

Xác định khả năng chịu lực của tiết diện thép tạo hình nguội chữ C có khoét lỗ chịu nén, uốn

Determination of sectional capacities of cold-formed steel channel sections with holes under compression or bending

Phạm Ngọc Hiếu

Tóm tắt

Cấu kiện thép tạo hình nguội thường được khoét lỗ để bố trí các hệ thống kỹ thuật trong công trình. Sự có mặt các lỗ khoét này làm giảm khả năng chịu lực của loại tiết diện này. Bài báo do đó sẽ trình bày cách xác định khả năng chịu lực của tiết diện thép chữ C tạo hình nguội có khoét lỗ chịu nén hoặc uốn sử dụng Phương pháp Cường độ trực tiếp (DSM) theo Tiêu chuẩn Mỹ AISI S100-2016. Một phần mềm phân tích mất ổn định tuyến tính phát triển bởi Viện thép và kim loại Mỹ được sử dụng để phân tích mất ổn định tuyến tính cho tiết diện chữ C khoét lỗ. Các ví dụ tính toán được đưa ra để xác định khả năng chịu lực của tiết diện khoét lỗ và sau đó so sánh với khả năng chịu lực của tiết diện nguyên.

Từ khóa: Khả năng chịu lực; Tiết diện thép tạo hình nguội; Khoét lỗ; Chịu nén, uốn

Abstract

Cold-formed steel members with holes are commonly used to accommodate the technical systems in the walls or ceilings. The presence of holes can lead to the reduction of their sectional capacities. This paper, therefore, presents the determination of sectional capacities of cold-formed steel channel sections under compression or bending using the Direct Strength Method (DSM) according to the Specification AISI S100-2016. An elastic buckling analysis software developed by the American Iron and Steel Institute is used to analyze elastic buckling for channel sections with holes. Examples are given for the determination of sectional capacities of channel sections with holes, which are then compared to those of gross sections.

Key words: Sectional capacities; Cold-formed steel sections; Holes; Under compression & bending

TS. Phạm Ngọc Hiếu

Bộ môn Kết cấu thép gỗ, Khoa Xây dựng

Email: hieupn@hau.edu.vn

ĐT: 0862120185

Ngày nhận bài: 19/7/2021

Ngày sửa bài: 28/8/2021

Ngày duyệt đăng: 9/3/2022

1. Giới thiệu

Các lỗ khoét có thể được thấy trong nhiều cấu kiện thép tạo hình nguội. Các lỗ khoét này thường được bố trí tại bản bụng các tiết diện chữ C hay chữ Z nhằm cho phép các đường ống kỹ thuật điện, nước, điều hòa đi xuyên qua tường hay sàn. Sự có mặt của các lỗ khoét đã làm ảnh hưởng đến tính ổn định và khả năng chịu lực của cấu kiện thép tạo hình nguội [1], và đã được xem xét đến thông qua việc quy định riêng cho thiết kế các cấu kiện có khoét lỗ trong tiêu chuẩn AISI S100-2016 [2] bằng cách sử dụng phương pháp Cường độ trực tiếp (DSM). Phương pháp này có thể áp dụng cho các lỗ dạng hình tròn, bầu dục, chữ nhật hoặc lỗ dạng rãnh dài.

Phân tích mất ổn định tuyến tính là một yêu cầu bắt buộc khi sử dụng phương pháp Cường độ trực tiếp trong thiết kế. Với tiết diện nguyên, phân tích mất ổn định được thực hiện bằng cách sử dụng các phần mềm CUFSM [3] hay THIN-WALL-2 [4], chi tiết xem thêm trong Phạm [5]. Các phần mềm trên được phát triển dựa trên nguyên lý phương pháp dải bán hữu hạn, mà không mô tả được sự không liên tục do các lỗ khoét. Do đó, một phương pháp gần đúng đã được phát triển dựa trên các nghiên cứu của Moen và Schafer ([6],[7],[8]) để xác định các thành phần tải mất ổn định tuyến tính của tiết diện và cấu kiện. Để hỗ trợ cho các phân tích này trong thiết kế, một mô đun phần mềm đã được phát triển bởi Viện kim loại và thép của Mỹ cho phép xác định các thông tin mất ổn định tiết diện một cách nhanh chóng và đơn giản. Chi tiết về mô đun phần mềm này được trình bày chi tiết trong ([9], [10]), và phần mềm này được dùng trong bài báo này để hỗ trợ cho các phân tích mất ổn định tuyến tính của tiết diện.

Báo cáo sẽ đi trình bày cách xác định khả năng chịu lực tiết diện của thép tạo hình nguội chữ C có khoét lỗ. Theo đó làm cơ sở đưa ra các ví dụ tính toán khả năng chịu lực của tiết diện khoét lỗ và có sự so sánh với khả năng chịu lực của các tiết diện nguyên.

2. Xác định khả năng chịu lực của tiết diện thép tạo hình nguội có khoét lỗ chịu nén hoặc uốn theo Tiêu chuẩn AISI S100-16

Thiết kế cấu kiện có khoét lỗ được đưa ra tại Chương E và F tương ứng cho các cấu kiện chịu nén và uốn của tiêu chuẩn AISI S100-2016 [2] bằng cách sử dụng phương pháp Cường độ trực tiếp (DSM). Khả năng chịu lực của tiết diện thép tạo hình nguội có khoét lỗ chịu nén hay uốn được xác định theo trình bày dưới đây.

2.1. Khả năng chịu nén của tiết diện tạo hình nguội có khoét lỗ

Khả năng chịu nén danh nghĩa của tiết diện thép tạo hình nguội có khoét lỗ được xác định là giá trị nhỏ nhất trong ba thành phần sau: 1) Lực gây chảy dẻo của tiết diện giảm yếu P_{ynet} ; 2) Lực gây mất ổn định cục bộ của tiết diện P_{nl} ; 3) Lực gây mất ổn định méo của tiết diện P_{nd} . Các thành phần này được xác định như sau:

- Lực gây chảy dẻo của tiết diện giảm yếu:

$$P_{ynet} = A_{net} F_y \quad (1)$$

Trong đó A_{net} là diện tích tiết diện giảm yếu; F_y là ứng suất chảy của vật liệu thép.

- Lực gây mất ổn định cục bộ của tiết diện:

$$\text{Với } \lambda_1 \leq 0,776: P_{nl} = P_y \quad (2)$$

Với $\lambda_1 > 0,776$:

$$P_{nl} = \left[1 - 0,15 \left(\frac{P_{cr1}}{P_y} \right)^{0,4} \right] \left(\frac{P_{cr1}}{P_y} \right)^{0,4} P_y \quad (3)$$

Trong đó:

λ_1 là độ mảnh danh nghĩa do mất ổn định cục bộ,
 $\lambda_1 = \sqrt{P_y / P_{cr1}}$;

P_y là lực gây chảy dẻo của tiết diện nguyên;

P_{cr1} là lực gây mất ổn định tuyến tính cục bộ khi chịu nén của tiết diện có khoét lỗ, được xác định bằng cách sử dụng các phân tích mất ổn định.

- Lực gây mất ổn định méo tiết diện:

Lực gây mất ổn định méo tiết diện được xác định căn cứ theo độ mảnh danh nghĩa λ_d , cụ thể như sau:

Nếu $\lambda_d \leq \lambda_{d2}$ với λ_{d2} được xác định như công thức (9):

Với $\lambda_d \leq \lambda_{d1}$: $P_{nd} = P_{ynet}$ (4)

Với $\lambda_{d1} < \lambda_d \leq \lambda_{d2}$:

$$P_{nd} = P_{ynet} - \left(\frac{P_{ynet} - P_{d2}}{\lambda_{d2} - \lambda_{d1}} \right) (\lambda_d - \lambda_{d1}) \quad (5)$$

Nếu $\lambda_d > \lambda_{d2}$:

Với $\lambda_d \leq 0,561$: $P_{nd} = P_y$ (6)

Với $\lambda_d > 0,561$:

$$P_{nd} = \left[1 - 0,25 \left(\frac{P_{crd}}{P_y} \right)^{0,6} \right] \left(\frac{P_{crd}}{P_y} \right)^{0,6} P_y \quad (7)$$

Trong đó:

λ_d là độ mảnh danh nghĩa mất ổn định méo tiết diện,
 $\lambda_d = \sqrt{P_y / P_{crd}}$;

P_y là lực gây chảy dẻo của tiết diện nguyên;

P_{ynet} là lực gây chảy dẻo của tiết diện giảm yếu;

$$\lambda_{d1} = 0,561 \left(\frac{P_{ynet}}{P_y} \right); \quad (8)$$

$$\lambda_{d2} = 0,561 \left[14 \left(\frac{P_y}{P_{ynet}} \right)^{0,4} - 13 \right]; \quad (9)$$

$$P_{d2} = \left[1 - 0,25 \left(\frac{1}{\lambda_{d2}} \right)^{1,2} \right] \left(\frac{1}{\lambda_{d2}} \right)^{1,2} P_y; \quad (10)$$

P_{crd} là lực gây mất ổn định tuyến tính méo tiết diện khi chịu nén của tiết diện có khoét lỗ, được xác định bằng cách sử dụng các phân tích mất ổn định.

2.2. Khả năng chịu uốn của tiết diện tạo hình nguội có khoét lỗ

Mô men uốn danh nghĩa của tiết diện thép tạo hình nguội có khoét lỗ được xác định là giá trị nhỏ nhất trong ba thành phần sau: 1) Mô men chảy dẻo của tiết diện giảm yếu M_{ynet} ; 2) Mô men mất ổn định cục bộ của tiết diện M_{nl} ; 3) Mô men mất ổn định méo của tiết diện M_{nd} . Các thành phần mô men này được xác định như sau:

- Mô men chảy dẻo của tiết diện giảm yếu:

$$M_{ynet} = S_{fnet} F_y \quad (11)$$

Trong đó S_{fnet} là mô đun chống uốn tiết diện giảm yếu; F_y là ứng suất chảy của vật liệu thép.

- Mô men mất ổn định cục bộ của tiết diện:

$$\text{Với } \lambda_1 \leq 0,776: M_{nl} = M_y \quad (12)$$

$$\text{Với } \lambda_1 > 0,776: \quad (13)$$

Trong đó

λ_1 là độ mảnh danh nghĩa mất ổn định cục bộ,
 $\lambda_1 = \sqrt{M_y / M_{cr1}}$;

M_y là mô men chảy dẻo của tiết diện nguyên;

M_{cr1} là mô men mất ổn định tuyến tính cục bộ khi chịu uốn của tiết diện có khoét lỗ, được xác định bằng cách sử dụng các phân tích mất ổn định.

- Mô men mất ổn định méo của tiết diện:

Mô men mất ổn định méo tiết diện được xác định căn cứ theo độ mảnh danh nghĩa λ_d , cụ thể như sau:

Nếu $\lambda_d \leq \lambda_{d2}$ với λ_{d2} được xác định như công thức (19):

Với $\lambda_d \leq \lambda_{d1}$: $M_{nd} = M_{ynet}$ (14)

Với $\lambda_{d1} < \lambda_d \leq \lambda_{d2}$:

$$M_{nd} = M_{ynet} - \left(\frac{M_{ynet} - M_{d2}}{\lambda_{d2} - \lambda_{d1}} \right) (\lambda_d - \lambda_{d1}) \quad (15)$$

Nếu $\lambda_d > \lambda_{d2}$:

Với $\lambda_d \leq 0,673$: $M_{nd} = M_y$ (16)

Với $\lambda_d > 0,673$:

$$M_{nd} = \left[1 - 0,22 \left(\frac{M_{crd}}{M_y} \right)^{0,5} \right] \left(\frac{M_{crd}}{M_y} \right)^{0,5} M_y \quad (17)$$

Trong đó:

λ_d là độ mảnh danh nghĩa mất ổn định méo tiết diện,
 $\lambda_d = \sqrt{M_y / M_{crd}}$;

M_y là mô men chảy dẻo của tiết diện nguyên;

M_{ynet} là mô men chảy dẻo của tiết diện giảm yếu;

$$\lambda_{d1} = 0,673 \left(\frac{M_{ynet}}{M_y} \right)^3 \quad (18)$$

$$\lambda_{d2} = 0,673 \left[1,7 \left(\frac{M_y}{M_{ynet}} \right)^{2,7} - 0,7 \right] \quad (19)$$

$$M_{d2} = \left[1 - 0,22 \left(\frac{1}{\lambda_{d2}} \right) \right] \left(\frac{1}{\lambda_{d2}} \right) M_y \quad (20)$$

M_{crd} là mô men mất ổn định tuyến tính méo tiết diện khi chịu uốn của tiết diện có khoét lỗ, được xác định bằng cách sử dụng các phân tích mất ổn định.

3. Ví dụ tính toán

3.1. Khả năng chịu nén của tiết diện C20015 có khoét lỗ

Tiết diện C20015 dùng trong tính toán với các số liệu cụ thể như sau: chiều cao $D = 203\text{mm}$; chiều rộng $B = 76\text{mm}$; sườn biên $L = 19,5\text{mm}$; chiều dày $t = 1,5\text{mm}$; chiều cao lỗ khoét $h_{\text{hole}} = 40\text{mm}$; chiều dài lỗ khoét bằng 200mm. Các kích thước tiết diện được biểu diễn trên Hình 1. Sử dụng các hệ giằng chống chuyển vị ngang và chống xoắn để ngăn cản mất ổn định tổng thể. Khi đó khả năng chịu lực của cấu kiện sẽ tiến tới là khả năng chịu lực của tiết diện. Vật liệu thép có các thông số: Ứng suất chảy $F_y = 345\text{MPa}$; Mô đun đàn hồi $E = 203400\text{MPa}$;

Sử dụng các phần mềm phân tích mất ổn định như đã đề cập trong mục 1, xác định được các giá trị sau: Lực gây chảy

dẻo của tiết diện nguyên $P_y = 195,47$ (kN); Lực gây chảy dẻo của tiết diện giảm yếu $P_{ynet} = 174,77$ (kN); Các giá trị lực gây mất ổn định tiết diện: $P_{crl} = 31,22$ (kN); $P_{crd} = 66,285$ (kN).

- Lực gây mất ổn định cục bộ:

Độ mảnh danh nghĩa cục bộ:

$$\lambda_1 = \sqrt{\frac{P_y}{P_{crl}}} = \sqrt{\frac{195,47}{31,22}} = 2,502$$

Vì $\lambda_1 > 0,776$, nên P_{nl} được xác định như sau:

$$\begin{aligned} P_{nl} &= \left[1 - 0,15 \left(\frac{P_{crl}}{P_y} \right)^{0,4} \right] \left(\frac{P_{crl}}{P_y} \right)^{0,4} P_y \\ &= \left[1 - 0,15 \left(\frac{31,22}{195,47} \right)^{0,4} \right] \left(\frac{31,22}{195,47} \right)^{0,4} \times 195,47 \\ &= 87,089 \text{ (kN)} \end{aligned}$$

- Lực gây mất ổn định méo tiết diện:

Độ mảnh danh nghĩa méo tiết diện:

$$\begin{aligned} \lambda_d &= \sqrt{\frac{P_y}{P_{crd}}} = \sqrt{\frac{195,47}{66,285}} = 1,717 \\ \lambda_{d1} &= 0,561 \left(\frac{P_{ynet}}{P_y} \right) = 0,561 \times \left(\frac{174,77}{195,47} \right) = 0,502 \\ \lambda_{d2} &= 0,561 \left[14 \left(\frac{P_y}{P_{ynet}} \right)^{0,4} - 13 \right] \\ &= 0,561 \times \left[14 \left(\frac{195,47}{174,77} \right)^{0,4} - 13 \right] = 0,921 \end{aligned}$$

Vì $\lambda_d > \lambda_{d2} = 0,921$ nên P_{nd} được xác định như sau:

$$\begin{aligned} P_{nd} &= \left[1 - 0,25 \left(\frac{P_{crd}}{P_y} \right)^{0,6} \right] \left(\frac{P_{crd}}{P_y} \right)^{0,6} P_y \\ &= \left[1 - 0,25 \left(\frac{66,285}{195,47} \right)^{0,6} \right] \left(\frac{66,285}{195,47} \right)^{0,6} \times 195,47 \\ &= 88,812 \text{ (kN)} \end{aligned}$$

Khả năng chịu nén danh nghĩa của tiết diện C20015 có khoét lỗ:

$$\begin{aligned} P_n &= \min(P_{ynet}, P_{nl}, P_{nd}) \\ &= \min(174,77 \text{ kN}; 87,089 \text{ kN}; 88,812 \text{ kN}) = 87,089 \text{ (kN)} \end{aligned}$$

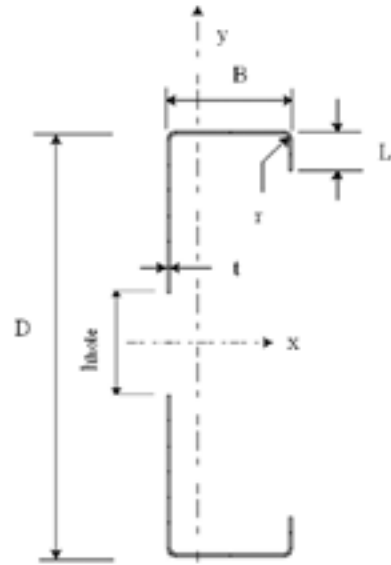
Tiết diện C22015 có khoét lỗ bị phá hoại do mất ổn định cục bộ.

Với tiết diện nguyên, khả năng chịu lực của tiết diện được xác định dựa theo bài báo của Phạm [5] có giá trị như sau:

$$\begin{aligned} P_n &= \min(P_y, P_{nl}, P_{nd}) \\ &= \min(195,47 \text{ kN}; 88,87 \text{ kN}; 95,10 \text{ kN}) = 88,87 \text{ (kN)} \end{aligned}$$

Tiết diện nguyên C20015 bị phá hoại do mất ổn định cục bộ.

Nhận xét: Khi có lỗ khoét, khả năng chịu nén cục bộ giảm từ 88,87kN xuống 87,089kN, còn khả năng chịu nén do mất ổn định méo tiết diện giảm từ 95,10kN xuống 88,812kN. Cả hai loại tiết diện đều bị phá hoại do mất ổn định cục bộ.



Hình 1. Các kích thước chính của tiết diện chữ C

3.2. Khả năng chịu uốn của tiết diện C20015 có khoét lỗ

Tiết diện C20015 cũng được khảo sát cho chịu uốn với các số liệu về tiết diện và lỗ khoét giống như tiết diện chịu nén, cụ thể: chiều cao $D = 203 \text{ mm}$; chiều rộng $B = 76 \text{ mm}$; sườn biên $L = 19,5 \text{ mm}$; chiều dày $t = 1,5 \text{ mm}$; chiều cao lỗ khoét $h_{hole} = 40 \text{ mm}$; chiều dài lỗ khoét bằng 200mm. Các kích thước tiết diện được biểu diễn trên Hình 1. Sử dụng các hệ giằng chống chuyển vị ngang và chống xoắn để ngăn cản mất ổn định tổng thể. Khi đó khả năng chịu lực của cấu kiện sẽ tiến tới là khả năng chịu lực của tiết diện. Vật liệu thép có các thông số: Ứng suất chảy $F_y = 345 \text{ MPa}$; Mô đun đàn hồi $E = 203400 \text{ MPa}$;

Sử dụng các phần mềm phân tích mất ổn định như đã đề cập trong mục 1, xác định được các giá trị sau: Mô men chảy dẻo của tiết diện nguyên $M_y = 12,245$ (kNm); Mô men chảy dẻo của tiết diện giảm yếu $M_{ynet} = 12,218$ (kNm); Các giá trị mô men mất ổn định tiết diện: $M_{crl} = 5,630$ (kNm); $M_{crd} = 9,037$ (kNm).

- Mô men mất ổn định cục bộ:

Độ mảnh danh nghĩa cục bộ:

$$\lambda_1 = \sqrt{\frac{M_y}{M_{crl}}} = \sqrt{\frac{12,245}{5,630}} = 1,475$$

Vì $\lambda_1 > 0,776$, nên M_{nl} được xác định như sau:

$$\begin{aligned} M_{nl} &= \left[1 - 0,15 \left(\frac{M_{crl}}{M_y} \right)^{0,4} \right] \left(\frac{M_{crl}}{M_y} \right)^{0,4} M_y \\ &= \left[1 - 0,15 \left(\frac{5,630}{12,245} \right)^{0,4} \right] \left(\frac{5,630}{12,245} \right)^{0,4} \times 12,245 \\ &= 7,987 \text{ (kNm)} \end{aligned}$$

- Mô men mất ổn định méo tiết diện:

Độ mảnh danh nghĩa méo tiết diện:

$$\lambda_d = \sqrt{\frac{M_y}{M_{crd}}} = \sqrt{\frac{12,245}{9,037}} = 1,164$$

(xem tiếp trang 70)

Tài liệu tham khảo

1. Đánh giá hoạt động quản lý nước thải đô thị tại Việt Nam 2013.
2. Gamuda Engineering, Báo cáo nghiên cứu Nhà máy XLNT, 2008, pp. 25-35, 100-150.
3. Nippon Koei Consultant - Japan, Thiết kế cơ sở Nhà máy XLNT Bấy Mẫu, 2011, pp. 30-39.
4. Thủ tướng Chính phủ / UBND thành phố Hà Nội, Quy hoạch thoát nước thủ đô Hà Nội đến năm 2030, tầm nhìn 2050, Thủ tướng chính phủ phê duyệt tại quyết định số 725/TTg ngày 10/5/2013, Hà Nội, 2013, pp. 7.38-7.44.
5. De Kreuk MK, Pronk M, van Loosdrecht MCM. Formation of aerobic granules and conversion processes in an aerobic granular sludge reactor at moderate and low temperatures. *Water Res* 2005;39:4476-84.
6. EPA - Water Environmental Federation, Design of Municipal Wastewater Treatment Plant, vol. II, USA: Water Environmental Federation, 2009, pp. 11.38-11.39, 13.4-13.25, 15.4-15.104.
7. Gunnar Demoulin, "Largest SBR Facility for Full BNR in Malaysia," Sapienza Università Di Roma, 2008.

Xác định khả năng chịu lực của tiết diện thép tạo hình nguội...

(tiếp theo trang 66)

$$\lambda_{d1} = 0,673 \left(\frac{M_{ynet}}{M_y} \right)^3 = 0,673 \times \left(\frac{12,218}{12,245} \right)^3 = 0,669$$

$$\lambda_{d2} = 0,673 \left[1,7 \left(\frac{M_y}{M_{ynet}} \right)^{2,7} - 0,7 \right]$$

$$= 0,673 \times \left[1,7 \times \left(\frac{12,245}{12,218} \right)^{2,7} - 0,7 \right] = 0,679$$

Vì $\lambda_{d1} > \lambda_{d2} = 0,679$ nên M_{nd} được xác định như sau:

$$M_{nd} = \left[1 - 0,22 \left(\frac{M_{crd}}{M_y} \right)^{0,5} \right] \left(\frac{M_{crd}}{M_y} \right)^{0,5} P_y$$

$$= \left[1 - 0,22 \left(\frac{9,037}{12,245} \right)^{0,5} \right] \left(\frac{9,037}{12,245} \right)^{0,5} \times 12,245$$

$$= 8,531(\text{kNm})$$

Mô men chịu uốn danh nghĩa của tiết diện C20015 có khoét lỗ:

$$M_n = \min(M_{ynet}, M_{nl}, M_{nd})$$

$$= \min(12,218\text{kNm}; 7,987\text{kNm}; 8,531\text{kNm}) = 7,987(\text{kNm})$$

Tiết diện C22015 có khoét lỗ bị phá hoại do mất ổn định cục bộ.

Với tiết diện nguyên, mô men chịu uốn danh nghĩa của

tiết diện được xác định dựa theo bài báo của Pham [5] có giá trị như sau:

$$M_n = \min(M_y, M_{nl}, M_{nd})$$

$$= \min(12,245\text{kNm}; 9,874\text{kNm}; 8,908\text{kNm}) = 8,908(\text{kNm})$$

Tiết diện nguyên C20015 bị phá hoại do mất ổn định méo tiết diện.

Nhận xét: Khi có lỗ khoét, khả năng chịu uốn cục bộ giảm từ 9,874kNm xuống 7,987kNm, còn khả năng chịu uốn do mất ổn định méo tiết diện giảm từ 8,908kNm xuống 8,531kNm. Trong khi tiết diện nguyên C20015 bị phá hoại do mất ổn định méo tiết diện, thì C20015 có khoét lỗ bị phá hoại do mất ổn định cục bộ.

4. Kết luận

Bài báo đã trình bày cách xác định khả năng chịu lực của tiết diện thép tạo hình nguội có khoét lỗ sử dụng phương pháp Cường độ trực tiếp (DSM) theo Tiêu chuẩn AISI S100-16. Một mô đun phần mềm hỗ trợ cho phép phân tích mất ổn định tuyến tính của tiết diện thép tạo hình nguội có khoét lỗ phát triển Viện thép và kim loại Mỹ đã được giới thiệu và sử dụng trong báo cáo. Dựa trên các lý thuyết và phần mềm trình bày trên, các ví dụ tính toán cho tiết diện thép chữ C tạo hình nguội có lỗ khoét được đưa ra với trường hợp chịu nén hoặc chịu uốn, sau đó được so sánh với khả năng chịu lực của tiết diện nguyên. Các kết quả so sánh cho thấy khả năng chịu lực của tiết diện có lỗ khoét đã bị giảm đi so với tiết diện nguyên, đồng thời hai loại tiết diện có thể xảy ra cùng một dạng phá hoại như trong ví dụ chịu nén hoặc bị phá hoại bởi hai dạng khác nhau như trong ví dụ chịu uốn./.

Tài liệu tham khảo

1. R.A. Ortiz-Colberg, "The load carrying capacity of perforated cold-formed steel columns," Cornell University, Ithaca, NY, 1981.
2. American Iron and Steel Institute, North American Specification for the Design of Cold-formed Steel Structural Members. Washington DC: American Iron and Steel Institute, 2016.
3. Z. Li and B.W. Schafer, Buckling analysis of cold-formed steel members with general boundary conditions using CUFSM: Conventional and constrained finite strip methods. Saint Louis, Missouri, USA, 2010.
4. 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.
5. P.N. Hieu and V.Q. Anh, "Tính toán cấu kiện thép tạo hình nguội chịu nén và uốn bằng phương pháp DSM theo tiêu chuẩn AS/NZS 4600:2018," Tạp chí Khoa học Công nghệ xây dựng, no. 4, p. 9, 2020.
6. C.D. Moen, "Direct Strength design for cold-formed steel members with perforations," Johns Hopkins University, Baltimore, 2008.
7. C.D. Moen and B.W. Schafer, "Experiments on cold-formed steel columns with holes," Thin-Walled Structures, vol. 46, no. 10, pp. 1164-1182, 2008.
8. C.D. Moen and B. W. Schafer, "Elastic buckling of cold-formed steel columns and beams with holes," Engineering Structures, vol. 31, no. 12, pp. 2812-2824, 2009.
9. AISI, "Development of CUFSM Hole Module and Design Tables for the Cold-formed Steel Cross-sections with Typical Web Holes in AISI D100," 2020.
10. AISI, "Development of CUFSM Hole Module and Design Tables for the Cold-formed Steel Cross-sections with Typical Web Holes in AISI D100," 2021.