■Ngày nhận bài: 18/4/2024 ■Ngày sửa bài: 17/5/2024 ■Ngày chấp nhận đăng: 14/6/2024

Thực hành tính toán liên kết kết cấu thép thành mỏng tạo hình nguội cho khung phẳng một tầng một nhịp

Calculation Practice for the Connections of Cold-Formed Thin-Walled Steel Structures for Single-Story, Single-Span Frames

> TS NGUYỄN NGỌC THẮNG
Bộ môn XDDD&CN, Khoa Công trình, Trường Đại học Thủy lợi; Email: thangnn@tlu.edu.vn

TÓM TẮT

Kết cấu thép thành mỏng có nhiều ưu điểm hơn so với kết cấu thép thông thường. Nhất là cho công trình chịu tải trọng nhỏ như nhà kho, nhà xưởng không có cầu trục, nhà xe ... Với ưu điểm vượt trội của nó về thẩm mỹ, khả năng chịu lực cũng như sự tiết kiệm vật liệu, trọng lượng nhẹ, thi công nhanh ... Tuy nhiên, ở nước ta, việc tính toán thiết kế loại kết cấu này còn khá xa lạ với phần lớn kỹ sư, đặc biệt trong tính toán liên kết. Nhiều kỹ sư vẫn sử dụng các tiêu chuẩn thiết kế kết cấu thép cán nóng như TCVN 5575:2012 để tính toán liên kết cho kết cấu thành mỏng là không phù hợp. Trong một số trường hợp không có thí nghiệm kiểm chứng, có thể tham khảo cách tính theo chỉ dẫn trong quy phạm Mỹ (AISI) để phân tích liên kết và tính toán theo các bài toán ở giới hạn đàn hồi. Bài báo trình bày một bài toán thực hành tính toán liên kết khung thép một tầng, một nhịp tiết diện I được ghép tổ hợp từ 2 tiết diện chữ C thành mỏng tạo hình nguội.

Từ khóa: Thép mỏng tạo hình nguội, ứng suất chảy, cường độ kéo giới hạn, tiết diện chữ C.

ABSTRACT

Thin-walled steel structures offer several advantages over conventional steel structures, especially for projects subjected to light loads such as warehouses, workshops without overhead cranes, and garages. Their outstanding features include aesthetic appeal, load-bearing capacity, material savings, lightweight, and rapid construction. However, in our country, the design calculations for this type of structure are still relatively unfamiliar to most engineers, particularly in connection design. Many engineers continue to use hot-rolled steel design standards such as TCVN 5575:2012 for calculating connections for thin-walled structures, which is not suitable. In some cases where experimental validation is not available, it is possible to refer to the methods outlined in the American specifications (AISI) for analyzing connections and calculating based on elastic limit problems. This paper presents a practical calculation problem for the connections of a single-story, single-span steel frame with I-sections assembled from two C-sections in cold-formed thin-walled steel.

Keywords: Cold-formed thin steel, yield strength, tensile strength, cold-formed C-section.

1. GIỚI THIỆU CHUNG

Kết cấu thép thành mỏng tạo hình nguội là loại kết cấu được đã và đang sử dụng nhiều ở nước ta, phù hợp cho các dạng kết cấu khung nhà một tầng một nhịp kiểu khung Zamil. Cấu kiện được cấu thành từ thép thành mỏng có tiết diện dày không quá 4mm và được tạo hình bằng phương pháp gia công nguội như dập, cán hoặc uốn nguội. Do cấu kiện khung thép thành mỏng có trọng lượng nhẹ, độ mảnh rất lớn nên vấn đề về ổn định phải đặc biệt chú trọng trong quá trình vận chuyển thi công, đặc biệt là liên kết giữa các cấu kiện. Các liên kết là một phần quan trọng trong kết cấu thép nói chung và trong kết cấu thép thành mỏng tạo hình nguội nói riêng. Đối với kết cấu thép thành mỏng tạo hình nguội phổ biến là liên kết bu lông so với sử dụng liên kết hàn. Tuy nhiên, trong các tiêu chuẩn quy phạm nói trên chỉ đề cập tập trung trong các dạng liên kết bu lông chịu lực dọc trục mà chưa đề cập cụ thể chịu mô men uốn [1, 2, 3]. Một số tác giả đã nghiên cứu về sự làm việc của liên kết bu lông chịu uốn nhưng chủ yếu trong kết cấu thép thông thường [5,6]; kết quả nghiên cứu tính toán liên kết bu lông trong kết cấu thép thành mỏng tạo hình nguội chịu uốn thuần túy trong tài liệu [7] và nghiên cứu liên kết bu lông trong kết cấu thép thành mỏng tạo hình nguội chịu uốn và cắt đồng thời theo lý thuyết và mô hình hóa bằng phương pháp PTHH trong tài liệu [9,10]. Đỗ Văn Bình và cộng sự [11] cũng tiến hành nghiên cứu thực nghiệm về ứng xử của liên kết bu lông trong kết cấu thép thành mỏng tạo hình nguội chịu uốn và cắt đồng thời nhằm mục đích so sánh và đánh giá với các kết quả nghiên cứu lý thuyết trước đó và chỉ ra sự tương đồng trong các ứng xử; đồng thời đánh giá được trạng thái giới hạn của liên kết bu lông khi thay đổi khoảng cách giữa các bu lông dựa trên phân tích giới hạn chảy dẻo, giới hạn bền của liên kết bu lông.

Trong bài báo này, dựa trên những chỉ dẫn tính toán lý thuyết trong các chỉ dẫn tiêu chuẩn và vận dụng các nghiên cứu trước đây, tác giả triển khai thực hành tính toán liên kết bu lông cho các vị trí chân cột, liên kết cột – xà ngang, liên kết xà ngang- xà ngang trong kết cấu khung phẳng một tầng một nhịp. Nội lực tính toán được phân tích bằng phần mềm Etab mô phỏng sơ đồ tính của khung.

2. LIÊN KẾT BU LÔNG TRONG KẾT CẤU THÉP THÀNH MỎNG

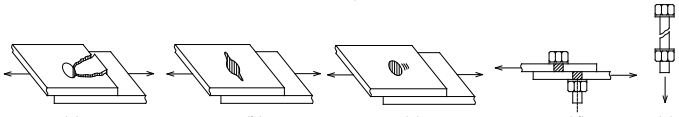
a. Các trường hợp phá hoại của bulông trong khung

Liên kết bu lông trong tiêu chuẩn AISI áp dụng cho thép mỏng dưới 3mm. Nếu tấm dày hơn 3mm trở lên thì tính toán theo kết cấu thép thông thường. Bu lông được chế tạo theo tiêu chuẩn chung về bu lông. Kích thước lỗ được quy định có 4 loại: lỗ tiêu chuẩn, lỗ lớn, lỗ bầu dục ngắn và lỗ bầu dục dài. Xiết bu lông trong kết cấu thép thành mỏng là loại liên kết tì ép, không phải ma sát. Việc xiết bu lông cần làm theo quy định đối với bu lông thông thường để đảm bảo điều kiện sử dụng, không cần xiết tới mức ứng suất trước vì sự chịu lực của liên kết không phụ thuộc vào ứng suất trước khi xiết. Bu lông được xiết đến mức chặt khít sẽ không bị lỏng ra trong điều kiện sử dụng bình thường của nhà không có rung động. Hình 1 thể hiện liên kết nút khung thép thành mỏng tạo hình nguội.

a. Khung không có thanh giằng *b. Liên kết nút khung thép thành mỏng*

Hình 1. Liên kết khung thép thanh thành mỏng tạo hình nguội

Khi chịu lực liên kết bulông trong khung có thể xảy ra một trong các trường hợp phá hoại như: a) Phá hoại do bản thép chịu cắt; b) Phá hoại do bản thép chịu kéo; c) Phá hoại do bản thép chịu ép mặt; d) Phá hoại do thân bulông chịu cắt; e) Phá hoại do thân bulông chịu kéo, minh họa trong hình 2 dưới đây:



(a) (b) (c) (d) (e)

Hình 2. Các dạng phá hoại của liên kết bu lông trong khung thép thành mỏng tạo hình nguội

b. Tính toán liên kết bulông trong khung thép mỏng tạo hình nguội

Nguyên tắc chung trong kiểm tra thiết kế liên kết là:

$$F_{i,ed} \leq F_{i,Rd} \quad (1.1)$$

Trong đó: $F_{i,ed}$ - ứng suất thiết kế đối với liên kết, tương ứng với dạng phá hoại thứ i.

$F_{i,Rd}$ - cường độ thiết kế đối với liên kết, tương ứng với dạng phá hoại thứ i.

b1. Phá hoại cắt dọc của tấm: Khả năng chịu cắt dọc của tấm phụ thuộc vào khoảng cách của tim lỗ với chiều dày của tấm như sau:

$$P_n = teF_u \quad (1.2)$$

Trong đó:

t: là chiều dày tấm thép được liên kết.

e: khoảng cách mép đo theo đường lực từ tim một lỗ tiêu chuẩn đến mép gần nhất của một lỗ kế cận hoặc đến mép của tấm thép.

Phương trình thể hiện khả năng chịu cắt dọc tấm như sau:

$$P_u \leq \varphi P_n \quad (1.3)$$

Trong đó:

P_u: là lực cắt thiết kế gây ra bởi tải trọng

P_n: là khả năng chịu lực cắt danh nghĩa của mối hàn

φ : là hệ số khả năng chịu lực của mối hàn, $\varphi = 0,7$ khi $F_u / F_y \geq 1,08$ và $\varphi = 0,6$ khi $F_u / F_y < 1,08$

b2. Phá hoại do bị ép mặt của tấm:

Khả năng chịu ép mặt của mỗi bulông đối tấm thép khi không xét đến biến dạng và có xét đến biến dạng quanh lỗ bulông được xác định lần lượt théo 1.4 và 1.5 dưới đây:

$$P_n = \varphi.m_f.C.d.t.F_u \quad (1.4)$$

$$P_n = \varphi.(0,183t + 1,53)d.t.F_u \quad (1.5)$$

Trong đó:

C - hệ số ép mặt;

d - đường kính bulông;

t - chiều dày thép không kể lớp phủ bảo vệ;

Fu - giới hạn bền của thép tấm;

m_f - hệ số điều chỉnh cho các loại liên kết chịu ép mặt;

φ- hệ số tính toán, φ = 0,6.

b3. Bulông chịu cắt và kéo

Khả năng chịu lực của thân bulông khi chịu cắt, kéo hoặc chịu cắt và kéo đồng thời được xác định theo công thức 1.6:

$$T_n = \varphi.A_b.F_b \quad (1.6)$$

Trong đó:

A_b - là diện tích tiết diện nguyên của bulông;

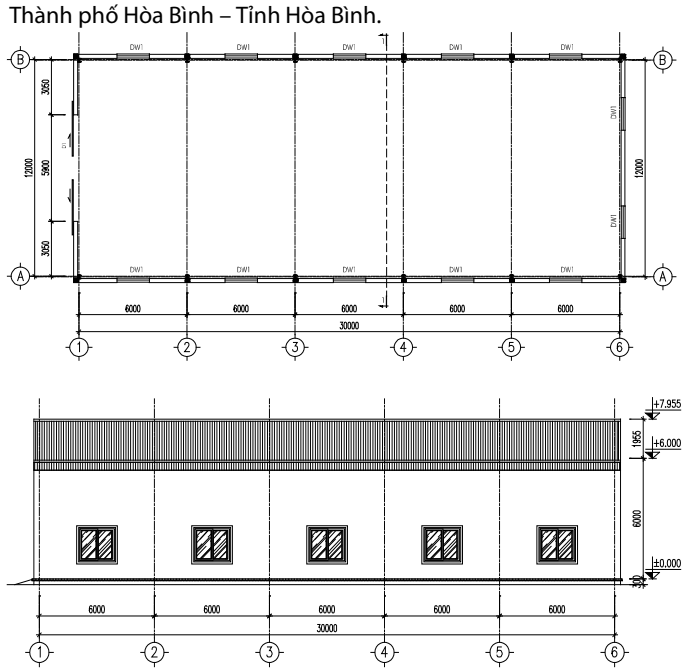
F_b – được xác định như sau: Khi bulông chịu cắt thì F_b là cường độ chịu cắt: F_{tb} ; Khi bulông chịu kéo thì F_b là cường độ chịu kéo: F_{vb};

φ- hệ số tính toán, φ = 0,6.

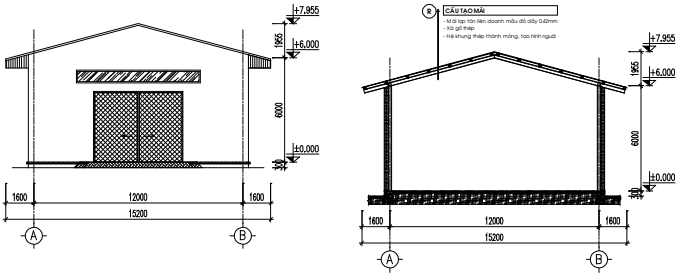
3. THỰC HÀNH TÍNH TOÁN LIÊN KẾT BU LÔNG TRONG KẾT CẤU THÉP THÀNH MỎNG KHUNG THÉP MỘT TẦNG, MỘT NHỊP

a. Thiết lập bài toán

Thiết kế khung nhà thép cho một nhà kho một tầng, một nhịp có nhịp nhà L = 12m, gồm 5 bước cột, kích thước mỗi bước cột là B = 6m, chiều cao đến đáy xà h=6m, công trình được xây dựng tại Thành phố Hòa Bình – Tỉnh Hòa Bình.



Hình 3: Mặt bằng, mặt đứng công trình



Hình 4. Mặt bên, mặt cắt công trình

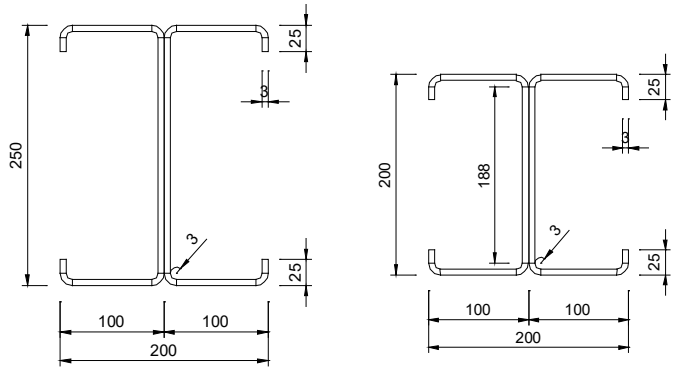
Số liệu tính toán:

- Nhịp khung ngang: L = 12 m
- Bước khung: B = 6m
- Cao trình đỉnh cột: h = +6 m
- Độc dốc mái: $\alpha = 15^o$
- Tổng chiều dài các bước khung: 30m
- Vật liệu thép dùng cho cấu kiện của khung ngang là loại thép cường độ cao S550 MC, có các đặc trưng vật liệu:

+ Cường độ chảy dẻo: f_{yb} = 550 Mpa
+ Giới hạn bền: f_u = 600 Mpa
+ Môđun đàn hồi: E = 2.10^5 Mpa
+ Môđun đàn hồi trượt: G = 8.10^4 Mpa
+ Hệ số Poisson: v = 0,3

Dựa vào kích thước hình học và công năng sử dụng của công trình, ta chọn sơ bộ tiết diện cột và xà mái như sau:

- Tiết diện cột: chữ I tạo bởi 2 thép chữ C ghép lại có: h = 250mm; b = 200mm; D = 25mm; t = 3mm; R = 3mm.
- Tiết diện xà mái: chữ I tạo bởi 2 thép chữ C ghép lại có: h = 200mm; b = 200mm; D = 25mm; t = 3mm; R = 3mm



a) Tiết diện cột *b) Tiết diện xà ngang*

Hình 5. Tiết diện cấu kiện khung phẳng

b. Tính toán liên kết

b1. Vật liệu sử dụng:

- Thép mặt bích, thép sườn, thép bản mã liên kết là loại thép G250, có các đặc trưng vật liệu:

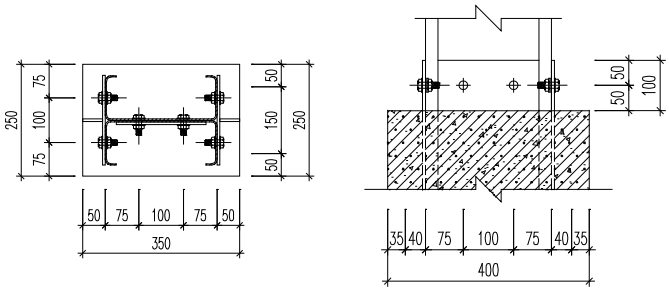
+ Cường độ chảy dẻo: F_y = 250 Mpa
+ Giới hạn bền: F_u = 320 Mpa
+ Môđun đàn hồi: E = 2.10^5 Mpa

- Các liên kết sử dụng loại bu lông cấp độ bền 6.6 có đặc trưng vật liệu:

+ Cường độ chịu cắt: F_{vb} = 230 Mpa
+ Cường độ chịu kéo: F_{tb} = 250 Mpa
+ Môđun đàn hồi: E = 2.10^5 Mpa

b2. Tính toán liên kết chân cột:

Sơ bộ chọn liên kết cột như hình vẽ 6 với: Đường kính bulông, d = 12mm; Chiều dày thép tấm sườn, t = 4mm; Số lượng bulông chọn, n= 6:

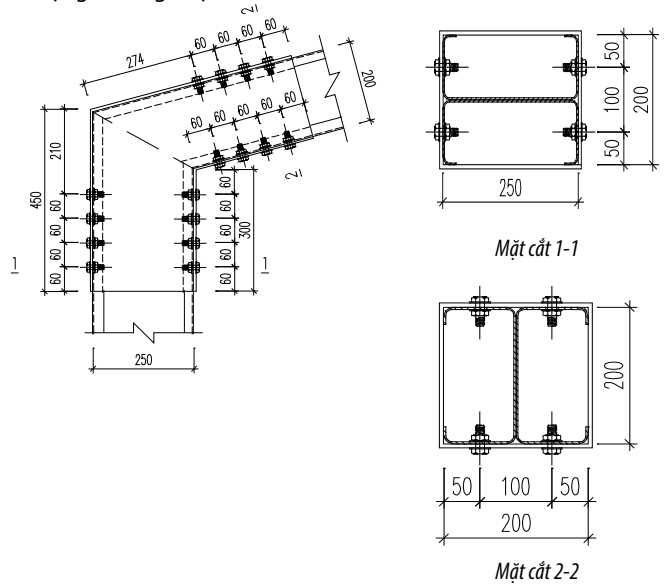


a) Mặt bằng *b) Mặt cắt*

Hình 6. Liên kết chân cột

b3. Tính toán liên kết cột – xà ngang:

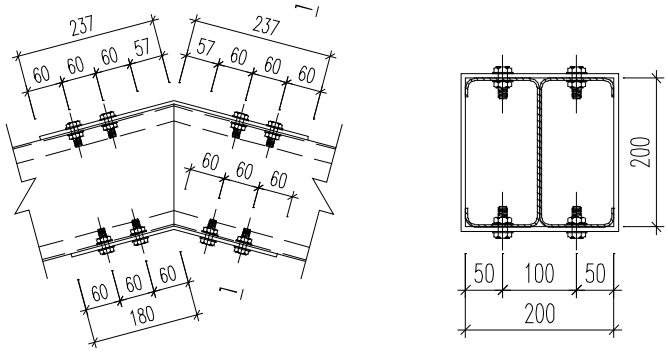
Sơ bộ chọn liên kết chân cột – xà ngang như hình vẽ 7 với: Đường kính bulông, d = 12mm; Chiều dày thép tấm sườn, t = 4mm; Số lượng bulông chọn, n= 32.



Hình 7. Liên kết cột - xà ngang

b4. Tính toán liên kết xà ngang - xà ngang:

Sơ bộ chọn liên kết xà ngang - xà ngang như hình vẽ 8 với: Đường kính bulông, d = 12mm; Chiều dày thép tấm sườn, t = 4mm; Số lượng bulông chọn, n= 16.



a) Mặt đứng *b) Mặt cắt*

Hình 8. Liên kết xà ngang – xà ngang

c. Kết quả tính toán liên kết

Nội lực thiết kế: Với liên kết chân cột từ bảng tổ hợp nội lực ta xác định được các tổ hợp nội lực nguy hiểm tại chân cột tương ứng phần tử nút Joint 2 Pu = 34,44kN; Vu = 14,38kN và Mu = 26,24kNm ứng với tổ hợp COMB 1; Với liên kết xà cột – xà ngang, nội lực nguy

hiểm tại phần tử Frame 3 tương ứng Pu = 22,39kN; Vu = 27,96kN và Mu = 50,05kNm ứng với tổ hợp COMB 1; với liên kết xà ngang – xà ngang lấy tại nút khung giữa tương ứng Pu = 13,89kN; Vu = 3,73kN và Mu = 25,22kNm. Kết quả nội lực trong bảng 1, 2, 3 tương ứng dưới đây

Bảng 1: Kết quả tính toán nội lực lớn nhất tại chân cột

Phần tử nút	Tổ hợp	V	P	M
		kN	kN	kN.m
Joint 2	COMB1	-14.38	34.44	-36.24

Bảng 2: Kết quả tính toán nội lực lớn nhất trên xà ngang

Phần tử thanh	Tổ hợp	V	P	M
		kN	kN	kN.m
Frame 3	COMB1	-22.39	-27.96	-50.05

Bảng 3: Kết quả tính toán nội lực lớn nhất nút giữa xà ngang

Phần tử thanh	Tổ hợp	V	P	M
		kN	kN	kN.m
Frame 2	COMB1	-13.89	3.73	25.22

Kết quả tính toán:

- Khả năng chịu ép mặt của bản cánh khi không xét đến biến dạng lỗ theo (1.4), khi xét đến biến dạng của lỗ theo (1.5) và lực cắt lớn nhất trong một bulông do tổ hợp tải trọng bất lợi gây ra theo $T_n = P_u/n$ (với n là số bu lông) được bảng 4 kết quả như sau:

Bảng 4: Kết quả tính toán ép mặt bu lông tại các liên kết

Liên kết	Tổ hợp	Khả năng chịu ép mặt P_n (kN)		Lực ép mặt lớn nhất tại 1 bu lông T_n (kN)	Kiểm tra
		Không xét biến dạng lỗ	Có xét biến dạng lỗ		
Chân cột	COMB1	20.74	20.85	5.74	Đạt
Cột - xà ngang	COMB1	20.74	20.85	8.2	Đạt
Xà ngang - xà ngang	COMB1	20.74	20.85	8.32	Đạt

- Khả năng chịu cắt của bu lông tính theo 1.6 và lực kéo lớn nhất trong một bulông do tổ hợp tải trọng bất lợi gây ra theo $T_n = P_u/n$ (với n là số bu lông) ta được bảng 5 kết quả như sau:

Bảng 5: Kết quả tính toán chịu cắt bu lông tại các liên kết

Phần tử	Tổ hợp	Khả năng chịu kéo của bu lông T_{nt} (kN)			Lực kéo lớn nhất tại 1 bu lông T_b (kN)	Kiểm tra
		Diện tích A_b (mm^2)	Hệ số φ	T_{nt} (kN)		
Chân cột	COMB1	72.3	0.65	10.8	5.74	Đạt
Cột - xà ngang	COMB1	72.3	0.65	10.8	8.2	Đạt
Xà ngang - xà ngang	COMB1	72.3	0.65	10.8	5.74	Đạt

- Khả năng chịu kéo của bu lông tính theo 1.6 và lực kéo lớn nhất trong một bulông do tổ hợp tải trọng bất lợi gây ra theo $T_{bmax} = V_u/n_b$ (với n_b là số bu lông trong 1 hàng) ta được bảng 6 kết quả như sau:

Bảng 6: Kết quả tính toán chịu kéo bu lông tại các liên kết

Phần tử	Tổ hợp	Khả năng chịu kéo của bu lông T_{nt} (kN)			Lực kéo lớn nhất tại 1 bu lông T_b (kN)	Kiểm tra
		Diện tích A_b (mm^2)	Hệ số φ	T_{nt} (kN)		
Chân cột	COMB1	72.3	0.75	13.6	4.8	Đạt
Cột - xà ngang	COMB1	72.3	0.65	10.8	3.5	Đạt
Xà ngang - xà ngang	COMB1	72.3	0.65	10.8	0.9	Đạt

5. KẾT LUẬN

Bài báo trình bày thực hành tính toán liên kết bu lông trong cấu kiện thép thành mỏng tạo hình nguội sử dụng liên kết trực tiếp các bản bụng, bản cánh của tiết diện chịu tác dụng uốn và cắt đồng thời. Kết quả ttính toán về giới hạn bền của liên kết tính theo các điều kiện ổn định là khá phù hợp. Các kết quả của nghiên cứu cho thấy khi số lượng bu lông, các thông số vật liệu và tiết diện không đổi, giới hạn bền uốn và cắt đồng thời của tiết diện cũng phù hợp với kết cấu thép bản khi làm việc ở giai đoạn đàn hồi.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Bristish Standard, BS 5950 Structural use of Steelwork in Building, Part 5"Code of Practice for the Design of Cold Formed Sections", 1991.

[2] Eurocode 3, EN 1993-1-3 Design of Steel Structural: Cold Formed Thin Gauge Member and Sheeting.

[3] Australian/New Zealand Standard, AS/NZS 4600:1996, Cold - Formed Steel Structures.

[4] American Society of Civil Engineers (ASCE/SEI 7-05), Minium Design Loads for Buldings and Other Structures.

[5]. American Iron and Steel Institute (1996), Specification for the Design Cold formed Steel Structural Members, 1996.

[6] Wei Wen Yu, Cold - formed Steel Design, Third Edition (2000), John Wiley & Sons, Inc, New York.

[7]. Đoàn Định Kiến (2009), Thiết kế kết cấu thép thành mỏng tạo hình nguội, NXB Xây dựng, Hà Nội.

[8]. Trần Thị Phương Lan, Nguyễn Ngọc Thắng (2023), Kết cấu thép thành mỏng tạo hình nguội và đánh giá sự gia tăng cường độ do cứng nguội. Tạp chí Xây dựng, số 01.2024, tr 126-130.

[9]. Phạm Ngọc Hiếu, Vũ Quốc Anh, Phạm Ngọc Hưng. 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 KHCN Xây dựng - số 4/2020 tr 73-80.

[10]. Phạm Ngọc Hiếu, Thịnh Văn Thanh, Nguyễn Ngọc Thắng, 2023. Xác định khả năng chịu lực của cột thép chữ C tạo hình nguội có lỗ khoét bản bụng. Tạp chí Xây dựng, số 11.2023, tr 62-65.

[11]. Đỗ Văn Bình, Nghiên cứu thực nghiệmliên kết bu long chịu uốn và cắt đồng thời trongkết cấu thép thành mỏng tạo hình nguội, Tạp chí Khoa học công nghệ giao thông vận tải (2000), Tập71, Số3(04/2020), 186-195.