

BỀ RỘNG HỮU HIỆU CỦA TIẾT DIỆN DẦM CHỊU UỐN BẰNG THÉP THÀNH MỎNG TẠO HÌNH NGUỘI

Nguyễn Ngọc Thắng¹, Nguyễn Thị Thanh Thúy¹, Thịnh Văn Thanh²

¹Trường Đại học Thủy lợi, email: thangnn@tlu.edu

²Trường Sĩ quan Công Binh, email: Thanhz756@gmail.com

1. GIỚI THIỆU CHUNG

Kết cấu thép thành mỏng tạo hình nguội đã và đang sử dụng nhiều ở nước ta cho các dạng kết cấu như hệ giằng, hệ khung nhà một tầng, kết cấu mái nhẹ, khung thép Zamil. Kết cấu thép thành mỏng khác biệt so với kết cấu thép thông thường ở những đặc điểm cơ bản như: Sử dụng các thanh thép tạo hình nguội từ các tấm thép rất mỏng có độ dày từ 0,3 đến 4mm; Các loại tiết diện đa dạng và tùy biến như tiết diện chữ Z, chữ I, chữ C, tiết diện chữ nhật, tiết diện tròn,... [1, 2]. Về phương diện kết cấu, thanh thành mỏng khác thanh thép thông thường ở ứng xử của vật liệu và cách thức phá hoại; cấu kiện bị mất ổn định cục bộ không dẫn tới phá hoại mà có thể tiếp tục chịu lực, thuộc tính của vật liệu thay đổi do phương pháp tạo hình nguội, ảnh hưởng của sự tăng cứng và tồn tại ứng suất dư sau chế tạo. Với những đặc điểm như vậy, khi tính toán cấu kiện thép thành mỏng tạo hình nguội, các lý thuyết đàn hồi thông thường và các phương pháp tính toán đối với kết cấu thép không phù hợp để áp dụng [3, 4].

Khác với kết cấu khung thép sử dụng thép hình cán nóng thông thường kết cấu 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 và khi sử dụng. Dầm là một cấu kiện quan trọng trong kết cấu khung, chịu lực chủ yếu là mô men uốn và lực cắt. Với dầm thép thành mỏng tạo hình nguội, độ cứng của cấu kiện không phải là hằng số, sự biến đổi của độ cứng trong quá trình làm việc của cấu kiện sẽ dẫn đến khả năng chịu lực của cấu kiện cũng thay đổi theo.

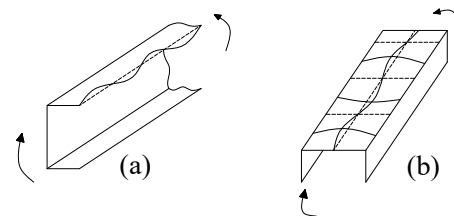
Phần bụng của dầm cần được tính toán theo điều kiện chịu cắt, chịu uốn kết hợp cắt, ép dẹt, uốn kết hợp ép dẹt của phần bụng [5].

Quá trình chế tạo nguội tạo ra các tiết diện tăng cứng cũng dẫn tới hiệu quả chịu lực khác nhau. Bài báo này trình bày phân tích tổng quát việc đánh giá bề rộng hữu hiệu của tiết diện tăng cứng dựa trên bài toán ổn định cục bộ của cấu kiện dầm thép thành mỏng tạo hình nguội.

2. BÀI TOÁN ỔN ĐỊNH CẤU KIỆN DẦM THÉP THÀNH MỎNG TẠO HÌNH NGUỘI CHỊU UỐN

2.1. Sự mất ổn định cục bộ và bề rộng hữu hiệu của tiết diện tăng cứng

Cấu kiện thép tạo hình nguội gồm phần từ là các tấm mỏng, khi chịu nén thường bị vênh ra ngoài mặt phẳng uốn gọi là hiện tượng mất ổn định cục bộ.



Hình 1. Sự mất ổn định cục bộ [5]:
(a) Cánh chịu nén; (b) Bụng chịu nén.

Phương trình vi phân đường đàn hồi của tấm chịu ứng suất nén đều theo một phương có dạng:

$$\frac{\partial^4 \omega}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 \omega}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 \omega}{\partial y^4} + \frac{f_x t}{D} \frac{\partial^2 \omega}{\partial x^2} = 0 \quad (1)$$

Ở đây D là độ cứng của phần tử, tính theo:

$$D = \frac{Et^3}{12(1-\mu^2)} \quad (2)$$

Theo lý thuyết biến dạng nhỏ, thêm vào các điều kiện biên, Timoshenko đã giải phương trình trên và tìm được ứng suất tới hạn về ổn định cục bộ:

$$F_{cr} = \frac{k\pi^2 E}{12(1-\mu^2)(w/t)^2} \quad (3)$$

trong đó:

E - mô đun đàn hồi của thép;

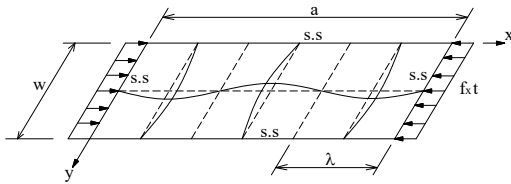
μ - hệ số poisson;

t - chiều dày tấm

w - chiều rộng tấm ;

k - hệ số phụ thuộc điều kiện biên và trạng thái ứng suất (k = 4 với tấm 4 cạnh tựa khớp chịu nén đều).

Sau khi ứng suất đạt giá trị tới hạn F_{cr} , tấm bị oằn nhưng không bị phá hoại, vẫn còn khả năng chịu lực thêm. Tải trọng đặt thêm vào sẽ gây ra sự phân bố lại ứng suất và cấu kiện vẫn chịu được tải trọng. Hiện tượng này gọi là sự làm việc sau tới hạn và được áp dụng nhiều cho cấu kiện thành mỏng.



Hình 2. Ổn định của tấm chịu nén đều [5]

Xét tấm có chiều rộng là w như hình 2, chịu ứng suất nén đều. Khi ứng suất $F_y > F_{cr}$ tấm bị oằn, phần ứng suất ở giữa sẽ chuyển sang hai cạnh và có giá trị lớn hơn F_{cr} . Sự tăng ứng suất ở hai cạnh sẽ tiếp tục cho đến khi đạt đến cường độ chảy F_y và tấm bị phá hủy. Tấm bị oằn có thể chuyển được thành tấm có chiều rộng nhỏ hơn là b sao cho ứng suất tới hạn của tấm bằng F_y . Từ phương trình (3) ta có:

$$F_{cr} = \frac{k\pi^2 E}{12(1-\mu^2)(b/t)^2} \quad (4)$$

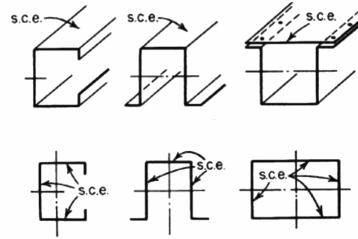
Chia phương trình (3) cho phương trình (4) thu được:

$$\frac{b}{w} = \sqrt{\frac{F_{cr}}{F_y}} \quad (5)$$

Phương trình này do Yu [7] đề xuất năm 2000 dùng để tính chiều rộng hữu hiệu của các phần tử tạo hình nguội. Như vậy bề rộng hữu hiệu là bề rộng được giảm bớt trong thiết kế để tính toán các đặc trưng hình học của tiết diện khi xét đến độ bền cục bộ. Có nghĩa là khi tỷ lệ bề rộng phẳng và chiều dày của phần tử nên quá lớn, một bộ phận bản bị mất ổn định. Bản phẳng khi đó được tính chuyển về bản có bề rộng b. Bề rộng này được coi như không bị mất ổn định, có thể chịu được ứng suất nén đạt đến giới hạn chảy.

2.2. Ảnh hưởng của sự tăng cứng

Trong kết cấu thép mỏng tạo hình nguội, một phần tử được tăng cứng hoàn toàn hoặc một phần khi mà phần tử phẳng có hai cạnh song song với chiều nội lực được tăng cứng bằng sườn hay bằng phần tử khác. Ví dụ bản bụng được tăng cứng ở hai cạnh trên dưới bằng hai bản cánh hoặc giữa bản bụng và một mép cứng được tăng cứng bằng các sườn trung gian song song với chiều nội lực. Hình 3 [5] minh họa phần tử tăng cứng.



Hình 3. Phần tử được tăng cứng (s.c.e) [5]

Nghiên cứu trong [6] chỉ ra rằng cấu kiện thành mỏng thực tế khi chế tạo cán nguội còn có ảnh hưởng của sai số hình học và tồn tại ứng suất dư. Do đó bề rộng hữu hiệu xác định từ phương trình (5) cần phải điều chỉnh lại để xét các yếu tố trên, từ kết quả thí nghiệm:

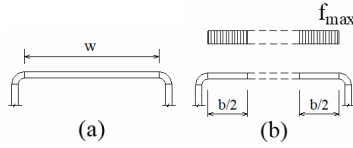
$$\frac{b}{w} = \sqrt{\frac{F_{cr}}{F_y}} \left(1 - 0,22 \sqrt{\frac{F_{cr}}{F_y}} \right) \quad (6)$$

Phương trình (6) cũng áp dụng cho cả trường hợp ứng suất nhỏ hơn cường độ chảy,

khi đó thay cường độ chảy F_y bằng ứng suất thiết kế F_{max} ta được bề rộng hữu hiệu:

$$\frac{b}{w} = \sqrt{\frac{F_{cr}}{F_{max}}} \left(1 - 0,22 \sqrt{\frac{F_{cr}}{F_{max}}} \right) \quad (7)$$

Trong (7) ứng suất thiết kế F_{max} là ứng suất do tải trọng gây ra trên tiết diện (hình 4):



Hình 4. (a) Phần tử thực;
(b) Phần tử hiệu quả [5]

Các tiêu chuẩn trong [3, 4] quy định cách xác định bề rộng hữu hiệu như sau:

$$b = \rho w \quad (8)$$

Ở đây, hệ số bề rộng hữu hiệu ρ xác định:

$$\rho = \frac{1 - 0,22 \sqrt{F_{max}/F_{cr}}}{\sqrt{F_{max}/F_{cr}}} = \frac{1 - 0,22/\lambda}{\lambda} \leq 1 \quad (9)$$

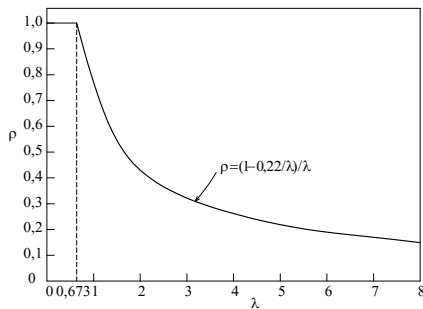
Với λ là số hạng thể hiện độ mảnh của tấm tại ứng suất F_{max} được định nghĩa là:

$$\begin{aligned} \lambda &= \sqrt{\frac{F_{max}}{F_{cr}}} = \sqrt{\frac{F_{max} [12(1-\mu^2)(w/t)^2]}{k\pi^2 E}} \\ &= \frac{1,052}{\sqrt{k}} \left(\frac{w}{t} \right) \sqrt{\frac{F}{E}} \end{aligned} \quad (10)$$

trong đó:

k - hệ số phụ thuộc liên kết biên của tấm;

$F = F_{max}$ - ứng suất nén lớn nhất tại cạnh phần tử tăng cứng. Hình 5 thể hiện quan hệ giữa hệ số ρ và hệ số λ . Có thể thấy, khi $\lambda \leq 0,673$ thì hệ số $\rho = 1$, nghĩa là lúc đó bề rộng hữu hiệu $b = w$.



Hình 5. Quan hệ giữa hệ số ρ và hệ số λ

3. KẾT LUẬN

Phương pháp bề rộng hữu hiệu được đề xuất dựa trên nền tảng lý thuyết ổn định của tấm phẳng khá phù hợp khi đánh giá khả năng chịu nén của cấu kiện thép thành mỏng tạo hình nguội. Trên cơ sở phân tích ổn định cục bộ của phần tử tăng cứng, bài báo làm rõ mối quan hệ giữa độ mảnh (λ) và hệ số bề rộng hữu hiệu (ρ) và chỉ ra giới hạn độ mảnh λ_{max} của tiết diện đạt giá trị 0,673 cho tương ứng bề rộng toàn bộ tiết diện tăng cứng được huy động tham gia chịu lực. Trị số giới hạn λ_{max} này là cơ sở cần thiết cho việc lựa chọn tiết diện phù hợp khi thiết lập các mô hình thực nghiệm ổn định cấu kiện thanh thành mỏng chịu nén.

4. TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Đoàn Đình Kiến (2009). Thiết kế kết cấu thép thành mỏng tạo hình nguội, Nhà xuất bản Xây dựng, Hà Nội.
- [2] 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.
- [3] American Iron and Steel Institute (1996), Specification for the Design Cold formed Steel Structural Members, 1996.
- [4] Australian/New Zealand Standard, AS/NZS 4600:1996, Cold - Formed Steel Structures, 1996.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] Wei Wen Yu, Cold - formed Steel Design, Third Edition (2000), John Wiley & Sons, Inc, New York.