

Ảnh hưởng của lỗ khoét đến khả năng chịu lực của tiết diện thép tạo hình nguội khi uốn

Influence of web holes on the sectional capacities of cold-formed steel channel sections under bending

Phạm Ngọc Hiếu⁽¹⁾, Vũ Quốc Anh⁽²⁾

Tóm tắt

Cấu kiện dầm thép tạo hình nguội được khoét lỗ trên bản bụng do các yêu cầu lắp đặt hệ thống kỹ thuật, điều này dẫn đến giảm khả năng chịu uốn của cấu kiện. Ảnh hưởng của lỗ khoét này đến khả năng chịu lực của tiết diện thép tạo hình nguội đã được quy định trong Tiêu chuẩn thép của Mỹ AISI S100-16 cùng với việc phát triển phương pháp Cường độ trực tiếp (DSM) trong thiết kế. Phương pháp này cho phép đưa ra các dự đoán về khả năng chịu lực của tiết diện dựa trên các phân tích mất ổn định tuyến tính. Dựa trên các quy định trong tiêu chuẩn AISI S100-16, bài báo đi khảo sát ảnh hưởng của sự thay đổi kích thước lỗ khoét đến khả năng chịu uốn của tiết diện thép chữ C tạo hình nguội. Các phân tích sau đó được đưa ra dựa trên các kết quả khảo sát nhằm lựa chọn kích thước lỗ khoét, cho phép tối ưu hóa khả năng chịu lực của tiết diện khảo sát.

Từ khóa: Lỗ khoét, khả năng chịu lực, tiết diện thép tạo hình nguội, chịu uốn

Abstract

Web holes are commonly pre-punched in cold-formed steel beams to meet the demand of technical system installations. The influence of web holes on the sectional capacities of cold-formed steel sections has been regulated in AISI S100-16 with the development of the Direct Strength Method (DSM) in the design. This method allows predicting the capacities of cold-formed steel sections based on elastic buckling analyses. Based on the regulations in AISI S100, this paper investigates the effects of variations of web hole dimensions on the flexural capacities of cold-formed steel channel sections. The analyses are subsequently given based on the investigated results to select the proper web hole dimensions, which allows for optimization of the sectional capacities of the investigated channel section.

Key words: Web holes, sectional capacities, cold-formed steel sections, bending

(1) TS, Giảng viên, khoa Xây dựng, Trường Đại học Kiến trúc Hà Nội, Email: <hieupn@hau.edu.vn>

(2) PGS.TS, Giảng viên, khoa Xây dựng, Trường Đại học Kiến trúc Hà Nội, Email: <anhvq@hau.edu.vn>

Ngày nhận bài: 28/03/2022
Ngày sửa bài: 18/04/2022
Ngày duyệt đăng: 5/7/2022

1. Giới thiệu

Cấu kiện dầm thép tạo hình nguội trong các công trình dân dụng thường bị khoét lỗ ở phần bản bụng để bố trí các hệ thống kỹ thuật. Sự có mặt của các lỗ khoét này đã làm ảnh hưởng đến khả năng chịu lực tiết diện [1], và đã được đưa vào trong tiêu chuẩn thiết kế kết cấu thép tạo hình nguội của Hoa Kỳ AISI S100 [2] với các dạng lỗ khoét dạng hình tròn, bầu dục, chữ nhật hoặc dạng rãnh dài. Khả năng chịu lực của tiết diện này được xác định theo phương pháp Cường độ trực tiếp (Direct Strength Method – DSM), cho phép xác định khả năng chịu lực của tiết diện thông qua các giá trị mất ổn định tuyến tính của tiết diện. Các giá trị mất ổn định tuyến tính này được xác định thông qua các phân tích mất ổn định sử dụng một phần mềm được phát triển bởi Viện kim loại và thép Hoa Kỳ ([3], [4]) dựa trên các nghiên cứu của Moen và Schafer ([5],[6],[7]).

Dựa trên các quy định trong tiêu chuẩn AISI S100, bài báo sẽ đi khảo sát ảnh hưởng của kích thước lỗ khoét đến khả năng chịu lực của tiết diện thép chữ C tạo hình nguội. Kết quả khảo sát làm cơ sở cho việc phân tích để lựa chọn ra kích thước hợp lý của lỗ khoét trên tiết diện dầm để đạt hiệu quả trong thiết kế.

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

Khả năng chịu uốn danh nghĩa của tiết diện thép tạo hình nguội được lấy là giá trị nhỏ nhất trong ba giá trị mô men, bao gồm mô men chảy dẻo của tiết diện giảm yếu (M_{ynet}), mô men mất ổn định cục bộ của tiết diện (M_{nl}), và mô men mất ổn định méo của tiết diện (M_{nd}) mà được xác định như trình bày dưới đây.

Mô men chảy dẻo của tiết diện giảm yếu

$$M_{ynet} = S_{fnet} F_y \quad (1)$$

Mô men mất ổn định cục bộ của tiết diện

$$\text{Với } \lambda_y \leq 0,776 : M_{nl} = M_y \quad (2)$$

Với

$$\lambda_y > 0,776 : M_{nl} = \left[1 - 0,15 \left(\frac{M_{crl}}{M_y} \right)^{0,4} \right] \left(\frac{M_{crl}}{M_y} \right)^{0,4} M_y \quad (3)$$

Mô men mất ổn định méo của tiết diện

Nếu $\lambda_d \leq \lambda_{d2}$:

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

Với

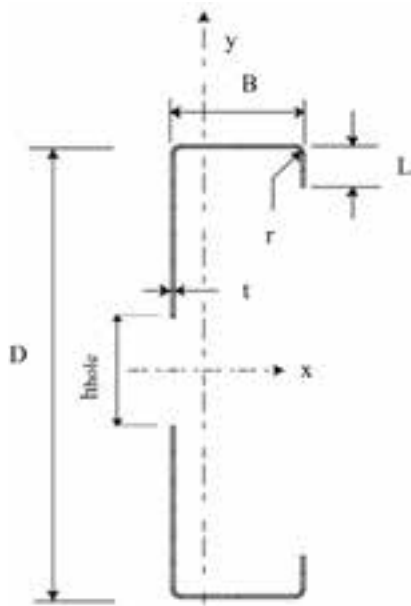
$$\lambda_{d1} < \lambda_d \leq \lambda_{d2} : M_{nd} = M_{ynet} - \left(\frac{M_{ynet} - M_{d2}}{\lambda_{d2} - \lambda_{d1}} \right) (\lambda_d - \lambda_{d1}) \quad (5)$$

Nếu $\lambda_d > \lambda_{d2}$:

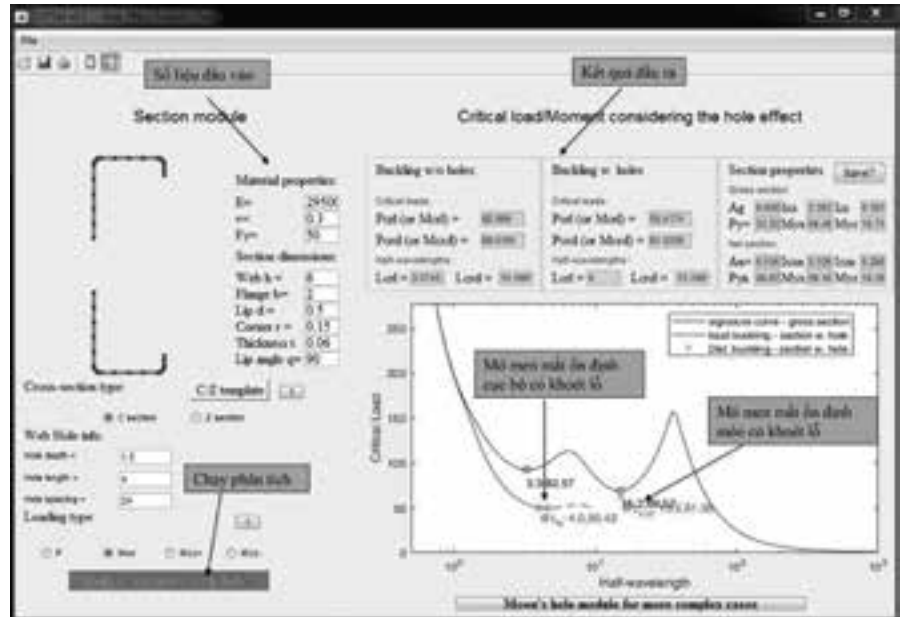
$$\text{Với } \lambda_d \leq 0,673 : M_{nd} = M_y \quad (6)$$

Với

$$\lambda_d > 0,673 : M_{nd} = \left[1 - 0,22 \left(\frac{M_{crl}}{M_y} \right)^{0,5} \right] \left(\frac{M_{crl}}{M_y} \right)^{0,5} M_y \quad (7)$$

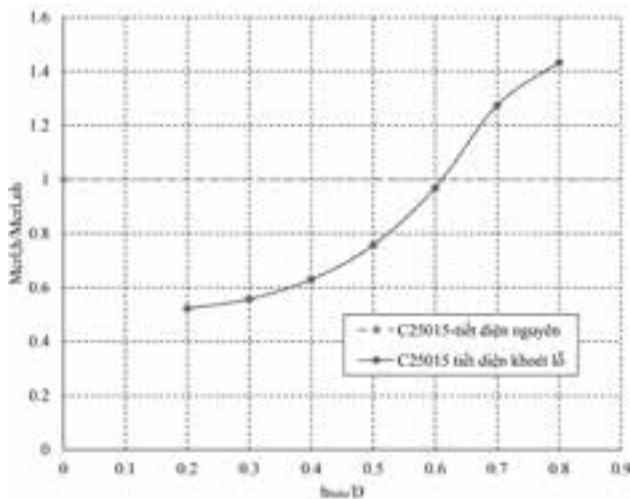


a)

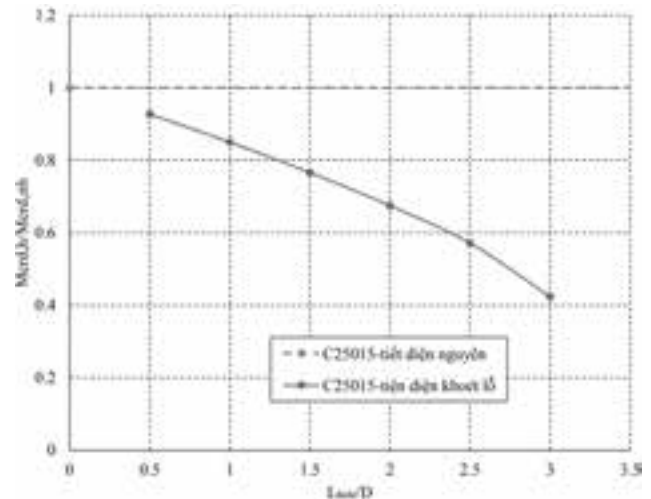


b)

Hình 1. Các kích thước chính của tiết diện chữ C khoét lỗ (a) và giao diện phần mềm phân tích mất ổn định tiết diện (b)



a)



b)

Hình 2. Kết quả phân tích mất ổn định cục bộ (a) và méo tiết diện (b) của tiết diện chữ C có lỗ khoét khi kích thước lỗ khoét thay đổi

Trong đó:

S_{net} là mô đun chống uốn tiết diện giảm yếu;

F_y là ứng suất chảy của vật liệu thép;

λ_1, λ_2 là các độ mảnh danh nghĩa mất ổn định cục bộ và méo tiết diện, $\lambda_1 = \sqrt{M_y / M_{cr1}}$; $\lambda_2 = \sqrt{M_y / M_{cr2}}$;

M_y, M_{ynet} là mô men chảy dẻo của tiết diện nguyên và tiết diện giảm yếu;

M_{cr1}, M_{cr2} là mô men mất ổn định tuyến tính cục bộ và méo tiết diện có lỗ khoét, được xác định bằng sử dụng các phân tích mất ổn định được trình bày trong Mục 3.

$\lambda_{d1}, \lambda_{d2}$ là các độ mảnh danh nghĩa liên quan đến mất ổn định méo tiết diện;

$$\lambda_{d1} = 0,673 \left(\frac{M_{ynet}}{M_y} \right)^3; \lambda_{d2} = 0,673 \left[1,7 \left(\frac{M_y}{M_{ynet}} \right)^{2,7} - 0,7 \right];$$

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

3. Khảo sát ảnh hưởng của kích thước lỗ khoét đến khả năng chịu uốn của tiết diện thép chữ C tạo hình nguội

Tiết diện dùng trong khảo sát là C25015 với các kích thước hình học, bao gồm chiều cao $D = 254\text{mm}$; chiều rộng $B = 76\text{mm}$; sườn biên $L = 21,5\text{mm}$; chiều dày $t = 1,5\text{mm}$. Chiều cao lỗ khoét thay đổi từ 0,2 đến 0,8 lần chiều cao tiết diện, còn chiều dài lỗ khoét dao động từ 0,5 đến 3 lần chiều cao tiết diện. Các thông số đặc trưng của tiết diện được biểu diễn trên Hình 1(a). Vật liệu thép dùng trong khảo sát có các đặc trưng vật liệu, bao gồm ứng suất chảy $F_y = 345\text{MPa}$, mô đun đàn hồi $E = 203400\text{MPa}$.

3.1. Phân tích mất ổn định tuyến tính của tiết diện khảo sát

Phân tích mất ổn định được thực hiện bằng mô đun phần mềm được phát triển dựa trên nền tảng của phần mềm CUFSM [8], được thể hiện như trên Hình 1(b). Dựa theo báo cáo của Pham [9] đã chỉ ra rằng mô men mất ổn định cục bộ phụ thuộc vào tỉ số chiều cao lỗ khoét và chiều cao tiết diện h_{hole}/D , còn mô men mất ổn định méo tiết diện lại chịu ảnh hưởng của chiều dài lỗ khoét L_{hole}/D . Khảo sát do đó sẽ xác định mô men mất ổn định tiết diện của hai loại mất ổn định trên ứng với sự thay đổi của chiều cao và chiều dài lỗ khoét, kết quả được đưa ra như trên Hình 2.

Kết quả thu được cho thấy khi kích thước lỗ khoét tăng lên thì mô men mất ổn định cục bộ tuyến tính tăng lên còn mô men mất ổn định méo tiết diện giảm xuống. Với mất ổn định cục bộ, khi chiều cao lỗ khoét nhỏ mô men mất ổn định tại vị trí lỗ khoét nhỏ hơn và giảm đến hơn 40% so với tiết diện nguyên nên mất ổn định xảy ra tại vị trí lỗ khoét. Khi tỉ số h_{hole}/D lớn hơn 0,6 thì mô men mất ổn định cục bộ tại lỗ khoét lớn hơn so với tiết diện nguyên, nên mất ổn định cục bộ xảy ra tại phần tiết diện nguyên giữa hai lỗ khoét và mô men mất ổn định cục bộ của tiết diện khoét lỗ bằng được lấy bằng mô men cục bộ của tiết diện nguyên. Điều này được giải thích do kích thước lỗ khoét tăng làm cho phần phẳng còn lại của phía trên và dưới lỗ khoét bản bụng giảm, dẫn đến độ mảnh của các phần bản bụng này giảm và tính ổn định tăng. Với mất ổn định méo tiết diện, mô men mất ổn định méo của tiết diện có thể giảm xuống hơn 50% khi chiều dài lỗ khoét tăng đến 3 lần chiều cao tiết diện.

3.2. Xác định khả năng chịu uốn của tiết diện khảo sát

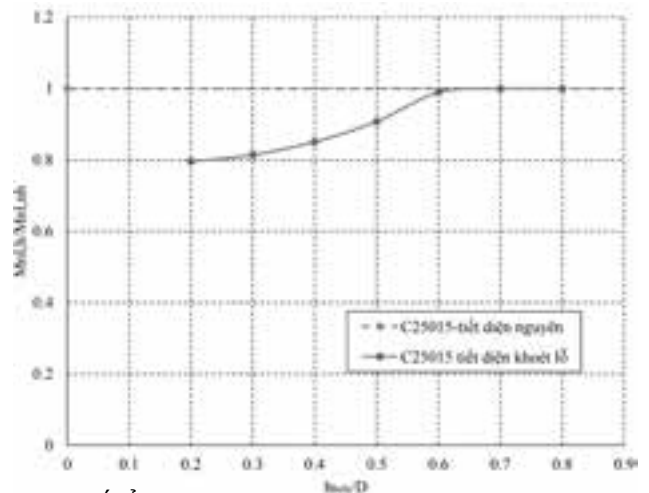
Khả năng chịu uốn của tiết diện chữ C25015 khảo sát được xác định dựa theo các công thức trình bày tại Mục 2. Kết quả khảo sát đưa ra được với hai thành phần mô men, bao gồm mô men gây ra mất ổn định cục bộ và mô men gây ra mất ổn định méo tiết diện, được biểu diễn như trên Hình 3(a) và 3(b). Trong đó mô men gây mất ổn định cục bộ chỉ phụ thuộc vào chiều cao lỗ khoét (h_{hole}/D), còn mô men gây mất ổn định méo tiết diện phụ thuộc vào cả chiều cao và chiều dài lỗ khoét. Khả năng chịu uốn của tiết diện khảo sát là giá trị nhỏ hơn trong hai thành phần mô men trên và được biểu diễn như trên Hình 3(c).

Hình 3(a) cho thấy mô men mất ổn định cục bộ của tiết diện giảm đi khoảng 20% so với tiết diện nguyên với chiều cao lỗ khoét nhỏ ($h_{hole}/D=0,2$). Giá trị này tăng lên tiến đến mô men mất ổn định cục bộ của tiết diện nguyên khi $h_{hole}/D>0,6$, khi đó mất ổn định cục bộ sẽ xảy ra tại vị trí giữa hai lỗ khoét thay vì tại vị trí lỗ khoét.

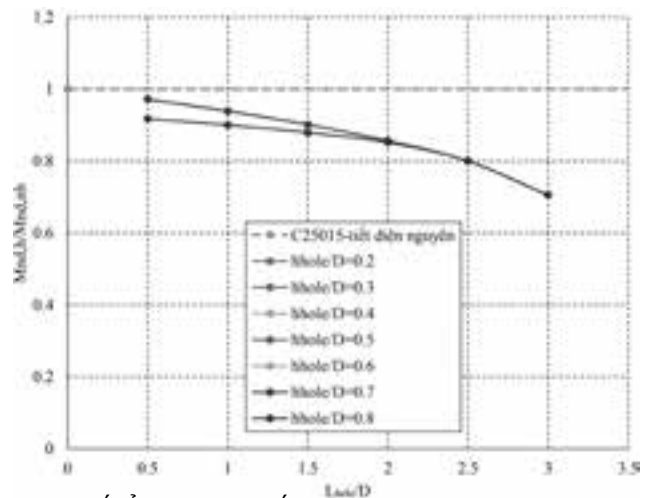
Mô men mất ổn định méo tiết diện có xu hướng giảm khi chiều dài lỗ khoét tăng, giảm tới khoảng 30% so với tiết diện nguyên. Khi chiều cao lỗ khoét tăng, mô men mất ổn định méo mặc dù cũng bị ảnh hưởng nhưng không đáng kể. Điều này có thể thấy mô men mất ổn định méo này không thay đổi khi chiều cao lỗ khoét thay đổi từ tỉ số h_{hole}/D từ 0,2 đến 0,7, và giảm xuống một chút khi tỉ số $h_{hole}/D = 0,8$.

Khả năng chịu lực danh nghĩa của tiết diện khảo sát được thấy trên Hình 3(c) cho thấy mô men mất ổn định cục bộ đóng vai trò chủ đạo với tỉ số h_{hole}/D từ 0,2 đến 0,6 nên đường biểu diễn có sự thay đổi đáng kể so với Hình 3(b), và mô men mất ổn định méo tiết diện quyết định khả năng chịu lực khi tỉ số h_{hole}/D bằng 0,7 và 0,8 nên đường biểu diễn không thay đổi so với Hình 3(b).

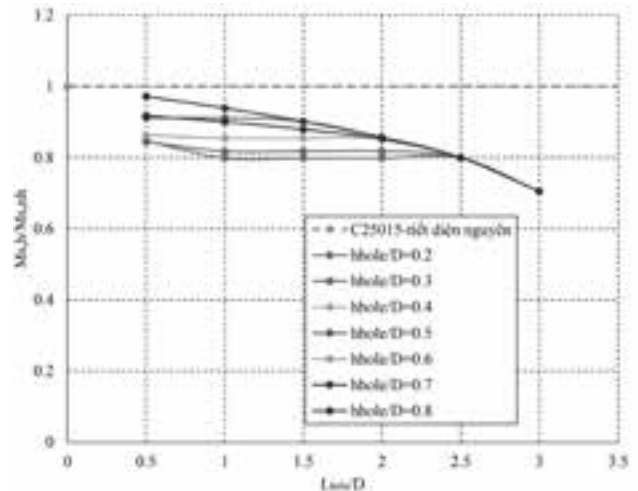
Kết quả trên Hình 3(c) cũng chỉ ra rằng đôi khi kích thước lỗ khoét nhỏ cũng chưa hẳn là tốt hơn so với lỗ khoét kích thước lớn. Điều này được minh chứng khi có cùng một chiều dài lỗ khoét nằm trong khoảng từ D đến $2D$ thì lỗ khoét chiều



a) Mất ổn định cục bộ



b) Mất ổn định méo tiết diện



c) Khả năng chịu uốn của tiết diện

Hình 3. Khả năng chịu uốn của tiết diện chữ C25015 có lỗ khoét

cao lớn hơn lại có khả năng chịu uốn cao hơn với chiều cao lỗ khoét dao động từ $0,2D$ đến $0,7D$. Nguyên nhân được giải thích do trong các trường hợp này tiết diện xảy ra mất ổn định cục bộ tại vị trí các lỗ khoét mà có chiều cao càng lớn thì mô men mất ổn định cục bộ càng cao như đã trình bày ở trên.

Dựa trên kết quả Hình 3(c) cho tiết diện khảo sát cũng cho thấy khi cần tạo một lỗ có một diện tích nhất định thì việc

lấy chiều cao lớn và chiều dài nhỏ sẽ tốt hơn là chiều cao nhỏ và chiều dài lỗ khoét lớn. Điều này giải thích là chiều cao lớn và chiều dài nhỏ sẽ có xu hướng làm tăng mô men mất ổn định cục bộ và mô men méo tiết diện, còn chiều cao nhỏ và chiều dài lớn đều làm cho mô men mất ổn định cục bộ và mô men méo tiết diện có xu hướng giảm xuống.

4. Kết luận

Bài báo đã tiến hành khảo sát khả năng chịu uốn của tiết diện thép tạo hình nguội C25015 có lỗ khoét với sự thay đổi chiều cao và chiều dài lỗ khoét. Khả năng chịu uốn của tiết diện được xác định theo quy định trong tiêu chuẩn thép tạo hình nguội của Hoa Kỳ AISI S100-2016. Dựa trên kết quả khảo sát, các kết luận chính sau được đưa ra :

- Khi chiều cao lỗ khoét tăng lên thì mô men mất ổn định cục bộ tăng lên. Mô men mất ổn định cục bộ do đó xảy ra tại vị trí lỗ khoét khi chiều cao lỗ khoét nhỏ và xảy ra giữa các lỗ khoét khi chiều cao lỗ khoét tăng.

- Khi chiều dài lỗ khoét tăng thì mô men mất ổn định méo tiết diện có xu hướng giảm xuống.

- Với cùng một diện tích lỗ khoét, việc chọn chiều cao lớn và chiều dài nhỏ sẽ tốt hơn chiều cao nhỏ và chiều dài lớn.

Các kết luận trên đã cung cấp ứng hiểu biết nhất định về khả năng chịu uốn của tiết diện chữ C khảo sát, giúp cho người thiết kế có định hướng trong chọn kích thước lỗ khoét hợp lý nhằm đạt hiệu quả về chịu lực.

Tài liệu tham khảo

1. R.A. Ortiz-Collerg. *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, USA, 2016.
3. American Iron and Steel Institute. *Development of CUFSM Hole Module and Design Tables for the Cold-formed Steel Cross-sections with Typical Web Holes in AISI D100*. Research Report RP21-01, 2021.
4. American Iron and Steel Institute. *Development of CUFSM Hole Module and Design Tables for the Cold-formed Steel Cross-sections with Typical Web Holes in AISI D100*. Research Report RP21-02, 2021.
5. C.D. Moen. *Direct Strength design for cold-formed steel members with perforations*. PhD thesis. Johns Hopkins University, Baltimore, 2008.
6. 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.
7. 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.
8. 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.
9. P.N. Hieu. *Nghiên cứu ảnh hưởng của lỗ khoét đến sự mất ổn định tuyến tính của cấu kiện thép tạo hình nguội*. Đại học Kiến trúc Hà Nội, 2021.

Tổng quan về các tiêu chuẩn đánh giá kết cấu...

(tiếp theo trang 83)

sát vật liệu trên kết cấu), nên việc xây dựng một quy trình đánh giá có tính thực hành sao cho các kỹ sư có thể áp dụng được là rất cần thiết.

Quy trình đánh giá kết cấu hiện hữu có thể được xây dựng theo ISO và châu Âu [1-2,3-4], hoặc ISO và Mỹ [1-2, 5-10], hoặc ISO và Nga [1-2,11], trong đó lựa chọn theo ISO

và châu Âu là phù hợp với thực tế đang xây dựng bộ tiêu chuẩn mới của Bộ Xây dựng.

Lời cảm ơn: Bài báo này được hoàn thành trong khuôn khổ đề tài NCKH cấp Bộ, mã số RD43-21: "Nghiên cứu xây dựng quy trình đánh giá an toàn công trình trong quá trình khai thác, sử dụng"./.

Tài liệu tham khảo

1. ISO 13822:2010. *Bases for design of structures - Assessment of existing structures*.
2. ISO 2394:2015. *General principles on reliability for structures*.
3. BS EN 1998-3:2005 (Eurocode 8). *Design of structures for earthquake resistance, Part 3: Assessment and retrofitting of buildings*.
4. JRC 94918 (EUR 27128 EN), 2015. *New European Technical Rules for the Assessment and Retrofitting of Existing Structures*.
5. ASCE 11-99. *Guideline for Structural Condition Assessment of Existing Buildings*.
6. ASCE_SEI 41-17. *Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings*.
7. ACI 437R-19. *Strength Evaluation of Existing Concrete Buildings*.
8. ACI 364.1R-94 (Reapproved 1999). *Guide for Evaluation of Concrete Structures Prior Rehabilitation*.
9. ACI 562-19. *Code Requirements for Assessment, Repair, and Rehabilitation of Existing Concrete Structures*.
10. ACI 318-19. *Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary*.
11. СП 13-102-2003. *Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений*.
12. СП РК 1.04-101-2012. *Обследование и оценка технического состояния зданий и сооружений*.
13. ЦНИИПромзданий (2001). *Рекомендации по оценке надежности строительных конструкций зданий и сооружений по внешним признакам*.
14. TCVN 9381:2012. *Hướng dẫn đánh giá mức độ nguy hiểm của kết cấu nhà*.
15. NX Chính (2016). *Về các tiêu chuẩn khảo sát và phân loại tình trạng kỹ thuật nhà và công trình xây dựng*. Tạp chí KHCN xây dựng, số 1/2016, trang 84-88.
16. TCVN 5574:2018. *Thiết kế kết cấu bê tông và bê tông cốt thép*.
17. BS EN 1992-1-1:2004 (Eurocode 2). *Design of concrete structures, Part 1-1: General rules and rules for buildings*.