpha \left(1 - \frac{0,22}{\lambda_p^-} \right)}{\lambda_p^-} = \frac{0,9 \left(1 - \frac{0,22}{1,219} \right)}{1,219} = 0,5859$$

Chiều dày hữu hiệu bản bụng chịu nén bằng:

$$t_{\text{eff}} = 0,5859 \times 2,5 = 1,4649\text{mm}$$

Quy trình tính lặp được thực hiện đến khi giá trị chiều dày hữu hiệu đạt đến một giá trị ổn định và được xác định bằng $t_{\text{eff}} = 1,4257\text{mm}$

Do đó, tiết diện hữu hiệu được xác định và tính toán được các đặc trưng hình học của tiết diện, bao gồm:

$$I_{\text{eff}} = 8956583\text{mm}^4; W_{\text{eff}} = 68337,05\text{mm}^3.$$

- Hệ số giảm khả năng chịu lực được xác định như sau:

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \lambda^2}} = \frac{1}{3,0184 + \sqrt{3,0184^2 - 2,16425^2}} = 0,19521$$

trong đó

$$\phi_{LT} = 0,5 \left[1 + \alpha_{LT} (\lambda_{LT} - \lambda_{0,LT}) + \lambda_{LT}^2 \right] = 0,5 \times \left[1 + 0,2 \times (2,16425 - 0,4) + 2,16425^2 \right] = 3,0184$$

Hệ số sai số hình học: $\alpha_{LT} = 0,2$ (Theo mục 6.3.2.2 [7]);

Giá trị độ mảnh giới hạn: $\lambda_{0,LT} = 0,4$ (Mục 6.3.2.2 [7]);

Độ mảnh tương đối do uốn:

$$\lambda_{LT} = \sqrt{\frac{\alpha W_{\text{eff}} f_0}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{1,2065 \times 68337,05 \times 220}{3872590,3}} = 2,16425$$

Hệ số ảnh hưởng của hình dạng tiết diện $\alpha = W_{pl}/W_{el} = 1,2065$ (Sử dụng bảng tính để xác định);

$$W_{\text{eff}} = 68337,05 \text{ mm}^3;$$

Mô men mất ổn định tuyến tính tổng thể (Theo Phụ lục I.1 [7])

$$M_{cr} = \frac{\pi^2 E I_z}{L^2} \sqrt{\frac{L^2 G I_t}{\pi^2 E I_z} + \frac{I_w}{I_z}} = 3872590,3 \text{ Nmm}$$

(Xem tiếp trang 50)

sở đánh giá khả năng làm việc của hệ thống (chỉ tiêu xác suất làm việc không hỏng, hệ số sẵn sàng), dự kiến được thời điểm sửa chữa (chỉ tiêu thời gian làm việc, thời gian phục hồi). Để có được đủ dữ liệu xác định các chỉ tiêu độ tin cậy của hệ thống chữa cháy bằng nước, các cơ sở cũng như đơn vị quản lý cần chặt chẽ hơn trong việc yêu cầu thực hiện đầy đủ các chế độ kiểm tra, bảo dưỡng vận hành hệ thống theo quy định và thông tin phải được lưu lại trong nhật ký theo dõi hoặc biên bản kiểm tra. Điều này giúp tăng hiệu quả hoạt động và tuổi thọ của hệ thống./.

Tài liệu tham khảo

1. Nguyễn Hữu Lộc. Độ tin cậy trong thiết kế kỹ thuật. NXB đại học quốc gia TP.Hồ Chí Minh – 2002.
2. TCVN 7336-2003. Phòng cháy chữa cháy. Hệ thống Sprinkler tự động. Yêu cầu thiết kế và lắp đặt.
3. Markaryan A.Y. The equation of the main characteristic of the rotary pump, Reports of NAS, 2002, vol.102, N 2, Armenian.
4. Wiliam E Koffel, P.E. Reliability of Automatic Sprinkler System, Fire Protection Engineering, 2005.

Xác định khả năng chịu lực của dầm nhôm hợp kim...

(Tiếp theo trang 46)

- Mô men chịu lực danh nghĩa của cấu kiện dầm

$$\begin{aligned} M_{b,Rd} &= \chi_{LT} \alpha W_{eff} f_0 / \gamma_{M1} \\ &= 0,19521 \times 0,2 \times 68337,05 \times 220 \\ &= 3541125,71 \text{ Nmm} = 3,541 \text{ kNm} \end{aligned}$$

4. So sánh và thảo luận

Thông qua việc thực hành tính toán các cấu kiện dầm nhôm hợp kim theo các tiêu chuẩn khác nhau, một số nhận xét có thể thấy như sau:

- Về vật liệu, giới hạn chảy chịu nén của vật liệu nhôm theo tiêu chuẩn Australia và Hoa Kỳ được xác định lấy bằng 0,9 lần so với giới hạn chảy khi chịu kéo, trong khi đó hai giá trị này được lấy như nhau theo tiêu chuẩn Châu Âu.

- Cách thức xác định các giá trị độ mảnh cấu kiện hay độ mảnh cấu kiện danh nghĩa của Tiêu chuẩn Australia và Hoa Kỳ khá tương đồng với nhau đều thông qua việc xác định các hệ số Bc, Cc, Dc bằng cách sử dụng các bảng tra. Phương pháp tính của hai tiêu chuẩn này có những sự tương đồng nhất định trong thiết kế.

- Tiêu chuẩn Châu Âu lại tiếp cận theo một cách thức khác hoàn toàn so với hai tiêu chuẩn của Australia và Hoa Kỳ. Tiêu chuẩn này dùng phương pháp chiều dày hữu hiệu trong thiết kế để xác định khả năng chịu lực của tiết diện, sau đó được nhân với hệ số ảnh hưởng của mất ổn định tổng thể liên quan đến các thành phần độ mảnh của cấu kiện.

Tương tự như các tính toán trên, bài báo đưa ra các tính toán cho một số cấu kiện sử dụng tiết diện C25025 với các chiều dài khác nhau, và tập hợp lại trong Bảng 1 dưới đây.

Bảng 1. Kết quả tính toán một số cấu kiện dầm nhôm tiết diện C25025 với các chiều dài khác nhau theo các tiêu chuẩn (Đơn vị: kNm)

Cấu kiện	Tiêu chuẩn Australia	Tiêu chuẩn Hoa Kỳ	Tiêu chuẩn Châu Âu
C25025-4,23m	4,227	3,869	3,541
C25025-5,0m	2,839	2,531	2,435
C25025-6,0m	2,208	1,923	1,919
C25025-7,0m	1,676	1,413	1,478

Bảng 1 cho thấy kết quả tính toán của các tiêu chuẩn cũng khá tương đồng nhau, đặc biệt là theo Tiêu chuẩn Hoa Kỳ và Châu Âu, còn kết quả đưa ra cao hơn một chút khi dùng Tiêu chuẩn Australia.

5. Kết luận

Bài báo đã trình bày các phương pháp xác định khả năng chịu lực của dầm nhôm hợp kim bị phá hoại do mất ổn định tổng thể theo các tiêu chuẩn hiện hành của Australia, Hoa Kỳ và Châu Âu. Các quy định và chỉ dẫn sơ bộ đã được trình bày ngắn gọn trong bài báo giúp cho người được có thể nắm bắt được các điểm chính trong thiết kế cấu kiện dầm nhôm hợp kim theo các tiêu chuẩn hiện hành trên. Các ví dụ cụ thể được thực hiện giúp cho người đọc có thể làm theo phục vụ cho quá trình nghiên cứu cũng như thiết kế loại cấu kiện này. Các so sánh về phương pháp tính toán của các tiêu chuẩn cũng được đưa ra thảo luận và nhận xét./.

Tài liệu tham khảo

1. L.A.T. Huynh, C.H. Pham, and K.J.R. Rasmussen, "Mechanical Properties of Cold-rolled Aluminium Alloy 5052 Channel Sections," in *Proceeding of 8th International Conference on Steel and Aluminium Structures*, pp. 670–684, 2016.
2. L.A.T. Huynh, C.H. Pham, and K.J.R. Rasmussen, "Mechanical properties and residual stresses in cold-rolled aluminium channel sections," *Engineering Structures*, vol. 199, 109562, 2019.
3. AS/NZS1664.1:1997, Australian / New Zealand Standard. Part 1: Limit state design. Homebush NSW 2140, 1997.
4. Aluminum Association, *Aluminum Design Manual*. Washing DC, 2015.
5. European Committee for Standardization, *Eurocode 9: Design of aluminium structures-Part 1-4: Cold-formed structural sheeting*. European Standard, 2007.
6. V.V. Nguyen, G.J. Hancock, and C.H. Pham, "Development of the Thin-Wall-2 for Buckling Analysis of Thin-Walled Sections Under Generalised Loading," in *Proceeding of 8th International Conference on Advances in Steel Structures*, 2015.
7. European Committee for Standardization, *Eurocode 9: Design of aluminium structures. Part 1-1: General structural rules*. European Standard, 2007.