

TCVN X1993-1-5:202x

**THIẾT KẾ KẾT CẤU THÉP – PHẦN 1-5: CẤU KIỆN
KẾT CẤU CHẾ TẠO TỪ BẢN PHẪNG**

Design of steel structures – Part 1-5: Plated structural elements

DỰ THẢO

Lời nói đầu

TCVN X1993-1-5:202x được xây dựng trên cơ sở tham khảo tiêu chuẩn

EN 1993-1-5:2006 Eurocode 3 - Design of steel structures Part 1-5: Plated structural elements

TCVN X1993-1-5:202x do Viện Khoa học Công nghệ Xây dựng biên soạn, Bộ Xây dựng đề nghị, Tổng cục Tiêu chuẩn Đo lường Chất lượng thẩm định, Bộ Khoa học và Công nghệ công bố.

Mục lục

Lời nói đầu	3
1. Giới thiệu	9
1.1 Phạm vi	9
1.2 Tài liệu tham khảo	9
1.3 Thuật ngữ và định nghĩa.....	10
1.4 Ký hiệu	11
2.1 Tổng quát.....	13
2.2 Các mô hình chiều rộng hiệu dụng cho phân tích tổng thể	13
2.3 Sự mất ổn định của bản trên các tiết diện không đổi	13
2.4 Phương pháp giảm ứng suất.....	14
2.5 Cấu kiện tiết diện thay đổi	14
2.6 Cấu kiện có bản bụng lượn sóng.....	14
3. Trễ cắt trong thiết kế cấu kiện	15
3.1 Quy định chung	15
3.2 Chiều rộng hiệu dụng cho trễ cắt đàn hồi	15
3.2.1 Chiều rộng hiệu dụng ^s	15
3.2.2 Phân bố ứng suất do trễ cắt.....	17
3.2.3 Ảnh hưởng của nội lực trong mặt phẳng.....	18
3.3 Trễ cắt tại trạng thái giới hạn cực hạn	19
4. Hiệu ứng mất ổn định của bản do các ứng suất trực tiếp ở trạng thái giới hạn cực hạn	20
4.1 Quy định chung.....	20
4.3 Tiết diện ngang hiệu dụng	21
4.4 Các cấu kiện làm từ bản không có sườn cứng dọc	23
4.5 Các bản được tăng cứng bằng các sườn cứng dọc	26
4.5.1 Các quy định chung	26
4.5.2 Ứng xử kiểu bản	28
4.5.3 Ứng xử mất ổn định kiểu cột.....	28
4.5.4 Tương tác giữa mất ổn định bản và mất ổn định cột.....	30
4.6 Kiểm tra ổn định	30
5 Độ bền chịu cắt.....	31
5.1 Cơ sở	31
5.2 Độ bền thiết kế	32
5.3 Độ bền của bản bụng	32
5.4 Độ bền của bản cánh	35

- 5.5 Kiểm tra độ bền..... 36
- 6 Khả năng chống lại lực ngang 36
 - 6.1 Cơ sở..... 36
 - 6.2 Độ bền thiết kế..... 37
 - 6.3 Chiều dài gối tựa..... 37
 - 6.4 Hệ số giảm của chiều dài hiệu dụng khi tính độ bền 38
 - 6.5 Chiều dài chịu lực hiệu dụng..... 39
 - 6.6 Kiểm tra 39
- 7 Sự Tương tác..... 40
 - 7.1 Tương tác giữa lực cắt, mô men uốn và lực dọc..... 40
 - 7.2 Tương tác giữa lực ngang, mô men uốn và lực dọc 41
- 8 Bản cánh gây ra mất ổn định..... 41
- 9 Sườn cứng và chi tiết 42
 - 9.1 Quy định chung..... 42
 - 9.2 Ứng suất pháp 42
 - 9.2.1 Yêu cầu tối thiểu đối với các sườn cứng ngang..... 42
 - 9.2.2 Yêu cầu tối thiểu đối với các sườn cứng dọc..... 44
 - 9.2.3 Các bản hàn 45
 - 9.2.4 Khe cắt trong các sườn cứng 45
 - 9.3 Cắt..... 46
 - 9.3.1 Vùng cứng đầu dầm 46
 - 9.3.2 Các sườn cứng có tác dụng như các đoạn gối mềm 47
 - 9.3.3 Các sườn cứng ngang trung gian..... 47
 - 9.3.4 Sườn cứng dọc 48
 - 9.3.5 Mối hàn 48
 - 9.4 Tải trọng ngang..... 48
- 10 Phương pháp giảm ứng suất..... 48
 - A.1 Bản trực hướng tương đương 52
 - A.2 ứng suất mất ổn định của tấm với một hoặc hai sườn cứng trong vùng chịn nén 55
 - A.2.1 Quy định chung 55
 - A.2.2 Mô hình đơn giản hóa sử dụng cột ngầm bằng bản..... 56
 - A.3 Các hệ số mất ổn định do cắt..... 57
 - B.1 Tổng quan chung 58
- Phụ lục C (tham khảo) Phương pháp phân tích phần tử hữu hạn (FEM)..... 60
 - C.1 Quy định chung..... 60
 - C.2 Sử dụng..... 60
 - C.3 Mô hình hóa..... 61

C.9 Hệ số riêng	65
Phụ lục D (tham khảo) Dầm bản có bụng lượn sóng	66
D.1 Quy định chung	66
D.2 Trạng thái giới hạn cực hạn.....	66
D.2.1 Độ bền uốn	66
D.2.2 Độ bền cắt	67
D.2.3 Các yêu cầu cho sườn cứng đầu mút.....	69
Phụ lục E (quy định) Phương pháp xác định tiết diện ngang hiệu dụng	70
E.1 Diện tích hiệu dụng để tính mức ứng suất thấp hơn giới hạn chảy.....	70
E.2 Diện tích hiệu dụng để tính độ cứng	70
Phụ lục Quốc gia.....	72
NA.1 Phạm vi.....	72
NA.2 Thông số do quốc gia xác định.....	72
NA.2.1 Mô hình chiều rộng hiệu quả để phân tích tổng thể [TCVN X1993-1-5:202X, 2.2(5)]	72
NA.2.2 Độ trễ cắt ở trạng thái giới hạn cực hạn [TCVN X1993-1-5:202X, 3.3(1)]	73
NA.2.3 Tiết diện ngang hiệu dụng [TCVN X1993-1-5:202X, 4.3(6)]	73
NA.2.4 Cơ bản [TCVN X1993-1-5:202X, 5.1(2)]	73
NA.2.5 Hệ số giảm chiều dài tính toán k_F cho độ bền [TCVN X1993-1-5:202X, 6.4(2)].....	73
NA.2.6 Bản cánh gây mất ổn định [TCVN X1993-1-5:202X, 8(2)].....	73
NA.2.7 Bản gia cường và các chi tiết [TCVN X1993-1-5:202X, 9.1(1)]	73
NA.2.8 Yêu cầu tối thiểu cho sườn gia cường ngang [TCVN X1993-1-5:202X, 9.2.1(9)].....	74
Giá trị của θ cần được lấy là 2,0.	74
NA.2.9 Phương pháp giảm ứng suất [TCVN X1993-1-5:202X, 10(1)]	74
NA.2.10 Phương pháp giảm ứng suất [TCVN X1993-1-5:202X, 10(5)]	74
NA.2.11 Sử dụng [TCVN X1993-1-5:202X, C.2(1)].....	75
Điều kiện sử dụng phân tích phần tử hữu hạn trong thiết kế cần được chỉ định cho dự án cụ thể.	75
NA.2.12 Sử dụng sự không hoàn hảo [TCVN X1993-1-5:202X, C.5(2)]	75
Cách tiếp cận được đề xuất cần được sử dụng	75
NA.2.13 Các tiêu chí trạng thái giới hạn [TCVN X1993-1-5:202X, C.8(1)]	75
Giới hạn đối với biến dạng chính của vùng chịu kéo là 5%.	75
NA.2.14 Các hệ số riêng [TCVN X1993-1-5:202X, C.9(3)]	75
NA.2.15 Độ bền chịu cắt [TCVN X1993-1-5:202X, D.2.2(2)].....	75
NA.3 Tham chiếu đến thông tin bổ sung không mâu thuẫn	75
Tài liệu tham khảo.....	75
Tiêu chuẩn	75

TCVN ***1-5:202x

PLQG cho TCVN ***1-1, Phụ lục quốc gia về: Thiết kế kết cấu thép - Phần 1-1: Quy tắc và quy tắc chung cho nhà.....	75
PLQG cho TCVN ***1-2, Phụ lục quốc gia về: Thiết kế kết cấu thép – Phần 2: Cầu thép	75
PD 6695-2, Khuyến nghị thiết kế cầu đến BS EN 1993.....	75

Thiết kế kết cấu thép – Phần 1-5: Cấu kiện kết cấu chế tạo từ bản phẳng

Design of steel structures – Part 1-5: Plated structural elements

1. Giới thiệu

1.1 Phạm vi

(1) TCVN X1993-1-5 quy định các yêu cầu thiết kế của các bản phẳng (bản) được tăng cứng hoặc không tăng cứng, và chịu lực trong mặt phẳng.

(2) Các hiệu ứng do trĩ cắt, tải trọng tập trung tác dụng trong mặt phẳng và mất ổn định của bản đối với các dầm tiết diện chữ I và tiết diện hộp cũng được đề cập trong tiêu chuẩn này. Các cấu kiện làm từ bản chịu lực trong mặt phẳng như bể chứa và si lô cũng được đề cập. Tiêu chuẩn này không đề cập tới ảnh hưởng của lực tác dụng ngoài mặt phẳng.

CHÚ THÍCH 1: Các quy định trong tiêu chuẩn này bổ sung cho các quy định đối với các tiết diện loại 1, 2, 3 và 4, xem TCVN X1993-1-1.

CHÚ THÍCH 2: Để thiết kế các bản mảnh chịu ứng suất trực tiếp lặp lại và/hoặc cắt và cũng như mỗi do uốn ngoài mặt phẳng của các cấu kiện phẳng (breathing) xem TCVN X1993-2 và TCVN X1993-6.

CHÚ THÍCH 3: Đối với các hiệu ứng của tải trọng ngoài mặt phẳng và đối với tổ hợp hiệu ứng trong mặt phẳng và ngoài mặt phẳng xem TCVN X1993-2 và TCVN X1993-1-7.

CHÚ THÍCH 4: Các cấu kiện đơn giản làm từ bản có thể được coi như phẳng khi bán kính cong r thỏa mãn điều kiện:

$$r \geq \frac{a^2}{t} \quad (1.1)$$

trong đó:

a là chiều rộng bản;

t là chiều dày tấm.

1.2 Tài liệu tham khảo

Các tài liệu viện dẫn sau cần thiết cho việc áp dụng tiêu chuẩn này. Đối với các tài liệu viện dẫn ghi năm công bố thì áp dụng phiên bản được nêu. Đối với các tài liệu viện dẫn không ghi năm công bố thì áp dụng phiên bản mới nhất, bao gồm cả các sửa đổi, bổ sung (nếu có).

TCVN X1993-1-1 *Thiết kế kết cấu thép: Phần 1-1: Quy định chung và quy định cho nhà*

1.3 Thuật ngữ và định nghĩa

Tiêu chuẩn này sử dụng các thuật ngữ và định nghĩa sau:

1.3.1

Ứng suất tới hạn đàn hồi (elastic critical stress)

Ứng suất trong cấu kiện mà khi đạt tới thì cấu kiện trở nên mất ổn định khi sử dụng thuyết đàn hồi chuyển vị nhỏ của kết cấu hoàn chỉnh.

1.3.2

Ứng suất màng (membrane stress)

Ứng suất tại mặt phẳng trung bình của bản

1.3.3

Tiết diện ngang nguyên (gross cross-section)

Tổng diện tích tiết diện ngang của cấu kiện, không kể đến các sườn cứng dọc không liên tục

1.3.4

Tiết diện ngang hiệu dụng và chiều rộng hiệu dụng (effective cross-section and effective width)

Tiết diện ngang nguyên hoặc chiều rộng được giảm do ảnh hưởng của mất ổn định bản hoặc trề cắt hoặc cả hai; để phân biệt giữa các ý nghĩa hiệu dụng của chúng thì từ “hiệu dụng” được phân biệt như sau:

“hiệu dụng” ký hiệu hiệu ứng mất ổn định của bản;

“hiệu dụng” ký hiệu hiệu ứng trề cắt;

“hiệu dụng” ký hiệu hiệu ứng mất ổn định của bản và trề cắt.

1.3.5

Kết cấu làm từ tấm cán (plated structure)

Kết cấu được làm từ các bản phẳng được nối với nhau; các bản này có thể được tăng cứng hoặc không tăng cứng.

1.3.6

Sườn cứng (stiffener)

Bản hoặc tiết diện định hình nối với tấm để chống mất ổn định hoặc tăng cứng cho tấm; sườn cứng được coi là:

- Sườn cứng dọc, nếu phương của nó song song với cấu kiện;

- Sườn cứng ngang, nếu phương của nó vuông góc với cấu kiện.

1.3.7

Bản được tăng cứng (stiffened plate)

Bản có sườn cứng ngang hoặc dọc hoặc cả hai.

1.3.8

Ô bản (subpanel)

Một phần của bản không tăng cứng, được viền bởi các cánh và/hoặc các sườn cứng.

1.3.9

Dầm hai loại thép (hybrid girder)

Dầm có các bản cánh và bản bụng làm từ các loại thép khác nhau; tiêu chuẩn này giả thiết là cường độ của thép bản cánh cao hơn của thép bản bụng.

1.3.10

Quy tắc dấu (sign convention)

Nếu không có quy định khác thì nên được lấy dấu dương.

1.4 Ký hiệu

(1) Để bổ sung cho các ký hiệu đã được nêu trong TCVN EN 1990 và TCVN X1993-1-1, trong tiêu chuẩn này sử dụng các ký hiệu sau:

A_{sf}	Tổng diện tích của tất cả các sườn cứng dọc của bản được tăng cứng
A_{st}	Diện tích tiết diện ngang nguyên của một sườn cứng ngang
A_{eff}	Diện tích tiết diện ngang hiệu dụng
$A_{c,eff}$	Diện tích tiết diện ngang hiệu dụng ^p
$A_{c,eff,loc}$	Diện tích tiết diện ngang hiệu dụng ^p cho mắt ổn định cục bộ
a	Chiều dài bản được tăng cứng hoặc không tăng cứng
b	Chiều rộng bản được tăng cứng hoặc không tăng cứng
b_w	Khoảng thông thủy giữa các mối hàn đối với các tiết diện hàn hoặc giữa các đầu mút của bán kính của các tiết diện cán
b_{eff}	Chiều rộng hiệu dụng ^s cho trẻ cát đàn hồi
F_{Ed}	Lực ngang thiết kế
h_w	Chiều cao thông thủy của sườn giữa các cánh

TCVN ***1-5:202x

- L_{eff} Chiều dài hiệu dụng cho độ bền chịu lực ngang, xem 6
- $M_{f,Rd}$ Độ bền chịu uốn dẻo thiết kế của tiết diện ngang chỉ của các cánh
- $M_{pl,Rd}$ Độ bền chịu uốn dẻo thiết kế của tiết diện ngang (không phụ thuộc loại tiết diện)
- M_{Ed} Giá trị thiết kế của mô men uốn
- N_{Ed} Giá trị thiết kế của lực dọc
- t Chiều dày bản
- V_{Ed} Lực cắt thiết kế bao gồm lực cắt do xoắn
- W_{eff} Mô đùn chống uốn của tiết diện
- β Hệ số chiều rộng hiệu dụng^s cho trề cắt đàn hồi
- (2) Các ký hiệu bổ sung được định nghĩa khi chúng xuất hiện lần đầu.

2. Cơ sở thiết kế và mô hình hóa

2.1 Tổng quát

(1)P Hiệu ứng của trễ cắt và mất ổn định bản phải được kể đến ở trạng thái giới hạn cực hạn, sử dụng hoặc mỗi

CHÚ THÍCH: Các hệ số an toàn riêng γ_{M0} và γ_{M1} được sử dụng trong tiêu chuẩn này được xác định cho các trường hợp ứng dụng khác nhau trong các Phụ lục quốc gia của TCVN X1993-1 đến TCVN X1993-6.

2.2 Các mô hình chiều rộng hiệu dụng cho phân tích tổng thể

(1)P Các hiệu ứng trễ cắt và mất ổn định bản trong các sườn cứng của các cấu kiện và nút phải được kể đến trong phân tích tổng thể.

(2) Các hiệu ứng trễ cắt của cánh trong phân tích tổng thể có thể được kể đến bằng cách sử dụng chiều rộng hiệu dụng^s. Để đơn giản chiều rộng hiệu dụng^s này có thể được giả thiết là không đổi trên suốt chiều dài nhịp.

(3) Đối với mỗi nhịp của cấu kiện, chiều rộng hiệu dụng^s của cánh cần được lấy bằng giá trị nhỏ hơn trong số các giá trị của chiều rộng tổng và $L/8$ về mỗi bên bản bụng, trong đó L là nhịp hoặc hai lần khoảng cách từ gối tựa đến đầu mút công xôn.

(4) Các hiệu ứng mất ổn định của bản trong phân tích tổng thể đàn hồi có thể được kể đến bằng cách sử dụng diện tích tiết diện ngang hiệu dụng^p của cấu kiện chịu nén, xem 4.3.

(5) Đối với phân tích tổng thể, hiệu ứng mất ổn định bản trong các sườn cứng có thể được bỏ qua khi diện tích tiết diện ngang hiệu dụng^p của cấu kiện chịu nén là lớn hơn ρ_{\min} lần diện tích tiết diện ngang nguyên của cấu kiện đó.

CHÚ THÍCH 1: Thông số ρ_{\min} có thể được cho trong Phụ lục Quốc gia. Giá trị ρ_{\min} khuyến nghị là 0,5.

CHÚ THÍCH 2: Để xác định độ cứng khi (5) không thỏa mãn, xem Phụ lục E.

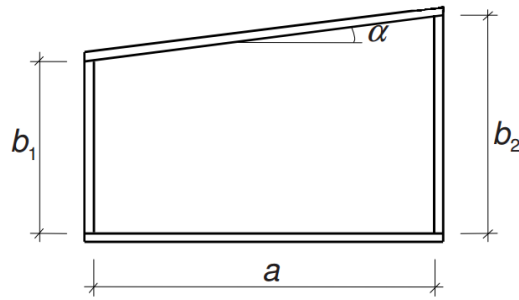
2.3 Sự mất ổn định của bản trên các tiết diện không đổi

(1) Mô hình chiều rộng hiệu dụng^p cho ứng suất pháp, mô hình độ bền đối với mất ổn định do cắt và mất ổn định do tải trọng ngang cũng như tương tác giữa các mô hình này để xác định độ bền của các cấu kiện tiết diện không đổi ở trạng thái giới hạn có thể được sử dụng khi áp dụng các điều kiện sau đây:

Các bản là chữ nhật và các cánh là song song;

Đường kính của bất kỳ lỗ hổng không tăng cứng hoặc khe cắt nào không được vượt quá $0,05b$, trong đó b là chiều rộng bản.

CHÚ THÍCH: Các quy định có thể áp dụng cho các bản không chữ nhật miễn là góc (xem Hình 2.1) không lớn hơn 10 độ. Nếu α_{limit} vượt quá 10 độ thì các bản có thể được đánh giá với giả thiết chúng là chữ nhật với cạnh bằng giá trị lớn hơn giữa b_1 và b_2 của bản.



Hình 2.1 – Xác định góc α

(2) Để tính các ứng suất ở trạng thái giới hạn sử dụng và trạng thái giới hạn bền mỏi, diện tích hiệu dụng^s có thể được sử dụng nếu điều kiện trong 2.2(5) thỏa mãn. Đối với các trạng thái giới hạn cực hạn, diện tích hiệu dụng theo 3.3 cần được sử dụng với β được thay bằng β_{ult} .

2.4 Phương pháp giảm ứng suất

(1) Một phương pháp khác để sử dụng mô hình chiều rộng hiệu dụng^p cho ứng suất pháp nếu trong điều 4 đến 7 là tiết diện ngang có thể được giả thiết là loại 3 miễn là các ứng suất trong các tấm không vượt quá các giới hạn quy định trong Điều 10.

CHÚ THÍCH: Phương pháp giảm ứng suất là tương tự với phương pháp chiều rộng hiệu dụng^p (xem 2.3) đối với các cấu kiện đơn giản chế tạo từ bản phẳng. Tuy nhiên, khi kiểm tra giới hạn ứng suất thì giả thiết không có sự giảm tải trọng giữa các cấu kiện tấm của mặt cắt tiết diện.

2.5 Cấu kiện tiết diện thay đổi

(1) Các cấu kiện tiết diện thay đổi (ví dụ, các cấu kiện có vách, các panel không phải hình chữ nhật) hoặc các cấu kiện có các lỗ kích thước lớn có thể được tính toán bằng phương pháp phần tử hữu hạn (FE)

CHÚ THÍCH 1: Xem Phụ lục B đối với các cấu kiện có tiết diện thay đổi.

CHÚ THÍCH 2: Đối với tính toán theo phương pháp phần tử hữu hạn xem Phụ lục C.

2.6 Cấu kiện có bản bụng lượn sóng

(1) Đối với các cấu kiện có bản bụng lượn sóng, độ cứng chống uốn chỉ được tính toán dựa trên các bản cánh. Bản bụng cần được coi là để truyền lực cắt và tải trọng ngang.

CHÚ THÍCH: Đối với độ bền chống mất ổn định của các bản cánh chịu nén và độ bền chịu cắt của bản bụng, xem Phụ lục D.

3. Trễ cắt trong thiết kế cấu kiện

3.1 Quy định chung

- (1) Trễ cắt trong các bản cánh có thể được bỏ qua nếu $b_0 < L_e/50$, trong đó b_0 lấy bằng chiều rộng cánh vượt hoặc một nửa chiều rộng của cấu kiện bên trong và L_e là chiều dài giữa các điểm có mô men uốn bằng không, xem 3.2.1(2).
- (2) Khi vượt quá giới hạn nêu trên đối với b_0 , thì ảnh hưởng do trễ cắt trong các bản cánh cần được xem xét ở trạng thái giới hạn sử dụng và các phép kiểm tra trạng thái giới hạn bền mỗi bằng cách sử dụng chiều rộng hiệu dụng^s theo 3.2.1 và sự phân bố ứng suất theo 3.2.2. Đối với kiểm tra theo các trạng thái giới hạn cực hạn thì có thể sử dụng diện tích hiệu dụng theo 3.3.
- (3) Các ứng suất do tải trọng cục bộ trong bản bụng đặt tại mức bản cánh cần được xác định theo 3.2.3.

3.2 Chiều rộng hiệu dụng^s cho trễ cắt đàn hồi

3.2.1 Chiều rộng hiệu dụng^s

- (1) Chiều rộng hiệu dụng^s b_{eff} khi kể đến trễ cắt trong giai đoạn làm việc đàn hồi, thông thường, được xác định theo công thức:

$$b_{eff} = \beta b_0 \quad (3.1)$$

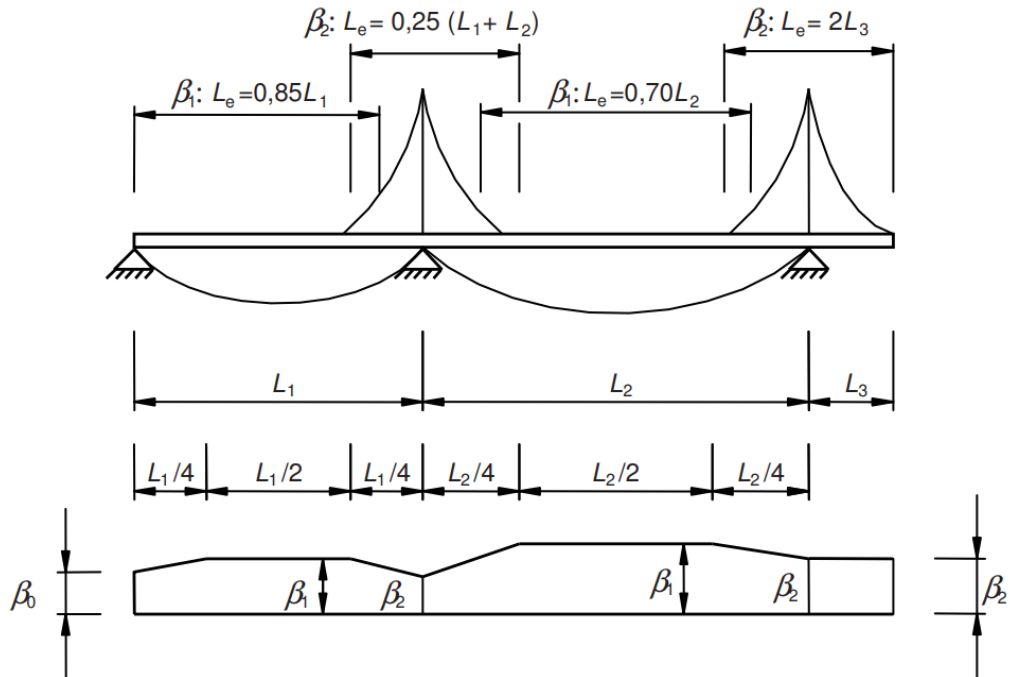
Hệ số hiệu dụng^s β được ghi trong Bảng 3.1.

Chiều rộng hiệu dụng^s có thể sử dụng cho các trạng thái giới hạn sử dụng và các trạng thái giới hạn bền mỗi.

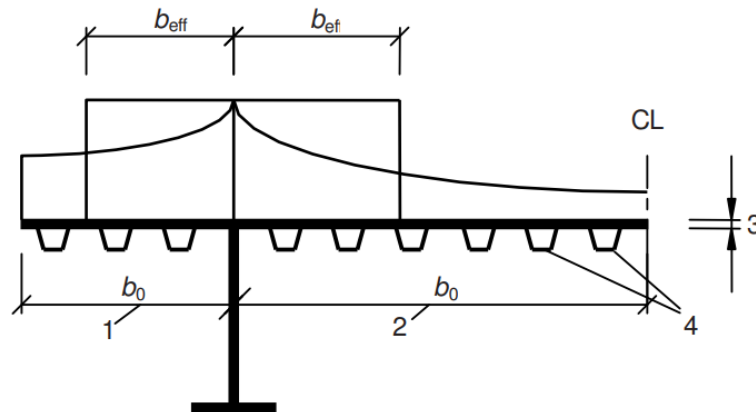
Bảng 3.1 – Hệ số chiều rộng hiệu dụng^s β

κ	Kiểm tra	Giá trị β
$\kappa \leq 0,02$		$\beta = 1,0$
$0,02 < \kappa \leq 0,70$	Uốn võng	$\beta = \beta_1 = \frac{1}{1 + 6,4 \kappa^2}$
	Uốn vòng	$\beta = \beta_2 = \frac{1}{1 + 6,0 \left(\kappa - \frac{1}{2500 \kappa} \right) + 1,6 \kappa^2}$
$\kappa > 0,70$	Uốn võng	$\beta = \beta_1 = \frac{1}{5,9 \kappa}$
	Uốn vòng	$\beta = \beta_2 = \frac{1}{8,6 \kappa}$
Tất cả κ	Gối tựa cuối	$\beta_0 = (0,55 + 0,025/\kappa) \beta_1$ nhưng $\beta_0 < \beta_1$
Tất cả κ	Công xôn	$\beta = \beta_2$ tại gối tựa và tại đầu mút
$\kappa = \alpha_0 b_0 / L_e \text{ với } \alpha_0 = \sqrt{1 + \frac{A_{s/l}}{(b_0 t)}}$ <p>trong đó $A_{s/l}$ là diện tích tất cả các sườn cứng trong phạm vi chiều rộng b_0 và các ký hiệu khác được xác định trên Hình 3.1 và Hình 3.2.</p>		

(2) Nếu các nhịp kề nhau khác nhau không quá 50 % hoặc chiều dài công xôn không quá 50 % nhịp liền kề, thì chiều dài hiệu dụng L_e cho phép được xác định theo Hình 3.1. Trong các trường hợp khác, L_e được lấy bằng khoảng cách giữa hai điểm liền kề có mô men uốn bằng không.



Hình 3.1 – Chiều dài hiệu dụng L_e đối với dầm liên tục và sự phân bố chiều dài hiệu dụng^s



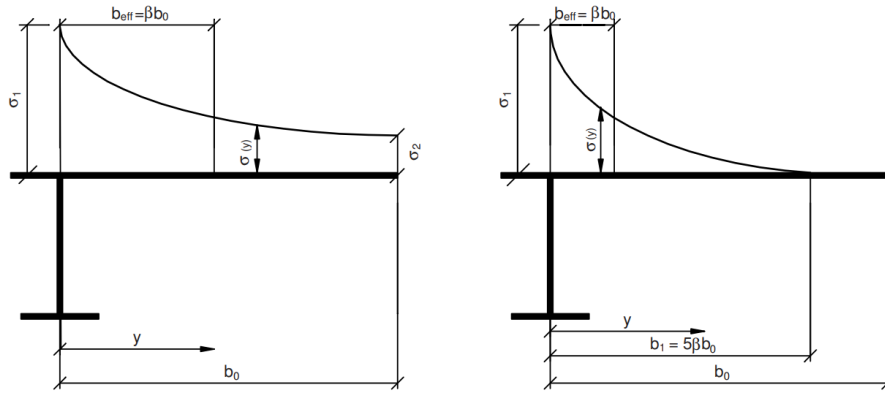
CHÚ DẪN:

- 1 – Phần vược bản cánh phía ngoài;
- 2 – Phần vược bản cánh phía trong;
- 3 – Chiều dày tấm t ;
- 4 – Các sườn cứng dọc với $A_{sl} = \sum A_{sli}$.

Hình 3.2 – Các ký hiệu cho trề cắt

3.2.2 Phân bố ứng suất do trề cắt

- (1) Sự phân bố ứng suất dọc theo tấm bản cánh do trề cắt cần được xác định theo Hình 3.3.



$\beta > 0,20 :$
 $\sigma_2 = 1,25(\beta - 0,20)\sigma_1$
 $\sigma(y) = \sigma_2 + (\sigma_1 - \sigma_2)(1 - y/b_0)^4$

$\beta \leq 0,20 :$
 $\sigma_2 = 0$
 $\sigma(y) = \sigma_1(1 - y/b_1)^4$

CHÚ THÍCH: σ_1 được tính với chiều rộng hiệu dụng^s của cánh b_{eff} .

Hình 3.3 - Phân bố ứng suất do trĩ cắt

3.2.3 Ảnh hưởng của nội lực trong mặt phẳng

(1) Sự phân bố ứng suất đàn hồi trong bản được tăng cứng hoặc không tăng cứng do tải trọng tập trung trong mặt phẳng tấm, xem Hình 3.4, cần được xác định theo công thức:

$$\sigma_{z,Ed} = \frac{F_{Ed}}{b_{eff}(t_w + a_{st,l})} \tag{3.2}$$

với: $b_{eff} = s_e \sqrt{1 + \left(\frac{z}{s_e n}\right)^2} ;$
 $n = 0,636 \sqrt{1 + \frac{0,878 a_{st,l}}{t_w}} ;$
 $s_e = s_s + 2t_f ;$

trong đó:

$a_{st,l}$ là diện tích tiết diện nguyên của sườn cứng trực tiếp chịu tải trọng trên đơn vị chiều dài s_e , có thể lấy dưới dạng tỉ số diện tích của sườn cứng trên khoảng cách giữa các trọng tâm của chúng s_{st} ;

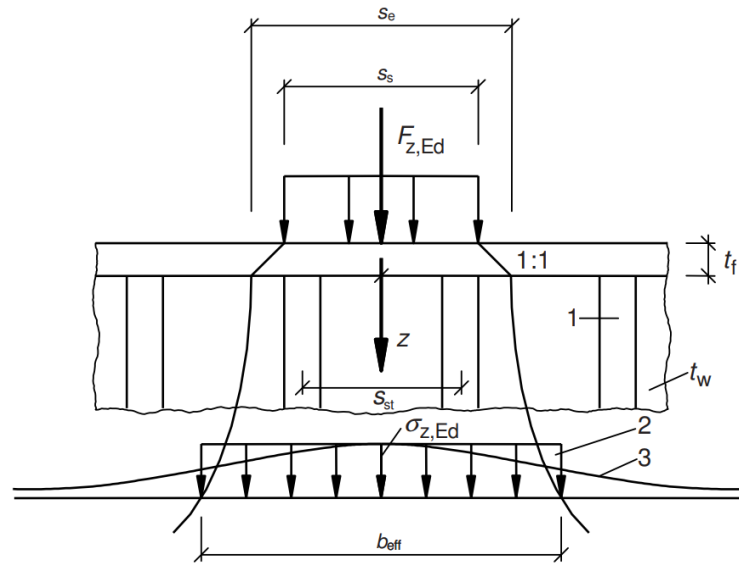
t_w là chiều dày bản bụng;

z là khoảng cách đến bản cánh;

s_e là chiều dài gối cứng;

s_{st} là khoảng cách của các sườn cứng.

CHÚ THÍCH: Phương trình (3.2) đúng khi $s_{st}/s_e \leq 0,5$; trường hợp ngược lại thì ảnh hưởng của các sườn cứng cần được bỏ qua.



CHÚ DẪN:

- 1 – Sườn cứng;
- 2 – Sự phân bố đơn giản hóa của ứng suất;
- 3 – Sự phân bố thực tế của ứng suất.

Hình 3.4 – Sơ đồ đặt tải trọng trong mặt phẳng tấm

CHÚ THÍCH: Sự phân bố nêu trên của ứng suất cũng được sử dụng khi tính toán bền mỗi có kể đến các tính chất mỗi của vật liệu.

3.3 Trễ cắt tại trạng thái giới hạn cực hạn

(1) Ở trạng thái giới hạn cực hạn hiệu ứng trễ cắt có thể được xác định như sau:

- a) hiệu ứng trễ cắt được xác định cho các trạng thái giới hạn sử dụng và bền mỗi;
- b) hiệu ứng tổ hợp của trễ cắt và mất ổn định của bản;
- c) hiệu ứng trễ cắt đàn-dẻo kể đến biến dạng dẻo hạn chế.

CHÚ THÍCH 1: Phụ lục Quốc gia có thể chọn phương pháp áp dụng. Nếu không có quy định khác trong TCVN X1993-2 đến TCVN X1993-6 thì phương pháp trong CHÚ THÍCH 3 được khuyến nghị áp dụng.

CHÚ THÍCH 2: Hiệu ứng tổ hợp của mất ổn định bản và trễ cắt có thể được kể đến bằng cách sử dụng A_{eff} được xác định theo công thức:

$$A_{eff} = A_{c,eff} \beta_{ult} \quad (3.3)$$

trong đó:

$A_{c,eff}$ là diện tích hiệu dụng^p của cánh chịu nén do mất ổn định bản (xem 4.4 và 4.5);

β_{ult} hệ số chiều rộng hiệu dụng^s để kể đến hiệu ứng trễ cắt ở trạng thái giới hạn cực hạn, β_{ult} có thể được lấy bằng hệ số β trong Bảng 3.1 với α_0 được thay bằng α_0^* :

$$\alpha_0^* = \sqrt{\frac{A_{c,eff}}{b_0 t_f}} \quad (3.4)$$

t_f là chiều dày bản cánh.

CHÚ THÍCH 3: Hiệu ứng trễ cắt đàn-dẻo kể đến biến dạng dẻo hạn chế có thể được kể đến bằng cách sử dụng A_{eff} như sau:

$$A_{eff} = A_{c,eff} \beta^\kappa \geq A_{c,eff} \beta \quad (3.5)$$

trong đó: β và κ được lấy theo Bảng 3.1.

Các biểu thức trong CHÚ THÍCH 2 và CHÚ THÍCH 3 cũng có thể được áp dụng cho các cánh chịu kéo, trong trường hợp này thì A_{eff} cần được thay bằng diện tích tiết diện nguyên của cánh chịu kéo.

4. Hiệu ứng mất ổn định của bản do các ứng suất trực tiếp ở trạng thái giới hạn cực hạn

4.1 Quy định chung

(1) Trong điều này đưa ra các quy định kể đến mất ổn định của bản do tác dụng của ứng suất pháp nén khi tính toán theo các trạng thái giới hạn, nếu thỏa mãn các điều kiện sau đây:

- a) Các ô bản bụng (các bản) chữ nhật, còn các cánh song song hoặc gần song song (xem 2.3);
- b) Các sườn cứng, nếu có, đặt theo phương dọc và/hoặc ngang hoặc cả hai;
- c) Các lỗ hoặc khe là nhỏ (xem 2.3);
- d) Mặt cắt của các cấu kiện là đồng nhất.
- e) Bản cánh gây ra bản bụng mất ổn định không xảy ra.

CHÚ THÍCH 1: Đối với bản cánh chịu nén mất ổn định trong mặt phẳng bản bụng xem ở Điều 8.

CHÚ THÍCH 2: Đối với sườn cứng và chi tiết của cấu kiện chế tạo từ bản liên quan đến mất ổn định bản, xem ở Điều 9.

4.2 Độ bền chịu các ứng suất trực tiếp

(1) Độ bền của các cấu kiện chế tạo từ bản có thể xác định bằng cách sử dụng diện tích hiệu dụng^p của các bản chịu nén đối với tiết diện loại 4, và sử dụng các thông số tiết diện (A_{eff} , I_{eff} , W_{eff}) đối với kiểm tra tiết diện và kiểm tra cấu kiện cột chống mất ổn định và mất ổn định xoắn ngang theo TCVN X1993-1-1.

(2) Các diện tích hiệu dụng^p của tiết diện ngang được xác định trên cơ sở sự phân phối biến dạng theo quy luật tuyến tính đạt tới các biến dạng đàn hồi tại mặt trung bình của bản chịu nén.

4.3 Tiết diện ngang hiệu dụng

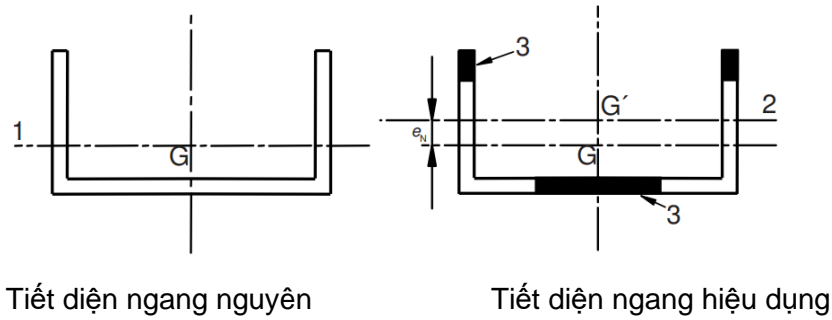
- (1) Khi tính toán các ứng suất dọc, cần kể đến ảnh hưởng kết hợp của trĩ cắt và mất ổn định bản bằng cách sử dụng các diện tích hiệu dụng nêu trong 3.3.
- (2) Các đặc trưng của tiết diện ngang hiệu dụng của các cấu kiện cần được xác định dựa trên các diện tích hiệu dụng của các cấu kiện chịu nén và dựa trên diện tích hiệu dụng^s của các cấu kiện chịu kéo do trĩ cắt.
- (3) Diện tích hiệu dụng A_{eff} cần được xác định với giả thiết là tiết diện ngang chỉ chịu các ứng suất do nén dọc đều. Đối với các tiết diện ngang không đối xứng, độ lệch tâm e_N của trọng tâm diện tích hiệu dụng A_{eff} so với trọng tâm tiết diện ngang nguyên, xem Hình 4.1, sẽ gây ra mô men bổ sung mà cần được kể đến khi kiểm tra tiết diện ngang theo 4.6.
- (4) Mô đun chống uốn W_{eff} của tiết diện hiệu dụng cần được xác định với giả thiết là tiết diện ngang chỉ chịu các ứng suất uốn, xem Hình 4.2. Đối với uốn hai phương, mô đun chống uốn của tiết diện hiệu dụng cần được xác định đối với cả hai trục chính.

CHÚ THÍCH: Một phương án khác cho 4.3(3) và (4) là tiết diện hiệu dụng đơn giản có thể được xác định theo N_{ed} và M_{ed} tác dụng đồng thời. Ảnh hưởng của e_N cần được kể đến như trong 4.3(3). Điều này yêu cầu quy trình tính toán lặp.

- (5) Ứng suất trong một bản cánh cần được tính toán bằng cách sử dụng mô đun chống uốn dẻo của tiết diện đối với mặt phẳng giữa của bản cánh.
- (6) Các dầm hybrid (dầm được chế tạo từ hai vật liệu thép khác nhau) có thể có vật liệu bản cánh với giới hạn chảy f_{yf} đến $\phi_n \times f_{yw}$, miễn là:
- Sự gia tăng các ứng suất trong các bản cánh do bản bụng bị chảy dẻo được kể đến bằng cách giới hạn các ứng suất trong bản bụng đến f_{yw} ;
 - f_{yf} được sử dụng để xác định diện tích hiệu dụng của bản bụng.

CHÚ THÍCH: Phụ lục Quốc gia có thể quy định giá trị của ϕ_n . Giá trị khuyến nghị là $\phi_n = 2,0$.

- (7) Sự gia tăng biến dạng và của ứng suất ở các trạng thái giới hạn sử dụng và bền mỏi có thể được bỏ qua đối với dầm hybrid phù hợp với 4.3(6) bao gồm cả CHÚ THÍCH.
- (8) Đối với dầm hai kim loại phù hợp với 4.3(6), giới hạn miền ứng suất trong TCVN X1993-1-9 có thể lấy bằng $1,5f_{yf}$.



CHÚ DẪN:

G là trọng tâm của tiết diện ngang nguyên;

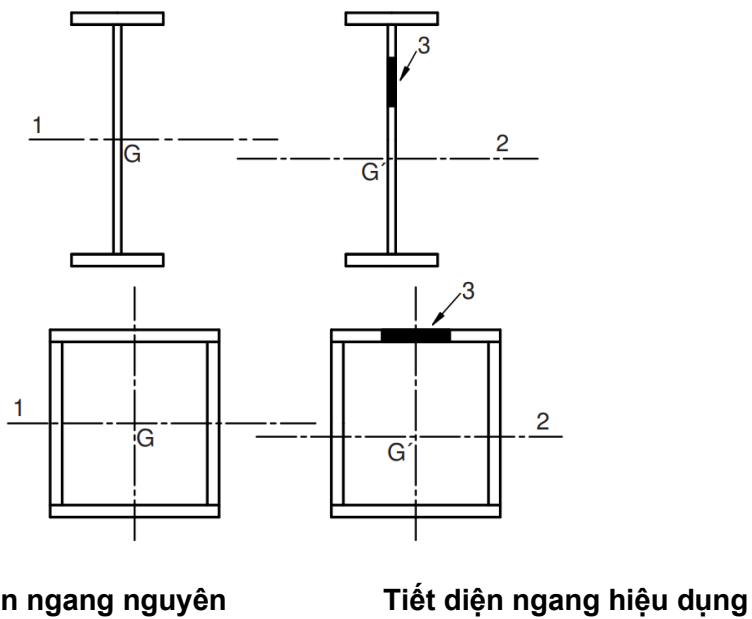
G' là trọng tâm của tiết diện ngang hiệu dụng.

1 – Trục trọng tâm của tiết diện ngang nguyên;

2 – Trục trọng tâm của tiết diện ngang hiệu dụng;

3 – Vùng không hiệu dụng.

Hình 4.1 – Các tiết diện loại 4 – lực dọc



CHÚ DẪN:

G là trọng tâm của tiết diện ngang nguyên;

G' là trọng tâm của tiết diện ngang hiệu dụng.

1 – Trục đi qua trọng tâm của tiết diện ngang nguyên;

2 – Trục đi qua trọng tâm của tiết diện ngang hiệu dụng;

3 – Vùng không hiệu dụng.

Hình 4.2 – Các tiết diện ngang loại 4 – Mô men uốn

4.4 Các cấu kiện làm từ bản không có sườn cứng dọc

(1) Các diện tích hiệu dụng^p của các cấu kiện phẳng chịu nén cần được xác định theo Bảng 4.1 đối với các cấu kiện trong và theo Bảng 4.2 đối với các cấu kiện biên. Diện tích hiệu dụng^p của vùng chịu nén của bản với diện tích tiết diện ngang nguyên A_c cần được xác định theo công thức:

$$A_{c,eff} = \rho A_c \quad (4.1)$$

trong đó: ρ là hệ số giảm đối với mất ổn định bản.

(2) Hệ số giảm ρ có thể được lấy như sau:

– Các cấu kiện bên trong chịu nén:

$$\rho = 1,0 \quad \text{nếu} \quad \bar{\lambda}_p \leq 0,5 + \sqrt{0,085 - 0,055\psi}$$

$$\rho = \frac{\bar{\lambda}_p - 0,055(3 + \psi)}{\bar{\lambda}_p^2} \leq 1,0 \quad \text{nếu} \quad \bar{\lambda}_p > 0,5 + \sqrt{0,085 - 0,055\psi} \quad (4.2)$$

– Các cấu kiện biên chịu nén:

$$\rho = 1,0 \quad \text{nếu} \quad \bar{\lambda}_p \leq 0,748$$

$$\rho = \frac{\bar{\lambda}_p - 0,188}{\bar{\lambda}_p^2} \leq 1,0 \quad \text{nếu} \quad \bar{\lambda}_p > 0,748 \quad (4.3)$$

trong đó:

$$\bar{\lambda}_p = \sqrt{\frac{f_y}{\sigma_{cr}}} = \frac{\bar{b}/t}{28,4\varepsilon\sqrt{k_\sigma}};$$

ψ là tỉ số ứng suất, được xác định theo 4.4(3) và 4.4(4);

\bar{b} là chiều rộng, được lấy bằng (để xác định, xem Bảng 5.2 của TCVN X1993-1-1):

b_w cho các bản bụng;

b cho các cấu kiện cánh trong (trừ RHS);

$b - 3t$ cho các cánh của RHS;

c cho các cánh ngoài;

h cho các thép góc cạnh đều;

h cho các thép góc cạnh không đều;

k_σ là hệ số mất ổn định ứng với hệ số ứng suất ψ và các điều kiện biên. Đối với bản dài k_σ được lấy theo Bảng 4.1 hoặc Bảng 4.2 tương ứng;

t là chiều dày;

σ_{cr} là ứng suất mất ổn định của bản tới hạn đàn hồi, xem phương trình (A.1) trong Phụ lục A.1(2) và Bảng 4.1 và Bảng 4.2;

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} \quad (f_y \text{ tính bằng N/mm}^2).$$

(3) Đối với các cấu kiện tiết diện chữ I và dầm hộp, tỉ số ứng suất sử dụng trong Bảng 4.1 và Bảng 4.2 là cơ sở để xác định các đặc trưng của tiết diện nguyên mà bắt buộc phải dùng trong tính toán các bản cánh khi kể đến hiệu ứng xoắn, nếu có hiệu ứng này. Đối với bản bụng, tỉ số ứng suất ψ theo Bảng 4.1 có kể đến phân bố ứng suất mà được xác định theo chiều rộng hiệu dụng và tiết diện nguyên của bản bụng.

CHÚ THÍCH: Nếu kết quả phân bố ứng suất ở các giai đoạn thi công là khác nhau thì trước tiên ứng suất trong các giai đoạn khác nhau có thể được tính với tiết diện ngang gồm tiết diện hiệu dụng của bản cánh và tiết diện nguyên của bản bụng, các ứng suất này được kể đến đồng thời. Dựa trên sự phân bố ứng suất này, xác định tiết diện hiệu dụng của bản bụng, và sau đó có thể được sử dụng cho tất cả các giai đoạn để tính sự phân bố ứng suất cuối cùng trong phân tích ứng suất.

(4) Với các giới hạn nêu trong 4.4(5), độ mảnh quy ước của bản $\bar{\lambda}_p$ của cấu kiện có thể được thay thế bằng:

$$\bar{\lambda}_{p,red} = \bar{\lambda}_p \sqrt{\frac{\sigma_{com,Ed}}{f_y / \gamma_{M0}}} \quad (4.4)$$

trong đó:

$\sigma_{com,Ed}$ là giá trị thiết kế lớn nhất của ứng suất nén trong cấu kiện, được xác định có kể đến tiết diện ngang hiệu dụng^p dưới tất cả các tải trọng tác dụng đồng thời.

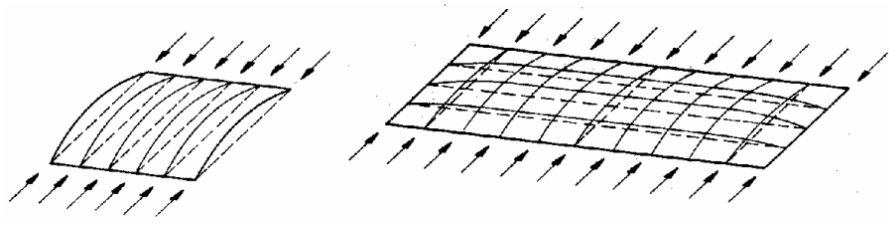
CHÚ THÍCH 1: Quy trình trên là thiên về an toàn và yêu cầu tính toán lặp mà trong đó tỉ số ứng suất ψ (xem Bảng 4.1 và Bảng 4.2) được xác định tại mỗi bước lặp theo các ứng suất tính được dựa trên tiết diện hiệu dụng^p đã được xác định tại cuối mỗi bước lặp trước đó.

CHÚ THÍCH 2: Xem quy trình thay thế trong Phụ lục E.

(5) Kiểm tra độ bền chống mất ổn định thiết kế của các cấu kiện loại 4, sử dụng 6.3.1 hoặc 6.3.4 của TCVN X1993-1-1, hoặc độ mảnh quy ước $\bar{\lambda}_p$ hoặc $\bar{\lambda}_{p,red}$ với $\sigma_{com,Ed}$, trong đó $\sigma_{com,Ed}$ được xác định theo phân tích bậc hai có kể đến sự không hoàn chỉnh tổng thể.

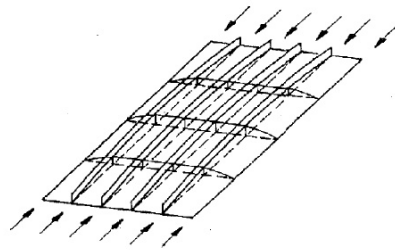
(6) Khi tỉ số các cạnh của bản $a/b < 1$ có thể xảy ra mất ổn định kiểu cột và việc kiểm tra cần được tiến hành theo 4.5.4 với việc sử dụng hệ số giảm ρ_c .

CHÚ THÍCH: Điều này áp dụng, ví dụ cho bản phẳng giữa các sườn cứng ngang, khi bản có thể mất ổn định kiểu cột và yêu cầu áp dụng hệ số giảm ρ_c đối với χ_c như đối với mất ổn định cột, xem Hình 4.3a) và b). Đối với bản có các sườn cứng dọc, mất ổn định kiểu cột cũng có thể xuất hiện khi $a/b \geq 1$, xem Hình 4.3 c).



a) Ứng xử kiểu cột của bản không có gối đỡ dọc

b) Ứng xử kiểu cột của bản không tăng cứng với tỉ số kích thước nhỏ α



c) Ứng xử kiểu cột của bản được tăng cứng với tỉ số kích thước lớn α

Hình 4.3 - Ứng xử kiểu cột

Bảng 4.1 – Các bản bên trong chịu nén

Phân bố ứng suất (nén lấy dấu dương)				Chiều rộng hiệu dụng ^P b_{eff}		
				$\psi = 1:$ $b_{eff} = \rho \bar{b}$ $b_{e1} = 0,5b_{eff} \quad b_{e2} = 0,5b_{eff}$		
				$1 > \psi \geq 0:$ $b_{eff} = \rho \bar{b}$ $b_{e1} = \frac{2}{5 - \psi} b_{eff} \quad b_{e2} = b_{eff} - b_{e1}$		
				$\psi < 0:$ $b_{eff} = \rho b_c = \rho \bar{b} / (1 - \psi)$ $b_{e1} = 0,4b_{eff} \quad b_{e2} = 0,6b_{eff}$		
$\psi = \sigma_2 / \sigma_1$	1	$1 > \psi > 0$	0	$0 > \psi > -1$	-1	$-1 > \psi \geq -3$
Hệ số mất ổn định k_σ	4,0	$8,2 / (1,05 + \psi)$	7,81	$7,81 - 6,29\psi + 9,87\psi^2$	23,9	$5,98(1 - \psi)^2$

Bảng 4.2 – Các bản ngoài chịu nén

Phân bố ứng suất (nén lấy dấu dương)		Chiều rộng hiệu dụng ^P b_{eff}			
		$1 > \psi \geq 0$: $b_{eff} = \rho c$			
		$\psi < 0$: $b_{eff} = \rho b_c = \rho c / (1 - \psi)$			
$\psi = \sigma_2 / \sigma_1$	1	0	-1	$1 \geq \psi \geq -3$	
Hệ số mất ổn định k_σ	0,43	0,57	0,85	$0,57 - 0,21\psi + 0,07\psi^2$	
		$1 > \psi \geq 0$: $b_{eff} = \rho c$			
		$\psi < 0$: $b_{eff} = \rho b_c = \rho c / (1 - \psi)$			
$\psi = \sigma_2 / \sigma_1$	1	$1 > \psi > 0$	0	$0 > \psi > -1$	-1
Hệ số mất ổn định k_σ	0,43	$0,578 / (\psi + 0,34)$	1,70	$1,7 - 5\psi + 17,1\psi^2$	23,8

4.5 Các bản được tăng cường bằng các sườn cứng dọc

4.5.1 Các quy định chung

- (1) Đối với các bản có sườn cứng dọc, diện tích hiệu dụng^P từ mất ổn định cục bộ của các ô bản khác nhau giữa các sườn cứng và diện tích hiệu dụng^P từ mất ổn định tổng thể của bản được tăng cường cần được kể đến.
- (2) Diện tích hiệu dụng^P của mỗi ô bản cần được xác định bằng hệ số giảm phù hợp với 4.4 để kể đến mất ổn định cục bộ của bản. Bản được tăng cường với các diện tích hiệu dụng^P đối với các sườn cứng cần được kiểm tra mất ổn định tổng thể (bằng cách mô hình hóa nó như là bản đẳng hướng tương đương) và hệ số giảm ρ_c cần được xác định cho mất ổn định toàn bộ bản.
- (3) Diện tích hiệu dụng^P của vùng chịu nén của bản được tăng cường cần được lấy như sau:

$$A_{c,eff} = \rho_c A_{c,eff,loc} + \sum b_{edge,eff} t \tag{4.5}$$

trong đó:

$A_{c,eff,loc}$ là diện tích hiệu dụng^p của tất cả các sườn cứng và ô bản chịu nén toàn bộ hoặc một phần, trừ các phần diện tích hiệu dụng được đỡ bởi bản liền kề với chiều rộng $b_{edge,eff}$, xem ví dụ trên Hình 4.4.

(4) Diện tích $A_{c,eff,loc}$ cần được xác định theo công thức:

$$A_{c,eff,loc} = A_{sl,eff} + \sum_c \rho_{loc} b_{c,loc} t \tag{4.6}$$

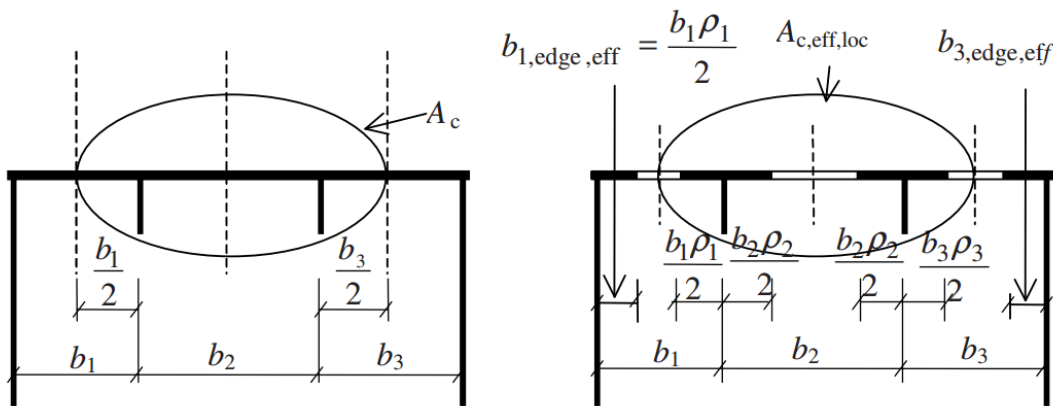
trong đó:

\sum_c áp dụng cho phần chiều rộng ô bản được tăng cường chịu nén, trừ các phần $b_{edge,eff}$, xem Hình 4.4;

$A_{sl,eff}$ là tổng tiết diện hiệu dụng^p theo 4.4 của tất cả các sườn cứng dọc với diện tích tiết diện nguyên A_{sl} nằm trong vùng chịu nén;

$b_{c,loc}$ là chiều rộng của phần chịu nén của mỗi ô bản;

ρ_{loc} là hệ số giảm theo 4.4(2) cho mỗi ô bản.



Hình 4.4 – Bản được tăng cường chịu nén đều

CHÚ THÍCH: Đối với nén không đều, xem Hình A.1.

(5) Khi xác định hệ số giảm ρ_c cho mất ổn định tổng thể, hệ số giảm cho mất ổn định kiểu cột, mà an toàn hơn hệ số giảm cho mất ổn định kiểu bản, cần được xem xét.

(6) Cần lấy nội suy tuyến tính giữa các giá trị của hệ số giảm ρ cho mất ổn định của bản và hệ số giảm χ_c cho mất ổn định kiểu cột để xác định ρ_c , xem 4.5.4.

(7) Việc giảm diện tích chịu nén $A_{c,eff,loc}$ thông qua ρ_c có thể lấy không đổi đối với toàn bộ tiết diện ngang.

(8) Nếu trề cắt xảy ra (xem 3.3), diện tích tiết diện ngang hiệu dụng $A_{c,eff}$ của vùng chịu nén của bản được tăng cứng cần được lấy bằng $A_{c,eff}^B$ có xét đến không chỉ hiệu ứng mất ổn định cục bộ bản mà còn cả hiệu ứng trề cắt.

(9) Diện tích tiết diện ngang hiệu dụng của vùng chịu kéo của bản được tăng cứng cần được lấy bằng diện tích tiết diện nguyên của vùng chịu kéo được giảm do trề cắt nếu xảy ra, xem 3.3.

(10) Mô đun chống uốn hiệu dụng W_{eff} cần được lấy bằng mô men quán tính của diện tích tiết diện hiệu dụng chia cho khoảng cách từ trọng tâm của nó đến giữa chiều cao bản cánh.

4.5.2 Ứng xử kiểu bản

(1) Độ mảnh tương đối của bản tương đương $\bar{\lambda}_p$ được xác định theo công thức:

$$\bar{\lambda}_p = \sqrt{\frac{\beta_{A,c} f_y}{\sigma_{cr,p}}} \tag{4.7}$$

với $\beta_{A,c} = \frac{A_{c,eff,loc}}{A_c}$,

trong đó:

A_c là diện tích tiết diện nguyên của vùng chịu nén của bản được tăng cứng, trừ các phần của các ô bản được đỡ bởi bản liền kề, xem Hình 4.4 (nhân với hệ số trề cắt nếu xảy ra hiện tượng trề cắt, xem 3.3);

$A_{c,eff,loc}$ là diện tích hiệu dụng của phần tương tự của bản (bao gồm cả hiệu ứng trề cắt, nếu có) với khả năng mất ổn định các bản của các ô bản và/hoặc của các sườn cứng;

$\sigma_{cr,p}$ là Ứng suất mất ổn định kiểu cột tới hạn đàn hồi, tính toán không xét đến của độ cứng xoắn của tiết diện sườn cứng kín.

(2) Hệ số giảm ρ cho bản trực hướng tương đương được xác định theo 4.4(2) khi xác định $\bar{\lambda}_p$ theo công thức (4.7).

CHÚ THÍCH: Để tính toán $\sigma_{cr,p}$, xem Phụ lục A.

4.5.3 Ứng xử mất ổn định kiểu cột

(1) Ứng suất mất ổn định tới hạn đàn hồi kiểu cột $\sigma_{cr,c}$ của bản không tăng cứng (xem 4.4) và bản tăng cứng (xem 4.5) cần được lấy bằng ứng suất mất ổn định với việc bỏ đi các gối tựa dọc theo các cạnh dọc.

(2) Ứng suất mất ổn định kiểu cột tới hạn đàn hồi kiểu cột tới hạn đàn hồi $\sigma_{cr,c}$ của bản không tăng cứng có thể được xác định theo công thức:

$$\sigma_{cr,c} = \frac{\pi^2 Et^2}{12(1-\nu^2)a^2} \quad (4.8)$$

(3) Đối với bản được tăng cứng $\sigma_{cr,c}$ có thể được xác định theo ứng suất mất ổn định tới hạn đàn hồi kiểu cột $\sigma_{cr,sl}$ của sườn cứng gần nhất so với cạnh panel có ứng suất nén lớn nhất như sau:

$$\sigma_{cr,sl} = \frac{\pi^2 EI_{sl,1}}{A_{sl,1}a^2} \quad (4.9)$$

trong đó:

$I_{sl,1}$ là mô men quán tính của diện tích tiết diện nguyên của sườn cứng và các phần liên kề với bản ứng với uốn ngoài mặt phẳng bản;

$A_{sl,1}$ là tiết diện nguyên của sườn cứng và các phần liên kề với bản theo Hình A.1.

CHÚ THÍCH: $\sigma_{cr,c}$ có thể được xác định theo công thức $\sigma_{cr,c} = \sigma_{cr,sl} \frac{b_c}{b_{sl,1}}$, trong đó $\sigma_{cr,c}$ được xác định đối với cạnh chịu nén của bản và $b_{sl,1}$ và b_c là các giá trị hình học của các cạnh biểu đồ phân bố ứng suất được lấy theo ngoại suy, xem Hình A.1.

(4) Độ mảnh tương đối của cột $\bar{\lambda}_c$ được xác định như sau:

$$\bar{\lambda}_c = \sqrt{\frac{f_y}{\sigma_{cr,c}}} \text{ đối với bản không tăng cứng} \quad (4.10)$$

$$\bar{\lambda}_c = \sqrt{\frac{\beta_{A,c} f_y}{\sigma_{cr,c}}} \text{ đối với bản tăng cứng} \quad (4.11)$$

với:

$$\beta_{A,c} = \frac{A_{sl,1,eff}}{A_{sl,1}};$$

$A_{sl,1}$ được xác định theo 4.5.3(3);

$A_{sl,1,eff}$ là diện tích tiết diện ngang hiệu dụng của sườn cứng và các phần liên kề với bản có kể đến mất ổn định của bản, xem Hình A.1.

(5) Hệ số giảm χ_c cần được lấy theo 6.3.1.2 của TCVN X1993-1-1. Đối với bản không tăng cứng cần sử dụng $\alpha = 0,21$ ứng với đường cong mất ổn định a. Đối với bản được tăng cứng, giá trị của nó cần được tăng lên đến

$$\alpha_e = \alpha + \frac{0,09}{i/e} \quad (4.12)$$

với:

$$i = \sqrt{\frac{I_{sl,1}}{A_{sl,1}}};$$

$e = \max(e_1, e_2)$ là khoảng cách lớn nhất từ trọng tâm của bản và sườn cứng một phía (hoặc của trọng tâm của các sườn cứng khi chúng ở hai phía) đến trục trung hòa của cột hiệu dụng, xem Hình A.1;

$\alpha = 0,34$ (đường cong b) cho sườn cứng tiết diện kín;

= 0,49 (đường cong c) cho các sườn cứng tiết diện hở.

4.5.4 Tương tác giữa mất ổn định bản và mất ổn định cột

(1) Hệ số giảm cuối cùng ρ_c cần được xác định bằng ngoại suy giữa χ_c và ρ như sau:

$$\rho_c = (\rho - \chi_c)\xi(2 - \xi) + \chi_c \quad (4.13)$$

trong đó:

$$\xi = \frac{\sigma_{cr,p}}{\sigma_{cr,c}} - 1 \quad \text{nhưng} \quad 0 \leq \xi \leq 1;$$

$\sigma_{cr,p}$ là ứng suất mất ổn định bản tới hạn đàn hồi, xem Phụ lục A.1(2);

$\sigma_{cr,c}$ là ứng suất mất ổn định cột tới hạn đàn hồi theo 4.5.3(2) và (3) tương ứng;

χ_c là hệ số giảm do mất ổn định cột;

ρ là hệ số giảm do mất ổn định bản, xem 4.4(1).

4.6 Kiểm tra ổn định

(1) Kiểm tra mất ổn định cấu kiện chịu nén và uốn hai phương cần được thực hiện như sau;

$$\eta_1 = \frac{N_{Ed}}{f_y A_{eff}} + \frac{M_{Ed} + N_{Ed} e_N}{f_y W_{eff}} \leq 1,0 \quad (4.14)$$

trong đó:

A_{eff} là diện tích tiết diện ngang hiệu dụng theo 4.3(3);

e_N là độ lệch vị trí trục trung hòa, xem 4.3(3);

M_{Ed} là mô men uốn thiết kế;

N_{Ed} là lực dọc thiết kế;

W_{eff} là mô đun chống uốn đàn hồi hiệu dụng của tiết diện, xem 4.3(4);

γ_{M0} là hệ số riêng, xem các phần áp dụng của TCVN X1993-2 đến TCVN X1993-6.

CHÚ THÍCH: Đối với các cấu kiện chịu nén và uốn hai phương, phương trình (4.14) nêu trên có thể được điều chỉnh như sau:

$$\eta_1 = \frac{N_{Ed}}{\frac{f_y A_{eff}}{\gamma_{M0}}} + \frac{M_{y,Ed} + N_{Ed} e_{y,N}}{\frac{f_y W_{y,eff}}{\gamma_{M0}}} + \frac{M_{z,Ed} + N_{Ed} e_{z,N}}{\frac{f_y W_{z,eff}}{\gamma_{M0}}} \leq 1,0 \quad (4.15)$$

trong đó:

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$ là các mô men uốn thiết kế đối với trục y-y và z-z tương ứng;

$e_{y,N}$, $e_{z,N}$ là các độ lệch tâm đối với trục trung hòa.

(2) Các nội lực M_{Ed} và N_{Ed} , nếu có, cần được sử dụng trong phân tích hiệu ứng bậc hai tổng thể.

(3) Kiểm tra mất ổn định bản của panel cần được thực hiện do tác dụng của các thành phần ứng suất tại khoảng cách $0,4a$ hoặc $0,5b$, tùy theo khoảng cách nào nhỏ hơn, từ đầu panel, nơi ứng suất là lớn hơn. Trong trường hợp này độ bền tiết diện nguyên cần được kiểm tra tại đầu panel.

5 Độ bền chịu cắt

5.1 Cơ sở

(1) Phần này đưa ra các quy tắc tính toán độ bền chịu cắt của bản có xét đến mất ổn định do cắt tại trạng thái giới hạn khi các điều kiện sau thỏa mãn:

- các tấm là chữ nhật trong phạm vi giới hạn về góc nêu trong 2.3;
- các sườn cứng (nếu có) được bố trí theo phương dọc hoặc ngang hoặc cả hai;
- tất cả các lỗ hoặc khe cắt là nhỏ (xem 2.3);
- các cấu kiện có tiết diện ngang không đổi.

(2) Bản có $\frac{h_w}{t}$ lớn hơn $\frac{72}{\eta} \varepsilon$ đối với bản bụng không được tăng cứng, hoặc $\frac{31}{\eta} \varepsilon \sqrt{k_\tau}$ đối với bản bụng được tăng cứng, cần được kiểm tra độ bền mất ổn định do cắt và cần được bố trí các sườn cứng ngang tại các gối tựa, trong đó $\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}}$ với f_y tính bằng N/mm².

CHÚ THÍCH 1: h_w xem Hình 5.1 và k_τ xem 5.3(3).

CHÚ THÍCH: 2: Phụ lục quốc gia sẽ xác định giá trị của η . Giá trị $\eta = 1,20$ được khuyến nghị áp dụng cho thép có mức tới S460. Đối với mức thép cao hơn $\eta = 1,00$ được khuyến nghị áp dụng.

5.2 Độ bền thiết kế

(1) Đối với bản bụng không tăng cứng và có tăng cứng, độ bền cắt thiết kế cần được xác định như sau:

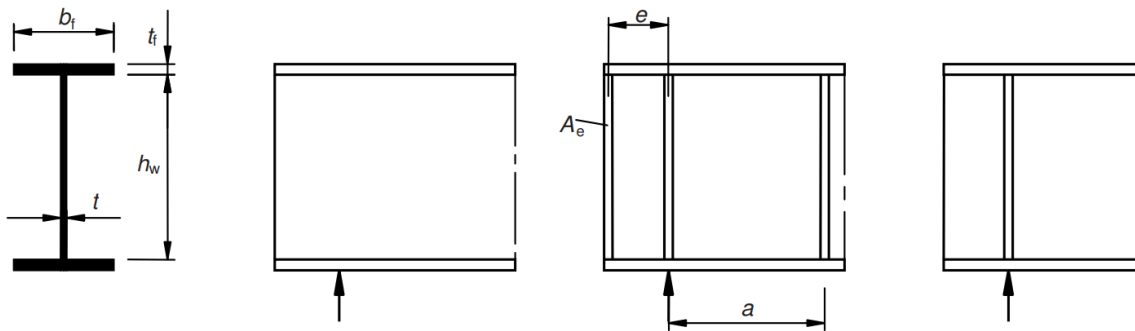
$$V_{b,Rd} = V_{bw,Rd} + V_{bf,Rd} \leq \frac{\eta f_{yw} h_w t}{\sqrt{3} \gamma_{M1}} \tag{5.1}$$

trong đó độ bền cắt của bản bụng được xác định bằng:

$$V_{bw,Rd} = \frac{\chi_w f_{yw} h_w t}{\sqrt{3} \gamma_{M1}} \tag{5.2}$$

và độ bền cắt của các bản cánh $V_{bf,Rd}$ được xác định theo 5.4.

(2) Các sườn cứng cần phù hợp với các yêu cầu trong 9.3 và các bản bụng cần thỏa mãn các yêu cầu nêu trong 9.3.5.



Ký hiệu liên kết mắt cắt ngang

a) Không có liên kết

b) Liên kết cứng

c) Không liên kết cứng

Hình 5.1 Các liên kết gối tựa

5.3 Độ bền của bản bụng

(1) Đối với các bản bụng chỉ có các sườn cứng ngang tại các gối tựa và đối với các bản bụng có các sườn cứng trung gian khác (ngang, dọc hoặc cả hai), hệ số χ_w cho độ bền mất ổn định do cắt của bản bụng cần được lấy theo Bảng 5.1 hoặc Hình 5.2.

Bảng 5.1 – Hệ số χ_w cho độ bền mất ổn định do cắt của bản bụng

	gối tựa cứng	Gối tựa không cứng
$\bar{\lambda}_w < 0,83 / \eta$	η	η

$0,83/\eta \leq \bar{\lambda}_w < 1,08$	$0,83/\bar{\lambda}_w$	$0,83/\bar{\lambda}_w$
$\bar{\lambda}_w \geq 1,08$	$1,37/(0,7 + \bar{\lambda}_w)$	$0,83/\bar{\lambda}_w$

CHÚ THÍCH: Xem 6.2.6 trong TCVN X1993-1-1.

(2) Hình 5.1 thể hiện các gối tựa khác nhau cho dầm:

- a) Không có sườn cứng, xem 6.1(2), loại c);
- b) Vùng cứng đầu dầm, xem 9.3.1; trường hợp này cũng có thể áp dụng cho các tấm tại các gối trung gian của dầm liên tục;
- c) Không có vùng cứng đầu dầm, xem 9.3.2.

(3) Độ mảnh điều chỉnh $\bar{\lambda}_w$ trong Bảng 5.1 và trên Hình 5.2 có thể được lấy bằng:

$$\bar{\lambda}_w = 0,76 \sqrt{\frac{f_{yw}}{\tau_{cr}}} \quad (5.3)$$

trong đó:
$$\tau_{cr} = k_\tau \sigma_E \quad (5.4)$$

CHÚ THÍCH: Giá trị của σ_E và k_τ có thể được lấy từ Phụ lục A.

a) Chỉ có các sườn cứng ngang ở gối tựa;

$$\bar{\lambda}_w = \frac{h_w}{86,4 t \varepsilon} \quad (5.5)$$

b) Có các sườn cứng ngang tại gối tựa và các sườn cứng dọc và ngang trung gian hoặc cả hai:

$$\bar{\lambda}_w = \frac{h_w}{37,4 t \varepsilon \sqrt{k_\tau}} \quad (5.6)$$

trong đó k_τ là hệ số mất ổn định do cắt của panel bản bụng.

CHÚ THÍCH 3: Khi các sườn cứng ngang mềm cũng được sử dụng để bổ sung cho các sườn cứng ngang cứng, k_τ lấy bằng giá trị tối thiểu của phần bản bụng giữa hai sườn cứng ngang (ví dụ, $a_2 \times h_w$ và $a_3 \times h_w$) và phần bản bụng giữa hai sườn cứng có chứa các sườn cứng ngang mềm (ví dụ $a_4 \times h_w$).

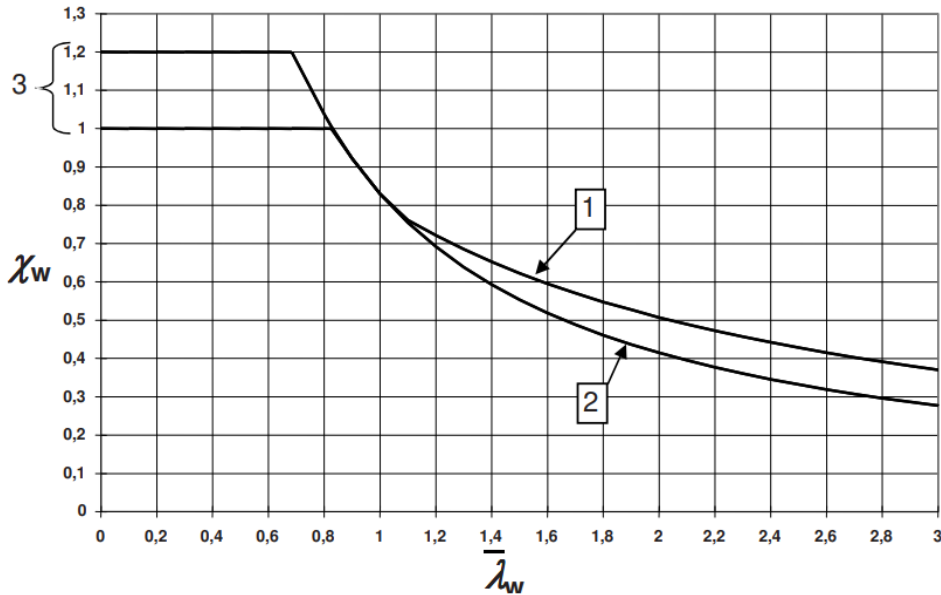
CHÚ THÍCH 4: Các biên cứng có thể được dùng cho các bản được bao bằng các bản cánh và các sườn cứng ngang cứng. Phân tích mất ổn định bản bụng có thể sau đó dựa trên phần bản giữa hai sườn cứng ngang liền kề (ví dụ, $a_1 \times h_w$ trên Hình 5.3).

CHÚ THÍCH 5: Đối với các sườn cứng ngang mềm, k_τ có thể lấy từ phân tích mất ổn định như sau:

1. tổ hợp hai phần bản bụng liền kề có một sườn cứng ngang mềm.
2. tổ hợp ba phần bản bụng liền kề có hai sườn cứng ngang mềm.

Quy trình xác định k_r xem trong Phụ lục A.3.

(4) Khi tính k_r , mô men quán tính của diện tích sườn cứng dọc cần được giảm 1/3 so với giá trị thực tế của nó. Công thức tính k_r kể đến sự giảm này trong Phụ lục A.3 có thể sử dụng.



- 1 Vùng cứng đầu dầm
- 2 Vùng đầu dầm không cứng
- 3 Miền khuyến nghị của η

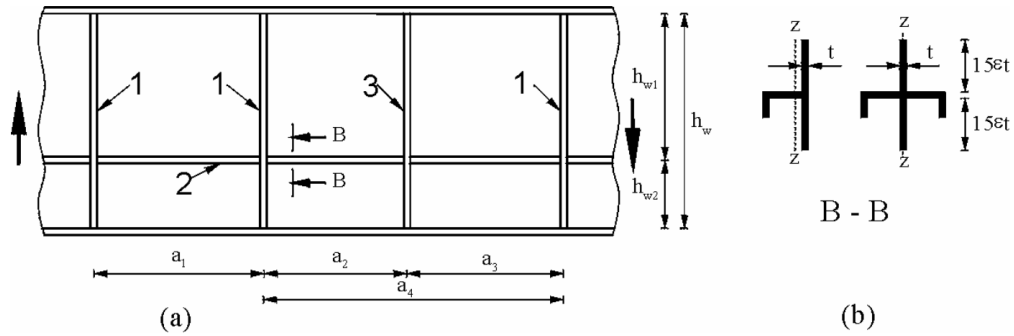
Hình 5.2 – Hệ số mất ổn định do cắt χ_w

(5) Đối với bản bụng có sườn cứng dọc, độ mảnh điều chỉnh $\bar{\lambda}_w$ trong (3) không được lấy nhỏ hơn:

$$\bar{\lambda}_w = \frac{h_{wi}}{37,4t\epsilon\sqrt{k_{ri}}} \tag{5.7}$$

trong đó: h_{wi} và k_{ri} thuộc ô bản có độ mảnh điều chỉnh $\bar{\lambda}_w$ lớn nhất trong số các ô bản trong phạm vi panel bản bụng đang xét.

CHÚ THÍCH: Để tính k_{ri} có thể sử dụng biểu thức nêu trong A.3 với $k_{rsl} = 0$.



CHÚ DẪN:

- 1 – Sườn cứng ngang cứng;
- 2 – Sườn cứng dọc;
- 3 – Sườn cứng ngang mềm.

Hình 5.3 – Bản bưng có các sườn cứng ngang và dọc

5.4 Độ bền của bản cánh

(1) Khi độ bền của bản cánh không đủ để chống lại mô men uốn ($M_{Ed} < M_{f,Rd}$), thì độ bền của bản cánh cần được xác định theo công thức:

$$V_{bf,Rd} = \frac{b_f t_f^2 f_{yf}}{c \gamma_{M1}} \left(1 - \left(\frac{M_{Ed}}{M_{f,Rd}} \right)^2 \right) \tag{5.8}$$

trong đó:

b_f và t_f được lấy cho bản cánh mà đảm bảo được độ bền lực dọc ít nhất;

b_f được lấy không lớn hơn $15 \epsilon t_f$ về mỗi phía của bản bưng;

$M_{f,Rd} = \frac{M_{f,k}}{\gamma_{M0}}$ là độ bền uốn của tiết diện bao gồm diện tích hiệu dụng của mỗi bản cánh;

$$c = a \left(0,25 + \frac{1,6 b_f t_f^2 f_{yf}}{t h_w^2 f_{yw}} \right)$$

(2) Khi có lực dọc N_{Ed} , giá trị của $M_{f,Rd}$ cần được giảm bằng cách nhân nó với hệ số sau:

$$\left(1 - \frac{N_{Ed}}{\frac{(A_{r1} + A_{r2}) f_{yf}}{\gamma_{M0}}} \right) \tag{5.9}$$

trong đó: A_{r1} và A_{r2} tương ứng là các diện tích của bản cánh dưới và bản cánh trên.

5.5 Kiểm tra độ bền

(1) Kiểm tra độ bền được tiến hành theo công thức:

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{b,Rd}} \leq 1,0 \quad (5.10)$$

trong đó:

V_{Ed} là giá trị thiết kế của lực dọc khi uốn xoắn.

6 Khả năng chống lại lực ngang

6.1 Cơ sở

(1) Tính toán độ bền của bản bụng của các dầm cán và dầm hàn cần được thực hiện theo 6.2 với điều kiện bản cánh chịu nén được ngàm chặn trong chuyển dịch ngang.

(2) Lực tác dụng như sau:

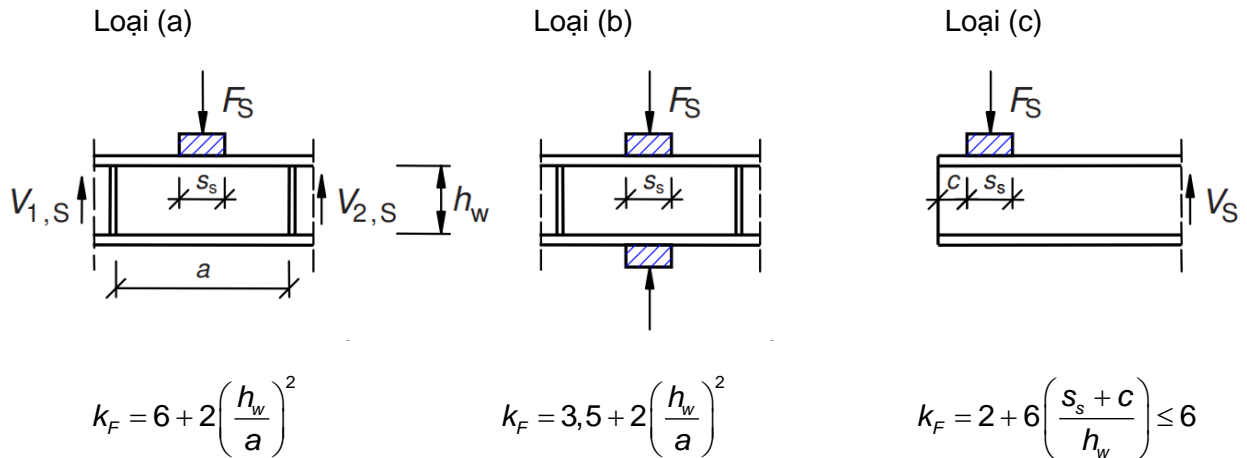
a) thông qua bản cánh và chống lại lực cắt của bản bụng (xem Hình 6.1, a));

b) truyền lực cục bộ lên bản bụng thông qua các tấm bản cánh trên và dưới (xem Hình 6.1, b));

c) thông qua tấm gối ở gối không có sườn cứng (xem Hình 6.1, c)).

(3) Đối với các dầm hộp có các bản bụng nghiêng cần kiểm tra độ bền của bản bụng và bản cánh. Các nội lực được kể đến là các thành phần của tải trọng ngoài tác dụng tương ứng trong mặt phẳng bản bụng và bản cánh.

(4) Tương quan của lực ngang, mô men uốn và lực dọc trong các phép kiểm tra theo 7.2.



Hình 6.1 – Các hệ số mất ổn định đối với các sơ đồ đặt tải trọng khác nhau

6.2 Độ bền thiết kế

(1) Đối với các bản bụng không được tăng cứng hoặc được tăng cứng, độ bền mất ổn định cục bộ dưới lực ngang nên được lấy như sau:

$$F_{Rd} = \frac{f_{yw} L_{eff} t_w}{\gamma_{M1}} \quad (6.1)$$

trong đó:

t_w là chiều dày bản bụng;

f_{yw} là giới hạn chảy của bản bụng;

L_{eff} là chiều dài hiệu dụng khi xác định độ bền chịu lực ngang, được xác định theo công thức:

$$L_{eff} = \chi_F \ell_y \quad (6.2)$$

trong đó:

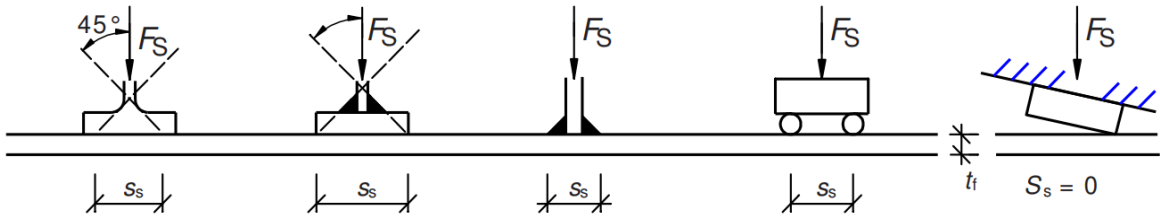
ℓ_y là chiều dài chịu lực hiệu dụng, xem 6.5, phù hợp với chiều dài gối tựa, s_s xem 6.3;

χ_F là hệ số giảm do mất ổn định cục bộ, xem 6.4(1).

6.3 Chiều dài gối tựa

(1) Chiều dài gối tựa cứng s_s trên bản cánh cần được lấy bằng khoảng cách mà lực tác dụng được phân phối một cách hữu hiệu với độ dốc 1:1, xem Hình 6.2. Tuy nhiên, s_s không được lấy lớn hơn h_w .

(2) Nếu một số lực tập trung đặt gần nhau, độ bền cần được kiểm tra cho từng lực riêng biệt cũng như cho lực tổng với s_s là khoảng cách giữa tâm các lực ngoài cùng.



Hình 6.2 – Chiều dài gối tựa

(3) Nếu bề mặt gối tựa của lực tác dụng nghiêng một góc so với bề mặt bản cánh, xem Hình 6.2, s_s lấy bằng không.

6.4 Hệ số giảm của chiều dài hiệu dụng khi tính độ bền

(1) Hệ số giảm χ_F nên được xác định theo công thức:

$$\chi_F = \frac{0,5}{\lambda_F} \leq 1,0 \tag{6.3}$$

trong đó:

$$\lambda_F = \sqrt{\frac{\ell_y t_w f_{yw}}{F_{cr}}} \tag{6.4}$$

$$F_{cr} = 0,9 k_F E \frac{t_w^3}{h_w} \tag{6.5}$$

(2) Đối với bản bụng không có sườn cứng dọc, k_F nên được lấy theo Hình 6.1.

CHÚ THÍCH: Đối với bản bụng có sườn cứng dọc, thông tin có thể được nêu trong Phụ lục quốc gia. Các quy tắc sau được khuyến nghị áp dụng:

Đối với bản bụng có sườn cứng dọc, k_F có thể được lấy như sau:

$$k_F = 6 + 2 \left[\frac{h_w}{a} \right]^2 + \left[5,44 \frac{b_1}{a} - 0,21 \right] \sqrt{\gamma_s} \tag{6.6}$$

trong đó:

b_1 là chiều cao của ô bản chịu lực, lấy bằng khoảng cách thông thủy giữa bản cánh chịu lực và sườn cứng;

$$\gamma_s = 10,9 \frac{I_{s1,1}}{h_w t_w^3} \leq 13 \left[\frac{a}{h_w} \right]^3 + 210 \left[0,3 - \frac{b_1}{a} \right] \tag{6.7}$$

trong đó: $I_{s1,1}$ là mô men quán tính của diện tích sườn cứng gần nhất so với bản cánh chịu lực bao gồm cả các phần của bản bụng như trên Hình 9.1.

Phương trình (6.6) chỉ đúng khi $0,05 \leq \frac{b_1}{a} \leq 0,3$ và $\frac{b_1}{h_w} \leq 0,3$ và tải trọng phù hợp với loại a) trên Hình 6.1.

(3) l_y được lấy theo 6.5.

6.5 Chiều dài chịu lực hiệu dụng

(1) Chiều dài chịu lực hiệu dụng l_y nên được tính như sau:

$$m_1 = \frac{f_{yf} b_f}{f_{yw} t_w} \quad (6.8)$$

$$m_2 = 0,02 \left(\frac{h_w}{t_f} \right)^2 \quad \text{nếu } \bar{\lambda}_F > 0,5 \quad (6.9)$$

$$m_2 = 0 \quad \text{nếu } \bar{\lambda}_F \leq 0,5$$

Đối với dầm hộp, b_f trong phương trình (6.8) nên được giới hạn đến $15 \varepsilon t_f$ trên mỗi bên của bản bụng.

(2) Đối với loại a) và b) trên Hình 6.1, l_y cần được tính theo công thức:

$$l_y = s_s + 2t_f \left(1 + \sqrt{m_1 + m_2} \right) \quad (6.10)$$

nhưng l_y lấy không lớn hơn khoảng cách giữa các sườn cứng ngang liền kề.

(3) Đối với loại c) trên Hình 6.1, l_y nên được lấy bằng giá trị nhỏ hơn trong các giá trị tính được theo các công thức ((6.10), (6.11) và (6.12)):

$$l_y = l_e + t_f \sqrt{\frac{m_1}{2} + \left(\frac{l_e}{t_f} \right)^2 + m_2} \quad (6.11)$$

$$l_y = l_e + t_f \sqrt{m_1 + m_2} \quad (6.12)$$

trong đó:

$$l_e = \frac{k_F E t_w^2}{2 f_{yw} h_w} \leq s_s + c \quad (6.13)$$

6.6 Kiểm tra

(1) Kiểm tra cần được thực hiện theo công thức:

$$\eta_2 = \frac{F_{Ed}}{f_{yw} L_{eff} t_w} \leq 1,0 \quad (6.14)$$

$$\gamma_{M1}$$

trong đó:

F_{Ed} là lực cắt ngang thiết kế;

L_{eff} là chiều dài hiệu dụng khi chống lại chịu các lực ngang xem 6.2(1);

t_w là chiều dày bản.

7 Sự Tương tác

7.1 Tương tác giữa lực cắt, mô men uốn và lực dọc

(1) Khi $\bar{\eta}_3$ (xem dưới đây) không vượt quá 0,5, độ bền thiết kế chịu mô men uốn và lực dọc không được giảm để kể đến lực cắt. Nếu lớn hơn 0,5 thì nội lực tổ hợp của uốn và cắt trong bản bụng dầm chữ I hoặc dầm hộp cần thỏa mãn điều kiện:

$$\bar{\eta}_1 + \left(1 - \frac{M_{f,Rd}}{M_{pl,Rd}}\right) (2\bar{\eta}_3 - 1)^2 \leq 1,0 \text{ khi } \bar{\eta}_1 \geq \frac{M_{f,Rd}}{M_{pl,Rd}} \quad (7.1)$$

trong đó:

$M_{f,Rd}$ là độ bền uốn dẻo thiết kế của tiết diện bao gồm diện tích hiệu dụng của bản cánh;

$M_{pl,Rd}$ là độ bền uốn dẻo thiết kế của tiết diện bao gồm diện tích hiệu dụng của bản cánh và toàn bộ bản bụng không phụ thuộc vào loại tiết diện bản bụng;

$$\bar{\eta}_1 = \frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}};$$

$$\bar{\eta}_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{bw,Rd}} \text{ với } V_{bw,Rd} \text{ xem diễn giải (5.2).}$$

Ngoài ra, các yêu cầu trong 6.4 và 5.5 cần được thỏa mãn.

Các nội lực cần bao gồm hiệu ứng bậc hai của cấu kiện, nếu có.

(2) Điều kiện nêu trong (1) cần được kiểm tra tại tất cả các tiết diện khác với tiết diện nằm ở khoảng cách nhỏ hơn $h_w/2$ tính từ gối tựa có sườn cứng đứng (ngang).

(3) Độ bền uốn dẻo $M_{f,Rd}$ có thể được lấy bằng tích của giới hạn chảy, diện tích hiệu dụng của bản cánh (với giá trị nhỏ nhất của $A_f f_y / \gamma_{M0}$) và khoảng cách giữa trọng tâm các bản cánh.

(4) Nếu có lực dọc N_{Ed} , thì $M_{pl,Rd}$ và $M_{f,Rd}$ cần được giảm xuống phù hợp với 6.2.9 của TCVN X1993-1-1 và 5.4(2) tương ứng. Khi lực dọc là quá lớn đến mức toàn bộ bản cánh chịu nén thì áp dụng 7.1(5).

(5) Bản cánh của dầm hộp cần được kiểm tra theo 7.1(1) có kể đến $M_{f,Rd} = 0$ và τ_{Ed} lấy bằng giá trị trung bình của ứng suất cắt trong bản cánh, mà không được nhỏ hơn một nửa ứng suất cắt lớn nhất trong bản cánh và $\bar{\eta}_1$ lấy bằng η_1 theo 4.6(1). Ngoài ra, ô bản cần được kiểm tra sử dụng ứng

suất cắt trung bình trong phạm vi ô bản và χ_w được xác định đối với mất ổn định do cắt của ô bản theo 5.3 với giả thiết sườn cứng dọc là gối cứng.

7.2 Tương tác giữa lực ngang, mô men uốn và lực dọc

(1) Nếu dầm chịu lực ngang tập trung tác dụng lên bản cánh kết hợp với mô men uốn và lực dọc, độ bền cần được kiểm tra theo 4.6, 6.6 và biểu thức tương tác sau:

$$\eta_2 + 0,8\eta_1 \leq 1,4 \quad (7.2)$$

(2) Nếu tải trọng tập trung tác dụng lên cánh chịu kéo thì độ bền cần được kiểm tra theo điều 6. Ngoài ra 6.2.1(5) của TCVN X1993-1-1 cần được thỏa mãn.

8 Bản cánh gây ra mất ổn định

(1) Để ngăn cản sự mất ổn định của bản cánh chịu nén trong mặt phẳng bản bụng, điều kiện sau cần được thỏa mãn:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc}}} \quad (8.1)$$

trong đó:

A_w là diện tích tiết diện ngang của bản bụng;

A_{fc} là diện tích tiết diện ngang hiệu dụng của cánh chịu nén;

h_w là chiều cao bản bụng;

t_w là chiều dày bản bụng.

Giá trị của hệ số k cần được lấy như sau:

- Khi làm việc trong giai đoạn dẻo: $k = 0,3$
- Khi làm việc trong giai đoạn đàn dẻo: $k = 0,4$
- Khi làm việc trong giai đoạn đàn hồi: $k = 0,55$

(2) Khi dầm bị cong theo phương đứng, với cánh chịu nén nằm ở phía bị võng, điều kiện sau cần được thỏa mãn:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq \frac{k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc}}}}{\sqrt{1 + \frac{h_w E}{3 r f_{yf}}}} \quad (8.2)$$

trong đó: r là bán kính cong của cánh chịu nén.

CHÚ THÍCH: Phụ lục quốc gia có thể đưa ra các thông tin bổ sung cho cánh gây mất ổn định.

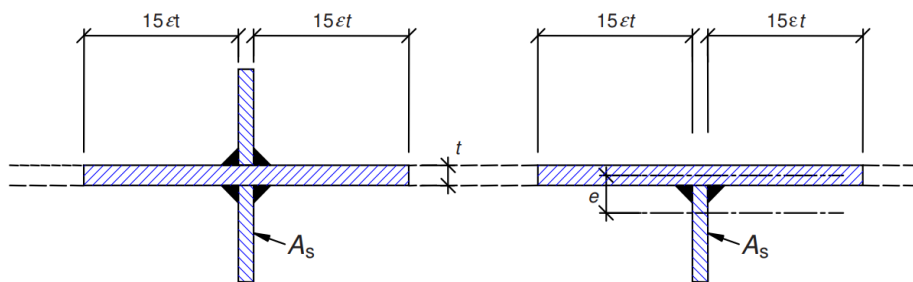
9 Sườn cứng và chi tiết

9.1 Quy định chung

(1) Điều này đưa ra các quy tắc thiết kế cho các sườn cứng trong kết cấu bản với bổ sung cho các quy tắc về mát ổn định bản nêu trong điều 4 đến 7.

CHÚ THÍCH: Phụ lục quốc gia có thể đưa thêm yêu cầu đối với các sườn cứng trong các trường hợp cụ thể.

(2) Khi kiểm tra độ bền mát ổn định, tiết diện sườn cứng có thể lấy bằng diện tích tiết diện nguyên bao gồm diện tích sườn cứng cộng với chiều rộng của bản bằng $15et$ nhưng không lớn hơn kích thước thực tế về mỗi phía của sườn cứng, tránh sự tham gia trùng lặp của các phần với các sườn cứng liền kề, xem Hình 9.1.



Hình 9.1: Tiết diện ngang hiệu dụng của sườn cứng

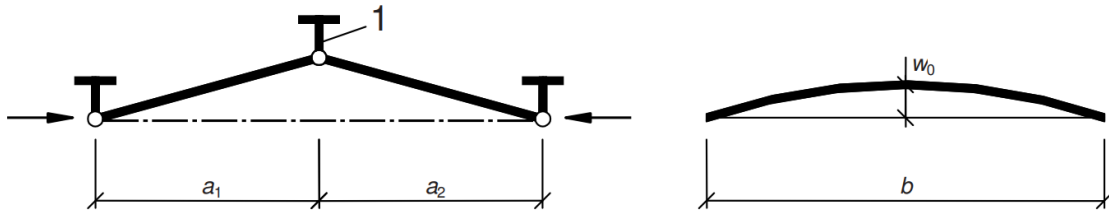
(3) Lực dọc trong sườn cứng ngang cần được lấy bằng tổng lực gây bởi lực cắt (xem 9.3.3(3)) và bất kỳ tải trọng bên ngoài nào khác.

9.2 Ứng suất pháp

9.2.1 Yêu cầu tối thiểu đối với các sườn cứng ngang

(1) Để đảm bảo gối tựa cứng cho bản có sườn cứng dọc hoặc không có sườn cứng dọc, các sườn cứng ngang trung gian cần thỏa mãn các điều kiện sau.

(2) Sườn cứng ngang cần được coi là cấu kiện đơn giản chịu tải trọng ngang với sự không hoàn chỉnh hình sin ban đầu w_0 bằng $s/300$, trong đó s là giá trị nhỏ hơn trong các giá trị a_1 , a_2 hoặc b , xem Hình 9.2, trong đó a_1 và a_2 là chiều dài các phần bản liền kề với sườn cứng ngang đang xét và b là chiều cao giữa trọng tâm các bản cánh hoặc nhịp của sườn cứng ngang. Độ lệch tâm cần được kể đến.



CHÚ DẪN:

1 – Sườn cứng ngang.

Hình 9.2 – Sườn cứng ngang

(3) sườn cứng ngang cần chịu được lực truyền từ phần bản chịu nén liền kề với giả thiết rằng cả hai sườn cứng ngang là cứng cùng với bất kỳ tải trọng ngoài nào khác và lực dọc phù hợp với CHÚ THÍCH cho 9.3.3(3). Các phần bản chịu nén và sườn cứng dọc được coi là tựa đơn giản tại các sườn cứng ngang.

(4) Khi sử dụng phương pháp phân tích đàn hồi bậc hai, cả hai điều kiện sau phải thỏa mãn ở trạng thái giới hạn:

- ứng suất lớn nhất trong sườn cứng không được lớn hơn f_y/γ_{M1} ;

- độ võng bổ sung không được vượt quá $b/300$.

(5) Khi không có lực dọc tác dụng trong sườn cứng ngang thì cả hai điều kiện trong (4) nêu trên có thể được coi là thỏa mãn miễn là mô men quán tính I_{st} của diện tích tiết diện sườn cứng ngang không nhỏ hơn

$$I_{st} = \frac{\sigma_m}{E} \left(\frac{b}{\pi} \right)^4 \left(1 + w_0 \frac{300}{b} u \right) \quad (9.1)$$

trong đó:

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{cr,c}}{\sigma_{cr,p}} \frac{N_{Ed}}{b} \left(\frac{1}{a_1} + \frac{1}{a_2} \right);$$

$$u = \frac{\pi^2 E e_{\max}}{f_y 300 b} \geq 1,0;$$

e_{\max} là khoảng cách lớn nhất tính từ thớ ngoài cùng của sườn cứng đến trọng tâm sườn cứng;

N_{Ed} là lực nén lớn nhất của các panel liền kề nhưng không nhỏ hơn ứng suất nén lớn nhất nhân với một nửa diện tích chịu nén hiệu dụng^p của panel bao gồm cả sườn cứng;

$\sigma_{cr,c}$, $\sigma_{cr,p}$ được xác định theo 4.5.3 và Phụ lục A.

CHÚ THÍCH: Khi tải trọng ngoài mặt phẳng tác dụng lên các sườn cứng ngang, sử dụng TCVN X1993-2 và TCVN X1993-1-7.

(6) Nếu các sườn cứng chịu lực nén dọc thì nó cần được tăng lên một lượng bằng $\Delta N_{st} = \sigma_m b^2 / \pi^2$ để kể đến lực bổ sung do uốn. Điều kiện nêu trong (4) áp dụng nhưng có thể không cần kể đến ΔN_{st} khi tính ứng suất phân bố đều do lực trong sườn cứng.

(7) Để đơn giản, các yêu cầu trong (4) khi không có lực dọc tác dụng có thể được kiểm tra bằng cách sử dụng phân tích đàn hồi bậc nhất có kể đến tải trọng ngang phân bố đều tương đương bổ sung sau đây tác dụng trên một chiều dài b:

$$q = \frac{\pi}{4} \sigma_m (w_0 + w_{el}) \tag{9.2}$$

trong đó:

σ_m được xác định theo (5) ở trên;

w_0 được xác định theo Hình 9.2;

w_{el} là biến dạng đàn hồi, có thể được xác định bằng tính lặp hoặc lấy bằng độ võng bổ sung lớn nhất b/300.

(8) Nếu không sử dụng phương pháp phân tích chính xác hơn, thì để tránh mất ổn định do xoắn của sườn cứng có tiết diện hở, điều kiện sau đây cần thỏa mãn:

$$\frac{I_T}{I_p} \geq 5,3 \frac{f_y}{E} \tag{9.3}$$

trong đó;

I_p là mô men quán tính quạt của diện tích sườn cứng có các cạnh được cố định với bản;

I_T là hằng số xoắn St. Venant chỉ của sườn cứng.

(9) Khi độ cứng chống vặn được xét thì sườn cứng cần thỏa mãn (8) hoặc điều kiện sau:

$$\sigma_{cr} \geq \theta f_y \tag{9.4}$$

trong đó:

σ_{cr} là ứng suất tới hạn đàn hồi cho mất ổn định do xoắn không kể đến ngàm chống xoay của bản;

θ là thông số để đảm bảo ứng xử loại 3.

CHÚ THÍCH: Thông số θ có thể được đưa ra trong Phụ lục quốc gia. Giá trị $\theta = 6$ được khuyến nghị áp dụng.

9.2.2 Yêu cầu tối thiểu đối với các sườn cứng dọc

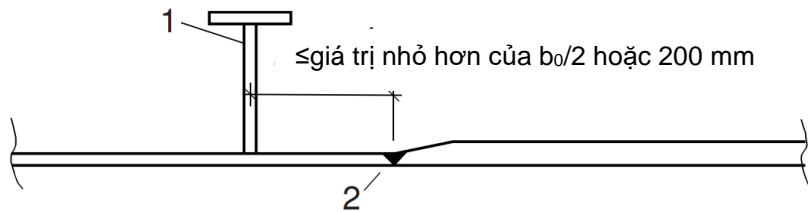
(1) Các yêu cầu đối với mất ổn định do xoắn trong 9.2.1(8) và (9) cũng áp dụng cho sườn cứng.

(2) Các sườn cứng liên tục mà không đi qua các lỗ mở trong các sườn cứng ngang hoặc không liên kết với cạnh khác của sườn cứng ngang, cần:

- được sử dụng chỉ cho bản bụng (nghĩa là không cho phép sử dụng trong bản cánh);
 - bỏ qua trong phân tích tổng thể;
 - bỏ qua trong tính toán ứng suất;
 - được xét đến trong tính toán chiều rộng hiệu dụng^p của ô bản của bản bụng.
 - được xét đến trong tính toán ứng suất tới hạn đàn hồi.
- (3) Đánh giá độ bền của các sườn cứng cần được thực hiện theo 4.5.3 và 4.6.

9.2.3 Các bản hàn

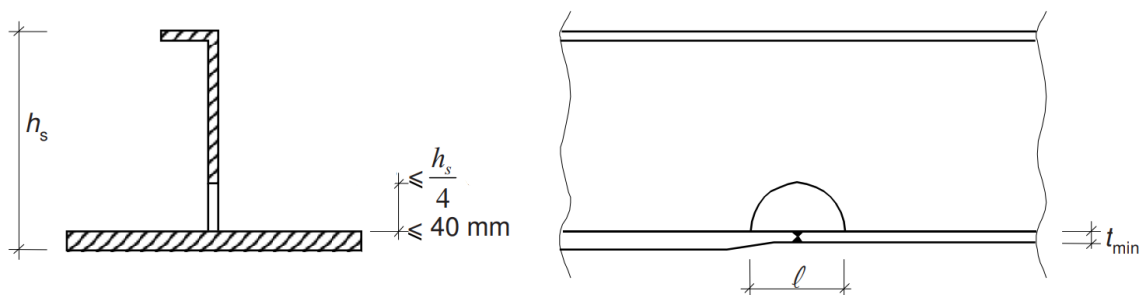
(1) Các bản có chiều dày thay đổi cần được hàn với các sườn cứng ngang liền kề, xem Hình 9.3. Ảnh hưởng của độ lệch tâm không cần kể đến nếu khoảng cách đến sườn cứng từ mỗi hàn không vượt quá $b_0/2$ hoặc 200 mm, tùy theo giá trị nào nhỏ hơn, trong đó b_0 là chiều rộng của bản giữa các sườn cứng.



Hình 9.3 - Bản hàn

9.2.4 Khe cắt trong các sườn cứng

(1) Kích thước các khe cắt trong các sườn cứng dọc cần phù hợp với nguyên tắc trên Hình 9.4.



Hình 9.4 – Khe cắt trong sườn cứng dọc

(2) Chiều dài l không được vượt quá:

$l \leq 6 t_{\min}$ đối với sườn cứng phẳng chịu nén;

$l \leq 8 t_{\min}$ đối với các sườn cứng khác chịu nén;

$l \leq 15 t_{\min}$ đối với sườn cứng không chịu nén.

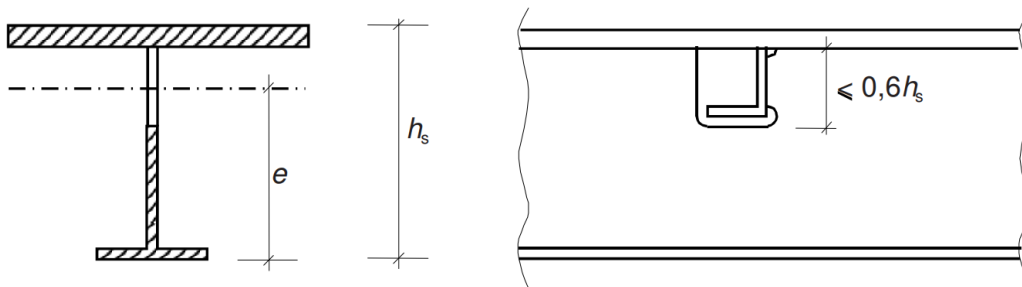
trong đó t_{\min} là chiều dày nhỏ nhất trong các chiều dày.

- (3) Giá trị giới hạn của l trong (2) đối với các sườn cứng chịu nén có thể được tăng lên $\sqrt{\frac{\sigma_{x,Rd}}{\sigma_{x,Ed}}}$

$$\sigma_{x,Ed} \leq \sigma_{x,Rd} \text{ và } l \leq 15 t_{\min}$$

trong đó $\sigma_{x,Ed}$ là ứng suất nén tại vị trí khe cắt

- (4) Kích thước các khe cắt trong các sườn cứng ngang thể hiện trên Hình 9.5.



Hình 9.5 – Khe cắt trong các sườn cứng ngang

- (5) Tiết diện nguyên của bản bụng trong vùng cắt được tính toán chịu lực cắt V_{Ed} theo công thức:

$$V_{Ed} = \frac{I_{net}}{e} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}} \cdot \frac{\pi}{b_G} \quad (9.5)$$

trong đó:

I_{net} là mô men quán tính của diện tích tiết diện của sườn cứng ngang;

e là khoảng cách lớn nhất từ phía ngoài bản cánh đến trục trung hòa của tiết diện thực, xem Hình 9.5;

b_G là chiều dài sườn cứng ngang giữa các bản cánh.

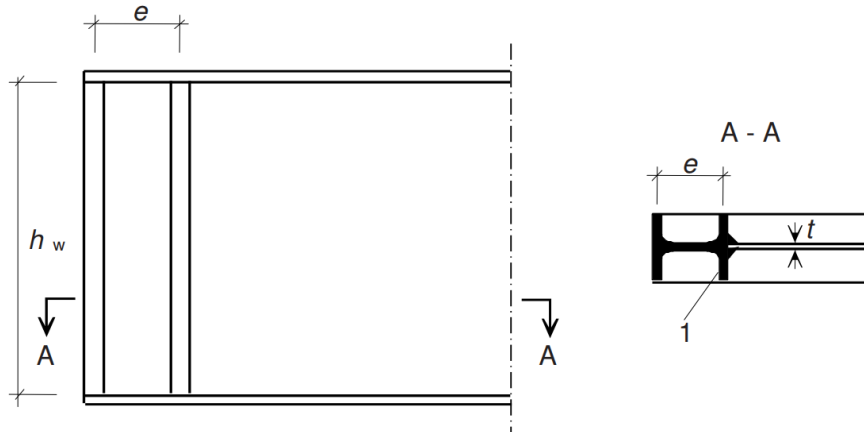
9.3 Cắt

9.3.1 Vùng cứng đầu dầm

- (1) Vùng cứng đầu dầm (xem Hình 5.1) có tác dụng như là sườn cứng chịu phản lực từ gối tựa (xem Hình 9.4) và cần được thiết kế như là dầm ngắn chịu ứng suất màng dọc trong mặt phẳng bản bụng.

CHÚ THÍCH: Ảnh hưởng của độ lệch tâm do chuyển vị gối tựa, xem TCVN X1993-2.

- (2) Vùng cứng đầu dầm bao gồm các sườn cứng hai phía tạo nên các cánh của dầm ngắn với chiều dài h_w , xem Hình 5.1(b). Dải bản bụng giữa các sườn cứng tạo nên bản bụng của dầm ngắn. Một cách khác, vùng cứng đầu dầm có thể có dạng các tiết diện cân định hình được liên kết với đầu mút của bản bụng như trên Hình 9.6.



Hình 9.6 – Tiết diện cán làm gối cứng

(3) Mỗi sườn cứng hai phía bao gồm các bản phẳng cần có diện tích tiết diện ngang ít nhất bằng $4h_w t^2 / e$, trong đó e là khoảng cách giữa các trọng tâm của các sườn cứng và $e > 0,1h_w$, xem Hình 5.1 (b). Khi tiết diện cán không phải dạng bản phẳng được sử dụng làm vùng cứng đầu dầm thì mô đun chống uốn của tiết diện của nó không được nhỏ hơn $4h_w t^2$ khi chịu uốn quanh trục nằm ngang vuông góc với bản bụng.

(4) Một cách khác, đầu dầm có thể được đảm bảo bằng sườn cứng một phía và sườn cứng đứng liền kề với gối tựa sao cho ô bản chịu lực cắt lớn nhất khi được thiết kế dạng vùng đầu dầm mềm.

9.3.2 Các sườn cứng có tác dụng như các đoạn gối mềm

(1) Vùng đầu dầm mềm có thể là các sườn cứng hai phía như trên Hình 5.1 (c). Nó có thể tác dụng như sườn gối cứng chịu phản lực tại gối tựa (xem 9.4).

9.3.3 Các sườn cứng ngang trung gian

(1) Các sườn trung gian có tác dụng như gối cứng cho các panel bên trong của bản bụng cần được tính toán cường độ và độ cứng.

(2) Khi các sườn cứng trung gian dễ bị uốn được sử dụng, thì độ cứng của chúng cần được kể đến trong tính toán k_r theo 5.3(5).

(3) Tiết diện hiệu dụng của các sườn cứng trung gian có tác dụng như các gối cứng cho các panel bản bụng cần có mô men quán tính tối thiểu I_{st} :

$$\text{Nếu } a/h_w < \sqrt{2} \quad I_{st} \geq 1,5h_w^3 t^3 / a^2 \quad (9.6)$$

$$\text{Nếu } a/h_w \geq \sqrt{2} \quad I_{st} \geq 0,75h_w t^3$$

CHÚ THÍCH: Các sườn cứng trung gian có thể được tính toán chịu lực dọc bằng $\left(V_{Ed} - \frac{1}{\lambda_w^2} f_{yw} h_w t / (\sqrt{3} \gamma_{M1}) \right)$ theo

9.2.1(3). Trong trường hợp lực cắt thay đổi thì việc kiểm tra cần được thực hiện với lực cắt tại khoảng cách $0,5h_w$ tính từ mép panel có lực cắt lớn nhất.

9.3.4 Sườn cứng dọc

(1) Nếu các sườn cứng dọc được kể đến trong tính toán ứng suất thì chúng cần được kiểm tra chịu ứng suất pháp khi xác định độ bền của tiết diện ngang.

9.3.5 Mối hàn

(1) Mối hàn của bản bụng vào bản cánh có thể được tính toán chịu dòng ứng suất cắt danh định V_{Ed}/h_w nếu V_{Ed} không vượt quá giá trị $\chi_w f_{yw} h_w t / (\sqrt{3} \gamma_{M1})$. Đối với giá trị V_{Ed} lớn hơn thì mối hàn giữa các bản cánh và bản bụng cần được tính toán chịu dòng ứng suất cắt $\eta f_{yw} t / (\sqrt{3} \gamma_{M1})$.

(2) Trong tất cả các trường hợp khác, các mối hàn cần được tính toán chịu lực cắt tác dụng dọc và ngang mối hàn có kể đến sự làm việc của chúng trong giai đoạn đàn-dẻo và có kể hiệu ứng bậc hai.

9.4 Tải trọng ngang

(1) Nếu độ bền thiết kế của bản bụng không được tăng cường là không đủ thì các sườn cứng ngang cần được bố trí.

(2) Độ bền mất ổn định ngoài mặt phẳng của các sườn cứng ngang chịu tác dụng của tải trọng ngang và lực mất ổn định c. Khi cả hai đầu được coi là cố định ngang thì cần lấy chiều dài mất ổn định l không nhỏ hơn $0,75h_w$. Giá trị lớn hơn của l cần được sử dụng cho các điều kiện khi sự ngàm đầu là nhỏ hơn. Nếu các sườn cứng có khe cắt tại các đầu chịu lực, thì độ bền của tiết diện ngang cần được kiểm tra tại đầu mút này.

(3) Khi sử dụng các sườn cứng ngang một phía hoặc sườn cứng ngang không đối xứng khác, thì cần kể đến độ lệch tâm khi tính toán theo 6.3.3 hoặc 6.3.4 của TCVN X1993-1-1. Nếu các sườn cứng được cố định chặn chuyển vị ngang vào cánh chịu nén thì chúng cần tuân thủ điều kiện độ cứng và cường độ khi tính toán mất ổn định ngang do mất ổn định.

10 Phương pháp giảm ứng suất

(1) Phương pháp giảm ứng suất có thể được sử dụng để xác định giới hạn ứng suất cho các bản được tăng cường hoặc không được tăng cường.

CHÚ THÍCH 1: Phương pháp này là phương pháp thay thế cho phương pháp sử dụng chiều rộng hiệu dụng nêu trong điều 4 đến 7 với các điều kiện sau:

- $\sigma_{x,Ed}$, $\sigma_{z,Ed}$ và τ_{Ed} được coi là tác dụng đồng thời;

- Giới hạn ứng suất của phần yếu nhất của tiết diện ngang có thể quyết định độ bền của toàn bộ tiết diện.

CHÚ THÍCH 2: Giới hạn ứng suất có thể được sử dụng để xác định diện tích hiệu dụng tương đương. Phụ lục quốc gia có thể đưa ra giới hạn phạm vi áp dụng phương pháp này.

- (2) Đối với các phần bản không được tăng cứng hoặc được tăng cứng, chịu tác dụng đồng thời của các ứng suất $\sigma_{x,Ed}$, $\sigma_{z,Ed}$ và τ_{Ed} , có thể sử dụng tiết diện loại 3 với điều kiện:

$$\frac{\rho \alpha_{ult,k}}{\gamma_{M1}} \geq 1 \quad (10.1)$$

trong đó:

$\alpha_{ult,k}$ là hệ số tăng tải trọng tối thiểu cho tải trọng thiết kế để đạt tới giá trị đặc trưng của độ bền của điểm tới hạn nhất của bản, xem (4);

ρ là hệ số giảm phụ thuộc vào độ mảnh $\bar{\lambda}_p$ của bản để kể đến mất ổn định của bản, xem (5);

γ_{M1} là hệ số riêng áp dụng cho phương pháp này.

- (3) Độ mảnh điều chỉnh của bản $\bar{\lambda}_p$ cần được xác định theo công thức:

$$\bar{\lambda}_p = \sqrt{\frac{\alpha_{ult,k}}{\alpha_{cr}}} \quad (10.2)$$

trong đó α_{cr} là hệ số tăng tải trọng tối thiểu cho tải trọng thiết kế để đạt tới tải trọng tới hạn đàn hồi của bản dưới tác dụng của toàn bộ trường ứng suất, xem (6).

CHÚ THÍCH 1: Để tính α_{cr} cho toàn bộ trường ứng suất, bản được tăng cứng có thể được mô hình hóa bằng các quy tắc nêu trong điều 4 và 5 mà không giảm mô men quán tính của diện tích tiết diện các sườn cứng dọc nêu trong 5.3(4).

CHÚ THÍCH 2: Khi α_{cr} không thể xác định cho bản và các ô bản của nó, thì có thể kiểm tra riêng biệt các ô bản và cho toàn bộ bản.

- (4) Khi xác định $\alpha_{ult,k}$ thì điều kiện chảy dẻo có thể sử dụng cho độ bền:

$$\frac{1}{\alpha_{ult,k}^2} = \left(\frac{\sigma_{x,Ed}}{f_y} \right)^2 + \left(\frac{\sigma_{z,Ed}}{f_y} \right)^2 - \left(\frac{\sigma_{x,Ed}}{f_y} \right) \left(\frac{\sigma_{z,Ed}}{f_y} \right) + 3 \left(\frac{\tau_{Ed}}{f_y} \right)^2 \quad (10.3)$$

Trong đó: $\sigma_{x,Ed}$, $\sigma_{z,Ed}$ và τ_{Ed} là các thành phần ứng của trường ứng suất ở trạng thái giới hạn cực hạn.

CHÚ THÍCH: Bằng cách sử dụng phương trình (10.3), giả thiết là đạt được độ bền khi sự chảy dẻo xảy ra mà bản không mất ổn định.

- (5) Hệ số giảm ρ có thể được xác định bằng một trong các phương pháp sau:

a) Giá trị tối thiểu của các hệ số giảm sau:

ρ_x cho ứng suất dọc theo 4.5.4(1) kể đến ứng xử kiểu cột, nếu có;

ρ_z cho ứng suất ngang theo 4.5.4(1) kể đến ứng xử kiểu cột, nếu có;

χ_w cho ứng suất cắt theo 5.3(1).

Mỗi hệ số giảm được tính cho độ mảnh điều chỉnh của bản $\bar{\lambda}_\rho$ theo công thức (10.2).

CHÚ THÍCH: Phương pháp này dẫn đến công thức kiểm tra:

$$\left(\frac{\sigma_{x,Ed}}{f_y / \gamma_{M1}}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{z,Ed}}{f_y / \gamma_{M1}}\right)^2 - \left(\frac{\sigma_{x,Ed}}{f_y / \gamma_{M1}}\right)\left(\frac{\sigma_{z,Ed}}{f_y / \gamma_{M1}}\right) + 3\left(\frac{\tau_{Ed}}{f_y / \gamma_{M1}}\right)^2 \leq \rho^2 \quad (10.4)$$

CHÚ THÍCH: Để xác định ρ_z cho ứng suất ngang, các quy tắc nêu trong điều 4 đối với ứng suất pháp σ_x cần được áp dụng cho σ_z theo phương z. Trong trường hợp này, thông thường không áp dụng điều 6.

b) Các giá trị được nội suy giữa các giá trị của ρ_x , ρ_z và χ_w như đã được xác định trong a) sử dụng công thức xác định $\alpha_{ult,k}$ như là hàm nội suy.

CHÚ THÍCH: Phương pháp này dẫn đến công thức kiểm tra:

$$\left(\frac{\sigma_{x,Ed}}{\rho_x f_y / \gamma_{M1}}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{z,Ed}}{\rho_z f_y / \gamma_{M1}}\right)^2 - \left(\frac{\sigma_{x,Ed}}{\rho_x f_y / \gamma_{M1}}\right)\left(\frac{\sigma_{z,Ed}}{\rho_z f_y / \gamma_{M1}}\right) + 3\left(\frac{\tau_{Ed}}{\chi_w f_y / \gamma_{M1}}\right)^2 \leq 1 \quad (10.5)$$

c) Trong trường hợp tấm chịu nén dọc trục. Công thức 10.5a nên sử dụng:

$$\left(\frac{\sigma_{x,Ed}}{\rho_x f_y / \gamma_{M1}}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{z,Ed}}{\rho_z f_y / \gamma_{M1}}\right)^2 - V\left(\frac{\sigma_{x,Ed}}{\rho_x f_y / \gamma_{M1}}\right)\left(\frac{\sigma_{z,Ed}}{\rho_z f_y / \gamma_{M1}}\right) + 3\left(\frac{\tau_{Ed}}{\chi_w f_y / \gamma_{M1}}\right)^2 \leq 1 \quad (10.5a)$$

Trong đó:

$V = \rho_x \rho_z$ khi $\sigma_{x,Ed}$ and $\sigma_{z,Ed}$ cả hai chịu nén, nếu không $V=1$

Vì các công thức kiểm tra (10.3), (10.4) và (10.5) bao gồm tương tác giữa lực cắt, mô men uốn, lực dọc và lực ngang, nên điều 7 không áp dụng.

CHÚ THÍCH: Phụ lục quốc gia có thể đưa ra thông tin thêm về việc sử dụng các công thức (10.4) và (10.5). Trong trường hợp bản chịu kéo và nén thì khuyến nghị chỉ áp dụng các công thức (10.4) và (10.5) cho các phần chịu nén.

(6) Khi các giá trị của α_{cr} cho toàn bộ trường ứng suất không thể xác định được và chỉ có các giá trị của $\alpha_{cr,i}$ cho các thành phần ứng suất khác nhau của toàn bộ trường ứng suất $\sigma_{x,Ed}$, $\sigma_{z,Ed}$ và τ_{Ed} có thể sử dụng, giá trị α_{cr} có thể được xác định theo công thức:

$$\frac{1}{\alpha_{cr}} = \frac{1+\psi_x}{4\alpha_{cr,x}} + \frac{1+\psi_z}{4\alpha_{cr,z}} + \left[\left(\frac{1+\psi_x}{4\alpha_{cr,x}} + \frac{1+\psi_z}{4\alpha_{cr,z}} \right)^2 + \frac{1-\psi_x}{2\alpha_{cr,x}^2} + \frac{1-\psi_z}{2\alpha_{cr,z}^2} + \frac{1}{\alpha_{cr,\tau}^2} \right]^{1/2} \quad (10.6)$$

trong đó:

$$\alpha_{cr,x} = \frac{\sigma_{cr,x}}{\sigma_{x,Ed}};$$

$$\alpha_{cr,z} = \frac{\sigma_{cr,z}}{\sigma_{z,Ed}};$$

$$\alpha_{cr,\tau} = \frac{\tau_{cr}}{\tau_{Ed}};$$

và $\sigma_{cr,x}$, $\sigma_{cr,z}$, τ_{cr} , ψ_x và ψ_z được xác định theo điều 4 đến 6.

- (7) Các sườn cứng và cấu tạo của các panel của bản cần được thiết kế phù hợp với điều 9.

Phụ lục A

(tham khảo)

Tính toán ứng suất tới hạn cho các bản được tăng cứng

A.1 Bản trực hướng tương đương

- (1) Bản có ít nhất ba sườn cứng dọc có thể được coi là bản trực hướng tương đương.
- (2) Ứng suất mất ổn định tới hạn đàn hồi của bản trực hướng tương đương có thể được lấy bằng:

$$\sigma_{cr,p} = k_{\sigma,p} \sigma_E \quad (\text{A.1})$$

trong đó:

$$\sigma_E = \frac{\pi^2 E t^2}{12(1-\nu^2)b^2} = 190000 \left(\frac{t}{b}\right)^2, \text{ tính bằng MPa;}$$

$k_{\sigma,p}$ là hệ số mất ổn định tương ứng với thuyết bản trực hướng có các sườn cứng bố trí trên bản;

b được xác định theo Hình A.1;

t là chiều dày bản.

CHÚ THÍCH 1: Hệ số mất ổn định $k_{\sigma,p}$ thu được bằng các biểu đồ tương ứng cho các sườn cứng hoặc tính bằng máy tính; các biểu đồ cho các sườn cứng bố trí có thể được sử dụng đảm bảo mất ổn định cục bộ trong các ô bản có thể bỏ qua và coi là độc lập

CHÚ THÍCH 2: $\sigma_{cr,p}$ là ứng suất mất ổn định tới hạn đàn hồi của bản tại mép của panel, nơi có ứng suất nén lớn nhất, xem Hình A.1.

CHÚ THÍCH 3: Khi xem xét đến bản bụng, chiều rộng b trong phương trình (A.1) và (A.2) cần được thay bằng h_w .

CHÚ THÍCH 4: Đối với các bản được tăng cứng bằng ít nhất ba sườn cứng dọc đặt cách đều nhau, thì hệ số mất ổn định của bản $k_{\sigma,p}$ (mất ổn định tổng thể của panel được tăng cứng) có thể được xác định xấp xỉ theo công thức:

$$k_{\sigma,p} = \frac{2\left((1+\alpha^2)^2 + \gamma - 1\right)}{\alpha^2(\psi+1)(1+\delta)} \quad \text{nếu} \quad \alpha \leq \sqrt[4]{\gamma} \quad (\text{A.2})$$

$$k_{\sigma,p} = \frac{4(1+\sqrt{\gamma})}{(\psi+1)(1+\delta)} \quad \text{nếu} \quad \alpha > \sqrt[4]{\gamma}$$

với:

$$\gamma = \frac{I_{sl}}{I_p};$$

$$\delta = \frac{A_{sl}}{A_p};$$

$$\alpha = \frac{a}{b} \geq 0,5;$$

trong đó:

I_{sl} là mô men quán tính của diện tích toàn bộ bản được tăng cứng;

I_p là mô men quán tính của diện tích khi uốn bản $= \frac{bt^3}{12(1-\nu^2)} = \frac{bt^3}{10,92}$;

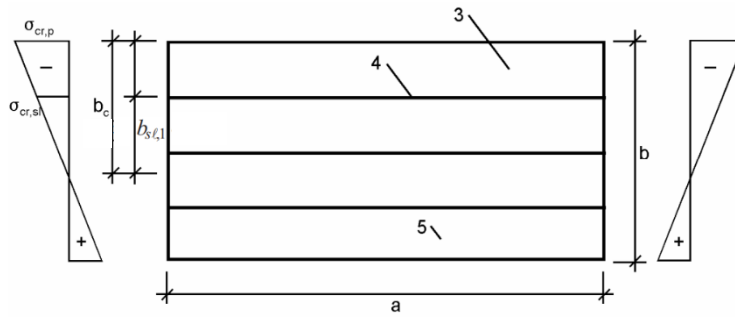
A_{sl} là tổng diện tích tiết diện nguyên của từng sườn cứng dọc;

A_p là diện tích tiết diện nguyên của bản $= bt$;

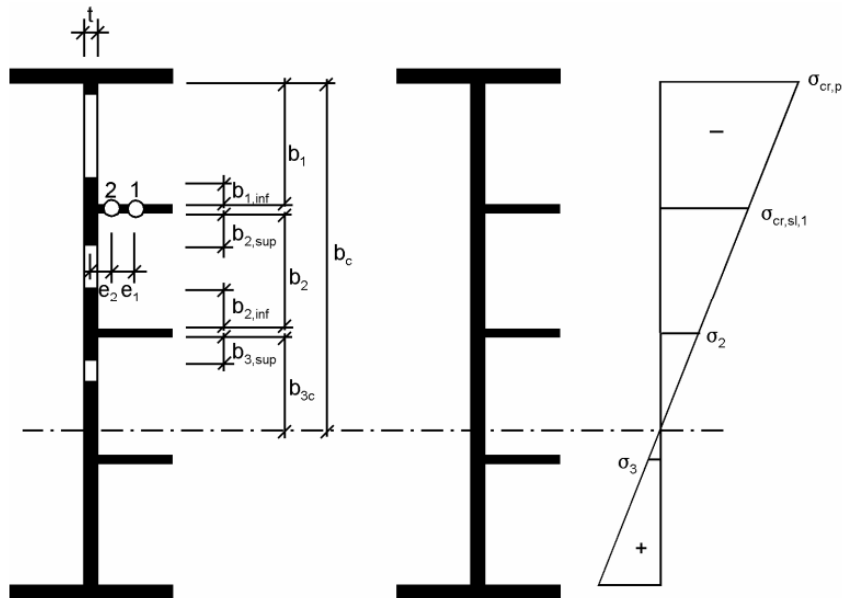
σ_1 là ứng suất biên lớn nhất;

σ_2 là ứng suất biên nhỏ nhất;

a , b và t được xác định theo Hình A.1.



- 1 - tâm của sườn cứng
- 2 - tâm của cột = các sườn cứng + bản đi kèm
- 3 - ô bản phụ (subpanel)
- 4 - 4 sườn cứng
- 5 - 5 tấm chiều dày t



	Chiều rộng cho diện tích tiết diện nguyên	Chiều rộng cho diện tích tiết diện hiệu dụng theo Bảng 4.1	Điều kiện cho ψ_i
$b_{1,inf}$	$\frac{3 - \psi_1}{5 - \psi_1} b_1$	$\frac{3 - \psi_1}{5 - \psi_1} b_{1,eff}$	$\psi_1 = \frac{\sigma_{cr,sl,1}}{\sigma_{cr,p}} > 0$
$b_{2,sup}$	$\frac{2}{5 - \psi_2} b_2$	$\frac{2}{5 - \psi_2} b_{2,eff}$	$\psi_2 = \frac{\sigma_2}{\sigma_{cr,sl,1}} > 0$
$b_{2,inf}$	$\frac{3 - \psi_2}{5 - \psi_2} b_2$	$\frac{3 - \psi_2}{5 - \psi_2} b_{2,eff}$	$\psi_2 > 0$
$b_{3,sup}$	$0,4 b_{3c}$	$0,4 b_{3c,eff}$	$\psi_3 = \frac{\sigma_3}{\sigma_2} < 0$

Hình A.1 – Ký hiệu cho bản được tăng cứng bằng các sườn cứng dọc

A.2 ứng suất mất ổn định của tấm với một hoặc hai sườn cứng trong vùng chèn nén

A.2.1 Quy định chung

(1) Nếu tấm sườn gia cường chỉ có duy nhất sườn cứng dọc trong vùng chịu nén, quy trình trong A.1 có thể được đơn giản của một móng đàn hồi. Ứng suất đàn hồi tới hạn của thành có thể xác định từ A.2.2.

(2) Để tính toán $A_{sl,1}$ và $I_{sl,1}$, tiết diện ngang tổng của cột giống như diện tích của sườn cứng và những phần kể bên của tấm bản mô tả như sau. Nếu tấm hoàn toàn trong vùng chịu nén, một tỷ lệ $(3 - \psi) / (5 - \psi)$ của mỗi bề rộng b_1 cần được lấy tại vùng biên của tấm và $2 / (5 - \psi)$ tại vùng biên có ứng suất cao nhất. Nếu ứng suất đổi từ vùng chịu nén đến vùng chịu kéo trong tấm, một tỷ lệ 0,4 của bề rộng b_c của phần chịu nén của tấm nên được lấy như phần của cột, xem Hình A.2 và cũng như Bảng 4.1, ψ là tỷ lệ ứng suất tương đối của tấm.

(3) Diện tích hiệu dụng^p của tiết diện ngang của cột $A_{c,eff}$, nên được lấy như tiết diện ngang hiệu dụng^p của sườn và phần của tấm hiệu dụng^p kể bên, xem hình A.1. Độ mảnh của phần tử tấm trong cột có thể được xác định theo 4.4 (4), với $\sigma_{com,Ed}$ tính toán cho tổng số tiết diện ngang của tấm.

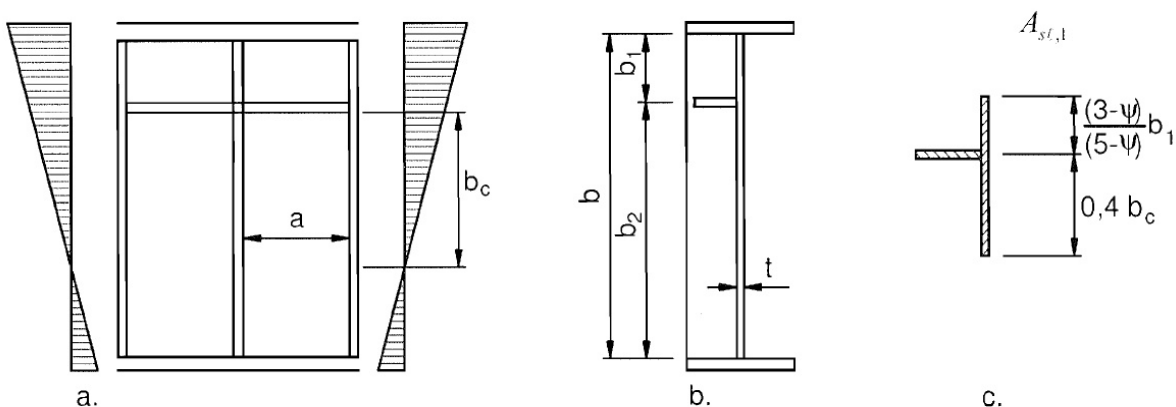
(4) Nếu $\rho_c f_y / \gamma_{M1}$ với ρ_c xác định theo 4.5.4(1) lớn hơn ứng suất trung bình trong cột $\sigma_{com,Ed}$, không cần giảm diện tích hiệu dụng^p của cột. Nếu không diện tích hiệu dụng trong (4.6) cần được điều chỉnh như sau:

$$A_{c,eff,loc} = \frac{\rho_c f_y A_{sl,1}}{\sigma_{com,Ed} \gamma_{M1}} \tag{A.3}$$

(5) Việc giảm diện tích như mô tả trong A.2.1 (4) chỉ được áp dụng cho diện tích của cột. Không cần giảm diện tích cho các phần kết cấu chịu nén khác, ngoại trừ kiểm tra sự mất ổn định của ô bản.

(6) Như một phương pháp thay thế cho việc sử dụng diện tích hiệu dụng^p theo A.2.1(4), độ bền của cột có thể được xác định từ A.2.1 (5) đến (7) và được kiểm tra để đảm bảo rằng nó vượt qua ứng suất trung bình $\sigma_{com,Ed}$

CHÚ THÍCH: Phương pháp chỉ ra trong (6) có thể được sử dụng trong trường hợp nhiều sườn gia cường trong đó ảnh hưởng ngăn cản của tấm được bỏ qua, đó là cột ảo có thể được xem như tự do mất ổn định ngoài mặt phẳng của bản.



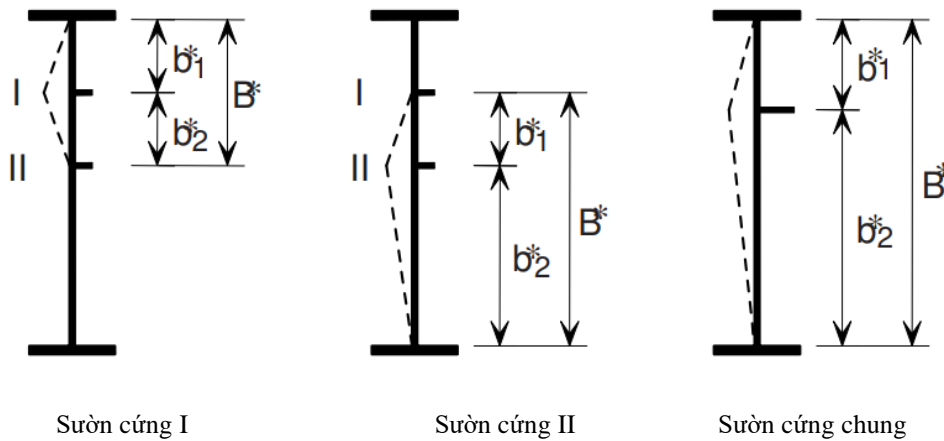
Hình A.2: Ký hiệu cho bản bụng với sườn đơn trong vùng chịu nén

(7) Nếu tấm được gia cường có hai sườn dọc trong vùng chịu nén, quy trình cho một sườn được mô tả trong A.2.1(1) có thể được áp dụng, xem hình A.3. Đầu tiên, giả thiết rằng một trong hai sườn mất ổn định trong khi sườn còn lại được coi như gối cứng. Mất ổn định của cả hai sườn cứng đồng thời được kể đến bằng cách xem xét một sườn đơn gộp được thay thế cho cả hai sườn riêng lẻ sao cho:

- a) Diện tích tiết diện ngang và mô men quán tính I_{sl} của nó là tổng của các sườn cứng riêng lẻ.
- b) Nó được định vị tại vị trí hợp lực của các lực tương ứng trong sườn riêng lẻ.

Đối với mỗi tình huống thể hiện trong hình A.3, một giá trị liên quan $\sigma_{cr,p}$ được tính, xem A.2.2 (1), với

$b_1 = b_1^*$ và $b_2 = b_2^*$ và $B^* = b_1^* + b_2^*$, xem sơ đồ A.3.



Diện tích tiết diện ngang	$A_{sl,I}$	$A_{sl,II}$	$A_{sl,I} + A_{sl,II}$
Mô men quán tính	$I_{sl,I}$	$I_{sl,II}$	$I_{sl,I} + I_{sl,II}$

Hình A.3: Ký hiệu cho bản với hai sườn cứng trong vùng chịu nén.

A.2.2 Mô hình đơn giản hóa sử dụng cột ngầm bằng bản

(1) Trong trường hợp bản được tăng cứng bằng một sườn cứng dọc trong vùng chịu nén, ứng suất mất ổn định tới hạn đàn hồi của sườn cứng có thể được tính như sau, bỏ qua các sườn cứng trong vùng chịu kéo:

$$\sigma_{cr,sl} = \frac{1,05 E \sqrt{I_{sl,1} t^3 b}}{A_{sl,1} b_1 b_2} \quad \text{nếu } a \geq a_c \tag{A.4}$$

$$\sigma_{cr,sl} = \frac{\pi^2 E I_{sl,1}}{A_{sl,1} a^2} + \frac{E t^3 b a^2}{4\pi^2 (1 - \nu^2) A_{sl,1} b_1^2 b_2^2} \quad \text{nếu } a < a_c$$

$$\text{với } a_c = 4,33 \sqrt[4]{\frac{I_{sl,1} b_1^2 b_2^2}{t^3 b}},$$

trong đó:

$A_{sl,1}$ là diện tích tiết diện ngang nguyên của cột thu được từ A.2.1(2);

$I_{sl,1}$ là mô men quán tính của diện tích tiết diện ngang nguyên của cột như đã nêu trong A.2.1(2); b_1, b_2 là các khoảng cách từ mép dọc của bản bụng đến sườn cứng ($b_1 + b_2 = b$).

(2) Trong trường hợp một tấm được gia cường với hai sườn cứng dọc trong vùng chịu nén, ứng suất tới hạn đàn hồi cho mất ổn định tấm cần được lấy là giá trị thấp nhất trong các giá trị được tính toán cho ba trường hợp sử dụng phương trình (A.4) với $b_1 = b_1^*$, $b_2 = b_2^*$ và $b = B^*$. Cần bỏ qua các sườn cứng trong vùng chịu kéo khi tính toán.

A.3 Các hệ số mất ổn định do cắt

(1) Đối với bản có sườn ngang cứng và không có sườn dọc hoặc có hơn hai sườn dọc, hệ số mất ổn định do cắt k_τ có thể được xác định theo công thức:

$$k_\tau = 5,34 + 4,00(h_w/a)^2 + k_{\tau sl} \quad \text{nếu } a/h_w \geq 1 \quad (\text{A.5})$$

$$k_\tau = 4,00 + 5,34(h_w/a)^2 + k_{\tau sl} \quad \text{nếu } a/h_w < 1$$

trong đó:

$$k_{\tau sl} = 9 \left(\frac{h_w}{a} \right)^2 \sqrt[4]{\left(\frac{I_{sl}}{t^3 h_w} \right)^3} \text{ nhưng không nhỏ hơn } \frac{2,1}{t} \sqrt[3]{\frac{I_{sl}}{h_w}};$$

a là khoảng cách giữa các sườn cứng ngang (xem Hình 5.3);

I_{sl} là mô men quán tính của diện tích sườn cứng dọc đối với trục z-z, xem Hình 5.3 (b).

Đối với các bản bụng có các sườn cứng dọc, không nhất thiết bố trí cách đều nhau, I_{sl} là tổng mô men quán tính của diện tích tiết diện ngang của các sườn cứng này.

CHÚ THÍCH: Không cho phép áp dụng công thức (A.5) cho sườn cứng ngang mềm.

(2) Công thức (A.5) cũng áp dụng cho các bản có một hoặc hai sườn cứng dọc, nếu tỉ số $\alpha = a/h_w$ thỏa mãn $\alpha \geq 3$. Đối với các bản có một hoặc hai sườn cứng dọc và tỉ số cạnh $\alpha < 3$ thì hệ số mất ổn định do cắt cần được xác định theo công thức:

$$k_\tau = 4,1 + \frac{6,3 + 0,18 \frac{I_{sl}}{t^3 h_w}}{\alpha^2} + 2,2 \sqrt[3]{\frac{I_{sl}}{t^3 h_w}} \quad (\text{A.6})$$

Phụ lục B
(tham khảo)

Các cấu kiện tiết diện thay đổi

B.1 Tổng quan chung

(1) Quy tắc trong Điều 10 được áp dụng cho các bản bụng của các cấu kiện có các bản cánh không song song như trong dầm có nách, và cho các bản bụng có lỗ mở đều đặn hoặc không đều và các sườn cứng không trực giao.

(2) α_{ult} và α_{crit} có thể xác định bằng phương pháp phần tử hữu hạn, xem phụ lục C ,

(3) Hệ số giảm ρ_x, ρ_z và χ_w cho $\bar{\lambda}_p$ và có thể xác định từ tầm cong thích hợp xem phần 4 và 5.

CHÚ THÍCH: Hệ số giảm ρ có thể giảm dc như sau:

$$\rho = \frac{1}{\phi_p + \sqrt{\phi_p^2 - \bar{\lambda}_p}} \quad (\text{B.1})$$

Trong $\phi_p = \frac{1}{2} \left(1 + \alpha_p (\bar{\lambda}_p - \bar{\lambda}_{p0}) + \bar{\lambda}_p \right)$

$$\text{Và } \bar{\lambda}_p = \sqrt{\frac{\alpha_{ult,k}}{\alpha_{cr}}}$$

Quá trình áp dụng cho ρ_x, ρ_z và χ_w . Giá trị của $\bar{\lambda}_{p0}$ và α_p cho trong bảng B1. Các giá trị này được hiệu chỉnh ngược với đường cong mất ổn định trong mục 4 và 5 và cho 1 tương quan trực tiếp độ không hoàn hảo hình học bởi công thức sau:

$$e_0 = \alpha_p \left(\bar{\lambda}_p - \bar{\lambda}_{p0} \right) \frac{t}{6} \frac{1 - \frac{\rho \bar{\lambda}_p}{\gamma_{M1}}}{1 - \rho \bar{\lambda}_p} \quad (\text{B.2})$$

Bảng B.1 - Giá trị $\bar{\lambda}_{p0}$ và α_p

Loại thép	Dạng mất ổn định chủ yếu	α_p	$\bar{\lambda}_{p0}$
Cán nóng	ứng suất tiếp $\psi \geq 0$	0,13	0,70
	ứng suất tiếp $\psi < 0$		0,80
	ứng suất cắt ngang		
Hàn hoặc nguội	ứng suất tiếp $\psi \geq 0$	0,34	0,70
	ứng suất tiếp $\psi < 0$		
	ứng suất cắt ngang		0,80

B.2 Tương tác giữa tầm mất ổn định và chịu xoắn mất ổn định

(1) Phương pháp nêu trong B.1 có thể được mở rộng để xác minh độ mất ổn định của tầm kết hợp độ mất ổn định do xoắn của các cấu kiện bằng cách tính α_{ult} và α_{cr} như sau:

α_{ult} là hệ số khuếch đại tải tối thiểu cho tải thiết kế để đạt đến giá trị đặc trưng của tiết diện ngang nguy hiểm nhất, bỏ qua bất kỳ sự mất ổn định của tầm và mất ổn định xoắn-ngang;

α_{cr} là hệ số khuếch đại tải tối thiểu cho tải thiết kế để đạt tới giới hạn đàn hồi tới hạn của cấu kiện có kể đến các dạng mất ổn định của tầm và mất ổn định xoắn-ngang.

(2) Khi α_{cr} bao gồm dao động mất ổn định xoắn-ngang, hệ số giảm p được sử dụng phải là giá trị nhỏ hơn của hệ số giảm theo B.1 (3) và χ_{LT} - giá trị cho mất ổn định xoắn-ngang theo 6.3.3 của TCVN X1993-1-1.

Phụ lục C
(tham khảo)

Phương pháp phân tích phần tử hữu hạn (FEM)

C.1 Quy định chung

(1) Phụ lục C đưa ra hướng dẫn sử dụng phương pháp FE cho trạng thái giới hạn cực hạn, trạng thái giới hạn sử dụng hoặc kiểm tra mỗi kết cấu làm từ bản.

CHÚ THÍCH 1: Để tính kết cấu vỏ bằng phương pháp phần tử hữu hạn, xem TCVN X1993-1-6.

CHÚ THÍCH 1: Hướng dẫn này dành cho các kỹ sư có kinh nghiệm sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn.

(2) Việc lựa chọn phương pháp phần tử hữu hạn phụ thuộc vào vấn đề cần phân tích và dựa trên các giả thiết sau:

Bảng C.1: Các giả thiết cho mô hình phần tử hữu hạn

Số thứ tự	Ứng xử vật liệu	Ứng xử hình học	Sự không hoàn hảo, xem C.5	Ví dụ sử dụng
1	Tuyến tính	Tuyến tính	Không	Hiệu ứng trễ cắt, độ bền đàn hồi
2	Phi tuyến	Tuyến tính	Không	Độ bền dẻo ở TTGH cực hạn
3	Tuyến tính	Phi tuyến	Không	Tải trọng mất ổn định tới hạn của bản
4	Tuyến tính	Phi tuyến	Có	Độ bền mất ổn định đàn hồi của bản
5	Phi tuyến	Phi tuyến	Có	Độ bền đàn-dẻo ở TTGH cực hạn

C.2 Sử dụng

(1) Khi sử dụng FEM để thiết kế, cần lưu ý đặc biệt các vấn đề sau:

- Mô hình hóa bộ phận kết cấu và các điều kiện biên của nó;
- Lựa chọn phần mềm và tài liệu;
- Sử dụng sự không hoàn hảo;
- Mô hình hóa tính chất vật liệu;
- Mô hình hóa tải trọng;
- Mô hình hóa điều kiện trạng thái giới hạn;
- Áp dụng các hệ số riêng.

CHÚ THÍCH: Phụ lục quốc gia có thể xác định các điều kiện cho sử dụng FEM trong thiết kế.

C.3 Mô hình hóa

(1) Lựa chọn mô hình FE (mô hình phẳng hoặc mô hình không gian) và kích cỡ lưới quyết định độ chính xác của kết quả. Để kiểm tra độ chính xác của tính toán cần thực hiện tính toán với sự hiệu chỉnh dần dần các tham số.

(2) Mô hình FE có thể được thực hiện cho:

- Bộ phận/cấu kiện như là một kết cấu tổng thể;
- Kết cấu nhỏ như là một phần của kết cấu tổng thể.

CHÚ THÍCH: Ví dụ cho bộ phận có thể là bản bụng và/hoặc bản đáy của dầm hộp liên tục trong vùng gối trung gian, nơi mà bản đáy chịu nén. Ví dụ cho kết cấu nhỏ có thể là ô bản của bản đáy chịu ứng suất hai trục.

(3) Các điều kiện biên cho gối tựa, các mặt trong và tải trọng tác dụng có thể được lựa chọn sao cho kết quả thu được là tin cậy.

(4) Các đặc trưng hình học cần coi là các giá trị danh định.

(5) Tất cả sự không hoàn hảo cần được dựa trên hình dạng và biên độ như đã nêu trong C.5.

(6) Các tính chất vật liệu cần phù hợp với C.6(2).

C.4 Lựa chọn phần mềm và tài liệu

(1) Phần mềm cần phải thích hợp với nhiệm vụ và có độ tin cậy.

CHÚ THÍCH: Độ tin cậy của phần mềm có thể được chứng minh bằng tính toán thử.

(2) Kích thước lưới, tải trọng, các điều kiện biên và các thông số đầu vào cũng như đầu ra khác cần được thể hiện trong thuyết minh để bên thứ ba có thể kiểm tra lại.

C.5 Sử dụng sự không hoàn hảo

(1) Khi cần kể đến sự không hoàn hảo trong mô hình FE, các sự không hoàn hảo này cần bao gồm cả không hoàn hảo hình học và kết cấu.

(2) Nếu không thực hiện tính toán chính xác hơn về sự không hoàn hảo hình học và kết cấu, thì có thể sử dụng sự không hoàn hảo hình học tương đương.

CHÚ THÍCH 1: Sự không hoàn hảo hình học có thể dựa trên hình dạng của dạng mất ổn định tới hạn của bản với biên độ nêu trong Phụ lục quốc gia. 80 % sai lệch trong chế tạo được khuyến nghị áp dụng.

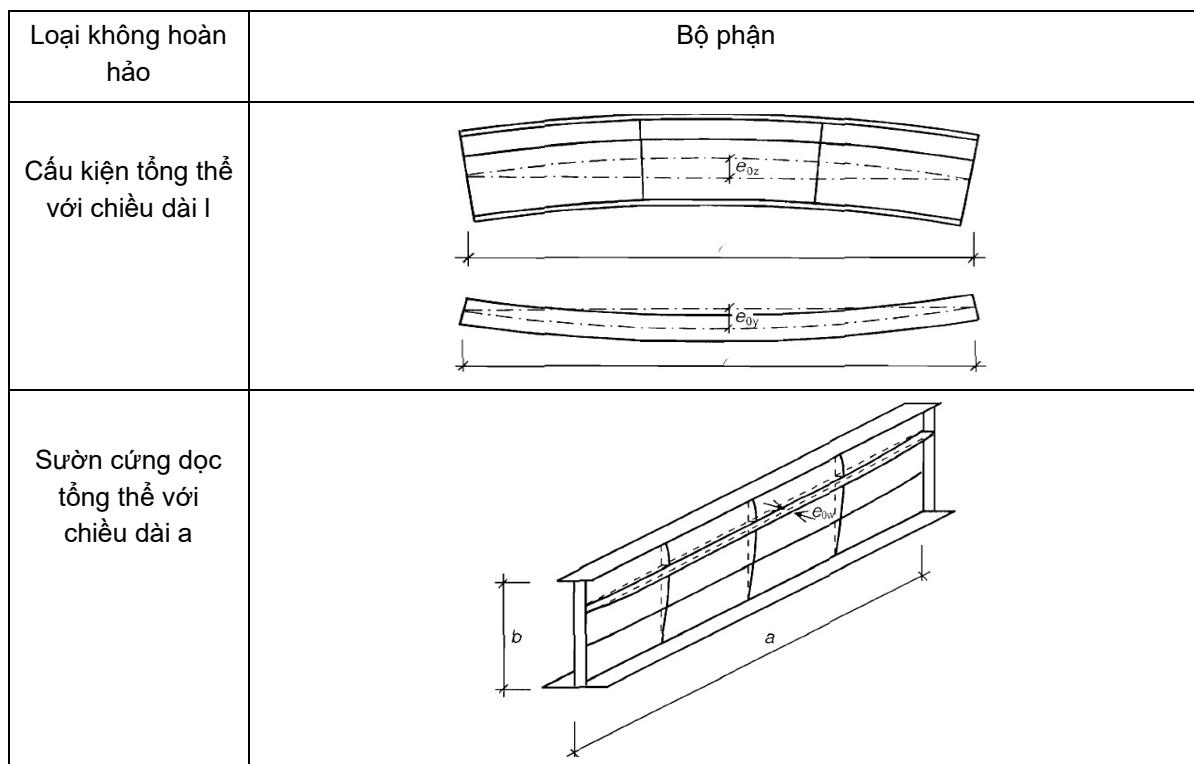
CHÚ THÍCH 2: Sự không hoàn hảo kết cấu liên quan đến ứng suất dư có thể được biểu diễn bằng mẫu ứng suất từ quá trình chế tạo với biên độ tương đương với giá trị trung bình (dự kiến).

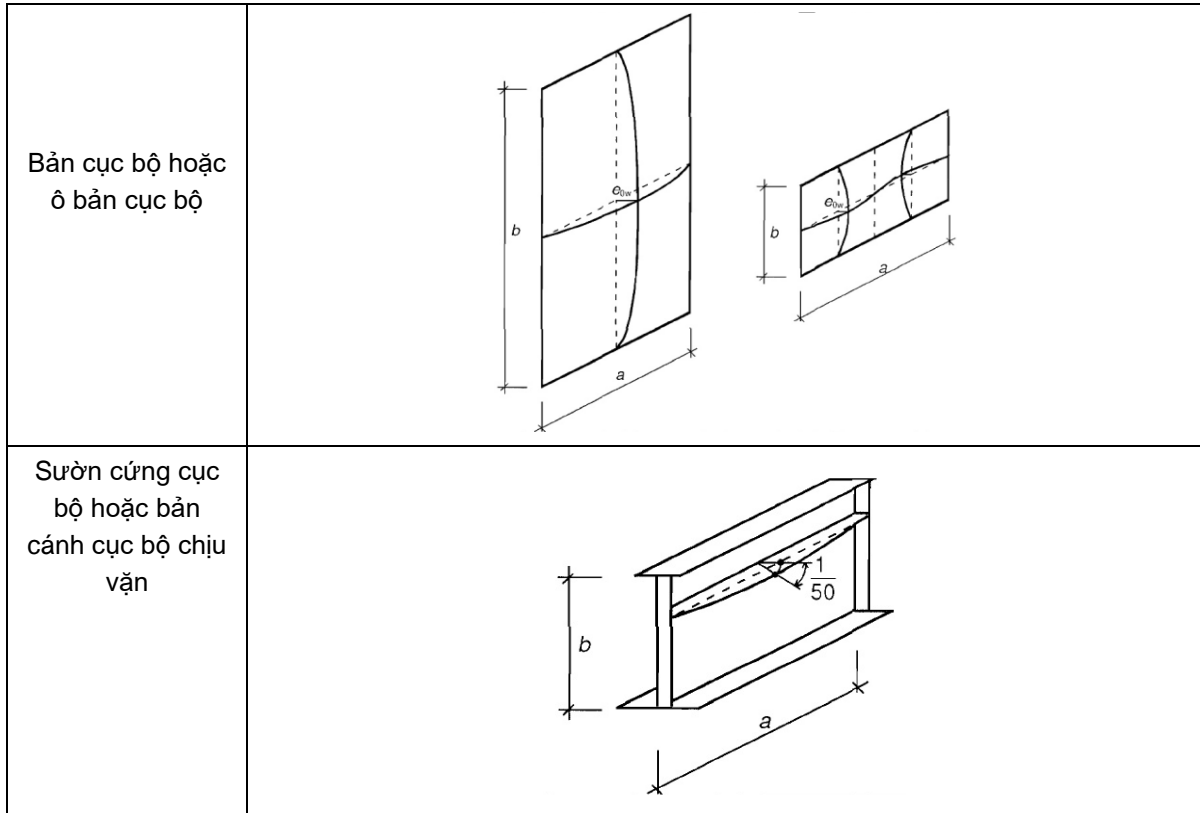
(3) Phương của sự không hoàn hảo áp dụng cần làm sao cho thu được độ bền thấp nhất.

(4) Để áp dụng sự không hoàn hảo hình học tương đương, có thể sử dụng Bảng C.2 và Hình C.1.

Bảng C.2 – Sự không hoàn hảo hình học tương đương

Loại không hoàn hảo	Bộ phận	Hình dạng	Độ lớn
Tổng thể	Cấu kiện với chiều dài l	Lệch thẳng	Xem Bảng 5.1 của TCVN X1993-1-1
Tổng thể	Sườn cứng với chiều dài a	Lệch thẳng	$\min(a/400, b/400)$
Cục bộ	Bản hoặc ô bản với cạnh ngắn a hoặc b	Dạng mắt ổn định	$\min(a/200, b/200)$
Cục bộ	Sườn cứng hoặc bản cánh chịu vận	Vận lệch	1/50





Hình C.1 – Mô hình của sự không hoàn hảo hình học tương đương

(5) Khi có sự không hoàn hảo kết hợp thì sự không hoàn hảo chính cần được lựa chọn và sự không hoàn hảo đi kèm có thể có giá trị bằng 70 %.

CHÚ THÍCH 1: Bất kỳ sự không hoàn hảo nào cần được coi là sự không hoàn hảo chính và các sự không hoàn hảo khác có thể coi là sự không hoàn hảo đi kèm.

CHÚ THÍCH 2: Sự không hoàn hảo hình học tương đương có thể được thay bằng lực ảo thích hợp tác dụng lên cấu kiện.

C.6 Các tính chất vật liệu

(1) Các tính chất vật liệu cần được lấy như là các giá trị đặc trưng

(2) Phụ thuộc vào độ chính xác và biến dạng cho phép yêu cầu đối với phân tích, các giả thiết sau đối với ứng xử vật liệu có thể sử dụng, xem Hình C.2.

a) đàn – dẻo không có biến cứng;

b) đàn – dẻo có thêm chảy

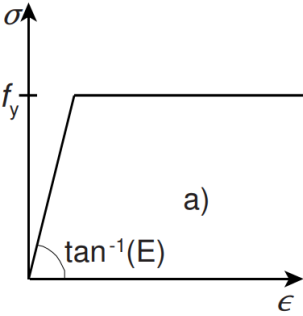
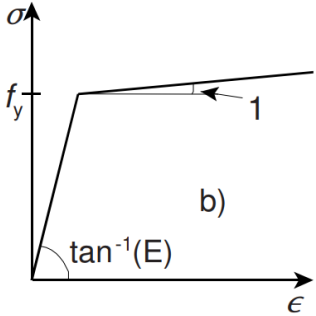
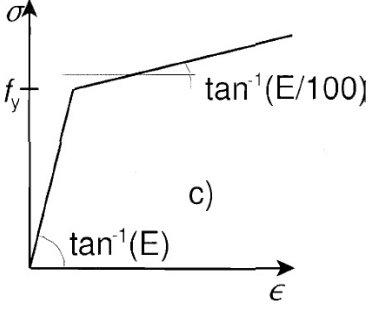
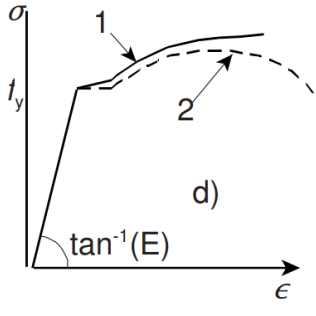
c) đàn – dẻo với biến cứng tuyến tính

d) đường cong ứng suất – biến dạng thực tế được điều chỉnh từ kết quả thử nghiệm như sau:

$$\sigma_{true} = \sigma(1 + \varepsilon)$$

$$\varepsilon_{true} = \ln(1 + \varepsilon)$$

(C.1)

Mô hình		
Có thêm chảy	 <p>a)</p>	 <p>b)</p> <p>$\tan^{-1}(E/10000)$ (hoặc giá trị nhỏ tương tự)</p>
Có biến cứng	 <p>c)</p>	 <p>d)</p> <p>1 đường cong ứng suất – biến dạng thực 2 đường cong ứng suất – biến dạng từ thí nghiệm</p>

Hình C.2 – Mô hình ứng xử vật liệu

CHÚ THÍCH: Đối với mô đun đàn hồi E, giá trị quyết định là giá trị danh định.

C.7 Tải trọng

(1) Tải trọng tác dụng lên kết cấu cần bao gồm các hệ số tải trọng tương ứng và các hệ số tổ hợp tải trọng. Để đơn giản có thể sử dụng một hệ số tải trọng α .

C.8 Các điều kiện của trạng thái giới hạn

(1) Các điều kiện của trạng thái giới hạn cực hạn cần được sử dụng như sau:

1. Đối với kết cấu nhạy với mất ổn định:
đạt tới tải trọng lớn nhất.
2. Đối với các vùng chịu ứng suất kéo:
đạt tới giá trị giới hạn của biến dạng màng chính.

CHÚ THÍCH 1: Phụ lục quốc gia có thể quy định giới hạn của biến dạng chính. Giá trị 5 % được khuyến nghị áp dụng.

CHÚ THÍCH 2: Tiêu chí khác có thể được sử dụng, ví dụ sự đạt tới tiêu chí chảy dẻo hặc giới hạn của vùng chảy dẻo.

C.9 Hệ số riêng

(1) Hệ số tăng tải trọng α_u cho trạng thái giới hạn cực hạn cần đủ để đảm bảo độ tin cậy yêu cầu.

(2) Hệ số tăng tải trọng α_u bao gồm hai hệ số như sau:

1. α_1 đề cập tới độ không chính xác của mô hình khi sử dụng mô hình FE. Nó có thể được lấy từ đánh giá hiệu chuẩn thử nghiệm, xem Phụ lục D của TCVN X1990.

2. α_2 đề cập tới .. của tải trọng và mô hình độ bền. nó có thể lấy bằng γ_{M1} nếu sự mất ổn định là quyết định và γ_{M2} nếu phá hoại là quyết định

(3) Cần kiểm tra điều kiện

$$\alpha_u > \alpha_1 \alpha_2 \quad (C.2)$$

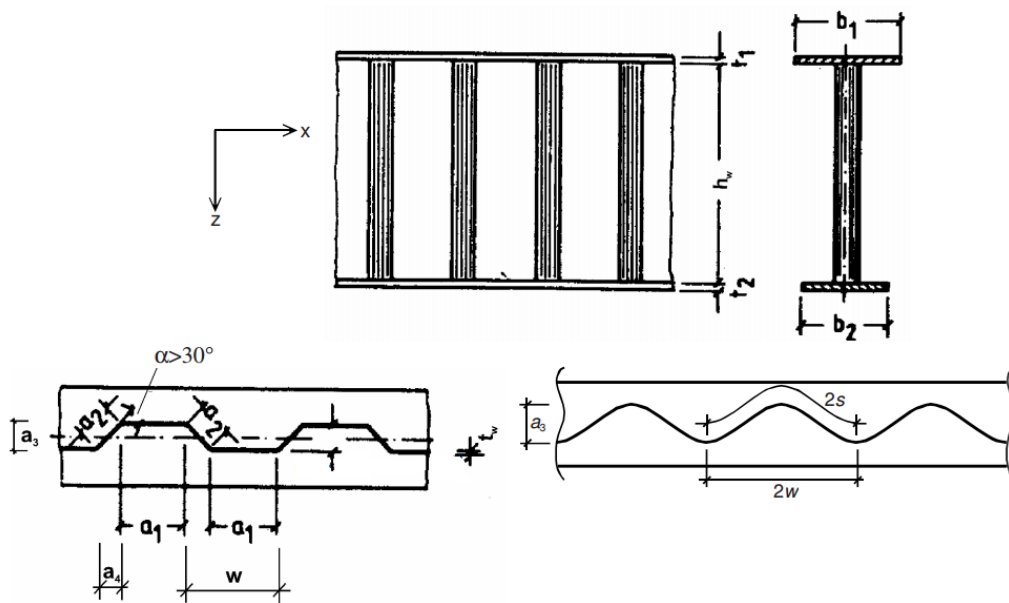
CHÚ THÍCH: Phụ lục quốc gia có thể đưa thông tin về γ_{M1} và γ_{M2} . Việc sử dụng γ_{M1} và γ_{M2} như đã quy định trong các phần tương ứng của TCVN X1993 được khuyến nghị áp dụng.

Phụ lục D
(tham khảo)

Dầm bản có bụng lượn sóng

D.1 Quy định chung

(1) Phụ lục D cung cấp các quy tắc thiết kế dầm chữ I có bản bụng lượn sóng dạng hình thang hoặc hình sin, xem Hình D.1.



Hình D.1 – Ký hiệu các kích thước hình học

D.2 Trạng thái giới hạn cục hạn

D.2.1 Độ bền uốn

(1) Độ bền uốn $M_{y,Rd}$ cần được lấy bằng giá trị tối thiểu sau:

$$M_{y,Rd} = \min \left\{ \underbrace{\frac{b_2 t_2 f_{yf,r}}{\gamma_{M0}} \left(h_w + \frac{t_1 + t_2}{2} \right)}_{keo}; \underbrace{\frac{b_1 t_1 f_{yf,r}}{\gamma_{M0}} \left(h_w + \frac{t_1 + t_2}{2} \right)}_{nen}; \underbrace{\frac{b_1 t_1 \chi f_{yf}}{\gamma_{M1}} \left(h_w + \frac{t_1 + t_2}{2} \right)}_{nen} \right\} \quad (D.1)$$

trong đó:

$f_{yf,r}$ là giá trị của ứng suất chảy dẻo quy đổi do mô men uốn ngang trong cánh;

$$f_{yf,r} = f_{yf} f_T;$$

$$f_T = 1 - 0,4 \sqrt{\frac{\sigma_x(M_z)}{f_{yf}}};$$

$$\sqrt{\frac{\sigma_x(M_z)}{f_{yf}}}$$

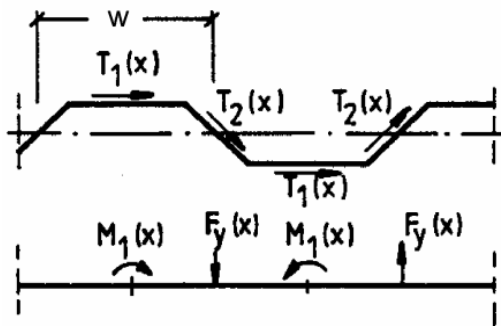
$$\gamma_{M0}$$

$\sigma_x(M_z)$ là ứng suất do mô men uốn ngang trong cánh;

χ là hệ số giảm cho mất ổn định ngoài mặt phẳng theo 6.3 của TCVN X1993-1-1.

CHÚ THÍCH 1: Mô men uốn ngang M_z được xác định từ dòng ứng suất cắt trong bản cánh như trên Hình D.2.

CHÚ THÍCH 2: Đối với bản bụng dạng hình sin f_T lấy bằng 1,0.



Hình D.2 – Các tác động ngang do dòng ứng suất cắt trong bản cánh

(2) Diện tích hiệu dụng^p của bản cánh chịu nén cần được xác định theo 4.4(1) sử dụng giá trị lớn nhất của độ mảnh $\bar{\lambda}_p$ được xác định theo 4.4(2). Hệ số mất ổn định k_σ được lấy bằng giá trị lớn hơn trong các giá trị tính được theo a) và b):

a)
$$k_\sigma = 0,43 + \left(\frac{b}{a}\right)^2 \quad (D.2)$$

trong đó:

b là chiều rộng lớn nhất của phần vượn bản cánh từ chân mối hàn đến mép tự do;

$$a = a_1 + 2a_4.$$

b)
$$k_\sigma = 0,60 \quad (D.3)$$

D.2.2 Độ bền cắt

(1) Độ bền cắt $V_{bw,Rd}$ được xác định theo công thức:

$$V_{bw,Rd} = \chi_c \frac{f_{yw}}{\gamma_{M1} \sqrt{3}} h_w t_w \quad (D.4)$$

trong đó:

χ_c là giá trị nhỏ hơn trong các giá trị của hệ số mất ổn định cục bộ $\chi_{c,\ell}$ và mất ổn định tổng thể $\chi_{c,g}$ thu được từ (2) và (3).

(2) Hệ số giảm $\chi_{c,\ell}$ cho mất ổn định cục bộ được tính theo công thức:

$$\chi_{c,\ell} = \frac{1,15}{0,9 + \lambda_{c,\ell}} \leq 1,0 \tag{D.5}$$

trong đó:

$$\lambda_{c,\ell} = \sqrt{\frac{f_{yw}}{\tau_{cr,\ell} \sqrt{3}}} \tag{D.6}$$

$$\tau_{cr,\ell} = 4,83 E \left[\frac{t_w}{a_{\max}} \right]^2 \tag{D.7}$$

a_{\max} lấy bằng giá trị lớn hơn trong hai giá trị a_1 và a_2 .

CHÚ THÍCH: Đối với bản bụng lượn sóng hình sin, Phụ lục quốc gia có thể đưa thêm thông tin về tính toán $\tau_{cr,\ell}$ và $\chi_{c,\ell}$.

Khuyến nghị sử dụng công thức sau:

$$\tau_{cr,\ell} = \left(5,34 + \frac{a_3 s}{h_w t_w} \right) \frac{\pi^2 E}{12(1-\nu^2)} \left[\frac{t_w}{s} \right]^2$$

trong đó:

w là chiều dài một nửa bước sóng, xem Hình D.1;

s là chiều dài không gập của một nửa bước sóng, xem Hình D.1.

(3) Hệ số giảm $\chi_{c,g}$ cho mất ổn định tổng thể được xác định theo công thức:

$$\chi_{c,g} = \frac{1,5}{0,5 + \lambda_{c,g}^2} \leq 1,0 \tag{D.8}$$

trong đó:

$$\lambda_{c,g} = \sqrt{\frac{f_{yw}}{\tau_{cr,g} \sqrt{3}}} \tag{D.9}$$

$$\tau_{cr,g} = \frac{32,4}{t_w h_w^2} \sqrt[4]{D_x D_z^3} \tag{D.10}$$

$$D_x = \frac{E t_w^3}{12(1-\nu^2)} \frac{w}{s};$$

$$D_z = \frac{E I_z}{w};$$

I_z là mô men quán tính của diện tích một sóng có chiều dài w , xem Hình D.1.

CHÚ THÍCH 1: s và l_z là các thông số của hình dạng thực tế của sóng.

CHÚ THÍCH 2: Công thức (D.10) đúng cho các bản được liên kết khớp ở các mép.

D.2.3 Các yêu cầu cho sườn cứng đầu mút

(1) Các sườn cứng ở vùng gối cần được thiết kế phù hợp với điều 9.

Phụ lục E
(quy định)

Phương pháp xác định tiết diện ngang hiệu dụng

E.1 Diện tích hiệu dụng để tính mức ứng suất thấp hơn giới hạn chảy

(1) Một phương pháp khác thay thế cho phương pháp nêu trong 4.4(2), các công thức sau đây có thể áp dụng để xác định diện tích hiệu dụng ở mức ứng suất thấp hơn giới hạn chảy:

a) Đối với các bản chịu nén bên trong:

$$\rho = \frac{1 - 0,055(3 + \psi) / \bar{\lambda}_{p,red}}{\bar{\lambda}_{p,red}} + 0,18 \frac{(\bar{\lambda}_p - \bar{\lambda}_{p,red})}{(\bar{\lambda}_p - 0,6)} \text{ nhưng } \rho \leq 1,0 \quad (E.1)$$

b) Đối với các bản biên chịu nén phía ngoài:

$$\rho = \frac{1 - 0,188 / \bar{\lambda}_{p,red}}{\bar{\lambda}_{p,red}} + 0,18 \frac{(\bar{\lambda}_p - \bar{\lambda}_{p,red})}{(\bar{\lambda}_p - 0,6)} \text{ nhưng } \rho \leq 1,0 \quad (E.2)$$

Các ký hiệu xem 4.4(2) và 4.4(4). Để tính độ bền mất ổn định tổng thể áp dụng 4.4(5).

E.2 Diện tích hiệu dụng để tính độ cứng

(1) Để tính diện tích hiệu dụng nhằm xác định độ cứng, độ mảnh khi tính theo trạng thái giới hạn sử dụng $\bar{\lambda}_{p,ser}$ có thể được tính theo công thức:

$$\bar{\lambda}_{p,ser} = \bar{\lambda}_p \sqrt{\frac{\sigma_{com,Ed,ser}}{f_y}} \quad (E.3)$$

trong đó: $\sigma_{com,Ed,ser}$ được xác định là ứng suất nén lớn nhất (được tính dựa trên tiết diện ngang hiệu dụng) trong cấu kiện tương ứng dưới tải trọng tại trạng thái giới hạn sử dụng.

(2) Mô men quán tính của diện tích có thể được tính bằng nội suy tuyến tính giữa mô men quán tính của tiết diện ngang nguyên và mô men quán tính của tiết diện ngang hiệu dụng đối với tổ hợp tải trọng tương ứng theo công thức:

$$I_{eff} = I_{gr} - \frac{\sigma_{gr}}{\sigma_{com,Ed,ser}} \left(I_{gr} - I_{eff}(\sigma_{com,Ed,ser}) \right) \quad (E.4)$$

trong đó:

I_{gr} là mô men quán tính của diện tích tiết diện ngang nguyên;

σ_{gr} là ứng suất uốn lớn nhất tại trạng thái giới hạn sử dụng;

$I_{eff}(\sigma_{com,Ed,ser})$ là mô men quán tính của diện tích tiết diện ngang hiệu dụng có kể đến mất ổn định cục bộ theo công thức (E.1) được tính cho ứng suất lớn nhất $\sigma_{com,Ed,ser} \geq \sigma_{gr}$ trong phạm vi chiều dài nhịp đang xét.

- (3) Mô men quán tính của diện tích tiết diện ngang hiệu dụng I_{eff} có thể có các giá trị khác nhau dọc theo nhịp tùy vào sự bố trí các sườn cứng riêng lẻ. Có thể lấy giá trị không đổi bằng mô men quán tính lớn nhất dựa trên giá trị tuyệt đối của mô men dương lớn nhất dưới tải trọng sử dụng.
- (4) Tính toán yêu cầu phải tiến hành lặp, nhưng chúng có thể được thực hiện một lần tại mức ứng suất bằng hoặc lớn hơn $\sigma_{com,Ed,ser}$.

Phụ lục Quốc gia

kèm theo TCVN X1993-1-5:202x

Thiết kế kết cấu thép – Phần 1-5: Các cấu kiện làm từ bản

NA.1 Phạm vi

Phụ lục quốc gia này đưa ra:

a) Các quyết định cho các thông số do quốc gia xác định được mô tả trong các tiêu mục sau đây của TCVN X1993-1-5:202x:

- 2.2(5)
- 3.3(1)
- 4.3(6)
- 5.1(2)
- 6.4(2)
- 8(2)
- 9.1(1)
- 9.2.1(9)
- 10(1)
- 10(5)
- C.2(1)
- C.5(2)
- C.8(1)
- C.9(3)
- D.2.2(2)

b) Tham chiếu đến thông tin bổ sung không mâu thuẫn (xem NA.3).

NA.2 Thông số do quốc gia xác định

NA.2.1 Mô hình chiều rộng hiệu quả để phân tích tổng thể [TCVN X1993-1-5:202X, 2.2(5)]

Giá trị khuyến nghị của tham số chiều rộng hiệu dụng ρ_{lim} cần được sử dụng.

NA.2.2 Độ trễ cắt ở trạng thái giới hạn cực hạn [TCVN X1993-1-5:202X, 3.3(1)]

Phương pháp được đề xuất trong Chú thích 3 cần được sử dụng.

NA.2.3 Tiết diện ngang hiệu dụng [TCVN X1993-1-5:202X, 4.3(6)]

Giá trị khuyến nghị của φ_n cần được sử dụng.

NA.2.4 Cơ bản [TCVN X1993-1-5:202X, 5.1(2)]

Giá trị của η cần được lấy là 1,0 cho các loại thép.

NA.2.5 Hệ số giảm chiều dài tính toán k_F cho độ bền [TCVN X1993-1-5:202X, 6.4(2)]

NA.2.5.1 Phương trình (6.6) cần được sử dụng cho tải trọng cục bộ loại (a) và (c) từ hình 6.1 cho dầm có sườn cứng dọc. Tại các vị trí vượt quá giới hạn mà phương trình (6.6) trong 6.4(2) là hợp lệ, việc xử lý tải trọng cục bộ này sẽ giống như với bản bụng không sườn cứng.

NA.2.5.2 Phương trình (6.6) không được sử dụng cho tải trọng cục bộ loại (b) từ hình 6.1 cho dầm có sườn cứng dọc. Tải trọng cục bộ (b) từ hình 6.1 có thể được coi là bản bụng không gia cường hoặc có thể phải có một phân tích mất ổn định đặc biệt.

NA.2.6 Bản cánh gây mất ổn định [TCVN X1993-1-5:202X, 8(2)]

NA.2.6.1 Thiết kế cho bản cánh gây ra mất ổn định cần kể đến sự phá hoại tiềm năng của bản bụng do lực hướng tâm từ bản cánh chịu nén hoặc kéo bị uốn cong theo phương đứng, không kể đến việc cả dầm có cong hay không.

NA.2.6.2 Đối với bản cánh ngang danh nghĩa, có thể áp dụng Mục 8(2), nhưng cần kiểm tra tính thích hợp của bản bụng bằng cách sử dụng phân tích tương tự như đối với các dầm có bản cánh cong theo phương đứng với bán kính cong tương ứng với độ không phẳng bằng nhịp/625.

NA.2.6.3 Tính thích hợp của bản bụng với bản cánh cong cần được xác định bằng cách phân tích độ bền mất ổn định của bản bụng, cho dù có sườn cứng hay không, dưới các lực hướng tâm gây ra bởi bản cánh và bản bụng liên quan ngoài bất kỳ lực cắt và dọc tổng thể ngẫu nhiên nào. Tính thích hợp của bản bụng cũng cần được kiểm tra bằng cách sử dụng các quy tắc trong mục 6 kết hợp với 7.2(1).

NA.2.6.4 Đối với dầm chỉ duy nhất bản cánh chịu nén bị cong, cần sử dụng hệ số mất ổn định loại (a) trong Hình 6.1. Đối với dầm có cả hai bản cánh cong, cần sử dụng hệ số loại (b). Đối với một phương pháp kiểm tra như vậy, γ_{MI} cần được lấy bằng 2,0 khi tính toán η_2 .

NA.2.7 Bản gia cường và các chi tiết [TCVN X1993-1-5:202X, 9.1(1)]

NA.2.7.1 Trong trường hợp bản bụng của dầm chịu một lực nén thực, do lực nén bên ngoài hoặc do trục trung hòa khi uốn không nằm tại điểm giữa chiều cao của bản bụng, ảnh hưởng của lực nén thực cần được xem xét trong thiết kế sườn gia cường ngang chịu cắt.

NA.2.7.2 Khi áp dụng **9.3.3(3)**, lực thiết kế trong CHÚ THÍCH không nên được sử dụng. Thay vào đó, sườn gia cường cứng trung gian cần được thiết kế cho lực dọc, ρ_{Ed} , tác động lên mặt giữa của bản bụng bên cạnh bất kỳ lực tác dụng bên ngoài, trong đó:

$$\rho_{Ed} = V_{Ed} - h_w t \times 0,8 \tau \sqrt{1 - \frac{\sigma_{x,Ed}}{0,8 \sigma_{cr,x}}} \text{ với } a \geq h_w$$

$$\rho_{Ed} = \left[V_{Ed} - h_w t \times 0,8 \tau_{cr} \sqrt{1 - \frac{\sigma_{x,Ed}}{0,8 \sigma_{cr,x}}} \right] \frac{a}{h_w} \text{ với } a < h_w$$

trong đó:

τ_{cr} là ứng suất mất ổn định cắt tới hạn đàn hồi xác định theo 5.3

$\sigma_{cr,x}$ là ứng suất mất ổn định tấm tới hạn đàn hồi cho ứng suất pháp xác định theo 4.4 hoặc 4.5 cho mất ổn định tấm phụ và mất ổn định tấm được gia cường tổng thể.

$\sigma_{x,Ed}$ là ứng suất nén theo chiều dọc lớn nhất trong bản bụng tấm đang được xem xét.

$\sigma_{x,Ed}$ được lấy là dương khi chịu nén và không được lấy lớn hơn $0,8 \sigma_{cr,x}$

NA.2.7.3 Khi áp dụng 9.2.1, $\sigma_{cr,c}$ và $\sigma_{cr,p}$ thường nên được tính cho độ dài bản $a_1 + a_2$ với w_0 được lấy là nhỏ hơn $b/300$, $a_1/300$ và $a_2/300$. Tuy nhiên, để bảo vệ chống mất ổn định với các hệ sườn cứng ngang bên cạnh cong theo các hướng so le, 9.2.1 cũng nên được áp dụng với $\sigma_{cr,c}$ và $\sigma_{cr,p}$, được tính cho chiều dài bản là $0,5 (a_1 + a_2)$. Trong trường hợp này, w_0 cần được lấy là giá trị nhỏ hơn của $b/150$, $a_1/150$ và $a_2/150$.

Đối với các bản có tấm sườn cứng theo chiều dọc, tỷ lệ $\sigma_{cr,c}/\sigma_{cr,p}$ cần được lấy bằng 1,0 trừ khi một giá trị thay thế có thể được điều chỉnh bằng tính toán mà cũng có thể được hỗ trợ bởi kết quả thí nghiệm hoặc phân tích phi tuyến.

NA.2.8 Yêu cầu tối thiểu cho sườn gia cường ngang [TCVN X1993-1-5:202X, 9.2.1(9)]

Giá trị của θ cần được lấy là 2,0.

NA.2.9 Phương pháp giảm ứng suất [TCVN X1993-1-5:202X, 10(1)]

Không có giới hạn của ứng dụng cho các phương pháp

NA.2.10 Phương pháp giảm ứng suất [TCVN X1993-1-5:202X, 10(5)]

Đối với tấm chịu nén và kéo, phương trình (10.4) và (10.5) chỉ được áp dụng cho phần chịu nén.

NA.2.11 Sử dụng [TCVN X1993-1-5:202X, C.2(1)]

Điều kiện sử dụng phân tích phần tử hữu hạn trong thiết kế cần được chỉ định cho dự án cụ thể.

NA.2.12 Sử dụng sự không hoàn hảo [TCVN X1993-1-5:202X, C.5(2)]

Cách tiếp cận được đề xuất cần được sử dụng

NA.2.13 Các tiêu chí trạng thái giới hạn [TCVN X1993-1-5:202X, C.8(1)]

Giới hạn đối với biến dạng chính của vùng chịu kéo là 5%.

NA.2.14 Các hệ số riêng [TCVN X1993-1-5:202X, C.9(3)]

NA.2.14.1 Đối với cầu, cần sử dụng γ_{M1} và γ_{M2} theo quy định tại phụ lục quốc gia của TCVN X1993-2.

NA.2.14.2 Đối với nhà, cần sử dụng γ_{M1} và γ_{M2} theo quy định tại phụ lục quốc gia của TCVN ***1-1.

NA.2.15 Độ bền chịu cắt [TCVN X1993-1-5:202X, D.2.2(2)]

Không có thông tin bổ sung nào được cung cấp

NA.3 Tham chiếu đến thông tin bổ sung không mâu thuẫn

PD 6695-2, Khuyến nghị thiết kế cầu theo BS EN 1993

Tài liệu tham khảo**Tiêu chuẩn**

Đối với các tài liệu tham khảo có ghi năm ban hành, chỉ có phiên bản được trích dẫn được áp dụng. Đối với các tài liệu tham khảo không ghi năm ban hành, phiên bản mới nhất của tài liệu tham khảo (bao gồm mọi sửa đổi) được áp dụng.

PLQG cho TCVN ***1-1, Phụ lục quốc gia về: Thiết kế kết cấu thép - Phần 1-1: Quy tắc và quy tắc chung cho nhà

PLQG cho TCVN ***1-2, Phụ lục quốc gia về: Thiết kế kết cấu thép – Phần 2: Cầu thép

PD 6695-2, Khuyến nghị thiết kế cầu đến BS EN 1993