TCVN

TIÊU CHUẨN QUỐC GIA

TCVN X1993-1-3:202x

THIẾT KẾ KẾT CẤU THÉP – PHẦN 1-3: QUY ĐỊNH CHUNG –QUY ĐỊNH BỔ SUNG CHO CẤU KIỆN VÀ TẤM TẠO HÌNH NGUỘI

Design of steel structures – Part 1-3: General rules – Supplementary rules for cold-formed members and sheeting

DỰ THẢO

.

Hà Nội - 2024

Lời nói đầu

TCVN X1993-1-3:202x được xây dựng trên cơ sở tham khảo tiêu chuẩn *EN 1993-1-3:2006 Eurocode 3 — Design of steel structures — Part 1-3: General rules — Supplementary rules for cold-formed members and sheeting*

TCVN X1993-1-3:202x 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 11
1.1 Phạm vi áp dụng 11
1.2 Tài liệu viện dẫn 11
1.3 Thuật ngữ và định nghĩa 13
1.4 Ký hiệu 15
1.5 Thuật ngữ và quy ước cho kích thước 15
1.5.1 Hình dạng tiết diện 15
1.5.2 Dạng sườn cứng 17
1.5.3 Kích thước tiết diện ngang 18
1.5.4 Quy tắc cho trục cấu kiện 19
2 Cơ sở thiết kế 20
3 Vật liệu 22
3.1 Quy định chung 22
3.2 Thép kết cấu 25
3.2.1 Các tính chất vật liệu của vật liệu cơ bản 25
3.2.2 Các tính chất vật liệu của các tiết diện và tấm tạo hình nguội 25
3.2.3 Độ dai kháng nứt 27
3.2.4 Chiều dày và dung sai chiều dày 27
3.3 Các loại liên kết 28
3.3.1 Liên kết bu lông 28
3.3.2 Các loại chốt liên kết cơ khí khác 28
3.3.3 Vật liệu hàn 28
4 Độ bền lâu 28
5 Phân tích kết cấu 30
5.1 Ảnh hưởng của góc uốn 30
5.2 Các tỉ lệ hình học 33
5.3 Mô hình kết cấu cho phân tích 35
5.4 Độ cong của bản cánh 36
5.5 Mất ổn định cục bộ và mất ổn định méo 37
5.5.1 Quy định chung 37
5.5.2 Cấu kiện phẳng không có sườn cứng 39
5.5.3 Cấu kiện phẳng có sườn cứng mép hoặc trung gian 39

5.6 Mất ổn định bản giữa các chốt liên kết 59
6 Các trạng thái giới hạn cực hạn....59
6.1 Khả năng chịu lực của tiết diện ngang....59
6.1.1 Quy định chung....59
6.1.2 Kéo dọc trục....60
6.1.3 Nén dọc trục 60
6.1.4 Mô men uốn....61
6.1.5 Lực cắt....64
6.1.6 Mô men xoắn....65
6.1.7 Lực ngang cục bộ 67
6.1.8 Kéo và uốn đồng thời....76
6.1.9 Nén và uốn đồng thời....76
6.1.10 Lực cắt, lực dọc và mô men uốn đồng thời 77
6.1.11 Mô men uốn và tải trọng cục bộ hoặc phản lực gối tựa đồng thời 77
6.2 Khả năng chống mất ổn định....78
6.2.1 Quy định chung....78
6.2.2 Mất ổn định dạng uốn 78
6.2.3 Mất ổn định dạng xoắn và mất ổn định dạng uốn – xoắn 78
6.2.4 Mất ổn định dạng xoắn – ngang của cấu kiện chịu uốn....83
6.2.5 Uốn và nén dọc trục....83
6.3 Uốn và kéo dọc trục....84
7 Các trạng thái giới hạn sử dụng....85
7.1 Quy định chung 85
7.2 Biến dạng dẻo 85
7.3 Độ võng....85
8 Thiết kế mối nối....86
8.1 Quy định chung 86
8.2 Các liên kết chồng và đối đầu của cấu kiện chịu nén....86
8.3 Các liên kết dùng chốt cơ khí 87
8.4 Mối hàn điểm....94
8.5 Mối hàn chồng....95
8.5.1 Quy định chung....95
8.5.2 Mối hàn góc 95
8.5.3 Mối hàn điểm hồ quang....96
9 Thiết kế có sự hỗ trợ của thí nghiệm 100
10 Xem xét đặc biệt đối với xà gồ, máng và tấm....102
10.1 Dầm ngàm bởi tấm....102

10.1.1 Quy định chung 102
10.1.2 Các phương pháp tính toán 103
10.1.3 Tiêu chí thiết kế 106
10.1.4 Khả năng chịu lực thiết kế 108
10.1.5 Ngàm chống xoay bằng tấm 115
10.1.6 Lực trong các chốt liên kết của tấm/xà gồ và các phản lực 122
10.2 Máng được ngàm bằng tấm 124
10.2.1 Quy định chung 124
10.2.2 Khả năng chịu uốn 125
10.3 Thiết kế vỏ mỏng chịu lực 128
10.3.1 Quy định chung 128
10.3.2 Hiệu ứng màng cứng 129
10.3.4 Màng cứng bằng tấm thép định hình 130
10.3.5 Màng cứng bằn máng thép 132
10.4 Tấm có lỗ 133
Phụ lục A (quy định) 135
A.1 Quy định chung 135
A.2 Thí nghiệm tấm định hình và máng 135
A.2.1 Quy định chung 135
A.2.3 Thí nghiệm nhịp đôi 137
A.2.4 Thí nghiệm gối tựa trung gian 137
A.2.5 Thí nghiệm gối tựa biên 139
A.3 Thí nghiệm cấu kiện tạo hình nguội 140
A.3.1 Quy định chung 140
A.3.2 Thí nghiệm nén toàn bộ tiết diện ngang 142
A.3.2.1 Thí nghiệm cột ngắn 142
A.3.2.2 Thí nghiệm mất ổn định cấu kiện 143
A.3.3 Thí nghiệm kéo toàn bộ tiết diện ngang 143
A.3.4 Kiểm tra uốn toàn bộ tiết diện ngang 144
A.4 Thí nghiệm kết cấu và bộ phận kết cấu 144
A.4.1 Thí nghiệm chấp nhận 144
A.4.2 Thí nghiệm khả năng chịu lực 145
A.4.3 Thí nghiệm đến phá hoại của nguyên mẫu 146
A.4.4 Thí nghiệm hiệu chỉnh 147
A.5 Thí nghiệm dầm có ngăn cản xoắn 147
A.5.1 Quy định chung 147
A.5.2 Thí nghiệm gối tựa trung gian 147

A.5.2.1 Thiết lập thí nghiệm 147
A.5.2.2 Tiến hành thí nghiệm 148
A.5.2.3 Xử lý kết quả thí nghiệm 148
A.5.3 Xác định ngàm chống xoắn 150
A.6 Đánh giá kết quả thí nghiệm 152
A.6.1 Quy định chung 152
A.6.2 Điều chỉnh kết quả thí nghiệm 152
A.6.3 Các giá trị đặc trưng 154
A.6.3.1 Quy định chung 154
A.6.3.2 Các giá trị đặc trưng cho họ thí nghiệm 155
A.6.3.3 Các giá trị đặc trưng cho số lượng thí nghiệm ít 156
A.6.4 Các giá trị thiết kế 156
Phụ lục B (tham khảo) 158
Độ bền lâu của chốt 158
Phụ lục C (tham khảo) 160
Các hằng số tiết diện ngang của tiết diện ngang thành mỏng 160
C.1 Tiết diện ngang hở 160
C.2 Các hằng số tiết diện ngang đối với tiết diện ngang hở có các nhánh 163
C.3 – Hằng số xoắn và tâm cắt của tiết diện ngang có phần kín 163
Phụ lục D (tham khảo) 164
Phương pháp hỗn hợp xác định chiều rộng hiệu dụng và chiều dày hiệu dụng cho các phần tử vươn tự do 164
Phụ lục E (tham khảo) 166
Phương pháp tính đơn giản cho xà gồ 166
Phụ lục Quốc gia 170
NA.1 Phạm vi 170
NA.2 Thông số do quốc gia xác định 170
NA.2.1 Tổng quát 170
NA.2.2 Hệ số an toàn riêng, γ_M [TCVN X1993-1-3:202X, 2(3)] 170
NA.2.3 Hệ số an toàn riêng, $\gamma_{M,ser}$ [TCVN X1993-1-3:202X, 2(5)] 170
NA.2.4 Giá trị danh nghĩa của giới hạn chảy f_{yb} và giới hạn bền kéo tới hạn f_u [TCVN X1993-1-3:202X, 3.1(3) Chú thích 1 và Chú thích 2] 171
NA.2.5 Chiều dày của thép lõi [TCVN X1993-1-3:202X, 3.2.4(1)] 171
NA.2.6 Khiếm khuyết (không hoàn hảo) vồng ban đầu [TCVN X1993-1-3:202X, 5.3(4)] 171
NA.2.7 Hệ số riêng cho chốt cơ khí, γ_{M2}, [TCVN X1993-1-3:202X, 8.3(5)] 171
NA.2.8 Khả năng chịu lực thiết kế của đinh tán chìm [TCVN X1993-1-3:202X, 8.3(13)] 171
NA.2.9 Khả năng chịu lực thiết kế của vít tự khoan [TCVN X1993-1-3:202X, 8.3(13)] 171

NA.2.10 Đồ bền thiết kế của chốt đạn [TCVN X1993-1-3:202X, 8.3(13)] 171
NA.2.11 Khả năng chịu lực thiết kế của bu lông [TCVN X1993-1-3:202X, 8.3(13)] 172
NA.2.12 Hệ số riêng cho mối hàn điểm, γ_{M2} [TCVN X1993-1-3:202X, 8.4(5)] 172
NA.2.13 Hệ số riêng cho mối hàn chồng, γ_{M2} [TCVN X1993-1-3:202X, 8.5.1(4)] 172
NA.2.14 Thiết kế được hỗ trợ bởi thí nghiệm [TCVN X1993-1-3:202X, 9(2)] 172
NA.2.15 Dầm được ngàm bởi các tấm [TCVN X1993-1-3:202X, 10.1.1(1)] 172
NA.2.16 Mất ổn định của bản cánh tự do [TCVN X1993-1-3:202X, 10.1.4.2(1)] 172
NA.2.17 Quy trình thí nghiệm [TCVN X1993-1-3:202X, A1(1)] 172
NA.2.18 Hệ số riêng cho kết quả thí nghiệm, γ_M TCVN X1993-1-3:202X, A6.4(4)] 173
NA.2.19 Hạn chế về việc sử dụng "Thiết kế đơn giản cho xà gồ" [TCVN X1993-1-3:202X, E(1)] 173
NA.3 Quyết định định về tình trạng phụ lục tham khảo 173
NA.3.1 Phụ lục B 173
NA.3.2 Phụ lục C 173
NA.3.3 Phụ lục D 173
NA.3.4 Phụ lục E 173
NA.4 Các tài liệu tham khảo cho những thông tin bổ sung không mâu thuẫn 173
Tiêu chuẩn 173

Thiết kế kết cấu thép – Phần 1-3: Quy định chung – Quy định bổ sung cho cấu kiện và tấm tạo hình nguội

Design of steel structures – Part 1-3: General rules – Supplementary rules for cold-formed members and sheeting

1 Giới thiệu

1.1 Phạm vi áp dụng

(1) TCVN X1993-1-3 đưa ra các yêu cầu cho cấu kiện và tấm tạo hình nguội. Tiêu chuẩn này áp dụng cho các sản phẩm thép tạo hình nguội làm từ tấm hoặc dải mạ hoặc không mạ, cán nóng hoặc cán nguội, được tạo hình nguội bằng quá trình như tạo hình cán nguội hoặc dập. Tiêu chuẩn này cũng có thể dùng để thiết kế tấm thép định hình cho bản sàn liên hợp thép – bê tông trong quá trình thi công, xem TCVN X1994. Thi công kết cấu thép làm từ các cấu kiện và tấm tạo hình nguội được quy định trong EN 1090.

CHÚ THÍCH: Các quy tắc trong phần này bổ sung cho các quy tắc nêu trong các phần khác của TCVN X1993-1.

(2) Tiêu chuẩn này cũng đưa ra các phương pháp cho thiết kế vỏ mỏng chịu ứng lực sử dụng tấm thép như một màng cứng kết cấu.

(3) Phần này không áp dụng cho tiết diện rỗng chữ nhật hoặc hình tròn tạo hình nguội được cung cấp theo EN 10219, mà cần tham chiếu tới TCVN X1993-1-1 và TCVN X1993-1-8.

(4) TCVN X1993-1-3 đưa ra các phương pháp thiết kế bằng tính toán và thiết kế có sự hỗ trợ của thí nghiệm. Các phương pháp thiết kế bằng tính toán chỉ áp dụng trong phạm vi miền trạng thái của các đặc trưng vật liệu và các tỉ lệ hình học có đủ bằng chứng thực nghiệm và thí nghiệm. Các giới hạn này không áp dụng cho thiết kế có sự hỗ trợ của thí nghiệm.

(5) TCVN X1993-1-3 không bao gồm bố trí tải trọng cho thí nghiệm thử tải trong quá trình thi công và bảo trì.

(6) Các quy tắc tính toán nêu trong tiêu chuẩn này chỉ đúng nếu các dung sai của các cấu kiện tạo hình nguội phù hợp với EN 1090-2.

1.2 Tài liệu viện dẫn

Các tài liệu tham chiếu sau đây chứa các quy định mà, thông qua việc viện được dẫn trong tiêu chuẩn này, cấu thành các quy định của tiêu chuẩn. Cho các tài liệu tham khảo có ghi năm, chỉ áp dụng phiên bản được trích dẫn.

Tuy nhiên, các bên liên quan đồng ý sử dụng tiêu chuẩn này được khuyến khích tìm hiểu khả năng áp dụng các phiên bản mới nhất của các tài liệu được chỉ ra dưới đây. Đối với tài liệu tham khảo không ghi năm công bố thì áp dụng phiên bản mới nhất.

TCVN X1993 Thiết kế kết cấu thép

Phần 1-1 đến phần 1-12

EN 10002 Vật liệu kim loại – Thử kéo

Phần 1: Phương pháp thử (ở nhiệt độ thường)

EN 10025-1 Các sản phẩm cán nóng cho thép kết cấu – Phần 1: Điều kiện cung cấp chung

EN 10025-2 Các sản phẩm cán nóng cho thép kết cấu – Phần 2: Điều kiện kỹ thuật cho cung cấp cho thép kết cấu không hợp kim

EN 10025-3 Các sản phẩm cán nóng cho thép kết cấu – Phần 3: Điều kiện kỹ thuật cho cung cấp đối với thép kết cấu thường hóa/cán thường hóa hạt mịn có thể hàn

EN 10025-4 Các sản phẩm cán nóng cho thép kết cấu – Phần 4: Điều kiện kỹ thuật cho cung cấp đối với thép kết cấu cán cơ nhiệt hạt mịn có thể hàn

EN 10025-5 Các sản phẩm cán nóng cho thép kết cấu – Phần 5: Điều kiện kỹ thuật cho cung cấp đối với thép kết cấu với độ bền ăn mòn trong môi trường khí quyển được tăng cường

EN 10143 Tấm và dải thép mạ kim loại nhúng nóng liên tục – Dung sai kích thước và hình dạng

EN 10149 Các sản phẩm phẳng cán nóng làm từ thép giới hạn chảy cao cho tạo hình nguội

Phần 2: Điều kiện kỹ thuật cho cung cấp đối với thép thường hóa/cán thường hóa

Phần 3: Điều kiện kỹ thuật cho cung cấp đối với thép cán cơ nhiệt

EN 10204 Sản phẩm kim loại. Loại tài liệu kiểm tra (bao gồm trong Phụ lục A.1:1995)

EN 10268 Các sản phẩm phẳng cán nguội làm từ thép hợp kim mịn giới hạn chảy cao dùng cho tạo hình nguội – Điều kiện kỹ thuật cho cung cấp

EN 10292 Dải và tấm mạ nhúng nóng liên tục của thép với giới hạn chảy cao cho tạo hình nguội – Điều kiện kỹ thuật cho cung cấp

EN 10326 Dải và tấm mạ nhúng nóng liên tục của thép kết cấu – Điều kiện kỹ thuật cho cung cấp

EN 10327 Dải và tấm mạ nhúng nóng liên tục của thép các bon thấp cho tạo hình nguội – Điều kiện kỹ thuật cho cung cấp

EN-ISO 12944-2 Sơn và véc ni – Bảo vệ chống ăn mòn cho kết cấu thép bằng hệ sơn bảo vệ - Phần 2: Phân loại theo môi trường (ISO 12944-2:1998)

EN 1090-2 Thi công kết cấu thép và kết cấu nhôm. Phần 2: Các yêu cầu kỹ thuật đối với kết cấu thép

TCVN X1994 Thiết kế kết cấu liên hợp thép – bê tông

EN ISO 1478 Vít tự cắt có ren

EN ISO 1479 Vít tự cắt đầu tám cạnh

EN ISO 2702 Vít thép tự cắt xử lý nhiệt – Các đặc trưng cơ học

EN ISO 7049 Vít tự cắt đầu hình nón cụt có rãnh chữ thập

EN ISO 10684 Chi tiết lắp xiết – Lớp phủ kẽm nhúng nóng

ISO 4997 Thép tấm cán nguội có chất lượng kết cấu

EN 508-1 Sản phẩm lợp từ tấm kim loại - Yêu cầu kỹ thuật cho các sản phẩm tự đỡ bằng tấm thép, nhôm hoặc thép không gỉ - Phần 1: Thép

FEM 10.2.02 Liên đoàn quản lý vật liệu Châu Âu, Phần X, Thiết bị và quy trình bảo quản, FEM 10.2.02, Thiết kế kệ đỡ palét tĩnh bằng thép, Tiêu chuẩn thiết kế kệ đỡ, Tháng 4 năm 2001 Phiên bản 1.02.

1.3 Thuật ngữ và định nghĩa

Trong tiêu chuẩn này, để bổ sung cho TCVN X1993-1-1, sử dụng các thuật ngữ và định nghĩa sau:

1.3.1

Vật liệu cơ bản (base material)

Vật liệu thép tấm phẳng dùng để làm các tiết diện và tấm định hình tạo hình nguội bằng phương pháp tạo hình nguội

1.3.2

Giới hạn chảy cơ bản (basic yield strength)

Giới hạn chảy khi kéo của vật liệu cơ bản

1.3.3

Hiệu ứng màng cứng (diagramph action)

Ứng xử kết cấu có kể đến cắt trong mặt phẳng trong tấm

1.3.4

Máng (liner trays)

Tấm định hình với các sườn cứng mép lớp ở biên, thích hợp để lồng các máng liền kề vào nhau để tạo thành một mặt phẳng tấm có gân có khả năng đỡ một tấm định hình dạng mặt phẳng song song vượt nhịp vuông góc với nhịp của máng.

1.3.5

Ngăn cản một phần (partial restraint)

Sự ngăn cản chuyển vị ngang hoặc xoay, hoặc biến dạng xoắn hoặc biến dạng vênh, của cấu kiện hoặc phần tử, làm tăng khả năng chống mất ổn định của nó theo cách tương tự như gối tựa lò xo, nhưng thấp hơn so với gối tựa tuyệt đối cứng.

1.3.6

Độ mảnh tương đối (relative slenderness)

Tỉ số độ mảnh không kích thước đã chuẩn hóa.

1.3.7

Ngàm (restraint)

Sự ngăn cản chuyển vị ngang hoặc xoay, hoặc biến dạng xoắn hoặc biến dạng vênh, của cấu kiện hoặc phần tử, làm tăng khả năng chống mất ổn định của nó đến mức tương tự như một gối tựa tuyệt đối cứng.

1.3.8

Thiết kế vỏ mỏng chịu lực (stressed-skin design)

Phương pháp thiết kế có kể đến sự tham gia của hiệu ứng màng cứng trong tấm vào độ cứng và cường độ của kết cấu.

1.3.9

Gối tựa (support)

Vị trí mà tại đó cấu kiện có khả năng truyền lực hoặc mô men xuống móng, hoặc vào cấu kiện khác hoặc bộ phận kết cấu khác.

1.3.10

Chiều dày danh định (nominal thickness)

Chiều dày trung bình bao gồm các lớp phủ mạ kẽm và các kim loại khác khi cán và được xác định bởi nhà cung cấp thép (t_{nom} không bao gồm lớp phủ hữu cơ).

1.3.11

Chiều dày lõi thép (steel core thickness)

Chiêu dày danh định trừ các lớp mạ kẽm hoặc kim loại khác (t_{cor})

1.3.12

Chiều dày thiết kế (design thickness)

Chiều dày thép cơ bản sử dụng trong thiết kế bằng tính toán theo 1.5.3(6) và 3.2.4.

1.4 Ký hiệu

(1) Để bổ sung cho các ký hiệu trong TCVN X1993-1-1, sử dụng các ký hiệu chính sau:

f_y Giới hạn chảy

f_{ya} Giới hạn chảy trung bình

f_{yb} Giới hạn chảy cơ bản

t_{nom} Chiều dày lõi thiết kế của vật liệu thép trước khi tạo hình nguội, trừ lớp phủ kim loại và lớp phủ hữu cơ

Chiều dày danh định của tấm sau khi tạo hình nguội bao gồm lớp phủ mạ kẽm và các kim loại khác, không bao gồm lớp phủ hữu cơ

t_{cor} Chiều dày danh định trừ lớp phủ mạ kẽm và các kim loại khác

K Độ cứng lò xo cho chuyển vị

C Độ cứng lò xo cho góc xoay

(2) Các ký hiệu bổ sung được định nghĩa khi chúng xuất hiện lần đầu.

(3) Ký hiệu có thể có nhiều nghĩa trong tiêu chuẩn này.

1.5 Thuật ngữ và quy ước cho kích thước

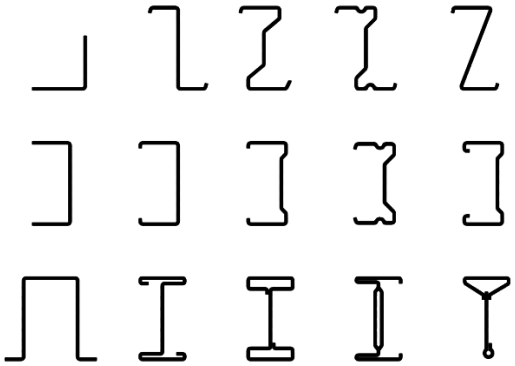
1.5.1 Hình dạng tiết diện

(1) Các cấu kiện và tấm định hình tạo hình nguội có chiều dày danh định không đổi với dung sai cho phép dọc chiều dài và có thể có tiết diện không đổi hoặc thay đổi dọc theo chiều dài.

(2) Tiết diện ngang của cấu kiện và tấm định hình tạo hình nguội được cấu tạo từ một số phần tử phẳng được nối với nhau bằng các phần tử cong.

(3) Các dạng điển hình của các cấu kiện và tấm định hình tạo hình nguội thể hiện trên Hình 1.1.

CHÚ THÍCH: Các phương pháp tính toán ở Phần 1-3 này của TCVN X1993 không bao gồm tất cả các trường hợp được thể hiện trong các hình 1.1-1.2.



a) Tiết diện hở đơn

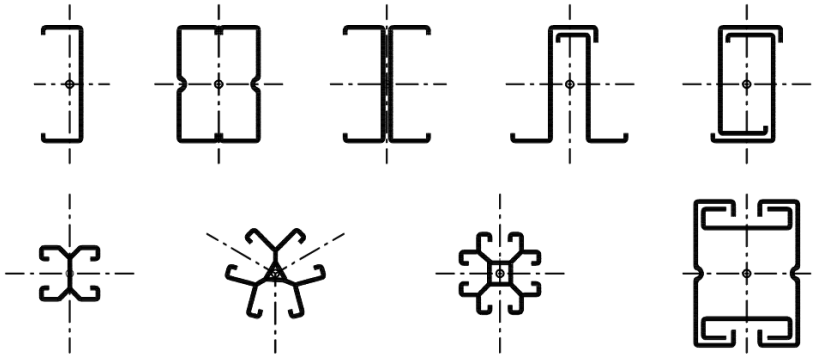
b) Tiết diện tổ hợp hở

c) Tiết diện tổ hợp kín

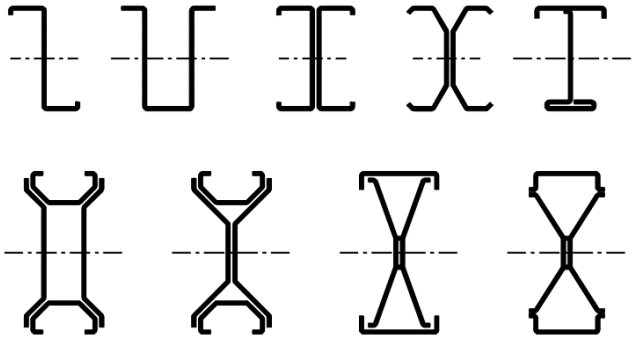
Hình 1.1 – Các dạng tiết diện điển hình của các cấu kiện tạo hình nguội

(4) Các ví dụ về các tiết diện ngang của các cấu kiện và tấm định hình tạo hình nguội được minh họa trên Hình 1.2.

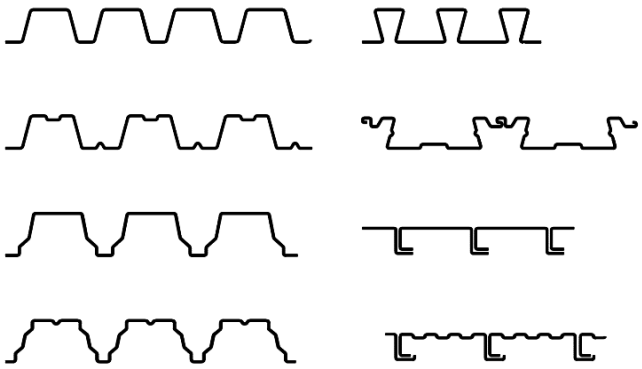
CHÚ THÍCH: Tất cả các quy định trong Phần 1-3 này của TCVN X1993 liên quan đến các thuộc tính của trục chính, được xác định bởi các trục chính y - y và z - z cho các tiết diện đối xứng và các trục u - u và v - v cho các tiết diện không đối xứng, ví dụ: tiết diện góc và chữ Z. Trong một số trường hợp, trục uốn được áp đặt bởi các phần tử kết cấu được liên kết vào cho dù tiết diện có đối xứng hay không.



a) Cấu kiện chịu nén và cấu kiện chịu kéo



b) Dầm và các cấu kiện khác chịu uốn



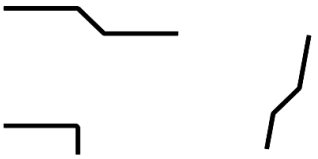
c) Tấm định hình và máng

Hình 1.2 – Các ví dụ cấu khiện và tấm định hình tạo hình nguội

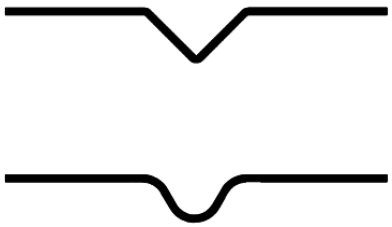
(5) Các tiết diện ngang của các cấu kiện và tấm định hình tạo hình nguội có thể không được tăng cứng hoặc được tăng cứng bằng các sườn cứng dọc trong bản bụng hoặc bản cánh hoặc cả hai.

1.5.2 Dạng sườn cứng

(1) Dạng điển hình của các sườn cứng cho các cấu kiện và tấm định hình tạo hình nguội được trình bày trên Hình 1.3.



a) Gập và uốn



b) Rãnh gấp và rãnh cong

c) Sườn cứng bằng thép góc được liên kết bằng bu lông

Hình 1.3 – Dạng điển hình của sườn cứng cho cấu kiện và tấm tạo hình nguội

(2) Các sườn cứng dọc của bản cánh có thể là sườn cứng mép hoặc sườn cứng trung gian.

(3) Các sườn cứng mép điển hình được minh họa trên Hình 1.4.

a) Sườn cứng mép gập đơn b) Sườn cứng mép gập kép

Hình 1.4 – Các sườn cứng mép điển hình

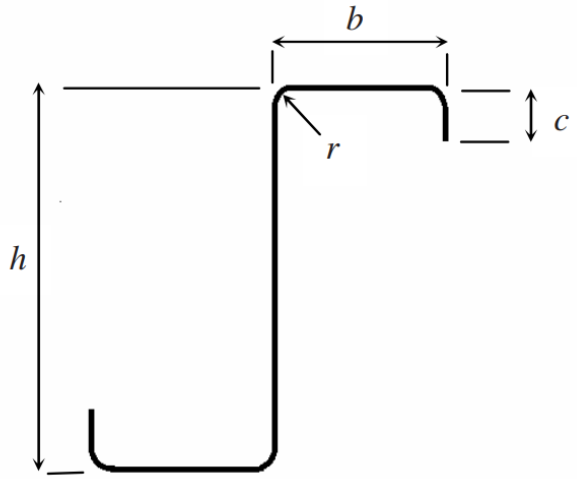
(4) Các sườn cứng dọc trung gian điển hình được minh họa trên HÌnh 1.5.

a) Sườn cứng trung gian của bản cánh b) Sườn cứng trung gian của bản bụng

Hình 1.5 – Các sườn cứng dọc trung gian điển hình

1.5.3 Kích thước tiết diện ngang

(1) Kích thước tổng thể của cấu kiện và tấm tạo hình nguội, bao gồm chiều rộng tổng thể b, chiều cao tổng thể h, bán kính uốn trong r và các kích thước ngoài khác được ký hiệu bằng các chữ cái không có chỉ số dưới, như a, c hoặc d, được đo đến mặt vật liệu nếu không nói ở đâu khác, như minh họa trên Hình 1.6.



Hình 1.6 – Các kích thước của tiết diện ngang điển hình

(2) Nếu không nói ở đâu khác thì kích thước tiết diện ngang của cấu kiện và tấm tạo hình nguội, được ký hiệu bằng các chữ cái với các chỉ số dưới, như b_d , h_w hoặc s_w, được đo hoặc theo đường trung bình của vật liệu hoặc theo điểm giữa của góc uốn.

(3) Trong trường hợp cấu kiện dốc, như bản bụng của tấm định hình tiết diện hình thang, chiều cao nghiêng s được đo song song với độ dốc. Độ dốc là đường thẳng giữa các điểm giao nhau của các bản cánh và bản bụng

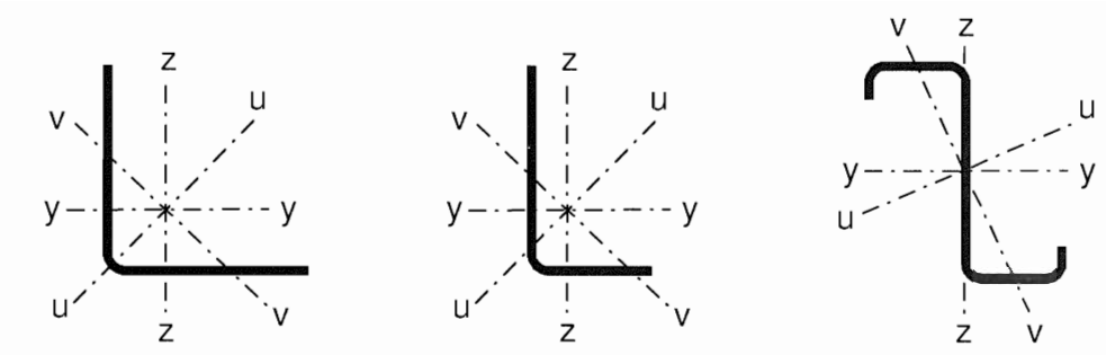
(4) Chiều cao khai triển của bản bụng được đo dọc theo đường trung bình của nó, bao gồm bất kỳ sườn cứng nào.

(5) Chiều rộng khai triển của bản cánh được đo dọc theo đường trung bình của nó, bao gồm bất kỳ sườn cứng trung gian nào.

(6) Chiều dày t là chiều dày thiết kế của thép (chiều dày lõi thép trừ đi dung sai nếu cần quy định trong 3.2.4) nếu không nói ở đâu khác.

1.5.4 Quy tắc cho trục cấu kiện

(1) Nói chung, các quy tắc trục cho cấu kiện được sử dụng như trong Phần 1-1 của TCVN X1993, xem Hình 1.7.



Hình 1.7 – Quy ước trục

(2) Đối với các tấm định hình và máng, sử dụng quy tắc trục như sau:

$y - y$ trục song song với mặt phẳng tấm;

$z - z$ trục vuông góc với mặt phẳng tấm.

2 Cơ sở thiết kế

(1) Thiết kế các cấu kiện và tấm tạo hình nguội cần phù hợp với các quy tắc chung nêu trong TCVN X1990 và TCVN X1993-1-1. Đối với phương pháp chung với các phương pháp phần tử hữu hạn (hoặc phương pháp khác), xem Phụ lục C của TCVN X1993-1-5.

(2)P Các hệ số riêng phù hợp phải được áp dụng cho các trạng thái giới hạn cực hạn và các trạng thái giới hạn sử dụng.

(3)P Để kiểm tra bằng tính toán theo các trạng thái giới hạn cực hạn, hệ số riêng γ_M phải được lấy như sau:

- Khả năng chịu lực của tiết diện ngang để vượt giới hạn chảy bao gồm mất ổn định cục bộ và mất ổn định méo: γ_{M0};
- Khả năng chịu lực của các cấu kiện và tấm khi phá hoại được gây bởi mất ổn định tổng thể: γ_{M1};
- Khả năng chịu lực của tiết diện thực tại lỗ chốt: γ_{M2}.

CHÚ THÍCH: Giá trị bằng số của γ_{Mi} có thể được xác định trong Phụ lục quốc gia. Các giá trị bằng số khuyến nghị sau được khuyến nghị cho nhà:

$\gamma_{M0} = 1,00$;

$\gamma_{M1} = 1,00$;

$\gamma_{M2} = 1,25$.

(4) Đối với các giá trị của γ_M cho khả năng chịu lực của liên kết, xem Mục 8.

(5) Để kiểm tra theo trạng thái giới hạn sử dụng, cần sử dụng hệ số riêng $\gamma_{M,ser}$.

CHÚ THÍCH: Giá trị bằng số của $\gamma_{M,ser}$ có thể được xác định trong Phụ lục quốc gia. Các giá trị bằng số sau đây được khuyến nghị sử dụng cho nhà:

$\gamma_{M,ser} = 1,00$.

(6) Để thiết kế kết cấu làm từ các cấu kiện và tấm tạo hình nguội, cần phân biệt giữa “cấp kết cấu” liên quan đến hậu quả do phá hoại phù hợp với TCVN X1990, Phụ lục B và được quy định dưới đây:

- Cấp kết cấu I: Công trình mà cấu kiện và tấm tạo hình nguội của nó được thiết kế để tham gia vào khả năng chịu lực và sự ổn định tổng thể của kết cấu;
- Cấp kết cấu II: Công trình mà cấu kiện và tấm tạo hình nguội của nó được thiết kế để tham gia vào khả năng chịu lực và sự ổn định của các thành phần kết cấu riêng lẻ;
- Cấp kết cấu III: Công trình mà cấu kiện và tấm tạo hình nguội của nó được dùng chỉ để truyền tải trọng tới kết cấu chịu lực.

CHÚ THÍCH 1: Trong các giai đoạn xây dựng khác nhau có thể xem xét các cấp kết cấu khác nhau.

CHÚ THÍCH 2: Các yêu cầu đối với thi công của tấm xem trong EN 1090.

3 Vật liệu

3.1 Quy định chung

(1) Tất cả thép sử dụng cho các cấu kiện và tấm định hình tạo hình nguội cần thích hợp cho tạo hình nguội và hàn, nếu cần. Thép dùng cho cấu kiện và tấm mạ cũng cần phù hợp cho mạ.

(2) Các giá trị danh định của các đặc trưng vật liệu cho trong Mục này cần được áp dụng cho các giá trị đặc trưng trong tính toán thiết kế.

(3) Phần này của TCVN X1993 bao gồm thiết kế các cấu kiện và tấm định hình tạo hình nguội được chế tạo từ vật liệu thép phù hợp với các mác thép liệt kê trong Bảng 3.1a.

Bảng 3.1a – Giá trị danh định của giới hạn chảy cơ bản f_{yb} và giới hạn bền kéo f_u

Loại thép	Tiêu chuẩn	Cấp	f_{yb} N/mm^2	f_u N/mm^2
Sản phẩm cán nóng của thép kết cấu không hợp kim. Phần 2: Điều kiện kỹ thuật cho cung cấp đối với thép kết cấu không hợp kim	EN 10025: Phần 2	S 235	235	360
		S 275	275	430
		S 355	355	510
Sản phẩm cán nóng của thép kết cấu. Phần 3: Điều kiện kỹ thuật cho cung cấp đối với thép kết cấu thường hóa/cán thường hóa hạt mịn có thể hàn	EN 10025: Phần 3	S 275 N	275	370
		S 355 N	355	470
		S 420 N	420	520
		S 460 N	460	550
		S 275 NL	275	370
		S 355 NL	355	470
		S 420 NL	420	520
		S 460 NL	460	550
Sản phẩm cán nóng của thép kết cấu. Phần 4: Điều kiện kỹ thuật cho cung cấp đối với thép kết cấu cán cơ nhiệt hạt mịn có thể hàn	EN 10025: Phần 4	S 275 M	275	360
		S 355 M	355	450
		S 420 M	420	500
		S 460 M	460	530
		S 275 ML	275	360
		S 355 ML	355	450
		S 420 ML	420	500
		S 460 ML	460	530

CHÚ THÍCH 1: Đối với dải thép dày dưới 3 mm theo EN 10025, nếu chiều rộng của dải gốc lớn hơn hoặc bằng 600 mm, các giá trị đặc trưng có thể được lấy trong Phụ lục Quốc gia. Các giá trị bằng 0,9 lần giá trị cho trong Bảng 3.1a được khuyến nghị.

CHÚ THÍCH 2: Đối với các vật liệu và sản phẩm thép khác, xem Phụ lục Quốc gia. Ví dụ về các mác thép có thể phù hợp với các yêu cầu của tiêu chuẩn này được nêu trong Bảng 3.1b.

Bảng 3.1b: Giá trị danh định của giới hạn chảy cơ bản f_{yb} và giới hạn bền kéo cực hạn f_u

Loại thép	Tiêu chuẩn	Cấp	f_{yb} N/mm^2	f_u N/mm^2
Thép tấm cán nguội có chất lượng kết cấu	ISO 4997	CR 220	220	300
		CR 250	250	330
		CR 320	320	400
Thép tấm cacbon mạ kẽm nhúng nóng liên tục có chất lượng kết cấu	EN 10326	S220GD+Z	220	300
		S250GD+Z	250	330
		S280GD+Z	280	360
		S320GD+Z	320	390
		S350GD+Z	350	420
Các sản phẩm phẳng cán nóng làm từ thép giới hạn chảy cao cho tạo hình nguội. Phần 2: Điều kiện kỹ thuật cho cung cấp đối với thép cán cơ nhiệt	EN 10149: Phần 2	S 315 MC	315	390
		S 355 MC	355	430
		S 420 MC	420	480
		S 460 MC	460	520
		S 500 MC	500	550
		S 550 MC	550	600
		S 600 MC	600	650
		S 650 MC	650	700
		S 700 MC	700	750
Các sản phẩm phẳng cán nóng làm từ thép giới hạn chảy cao cho tạo hình nguội. Phần 3: Điều kiện kỹ thuật cho cung cấp đối với thép thường hóa / cán thường hóa;	EN 10149: Phần 3	S 260 NC	260	370
		S 315 NC	315	430
		S 355 NC	355	470
		S 420 NC	420	530
Các sản phẩm phẳng cán nguội làm từ thép hợp kim mịn giới hạn chảy cao dùng cho tạo hình nguội	EN 10268	H240LA	240	340
		H280LA	280	370
		H320LA	320	400
		H360LA	360	430
		H400LA	400	460
Dải và tấm mạ nhúng nóng liên tục của thép với giới hạn chảy cao cho tạo hình nguội	EN 10292	H260LAD	240 2)	340 2)
		H300LAD	280 2)	370 2)
		H340LAD	320 2)	400 2)
		H380LAD	360 2)	430 2)
		H420LAD	400 2)	460 2)
Dải và tấm mạ kẽm-nhôm nhúng nóng liên tục của thép kết cấu	EN 10326	S220GD+ZA	220	300
		S250GD+ZA	250	330
		S280GD+ZA	280	360
		S320GD+ZA	320	390
		S350GD+ZA	350	420
Dải và tấm mạ kẽm-nhôm nhúng nóng liên tục của thép kết cấu	EN 10326	S220GD+AZ	220	300
		S250GD+AZ	250	330
		S280GD+AZ	280	360
		S320GD+AZ	320	390
		S350GD+AZ	350	420

Dải và tấm mạ kẽm nhúng nóng liên tục của thép các bon thấp cho tạo hình nguội	EN 10327	DX51D+Z DX52D+Z DX53D+Z	140 1) 140 1) 140 1)	270 1) 270 1) 270 1)

1) Các giá trị tối thiểu của giới hạn chảy và giới hạn bền kéo không được đưa ra trong tiêu chuẩn này. Đối với tất cả các mác thép, có thể giả thiết giá trị tối thiểu là 140 N/mm^2 đối với giới hạn chảy và 270 N/mm^2 đối với giới hạn bền kéo.

2) Các giá trị giới hạn chảy đưa ra trong tên của vật liệu tương ứng với lực kéo ngang. Các giá trị của lực kéo dọc được cho trong bảng.

3.2 Thép kết cấu

3.2.1 Các tính chất vật liệu của vật liệu cơ bản

(1) Các giá trị danh định của giới hạn chảy f_{yb} hoặc giới hạn bền kéo f_u cần được lấy như sau:

a) Hoặc là chấp nhận giá trị $f_y = R_{eh}$ hoặc $R_{p0,2}$ và $f_u = R_m$ trực tiếp từ tiêu chuẩn sản phẩm, hoặc

b) Sử dụng các giá trị nêu trong Bảng 3.1a và b

c) Từ các thí nghiệm phù hợp.

(2) Khi các giá trị đặc trưng được xác định từ thí nghiệm, các thí nghiệm như vậy cần được thực hiện phù hợp với EN 10002-1. Số lượng mẫu thử lấy ít nhất bằng 5 và cần được lấy từ cùng một lô theo cách sau:

1. Cuộn: a. Từ lô của một sản phẩm (một lô tấm luyện kim) ít nhất một mẫu thử cho một cuộn trong số 30 % số lượng cuộn;

b. Đối với lô từ các sản phẩm khác nhau ít nhất một mẫu thử cho một cuộn;

2. Dải: ít nhất một mẫu cho 2000 kg từ một sản phẩm.

Các mẫu thử cần được lấy ngẫu nhiên từ lô liên quan của thép và theo hướng chiều dài cấu kiện. Các giá trị đặc trưng cần được xác định trên cơ sở đánh giá thống kê phù hợp với Phụ lục D của TCVN X1990.

(3) Có thể giả thiết là các đặc trưng của thép khi chịu nén và khi chịu kéo như nhau.

(4) Các yêu cầu về độ bền lâu cần phù hợp với 3.2.2 của TCVN X1993-1-1.

(5) Các giá trị thiết kế của các hệ số vật liệu cần được lấy như trong 3.2.6 của TCVN X1993-1-1.

(6) Các đặc trưng vật liệu ở nhiệt độ cao được nêu trong TCVN X1993-1-2.

3.2.2 Các tính chất vật liệu của các tiết diện và tấm tạo hình nguội

(1) Trong trường hợp giới hạn chảy được chỉ định bằng cách sử dụng ký hiệu f_y, có thể sử dụng giới hạn chảy trung bình f_{ya} nếu áp dụng điều (4) đến (8). Trong các trường hợp khác, cần sử dụng

giới hạn chảy cơ bản f_{yb}. Khi giới hạn chảy được chỉ định bằng cách sử dụng ký hiệu f_{yb} thì cần sử dụng giới hạn chảy cơ bản f_{yb}.

(2) Giới hạn chảy trung bình f_{ya} của tiết diện ngang do gia công nguội có thể được xác định từ các kết quả thí nghiệm nguyên mẫu.

(3) Một cách khác, giới hạn chảy trung bình nâng cao f_{ya} có thể được xác định bằng:

$$f_{ya} = f_{yb} + (f_u - f_{yb})\frac{knt^2}{A_g} \text{ nhưng } f_{ya} \le \frac{(f_u + f_{yb})}{2} \tag{3.1}$$

trong đó:

A_g là diện tích tiết diện ngang nguyên;

k là hệ số bằng số phụ thuộc vào các loại tạo hình như sau:

k = 7 cho cán;

k = 5 cho các phương pháp tạo hình khác;

n là số lần uốn 90° trong tiết diện ngang với bán kính trong $r \le 5t$ (một phần uốn 90° cần được tính như số *n*);

t là chiều dày cơ sở của vật liệu thép trước khi tạo hình nguội, từ kim loại và lớp phủ hữu cơ, xem 3.2.4.

(4) Giới hạn chảy nâng cao do tạo hình nguội có thể được lấy như sau:

- Các cấu kiện chịu lực dọc mà trong đó diện tích tiết diện ngang hiệu dụng A_{eff} bằng diện tích tiết diện ngang nguyên A_g;
- Khi xác định A_{eff} giới hạn chảy f_y cần lấy bằng f_{yb}.

(5) Giới hạn chảy trung bình f_{ya} có thể được sử dụng khi xác định:

- Khả năng chịu lực của tiết diện ngang của cấu kiện chịu kéo dọc trục;
- Khả năng chịu lực của tiết diện ngang và khả năng chống mất ổn định của cấu kiện chịu nén dọc trục với toàn bộ tiết diện ngang hiệu dụng;
- Khả năng chịu uốn của tiết diện ngang với toàn bộ tiết diện cánh là hiệu dụng.

(6) Để xác định khả năng chịu uốn của tiết diện ngang với toàn bộ cánh hiệu dụng, tiết diện ngang có thể được chia thành *m* phần tử phẳng danh định, như các bản cánh. Biểu thức (3.1) có thể sau đó được sử dụng để xác định các giá trị của giới hạn chảy nâng cao $f_{y,i}$ riêng biệt cho từng phần tử phẳng danh định thứ *i*, nếu:

$$\frac{\sum_{i=1}^{m} A_{g,i} f_{y,i}}{\sum_{i=1}^{m} A_{g,i}} \le f_{ya} \qquad (3.2)$$

trong đó:

$A_{g,i}$ là diện tích tiết diện ngang nguyên của phần tử phẳng danh định *i*,

và khi xác định giới hạn chảy nâng cao $f_{y,i}$ sử dụng biểu thức (3.1) sự uốn trên cạnh của phần tử phẳng danh định cần được tính với một nửa góc của diện tích thành phần $A_{g,i}$.

(7) Sự tăng về giới hạn chảy do tạo hình nguội không được sử dùng cho các cấu kiện qua xử lý nhiệt sau khi tạo hình ở nhiệt độ lớn hơn 580 °C trong vòng hơn một giờ.

CHÚ THÍCH: Để có thêm thông tin, xem EN 1090-2.

(8) Cần lưu ý đặc biệt về thực tế là một số xử lý nhiệt (đặc biệt là ủ) có thể gây ra giới hạn chảy giảm thấp hơn giới hạn chảy cơ bản f_{yb}.

CHÚ THÍCH: Đối với hàn trong các diện tích tạo hình nguội, cũng xem thêm TCVN X1993-1-8.

3.2.3 Độ dai kháng nứt

(1) Xem TCVN X1993-1-1 và TCVN X1993-1-10.

3.2.4 Chiều dày và dung sai chiều dày

(1) Các điều khoản về thiết kế bằng tính toán nêu trong Phần 1-3 của TCVN X1993 có thể được sử dụng cho thép trong phạm vi miền chiều dày lõi t_{cor} đã cho.

CHÚ THÍCH: Miền chiều dày t_{cor} cho tấm và cấu kiện có thể đưa ra trong Phụ lục quốc gia. Các giá trị khuyến nghị như sau:

- Tấm và cấu kiện: $0,45 \text{ mm} \le t_{cor} \le 15 \text{ mm}$
- Đối với liên kết: $0,45 \text{ mm} \le t_{cor} \le 4 \text{ mm}$, xem 8.1 (2).

(2) Vật liệu dày hơn hoặc mỏng hơn cũng có thể được sử dụng nếu khả năng chịu lực được thiết kế với sự hỗ trợ của thí nghiệm.

(3) Chiều dày thép cơ bản t_{cor} cần được sử dụng như chiều dày thiết kế, khi:

$$t = t_{cor} \quad \text{nếu} \quad tol \le 5\% \qquad (3.3.a)$$

$$t = t_{cor} \frac{100 - tol}{95} \text{ nếu } tol > 5\% \qquad (3.3.b)$$

với:

$$t_{cor} = t_{nom} - t_{metallic\ coatings} \quad (3.3.c)$$

trong đó *tol* là dung sai âm tính bằng %.

CHÚ THÍCH: Đối với thép mạ kẽm thông dụng Z275, $t_{zinc} = 0,04$ mm .

(4) Đối với các cấu kiện và tấm mạ kim loại nhúng nóng liên tục được cung cấp bằng dung sai âm nhỏ hơn hoặc bằng "dung sai đặc biệt (*S*)" nêu trong EN 10143, chiều dày thiết kế theo (3.3a) có thể được sử dụng. Nếu dung sai âm vượt quá dung sai đặc biệt (*S*), nêu trong EN 10143, chiều dày thiết kế có thể lấy theo (3.3b).

(5) t_{nom} là chiều dày thép danh định sau khi tạo hình nguội. Có thể lấy bằng giá trị t_{nom} của tấm nguyên gốc, nếu diện tích tiết diện ngang tính được trước và sau tạo hình nguội không khác hơn 2%; nếu không thì kích thước danh định cần thay đổi.

3.3 Các loại liên kết

3.3.1 Liên kết bu lông

(1) Bu lông, đai ốc và vòng đệm cần phù hợp với các yêu cầu nêu trong TCVN X1993-1-8.

3.3.2 Các loại chốt liên kết cơ khí khác

(1) Các loại chốt liên kết cơ khí khác như:

- Các loại vít tự cắt như vít tự cắt tạo ren, vít tự cắt cắt ren hoặc vít tự cắt tự khoan,
- Chốt đạn,
- Đinh tán chìm,

có thể được sử dụng khi chúng phù với các yêu cầu kỹ thuật của châu Âu về sản phẩm.

(2) Khả năng chịu cắt đặc trưng $F_{v,Rk}$ và khả năng chịu kéo đặc trưng tối thiểu $F_{t,Rk}$ của chốt cơ khí có thể lấy từ tiêu chuẩn sản phẩm châu Âu hoặc ETAG hoặc ETA.

3.3.3 Vật liệu hàn

(1) Vật liệu hàn cần phù hợp với các yêu cầu nêu trong TCVN X1993-1-8.

4 Độ bền lâu

(1) Đối với các yêu cầu cơ bản, xem chương 4 của TCVN X1993-1-1.

CHÚ THÍCH: EN 1090-2, 9.3.1 liệt kê các hệ số ảnh hưởng tới thi công cần quy định khi thiết kế.

(2) Cần chú ý đặc biệt đến các trường hợp dự định sử dụng các vật liệu khác nhau cho ứng xử liên hợp, nếu trong trường hợp các vật liệu này có nguy cơ xảy ra hiện tượng điện hóa tạo ra các điều kiện dẫn đến ăn mòn.

CHÚ THÍCH 1: Đối với độ bền ăn mòn của chốt cho các loại môi trường theo EN-ISO 12944-2, xem Phụ lục B.

CHÚ THÍCH 2: Đối với các sản phẩm mái, xem EN 508-1.

CHÚ THÍCH 3: Đối với các sản phẩm khác, xem Phần 1-1 của TCVN X1993.

CHÚ THÍCH 4: Đối với các chốt mạ kẽm nhúng nóng, xem EN ISO 10684.

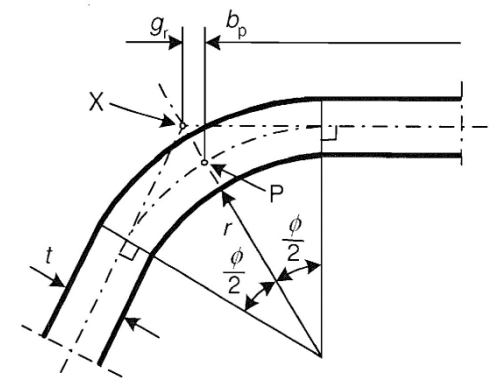
5 Phân tích kết cấu

5.1 Ảnh hưởng của góc uốn

(1) Trong tiết diện ngang có góc uốn, chiều rộng phần tử phẳng quy ước b_p của phần tử phẳng cần được đo từ điểm giữa của phần tử góc liền kề như minh họa trên Hình 5.1.

(2) Trong tiết diện ngang có góc uốn, việc tính toán các đặc trưng tiết diện cần được dựa trên hình học danh định của tiết diện ngang.

(3) Nếu không sử dụng các phương pháp thích hợp hơn để xác định các đặc trưng tiết diện, thì có thể sử dụng quy trình gần đúng sau đây. Ảnh hưởng của góc uốn lên khả năng chịu lực của tiết diện ngang có thể bỏ qua nếu bán kính trong $r \le 5t$ và $r \le 0{,}10b_p$ và tiết diện ngang có thể được giả thiết gồm các phần tử phẳng với các góc nhọn (theo Hình 5.2, chú thích b_p cho tất cả các phần tử phẳng, bao gồm cả các phần tử phẳng chịu kéo). Đối với các đặc trưng độ cứng của tiết diện ngang, ảnh hưởng của góc uốn luôn cần được kể đến.



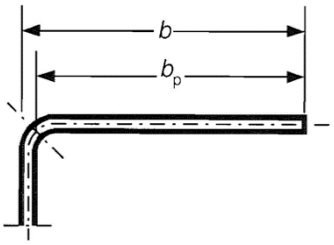
a) điểm giữa của góc hoặc uốn

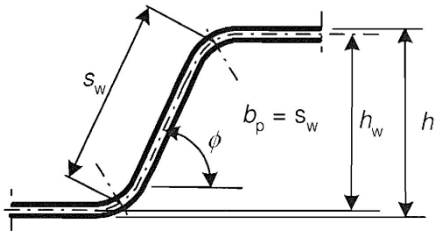
X là điểm giao của các đường trung bình

P là điểm giữa của góc

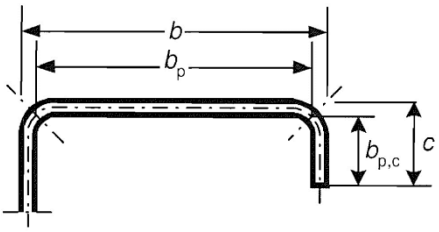
$r_m = r + t / 2$

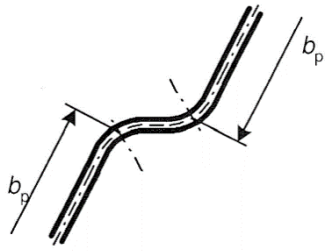
$$g_r = r_m \left(\tan\left(\frac{\phi}{2}\right) - \sin\left(\frac{\phi}{2}\right) \right)$$



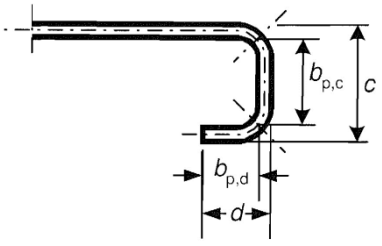


(c) chiều rộng phẳng quy ước b_p cho bản bụng (b_p = chiều cao nghiêng s_w)

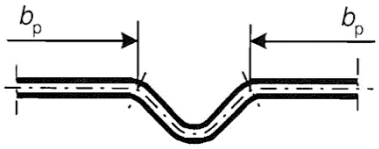




(d) chiều rộng phẳng quy ước b_p của phẳn phẳng liền kề với sườn cứng của bản bụng



(b) chiều rộng phẳng quy ước b_p của phần tử phẳng của bản cánh



(e) chiều rộng phẳng quy ước b_p của phẳn phẳng liền kề với sườn cứng của bản cánh

Hình 5.1 – Chiều rộng quy ước của phần tiết diện ngang phẳng b_p kể đến bán kính góc uốn

(4) Ảnh hưởng của góc uốn lên các đặc trưng của tiết diện có thể được kể đến bằng cách giảm giá trị các đặc trưng tính được tính toán cho tiết diện ngang khác có góc uốn nhọn, xem Hình 5.2, sử dụng các biểu thức gần đúng sau:

$$A_g \approx A_{g,sh}(1-\delta) \tag{5.1.a}$$

$$I_g \approx I_{g,sh}(1-2\delta) \tag{5.1.b}$$

$$I_w \approx I_{w,sh}(1-4\delta) \tag{5.1.c}$$

với:

$$\delta = 0,43\frac{\sum_{j=1}^{n} r_j \frac{\phi_j}{90°}}{\sum_{i=1}^{m} b_{p,i}} \tag{5.1.d}$$

trong đó:

A_g là diện tích tiết diện ngang nguyên;

$A_{g,sh}$ là giá trị A_g của tiết diện ngang có các góc uốn nhọn;

$b_{p,i}$ là chiều rộng phần tử phẳng quy ước của phần tử phẳng thứ *i* đối với tiết diện ngang có các góc uốn nhọn;

I_g là mô men quán tính của diện tích tiết diện ngang nguyên;

$I_{g,sh}$ là giá trị của I_g đối với tiết diện ngang có các góc uốn nhọn;

I_w là hằng số vênh của tiết diện ngang nguyên;

$I_{w,sh}$ là giá trị của I_w đối với tiết diện ngang có các góc uốn nhọn;

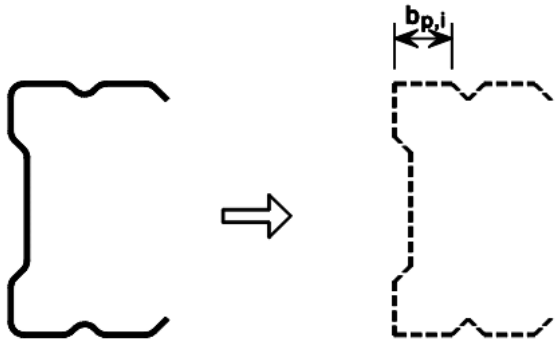
ϕ là góc giữa hai phần tử phẳng;

m là số phần tử phẳng;

n là số phần tử cong;

r_j là bán kính trong của phần tử cong thứ *j*.

(5) Các giá trị giảm đã được xác định theo các công thức (5.1a) đến (5.1d) cũng có thể sử dụng để tính các đặc trưng hiệu dụng của tiết diện ngang A_{eff}, $I_{y,eff}$, $I_{z,eff}$, $I_{w,eff}$ với điều kiện là các chiều rộng phẳng quy ước của các phần tử phẳng được đo từ các điểm giao nhau của các đường trung bình của chúng.



Tiết diện ngang thực Tiết diện ngang lý tưởng

Hình 5.2 – Các dung sai gần đúng cho các góc uốn

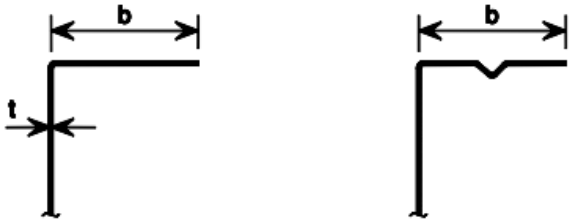
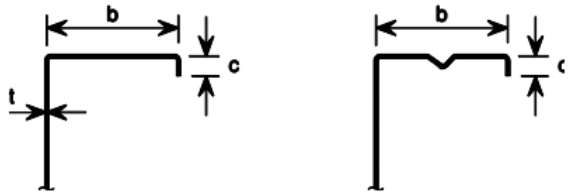
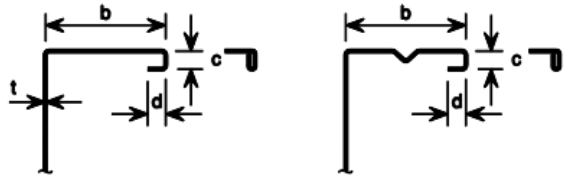
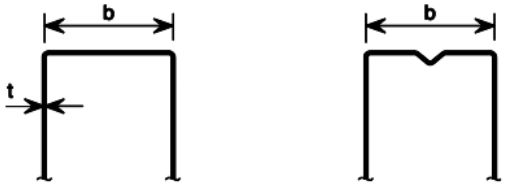
(6) Khi bán kính trong $r > 0{,}04tE/f_y$ thì khả năng chịu lực của tiết diện ngang cần được xác định bằng thực nghiệm.

5.2 Các tỉ lệ hình học

(1) Các điều khoản cho thiết kế bằng tính toán nêu trong Phần 1-3 này của TCVN X1993 không được áp dụng cho tiết diện ngang có các tỉ số chiều rộng trên chiều dày b/t, h/t, c/t và d/t nằm ngoài phạm vi nêu trong Bảng 5.1.

CHÚ THÍCH: Các giới hạn b/t, h/t, c/t và d/t nêu trong Bảng 5.1 có thể được giả thiết là đại diện cho miền giá trị khi có đủ kinh nghiệm và kiểm tra bằng thử nghiệm. Tiết diện ngang với các tỉ số chiều rộng trên chiều dày lớn hơn cũng có thể được sử dụng nếu khả năng chịu lực của chúng ở trạng thái giới hạn cực hạn và ứng xử của chúng ở trạng thái giới hạn sử dụng được kiểm tra bằng thí nghiệm và/hoặc tính toán, khi các kết quả được chứng minh bằng một số lượng thí nghiệm phù hợp.

Bảng 5.1 – Các tỉ số chiều rộng trên chiều dày lớn nhất

Các phần tử của tiết diện ngang	Giá trị lớn nhất
	$b / t \le 50$
	$b/t \le 60$ $c/t \le 50$
	$b/t \le 90$ $c/t \le 60$ $d/t \le 50$
	$b/t \le 500$
	$45° \le \phi \le 90°$ $h/t \le 500 \sin\phi$

(2) Để đảm bảo đủ độ cứng và tránh mất ổn định chính yếu của bản thân sườn cứng, các kích cỡ của các sườn cứng cần nằm trong miền sau đây:

$$0,2 \le c/b \le 0,6 \qquad (5.2.a)$$

$$0,1 \le d/b \le 0,3 \qquad (5.2.b)$$

trong đó các kích thước *b*, *c*, và *d* được nêu trong Bảng 5.1. Nếu $c/b < 0,2$ hoặc $d/b < 0,1$ thì mép gập cần được bỏ qua (*c* = 0 hoặc *d* = 0).

CHÚ THÍCH 1: Khi các đặc trưng của tiết diện ngang hiệu dụng được xác định bằng thử nghiệm và bằng tính toán, thì các giới hạn này không áp dụng.

CHÚ THÍCH 2: Kích thước mép gập c được đo vuông góc với bản cánh ngay cả khi mép gập không nằm vuông góc với bản cánh.

CHÚ THÍCH 3: Đối với các phương pháp phần tử hữu hạn, xem Phụ lục C của TCVN X1993-1-5.

5.3 Mô hình kết cấu cho phân tích

(1) Nếu không sử dụng các mô hình thích hợp hơn theo TCVN X1993-1-5, thì các phần tử của tiết diện ngang có thể được mô hình hóa như trong Bảng 5.2.

(2) Ảnh hưởng lẫn nhau của nhiều sườn cứng cần được kể đến.

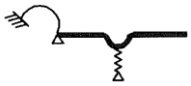
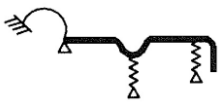
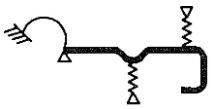
(3) Khiếm khuyết (sai lệch, không hoàn hảo) liên quan đến mất ổn định dạng uốn và mất ổn định dạng uốn xoắn cần được lấy theo Bảng 5.1 của TCVN X1993-1-1.

CHÚ THÍCH: Xem thêm mục 5.3.4 của TCVN X1993-1-1.

(4) Đối với các độ khiếm khuyết liên quan đến mất ổn định dạng xoắn ngang, độ khiếm khuyết vồng ban đầu e_0 của trục yếu của tiết diện định hình có thể được giả thiết không kể đến xoắn vặn ban đầu tại cùng một thời điểm.

CHÚ THÍCH: Độ lớn của độ khiếm khuyết có thể được lấy trong Phụ lục quốc gia. Giá trị $e_0 / L = 1/600$ cho phân tích đàn hồi và $e_0 / L = 1/500$ cho phân tích dẻo được khuyến nghị cho các tiết diện dành cho sử dụng các đường cong mất ổn định LTB *a* lấy từ 6.3.2.2 của TCVN X1993-1-1.

Bảng 5.2 – Mô hình hóa các phần tử của tiết diện ngang

Loại phần tử	Mô hình	Loại phần tử	Mô hình
			
			
			

5.4 Độ cong của bản cánh

(1) Ảnh hưởng của độ cong (Hình 5.3) của bản cánh rất rộng (nghĩa là độ cong hướng vào trong mặt phẳng trung hòa) khi uốn hoặc của một bản cánh của tiết diện định hình cong chịu uốn, mà trong đó mặt lõm chịu nén, lên khả năng chịu lực, không cần kể đến nếu độ cong chỉ bằng 5 % chiều cao tiết diện định hình. Nếu nó lớn hơn, thì cần kể đến sự suy giảm khả năng chịu lực, ví dụ, do giảm chiều dài cánh tay đòn đối với bản cánh rộng, và do ảnh hưởng có thể có của uốn bản bụng.

CHÚ THÍCH: Đối với máng thì ảnh ưởng này được nêu trong 10.2.2.2.

(2) Tính toán độ cong có thể được thực hiện theo các công thức (5.3a), (5.3b). Các công thức này áp dụng cho cả các bản cảnh chịu nén và chịu kéo, có hoặc không có các sườn cứng, nhưng không có các sườn cứng ngang bố trị gần nhau ở cánh. Đối với tiết diện định hình có dạng thẳng trước khi tải trọng tác dụng, xem Hình 5.3.

$$u = 2\frac{\sigma_a^2}{E^2}\frac{b_s^4}{t^2 z} \tag{5.3.a}$$

Đối với dầm cong:

$$u = 2\frac{\sigma_a}{E}\frac{b_s^4}{t^2 r} \tag{5.3.b}$$

trong đó:

u là biến dạng uốn của bản cánh hướng vào trục trung hòa, xem Hình 5.3;

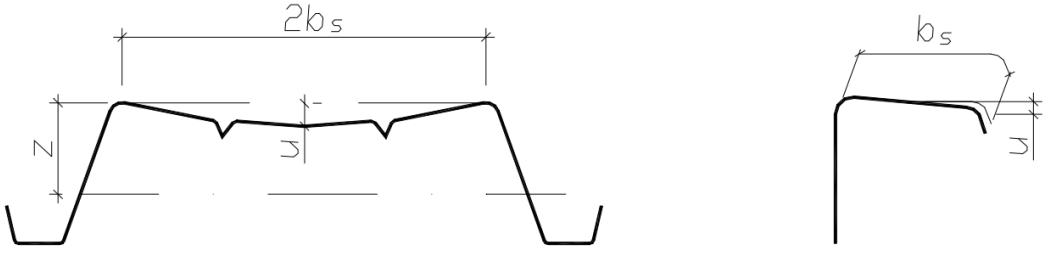
b_s là một nửa khoảng cách giữa các bản bụng của tiết diện hộp và tiết diện dạng mũ, hoặc chiều rộng của phần bản cánh chiếu lên bản bụng, xem Hình 5.3;

t là chiều dày bản cánh;

z là khoảng cách của bản cánh đang xét từ trục trung hòa;

r là bản kính cong của dầm cong;

σ_a là ứng suất trung bình trong các bản cánh được tính theo tiết diện nguyên. Nếu ứng suất được tính theo tiết diện ngang hiệu dụng thì ứng suất trung bình được xác định bằng cách nhân ứng suất tính được theo tiết diện ngang hiệu dụng với tỉ số diện tích bản cánh hiệu dụng và diện tích tiết diện nguyên của bản cánh.



Hình 5.3 – Độ cong của bản cánh

5.5 Mất ổn định cục bộ và mất ổn định méo

5.5.1 Quy định chung

(1) Ảnh hưởng của mất ổn định cục bộ và mất ổn định méo cần được kể đến khi xác định khả năng chịu lực và độ cứng của các cấu kiện và tấm định hình tạo hình nguội.

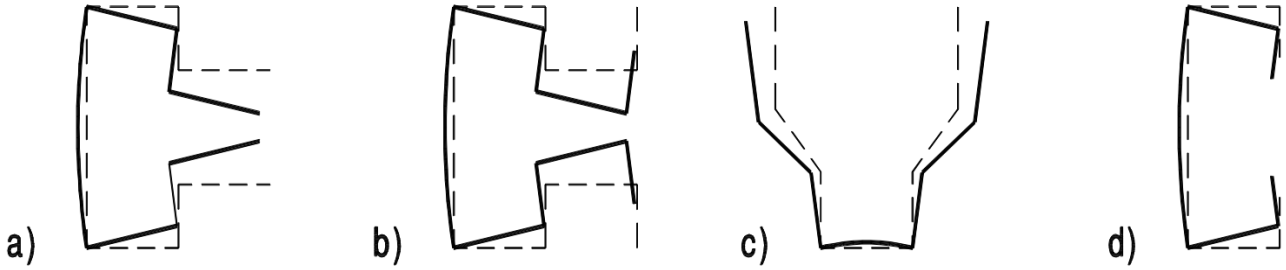
(2) Ảnh hưởng mất ổn định cục bộ có thể kể đến bằng cách sử dụng các đặc trưng tiết diện ngang hiệu dụng tính được trên cơ sở chiều rộng hiệu dụng, xem TCVN X1993-1-5.

(3) Khi xác định khả năng chống mất ổn định cục bộ, giới hạn chảy f_y lấy bằng f_{yb} khi tính toán chiều rộng hiệu dụng của cấu kiện chịu nén trong TCVN X1993-1-5.

CHÚ THÍCH: Đối với khả năng chịu lực, xem 6.1.3 (1)

(4) Để kiểm tra theo trạng thái giới hạn sử dụng, chiều rộng hiệu dụng của cấu kiện chịu nén cần được tính dựa trên ứng suất nén $\sigma_{com,Ed,ser}$ trong cấu kiện dưới tác dụng của tải trọng ở trạng thái giới hạn sử dụng.

(5) Mất ổn định cục bộ của các cấu kiện có các sườn cứng ở mép hoặc sườn cứng trung gian như minh họa trên Hình 5.4(d) được xem xét trong 5.5.3.



Hình 5.4 – Các ví dụ về các dạng mất ổn định méo

(6) Ảnh hưởng của mất ổn định méo cần được kể đến trong các trường hợp như minh họa trên Hình 5.4a), b) và c). Trong các trường hợp này, ảnh hưởng của mất ổn định méo cần được xác định bằng phương pháp phân tích mất ổn định tuyến tính (xem 5.5.1(7)) hoặc phi tuyến (xem TCVN X1993-1-5) bằng các phương pháp số hoặc thí nghiệm cột ngắn.

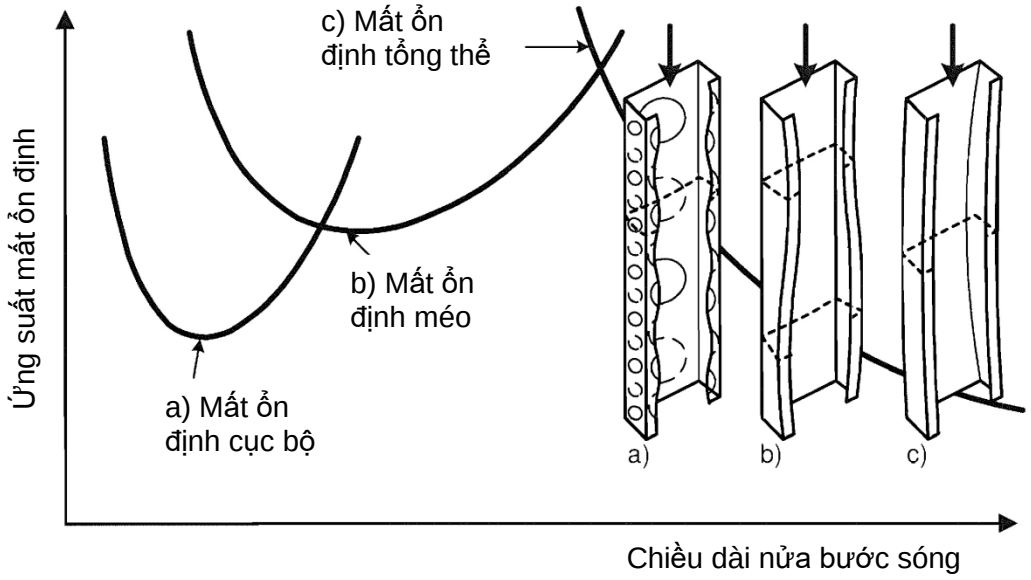
(7) Nếu không sử dụng quy trình đơn giản trong 5.5.3 và khi ứng suất mất ổn định đàn hồi được xác định từ phân tích mất ổn định tuyến tính, có thể áp dụng quy trình sau:

1) Cho chiều dài bước sóng tới chiều dài danh định của cấu kiện, tính ứng suất mất ổn định đàn hồi và nhận biết các dạng mất ổn định tương ứng, xem Hình 5.5a.

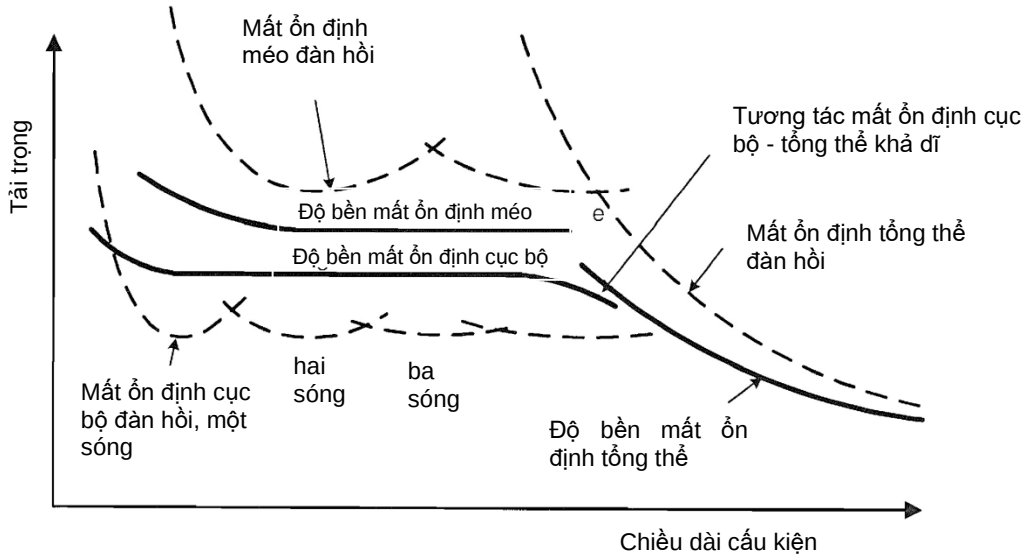
2) Tính chiều rộng hiệu dụng theo 5.5.2 cho phần tiết diện ngang bị mất ổn định cục bộ dựa trên ứng suất mất ổn định cục bộ tối thiểu, xem Hình 5.5b.

3) Tính chiều dày suy giảm (xem 5.5.3.1(7)) của các sườn cứng mép và sườn cứng trung gian hoặc phần tiết diện ngang khác bị mất ổn định méo dựa trên ứng suất mất ổn định méo tối thiểu, xem Hình 5.5b.

4) Tính khả năng chống mất ổn định tổng thể theo 6.2 (mất ổn định dạng uốn, dạng xoắn hoặc dạng xoắn - ngang phụ thuộc vào dạng mất ổn định) cho chiều dài cấu kiện danh định và dựa trên tiết diện ngang hiệu dụng từ 2) và 3).



Hình 5.5a – Các ví dụ về ứng suất tới hạn đàn hồi đối với các dạng mất ổn định khác nhau như là hàm của chiều dài nửa bước sóng và các ví dụ về các dạng mất ổn định



Hình 5.5b – Các ví dụ về tải trọng mất ổn định đàn hồi và khả năng chống mất ổn định như là hàm của chiều dài cấu kiện

5.5.2 Cấu kiện phẳng không có sườn cứng

(1) Chiều rộng hiệu dụng của cấu kiện không được tăng cứng cần được xác định theo TCVN X1993-1-5 sử dụng chiều rộng phần tử phẳng quy ước b_p cho $\bar{b}$ bằng cách xác định các hệ số giảm cho mất ổn định bản dựa trên độ mảnh bản $\bar{\lambda}_p$.

(2) Chiều rộng phần tử phẳng quy ước b_p của phần tử phẳng cần được xác định như minh họa trên Hình 5.1 của 5.1.4. Trong trường hợp của phần tử phẳng trong bản bụng nghiêng, cần sử dụng chiều cao nghiêng tương ứng.

CHÚ THÍCH: Đối với phần vươn của cánh, một phương pháp thay thế tính chiều rộng hiệu dụng được nêu trong Phụ lục D.

(3) Khi áp dụng phương pháp trong TCVN X1993-1-5, có thể sử dụng quy trình sau đây:

- Tỉ số ứng suất ψ, từ Bảng 4.1 và 4.2 của TCVN X1993-1-5, sử dụng để xác định chiều rộng hiệu dụng của bản cánh của tiết diện chịu gradient ứng suất, có thể dựa trên các đặc trưng của tiết diện nguyên.
- Tỉ số ứng suất ψ, từ Bảng 4.1 và 4.2 của TCVN X1993-1-5, sử dụng để xác định chiều rộng hiệu dụng của bản bụng có thể được xác định bằng cách sử dụng diện tích hiệu dụng của bản cánh chịu nén và diện tích tiết diện nguyên của bản bụng.
- Các đặc trưng của tiết diện hiệu dụng có thể được chính xác lại bằng cách sử dụng tỉ số ứng suất ψ dựa trên tiết diện ngang hiệu dụng đã tìm được thay cho tiết diện ngang nguyên. Ít nhất có hai bước tối thiểu trong quá trình tính lặp với gradient ứng suất.
- Có thể sử dụng phương pháp đơn giản nêu trong 5.5.3.4 trong trường hợp các bản bụng có dạng tấm tiết diện hình thang chịu gradient ứng suất.

5.5.3 Cấu kiện phẳng có sườn cứng mép hoặc trung gian

5.5.3.1 Quy định chung

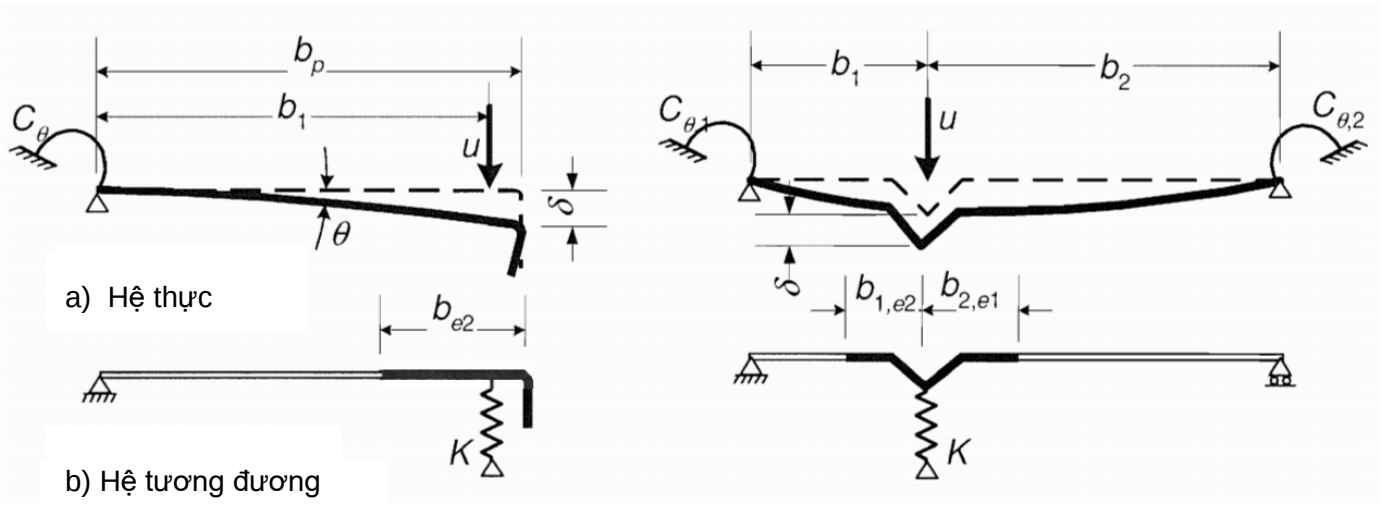
(1) Thiết kế các cấu kiện chịu nén có các sườn cứng mép hoặc sườn cứng trung gian cần được dựa trên giả thiết là sườn cứng ứng xử như cấu kiện chịu nén có ngăn cản một phần chạy liên tục, có độ cứng lò xo phụ thuộc vào các điều kiện biên và độ cứng chống uốn của các cấu kiện phẳng liền kề.

(2) Độ cứng lò xo của sườn cứng cần được xác định bằng cách tác dụng tải trọng đơn vị trên chiều dài đơn vị *u* như minh họa trên Hình 5.6. Độ cứng lò xo trên chiều dài đơn *K* vị có thể được xác định theo công thức:

$$K = \frac{u}{\delta} \tag{5.9}$$

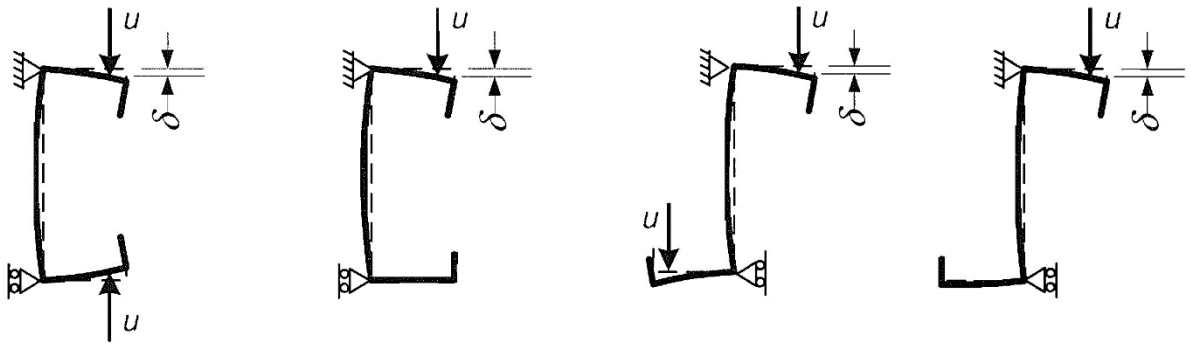
trong đó:

δ là độ võng của sườn cứng do tải trọng đơn vị u tác dụng tại trọng tâm phần hiệu dụng của tiết diện ngang (b_1).



a) Hệ thực

b) Hệ tương đương



c) Tính δ cho tiết diện chữ C và Z

Hình 5.6 – Xác định độ cứng lò xo

(3) Khi xác định các giá trị của các độ cứng lò xo chống xoay C_θ , $C_{\theta,1}$ và $C_{\theta,2}$ từ hình học của tiết diện ngang, cần kể đến ảnh hưởng có thể có của các sườn cứng khác mà có trên phần tử này hoặc trên bất kỳ phần tử nào khác của tiết diện ngang mà chịu nén.

(4) Đối với sườn cứng mép, độ võng δ cần được xác định theo công thức:

$$\delta = \theta b_p + \frac{u b_p^3}{3} \cdot \frac{12\left(1-\nu^2\right)}{Et^3} \tag{5.10a}$$

với:

$\theta = u b_p / C_\theta$.

(5) Trong trường hợp của sườn cứng mép gập tiết diện chữ C, Z, C_θ cần được xác định với tải trọng đơn vị *u* tác dụng như trên Hình 5.6(c). Kết quả là biểu thức xác định độ cứng lò xo K_1 cho cánh 1 như sau:

$$K_1 = \frac{Et^3}{4\left(1-v^2\right)} \cdot \frac{1}{b_1^2 h_w + b_1^3 + 0{,}5 b_1 b_2 h_w k_f} \tag{5.10b}$$

trong đó:

b_1 là khoảng cách từ đường giao bản bụng và bản cánh đến trọng tâm tiết diện hiệu dụng của sườn cứng mép (bao gồm phần hiệu dụng b_{e2} của bản cánh) của cánh 1, xem Hình 5.6(a);

b_2 là khoảng cách từ đường giao bản bụng và bản cánh đến trọng tâm tiết diện hiệu dụng của sườn cứng mép (bao gồm phần hiệu dụng b_{e2} của bản cánh) của cánh 2;

h_w là chiều cao bản bụng;

$k_f = 0$ nếu bản cánh 2 chịu kéo (ví dụ đối với dầm chịu uốn quanh trục y-y);

$k_f = \frac{A_{s2}}{A_{s1}}$ nếu bản cánh 2 cũng chịu nén (ví dụ dầm chịu nén dọc trục);

$k_f = 1$ đối với tiết diện đối xứng chịu nén;

A_{s1} và A_{s2} là diện tích hiệu dụng của sườn cứng mép (bao gồm phần hiệu dụng b_{e2} của bản cánh, xem Hình 5.6(b)) của bản cánh 1 và bản cánh 2 tương ứng.

(6) Đối với sường cứng trung gian, như một phương án an toàn thì giá trị của các độ cứng lò xo chống xoay $C_{\theta,1}$ và $C_{\theta,2}$ có thể lấy bằng không, và độ võng δ được xác định theo công thức:

$$\delta = \frac{u b_1^2 b_2^2}{3(b_1 + b_2)} \cdot \frac{12(1-v^2)}{Et^3} \tag{5.11}$$

(7) Hệ số giảm χ_d cho khả năng chống mất ổn định méo (mất ổn định dạng uốn của một sườn cứng) cần được xác định từ độ mảnh tương đối $\bar{\lambda}_d$ theo các công thức:

$$\chi_d = 1{,}0 \quad \text{nếu} \quad \bar{\lambda}_d \le 0{,}65 \tag{5.12a}$$

$$\chi_d = 1{,}47 - 0{,}723\bar{\lambda}_d \quad \text{nếu} \quad 0{,}65 < \bar{\lambda}_d < 1{,}38 \tag{5.12b}$$

$$\chi_d = \frac{0{,}66}{\bar{\lambda}_d} \quad \text{nếu} \quad \bar{\lambda}_d \ge 1{,}38 \tag{5.12c}$$

trong đó:

$$\bar{\lambda}_d = \sqrt{f_{yb} / \sigma_{cr,s}} \tag{5.12d}$$

trong đó:

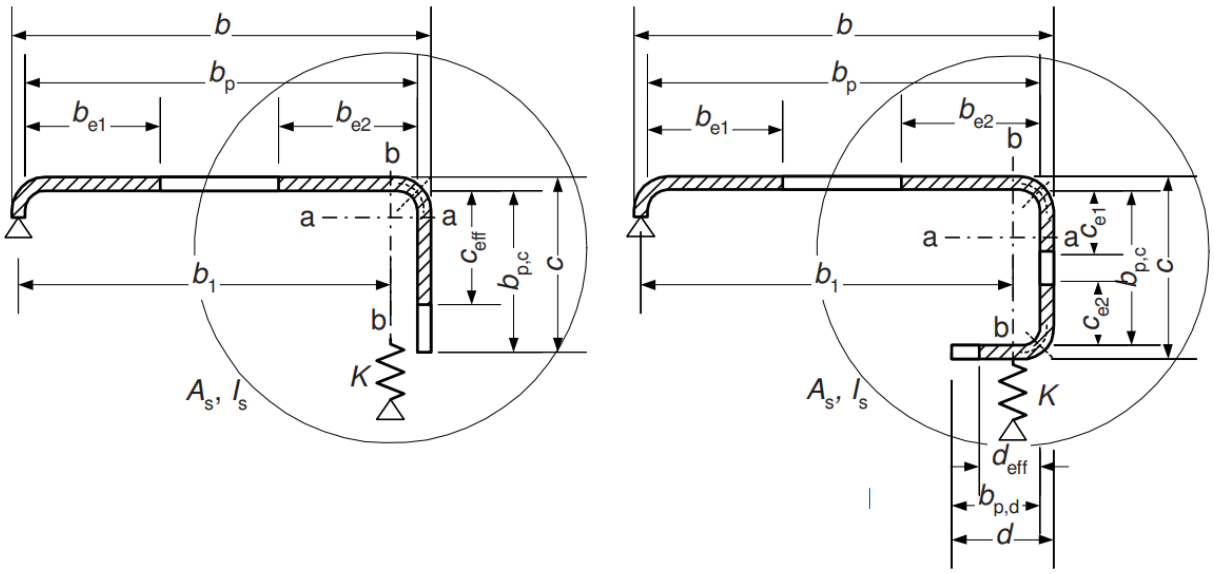
$\sigma_{cr,s}$ là ứng suất tới hạn đàn hồi cho sườn cứng (hoặc các sườn cứng) theo 5.5.3.2, 5.5.3.3 hoặc 5.5.3.4.

(8) Một cách khác, ứng suất mất ổn định tới hạn đàn hồi $\sigma_{cr,s}$ có thể được xác định bằng phân tích bậc nhất sử dung các phương pháp số (xem 5.5.1(7)).

(9) Trong trường hợp của phần tử phẳng với sườn cứng mép và trung gian khi không có phương pháp chính xác hơn, thì ảnh hưởng của sườn cứng trung gian có thể bỏ qua.

5.5.3.2 Cấu kiện phẳng có sườn cứng mép

(1) Quy trình sau áp dụng cho sườn cứng mép nếu các yêu cầu trong 5.2 thỏa mãn và góc giữa sườn cứng và phần tử phẳng nằm trong khoảng 45° và 135°.



$b/t \le 60$ $b/t \le 90$

a) mép gập đơn d) mép gập kép

Hình 5.7 – Các sườn cứng mép

(2) Tiết diện ngang của sườn cứng mép cần được lấy bằng tiết diện gồm phần hiệu dụng của sườn cứng, phần tử *c* hoặc các phần tử *c* và *d* như trên Hình 5.7, cộng phần hiệu dụng của phần tử phẳng b_p.

(3) Quy trình minh họa trên Hình 5.8 cần được thực hiện theo các bước sau:

– **Bước 1**: Xác định tiết diện ngang hiệu dụng ban đầu cho sườn cứng sử dụng chiều rộng hiệu dụng được xác định với giải thiết là sườn cứng cung cấp ngàm toàn phần và $\sigma_{com,Ed} = f_{yb} / \gamma_{M0}$, xem (4) đến (5);

- **Bước 2**: Sử dụng tiết diện ngang hiệu dụng ban đầu của sườn cứng để xác định hệ số giảm cho mất ổn định méo (mất ổn định dạng uốn của sườn cứng) kể đến ảnh hưởng của ngàm lò xo chạy liên tục, xem (6), (7) và (8);
- **Bước 3**: Một cách tùy chọn, có thể chính xác lại giá trị của hệ số giảm mất ổn định của sườn cứng bằng tính toán lặp, xem (9) và (10).

(4) Các giá trị ban đầu của các chiều rộng hiệu dụng b_{e1} và b_{e2} được minh họa trên Hình 5.7 cần được xác định theo 5.5.2 với giả thiết phần tử phẳng b_p tựa hai điểm, xem Bảng 4.1 trong TCVN X1993-1-5.

(5) Giá trị ban đầu của các chiều rộng hiệu dụng c_{eff} và d_{eff} trên Hình 5.7 được xác định như sau:

a) Đối với sườn cứng mép uốn đơn:

$$c_{eff} = \rho b_{p,c} \tag{5.13a}$$

với ρ được xác định theo 5.5.2, trừ khi sử dụng giá trị của hệ số mất ổn định k_σ tính theo các công thức sau:

- Nếu $b_{p,c}/b_p \le 0,35$:

$$k_\sigma = 0,5 \tag{5.13b}$$

- Nếu $0,35 < b_{p,c}/b_p \le 0,6$:

$$k_\sigma = 0,5 + 0,83\sqrt[3]{\left(b_{p,c}/b_p - 0,35\right)^2} \tag{5.13c}$$

b) Đối với sườn cứng mép uốn đúp:

$$c_{eff} = \rho b_{p,c} \tag{5.13d}$$

với ρ được xác định theo 5.5.2 với hệ số mất ổn định k_σ cho phần tử tựa hai điểm lấy theo Bảng 4.1 trong TCVN X1993-1-5;

$$d_{eff} = \rho b_{p,d} \tag{5.13e}$$

với ρ được xác định theo 5.5.2 với hệ số mất ổn định k_σ cho phần tử vươn lấy theo Bảng 4.2 trong TCVN X1993-1-5.

(6) Diện tích tiết diện ngang hiệu dụng của sườn cứng mép A_s cần được xác định tương ứng theo các công thức:

$$A_s = t(b_{e2} + c_{eff}) \tag{5.14a}$$

hoặc

$$A_s = t(b_{e2} + c_{e1} + c_{e2} + d_{eff}) \tag{5.14b}$$

CHÚ THÍCH: Nếu cần thiết, phải kể đến các góc lượn, xem 5.1

(7) Ứng suất mất ổn định tới hạn đàn hồi $\sigma_{cr,s}$ cho sườn cứng mép cần được xác định theo công thức:

$$\sigma_{cr,s} = \frac{2\sqrt{KEI_s}}{A_s} \tag{5.15}$$

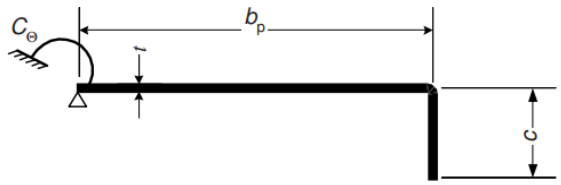
trong đó:

K là độ cứng lò xo trên đơn vị chiều dài, xem 5.5.3.1(2);

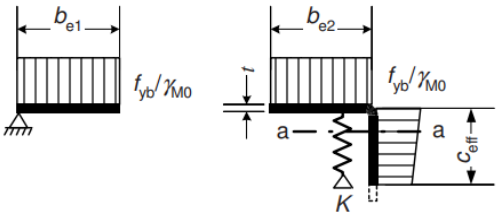
I_s là mô men quán tính hiệu dụng của sườn cứng, lấy bằng mô men quán tính của diện tích hiệu dụng A_s của nó đối với trục trung tâm a-a của tiết diện ngang hiệu dụng của nó, xem Hình 5.7.

(8) Bằng cách khác, ứng suất mất ổn định tới hạn đàn hồi $\sigma_{cr,s}$ có thể được xác định bằng phân tích đàn hồi bậc nhất sử dụng các phương pháp số, xem 5.5.1(7).

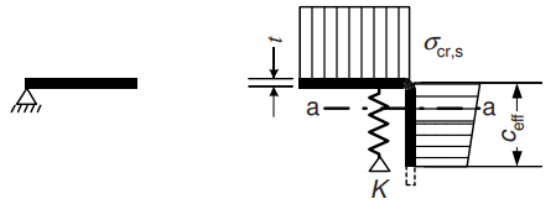
(9) Hệ số giảm χ_d cho khả năng chống mất ổn định méo (mất ổn định dạng uốn của sườn cứng) của sườn cứng mép cần được xác định theo giá trị của $\sigma_{cr,s}$ sử phương pháp nêu trong 5.5.3.1(7).



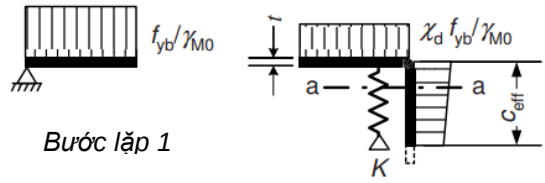
a) Tiết diện ngang nguyên và các điều kiện biên



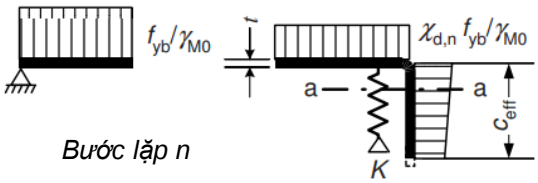
b) Bước 1: Tiết diện ngang hiệu dụng cho $K = \infty$ dựa trên $\sigma_{com,Ed} = f_{yb} / \gamma_{M0}$



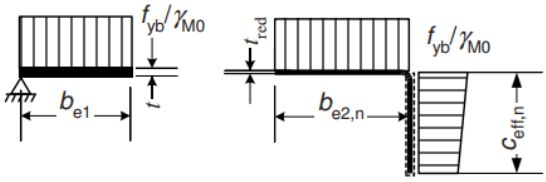
c) Bước 2: Ứng suất tới hạn đàn hồi $\sigma_{cr,s}$ cho diện tích hiệu dụng của sườn cứng A_s từ bước 1



d) Cường độ giảm $\chi_d f_{yb} / \gamma_{M0}$ cho diện tích hiệu dụng của sườn cứng A_s, với hệ số giảm χ_d dựa trên $\sigma_{cr,s}$



e) Bước 3: Lặp lại bước 1 một cách tùy chọn bằng cách tính chiều rộng hiệu dụng với ứng suất nén giảm $\sigma_{com,Ed,i} = \chi_d f_{yb} / \gamma_{M0}$ với χ_d từ bước trước, đến khi $\chi_{d,n} \approx \chi_{d,(n-1)}$ nhưng $\chi_{d,n} \leq \chi_{d,(n-1)}$



f) Chấp nhận tiết diện ngang hiệu dụng với b_{e2}, c_{eff} và chiều rộng giảm t_{red} ứng với $\chi_{d,n}$.

Hình 5.8 – Khả năng chịu nén của cánh có sườn cứng mép

(10) Nếu $\chi_d < 1$ thì có thể chính xác lại theo từng bước, bắt đầu từ bước với giá trị điều chỉnh của ρ thu được từ 5.5.2(1) với $\sigma_{com,Ed,i}$ bằng $\chi_d f_{yb} / \gamma_{M0}$ sao cho:

$$\bar{\lambda}_{p,red} = \bar{\lambda}_p \sqrt{\chi_d} \tag{5.16}$$

(11) Diện tích hiệu dụng giảm của sườn cứng $A_{s,red}$ kể đến mất ổn định dạng uốn cần được xác định bằng công thức:

$$A_{s,red} = \chi_d A_s \frac{f_{yb} / \gamma_{M0}}{\sigma_{com,Ed}} \qquad \text{nhưng} \qquad A_{s,red} \le A_s \tag{5.17}$$

trong đó:

$\sigma_{com,Ed}$ là ứng suất nén tại đường trung bình của sườn cứng, được tính dựa trên tiết diện ngang hiệu dụng.

(12) Khi xác định các đặc trưng của tiết diện hiệu dụng, thì diện tích hiệu dụng giảm $A_{s,red}$ cần được xác định có kể đến chiều dày giảm $t_{red} = tA_{s,red} / A_s$ đối với tất cả các phần tử, bao gồm trong A_s.

5.5.3.3 Cấu kiện phẳng có sườn cứng trung gian

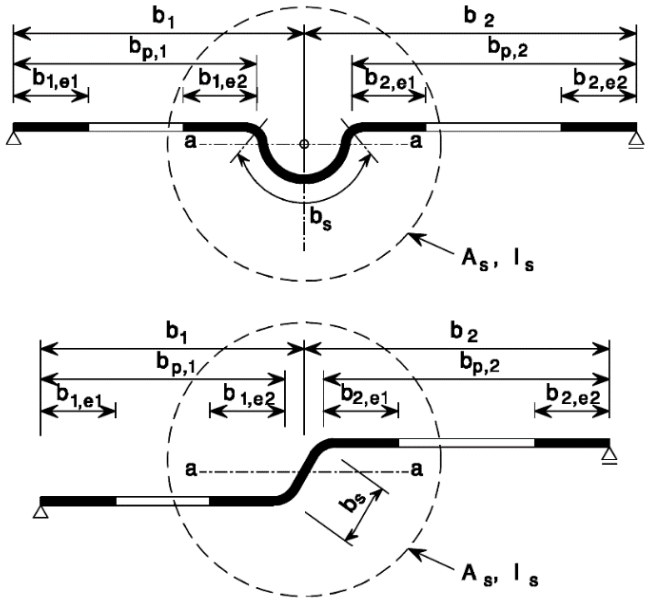
(1) Quy trình sau áp dụng cho một hoặc hai sườn cứng trung gian giống nhau được hình thành bởi rãnh hoặc uốn nếu tất cả các phần tử được tính theo 5.5.2.

(2) Tiết diện ngang của sườn cứng trung gian cần được lấy bằng tiết diện gồm bản thân sườn cứng cộng phần hiệu dụng của các phần tử phẳng liền kề $b_{p,1}$ và $b_{p,2}$ như trên Hình 5.9.

(3) Quy trình minh họa trên Hình 5.10 cần được thực hiện theo các bước sau:

- **Bước 1**: Xác định tiết diện ngang hiệu dụng ban đầu cho sườn cứng sử dụng chiều rộng hiệu dụng được xác định với giải thiết là sườn cứng cung cấp ngàm toàn phần và $\sigma_{com,Ed} = f_{yb} / \gamma_{M0}$, xem (4) và (5);
- **Bước 2**: Sử dụng tiết diện ngang hiệu dụng ban đầu của sườn cứng để xác định hệ số giảm cho mất ổn định méo (mất ổn định dạng uốn của sườn cứng trung gian) kể đến ảnh hưởng của ngàm lò xo chạy liên tục, xem (6), (7) và (8);
- **Bước 3**: Một cách tùy chọn, có thể chính xác lại giá trị của hệ số giảm mất ổn định của sườn cứng bằng tính toán lặp, xem (9) và (10).

(4) Giá trị ban đầu của các chiều rộng hiệu dụng $b_{1,e2}$, $b_{2,e1}$ được minh họa trên Hình 5.9 cần được xác định theo 5.5.2 với giả thiết các phần tử phẳng $b_{p,1}$, $b_{p,2}$ được gối ở hai đầu, xem Bảng 4.1 trong TCVN X1993-1-5.



Hình 5.9 – Các sườn cứng trung gian

(5) Diện tích tiết diện ngang hiệu dụng của sườn cứng trung gian A_s cần được xác định theo công thức:

$$A_s = t(b_{1,e2} + b_{2,e1} + b_s) \tag{5.18}$$

trong đó chiều rộng sườn cứng b_s được minh họa trên Hình 5.9.

CHÚ THÍCH: Cần kể đến các góc uốn nếu cần thiết, xem 5.1.

(6) Ứng suất mất ổn định tới hạn $\sigma_{cr,s}$ của sườn cứng trung gian cần được xác định theo công thức:

$$\sigma_{cr,s} = \frac{2\sqrt{KEI_s}}{A_s} \tag{5.19}$$

trong đó:

K là độ cứng lò xo trên đơn vị chiều dài, xem 5.5.3.1(2);

I_s là mô men quán tính của tiết diện sườn cứng, lấy bằng mô men quán tính của diện tích hiệu dụng của nó A_s đối với trục trung tâm a-a của tiết diện ngang hiệu dụng của nó, xem Hình 5.9.

(7) Một cách khác, ứng suất mất ổn định tới hạn đàn hồi $\sigma_{cr,s}$ có thể được xác định từ phân tích mất ổn định đàn hồi bậc nhất bằng các phương pháp số, xem 5.5.1(7).

(8) Hệ số giảm χ_d cho khả năng chống mất ổn định méo (mất ổn định dạng uốn của sườn cứng trung gian) cần được xác định từ giá trị của $\sigma_{cr,s}$ sử dụng phương pháp nêu trong 5.5.3.1(7).

(9) Nếu $\chi_d < 1$, có thể chính xác lại bằng tính toán lặp, bắt đầu từ bước lắp với giá trị điều chỉnh của ρ thu được sử dụng 5.5.2(1) với $\sigma_{com,Ed,i}$ bằng $\chi_d f_{yb} / \gamma_{M0}$, sao cho:

$$\bar{\lambda}_{p,red} = \bar{\lambda}_p \sqrt{\chi_d} \tag{5.20}$$

(10) Diện tích hiệu dụng giảm của sườn cứng $A_{s,red}$ kể đến mất ổn định méo (mất ổn định dạng uốn của sườn cứng) cần được xác định theo công thức:

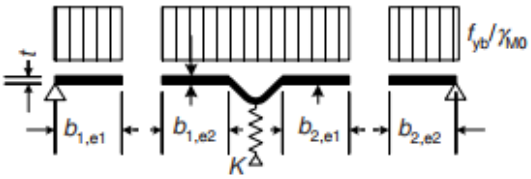
$$A_{s,red} = \chi_d A_s \frac{f_{yb} / \gamma_{M0}}{\sigma_{com,Ed}} \qquad \text{nhưng} \qquad A_{s,red} \le A_s \tag{5.21}$$

trong đó:

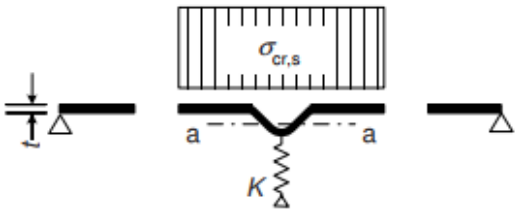
$\sigma_{com,Ed}$ là ứng suất nén tại đường trung bình của sườn cứng xác định được dựa trên tiết diện ngang hiệu dụng.

(11) Khi xác định các đặc trưng của tiết diện hiệu dụng, diện tích hiệu dụng giảm $A_{s,red}$ phải được xác định bằng cách sử dụng chiều dày giảm $t_{red} = tA_{s,red} / A_s$ cho tất cả các phần tử bao gồm trong A_s.

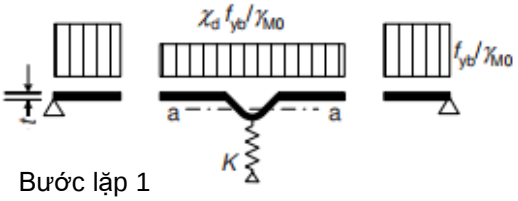
a) Tiết diện ngang nguyên và các điều kiện biên



b) Bước 1: tiết diện ngang hiệu dụng cho $K = \infty$ dựa trên, $\sigma_{com,Ed} = f_{yb}/\gamma_{M0}$

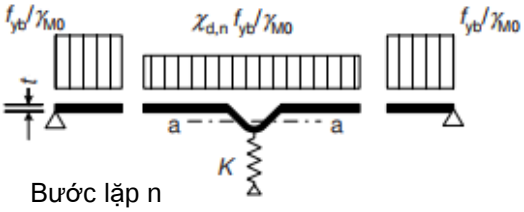


c) Bước 2: ứng suất tới hạn đàn hồi $\sigma_{cr,s}$ cho diện tích hiệu dụng của sườn cứng A_s từ bước 1



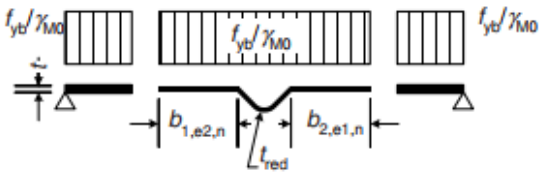
Bước lặp 1

d) Cường độ giảm $\chi_d f_{yb}/\gamma_{M0}$ cho diện tích hiệu dụng của sườn cứng A_s với hệ số giảm χ_d dựa trên $\sigma_{cr,s}$



Bước lặp n

e) Bước 3: Lặp lại bước 1 bằng tính toán chiều rộng hiệu dụng với ứng suất nén giảm $\sigma_{com,Ed,i} = \chi_d f_{yb}/\gamma_{M0}$ với χ_d từ bước lặp trước, đến khi $\chi_{d,n} \approx \chi_{d,(n-1)}$ nhưng $\chi_{d,n} \le \chi_{d,(n-1)}$



f) Chấp nhận tiết diện ngang hiệu dụng với $b_{1,e2}$, $b_{2,e1}$ và chiều dày giảm t_{red} ứng với $\chi_{d,n}$

Hình 5.10 – Khả năng chịu nén của bản cánh có sườn cứng trung gian

5.5.3.4 Các tấm định hình hình thang có các sườn cứng trung gian

5.5.3.4.1 Quy định chung

(1) Các yêu cầu trong mục 5.5.3.4 này áp dụng cho tấm định hình hình thang, kết hợp với 5.5.3.3 cho các bản cánh có các sườn cứng trung gian và 5.5.3.3 cho các bản bụng có các sườn cứng trung gian.

(2) Tương tác mất ổn định giữa các sườn cứng trung gian của bản cánh và các sườn cứng trung gian của bản bụng cũng cần được kể đến bằng cách sử dụng phương pháp nêu trong 5.5.3.4.4.

5.5.3.4.2 Cánh có các sườn cứng trung gian

(1) Nếu bản cánh có các sườn cứng trung gian chịu nén phân bố đều thì diện tích tiết diện ngang hiệu dụng của bản cánh có các sườn cứng trung gian cần được giả thiết bao gồm diện tích hiệu dụng giảm $A_{s,red}$ bao gồm hai dải với chiều rộng $0,5b_{eff}$ (hoặc 15t, xem Hình 5.11) liền kề với sườn cứng.

(2) Đối với sườn cứng trung tâm của bản cánh, ứng suất mất ổn định tới hạn đàn hồi $\sigma_{cr,s}$ cần được xác định theo công thức:

$$\sigma_{cr,s} = \frac{4,2k_w E}{A_s}\sqrt{\frac{I_s t^3}{4b_p^2\left(2b_p + 3b_s\right)}} \tag{5.22}$$

trong đó:

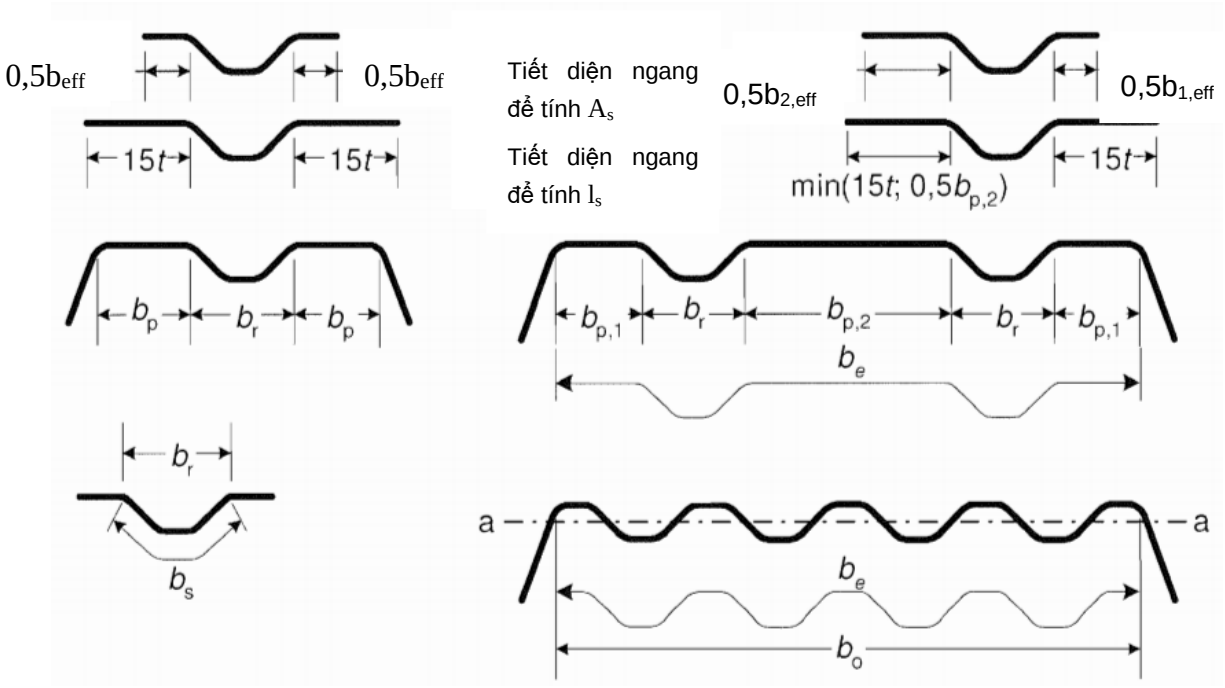
b_p là chiều rộng phẳng quy ước của phần tử phẳng như trên Hình 5.11;

b_s là chiều rộng sườn cứng đo theo chu vi sườn cứng, xem Hình 5.11;

A_s, I_s là diện tích tiết diện ngang và mô men quán tính của diện tích của tiết diện ngang của sườn cứng theo Hình 5.11;

k_w là hệ số kể đến ngăn cản một phần chống xoay của bản cánh có sườn cứng do bản bụng hoặc các phần tử liền kề, xem (5) và (6). Để tính toán tiết diện ngang hiệu dụng chịu nén, lấy giá trị $k_w = 1,0$.

Biểu thức (5.22) có thể được sử dụng cho rãnh rộng nếu phần tử phẳng của sườn cứng bị giảm do mất ổn định cục bộ và b_p trong biểu thức (5.22) được thay bằng giá trị lớn hơn trong các giá trị b_p và $0,25(3b_p + b_r)$, xem Hình 5.11. Phương pháp tương tự đúng cho bản cánh có hai hay nhiều rãnh rộng.



Hình 5.11 – Cánh chịu nén có một, hai hay nhiều sườn cứng

(3) Đối với hai sườn cứng đặt đối xứng của bản cánh, ứng suất mất ổn định tới hạn đàn hồi $\sigma_{cr,s}$ cần được xác định theo công thức:

$$\sigma_{cr,s} = \frac{4,2k_w E}{A_s}\sqrt{\frac{I_s t^3}{8b_1^2\left(3b_e - 4b_1\right)}} \tag{5.23a}$$

với: $b_e = 2b_{p,1} + b_{p,2} + 2b_s$

$b_1 = b_{p,1} + 0,5b_r$

trong đó:

$b_{p,1}$ là chiều rộng phẳng quy ước của phần từ phẳng nằm ngoài, như trên Hình 5.11;

$b_{p,2}$ là chiều rộng phẳng quy ước của phần từ phẳng nằm giữa, như trên Hình 5.11;

b_r là tổng chiều rộng của sườn cứng, xem Hình 5.11;

A_s, I_s là diện tích tiết diện ngang và mô men quán tính của diện tích sườn cứng theo Hình 5.11.

(4) Đối với bản cánh được tăng cứng bằng nhiều sườn (ba hay nhiều sườn cứng như nhau), diện tích hiệu dụng của toàn bộ bản cánh bằng:

$$A_{eff} = \rho b_e t \tag{5.23b}$$

trong đó: ρ là hệ số giảm phù hợp với Phụ lục E của TCVN X1993-1-5 cho độ mảnh $\bar{\lambda}_p$ dựa trên ứng suất mất ổn định tới hạn đàn hồi:

$$\sigma_{cr,s} = 1{,}8E\sqrt{\frac{I_s t}{b_o^2 b_e^3}} + 3{,}6\frac{Et^2}{b_o^2} \tag{5.23c}$$

trong đó:

I_s là tổng mô men quán tính của các sườn cứng đối với trục trung tâm a-a, bỏ qua số hạng $bt^3/12$;

b_o là chiều rộng của bản cánh như trên Hình 5.11;

b_e là chiều rộng khai triển của bản cánh như trên Hình 5.11.

(5) Giá trị của k_w có thể được tính từ chiều dài bước sóng mất ổn định của bản cánh chịu nén l_b như sau:

Nếu $l_b/s_w \geq 2$:

$$k_w = k_{wo} \tag{5.24a}$$

Nếu $l_b/s_w < 2$:

$$k_w = k_{wo} - (k_{wo} - 1)\left[\frac{2l_b}{s_w} - \left(\frac{l_b}{s_w}\right)^2\right] \tag{5.24b}$$

trong đó:

s_w là chiều cao nghiêng của bản bụng, xem Hình 5.1(c).

(6) Một cách khác, hệ số ngàm chống xoay k_w có thể lấy thiên về an toàn bằng 1,0 ứng với điều kiện liên kết khớp.

(7) Giá trị của l_b và k_{wo} có thể được xác định theo các công thức:

– Đối với bản cánh chịu nén có một sườn cứng trung gian:

$$l_b = 3{,}07\sqrt[4]{\frac{I_s b_p^2 (2b_p + 3b_s)}{t^3}} \tag{5.25}$$

$$k_{wo} = \sqrt{\frac{s_w + 2b_d}{s_w + 0{,}5b_d}} \tag{5.26}$$

với:

$b_d = 2b_p + b_s$

– Đối với bản cánh chịu nén có hai sườn cứng trung gian:

$$l_b = 3,65\sqrt[4]{\frac{I_s b_1^2 (3b_e - 4b_1)}{t^3}} \tag{5.27}$$

$$k_{wo} = \sqrt{\frac{(2b_e + s_w)(3b_e - 4b_1)}{b_1(4b_e - 6b_1) + s_w(3b_e - 4b_1)}} \tag{5.28}$$

(8) Diện tích hiệu dụng giảm của sườn cứng $A_{s,red}$ kể đến mất ổn định méo (mất ổn định dạng uốn của sườn cứng trung gian) cần được lấy bằng:

$$A_{s,red} = \chi_d A_s \frac{f_{yb}/\gamma_{M0}}{\sigma_{com,ser}} \qquad \text{nhưng} \qquad A_{s,red} \le A_s \tag{5.29}$$

(9) Nếu các bản bụng không được tăng cứng thì hệ số giảm χ_d cần được xác định trực tiếp từ $\sigma_{cr,s}$ bằng phương pháp nêu trong 5.5.3.1(7).

(10) Nếu các bản bụng được tăng cứng thì hệ số giảm χ_d cần được xác định bằng phương pháp nêu trong 5.5.3.1(7), nhưng với ứng suất đàn hồi điều chỉnh $\sigma_{cr,\mathrm{mod}}$ nêu trong 5.5.3.4.4.

(11) Khi xác định các đặc trưng của tiết diện hiệu dụng thì diện tích hiệu dụng giảm $A_{s,red}$ cần được xác định có kể đến chiều dày giảm $t_{red} = tA_{s,red} / A_s$ cho tất cả các phần từ bao gồm trong A_s.

(12) Các đặc trưng của tiết diện hiệu dụng của các sườn cứng ở trạng thái giới hạn sử dụng cần được dựa trên chiều dày thiết kế *t*.

5.5.3.4.3 Bản bụng có không quá hai sườn cứng trung gian

(1) Tiết diện ngang hiệu dụng của vùng chịu nén của bản bụng (hoặc phần tử khác của tiết diện ngang chịu gradient ứng suất) cần được giả thiết là gồm các diện tích hiệu dụng giảm $A_{s,red}$ của các sườn cứng (với số lượng đến 2), một dải liền kề với bản cánh chịu nén và một dải liền kề với trục trung tâm của tiết diện ngang hiệu dụng, xem Hình 5.12.

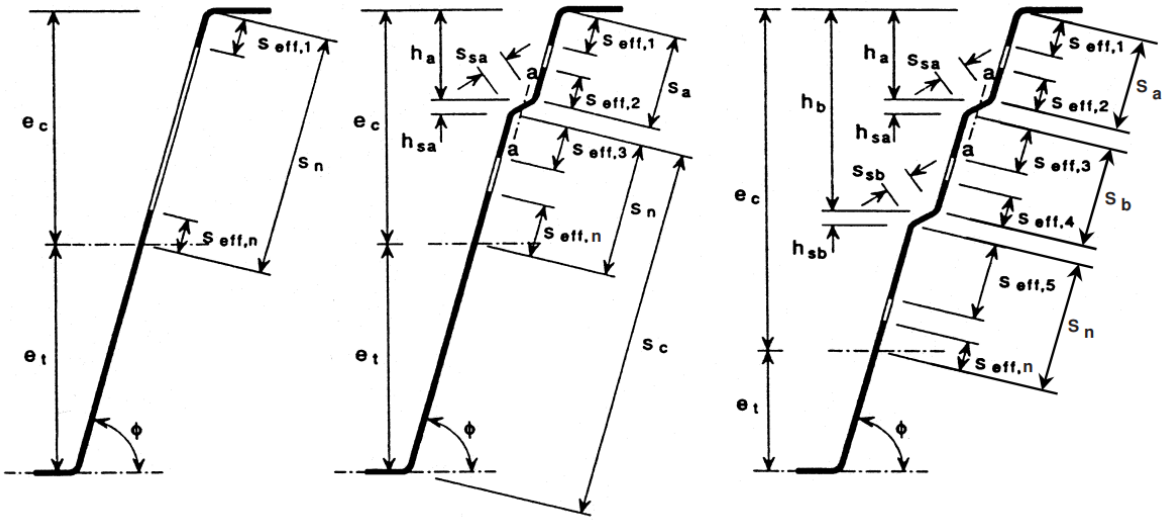
(2) Tiết diện ngang hiệu dụng của bản bụng như trên Hình 5.12 cần được lấy bao gồm:

a) một dải có chiều rộng $s_{eff,1}$ liền kề với bản cánh chịu nén;

b) diện tích hiệu dụng giảm $A_{s,red}$ của mỗi sườn cứng của bản bụng, tối đa là hai sườn cứng;

c) dải có chiều rộng $s_{eff,n}$ liền kề với trục trung tâm hiệu dụng;

d) phần bản bụng chịu kéo.



Hình 5.12 – Tiết diện ngang hiệu dụng của bản bụng làm từ tấm định hình hình thang

(3) Các diện tích hiệu dụng của các sườn cứng cần được xác định như sau:

– Đối với sườn cứng đơn, hoặc đối với sườn cứng gần với bản cánh chịu nén:

$$A_{sa} = t\left(s_{eff,2} + s_{eff,3} + s_{sa}\right) \tag{5.30}$$

– Đối với sườn cứng thứ hai:

$$A_{sb} = t\left(s_{eff,4} + s_{eff,5} + s_{sb}\right) \tag{5.31}$$

Trong đó các kích thước $s_{eff,1}$ đến $s_{eff,n}$ và s_{sa} và s_{sb} được minh họa trên Hình 5.12.

(4) Đầu tiên, vị trí của trục trung tâm hiệu dụng cần được dựa trên tiết diện ngang hiệu dụng của các bản cánh trừ tiết diện ngang nguyên của bản bụng. Trong trường hợp này, chiều rộng hiệu dụng cơ sở $s_{eff,0}$ cần được xác định theo công thức:

$$s_{eff,0} = 0,76t\sqrt{E/\left(\gamma_{M0}\sigma_{com,Ed}\right)} \tag{5.32}$$

trong đó:

$\sigma_{com,Ed}$ là ứng suất trong bản cánh chịu nén khi đạt tới khả năng chịu lực của tiết diện ngang.

(5) Nếu bản bụng không hiệu dụng toàn bộ thì các kích thước $s_{eff,1}$ đến $s_{eff,n}$ cần được xác định như sau:

$$s_{eff,1} = s_{eff,0} \tag{5.33a}$$

$$s_{eff,2} = \left(1 + 0,5h_a/e_c\right)s_{eff,0} \tag{5.33b}$$

$$s_{eff,3} = \left[1 + 0,5\left(h_a + h_{sa}\right)/e_c\right]s_{eff,0} \tag{5.33c}$$

$$s_{eff,4} = \left(1 + 0{,}5 h_b / e_c\right) s_{eff,0} \tag{5.33d}$$

$$s_{eff,5} = \left[1 + 0{,}5\left(h_b + h_{sb}\right)/e_c\right] s_{eff,0} \tag{5.33e}$$

$$s_{eff,n} = 1{,}5 s_{eff,0} \tag{5.33f}$$

trong đó:

e_c là khoảng cách từ trục trung tâm hiệu dụng đến đường trục của bản cánh chịu nén, xem Hình 5.12;

và các kích thước h_a, h_b, h_{sa} và h_{sb} được minh họa trên Hình 5.12.

(6) Các kích thước $s_{eff,1}$ đến $s_{eff,n}$ cần được được xác định từ (5) và sau đó kiểm tra lại nếu phần tử phẳng tương ứng là hiệu dụng toàn bộ như sau:

– Trong bản bụng có sườn cứng, nếu $s_{eff,1} + s_{eff,n} \geq s_n$ thì toàn bộ bản bụng là hiệu dụng, và kiểm tra theo các công thức:

$$s_{eff,1} = 0{,}4 s_n \tag{5.34a}$$

$$s_{eff,n} = 0{,}6 s_n \tag{5.34b}$$

– Trong bản bụng có sườn cứng, nếu $s_{eff,1} + s_{eff,2} \geq s_a$ thì toàn bộ s_a là hiệu dụng, và kiểm tra theo các công thức:

$$s_{eff,1} = \frac{s_a}{2 + 0{,}5 h_a / e_c} \tag{5.35a}$$

$$s_{eff,2} = s_a \frac{\left(1 + 0{,}5 h_a / e_c\right)}{2 + 0{,}5 h_a / e_c} \tag{5.35b}$$

– Trong bản bụng có một sườn cứng, nếu $s_{eff,3} + s_{eff,n} \geq s_n$ thì toàn bộ s_n là hiệu dụng và kiểm tra theo các công thức:

$$s_{eff,3} = s_n \frac{\left[1 + 0{,}5\left(h_a + h_{sa}\right)/e_c\right]}{2{,}5 + 0{,}5\left(h_a + h_{sa}\right)/e_c} \tag{5.36a}$$

$$s_{eff,n} = \frac{1{,}5 s_n}{2{,}5 + 0{,}5\left(h_a + h_{sa}\right)/e_c} \tag{5.36b}$$

– Trong bản bụng có hai sườn cứng,

Nếu $s_{eff,3} + s_{eff,4} \geq s_b$ thì toàn bộ s_b là hiệu dụng và kiểm tra theo các công thức:

$$s_{eff,3} = s_b \frac{1 + 0{,}5\left(h_a + h_{sa}\right)/e_c}{2 + 0{,}5\left(h_a + h_{sa} + h_b\right)/e_c} \tag{5.37a}$$

$$s_{eff,4} = s_b \frac{1+0,5h_b/e_c}{2+0,5\left(h_a+h_{sa}+h_b\right)/e_c} \tag{5.37b}$$

Nếu $s_{eff,5}+s_{eff,n} \geq s_n$ thì toàn bộ s_n là hiệu dụng và kiểm tra theo các công thức:

$$s_{eff,5} = s_n \frac{1+0,5\left(h_b+h_{sb}\right)/e_c}{2,5+0,5(h_b+h_{sb})/e_c} \tag{5.38a}$$

$$s_{eff,n} = \frac{1,5s_n}{2,5+0,5(h_b+h_{sb})/e_c} \tag{5.38b}$$

(7) Đối với sườn cứng đơn, hoặc sườn cứng gần với bản cánh chịu nén trong bản bụng có hai sườn cứng, ứng suất mất ổn định tới hạn đàn hồi $\sigma_{cr,sa}$ cần được xác định theo công thức:

$$\sigma_{cr,sa} = \frac{1,05k_f E\sqrt{I_s t^3 s_1}}{A_{sa}s_2(s_1-s_2)} \tag{5.39a}$$

trong đó s_1 được tính như sau:

– Đối với sườn cứng đơn:

$$s_1 = 0,9\left(s_a+s_{sa}+s_c\right) \tag{5.39b}$$

– Đối với sườn cứng (trong bản bụng có hai sườn cứng) gần với bản cánh chịu nén:

$$s_1 = s_a+s_{sa}+s_b+0,5\left(s_{sb}+s_c\right) \tag{5.39 c}$$

với:

$$s_2 = s_1-s_a-0,5s_{sa} \tag{5.39d}$$

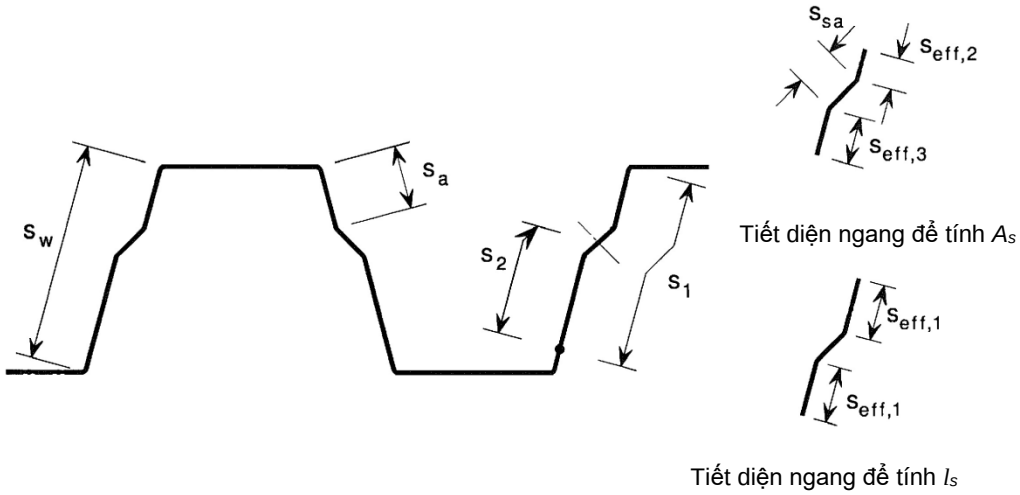
trong đó:

k_f là hệ số kể đến ngăn cản một phần góc xoay của bản bụng có sườn cứng do bản cánh;

I_s là mô men quán tính của tiết diện ngang của sườn cứng bao gồm chiều rộng uốn s_{sa} và hai dải liền kề, mỗi dải rộng $s_{eff,1}$, đối với trục trung tâm song song với phần tử phẳng của bản bụng, xem Hình 5.13. Khi tính I_s, có thể bỏ qua chênh lệch có thể có trong độ dốc giữa các phần tử phẳng của bản bụng ở hai phía của sườn cứng;

s_c được xác định theo Hình 5.12.

(8) Khi không có khảo sát chi tiết hơn, thì hệ số ngăn cản góc xoay k_f có thể lấy thiên về an toàn bằng 1,0 ứng với điều kiện liên kết khớp.



Hình 5.13 – Các sườn cứng của tấm định hình hình thang

(9) Đối với sườn cứng đơn chịu nén, hoặc đối với sườn cứng gần với bản cánh chịu nén trong bản bụng có hai sườn cứng, diện tích hiệu dụng giảm $A_{sa,red}$ cần được xác định theo công thức:

$$A_{sa,red} = \frac{\chi_d A_{sa}}{1-(h_a+0{,}5h_{sa})/e_c} \qquad \text{nhưng} \qquad A_{sa,red} \le A_{sa} \tag{5.40}$$

(10) Trong bản cánh không được tăng cứng, hệ số giảm χ_d cần được xác định trực tiếp từ $\sigma_{cr,sa}$ sử dung phương pháp nêu trong 5.5.3.1(7).

(11) Nếu bản cánh cũng được tăng cứng, thì hệ số χ_d cần được xác định bằng phương pháp nêu trong 5.5.3.1(7), nhưng với ứng suất tới hạn đàn hồi điều chỉnh $\sigma_{cr,\mathrm{mod}}$ nêu trong 5.5.3.4.4.

(12) Đối với sườn cứng đơn chịu kéo, diện tích hiệu dụng giảm $A_{sa,red}$ cần được lấy bằng A_{sa}.

(13) Đối với bản bụng có hai sườn cứng, diện tích hiệu dụng giảm $A_{sb,red}$ của sườn cứng thứ hai cần được lấy bằng A_{sb}.

(14) Khi xác định các đặc trưng của tiết diện hiệu dụng, diện tích hiệu dụng giảm $A_{sa,red}$ cần được xác định bằng cách sử dụng chiều dày giảm $t_{red} = \chi_d t$ cho tất cả các phần từ bao gồm trong A_{sa}.

(15) Các đặc trưng của tiết diện hiệu dụng của các sườn cứng ở trạng thái giới hạn sử dụng cần được dựa trên chiều dày thiết kế *t*.

(16) Một cách tùy chọn, các đặc trưng của tiết diện hiệu dụng có thể được tinh chỉnh bằng tính toán lắp dựa trên vị trí của trục trung tâm hiệu dụng trên tiết diện ngang hiệu dụng của bản bụng, được xác định theo bước lặp trước và các tiết diện ngang hiệu dụng của các bản cánh được xác định với việc sử dụng chiều dày giảm t_{red} cho tất cả các phần tử bao gồm trong diện tích sườn cứng của bản cánh A_s. Bước lặp này cần đựa dựa trên chiều rộng hiệu dụng cơ sở $s_{eff,0}$ được tính theo công thức:

$$s_{eff,0} = 0,95t\sqrt{\frac{E}{\gamma_{M0}\sigma_{com,Ed}}} \tag{5.41}$$

5.5.3.4.4 Tấm có sườn cứng ở bản cánh và sườn cứng ở bản bụng

(1) Trong trường hợp tấm có các sườn cứng trung gian trong các bản cánh và trong các bản bụng, xem Hình 5.14, tương tác giữa mất ổn định dạng uốn của các sườn cứng bản cánh và các sườn cứng bản bụng cần được kể đến bằng cách sử dụng ứng suất tới hạn đàn hồi điều chỉnh $\sigma_{cr,\mathrm{mod}}$ cho hai loại sườn cứng, được xác định theo công thức:

$$\sigma_{cr,\mathrm{mod}} = \frac{\sigma_{cr,s}}{\sqrt[4]{1+\left(\beta_s \frac{\sigma_{cr,s}}{\sigma_{cr,sa}}\right)^4}} \tag{5.42}$$

trong đó:

$\sigma_{cr,s}$ là ứng suất tới hạn đàn hồi của sườn cứng trung gian của bản cánh, xem 5.5.3.4.2(2) cho bản cánh với sườn cứng đơn hoặc 5.5.3.4.2(3) cho bản cánh có hai sườn cứng;

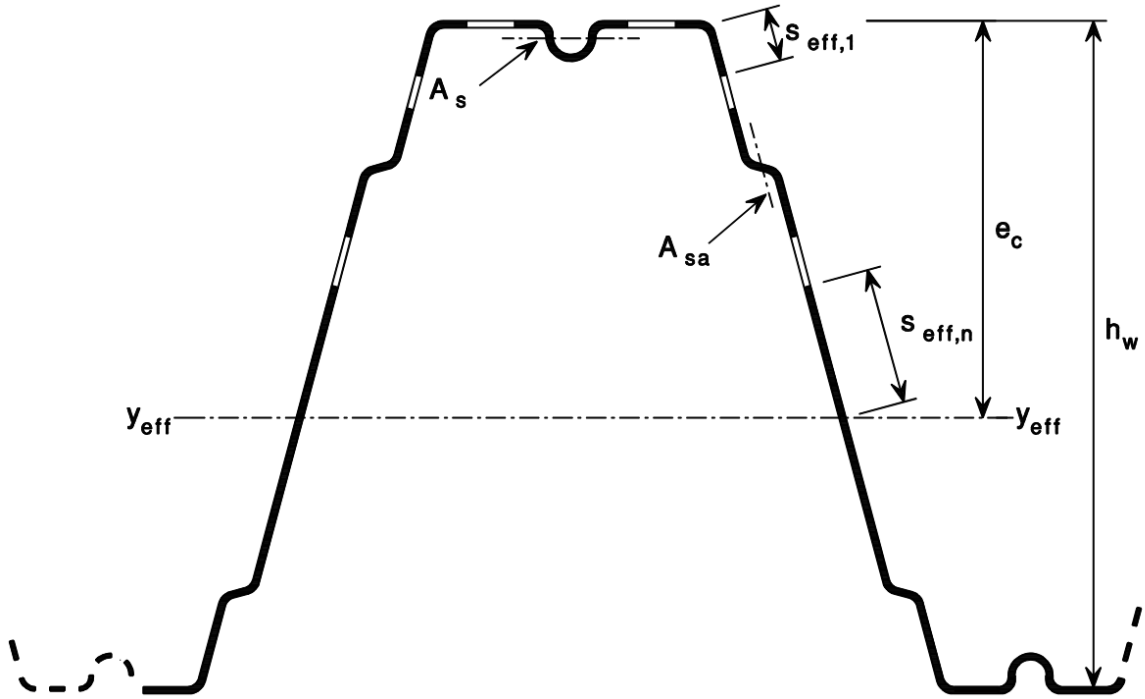
$\sigma_{cr,sa}$ là ứng suất tới hạn đàn hồi của sườn cứng đơn của bản bụng, hoặc sườn cứng gần với bản cánh chịu nén trong bản bụng có hai sườn cứng, xem 5.5.3.4.3(7);

A_s là diện tích tiết diện ngang hiệu dụng của sườn cứng trung gian của bản cánh;

A_{sa} là diện tích tiết diện ngang hiệu dụng của sườn cứng trung gian của bản bụng;

$\beta_s = 1-\left(h_a + 0,5h_{ha}\right)/e_c$ cho định hình chịu uốn;

$\beta_s = 1$ cho định hình chịu nén dọc trục.



Hình 5.14 – Tấm định hình hình thang có các sườn cứng ở bản cánh và các sườn cứng ở bản bụng

5.6 Mất ổn định bản giữa các chốt liên kết

(1) Mất ổn định bản giữa các chốt liên kết cần được kiểm tra đối với các phần tử cấu tạo từ các bản và các chốt cơ khí, xem Bảng 3.3 của TCVN X1993-1-8.

6 Các trạng thái giới hạn cực hạn

6.1 Khả năng chịu lực của tiết diện ngang

6.1.1 Quy định chung

(1) Có thể thiết kế với sự trợ giúp của thử nghiệm thay vì tính toán đối với bất kỳ độ loại bền nào.

CHÚ THÍCH: Thiết kế với sự trợ giúp của thử nghiệm thường có lợi khi đánh giá khả năng chịu lực của tiết diện ngang có tỉ số b_p/t tương đối lớn, ví dụ trong ứng xử không đàn hồi, uốn cục bộ bản bụng hoặc trễ cắt.

(2) Đối với thiết kế bằng tính toán, ảnh hưởng của mất ổn định cục bộ cần được kể đến bằng cách sử dụng các đặc trưng của tiết diện hiệu dụng được xác định theo các quy định trong 5.5.

(3) Khả năng chống mất ổn định của cấu kiện cần được kiểm tra theo các quy định trong 6.2.

(4) Trong các cấu kiện có tiết diện ngang nhạy với méo, cần kể đến mất ổn định ngang tiềm năng của các bản cánh chịu nén và uốn ngang của các bản cánh nói chung, xem 5.5 và 10.1.

6.1.2 Kéo dọc trục

(1) Khả năng chịu lực thiết kế của tiết diện ngang chịu kéo đều $N_{t,Rd}$ cần được xác định theo công thức:

$$N_{t,Rd} = \frac{f_{ya} A_g}{\gamma_{M0}} \quad \text{nhưng} \quad N_{t,Rd} \le F_{n,Rd} \tag{6.1}$$

trong đó:

A_g là diện tích tiết diện ngang nguyên;

$F_{n,Rd}$ là khả năng chịu lực tiết diện thực theo 8.4 cho loại chốt cơ khi phù hợp;

f_{ya} là giới hạn chảy trung bình, xem 3.3.2.

(2) Khả năng chịu lực thiết kế của thép góc chịu kéo đều liên kết một cạnh, hoặc các loại tiết diện khác liên kết qua phần vươn bản cánh, cần được xác định theo các chỉ dẫn trong 3.10.3 của TCVN X1993-1-8.

6.1.3 Nén dọc trục

(1) Khả năng chịu lực thiết kế của tiết diện ngang chịu nén $N_{c,Rd}$ cần được xác định như sau:

– Nếu diện tích hiệu dụng A_{eff} nhỏ hơn diện tích tiết diện nguyên A_g (tiết diện giảm do mất ổn định cục bộ và/hoặc mất ổn định méo):

$$N_{c,Rd} = \frac{A_{eff} f_{yb}}{\gamma_{M0}} \tag{6.2}$$

– Nếu diện tích hiệu dụng A_{eff} bằng diện tích tiết diện nguyên A_g (tiết diện giảm do mất ổn định cục bộ hoặc mất ổn định méo):

$$N_{c.Rd} = \frac{A_g \left(f_{yb} + \left(f_{ya} - f_{yb} \right) \cdot 4 \cdot \left(1 - \bar{\lambda}_e / \bar{\lambda}_{e0} \right) \right)}{\gamma_{M0}} \quad \text{nhưng không lớn hơn} \quad A_g f_{ya} / \gamma_{M0} \tag{6.3}$$

trong đó:

A_{eff} là diện tích tiết diện ngang hiệu dụng, xác định theo 5.5 với giả thiết là ứng suất nén phân bố đều bằng f_{yb};

f_{ya} là giới hạn chảy trung bình, xem 3.2.2;

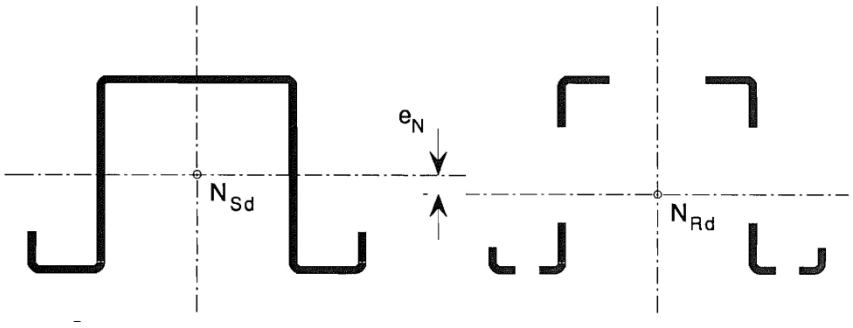
f_{yb} là giới hạn chảy cơ bản;

Đối với phần tử phẳng: $\bar{\lambda}_e = \bar{\lambda}_p$ và $\bar{\lambda}_{e0} = 0{,}673$, xem 5.5.2;

Đối với phần tử được tăng cứng: $\bar{\lambda}_e = \bar{\lambda}_d$ và $\bar{\lambda}_{e0} = 0{,}65$, xem 5.5.3.

(2) Nội lực dọc trong cấu kiện cần được coi như tác dụng tại trọng tâm của tiết diện ngang nguyên của nó. Đây là giả thiết thiên về an toàn, nhưng có thể được sử dụng mà không cần phân tích thêm. Phân tích sâu hơn có thể đưa ra tình huống thực tế hơn về nội lực, chẳng hạn trong trường hợp phân bố đều lực dọc trong phần tử nén.

(3) Khả năng chịu nén thiết kế của tiết diện ngang được xác định khi tải trọng dọc trục tác dụng tại trọng tâm của tiết diện ngang hiệu dụng của nó. Nếu nó không trùng với trọng tâm của tiết diện ngang nguyên, thì độ chuyển dịch e_N của các trục trung tâm (xem Hình 6.1) cần được kể đến bằng cách sử dụng phương pháp nêu trong 6.1.9. Khi chuyển dịch của các trục trung hòa cho kết quả có lợi khi kiểm tra ứng suất, thì chỉ được bỏ qua chuyển dịch này nếu chuyển dịch này đã được tính theo giới hạn chảy chứ không phải với ứng suất nén thực tế.



Tiết diện ngang nguyên Tiết diện ngang hiệu dụng

Hình 6.1 – Tiết diện ngang hiệu dụng chịu nén

6.1.4 Mô men uốn

6.1.4.1 Khả năng chịu lực đàn hồi và đàn dẻo với chảy dẻo tại cánh chịu nén

(1) Khả năng chịu uốn thiết kế của tiết diện ngang khi uốn quanh một trục chính $M_{c,Rd}$ được xác định như sau: (xem Hình 6.2):

– Nếu mô đun chống uốn hiệu dụng W_{eff} nhỏ hơn mô đun chống uốn đàn hồi của tiết diện nguyên W_{el}:

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{eff} f_{yb}}{\gamma_{M0}} \tag{6.4}$$

– Nếu mô đun chống uốn hiệu dụng W_{eff} bằng mô đun chống uốn đàn hồi của tiết diện nguyên W_{el}:

$$M_{c,Rd} = \frac{f_{yb}\left(W_{el} + \left(W_{pl} - W_{el}\right) \cdot 4 \cdot \left(1 - \bar{\lambda}_{e\max} / \bar{\lambda}_{e0}\right)\right)}{\gamma_{M0}} \quad \text{nhưng không lớn hơn} \quad \frac{W_{pl} f_{yb}}{\gamma_{M0}} \tag{6.5}$$

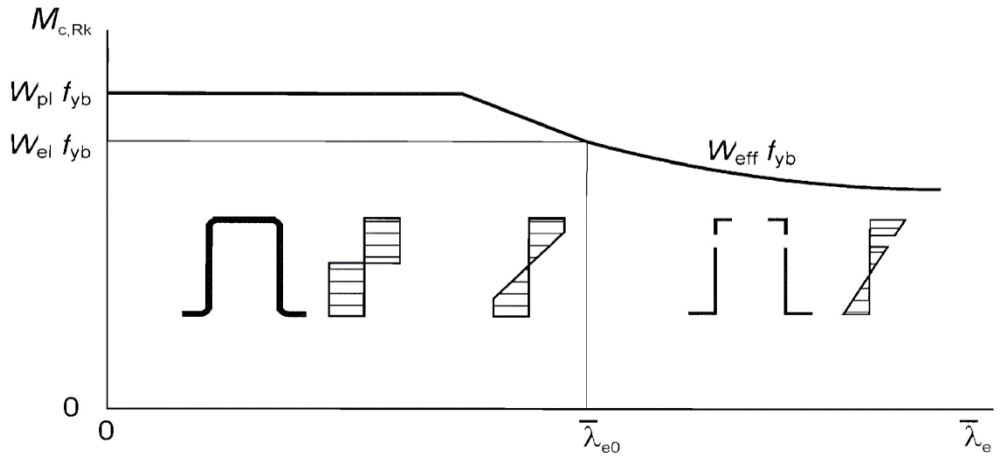
trong đó:

$\overline{\lambda}_{e\max}$ là độ mảnh của cấu kiện ứng với giá trị lớn nhất của $\overline{\lambda}_e / \overline{\lambda}_{e0}$

Đối với phần tử phẳng có hai gối đỡ: $\overline{\lambda}_e = \overline{\lambda}_p$ và $\overline{\lambda}_{e0} = 0{,}5 + \sqrt{0{,}25 - 0{,}055(3+\psi)}$, trong đó ψ là tỉ số ứng suất, xem 5.5.2;

Đối với phần tử vươn: $\overline{\lambda}_e = \overline{\lambda}_p$ và $\overline{\lambda}_{e0} = 0{,}673$, xem 5.5.2.

Khả năng chịu uốn thu được như là hàm của độ mảnh tương đối thể hiện trên Hình 6.2.



Hình 6.2 – Khả năng chịu uốn là hàm của độ mảnh

(2) Biểu thức (6.5) được áp dụng nếu các điều kiện sau thỏa mãn:

a) Mô men uốn tác dụng chỉ quanh một trục chính của tiết diện ngang;

b) Cấu kiện không chịu xoắn hoặc chịu mất ổn định dạng xoắn, mất ổn định dạng uốn xoắn đồng thời hoặc mất ổn định dạng xoắn ngang;

c) Góc ϕ giữa bản bụng (xem Hình 6.5) và bản cánh lớn hơn 60°.

(3) Nếu (2) không thỏa mãn thì có thể sử dụng biểu thức sau:

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{el} f_{ya}}{\gamma_{M0}} \tag{6.6}$$

(4) Mô đun chống uốn hiệu dụng của tiết diện W_{eff} dựa trên tiết diện hiệu dụng chỉ chịu mô men uốn quanh trục chính tương ứng, với ứng suất lớn hất $\sigma_{\max,Ed}$ bằng f_{yb} / γ_{M0}, có kể đến ảnh hưởng của mất ổn định cục bộ và mất ổn định méo như quy định trong 5.5. Nếu có trễ cắt thì cũng cần kể đến ảnh hưởng của nó.

(5) Tỉ số $\psi = \sigma_2 / \sigma_1$ dùng để xác định tỉ lệ hiệu dụng của bản bụng có thể tính được bằng cách sử dụng diện tích hiệu dụng của cánh chịu nén nhưng với diện tích tiết diện nguyên của bản bụng, xem Hình 6.3.

(6) Nếu sự chảy dẻo xuất hiện đầu tiên tại mép chịu nén của tiết diện ngang, khi không có điều kiện nào nêu trong 6.1.4.2 thỏa mãn, thì giá trị của W_{eff} cần được tính dựa trên sự phân bố tuyến tính của ứng suất trên tiết diện ngang.

(7) Đối với uốn hai trục, có thể sử dụng điều kiện sau:

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{cy,Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{cz,Rd}} \le 1 \qquad (6.7)$$

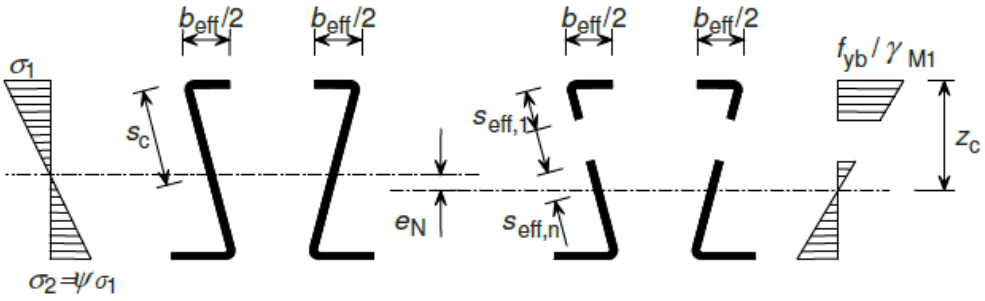
trong đó:

$M_{y,Ed}$ là mô men uốn quanh trục chính khỏe;

$M_{z,Ed}$ là mô men uốn quanh trục chính yếu;

$M_{cy,Rd}$ là khả năng chịu uốn của tiết diện ngang nếu nó chỉ chịu mô men quanh trục chính y-y;

$M_{cz,Rd}$ là khả năng chịu uốn của tiết diện ngang nếu nó chỉ chịu mô men quanh trục chính z-z.



Hình 6.3 - Tiết diện ngang hiệu dụng khi tính khả năng chịu uốn

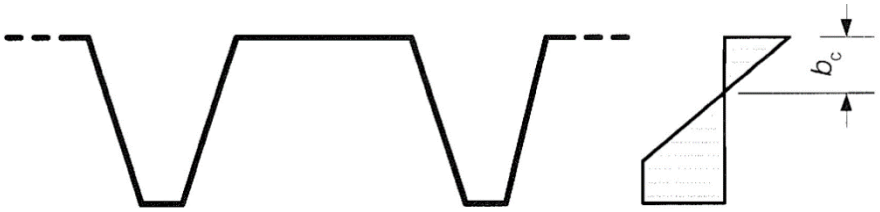
(8) Nếu sự phân bố lại mô men uốn được giả thiết trong phân tích tổng thể, nó cần được thể hiện bằng kết quả thử nghiệm phù hợp với chương 9 mà các điều khoản nêu trong 7.2 thỏa mãn.

6.1.4.2 Khả năng chịu lực đàn hồi và đàn – dẻo với sự chảy dẻo chỉ ở cánh chịu kéo

(1) Nếu mô men uốn tác dụng chỉ quanh một trục chính của tiết diện ngang, và nếu sự chảy dẻo xuất hiện đầu tiên tại mép chịu kéo, thì dự trữ dẻo trong vùng chịu kéo có thể được huy động hết mà không giới hạn biến dạng nào đến khi ứng suất nén lớn nhất $\sigma_{com,Ed}$ đạt tới f_{yb} / γ_{M0}. Điều khoản này chỉ xét trường hợp uốn. Đối với nén dọc trục kết hợp uốn, cần áp dụng 6.1.8 hoặc 6.1.9.

(2) Trong trường hợp này, mô đun chống uốn dẻo một phần hiệu dụng $W_{pp,eff}$ cần được tính dựa trên sự phân bố ứng suất hai đoạn thẳng trong vùng chịu kéo nhưng tuyến tính trong vùng chịu nén.

(3) Khi không có phương pháp phân tích chi tiết hơn, thì chiều rộng hiệu dụng b_{eff} của cấu kiện chịu gradient ứng suất có thể thu được bằng cách sử dụng 5.5.2 dựa trên b_c trên phân bố ứng suất hai đoạn thẳng (xem Hình 6.4), với giả thiết $\psi = -1$.



Hình 6.4 – Đo b_c để xác định chiều rộng hiệu dụng

(4) Nếu sự phân bố lại mô men uốn được giả thiết trong phân tích tổng thể, thì nó cần được chứng mính bằng kết quả thử nghiệm phù hợp với chương 9 mà các điều khoản nêu trong 7.2 thỏa mãn.

6.1.4.3 Hiệu ứng trễ cắt

(1) Hiệu ứng trễ cắt cần được kể đến phù hợp với TCVN X1993-1-5.

6.1.5 Lực cắt

(1) Khả năng chịu cắt thiết kế $V_{b,Rd}$ cần được xác định theo công thức:

$$V_{b,Rd} = \frac{\frac{h_w}{\sin\phi} t f_{bv}}{\gamma_{M0}} \tag{6.8}$$

trong đó:

f_{bv} là cường độ chịu cắt có xét đến mất ổn định, lấy theo Bảng 6.1;

h_w là chiều cao bản bụng đo giữa đường trung bình của các bản cánh, xem Hình 5.1(c);

ϕ là góc của bản bụng so với các bản cánh, xem Hình 6.5.

Bảng 6.1 – Cường độ chịu mất ổn định do cắt f_{bv}

Độ mảnh tương đối của bản bụng	Bản bụng không được tăng cứng tại gối tựa	Bản bụng được tăng cứng tại gối tựa[1)]
$\bar{\lambda}_w \le 0,83$	$0,58 f_{yb}$	$0,58 f_{yb}$
$0,83 < \bar{\lambda}_w < 1,40$	$0,48 f_{yb} / \bar{\lambda}_w$	$0,48 f_{yb} / \bar{\lambda}_w$
$\bar{\lambda}_w \ge 1,40$	$0,67 f_{yb} / \bar{\lambda}_w^2$	$0,48 f_{yb} / \bar{\lambda}_w$
[1)] Việc bố trí sườn tại gối đỡ, chẳng hạn như dùng bản kẹp thép góc, được sử dụng để ngăn chặn sự biến dạng của bản bụng và được thiết kế để chống lại phản lực gối tựa.		

(2) Độ mảnh tương đối $\bar{\lambda}_w$ cần được xác định theo công thức:

– Đối với bản bụng không có sườn cứng dọc:

$$\bar{\lambda}_w = 0{,}346 \frac{s_w}{t} \sqrt{\frac{f_{yb}}{E}} \tag{6.10a}$$

– Đối với bản bụng có sườn cứng dọc, xem hình 6.5:

$$\bar{\lambda}_w = 0{,}346 \frac{s_d}{t} \sqrt{\frac{5{,}34}{k_\tau} \frac{f_{yb}}{E}} \quad \text{nhưng} \quad \bar{\lambda}_w \geq 0{,}346 \frac{s_p}{t} \sqrt{\frac{f_{yb}}{E}} \tag{6.10b}$$

với:

$$k_\tau = 5{,}34 + \frac{2{,}10}{t} \left(\frac{\sum I_s}{s_d} \right)^{1/3}$$

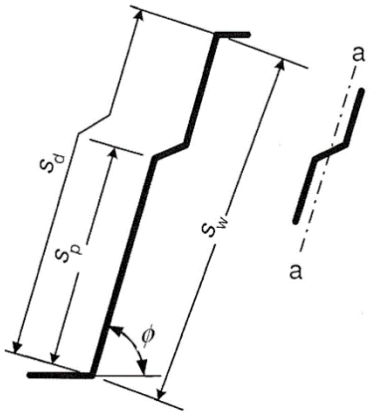
trong đó:

I_s là mô men quán tính của một sườn cứng dọc đơn lẻ như đã xác định trong 5.5.3.4.3(7), quanh trục a-a như trên Hình 6.5;

s_d là tổng chiều cao nghiêng khai triển của bản bụng như trên Hình 6.5;

s_p là chiều cao nghiêng của phần tử phẳng lớn nhất trong bản bụng, xem Hình 6.5;

s_w là chiều cao nghiêng của bản bụng, như trên Hình 6.5, giữa các điểm giữa của các góc, các điểm này là các điểm kinh tuyến của các góc, xem Hình 5.1(c).



Hình 6.5 – Bản bụng được tăng cứng bằng sườn dọc

6.1.6 Mô men xoắn

(1) Khi tải trọng tác dụng lệch tâm so với tâm cắt của tiết diện ngang, thì ảnh hưởng của xoắn cần được kể đến.

(2) Khi xác định ảnh hưởng của mô men xoắn, thì trục trung tâm và tâm cắt và tâm xoay cần được lấy của tiết diện ngang nguyên.

(3) Ứng suất pháp do lực dọc N_{Ed} và các mô men uốn $M_{y,Ed}$ và $M_{z,Ed}$ cần được tính dựa trên tiết diện ngang hiệu dụng tương ứng được sử dụng trong 6.1.2 đến 6.1.4. Các ứng suất tiếp do các lực cắt ngang, ứng suất tiếp do xoắn đều (St. Venant) và các ứng suất pháp và ứng suất tiếp do vênh cần được tính dựa trên các đặc trưng của tiết diện ngang nguyên.

(4) Nếu tiết diện ngang chịu xoắn, thì các điều kiện sau cần được thỏa mãn (được phép dùng giới hạn chảy trung bình, xem 3.3.2):

$$\sigma_{tot,Ed} \le f_{ya} / \gamma_{M0} \tag{6.11a}$$

$$\tau_{tot,Ed} \le \frac{f_{ya} / \sqrt{3}}{\gamma_{M0}} \tag{6.11b}$$

$$\sqrt{{\sigma_{tot,Ed}}^2 + 3{\tau_{tot,Ed}}^2} \le 1{,}1\frac{f_{ya}}{\gamma_{M0}} \tag{6.11c}$$

trong đó:

$\sigma_{tot,Ed}$ là tổng ứng suất pháp thiết kế, được tính dựa trên tiết diện ngang hiệu dụng tương ứng;

$\tau_{tot,Ed}$ là tổng ứng suất tiếp thiết kế, được tính dựa trên tiết diện ngang nguyên.

(5) Tổng ứng suất pháp $\sigma_{tot,Ed}$ và tổng ứng suất tiếp $\tau_{tot,Ed}$ cần được xác định theo các công thức:

$$\sigma_{tot,Ed} = \sigma_{N,Ed} + \sigma_{My,Ed} + \sigma_{Mz,Ed} + \sigma_{w,Ed} \tag{6.12a}$$

$$\tau_{tot,Ed} = \tau_{Vy,Ed} + \tau_{Vz,Ed} + \tau_{t,Ed} + \tau_{w,Ed} \tag{6.12b}$$

trong đó:

$\sigma_{My,Ed}$ là ứng suất pháp do mô men uốn $M_{y,Ed}$ (sử dụng tiết diện ngang hiệu dụng);

$\sigma_{Mz,Ed}$ là ứng suất pháp do mô men uốn $M_{z,Ed}$ (sử dụng tiết diện ngang hiệu dụng);

$\sigma_{N,Ed}$ là ứng suất pháp do lực dọc N_{Ed} (sử dụng tiết diện ngang hiệu dụng);

$\sigma_{w,Ed}$ là ứng suất pháp do vênh (sử dụng tiết diện ngang hiệu dụng);

$\tau_{Vy,Ed}$ là ứng suất tiếp do lực cắt ngang $V_{y,Ed}$ (sử dụng tiết diện ngang hiệu dụng);

$\tau_{Vz,Ed}$ là ứng suất tiếp do lực cắt ngang $V_{z,Ed}$ (sử dụng tiết diện ngang hiệu dụng);

$\tau_{t,Ed}$ là ứng suất tiếp do xoắn đều (St. Venant) (sử dụng tiết diện ngang hiệu dụng);

$\tau_{w,Ed}$ là ứng suất tiếp do vênh (sử dụng tiết diện ngang hiệu dụng).

6.1.7 Lực ngang cục bộ

6.1.7.1 Quy định chung

(1) Để tránh dập cục bộ, uốn cục bộ hoặc mất ổn định trong bản bụng chịu phản lực gối tựa hoặc lực ngang cục bộ khác tác dụng lên bản cánh, lực ngang F_{Ed} phải thỏa mãn:

$$F_{Ed} \le R_{w,Rd} \tag{6.13}$$

Trong đó:

$R_{w,Rd}$ là khả năng chịu lực ngang cục bộ của bản bụng.

(2) Khả năng chịu lực ngang cục bộ của bản bụng $R_{w,Rd}$ được xác định như sau:

a) Đối với bản bụng không được tăng cứng:

– Đối với tiết diện ngang với bản bụng đơn: theo 6.1.7.2;

– Đối với các trường hợp khác, bao gồm cả tấm: theo 6.1.7.3;

b) Đối với bản bụng được tăng cứng: theo 6.1.7.4.

(3) Khi tải trọng cục bộ hoặc phản lực gối tựa tác dụng thông qua một bản kẹp thép góc được bố trí để ngăn ngừa méo bản bụng và được thiết kế để chịu lực ngang cục bộ, thì khả năng chịu lực ngang của bản bụng không cần kể đến.

(4) Trong dầm tiết diện ngang chữ I tổ hợp từ hai thép góc, hoặc với tiết diện ngang tương tự mà trong đó hai thành phần liên kết với nhau thông qua bản bụng, thì liên kết giữa các bản bụng cần được bố trí gần nhất có thể theo thực tế so với bản cánh của dầm.

6.1.7.2 Tiết diện ngang với bản bụng đơn không được tăng cứng

(1) Đối với tiết diện ngang với bản bụng đơn không được tăng cứng, xem Hình 6.6, thì khả năng chịu lực ngang cục bộ của bản bụng có thể được xác định như quy định trong (2) nếu tiết diện ngang thỏa mãn các điều kiện sau:

$$h_w / t \le 200 \tag{6.14a}$$

$$r / t \le 6 \tag{6.14b}$$

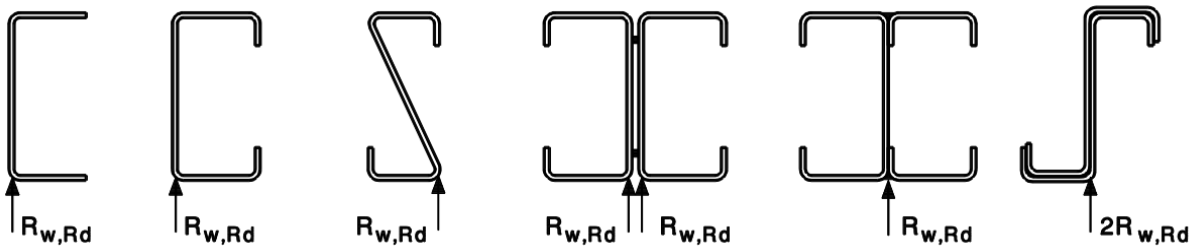
$$45^o \le \phi \le 90^o \tag{6.14c}$$

trong đó:

h_w là chiều cao bản bụng giữa các đường trung bình của các bản cánh;

r là bán kính trong của góc uốn;

ϕ là góc của bản bụng với các bản cánh, tính bằng độ.



Hình 6.6 – Các ví dụ tiết diện ngang với một bản bụng

(2) Đối với tiết diện ngang mà thỏa mãn điều kiện quy định trong (1), thì khả năng chịu lực ngang cục bộ của bản bụng $R_{w,Rd}$ có thể được xác định như trên Hình 6.7.

(3) Giá trị các hệ số k_1 tới k_5 cần được xác định như sau:

$k_1 = 1{,}33 - 0{,}33k$

$k_2 = 1{,}15 - 0{,}15r/t$ nhưng $k_2 \geq 0{,}50$ và $k_2 \leq 1{,}0$

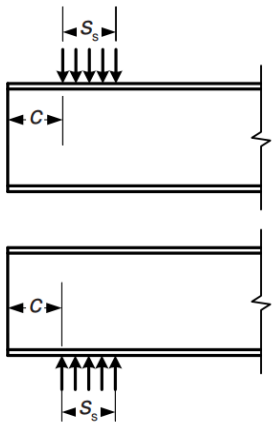
$k_3 = 0{,}7 + 0{,}3(\phi/90)^2$

$k_4 = 1{,}22 - 0{,}22k$

$k_5 = 1{,}06 - 0{,}06r/t$ nhưng $k_5 \leq 1{,}0$

trong đó:

$k = f_{yb}/228$ (với f_{yb} tính bằng N/mm^2).



a) Đối với tải trọng cục bộ đơn lẻ hoặc phản lực gối tựa

i) $c \le 1{,}5h_w$ cánh đầu tự do:

- đối với tiết diện ngang với các cánh được tăng cứng:

$$R_{w,Rd} = \frac{k_1 k_2 k_3 \left(9{,}04 - \frac{h_w/t}{60}\right)\left(1 + 0{,}01\frac{s_s}{t}\right) t^2 f_{yb}}{\gamma_{M1}} \quad (6.15a)$$

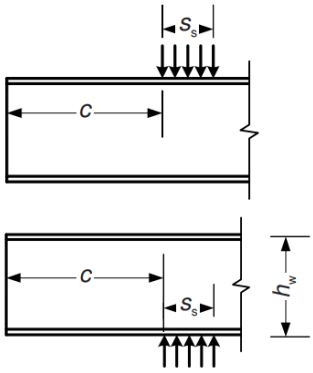
- đối với tiết diện ngang với các cánh không được tăng cứng:

+ Nếu $s_s/t \le 60$:

$$R_{w,Rd} = \frac{k_1 k_2 k_3 \left(5{,}92 - \frac{h_w/t}{132}\right)\left(1 + 0{,}01\frac{s_s}{t}\right) t^2 f_{yb}}{\gamma_{M1}} \quad (6.15b)$$

+ Nếu $s_s/t > 60$:

$$R_{w,Rd} = \frac{k_1 k_2 k_3 \left(5{,}92 - \frac{h_w/t}{132}\right)\left(0{,}71 + 0{,}015\frac{s_s}{t}\right) t^2 f_{yb}}{\gamma_{M1}} \quad (6.15c)$$



ii) $c > 1{,}5h_w$ cách đầu tự do:

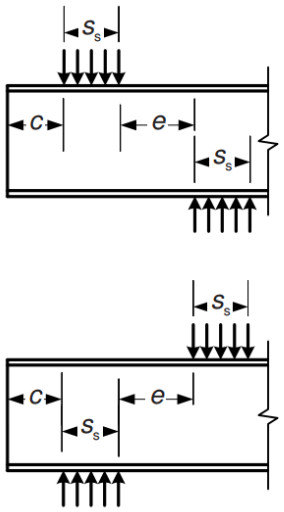
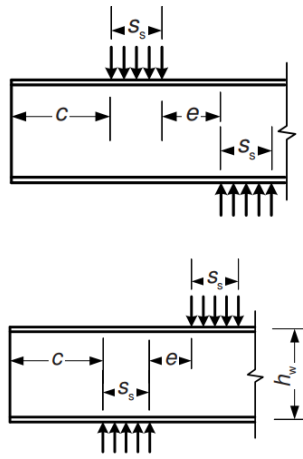
- Nếu $s_s/t \le 60$:

$$R_{w,Rd} = \frac{k_3 k_4 k_5 \left(14{,}7 - \frac{h_w/t}{49{,}5}\right)\left(1 + 0{,}007\frac{s_s}{t}\right) t^2 f_{yb}}{\gamma_{M1}} \quad (6.15d)$$

- Nếu $s_s/t > 60$:

$$R_{w,Rd} = \frac{k_3 k_4 k_5 \left(14{,}7 - \frac{h_w/t}{49{,}5}\right)\left(0{,}75 + 0{,}011\frac{s_s}{t}\right) t^2 f_{yb}}{\gamma_{M1}} \quad (6.15e)$$

Hình 6.7a): Tải trọng cục bộ và gối tựa – tiết diện ngang với bản bụng đơn

<table>
<tr>
<td> 
</td>
<td>b) Đối với hai lực ngang cục bộ đối diện nhau và cách nhau một khoảng nhỏ hơn $1{,}5h_w$:
i) $c \le 1{,}5h_w$ cách đầu tự do:
$$R_{w,Rd} = \frac{k_1 k_2 k_3 \left(6{,}66 - \frac{h_w/t}{64}\right)\left(1+0{,}01\frac{s_s}{t}\right)t^2 f_{yb}}{\gamma_{M1}} \quad (6.15f)$$</td>
</tr>
<tr>
<td> 
</td>
<td>ii) $c > 1{,}5h_w$ cách đầu tự do:
$$R_{w,Rd} = \frac{k_3 k_4 k_5 \left[21{,}0 - \frac{h_w/t}{16{,}3}\right]\left[1+0{,}0013\frac{s_s}{t}\right]t^2 f_{yb}}{\gamma_{M1}} \quad (6.15g)$$</td>
</tr>
</table>

Hình 6.7b) – Tải trọng cục bộ và gối tựa – tiết diện ngang với bản bụng đơn

(4) Nếu ngăn ngừa được bản bụng bị xoay hoặc bằng ngàm thích hợp hoặc nhờ hình học của tiết diện (ví dụ: dầm chữ I, xem hình thứ tư và thứ năm từ bên trái trong hình 6.6) thì khả năng chịu lực ngang cục bộ của bản bụng $R_{w,Rd}$ có thể được xác định như sau:

a) Đối với tải trọng đơn lẻ hoặc phản lực gối tựa:

i) $c < 1{,}5h_w$ (gần hoặc ở tại đầu tự do):

đối với tiết diện ngang của cánh được tăng cứng hoặc không được tăng cứng:

$$R_{w,Rd} = \frac{k_7\left[8{,}8 + 1{,}1\sqrt{\frac{s_s}{t}}\right]t^2 f_{yb}}{\gamma_{M1}} \quad (6.16a)$$

ii) $c > 1{,}5h_w$ (xa đầu tự do):

đối với tiết diện ngang của cánh được tăng cứng hoặc không được tăng cứng:

$$R_{w,Rd} = \frac{k_5^* k_6 \left[13,2 + 2,87\sqrt{\frac{s_s}{t}} \right] t^2 f_{yb}}{\gamma_{M1}} \quad (6.16b)$$

b) Đối với tải trọng ngược chiều hoặc phản lực gối tựa:

i) $c < 1,5h_w$ (gần hoặc ở tại đầu tự do):

đối với tiết diện ngang của cánh được tăng cứng hoặc không được tăng cứng:

$$R_{w,Rd} = \frac{k_{10} k_{11} \left[8,8 + 1,1\sqrt{\frac{s_s}{t}} \right] t^2 f_{yb}}{\gamma_{M1}} \quad (6.16c)$$

ii) $c > 1,5h_w$ (tải trọng hoặc phản lực gối tựa xa đầu tự do):

đối với tiết diện ngang của cánh được tăng cứng hoặc không được tăng cứng:

$$R_{w,Rd} = \frac{k_8 k_9 \left[13,2 + 2,87\sqrt{\frac{s_s}{t}} \right] t^2 f_{yb}}{\gamma_{M1}} \quad (6.16d)$$

trong đó các giá trị của các hệ số k_5^* đến k_{11} được xác định như sau:

$k_5^* = 1,49 - 0,53k$ nhưng $k_5^* \geq 0,6$

$k_6 = 0,88 - 0,12t / 1,9$

$k_7 = 1 + h_w / (t \times 750)$ nếu $s_s / t < 150$; $k_7 = 1,20$ nếu $s_s / t > 150$

$k_8 = 1 / k$ nếu $s_s / t < 66,5$; $k_8 = (1,10 - h_w / (t \times 665)) / k$ nếu $s_s / t > 66,5$

$k_9 = 0,82 + 0,15t / 1,9$

$k_{10} = (0,98 - h_w / (t \times 865)) / k$

$k_{11} = 0,64 + 0,31t / 1,9$

trong đó:

$k = f_{yb} / 228$ (với f_{yb} tính bằng N/mm^2);

s_s là chiều dài danh định của gối tựa cứng.

Trong trường hợp hai lực ngang cục bộ bằng nhau và ở hai phía đối diện nhau được phân bố trên những chiều dài gối tựa không bằng nhau, thì cần sử dụng giá trị nhỏ hơn của s_s .

6.1.7.3 Tiết diện ngang với hai hay nhiều bản bụng không được tăng cứng

(1) Trong tiết diện ngang với hai hay nhiều bản bụng, bao gồm cả tấm, xem Hình 6.8, khả năng chịu lực ngang cục bộ của bản bụng không được tăng cứng cần được xác định theo quy định trong (2) nếu cả hai điều kiện sau đây thỏa mãn:

- Khoảng cách thông thủy *c* từ chiều dài gối tựa của phản lực gối tựa hoặc tải trọng cục bộ đến đầu tự do, xem Hình 6.9, ít nhất bằng 40 mm;
- Tiết diện ngang thỏa mãn các điều kiện sau:

$$r/t \le 10 \tag{6.17a}$$

$$h_w/t \le 200 \sin\phi \tag{6.17b}$$

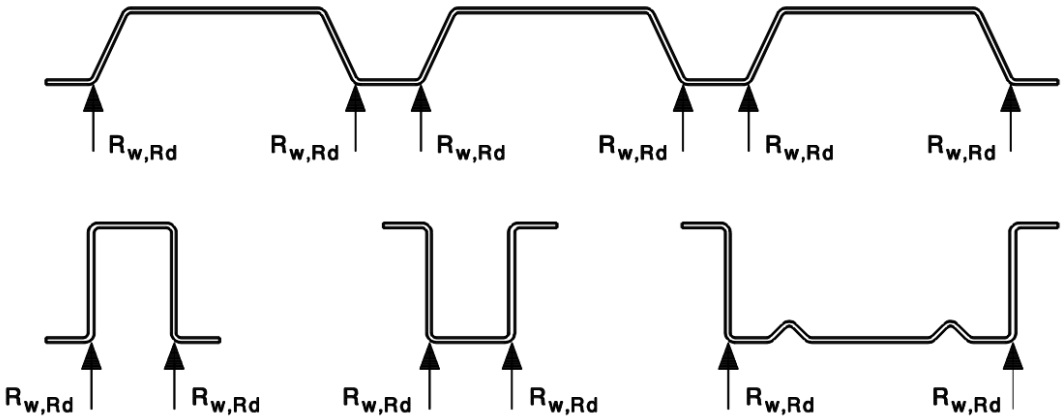
$$45^o \le \phi \le 90^o \tag{6.17c}$$

trong đó:

h_w là chiều cao bản bụng giữa các đường trung bình của các bản cánh;

r là bán kính trong của góc uốn;

ϕ là góc giữa bản bụng và các bản cánh, tính bằng độ.



Hình 6.8 – Các ví dụ tiết diện ngang với hai hay nhiều bản bụng

(2) Khi cả hai điều kiện nêu trong (1) thỏa mãn, thì khả năng chịu lực ngang cục bộ $R_{w,Rd}$ của mỗi bản bụng của tiết diện ngang được xác định theo công thức:

$$R_{w,Rd} = \frac{\alpha t^2 \sqrt{f_{yb} E}\left(1 - 0{,}1\sqrt{r/t}\right)\left(0{,}5 + \sqrt{0{,}02\, l_a/t}\right)\left(2{,}4 + \left(\phi/90\right)^2\right)}{\gamma_{M1}} \tag{6.18}$$

trong đó:

l_a là chiều dài gối tựa hiệu dụng ứng với hạng tương ứng, xem (3);

α là hệ số cho hạng tương ứng, xem (3).

(3) Giá trị của l_a và α cần được xác định theo (4) và (5) tương ứng. giá trị thiết kế lớn nhất là $l_a = 200\ \text{mm}$. Khi gối tựa là tiết diện tạo hình nguội với một bản bụng hoặc ống tròn, thì s_s lấy giá trị bằng 10 mm. Hạng tương ứng (1 hoặc 2) cần được lấy dựa trên khoảng cách thông thủy *e* giữa tải trọng cục bộ và gối tựa gần nhất, hoặc khoảng cách thông thủy *c* từ phản lực gối tựa hoặc tải trọng cục bộ đến đầu tự do, xem Hình 6.9.

(4) Giá trị của chiều dài gối tựa hiệu dụng l_a cần được xác định như sau:

a) Đối với hạng 1: $l_a = 10\ \text{mm}$ (6.19a)

b) Đối với hạng 2:

$\beta_v \le 0,2$: $l_a = s_s$ (6.19b)

$\beta_v \ge 0,3$: $l_a = 10\ \text{mm}$ (6.19c)

$0,2 < \beta_v < 0,3$: lấy nội suy tuyến tính giữa các giá trị của l_a tính được với $\beta_v = 0,2$ và $\beta_v = 0,3$ với:

$$\beta_v = \frac{|V_{Ed,1}| - |V_{Ed,2}|}{|V_{Ed,1}| + |V_{Ed,2}|}$$

trong đó: $|V_{Ed,1}|$ và $|V_{Ed,2}|$ là các giá trị tuyệt đối của các lực cắt ngang ở mỗi phía của tải trọng cục bộ hoặc phản lực gối tựa, và $|V_{Ed,1}| \ge |V_{Ed,2}|$, và s_s là chiều dài của gối tựa cứng.

(5) Giá trị của hệ số α cần được xác định như sau:

a) Đối với hạng 1:

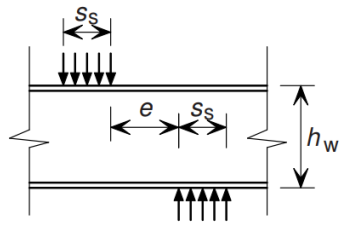
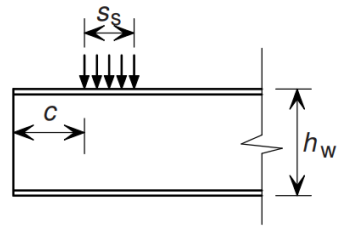
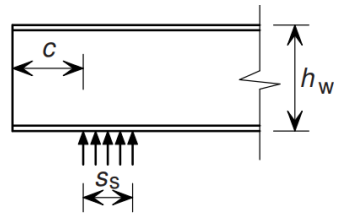
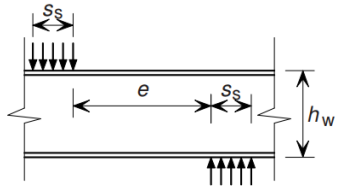
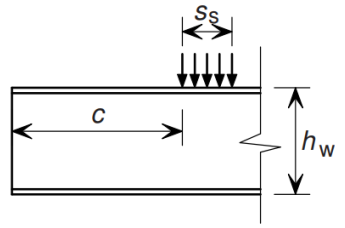
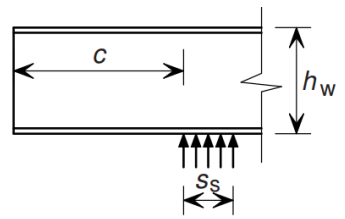
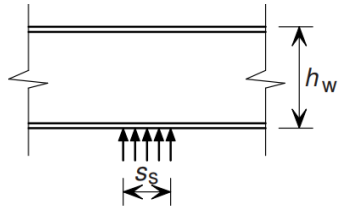
Đối với tấm định hình: $\alpha = 0,075$ (6.20a)

Đối với máng và tiết diện dạng mũ: $\alpha = 0,057$ (6.20b)

b) Đối với hạng 2:

Đối với tấm định hình: $\alpha = 0,15$ (6.20c)

Đối với máng và tiết diện dạng mũ: $\alpha = 0,115$ (6.20d)

	Hạng 1 Tải trọng cục bộ tác dụng với $e \le 1{,}5h_w$ cách gối tựa gần nhất
	Hạng 1 Tải trọng cục bộ tác dụng với $c \le 1{,}5h_w$ cách đầu tự do
	Hạng 1 Phản lực tại gối tựa biên với $c \le 1{,}5h_w$ cách đầu tự do
	Hạng 2 Tải trọng cục bộ tác dụng với $e > 1{,}5h_w$ cách gối tựa gần nhất
	Hạng 2 Tải trọng cục bộ tác dụng với $c > 1{,}5h_w$ cách đầu tự do
	Hạng 2 Phản lực tại gối tựa biên với $c > 1{,}5h_w$ cách đầu tự do
	Hạng 2 Phản lực tại gối tựa trung gian

Hình 6.9 – Tải trọng cục bộ và gối tựa – Hạng của tiết diện ngang với hai hay nhiều bản bụng

6.1.7.4 Các bản bụng được tăng cứng

(1) Khả năng chịu lực ngang cục bộ của bản bụng được tăng cứng có thể được xác định như quy định trong (2) đối với tiết diện ngang với các sườn cứng bản bụng dọc được uốn sao cho hai nếp uốn trên bản bụng nằm đối diện với đường trục của bản bụng nối các giao điểm giữa đường trung bình của bản bụng với đường trung bình của các bản cánh, xem Hình 6.10, sao cho thỏa mãn điều kiện:

$$2 < \frac{e_{max}}{t} < 12 \tag{6.21}$$

trong đó:

e_{max} là độ lệch tâm lớn hơn của các nếp uốn so với đường trục của bản bụng.

(2) Đối với tiết diện với các bản bụng được tăng cứng thỏa mãn các điều kiện nêu trong (1), thì khả năng chịu lực ngang cục bộ của bản bụng được tăng cứng có thể được xác định bằng cách nhân giá trị tương ứng đối với bản bụng không tăng cứng tương tự, thu được từ 6.1.7.2 hoặc 6.1.7.3 tương ứng, với hệ số $\kappa_{a,s}$:

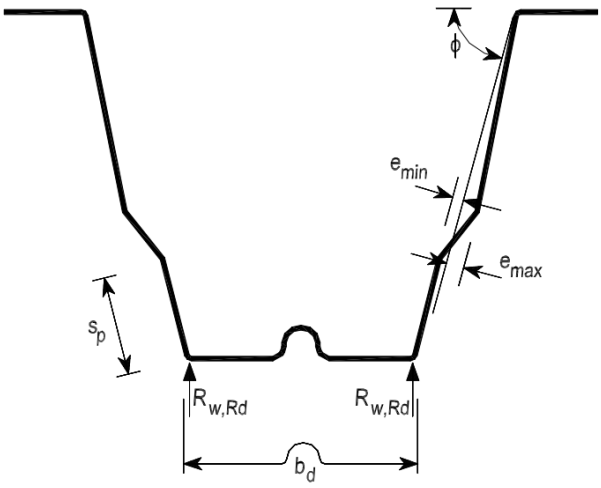
$$\kappa_{a,s} = 1,45 - 0,05 e_{max}/t \qquad \text{nhưng} \qquad \kappa_{a,s} \le 0,95 + 35000 t^2 e_{min} / (b_d^2 s_p) \tag{6.22}$$

trong đó

b_d là chiều rộng khai triển của bản cánh chịu lực, xem Hình 6.10;

e_{min} là độ lệch tâm nhỏ hơn của các nếp uốn so với đường trục của bản bụng;

s_p là chiều cao nghiêng của phần tử phẳng của bản bụng gần nhất với cánh chịu lực, xem Hình 6.10.



Hình 6.10 – Các bản bụng được tăng cứng

6.1.8 Kéo và uốn đồng thời

(1) Tiết diện ngang chịu lực kéo dọc trục N_{Ed} kết hợp các mô men uốn $M_{y,Ed}$ và $M_{z,Ed}$ cần thỏa mãn điều kiện:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{cy,Rd,ten}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{cz,Rd,ten}} \le 1 \tag{6.23}$$

trong đó:

$N_{t,Rd}$ là khả năng chịu lực thiết kế của tiết diện ngang chịu kéo đều (6.12);

$M_{cy,Rd,ten}$ là khả năng chịu uốn thiết kế của tiết diện ngang chịu ứng suất kéo lớn nhất nếu nó chỉ chịu mô men quanh trục y-y (6.1.4);

$M_{cz,Rd,ten}$ là khả năng chịu uốn thiết kế của tiết diện ngang chịu ứng suất kéo lớn nhất nếu nó chỉ chịu mô men quanh trục z-z (6.1.4).

(2) Nếu $M_{cy,Rd,com} \le M_{cy,Rd,ten}$ hoặc $M_{cz,Rd,com} \le M_{cz,Rd,ten}$ (trong đó $M_{cy,Rd,com}$ và $M_{cz,Rd,com}$ là các khả năng chịu uốn khi chịu ứng suất nén lớn nhất trong tiết diện ngang mà chỉ chịu mô men quanh trục tương ứng), thì cần thỏa mãn điều kiện sau:

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{cy,Rd,com}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{cz,Rd,com}} - \frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} \le 1 \tag{6.24}$$

6.1.9 Nén và uốn đồng thời

(1) Tiết diện ngang chịu đồng thời lực nén dọc trục N_{Ed} và các mô men uốn $M_{y,Ed}$ và $M_{z,Ed}$ cần thỏa mãn điều kiện:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} + \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{M_{cy,Rd,com}} + \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{M_{cz,Rd,com}} \le 1 \tag{6.25}$$

trong đó:

$N_{c,Rd}$ được xác định theo 6.1.3;

$M_{cy,Rd,com}$ và $M_{cz,Rd,com}$ được xác định theo 6.1.8.

(2) Các mô men bổ sung $\Delta M_{y,Ed}$ và $\Delta M_{z,Ed}$ do chuyển dịch của các trục trung tâm cần được xác định theo các công thức:

$$\Delta M_{y,Ed} = N_{Ed} e_{Ny}$$

$$\Delta M_{z,Ed} = N_{Ed} e_{Nz}$$

trong đó: e_{Ny} và e_{Nz} là các chuyển dịch của các trục trung tâm y-y và z-z do lực dọc, xem 6.1.3(3).

(3) Nếu $M_{cy,Rd,ten} \le M_{cy,Rd,com}$ hoặc $M_{cz,Rd,ten} \le M_{cz,Rd,com}$ thì cũng cần thỏa mãn điều kiện sau:

$$\frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{M_{cy,Rd,ten}} + \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{M_{cz,Rd,ten}} - \frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} \le 1 \quad (6.26)$$

trong đó: $M_{cy,Rd,ten}$ và $M_{cz,Rd,ten}$ được xác định theo 6.1.8.

6.1.10 Lực cắt, lực dọc và mô men uốn đồng thời

(1) Đối với tiết diện ngang chịu tác dụng đồng thời của lực dọc N_{Ed}, mô men uốn M_{Ed} và lực cắt V_{Ed} thì không cần giảm khả năng chịu lực nếu $V_{Ed} \le 0,5V_{w,Rd}$. Nếu lực cắt lớn hơn một nửa khả năng chịu cắt thì biểu thức sau đây cần được thỏa mãn:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} + \left(1 - \frac{M_{f,Rd}}{M_{pl,Rd}}\right)\left(\frac{2V_{Ed}}{V_{w,Rd}} - 1\right)^2 \le 1 \quad (6.27)$$

trong đó:

N_{Rd} là khả năng chịu lực thiết kế của tiết diện ngang khi chịu kéo đều hoặc nén đều, được xác định theo 6.1.2 hoặc 6.1.3;

$M_{y,Rd}$ là khả năng chịu uốn thiết kế của tiết diện ngang, được xác định theo 6.1.4;

$V_{w,Rd}$ là khả năng chịu cắt thiết kế của bản bụng, được xác định theo 6.1.5(1);

$M_{f,Rd}$ là khả năng chịu uốn của tiết diện ngang bao gồm diện tích hiệu dụng của chỉ của các bản cánh, xem TCVN X1993-1-5;

$M_{pl,Rd}$ là khả năng chịu uốn dẻo của tiết diện ngang, xem TCVN X1993-1-5.

Đối với các cấu kiện hoặc tấm với nhiều hơn một bản bụng, $V_{w,Rd}$ là tổng khả năng chịu lực của các bản bụng. Cũng xem trong TCVN X1993-1-5.

6.1.11 Mô men uốn và tải trọng cục bộ hoặc phản lực gối tựa đồng thời

(1) Tiết diện ngang chịu tác dụng động thời của mô men uốn M_{Ed} và lực ngang do tải trọng cục bộ hoặc phản lực gối tựa F_{Ed} cần thỏa mãn các điều kiện sau:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \le 1 \quad (6.28a)$$

$$\frac{F_{Ed}}{R_{w,Rd}} \le 1 \quad (6.28b)$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} + \frac{F_{Ed}}{R_{w,Rd}} \le 1,25 \quad (6.28c)$$

trong đó:

$M_{c,Rd}$ là khả năng chịu uốn của tiết diện ngang, xác định theo 6.1.4(1);

$R_{w,Rd}$ là giá trị thích hợp của khả năng chịu lực ngang cục bộ của bản bụng theo 6.1.7.

Trong biểu thức (6.28c), mô men uốn M_{Ed} có thể được tính ở mép của gối tựa. Đối với các cấu kiện và tấm có nhiều hơn một bản bụng, $R_{w,Rd}$ là tổng các khả năng chịu lực ngang cục bộ của các bản bụng riêng lẻ.

6.2 Khả năng chống mất ổn định

6.2.1 Quy định chung

(1) Trong các cấu kiện có tiết diện ngang dễ bị méo, cần kể đến khả năng xảy ra mất ổn định ngang của các bản cánh chịu nén và uốn ngang của các bản cánh nói chung.

(2) Ảnh hưởng của mất ổn định cục bộ và mất ổn định méo cần được kể đến như quy định trong 5.5.

6.2.2 Mất ổn định dạng uốn

(1) Khả năng chống mất ổn định $N_{b,Rd}$ cho mất ổn định dạng uốn cần được xác định theo TCVN X1993-1-1 bằng cách sử dụng đường cong thích hợp trong Bảng 6.3 phụ thuộc vào loại tiết diện, trục mất ổn định và giới hạn chảy sử dụng, xem (3).

(2) Đối với tiết diện ngang không có trong Bảng 6.3, thì đường cong mất ổn định có thể tìm được một cách tương tự.

(3) Khả năng chống mất ổn định của tiết diện ngang kín tổ hợp cần được xác định bằng một trong các đường cong mất ổn định sau:

- Đường cong mất ổn định b liên quan đến giới hạn chảy cơ bản f_{yb} của vật liệu thép phẳng dùng để tạo hình nguội nên cấu kiện;
- Đường cong mất ổn định c liên quan đến giới hạn chảy trung bình f_{ya} của cấu kiện sau khi đã tạo hình nguội, được xác định theo chỉ dẫn trong 3.2.3 nếu $A_{eff} = A_g$.

6.2.3 Mất ổn định dạng xoắn và mất ổn định dạng uốn – xoắn

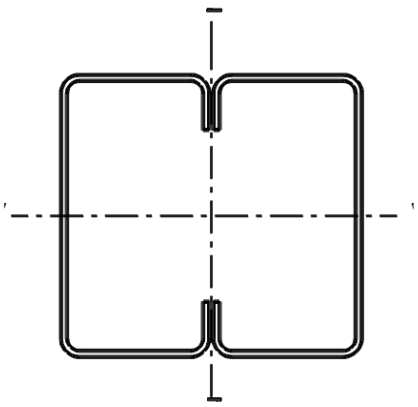
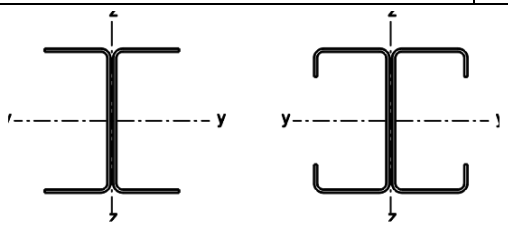
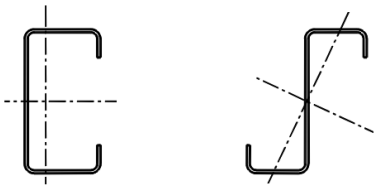
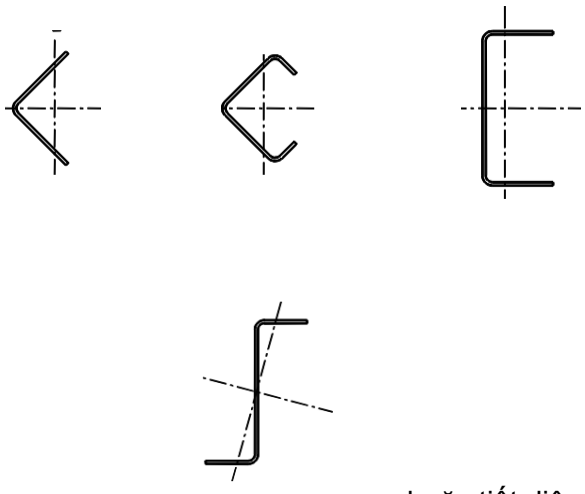
(1) Đối với cấu kiện với tiết diện ngang hở đối xứng tâm (ví dụ, xà gồ chữ Z cánh đều nhau), cần kể đến khả năng mà khả năng chống mất ổn định dạng xoắn của cấu kiện có thể nhỏ hơn khả năng chống mất ổn định dạng uốn của nó.

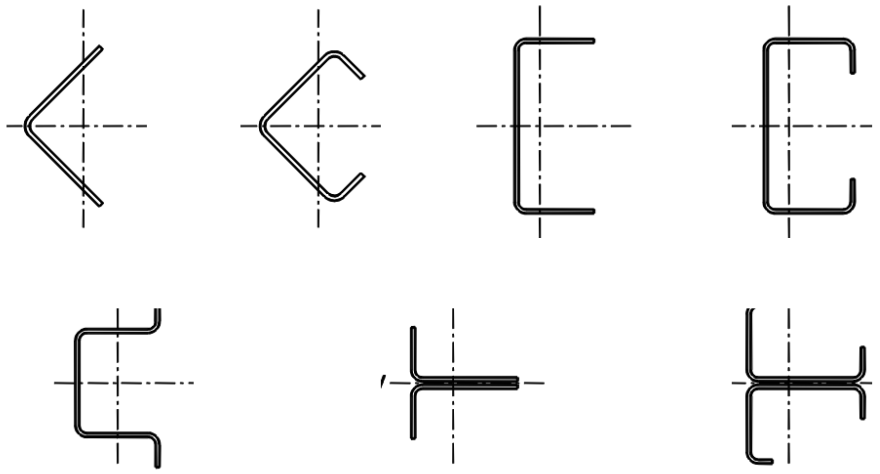
(2) Đối với cấu kiện với tiết diện ngang hở đối xứng một trục, xem Hình 6.12, cần kể đến khả năng mà khả năng chống mất ổn định dạng uốn - xoắn của cấu kiện có thể nhỏ hơn khả năng chống mất ổn định dạng uốn của nó.

(3) Đối với cấu kiện với tiết diện ngang hở không đối xứng, cần kể đến khả năng mà khả năng chống mất ổn định dạng xoắn hoặc uốn - xoắn của cấu kiện có thể nhỏ hơn khả năng chống mất ổn định dạng uốn của nó.

(4) Khả năng chống mất ổn định thiết kế đối với mất ổn định dạng xoắn hoặc mất ổn định dạng uốn – xoắn $N_{b,Rd}$ cần được xác định theo 6.3.1.1 của TCVN X1993-1-1 theo đường cong mất ổn định tương ứng đối với mất ổn định quanh trục z-z xác định được từ Bảng 6.3.

Bảng 6.3 – Đường cong mất ổn định thích hợp cho các loại tiết diện ngang khác nhau

Loại tiết diện ngang		Mất ổn định quanh trục	Đường cong mất ổn định
	Nếu sử dụng f_{yb}	Bất kỳ	b
	Nếu sử dụng f_{ya} *)	Bất kỳ	c
		y-y z-z	a b
		Bất kỳ	b
 hoặc tiết diện ngang khác		Bất kỳ	c
*) Không được sử dụng giới hạn chảy trung bình f_{ya} nếu $A_{eff} = A_g$			



Hình 6.12 – Tiết diện ngang đối xứng một trục nhạy với mất ổn định dạng uốn – xoắn

(5) Lực tới hạn đàn hồi $N_{cr,T}$ cho mất ổn định dạng xoắn của dầm gối tựa đơn giản cần được xác định theo công thức:

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_o^2}\left(GI_t + \frac{\pi^2 E I_w}{l_T^2}\right) \tag{6.33a}$$

với:

$$i_o^2 = i_y^2 + i_z^2 + y_o^2 + z_o^2 \tag{6.33b}$$

trong đó:

G là mô đun chống cắt;

I_t là hằng số xoắn của tiết diện ngang nguyên;

I_w là hằng số vênh của tiết diện ngang nguyên;

i_y là bán kính quán tính của tiết diện ngang nguyên quanh trục y-y;

i_z là bán kính quán tính của tiết diện ngang nguyên quanh trục z-z;

l_T là chiều dài mất ổn định của cấu kiện cho mất ổn định dạng xoắn;

y_o, z_o là tọa độ của tâm cắt của cấu kiện cho mất ổn định dạng xoắn.

(6) Đối với tiết diện ngang đối xứng hai trục (nghĩa là $y_o = z_o = 0$), lực tới hạn đàn hồi N_{cr} cần được xác định theo công thức:

$$N_{cr} = N_{cr,i} \tag{6.34}$$

trong đó

$N_{cr,i}$ cần được lấy bằng giá trị nhỏ nhất trong các giá trị: $N_{cr,y}$, $N_{cr,z}$, $N_{cr,T}$.

(7) Đối với tiết diện ngang đối xứng quanh trục y-y (nghĩa là $z_o = 0$), lực tới hạn đàn hồi $N_{cr,TF}$ đối với mất ổn định dạng uốn – xoắn cần được xác định theo công thức:

$$N_{cr,TF} = \frac{N_{cr,y}}{2\beta}\left[1+\frac{N_{cr,T}}{N_{cr,y}} - \sqrt{\left(1-\frac{N_{cr,T}}{N_{cr,y}}\right)^2 + 4\left(\frac{y_o}{i_o}\right)^2 \cdot \frac{N_{cr,T}}{N_{cr,y}}}\right] \quad (6.35)$$

với:

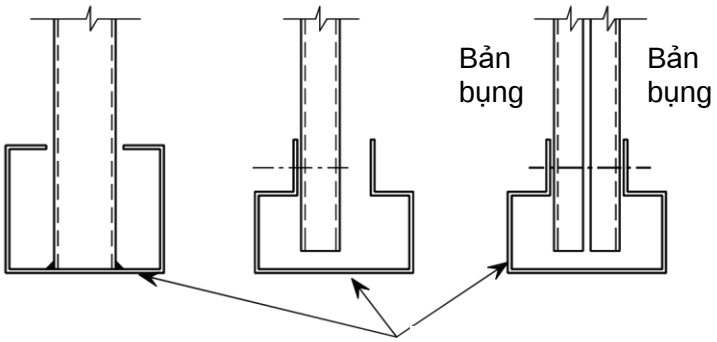
$$\beta = 1-\left(\frac{y_o}{i_o}\right)^2 .$$

Biểu thức (6.35) chỉ đúng nếu chiều dài mất ổn định dạng xoắn và mất ổn định dạng uốn bằng nhau $l_y = l_T$.

(8) Chiều dài mất ổn định l_T cho mất ổn định dạng xoắn hoặc mất ổn định dạng uốn – xoắn cần được xác định có kể đến mức độ ngàm chống xoắn và chống vênh tại mỗi đầu của chiều dài hệ L_T.

(9) Đối với các liên kết trong thực tế tại mỗi đầu, giá trị của l_T / L_T có thể được lấy như sau:

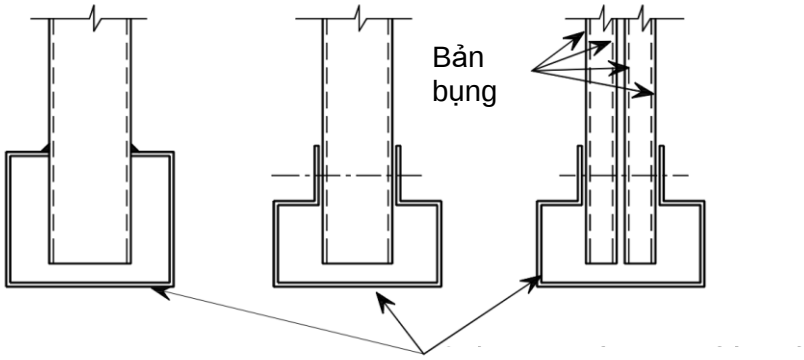
- Bằng 1,0 cho các liên kết đảm bảo ngàm một phần chống lại xoắn và vênh, xem Hình 6.13(a);
- Bằng 0,7 cho các liên kết đảm bảo ngàm đáng kể chống lại xoắn và vênh, xem Hình 6.13(b).



Cột đang xét

a) Liên kết có khả năng đảm bảo ngàm một phần chống xoắn và vênh

Tiết diện rỗng hoặc tiết diện có bu lông đi qua hai bản bụng của mỗi cấu kiện



Cột đang xét

b) Liên kết có khả năng đảm bảo ngàm đáng kể chống xoắn và vênh

Hình 6.13 – Ngàm chống xoắn và vênh trong các liên kết trong thực tế

6.2.4 Mất ổn định dạng xoắn – ngang của cấu kiện chịu uốn

(1) Mô men kháng mất ổn định thiết kế của cấu kiện nhạy với mất ổn định dạng xoắn – ngang cần được xác định theo 6.3.2.2 của TCVN X1993-1-1 bằng cách sử dụng đường cong mất ổn định ngang b.

(2) Phương pháp này không được sử dụng cho các tiết diện có góc giữa các trục chính của tiết diện ngang hiệu dụng là lớn đáng kể so với góc này của tiết diện ngang nguyên.

6.2.5 Uốn và nén dọc trục

(1) Tương tác giữa lực dọc và mô men uốn có thể được xác định bằng phân tích bậc hai đối với cấu kiện như đã chỉ dẫn trong TCVN X1993-1-1, dựa trên các đặc trưng của tiết diện ngang hiệu dụng theo 5.5. Cũng xem thêm 5.3.

(2) Bằng cách khác, có thể sử dụng công thức tương tác sau:

$$\left(\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}}\right)^{0,8}+\left(\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}}\right)^{0,8}\le 1,0 \qquad (6.36)$$

trong đó:

$N_{b,Rd}$ là khả năng chống mất ổn định thiết kế của cấu kiện chịu nén theo 6.2.2 (mất ổn định dạng uốn, xoắn hoặc uốn – xoắn);

$M_{b,Rd}$ là khả năng chịu uốn thiết kế theo 6.2.4;

M_{Ed} có kể đến chuyển dịch trục trung hòa, trong các trường hợp cần thiết.

6.3 Uốn và kéo dọc trục

(1) Áp dụng các biểu thức tương tác cho lực nén trong 6.2.5.

7 Các trạng thái giới hạn sử dụng

7.1 Quy định chung

(1) Các quy tắc đối với trạng thái giới hạn sử dụng nêu trong Mục 7 của TCVN X1993-1-1 cũng cần được áp dụng cho các cấu kiện và tấm tạo hình nguội.

(2) Các đặc trưng của tiết diện ngang hiệu dụng cho các trạng thái giới hạn sử dụng được xác định theo 5.1 cần được sử dụng cho tất cả các tính toán theo trạng thái giới hạn sử dụng đối với các cấu kiện vầ tấm tạo hình nguội.

(3) Mô men quán tính có thể tính được một cách khác là nội suy tuyến tính các tiết diện ngang nguyên và tiết diện ngang hiệu dụng bằng biểu thức:

$$I_{fic} = I_{gr} - \frac{\sigma_{gr}}{\sigma}\left(I_{gr} - I(\sigma)_{eff}\right) \tag{7.1}$$

trong đó:

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

σ_{gr} là ứng suất nén do uốn lớn nhất ở trạng thái giới hạn sử dụng, dựa trên tiết diện ngang nguyên (lấy dấu dương trong công thức);

$I(\sigma)_{eff}$ là mô men quán tính của diện tích tiết diện ngang hiệu dụng có kể đến mất ổn định cục bộ được tính với ứng suất lớn nhất $\sigma \geq \sigma_{gr}$, trong đó ứng suất lớn nhất là giá trị tuyệt đối lớn nhất của các ứng suất trong phạm vi chiều dài tính toán đang xét.

(4) Mô men quán tính hiệu dụng I_{eff} (hoặc I_{fic}) có thể lấy giá trị thay đổi dọc theo nhịp. Một cách khác, có thể sử dụng giá trị không đổi, dựa trên giá trị tuyệt đối lớn nhất của mô men giữa nhịp do tải trọng sử dụng.

7.2 Biến dạng dẻo

(1) Trong trường hợp phân tích tổng thể dẻo, tổ hợp mô men gối tựa và phản lực gối tựa tại gối tựa trung gian không được vượt quá 0,9 lần tổ hợp của khả năng chịu lực thiết kế được xác định có sử dụng $\gamma_{M,ser}$, xem chương 2(5).

(2) Khả năng chịu lực tổ hợp thiết kế có thể được xác định theo 6.1.11, nhưng sử dụng tiết diện ngang hiệu dụng cho các trạng thái giới hạn sử dụng và $\gamma_{M,ser}$.

7.3 Độ võng

(1) Độ võng có thể được tính với giả thiết ứng xử đàn hồi của thép;

(2) Ảnh hưởng của trượt trong các liên kết (ví dụ, trong trường hợp hệ dầm liên tục với các liên kết nối chồng và nối có bản táp) cần được kể đến trong tính toán độ võng, nội lực và mô men.

8 Thiết kế mối nối

8.1 Quy định chung

(1) Các giả thiết và yêu cầu thiết kế mối nối xem trong TCVN X1993-1-8.

(2) Các quy tắc sau áp dụng cho thép cơ bản có chiều dày $t_{cor} \le 4mm$, không được quy định trong TCVN X1993-1-8.

8.2 Các liên kết chồng và đối đầu của cấu kiện chịu nén

(1) Các liên kết chồng và đối đầu của các cấu kiện chịu nén, cần có hoặc là khả năng chịu lực tương tự như khả năng chịu lực của tiết diện ngang của cấu kiện, hoặc là được thiết kế để chịu được mô men bổ sung do hiệu ứng bậc hai trong phạm vi cấu kiện, ngoài nội lực nén N_{ed} và các mô men nội lực $M_{y,Ed}$ và $M_{z,Ed}$ thu được từ phân tích tổng thể.

(2) Khi không thực hiện phân tích bậc hai đối với cấu kiện, thì mô men bổ sung ΔM_{Ed} này cần được coi như tác dụng quanh trục của tiết diện ngang mà cho giá trị nhỏ nhất của hệ số giảm χ đối với mất ổn định dạng uốn, xem 6.2.2(1) với giá trị được xác định theo công thức:

$$\Delta M_{Ed} = N_{Ed}\left(\frac{1}{\chi} - 1\right)\frac{W_{eff}}{A_{eff}}\sin\frac{\pi a}{l} \qquad (8.1a)$$

trong đó:

A_{eff} là diện tích hiệu dụng của tiết diện ngang;

a là khoảng cách từ liên kết chồng hoặc đối đầu đến điểm uốn ngược gần nhất;

l là chiều dài mất ổn định của cấu kiện giữa các điểm uốn ngược, cho mất ổn định quanh trục tương ứng;

W_{eff} là mô đun chống uốn của tiết diện ngang hiệu dụng cho uốn quanh trục tương ứng.

Các liên kết chồng và đối đầu cần được tính toán chịu nội lực cắt bổ sung:

$$\Delta V_{Ed} = \frac{\pi N_{Ed}}{l}\left(\frac{1}{\chi} - 1\right)\frac{W_{eff}}{A_{eff}} \qquad (8.1b)$$

(3) Các liên kết chồng và đối đầu cần được tính toán sao cho tải trọng có thể được truyền vào các phần hiệu dụng của tiết diện ngang.

(4) Nếu các chi tiết thi công tại các đầu cấu kiện làm sao cho đường tác dụng của nội lực dọc không thể nhận biết, còn độ lệch tâm thích hợp cần được giả thiết và mô men cần được kể đến trong tính toán cấu kiện, các liên kết chồng và đối đầu.

8.3 Các liên kết dùng chốt cơ khí

(1) Các liên kết dùng chốt cơ khí cần có hình dạng nhỏ gọn. Các vị trí của chốt cơ khí cần được bố trí để đảm bảo đủ không gian để thỏa mãn lắp đặt và bảo trì.

CHÚ THÍCH: Để có thêm thông tin, xem Phần 1-8 của TCVN X1993.

(2) Lực cắt trong từng chốt cơ khí trong liên kết có thể được giả thiết là bằng nhau nếu:

- Chốt có đủ độ dẻo;
- Cắt không phải là dạng phá hoại tới hạn.

(3) Để thiết kế bằng tính toán, khả năng chịu lực của các chốt cơ khí chịu tải trọng tĩnh là chủ yếu cần được xác định theo:

- Bảng 8.1 cho đính tán chìm;
- Bảng 8.2 cho vít tự cắt;
- Bảng 8.3 cho chốt đạn;
- Bảng 8.4 cho bu lông.

CHÚ THÍCH: Để xác định khả năng chịu lực thiết kế của các chốt cơ khí bằng thí nghiệm, xem 9(4).

(4) Trong Bảng 8.1 sử dụng các ký hiệu với các nghĩa sau đây:

A diện tích tiết diện ngang nguyên của chốt;

A_s diện tích thực của chốt;

A_{net} diện tích tiết diện ngang thực của phần được liên kết;

β_{Lf} là hệ số giảm của mối nối dài theo TCVN X1993-1-8;

d là đường kính danh định của chốt;

d_o là đường kính danh định của lỗ;

d_w là đường kính của vòng đệm hoặc mũ của chốt;

e_1 là khoảng cách biên tính từ tâm chốt đến đầu liền kề của phần được liên kết, theo phương truyền tải trọng, xem Hình 8.1;

e_2 Khoảng cách biên tính từ tâm chốt đến cạnh liền kề của phần được liên kết, theo phương vuông góc với phương truyền tải trọng, xem Hình 8.1;

f_{ub} là giới hạn bền kéo của vật liệu làm chốt;

$f_{u,\mathrm{sup}}$ là giới hạn bền kéo của cấu kiện đỡ mà vít vặn vào;

n là số tấm được cốt định vào cấu kiện đỡ bằng vít hoặc chốt khớp giống nhau;

n_f là số chốt cơ khí trong một liên kết;

p_1 là khoảng cách giữa các tâm của các chốt theo phương truyền tải trọng, xem Hình 8.1;

p_2 là khoảng cách giữa các tâm của các chốt theo phương vuông góc với phương truyền tải trọng, xem Hình 8.1;

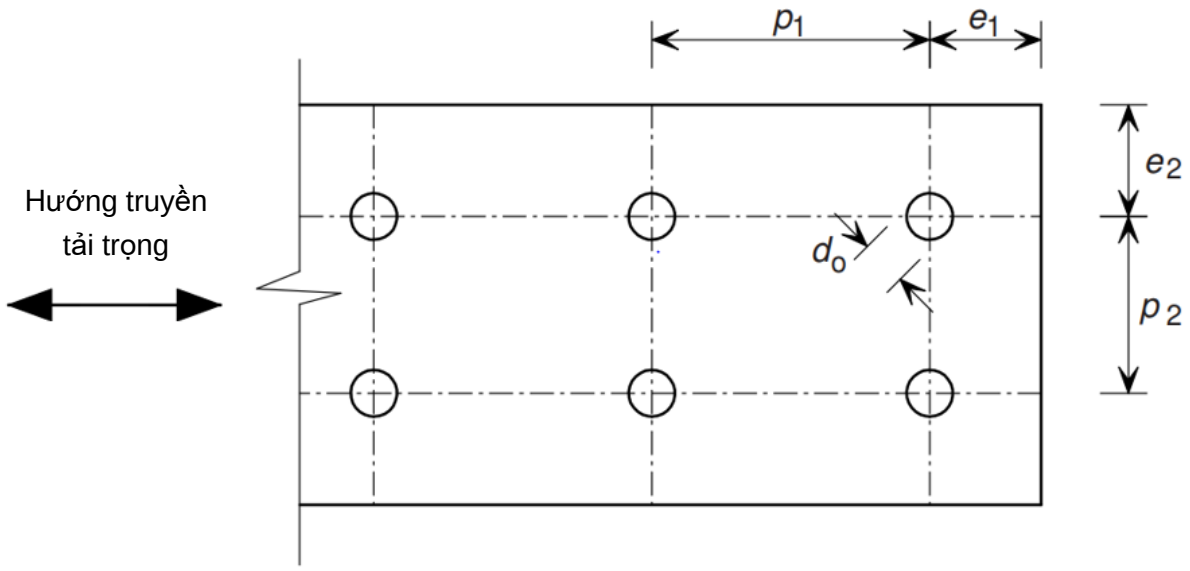
t là chiều dày phần hoặc tấm được nối mỏng nhất;

t_1 là chiều dày của phần hoặc tấm được nối dày nhất;

t_{sup} là chiều dày cấu kiện đỡ mà vít hoặc chốt khớp vặn vào.

(5) Hệ số riêng γ_M để tính khả năng chịu lực thiết kế của các chốt cơ khí được lấy bằng γ_{M2}.

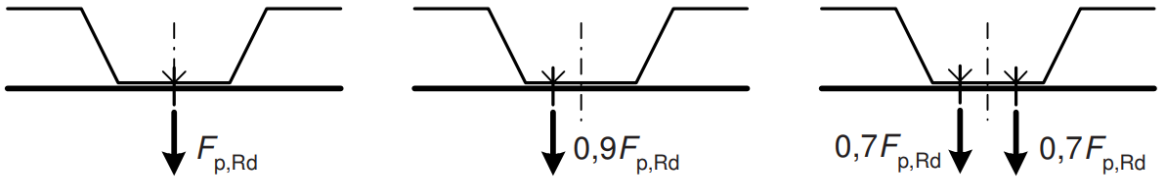
CHÚ THÍCH: Giá trị γ_{M2} có thể được nêu trong Phụ lục quốc gia. Giá trị $\gamma_{M2} = 1,25$ được khuyến nghị áp dụng.



Hình 8.1 – Khoảng cách đầu, khoảng cách mép, và các khoảng cách cho các chốt và mối hàn điểm

(6) Nếu khả năng chống kéo nhổ $F_{o,Rd}$ của chốt nhỏ hơn khả năng chống kéo xuyên $F_{p,Rd}$ của nó thì biến dạng cần được xác định bằng thí nghiệm.

(7) Khả năng chống kéo xuyên nêu trong các bảng 8.2 và 8.3 đối với vít tự cắt và chốt đạn cần được giảm xuống nếu các chốt không nằm ở tâm của máng của tấm. Nếu các vít và chốt này nằm ở điểm cách tâm máng ¼, thì khả năng chịu lực thiết kế cần được giảm xuống đến $0,9F_{p,Rd}$ và nếu chốt nằm ở các điểm ¼ về hai phía của tâm máng của tấm thì khả năng chịu lực cần lấy bằng $0,7F_{p,Rd}$ cho mỗi chốt, xem Hình 8.2.



Hình 8.2: Suy giảm khả năng chống kéo nhổ do vị trí của chốt

(8) Đối với chốt chịu tác dụng đồng thời của cắt và kéo, nếu cả hai giá trị $F_{t,Rd}$ và $F_{v,Rd}$ được xác định bằng tính toán trên cơ sở bảng 8.1 đến 8.4 thì khả năng chịu cắt và kéo đồng thời của chốt có thể được kiểm tra bằng biểu thức:

$$\frac{F_{t,Ed}}{\min\left(F_{p,Rd},F_{o,Rd}\right)}+\frac{F_{v,Ed}}{\min\left(F_{b,Rd},F_{n,Rd}\right)}\le 1 \qquad (8.2)$$

(9) Méo tiết diện nguyên có thể được bỏ qua nếu khả năng chịu lực thiết kế được xác định theo các bảng 8.1 đến 8.4, với điều kiện chốt được xuyên qua bản cánh không quá 150 mm rộng.

(10) Đường kính lỗ vít cần phù hợp với hướng dẫn của nhà sản xuất. Các hướng dẫn này cần dựa trên các tiêu chí sau:

– Mô men xoắn tác dụng cần lớn hơn mô men cần để cắt ren trong cấu kiện liên kết;

– Mô men xoắn tác dụng cần nhỏ hơn mô men gây tuột ren hoặc cắt đầu chốt;

– Mô men xoắn cần nhỏ hơn 2/3 mô men gây cắt đầu chốt.

(11) Đối với mối nối dài thì hệ số giảm β_{Lf} cần được kể đến phù hợp với 3.8 của TCVN X1993-1-8.

(12) Các quy tắc thiết kế cho đinh tán chìm chỉ đúng nếu đường kính của lỗ không lớn hơn 0,1 mmso với đường kính đinh tán này.

(13) Đối với bu lông M12 và M14 với đường kính lỗ lớn hơn đường kính bu lông 2 mm, thì cần tham chiếu tới TCVN X1993-1-8.

Bảng 8.1 – Khả năng chịu lực thiết kế của đinh tán chìm [1)]

Đinh tán chìm chịu cắt:
Khả năng chịu ép mặt: $F_{b,Rd} = \alpha f_u dt / \gamma_{M2}$ nhưng $F_{b,Rd} \le f_u e_1 t / (1,2\gamma_{M2})$ trong đó α lấy như sau: - nếu $t = t_1$: $\alpha = 3,6\sqrt{t/d}$ nhưng $\alpha \le 2,1$ - nếu $t_1 \ge 2,5t$: $\alpha = 2,1$ - nếu $t < t_1 < 2,5t$: α lấy theo nội suy tuyến tính Khả năng chịu lực tiết diện thực: $F_{n,Rd} = A_{net} f_u / \gamma_{M2}$ Khả năng chịu cắt: Khả năng chịu cắt $F_{v,Rd}$ được xác định bằng thí nghiệm [*1)] và $F_{v,Rd} = F_{v,Rk} / \gamma_{M2}$
Các điều kiện [4)]: $F_{v,Rd} \ge 1,2F_{b,Rd}(n_f \beta_{Lf})$ hoặc $F_{v,Rd} \ge 1,2F_{n,Rd}$
Đinh tán chìm chịu kéo: [2)]
Khả năng chống kéo xuyên: Khả năng chống kéo xuyên $F_{p,Rd}$ được xác định bằng thí nghiệm [*1)] Khả năng chống kéo nhổ: Không liên quan đến đinh tán Khả năng chịu kéo: Khả năng chịu kéo $F_{t,Rd}$ được xác định bằng thí nghệm [*1)]
Các điều kiện: $F_{t,Rd} \ge \Sigma F_{p,Rd}$
Phạm vi áp dụng: [3)]
$e_1 \ge 1,5d$ $p_1 \ge 3d$ $2,6 \text{ mm} \le d \le 6,4 \text{ mm}$ $e_2 \ge 1,5d$ $p_2 \ge 3d$ $f_u \le 550$ N/mm^2
[1)] Trong bảng này, giả thiết là tấm mỏng nhất liền kề với đầu của đinh tán chìm. [2)] Đinh tán chìm thường không dùng để chịu kéo. [3)] Đinh tán chìm có thể dùng ngoài phạm vi áp dụng nếu khả năng chịu lực được xác định bằng kết quả thí nghiệm. [4)] Các điều kiện yêu cầu cần được thỏa mãn khi khả năng biến dạng của liên kết là cần thiết. Khi các điều kiện này không thỏa mãn thì cần đảm bảo sao cho khả năng biến dạng sẽ được đảm bảo bằng các phần khác của kết cấu.
CHÚ THÍCH: [*1)] Phụ lục quốc gia có thể đưa thêm thông tin về khả năng chịu cắt của đinh tán chìm chịu cắt và về khả năng chống kéo xuyên và khả năng chịu kéo của đinh tán chìm chịu kéo.

Bảng 8.2 – Khả năng chịu lực thiết kế của vít tự cắt [1)]

Vít chịu cắt:
Khả năng chịu ép mặt: $F_{b,Rd} = \alpha f_u d t / \gamma_{M2}$ trong đó α lấy như sau: - nếu $t = t_1$: $\alpha = 3,2\sqrt{t/d}$ nhưng $\alpha \le 2,1$ - nếu $t_1 \ge 2,5t$ và $t < 1,0$ mm: $\alpha = 3,2\sqrt{t/d}$ nhưng $\alpha \le 2,1$ - nếu $t_1 \ge 2,5t$ và $t \ge 1,0$ mm: $\alpha = 2,1$ - nếu $t < t_1 < 2,5t$: α lấy theo nội suy tuyến tính Khả năng chịu lực tiết diện thực: $F_{n,Rd} = A_{net} f_u / \gamma_{M2}$ Khả năng chịu cắt: Khả năng chịu cắt $F_{v,Rd}$ được xác định bằng thí nghiệm $F_{v,Rd} = F_{v,Rk} / \gamma_{M2}$
Các điều kiện: [4)] $F_{v,Rd} \ge 1,2F_{b,Rd}$ hoặc $\Sigma F_{v,Rd} \ge 1,2F_{n,Rd}$
Vít chịu kéo:
Khả năng chống kéo xuyên: [2)] - với tải trọng tĩnh: $F_{p,Rd} = d_w t f_u / \gamma_{M2}$ - với vít chịu tải trọng gió và tổ hợp của tải trọng gió và tải trọng tĩnh: $F_{p,Rd} = 0,5 d_w t f_u / \gamma_{M2}$ Khả năng chống kéo nhổ: nếu $t_{sup}/s < 1$: $F_{o,Rd} = 0,45 d t_{sup} f_{u,sup} / \gamma_{M2}$ (s là bước ren) nếu $t_{sup}/s \ge 1$: $F_{o,Rd} = 0,65 d t_{sup} f_{u,sup} / \gamma_{M2}$ Khả năng chịu kéo: Khả năng chịu kéo $F_{t,Rd}$ được xác định bằng thí nghiệm [*2)]
Các điều kiện: $F_{t,Rd} \ge \Sigma F_{p,Rd}$ hoặc $F_{t,Rd} \ge F_{o,Rd}$
Phạm vi áp dụng: [3)]
Thông thường: $e_1 \ge 3d$ $p_1 \ge 3d$ $3,0 \text{ mm} \le d \le 8,0 \text{ mm}$ $e_2 \ge 1,5d$ $p_2 \ge 3d$ Khi chịu kéo: $0,5 \text{ mm} \le t \le 1,5 \text{ mm}$ và $t_1 \ge 0,9$ mm $f_u \le 550$ N/mm^2
[1)] Trong bảng này, giả thiết là tấm mỏng nhất liền kề với đầu của vít. [2)] Các giá trị này cho rằng vòng đệm đủ cứng để ngăn ngừa nó khỏi bị biến dạng rõ rệt hoặc bị nhổ khỏi đầu chốt. [3)] Vít tự cắt có thể dùng ngoài phạm vi áp dụng nếu khả năng chịu lực được xác định bằng kết quả thí nghiệm. [4)] Các điều kiện yêu cầu cần được thỏa mãn khi khả năng biến dạng của liên kết là cần thiết. Khi các điều kiện này không thỏa mãn thì cần đảm bảo sao cho khả năng biến dạng sẽ được đảm bảo bằng các phần khác của kết cấu.
CHÚ THÍCH: [*1)] Phụ lục quốc gia có thể đưa thêm thông tin về khả năng chịu cắt của vít tự cắt chịu cắt và về khả năng chịu kéo của vít tự cắt chịu kéo.

Bảng 8.3 – Khả năng chịu lực thiết kế của chốt đạn

Chốt chịu cắt:
Khả năng chịu ép mặt: $F_{b,Rd} = 3,2 f_u dt / \gamma_{M2}$ Khả năng chịu lực tiết diện thực: $F_{n,Rd} = A_{net} f_u / \gamma_{M2}$ Khả năng chịu cắt: Khả năng chịu cắt $F_{v,Rd}$ được xác định bằng thí nghiệm *3) $F_{v,Rd} = F_{v,Rk} / \gamma_{M2}$
Các điều kiện: 3) $F_{v,Rd} \geq 1,5 \Sigma F_{b,Rd}$ hoặc $\Sigma F_{v,Rd} \geq 1,5 F_{n,Rd}$
Chốt chịu kéo:
Khả năng chống kéo xuyên: - với tải trọng tĩnh: $F_{p,Rd} = d_w t f_u / \gamma_{M2}$ - với tải trọng gió và tổ hợp của tải trọng gió và tải trọng tĩnh: $F_{p,Rd} = 0,5 d_w t f_u / \gamma_{M2}$ Khả năng chống kéo nhổ: Khả năng chống kéo nhổ $F_{o,Rd}$ được xác định bằng thí nghiệm *3) Khả năng chịu kéo: Khả năng chịu kéo $F_{t,Rd}$ được xác định bằng thí nghiệm *3)
Các điều kiện: 3) $F_{o,Rd} \geq \Sigma F_{p,Rd}$ hoặc $F_{t,Rd} \geq F_{o,Rd}$
Phạm vi áp dụng: 2)
Thông thường: $e_1 \geq 4,5d$ $3,7 \text{ mm} \leq d \leq 6,0 \text{ mm}$ $e_2 \geq 4,5d$ nếu $d = 3,7 \text{mm}$ $t_{sup} \geq 4,0 \text{ mm}$ $p_1 \geq 4,5d$ nếu $d = 4,5 \text{mm}$ $t_{sup} \geq 6,0 \text{ mm}$ $p_2 \geq 4,5d$ nếu $d = 5,2 \text{ mm}$ $t_{sup} \geq 8,0 \text{ mm}$ $f_u \leq 550$ N/mm^2 Khi chịu kéo: $0,5 \text{ mm} \leq t \leq 1,5 \text{ mm}$ $t_{sup} \geq 6,0 \text{ mm}$
1) Các giá trị này cho rằng vòng đệm đủ cứng để ngăn ngừa nó khỏi bị biến dạng rõ rệt hoặc bị nhổ khỏi đầu chốt. 3) Chốt đạn có thể dùng ngoài phạm vi áp dụng nếu khả năng chịu lực được xác định bằng kết quả thí nghiệm. 4) Các điều kiện yêu cầu cần được thỏa mãn khi khả năng biến dạng của liên kết là cần thiết. Khi các điều kiện này không thỏa mãn thì cần đảm bảo sao cho khả năng biến dạng sẽ được đảm bảo bằng các phần khác của kết cấu.
CHÚ THÍCH: *1) Phụ lục quốc gia có thể đưa thêm thông tin về khả năng chịu cắt của chốt đạn chịu cắt và về khả năng chống kéo nhổ và khả năng chịu kéo của chốt đạn chịu kéo.

Bảng 8.4 – Khả năng chịu lực thiết kế của bu lông

Bu lông chịu cắt:
Khả năng chịu ép mặt: $F_{b,Rd} = 2,5\alpha_b k_t f_u dt/\gamma_{M2}$ với α_b là giá trị nhỏ nhất của 1,0 hoặc $e_1/3d$ và $k_t = (0,8t + 1,5)/2,5$ khi $0,75 \text{ mm} \le t \le 1,25 \text{ mm}$ $k_t = 1,0$ khi $t > 1,25 \text{ mm}$ Khả năng chịu lực tiết diện thực: $F_{n,Rd} = (1 + 3r(d_o/u - 0,3))A_{net} f_u/\gamma_{M2}$ nhưng $F_{n,Rd} \le A_{net} f_u/\gamma_{M2}$ với: r là tỉ số giữa số bu lông trong tiết diện ngang và tổng số bu lông trong liên kết $u = 2e_2$ nhưng $u \le p_2$ Khả năng chịu cắt: - Với cấp bền 4.6, 5.6 và 8.8: $F_{v,Rd} = 0,6 f_{ub} A_s/\gamma_{M2}$ - Với cấp bền 4.8, 5.8 và 10.9: $F_{v,Rd} = 0,5 f_{ub} A_s/\gamma_{M2}$
Các điều kiện: [3] $F_{v,Rd} \ge 1,2\Sigma F_{b,Rd}$ hoặc $\Sigma F_{v,Rd} \ge 1,2 F_{n,Rd}$
Bu lông chịu kéo:
Khả năng chống kéo xuyên: Khả năng chống kéo xuyên $F_{p,Rd}$ được xác định bằng thí nghiệm [*4] Khả năng chống kéo nhổ: Không áp dụng cho bu lông Khả năng chịu kéo: $F_{t,Rd} = 0,9 f_{ub} A_s/\gamma_{M2}$
Các điều kiện: [3] $F_{t,Rd} \ge \Sigma F_{p,Rd}$
Phạm vi áp dụng: [1]
$e_1 \ge 1,0 d_o$ $p_1 \ge 3d_o$ $0,75 \text{ mm} \le t < 3 \text{ mm}$ Cỡ bu lông tối thiểu: M6 $e_2 \ge 1,5 d_o$ $p_2 \ge 3d_o$ Cấp bền: 4.6 đến 10.9 $f_u \le 550$ N/mm^2
[1] Bu lông có thể dùng ngoài phạm vi áp dụng nếu khả năng chịu lực được xác định bằng kết quả thí nghiệm. [2] Đối với chiều dày lớn hơn hoặc bằng 3 mm thì cần sử dụng các quy tắc cho bu lông trong TCVN X1993-1-8. [3] Các điều kiện yêu cầu cần được thỏa mãn khi khả năng biến dạng của liên kết là cần thiết. Khi các điều kiện này không thỏa mãn thì cần đảm bảo sao cho khả năng biến dạng sẽ được đảm bảo bằng các phần khác của kết cấu.
CHÚ THÍCH: [*4] Phụ lục quốc gia có thể đưa thêm thông tin về khả năng chống kéo xuyên của bu lông chịu kéo.

8.4 Mối hàn điểm

(1) Mối hàn điểm có thể được sử dụng đối với vật liệu cơ bản cán hoặc mạ có chiều dày tới 4,0 mm, nếu phần được liên kết mỏng nhất có chiều dày không lớn hơn 3,0 mm.

(2) Mối hàn điểm có thể là mối hàn điện trở hoặc mối hàn nóng chảy.

(3) Khả năng chịu lực thiết kế $F_{v,Rd}$ của mối hàn điểm chịu cắt cần được xác định theo Bảng 8.5.

(4) Trong Bảng 8.5 sử dụng các ký hiệu với các nghĩa sau đây:

A_{net} là diện tích tiết diện ngang thực của phần được liên kết;

n_w là số mối hàn điểm trong một liên kết;

t là chiều dày của phần hoặc tấm được nối mỏng nhất, mm;

t_1 là chiều dày của phần hoặc tấm được nối dày nhất, mm;

và các khoảng cách đầu và cạnh e_1 và e_2 và các khoảng cách p_1 và p_2 được xác định trong 8.3(5).

(5) Hệ số riêng γ_M để tính khả năng chịu lực thiết kế của mối hàn điểm lấy bằng γ_{M2}.

CHÚ THÍCH: Phụ lục quốc gia có thể đưa ra lựa chọn giá trị của γ_{M2}. Giá trị khuyến nghị là $\gamma_{M2} = 1,25$.

Bảng 8.5 – Khả năng chịu lực thiết kế của mối hàn điểm

Mối hàn điểm chịu cắt:	
Khả năng chịu xé và khả năng chịu ép mặt: - nếu $t \le t_1 \le 2,5t$ - nếu $t_1 > 2,5t$ $F_{tb,Rd} = 2,7\sqrt{t}d_s f_u / \gamma_{M2}$ nhưng $F_{tb,Rd} \le 0,7d_s^2 f_u / \gamma_{M2}$ và $F_{tb,Rd} \le 3,1td_s f_u / \gamma_{M2}$ Khả năng chịu lực ở đầu: $F_{e,Rd} = 1,4te_1 f_u / \gamma_{M2}$ Khả năng chịu lực tiết diện thực: $F_{n,Rd} = A_{net} f_u / \gamma_{M2}$ Khả năng chịu cắt: $F_{V,Rd} = \frac{\pi}{4} d_s^2 f_u / \gamma_{M2}$	$F_{tb,Rd} = 2,7\sqrt{t}d_s f_u / \gamma_{M2}$ với t tính bằng mm
Các điều kiện:	$F_{v,Rd} \ge 1,25F_{tb,Rd}$ hoặc $F_{v,Rd} \ge 1,25F_{e,Rd}$ hoặc $\Sigma F_{v,Rd} \ge 1,25F_{n,Rd}$
Phạm vi áp dụng:	
$2d_s \le e_1 \le 6d_s$	$3d_s \le p_1 \le 8d_s$
$e_2 \le 4d_s$	$3d_s \le p_2 \le 6d_s$

(6) Đường kính tại mặt tiếp xúc d_s của mối hàn điểm cần được xác định như sau:

– Đối với mối hàn nóng chảy:

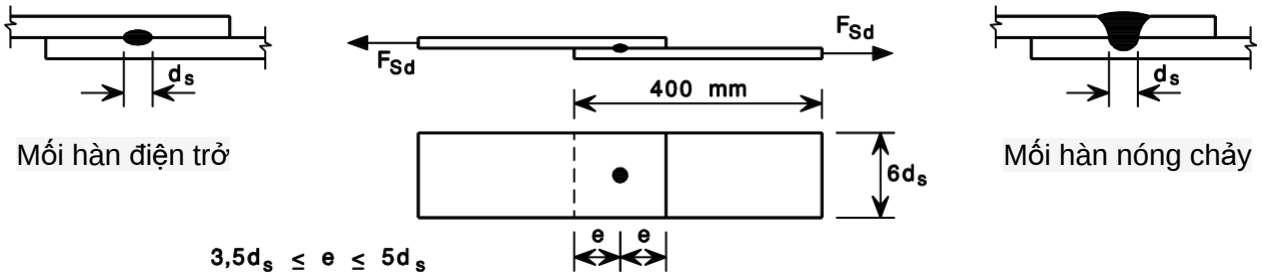
$$d_s = 0,5t + 5 \text{ mm} \quad (8.3a)$$

– Đối với mối hàn điện trở:

$$d_s = 5\sqrt{t} \quad (8.3b)$$

với t tính bằng mm.

(7) Giá trị của d_s trong thực tế cần được kiểm tra bằng thí nghiệm cắt phù hợp với Mục 9, sử dụng các mẫu thử chồng đơn như trên Hình 8.3. Chiều dày t của mẫu thử cần lấy bằng chiều dày như khi dùng trong thực tế.



Hình 8.3 – Mẫu thử cho thử cắt mối hàn điểm

8.5 Mối hàn chồng

8.5.1 Quy định chung

(1) Các yêu cầu trong phần này áp dụng cho thiết kế mối hàn chồng dùng hàn hồ quang khi vật liệu cơ bản dày không quá 4,0 mm. Đối với vật liệu cơ bản dày hơn, các mối hàn chồng phải được thiết kế theo tiêu chuẩn TCVN X1993-1-8.

(2) Kích thước mối hàn cần được lựa chọn sao cho khả năng chịu lực của liên kết được quyết định bởi chiều dày của phần hoặc tấm được nối mà không phải bởi mối hàn.

(3) Các yêu cầu trong (2) có thể được giả thiết là thỏa mãn nếu chiều cao đường hàn ít nhất bằng chiều dày của phần hoặc tấm được nối.

(4) Hệ số riêng γ_M để tính khả năng chịu lực thiết kế của mối hàn chồng lấy bằng γ_{M2}.

CHÚ THÍCH: Phụ lục quốc gia có thể đưa ra lựa chọn giá trị của γ_{M2}. Giá trị $\gamma_{M2} = 1,25$ được khuyến nghị áp dụng.

8.5.2 Mối hàn góc

(1) Khả năng chịu lực thiết kế $F_{w,Rd}$ của liên kết dùng mối hàn góc cần được xác định theo công thức:

– Đối với mối hàn góc một bên:

$$F_{w,Rd} = \frac{tL_{w,s}\left(0,9 - 0,45L_{w,s}/b\right)f_u}{\gamma_{M2}} \quad \text{nếu} \quad L_{w,s} \le b \tag{8.4a}$$

$$F_{w,Rd} = \frac{0,45tbf_u}{\gamma_{M2}} \quad \text{nếu} \quad L_{w,s} > b \tag{8.4b}$$

– Đối với mối hàn góc đầu:

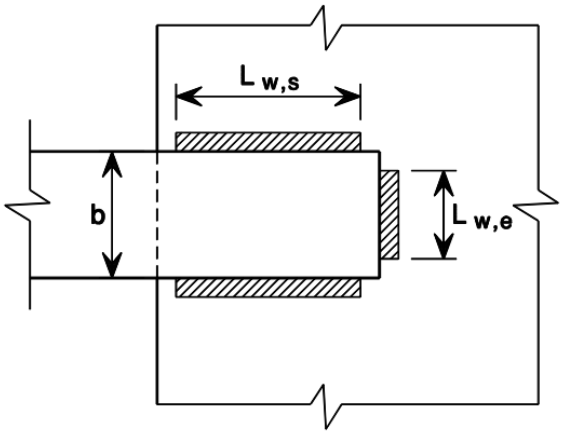
$$F_{w,Rd} = \frac{tL_{w,e}\left(1 - 0,3L_{w,e}/b\right)f_u}{\gamma_{M2}} \quad \text{cho một mối hàn nếu } L_{w,s} \le b \tag{8.4c}$$

trong đó:

b là chiều rộng của phần hoặc tấm được nối, xem Hình 8.4;

$L_{w,e}$ là chiều rộng hiệu dụng của mối hàn góc đầu, xem Hình 8.4;

$L_{w,s}$ là chiều rộng hiệu dụng của mối hàn góc bên, xem Hình 8.4.



Hình 8.4 – Liên kết chồng bằng mối hàn góc

(2) Nếu sử dụng tổ hợp mối hàn góc đầu và góc bên trong cùng một liên kết thì tổng khả năng chịu lực của nó lấy bằng tổng của khả năng chịu lực các mối hàn góc đầu và mối hàn góc bên. Khi đó, cần kể đến vị trí của trọng tâm và giả thiết thực tế về sự phân phối nội lực tương ứng.

(3) Chiều dài hiệu dụng L_w của mối hàn góc lấy bằng tổng chiều dài của toàn bộ mối hàn bao gồm cả các đoạn đầu mối hàn. Nếu mối hàn đầy dọc theo toàn bộ chiều dài này thì không cần giảm chiều dài hiệu dụng cho phần đầu và phần cuối mối hàn.

(4) Các mối hàn góc có chiều dài hiệu dụng nhỏ hơn 8 lần chiều dày phần được liên kết mỏng nhất không được dùng làm mối hàn chịu bất kỳ lực nào.

8.5.3 Mối hàn điểm hồ quang

(1) Mối hàn điểm hồ quang không được thiết kế để truyền bất kỳ lực nào ngoài lực cắt.

(2) Mối hàn điểm hồ quang không được sử dụng thông qua các phần hoặc tấm được nối có tổng chiều dày Σt lớn hơn 4 mm,

(3) Mối hàn điểm hồ quang có đường kính trong d_s không được nhỏ hơn 10 mm.

(4) Nếu phần hoặc tấm được nối có chiều dày nhỏ hơn 0,7 mm, thì cần sử dụng vòng đệm cho mối hàn, xem Hình 8.5.

(5) Mối hàn điểm hồ quang cần có đủ khoảng cách đầu và cạnh như sau:

(i) Khoảng cách tối thiểu đo song song với phương truyền lực, từ đường tâm của mối hàn điểm hồ quang đến cạnh gần nhất của mối hàn liền kề hoặc đến đầu của phần được liên kết mà lực truyền đến đó, không được nhỏ hơn giá trị của $e_{\min}$ được xác định như sau:

Nếu $f_u / f_y < 1{,}15$

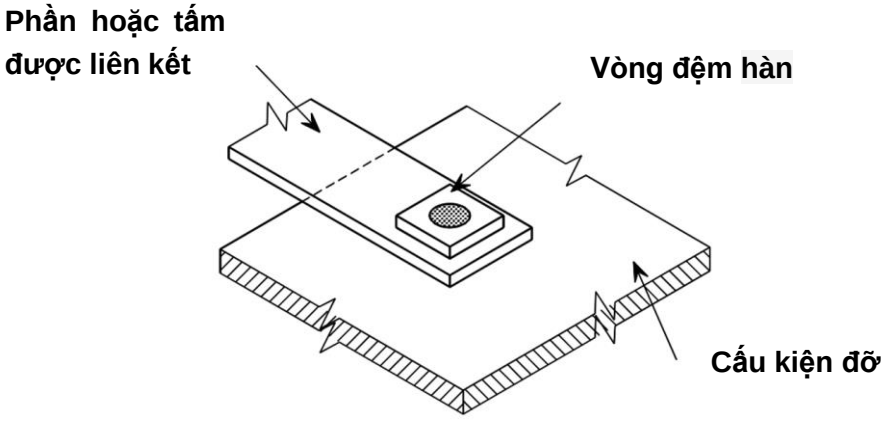
$$e_{\min} = 1{,}8 \frac{F_{w,Rd}}{t f_u / \gamma_{M2}}$$

Nếu $f_u / f_y \geq 1{,}15$

$$e_{\min} = 2{,}1 \frac{F_{w,Rd}}{t f_u / \gamma_{M2}}$$

(ii) Khoảng cách tối thiểu từ đường tâm của mối hàn điểm hồ quang tròn đến đầu hoặc cạnh của tấm được nối không được nhỏ hơn $1{,}5 d_w$, trong đó d_w là đường kính nhìn thấy được của mối hàn điểm hồ quang.

(iii) Khoảng cách thông thủy tối thiểu giữa mối hàn điểm hồ quang kéo dài và đầu của tấm và giữa mối hàn và cạnh của tấm không được nhỏ hơn $1{,}0 d_w$.



Hình 8.5 – Mối hàn điểm hồ quang với vòng đệm hàn

(6) Khả năng chịu cắt thiết kế $F_{w,Rd}$ của mối hàn điểm hồ quang tròn cần được xác định như sau:

$$F_{w,Rd} = \frac{(\pi/4) d_s^2 .0{,}625 f_{uw}}{\gamma_{M2}} \qquad (8.5a)$$

trong đó

f_{uw} là giới hạn bền kéo của que hàn;

nhưng $F_{w,Rd}$ không được lấy lớn hơn khả năng chịu lực được xác định như sau:

– nếu $d_p/\Sigma t \le 18\left(420/f_u\right)^{0,5}$:

$$F_{w,Rd} = \frac{1,5 d_p \Sigma t\, f_u}{\gamma_{M2}} \tag{8.5b}$$

– Nếu $18\left(420/f_u\right)^{0,5} < d_p/\Sigma t < 30\left(420/f_u\right)^{0,5}$:

$$F_{w,Rd} = \frac{27\left(420/f_u\right)^{0,5}\left(\Sigma t\right)^2 f_u}{\gamma_{M2}} \tag{8.5c}$$

– Nếu $d_p/\Sigma t \ge 30\left(420/f_u\right)^{0,5}$:

$$F_{w,Rd} = \frac{0,9 d_p \Sigma t\, f_u}{\gamma_{M2}} \tag{8.5d}$$

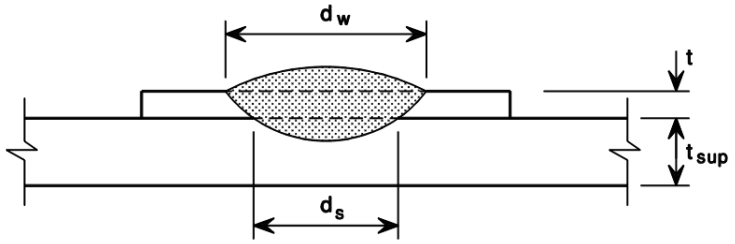
với d_p được xác định theo (8).

(7) Đường kính tại mặt tiếp xúc d_s của mối hàn điểm hồ quang, xem Hình 8.6 cần được xác định theo công thức:

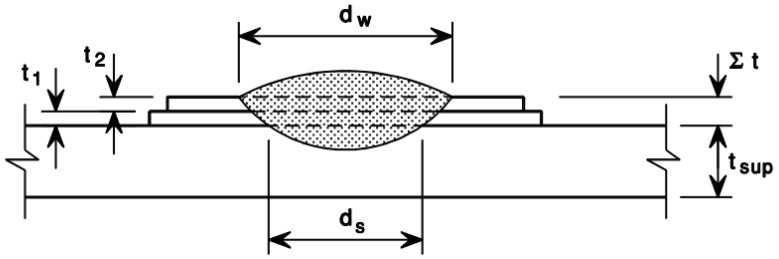
$$d_s = 0,7 d_w - 1,5\Sigma t \quad \text{nhưng} \quad d_s \ge 0,55 d_w \tag{8.6}$$

trong đó:

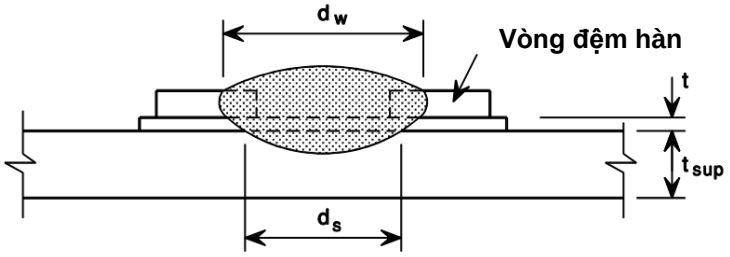
d_w là đường kính nhìn thấy được của mối hàn điểm hồ quang, xem Hình 8.6.



a) Một tấm được nối (∑ t = t)



Hai tấm được nối (∑ t = t_1 + t_2)



c) Một tấm được nối có vòng đệm hàn

Hình 8.6 – Mối hàn điểm hồ quang

(8) Đường kính chu vi hiệu dụng d_p của mối hàn điểm hồ quang cần được xác định như sau:

– Khi một tấm hoặc phần được liên kết có chiều dày *t*:

$$d_p = d_w - t \tag{8.7a}$$

– Khi nhiều tấm hoặc phần được liên kết có tổng chiều dày Σt :

$$d_p = d_w - 2\Sigma t \tag{8.7b}$$

(9) Khả năng chịu cắt thiết kế $F_{w,Rd}$ của mối hàn điểm hồ quang kéo dài cần được xác định theo công thức:

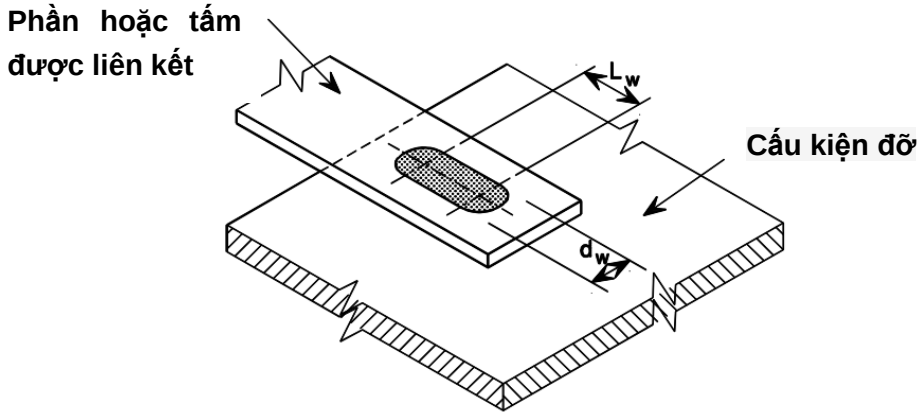
$$F_{w,Rd} = \frac{\left[(\pi/4)d_s^2 + L_w d_s\right] \cdot 0{,}625 f_{uw}}{\gamma_{M2}} \tag{8.8a}$$

nhưng $F_{w,Rd}$ lấy không lớn hơn khả năng chịu lực theo chu vi xác định theo công thức:

$$F_{w,Rd} = \frac{\left(0,5L_w + 1,67d_p\right)\Sigma t\, f_u}{\gamma_{M2}} \quad (8.8b)$$

trong đó

L_w là chiều dài mối hàn điểm hồ quang kéo dài, đo như trên Hình 8.7.



Hình 8.7 – Mối hàn điểm hồ quang kéo dài

9 Thiết kế có sự hỗ trợ của thí nghiệm

(1) Mục 9 này có thể dùng để áp dụng các nguyên tắc về thiết kế có sự hỗ trợ của thí nghiệm nêu trong TCVN X1990 và trong 2.5 của TCVN X1993-1-1, với các yêu cầu đặc thù bổ sung đối với các cấu kiện và tấm tạo hình nguội.

(2) Cần áp dụng các nguyên tắc nêu trong Phụ lục A cho thí nghiệm.

CHÚ THÍCH 1: Phụ lục quốc gia có thể đưa ra thông tin về thí nghiệm để bổ sung cho Phụ lục A.

CHÚ THÍCH 2: Phụ lục A đưa ra các quy trình tiêu chuẩn cho:

- Thí nghiệm tấm định hình và máng;
- Thí nghiệm các cấu kiện tạo hình nguội;
- Thí nghiệm kết cấu và phần kết cấu;
- Thí nghiệm dầm được ngàm chống xoay bằng tấm;
- Đánh giá kết quả thí nghiệm để xác định giá trị thiết kế.

(3) Thí nghiệm khả năng chịu lực kéo của thép cần được thực hiện phù hợp với EN 10002-1. Thí nghiệm các đặc trưng khác của thép cần được thực hiện phù hợp với các tiêu chuẩn châu Âu tương ứng.

(4) Thí nghiệm chốt và liên kết cần được thực hiện phù hợp với cá tiêu chuẩn châu Âu và tiêu chuẩn quốc tế.

CHÚ THÍCH: Trong khi chờ các tiêu chuẩn châu Âu hoặc tiêu chuẩn quốc tế thích hợp thì thông tin về quy trình thí nghiệm đối với chốt có thể tìm thấy trong:

Ấn phẩm ECCS số 21 (1983): Các khuyến nghị của châu Âu cho kết cấu thép: thiết kế và thí nghiệm liên kết trong tấm thép và tiết diện thép.

Ấn phẩm ECCS số 42 (1983): Các khuyến nghị của châu Âu cho kết cấu thép: Các chốt cơ khí cho mục đích sử dụng trong tấm thép và tiết diện thép.

10 Xem xét đặc biệt đối với xà gồ, máng và tấm

10.1 Dầm ngàm bởi tấm

10.1.1 Quy định chung

(1) Các điều khoản trong 10.1 này có thể áp dụng cho dầm (còn được gọi là xà gồ trong Mục này) tiết diện ngang chữ Z , C , Σ , U và tiết diện dạng mũ với $h/t < 233$, $c/t \le 20$ đối với mép gập đơn và $d/t \le 20$ đối với mép gập kép.

CHÚ THÍCH: Các giới hạn khác là khả thi nếu được kiểm tra bằng thí nghiệm. Phụ lục quốc gia có thể đưa thêm thông tin về thí nghiệm. Thí nghiệm tiêu chuẩn nêu trong Phụ lục A được khuyến nghị áp dụng.

(2) Các yêu cầu này có thể được sử dụng cho hệ kết cấu của xà gồ có các thanh chống ngang, dạng liên tục, hệ nối có bản táp hoặc nối chồng.

(3) Các yêu cầu này cũng có thể áp dụng cho các cấu kiện tạo hình nguội được sử dụng như ray bên, dầm sàn và các loại dầm tương tự khác mà được ngàm tương tự bằng tấm.

(4) Ray bên có thể được thiết kế dựa trên cơ sở áp lực gió có ảnh hưởng tương tự lên chúng như tải trọng trọng lực lên xà gồ, và rằng gió hút tác dụng lên chúng tương tự như tải trọng hướng lên trên tác dụng lên xà gồ.

(5) Ngàm ngang liên tục toàn bộ có thể được tạo bởi tấm thép sóng hình thang hoặc tấm thép định hình khác với đủ độ cứng, liên kết liên tục với bản cánh xà gồ thông qua máng của sóng của tấm. Xà gồ tại liên kết với tấm sóng hình thang có thể được coi là được ngàm ngang, nếu 10.1.1(6) thỏa mãn. Trong trường hợp khác (ví dụ, chốt chặt vào đỉnh sóng của tấm) mức độ ngàm cần được dựa trên kinh nghiệm hoặc được xác định bằng thí nghiệm.

CHÚ THÍCH: Xem Phụ lục A về thí nghiệm.

(6) Nếu tấm sóng hình thang được liên kết với xà gồ và các điều kiện biểu diễn bằng biểu thức (10.1a) thỏa mãn thì xà gồ tại vị trí liên kết có thể được coi là ngàm ngang trong mặt phẳng tấm:

$$S \ge \left(EI_w \frac{\pi^2}{L^2} + GI_t + EI_z \frac{\pi^2}{L^2} 0,25h^2 \right) \frac{70}{h^2} \qquad (10.1a)$$

trong đó:

S là phần độ cứng chống cắt được đảm bảo bởi tấm cho cấu kiện kiểm tra được liên kết với tấm tại mỗi sườn (nếu tấm được liên kết với xà gồ chỉ tại mỗi sườn thứ hai, thì S cần được thay bằng $0,20S$);

I_w là hằng số vênh của xà gồ;

I_t là hằng số xoắn của xà gồ;

I_z là mô men quán tính của tiết diện ngang quanh trục phụ của tiết diện ngang của xà gồ;

L là nhịp xà gồ;

h là chiều cao xà gồ.

CHÚ THÍCH 1: Công thức (10.1a) cũng có thể được sử dụng để đánh giá ổn đinh ngang của các bánh cánh của cấu kiện sử dung cùng với các loại tấm bao che khác với tấm sóng hình thang, nếu liên kết này phù hợp với thiết kế.

CHÚ THÍCH 2: Độ cứng chống cắt S có thể được tính toán theo hướng dẫn ECCS (xem CHÚ THÍCH trong 9(4)) hoặc được xác định bằng thí nghiêm.

(7) Trừ khi có sự bố trí gối tựa bằng cách khác được chứng minh bằng kết quả thí nghiệm, xà gồ cần có các chi tiết gối tựa, như vấu để ngăn ngừa xoay và chuyển vị ngang tại gối tựa của nó. Ảnh hưởng của lực trong mặt phẳng tấm truyền vào gối tựa của xà gồ cần được kể đến trong thiết kế các chi tiết gối tựa.

(8) Ứng xử của xà gồ được ngàm ngang cần được mô hình hóa như mô tả trên Hình 10.1. Liên kết của xà gồ vào tấm có thể được coi là ngàm một phần chống xoắn xà gồ. Ngàm chống xoắn một phần này có thể được biểu thị bằng lò xo chống xoắn với độ cứng lò xo C_D. Ứng suất trong bản cánh tự do, không liên kết trực tiếp với tấm, sau đó cần được tính toán bằng có kể đến ảnh hưởng của uốn trong mặt phẳng và ảnh hưởng của xoắn, bao gồm uốn ngang do méo tiết diện ngang ngang. Ngàm chống xoay do tấm cần được xác định theo 10.5.

(9) Khi bản cánh tự do của xà gồ một nhịp chịu nén dưới tác dụng của tải trọng hướng lên trên, cần kể đến sự tăng ứng suất do xoắn và méo.

(10) Độ cứng chống cắt của tấm sóng hình thang liên kết với xà gồ tại mỗi sườn và liên kết cách sóng có thể được tính theo công thức:

$$S = 1000\sqrt{t^3}\left(50 + 10\sqrt[3]{b_{roof}}\right)\frac{s}{h_w} \text{ (N), } t \text{ và } b_{roof} \text{ đơn vị mm.} \qquad (10.1b)$$

trong đó:

t là chiều dày thiết kế của tấm;

b_{roof} là chiều rộng của mái;

s là khoảng cách giữa xà gồ;

h_w là chiều cao của tấm định hình.

Tất cả các kích thước nêu trên tính bằng mm.

Đối với máng thì độ cứng chống cắt bằng S_v lần khoảng cách giữa các xà gồ, trong đó S_v được tính theo 10.3.5(6).

10.1.2 Các phương pháp tính toán

(1) Nếu không thực hiện phân tích bậc hai, cần sử dụng các phương pháp nêu trong 10.1.3 và 10.1.4 để kể đến xu hướng bản cánh tự do chuyển dịch ngang (do đó gây ra ứng suất bổ sung) bằng cách coi nó là dầm chịu tải trọng ngang $q_{h,Ed}$, xem Hình 10.1.

(2) Khi sử dụng phương pháp này, lò xo chống xoay cần được thay bằng lò xo chống chuyển vị thẳng tương đương có độ cứng K. Khi xác định K thì ảnh hưởng của méo tiết diện ngang cũng cần được kể đến. Với mục đích này, bản cánh tự do có thể được coi là cấu kiện chịu nén chịu lực dọc phân bố thay đổi với một gối lò xo liên tục chống chuyển vị ngang có độ cứng K.

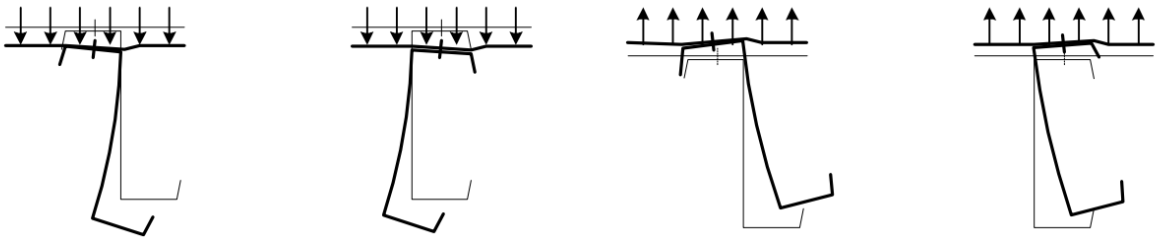
(3) Nếu bản cánh tự do của xà gồ chịu nén do uốn trong mặt phẳng (ví dụ, do tải trọng hướng lên trên trong xà gồ một nhịp đơn giản), khả năng chịu lực của bản cánh tự do khi mất ổn định ngang cũng cần được kiểm tra.

(4) Để tính chính xác hơn, cần thực hiện phương pháp phân tích số có sử dụng các giá trị của độ cứng lò xo chống xoay C_D xác định được tư 10.1.5.2. Cần kể đến ảnh hưởng của độ khiếm khuyết vồng ban đầu (e_o) trong bản cánh tự do được xác định theo 5.3. Độ khiếm khuyết ban đầu cần được so sánh với dạng mất ổn định tương ứng đã được xác định bằng phương pháp véc tơ riêng thu được từ phân tích mất ổn định đàn hồi bậc nhất.

(5) Phương pháp số dùng độ cứng lò xo chống xoay C_D thu được từ 10.1.5.2 cũng có thể được sử dụng nếu ngàm ngang không được cung cấp hoặc nếu sự hiệu quả của nó không thể tin cậy. Khi thực hiện phương pháp phân tích số, cần kể đến uốn theo hai phương, độ cứng chống xoắn St. Venant và độ cứng vênh đối với trục xoay đã chọn.

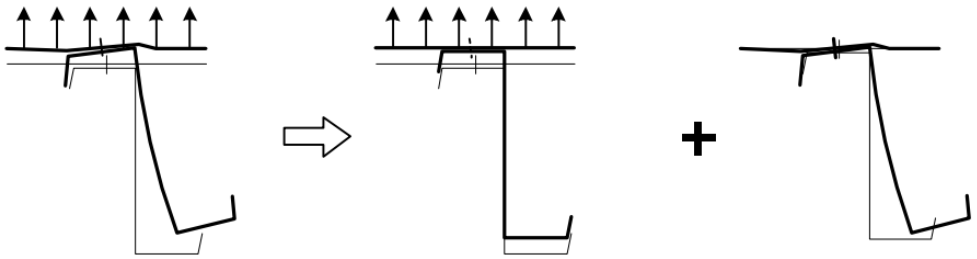
(6) Nếu thực hiện phương pháp phân tích bậc hai, cần kể đến tiết diện hiệu dụng và độ cứng do mất ổn định cục bộ.

CHÚ THÍCH: Để tính toán một cách đơn giản xà gồ có tiết diện ngang chữ C, Z, Σ, xem Phụ lục E.



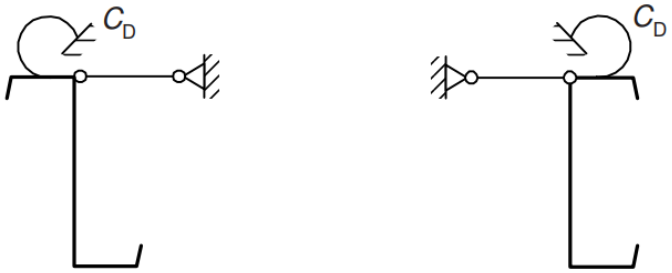
Tải trọng trọng lực Tải trọng hướng lên trên

a) Xà gồ chữ Z và chữ C với bản cánh trên được liên kết với tấm

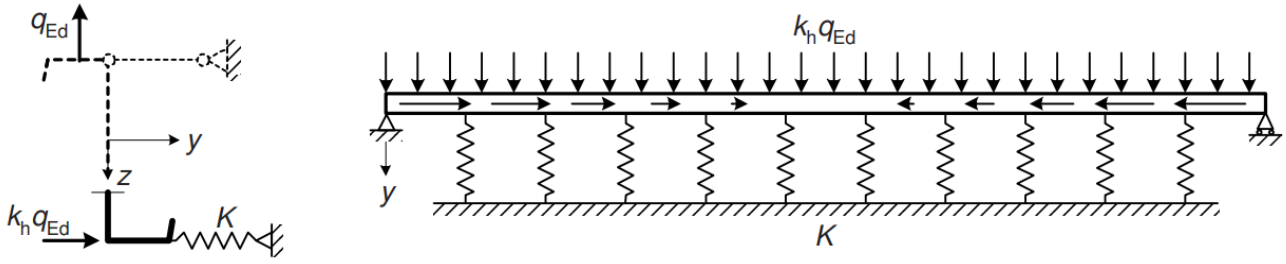


Uốn trong mặt phẳng Xoắn và uốn ngang

b) Tổng biến dạng được chia làm hai phần



c) Mô hình xà gồ khi được giằng ngang với ngàm lò xo chống xoay C_D bằng tấm



d) Để đơn giản thay độ cứng lò xo chống xoay C_D bằng độ cứng lò xo ngang K

e) Bản cánh tự do của xà gồ được mô hình hóa như dầm trên nền đàn hồi. Mô hình biểu diễn ảnh hưởng của xoắn và uốn ngang (bao gồm cả méo tiết diện ngang) lên một nhịp với tải trọng hương lên trên

Hình 10.1 – Mô hình hóa xà gồ được giằng ngang chống xoay bằng tấm

10.1.3 Tiêu chí thiết kế

10.1.3.1 Xà gồ một nhịp

(1) Đối với tải trọng trọng lực, xà gồ một nhịp đơn giản cần thỏa mãn điều kiện khả năng chịu lực của tiết diện ngang nêu trong 10.1.4.1. Nếu nó chịu nén dọc trục thì nó cần cũng cần thỏa mãn điều kiện ổn định của bản cánh tự do nêu trong 10.1.4.2.

(2) Đối với tải trọng hướng lên trên, xà gồ một nhịp đơn giản cần thỏa mãn điều kiện khả năng chịu lực của tiết diện ngang nêu trong 10.1.4.1 và điều kiện ổn định của bản cánh tự do nếu trong 10.1.4.2.

10.1.3.2 Xà gồ liên tục hai nhịp chịu tải trọng hướng trọng lực

(1) Các mô men do tải trọng trọng lực trong xà gồ liên tục vượt hơn hai nhịp không nối chồng hoặc nối có bản táp có thể được xác định bằng tính toán hoặc dựa trên kết quả thí nghiệm.

(2) Nếu các mô men được xác định bằng tính toán thì chúng cần được xác định bằng phân tích tổng thể đàn hồi. Xà gồ cần thỏa mãn điều kiện về khả năng chịu lực của tiết diện ngang nêu trong 10.1.4.1. Đối với mô men tại gối tựa trung gian, điều kiện ổn định của bản cánh tự do nêu trong 10.1.4.2 cũng cần được thỏa mãn. Đối với gối tựa giữa cần kiểm tra với mô men uốn kết hợp phản lực gối tựa (phình bản bụng nếu không sử dụng vấu) và với mô men uốn kết hợp lực cắt phụ thuộc vào trường hợp đang xét.

(3) Một cách khác, các mô men có thể được xác định dựa theo kết quả thí nghiệm phù hợp với Mục 9 và Phụ lục A.5 về ứng xử mô men - góc xoay của xà gồ tại gối tựa trung gian.

(4) Giá trị thiết kế của khả năng chịu uốn tại các gối tựa $M_{\sup,Rd}$ với giá trị cho trước của tải trọng trên đơn vị chiều dài q_{Ed} cần được xác định từ điểm giao của hai đường cong biểu diễn giá trị thiết kế của:

- Đặc trưng mô men – góc xoay tại gối tựa, thu được bằng thí nghiệm phù hợp với Mục 9 và Phụ lục A.5;
- Quan hệ lý thuyết giữa mô men gối tựa $M_{\sup,Ed}$ và góc xoay của khớp dẻo ϕ_{Ed} trong xà gồ tại gối tựa.

Để xác định giá trị thiết kế cuối cùng của mô men gối tựa $M_{\sup,Ed}$ cần kể đến ảnh hưởng của tải trọng ngang trong bản cánh tự do và/hoặc ổn định chống mất ổn định của bản cánh tự do này quanh gối tựa giữa mà không kể đến toàn bộ được bằng thí nghiệm gối tựa trung gian như đã nêu trong A.5.2. Nếu bản cánh tự do liên tục về khía cạnh vật lý tại gối tựa và nếu khoảng cách giữa gối tựa và thanh chống ngang gần nhất là lớn hơn $0{,}5s$, thì tải trọng ngang $q_{h,Ed}$ theo 10.1.4.1 cần được kể đến khi kiểm tra khả năng chịu lực tại gối tựa giữa. Bằng cách khác, thí nghiệm nguyên mẫu cho xà gồ hai hay nhiều nhịp có thể được sử dụng để xác định ảnh hưởng của tải trọng ngang trong bản cánh tự do và/hoặc ổn định chống mất ổn định của bản cánh tự do này quanh gối tựa giữa.

(5) Các mô men giữa nhịp sau đó cần được xác định theo giá trị của mô men gối tựa.

(6) Có thể sử dụng các biểu thức sau đây cho xà gồ với hai nhịp bằng nhau:

$$\phi_{Ed} = \frac{L}{12EI_{eff}}\left[q_{Ed}L^2 - 8M_{\sup,Ed}\right] \quad (10.2a)$$

$$M_{spn,Ed} = \frac{\left(q_{Ed}L^2 - 2M_{\sup,Rd}\right)}{8q_{Ed}L^2} \quad (10.2b)$$

trong đó

I_{eff} là mô men quán tính hiệu dụng ứng với mô men $M_{spn,Ed}$;

L là nhịp xà gồ;

$M_{spn,Ed}$ là mô men lớn nhất trong nhịp.

(7) Các biểu thức (10.2a) và (10.2b) là gần đúng và không thích hợp áp dụng cho xà gồ có hai nhịp không bằng nhau, cho tải trọng phân bố không đều (ví dụ, tích tụ tuyết) và cho các trường hợp tương tự. Cần sử dụng phương pháp phân tích thích hợp cho các trường hợp này.

(8) Mô men lớn nhất trong nhịp $M_{spn,Ed}$ của xà gồ cần thỏa mãn các điều kiện khả năng chịu lực của tiết diện ngang nêu trong 10.1.4.1. Một cách khác, khả năng chịu uốn trong nhịp có thể được xác định bằng thí nghiệm. Cần sử dụng thí nghiệm cấu kiện một nhịp đơn giản có nhịp bằng với khoảng cách giữa các điểm uốn đổi hướng trong nhịp.

10.1.3.3 Xà gồ hai nhịp liên tục không chịu tải trọng hướng lên trên

(1) Các mô men do tải trọng hướng lên trên trong xà gồ liên tục vượt hơn hai nhịp không nối chồng hoặc nối có bản táp có thể được xác định bằng phân tích tổng thể đàn hồi.

(2) Mô men tại gối tựa trung gian cần thỏa mãn điều kiện khả năng chịu lực của tiết diện ngang nêu trong 10.1.4.1. Do phản lực gối tựa là lực kéo, nên không cần kể đến tương tác với mô men gối tựa. Gối tựa giữa cũng cần được kiểm tra với tương tác của mô men uốn và lực cắt.

(3) Các mô men trong nhịp cần thỏa mãn điều kiện ổn định của bản cánh tự do nêu trong 10.1.4.2.

10.1.3.4 Xà gồ bán liên tục do nối chồng hoặc nối có bản táp

(1) Các mô men do tải trọng hướng lên trên trong xà gồ liên tục vượt hơn hai nhịp có nối chồng hoặc nối có bản táp cần được xác định có kể đến ảnh hưởng của các đặc trưng tiết diện của tiết diện ngang và ảnh hưởng của nối chồng hoặc nối có bản táp.

(2) Thí nghiệm có thể được thực hiện dựa trên chi tiết cấu tạo để xác định:

– Độ cứng chống uốn của phần nối chồng hoặc nối có bản táp;

- Đặc điểm mô men – góc xoay của phần nối chồng hoặc nối có bản táp. Lưu ý là chỉ khi xuất hiện phá hoại tại gối tựa có vấu hoặc ngăn ngừa tương tự chuyển vị ngang tại gối tựa, thì sự phân bố mô men uốn khi dẻo có thể được sử dụng cho hệ nối chồng hoặc nối có bản táp;
- Khả năng chịu lực của phần nối chồng hoặc nối có bản táp dưới tác dụng của phản lực gối tựa và mô men;
- Khả năng chịu lực của phần không nối chồng hoặc nối có bản táp dưới tác dụng của lực cắt và mô men uốn.

Bằng cách khác, các đặc trưng của chi tiết gối tựa giữa có thể được xác định bằng phương pháp số nếu quy trình thiết kế ít nhất được chứng minh bởi số lượng thí nghiệm tương ứng.

(3) Đối với tải trọng trọng lực, xà gồ cần thỏa mãn các điều kiện sau:

- Tại gối tựa trung gian, khả năng chịu lực dưới tác dụng đồng thời của phản lực gối tựa và mô men uốn được xác định, ví dụ, tính toán có sự hỗ trợ của thí nghiệm;
- Gần gối tựa, khả năng chịu lực dưới tác dụng đồng thời của lực cắt và mô men uốn được xác định bằng tính toán có sự hỗ trợ của thí nghiệm;
- Trong nhịp, điều kiện về khả năng chịu lực của tiết diện ngang được xác định theo 10.1.4.1;
- Nếu xà gồ chịu nén dọc trục, điều kiện ổn định của bản cánh tự do nêu trong 10.1.4.2.

(4) Đối với tải trọng hướng lên trên, xà gồ cần thỏa mãn các điều kiện sau:

- Tại gối tựa trung gian, khả năng chịu lực dưới tác dụng đồng thời của phản lực gối tựa và mô men uốn được xác định, ví dụ, tính toán có sự hỗ trợ của thí nghiệm, có kể đến thực tế là phản lực gối tựa là lực kéo trong trường hợp này;
- Gần gối tựa, khả năng chịu lực dưới tác dụng đồng thời của lực cắt và mô men uốn được xác định bằng tính toán có sự hỗ trợ của thí nghiệm;
- Trong nhịp, điều kiện về khả năng chịu lực của bản cánh tự do được xác định theo 10.1.4.1;
- Nếu xà gồ chịu nén dọc trục, điều kiện ổn định của bản cánh tự do nêu trong 10.1.4.2.

10.1.3.5 Tiêu chí sử dụng

(1) Điều kiện sử dụng liên quan đến xà gồ cũng cần được thỏa mãn.

10.1.4 Khả năng chịu lực thiết kế

10.1.4.1 Khả năng chịu lực của tiết diện ngang

(1) Đối với xà gồ chịu lực dọc và tải trọng ngang, khả năng chịu lực của tiết diện ngang cần được kiểm tra bằng phương pháp cộng ứng suất, xem Hình 10.2:

- Do mô men uốn $M_{y,Ed}$ trong mặt phẳng;

– Do lực dọc N_{Ed};

– Do tải trọng ngang tương đương $q_{h,Ed}$ tác dụng lên bản cánh tự do và gây ra xoắn và uốn ngang, xem (3).

(2) Ứng suất lớn nhất trong tiết diện ngang càn thỏa mãn các điều kiện sau:

– Trong bản cánh ngàm:

$$\sigma_{\max,Ed} = \frac{M_{y,Ed}}{W_{eff,y}} + \frac{N_{Ed}}{A_{eff}} \le \frac{f_y}{\gamma_M} \tag{10.3a}$$

– Trong bản cánh tự do:

$$\sigma_{\max,Ed} = \frac{M_{y,Ed}}{W_{eff,y}} + \frac{N_{Ed}}{A_{eff}} + \frac{M_{fz,Ed}}{W_{fz}} \le \frac{f_y}{\gamma_M} \tag{10.3b}$$

trong đó

A_{eff} là diện tích hiệu dụng của tiết diện ngang chỉ chịu nén đều;

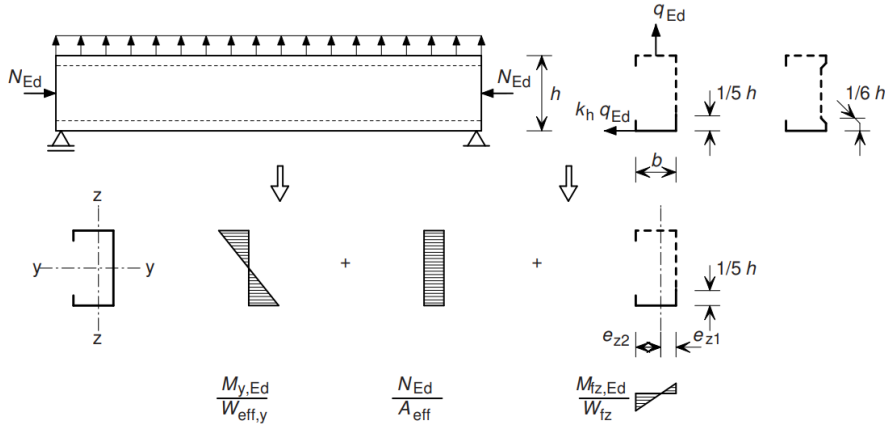
f_y là giới hạn chảy, được xác định theo 3.2.1(5);

$M_{fz,Ed}$ là mô men uốn trong bản cánh tự do do tải trọng ngang $q_{h,Ed}$, xem công thức (10.4);

$W_{eff,y}$ là mô đun chống uốn hiệu dụng của tiết diện ngang chỉ chịu uốn quanh trục y – y;

W_{fz} là mô đun chống uốn đàn hồi của tiết diện nguyên của bản cánh tự do cộng phần tham gia của bản bụng khi uốn quanh trục z-z; nếu không thực hiện phân tích phức tạp hơn, thì phân tham gia của bản bụng có thể lấy bằng 1/5 chiều cao bản bụng tính từ điểm bản bụng giao với bản cánh trong trường hợp tiết diện chữ C và Z và bằng 1/6 chiều cao bản bụng trong trường hợp tiết diện chữ Σ, xem Hình 10.2;

$\gamma_M = \gamma_{M0}$ nếu $A_{eff} = A_g$ hoặc nếu $W_{eff,y} = W_{el,y}$ và $N_{Ed} = 0$, nếu không thì lấy $\gamma_M = \gamma_{M1}$.

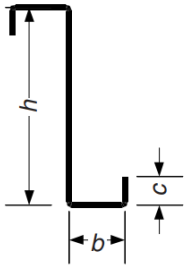


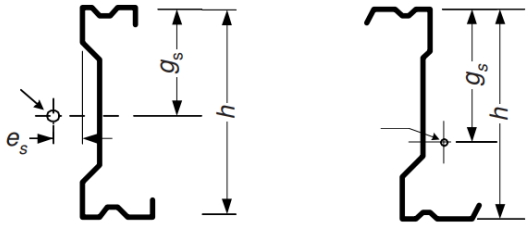
Hình 10.2 – Cộng ứng suất

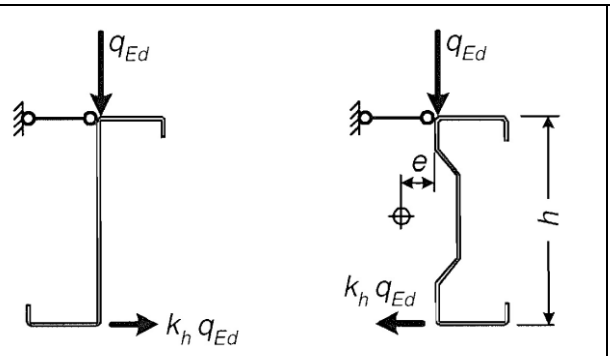
(3) Tải trọng tương đương $q_{h,Ed}$ tác dụng lên bản cánh tự do, do oắn và uốn ngang cần được xác định theo công thức:

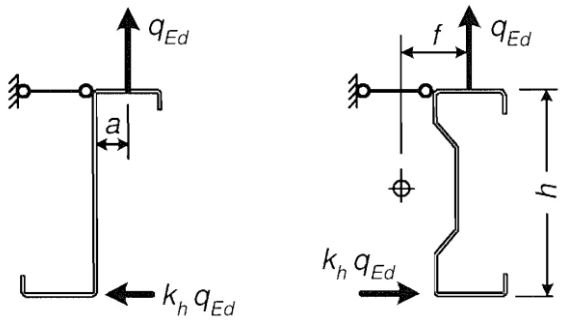
$$q_{h,Ed} = k_h \, q_{Ed} \tag{10.4}$$

(4) Hệ số k_h cần được xác định theo Hình 10.3 cho các loại tiết diện phổ biến.

<table>
<tr>
<td> 

$$k_{h0} = \frac{ht\left(b^2 + 2cb - 2c^2 b/h\right)}{4I_y}$$
Tiết diện chữ Z đơn giản đối xứng một trục</td>
<td> 

$$k_{h0} = \frac{I_{yz}}{I_y} \cdot \frac{g_s}{h}$$
Tiết diện chữ Z, C hoặc Σ</td>
</tr>
<tr>
<td colspan="2">a) Các hệ số k_{h0} cho tải trọng ngang lên bản cánh dưới tự do (k_{h0} ứng với tải trọng tại tâm cắt)</td>
</tr>
<tr>
<td> 

$k_h = k_{h0}$ $\quad$ $k_h = k_{h0} + e/h$ (*)</td>
<td> 

$k_h = k_{h0} - a/h$ (**) $\quad$ $k_h = k_{h0} - f/h$ (***)</td>
</tr>
<tr>
<td>b) Tải trọng trọng lực</td>
<td>c) Tải trọng hướng lên trên</td>
</tr>
<tr>
<td colspan="2">Hệ số tải trọng ngang tương đương k_h.</td>
</tr>
<tr>
<td colspan="2">(*) Nếu tâm cắt nằm ở phía phải của tải trọng q_{Ed} thì tải trọng này tác dụng theo phương ngược lại.
(**) Nếu $a/h > k_{h0}$ thì tải trọng tác dụng theo phương ngược lại.
(***) Giá trị của f được giới hạn đến vị trí của tải trọng q_{Ed} giữa các mép của bản cánh trên.</td>
</tr>
</table>

Hình 10.3 – Quy đổi xoắn và uốn ngang về tải trọng ngang tương đương $k_h \, q_{Ed}$

(5) Mô men uốn ngang $M_{fz,Ed}$ có thể được xác định theo biểu thức (10.5) trừ trường hợp đối với dầm có bản cánh tự do chịu kéo, hoặc do ảnh hưởng có lợi của độ cong bản cánh và mô men do hiệu ứng bậc hai có thể lấy bằng không:

$$M_{fz,Ed} = \kappa_R M_{0,fz,Ed} \tag{10.5}$$

Trong đó:

$M_{0,fz,Ed}$ là mô men uốn ngang ban đầu trong bản cánh tự do không có bất kỳ gối tựa lò xo nào;

κ_R là hệ số hiệu chỉnh của gối tựa lò xo hiệu dụng.

(6) Mô men uốn ngang ban đầu trong bản cánh tự do $M_{0,fz,Ed}$ có thể được xác định theo Bảng 10.1 đối với các vị trí tới hạn trong nhịp, tại các gối tựa, tại các thanh chống ngang và giữa các thanh chống ngang. Bảng 10.1 đúng trong phạm vi $R \le 40$.

(7) Hệ số hiệu chỉnh κ_R đối với các vị trí và điều kiện biên tương ứng có thể được xác định theo Bảng 10.1 (hoặc bằng lý thuyết dầm trên nền đàn hồi của Winkler), với giá trị của hệ số R của gối tựa lò xo được xác định theo công thức:

$$R = \frac{KL_a^4}{\pi^4 E I_{fz}} \tag{10.6}$$

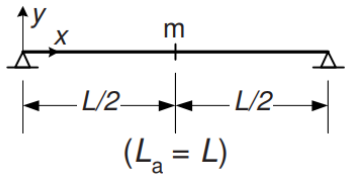
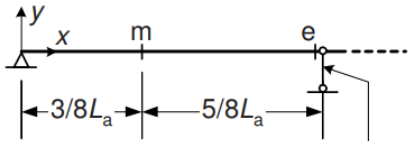
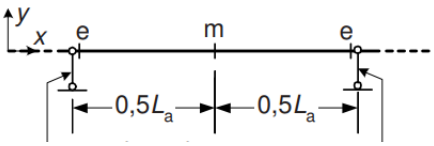
trong đó:

I_{fz} là mô men quán tính của tiết diện ngang nguyên của bản cánh tự do cộng phần tham gia của bản bụng khi uốn quanh trục z-z, xem 10.1.4.1(2); khi thực hiện phương pháp số, xem 10.1.2(5);

K là độ cứng lò xo ngang trên đơn vị chiều dài theo 10.1.5.1;

L_a là khoảng cách giữa các thanh chống ngang, hoặc nếu không có thì là chiều dài nhịp *L* của xà gồ.

Bảng 10.1 – Các giá trị của mô men ban đầu $M_{0,fz,Ed}$ và hệ số hiệu chỉnh κ_R

Hệ	Vị trí	$M_{0,fz,Ed}$	κ_R
	m	$\frac{1}{8}q_{h,Ed}L_a^2$	$\kappa_R = \frac{1-0{,}0225R}{1+1{,}013R}$
 Thanh chống ngang hoặc gối tựa	m	$\frac{9}{128}q_{h,Ed}L_a^2$	$\kappa_R = \frac{1-0{,}0141R}{1+0{,}416R}$
	e	$-\frac{1}{8}q_{h,Ed}L_a^2$	$\kappa_R = \frac{1+0{,}0314R}{1+0{,}396R}$
 Thanh chống ngang hoặc gối tựa	m	$\frac{1}{24}q_{h,Ed}L_a^2$	$\kappa_R = \frac{1-0{,}0125R}{1+0{,}198R}$
	e	$-\frac{1}{12}q_{h,Ed}L_a^2$	$\kappa_R = \frac{1+0{,}0178R}{1+0{,}191R}$

10.1.4.2 Khả năng chống mất ổn định của bản cánh tự do

(1) Nếu bản cánh tự do chịu nén, thì khả năng chống mất ổn định của nó cần được kiểm tra theo điều kiện:

$$\frac{1}{\chi_{LT}}\left(\frac{M_{y,Ed}}{W_{eff,y}}+\frac{N_{Ed}}{A_{eff}}\right)+\frac{M_{fz,Ed}}{W_{fz}}\le\frac{f_{yb}}{\gamma_{M1}} \qquad (10.7)$$

trong đó: χ_{LT} là hệ số giảm cho mất ổn định dạng xoắn ngang (mất ổn định dạng uốn của bản cánh tự do).

CHÚ THÍCH: Việc sử dụng giá trị χ_{LT} có thể được lựa chọn trong Phụ lục quốc gia. Việc sử dụng TCVN X1993-1-1, 6.3.2.3 sử dụng đường cong mất ổn định b ($\alpha_{LT}=0{,}34$; $\overline{\lambda}_{LT,0}=0{,}4$; $\beta=0{,}75$) được khuyến nghị cho độ mảnh tương đối $\overline{\lambda}_{fz}$ nêu trong (2). Trong trường hợp có lực nén dọc trục N_{Ed}, khi hệ số giảm cho mất ổn định quanh trục khỏe nhỏ hơn hệ số giảm cho mất ổn định ngang của bản cánh, nghĩa là trong trường hợp có nhiều thanh chống ngang, thì dạng phá hoại này cũng cần được kiểm tra theo 6.2.2 và 6.2.4.

(2) Độ mảnh tương đối $\bar{\lambda}_{fz}$ cho mất ổn định dạng uốn của bản cánh tự do cần được xác định theo công thức:

$$\bar{\lambda}_{fz} = \frac{l_{fz}/i_{fz}}{\lambda_1} \tag{10.8}$$

với

$$\lambda_1 = \pi\left(E/f_{yb}\right)^{0,5}$$

trong đó

l_{fz} là chiều dài mất ổn định của bản cánh tự do theo (3) đến (7);

i_{fz} là bán kính quán tính của tiết diện ngang nguyên của các bản cánh tự do cộng với phần bản bụng tham gia chịu uốn quanh trục $z-z$, xem 10.1.4.1(2).

(3) Đối với tải trọng trọng lực, nếu $0 \le R \le 200$ thì chiều dài mất ổn định của bản cánh tự do cho sự biến đổi của ứng suất nén trên suốt chiều dài L như trên Hình 10.4 có thể được xác định theo công thức:

$$l_{fz} = \eta_1 L_a \left(1 + \eta_2 R^{\eta_3}\right)^{\eta_4} \tag{10.9}$$

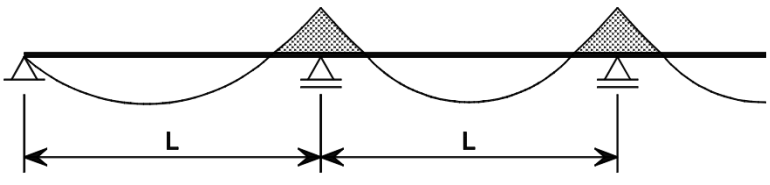
trong đó:

L_a là khoảng cách giữa các thanh chống ngang, hoặc nếu không có chúng, thì là nhịp L của xà gồ;

R được xác định theo 10.1.4.1(7);

và η_1 đến η_4 là các hệ số phụ thuộc vào số thanh chống ngang, như nêu trong Bảng 10.2a. Các bảng 10.2a và 10.2b chỉ đúng đối với hệ dầm có nhịp bằng nhau chịu tải trọng phân bố đều không nối chồng hoặc nối bằng bản táp và với các thanh chống ngang cung cấp gối tựa cứng theo phương ngang cho bản cánh tự do. Có thể sử dụng các bảng này chọ các hệ nối chồng và nối bằng bản táp nếu hệ liên kết có thể được xem như là hoàn toàn liên tục. Trong các trường hợp khác, chiều dài mất ổn định cần được xác định bằng tính toán chính xác hơn hoặc, trừ công xôn, có thể sử dụng các giá trị trong Bảng 10.2a cho trường hợp 3 thanh chống ngang cho một vùng.

CHÚ THÍCH Do góc xoay trong liên kết nối chồng hoặc bằng bản táp, trường mô men có thể lớn hơn nhiều so với khi không xoay, dẫn đến chiều dài mất ổn định lớn hơn trong nhịp. Bỏ qua sự phân phối thực của mô men có thể dẫn đến thiết kế không an toàn.



(Các diện tích chấm chấm chỉ các vùng chịu nén)

Hình 10.4 – Ứng suất nén thay đổi trong bản cánh tự do đối với trường hợp tải trọng trọng lực

Bảng 10.2a – Hệ số η_i cho tải trọng hướng xuống dưới với số các thanh chống ngang là 0, 1, 2, 3, 4

Tình huống	Số thanh chống ngang	η_1	η_2	η_3	η_4
Nhịp biên	0	0,414	1,720	1,110	-0,178
Nhịp trung gian		0,657	8,170	2,220	-0,107
Nhịp biên	1	0,515	1,260	0,868	-0,242
Nhịp trung gian		0,596	2,330	1,150	-0,192
Nhịp biên và trung gian	2	0,596	2,330	1,150	-0,192
Nhịp biên và trung gian	3 và 4	0,694	5,450	1,270	-0,168

Bảng 10.2b – Hệ số η_i cho tải trọng hướng lên trên với số các thanh chống ngang là 0, 1, 2, 3, 4

Tình huống	Số thanh chống ngang	η_1	η_2	η_3	η_4
Nhịp đơn	0	0,694	5,450	1,270	-0,168
Nhịp biên		0,515	1,260	0,868	-0,242
Nhịp trung gian		0,306	0,232	0,742	-0,279
Nhịp đơn và nhịp biên	1	0,800	6,750	1,490	-0,155
Nhịp trung gian		0,515	1,260	0,868	-0,242
Nhịp đơn	2	0,902	8,550	2,180	-0,111
Nhịp biên và nhịp trung gian		0,800	6,750	1,490	-0,155
Nhịp đơn và nhịp biên	3 and 4	0,902	8,550	2,180	-0,111
Nhịp trung gian		0,800	6,750	1,490	-0,155

(4) Đối với tải trọng trọng lực, nếu có hơn ba thanh chống ngang đặt cách đều nhau và với các điều kiện nêu trong (3), chiều dài mất ổn định không cần lấy lớn hơn giá trị cho hai thanh chống ngang, với $L_a = L/3$. Điều này chỉ đúng nếu không có lực nén dọc trục tác dụng.

(5) Nếu ứng suất nén trên suốt chiều dài L gần như không đổi, do tác dụng của lực dọc trục lớn tương ứng, chiều dài mất ổn định cần được xác định theo giá trị của η_i từ Bảng 10.2a cho trường hợp khi có hơn 3 thanh chống ngang trong một nhịp, trừ khoảng cách thực tế L_a.

(6) Đối với tải trọng hương lên trên, khi không sử dụng các thanh chống ngang, nếu $0 \le R_0 \le 200$ thì chiều dài mất ổn định của bản cánh tự do cho sự thay đổi của ứng suất nén trên suốt chiều dài L_0 như trên Hình 10.5, có thể được xác định theo công thức:

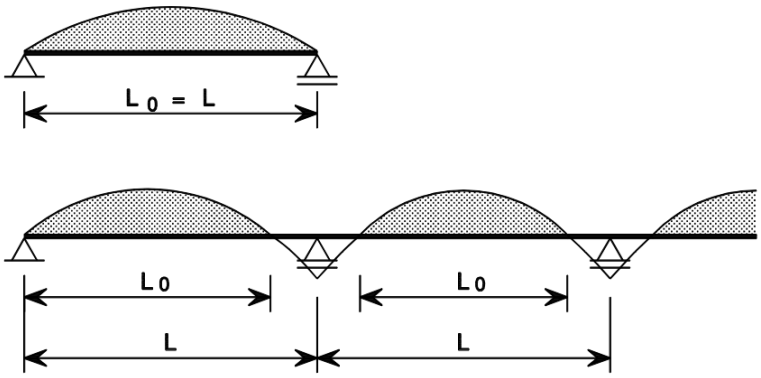
$$l_{fz} = 0,7L_0(1+13,1R_0^{1,6})^{-0,125} \quad (10.10a)$$

với:

$$R_0 = \frac{KL_0^4}{\pi^4 E I_{fz}} \quad (10.10b)$$

trong đó I_{fz} và K được xác định theo 10.1.4.1(7). Bằng cách khác, chiều dài mất ổn định của bản cánh tự do có thể được xác định theo Bảng 10.2b kết hợp với biểu thức nêu trong 10.1.4.2(3).

(7) Đối với tải trọng hướng lên trên, nếu bản cánh tự do được liên kết ngang hiệu quả với bước liên kết bằng các thanh chống ngang, thì chiều dài mất ổn định có thể lấy thiên về an toàn bằng chiều dài trong trường hợp mô men phân bố đều, được xác định trong (5). Công thức (10.9) có thể áp dụng với các điều kiện nêu trong (3). Nếu không có tính toán thích hợp, thì cần tham chiếu tới (5).



(Diện tích chấm chấm chỉ các vùng chịu nén)

Hình 10.5 – Ứng suất nén thay đổi trong bản cánh tự do đối với trường hợp tải trọng hướng lên trên

10.1.5 Ngàm chống xoay bằng tấm

10.1.5.1 Độ cứng lò xo ngang

(1) Gối tựa lò xo ngang do tấm cung cấp cho bản cánh tự do của xà gồ cần được mô hình hóa như là lò xo ngang tác dụng tại bản cánh tự do, xem Hình 10.1. Tổng độ cứng lò xo ngang *K* trên chiều dài đơn vị cần được xác định theo công thức:

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{K_A} + \frac{1}{K_B} + \frac{1}{K_C} \quad (10.11)$$

trong đó:

K_A là độ cứng ngang ứng với độ cứng chống xoay của nút giao giữa tấm và xà gồ;

K_B độ cứng ngang do méo của tiết diện ngang của xà gồ;

K_C là độ cứng ngang do độ cứng chống uốn của tấm.

(2) Thường thì có thể giả thiết an toàn là bỏ qua $1/K_C$ vì K_C rất lớn so với K_A và K_B. Lúc này, giá trị của K cần được xác định theo công thức:

$$K = \frac{1}{\left(1/K_A + 1/K_B\right)} \tag{10.12}$$

(3) Giá trị của $\left(1/K_A + 1/K_B\right)$ có thể được xác định bằng thí nghiệm hoặc bằng tính toán.

CHÚ THÍCH: Quy trình thí nghiệm thích hợp nêu trong Phụ lục A.

(4) Độ cứng lò xo ngang K trên chiều dài đơn vị có thể được xác định bằng tính toán sử dụng công thức:

$$\frac{1}{K} = \frac{4\left(1-v^2\right)h^2\left(h_d + b_{\text{mod}}\right)}{Et^3} + \frac{h^2}{C_D} \tag{10.13}$$

trong đó kích thước b_{mod} được xác định như sau:

– Đối với trường hợp khi lực ngang tương đương $q_{h,Ed}$ làm cho xà gồ tiếp xúc với tấm tại bản bụng xà gồ:

$b_{\text{mod}} = a$

– Đối với trường hợp khi lực ngang tương đương $q_{h,Ed}$ làm cho xà gồ tiếp xúc với tấm tại đầu của bản cánh xà gồ:

$b_{\text{mod}} = 2a + b$

trong đó:

t là chiều dày xà gồ;

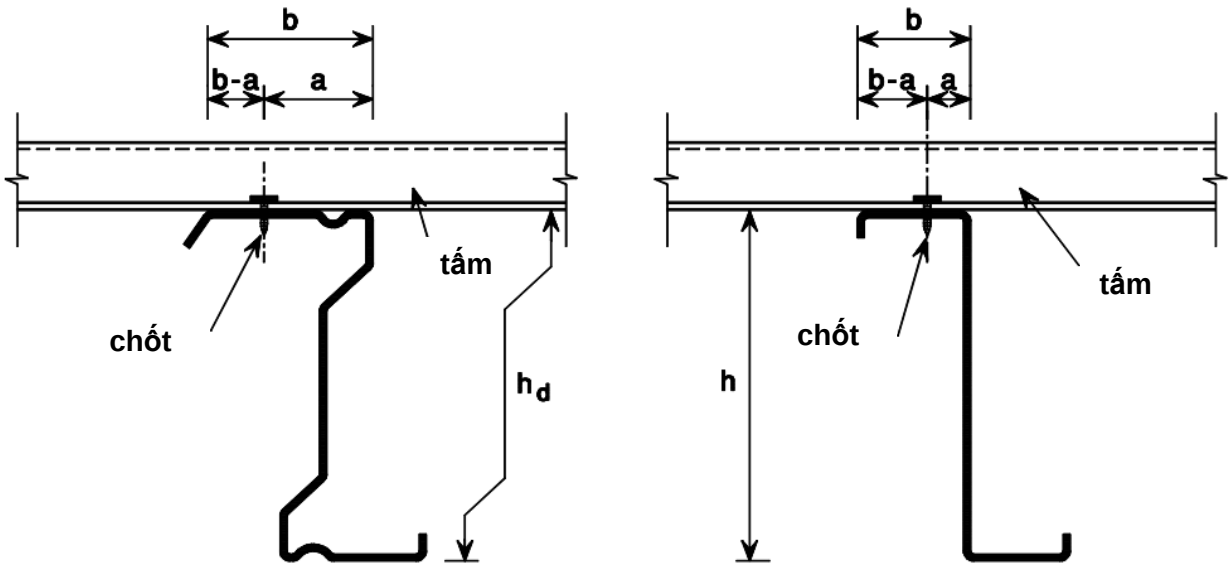
a là khoảng cách từ chốt gắn tấm với xà gồ đến bản bụng xà gồ, xem Hình 10.6;

b là chiều rộng bản cánh xà gồ liên kết với tấm, xem Hình 10.6;

C_D là độ cứng lò xo chống xoay theo 10.1.5.2;

h là tổng chiều cao xà gồ;

h_d là chiều cao khai triển của bản bụng xà gồ, xem Hình 10.6.



Hình 10.6 – Xà gồ và tấm được liên kết vào

10.1.5.2 Độ cứng lò xo chống xoay

(1) Ngàm chống xoay cho xà gồ bằng tấm được liên kết với bản cánh trên của nó cần được mô hình hóa như là lò xo chống xoay tác dụng lên bản cánh trên của xà gồ, xem Hình 10.1. Tổng độ cứng lò xo chống xoay C_D cần được xác định theo công thức:

$$C_D = \frac{1}{\left(1/C_{D,A} + 1/C_{D,C}\right)} \tag{10.14}$$

trong đó:

$C_{D,A}$ là độ cứng chống xoay của liên kết giữa tấm và xà gồ;

$C_{D,C}$ là là độ cứng chống xoay ứng với độ cứng chống uốn của tấm.

(2) Nói chung $C_{D,A}$ có thể được tính theo các chỉ dẫn trong (5) và (7). Bằng cách khác, $C_{D,A}$ có thể được xác định bằng thí nghiệm, xem (9).

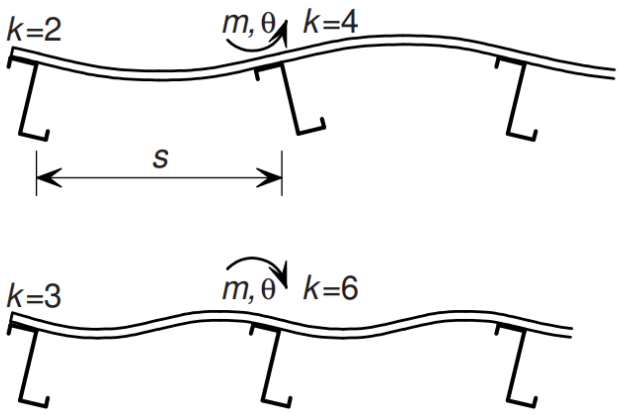
(3) Giá trị của $C_{D,C}$ có thể lấy bằng giá trị nhỏ nhất thu được từ mô hình tính như trên Hình 10.7, có kể đến việc xà gồ liền kề bị xoay và mức độ liên tục của tấm, bằng công thức:

$$C_{D,C} = \frac{m}{\theta} \tag{10.15}$$

trong đó**:**

m là mô men tác dụng trên chiều rộng đơn vị của tấm, như trên Hình 10.7;

θ là góc xoay, được đo như trên Hình 10.7, tính bằng radian.



Hình 10.7 – Mô hình tính $C_{D,C}$

(4) Bằng cách khác, giá trị thiên về an toàn của $C_{D,C}$ có thể được xác định theo công thức:

$$C_{D,C} = \frac{k E I_{eff}}{s} \tag{10.16}$$

trong đó k là hệ số với giá trị lấy như sau:

– Đối với xà gồ biên, trường hợp trên của Hình 10.7: $k = 2$;

– Đối với xà gồ biên, trường hợp dưới của Hình 10.7: $k = 3$;

– Đối với xà gồ giữa, trường hợp trên của Hình 10.7: $k = 4$;

– Đối với xà gồ giữa, trường hợp dưới của Hình 10.7: $k = 6$;

trong đó**:**

I_{eff} là mô men quán tính hiệu dụng trên chiều rộng đơn vị của tấm;

s là bước xà gồ.

(5) Nếu các chốt gắn tấm với xà gồ được bố trí ở giữa bản cánh của xà gồ, thì giá trị của $C_{D,A}$ đối với tấm sóng hình thang liên kết với bản cánh trên của xà gồ có thể được xác định như sau (xem bảng 10.3):

$$C_{D,A} = C_{100} . k_{ba} . k_t . k_{bR} . k_A . k_{bT} \tag{10.17}$$

trong đó:

$k_{ba} = (b/100)^2$ nếu $b_a < 125$ mm;

$k_{ba} = 1{,}25(b_a/100)$ nếu $125 \text{ mm} \le b_a < 200$ mm;

$k_t = (t_{nom}/0{,}75)^{1.1}$ nếu $t_{nom} \ge 0{,}75$ mm, vị trí dương;

$k_t = (t_{nom}/0,75)^{1,5}$ nếu $t_{nom} \geq 0,75$ mm , vị trí âm;

$k_t = (t_{nom}/0,75)^{1,5}$ nếu $t_{nom} < 0,75$ mm ;

$k_{bR} = 1,0$ nếu $b_R \leq 185$ mm ;

$k_{bR} = 185/b_R$ nếu $b_R > 185$ mm .

Đối với tải trọng trọng lực:

$k_A = 1,0 + (A - 1,0) \cdot 0,08$ nếu $t_{nom} = 0,75$ mm ; vị trí dương;

$k_A = 1,0 + (A - 1,0) \cdot 0,16$ nếu $t_{nom} = 0,75$ mm ; vị trí âm;

$k_A = 1,0 + (A - 1,0) \cdot 0,095$ nếu $t_{nom} = 1,00$ mm ; vị trí dương;

$k_A = 1,0 + (A - 1,0) \cdot 0,095$ nếu $t_{nom} = 1,00$ mm ; vị trí âm.

- Cho phép nội suy tuyến tính giữa $t = 0,75$ và $t = 1,0$
- Khi $t < 0,75$ mm, công thức này không còn đúng;
- Khi $t > 1$ mm , công thức này cần sử dụng với $t = 1$ mm

Đối với tải trọng hướng lên trên:

$k_A = 1,0$;

$k_{bT} = \sqrt{\frac{b_{T,\max}}{b_T}}$ nếu $b_T > b_{T,\max}$, nếu không thì $k_{bT} = 1$;

A[kN/m] $\leq$ 12kN/m tải trọng truyền từ tấm vào dầm

trong đó:

b_a là chiều rộng bản cánh xà gồ, tính bằng mm;

b_R là chiều rộng sóng, tính bằng mm;

b_T là chiều rộng bản cánh của tấm mà chốt xuyên qua vào xà gồ;

$b_{T,\max}$ được xác định theo Bảng 10.3;

C_{100} là hệ số xoay, biểu thì giá trị của $C_{D,A}$ nếu $b_a = 100$ mm

(6) Nếu không có lớp ngăn cách (cách âm/nhiệt) giữa tấm và xà gồ, thì giá trị của hệ số xoay C_{100} có thể được xác định theo Bảng 10.3.

(7) Bằng cách khác, $C_{D,A}$ có thể lấy bằng 130p (Nm/m/rad), trong đó p là số chốt gắn tấm với xà gồ trên mét dài xà gồ (nhưng không nhiều hơn một trên một sườn của tấm), nếu:

- Chiều rộng bản cánh *b* của tấm mà chốt xuyên qua không vượt quá 120 mm;

- Chiều dày danh định *t* của tấm ít nhất bằng 0,66 mm;
- Khoảng cách a hoặc $b-a$ giữa đườn tâm của chốt và tâm xoay của xà gồ (phụ thuộc vào phương xoay) như trên Hình 10.6, ít nhất bằng 25 mm.

(8) Nếu ảnh hưởng của méo tiết diện ngang phải kể đến, xem 10.5, thì có thể giả thiết một cách thực tế là bỏ qua $C_{D,C}$, vì độ cứng lò xo chủ yếu bị ảnh hưởng bởi giá trị của $C_{D,A}$ và méo tiết diện ngang.

(9) Bằng cách khác, giá trị của $C_{D,A}$ có thể được xác định bằng cách kết hợp thí nghiệm và tính toán.

(10) Nếu giá trị của $(1/K_A + 1/K_B)$ được xác định bằng thí nghiệm (tính bằng mm/N phù hợp với A.5.5(3)), thì giá trị của $C_{D,A}$ đối với tải trọng trọng lực và đối với tải trọng hướng lên trên cần được xác định theo công thức:

$$C_{D,A} = \frac{h^2 / l_A}{\left(1/K_A + 1/K_B\right) - 4\left(1-v^2\right)h^2\left(h_d + b_{\text{mod}}\right)/\left(Et^3 l_B\right)} \tag{10.18}$$

trong đó:

b_{mod}, h và h_d được xác định theo 10.1.5(14);

l_A là mô đun chiều rộng tấm đã thử;

l_B là chiều dài dầm đã thử.

CHÚ THÍCH: Xem Phụ lục A.5.3(3) về thí nghiệm.

Bảng 10.3 – Hệ số xoay C_{100} cho tấm sóng hình thang

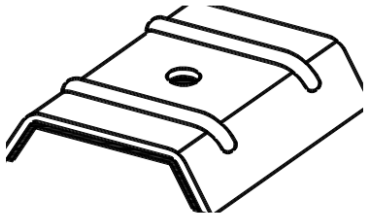
Vị trí của tấm		Tấm được liên kết chốt qua		Bước của chốt liên kết		Đường kính vòng đệm, mm	C_{100}	$b_{T,max}$
Dương 1)	Âm 1)	Máng	Đỉnh	$e = b_R$	$e = 2b_R$		kNm/m	mm
Đối với tải trọng trọng lực:								
x		x		x		22	5,2	40
x		x			x	22	3,1	40
	x		x	x		K_a	10,0	40
	x		x		x	K_a	5,2	40
	x	x		x		22	3,1	120
	x	x			x	22	2,0	120
Đối với tải trọng hướng lên trên:								
x		x		x		16	2,6	40
x		x			x	16	1,7	40

CHÚ THÍCH:

b_R là chiều rộng của sóng;

b_T là chiều rộng của phần cánh của tấm mà qua đó nó được liên kết chốt vào xà gồ.

K_a biểu thị một bản đệm dạng yên ngựa bằng thép như hình dưới đây với t ≥ 0,75 mm

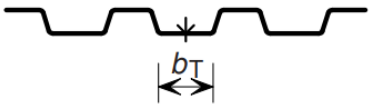


Các giá trị trong bảng này đúng cho:

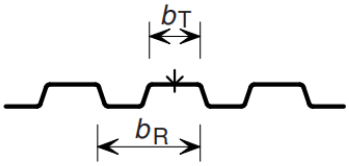
- vít liên kết cho tấm với đường kính: $\phi = 6{,}3$ mm
- vòng đệm bằng thép có chiều dày: $t_w \geq 1{,}0$ mm

Tấm được liên kết chốt qua:

- qua phần máng:



- qua phần đỉnh:



1) Vị trí của tấm là dương khi bản cánh hẹp nằm trên xà gồ và âm khi bản cánh rộng nằm trên xà gồ.

10.1.6 Lực trong các chốt liên kết của tấm/xà gồ và các phản lực

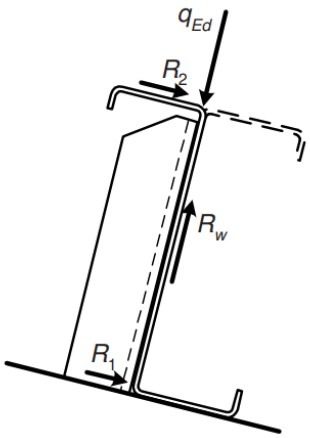
(1) Các chốt liên kết cố định tấm với xà gồ phải được kiểm tra ảnh hưởng tổ hợp của lực cắt $q_s e$, vuông góc với bản cánh và lực kéo q_t e trong đó q_s và q_t có thể được tính bằng cách sử dụng Bảng 10.4 và e là bước của chốt liên kết. Phần lực cắt do hiệu ứng ổn định, xem EN1993-1-1, cần được thêm vào lực cắt. Hơn nữa, lực cắt do hiệu ứng màng cứng, tác dụng song song với bản cánh, cần được cộng theo phương pháp vectơ vào q_s.

Bảng 10.4 Lực cắt và lực kéo trong chốt liên kết dọc theo dầm

Dầm và tải trọng	Lực cắt trên một đơn vị chiều dài q_s	Lực kéo trên một đơn vị chiều dài q_t
Dầm chữ Z, tải trọng lực	$(1+\xi)k_h q_{Ed}$, có thể lấy bằng 0	0
Dầm chữ Z, tải hướng lên	$(1+\xi)(k_h - a/h)q_{Ed}$	$\lvert\xi k_h q_{Ed} h/a\rvert + q_{Ed}$ $(a \cong b/2)$
Dầm chữ C, tải trọng lực	$(1-\xi)k_h q_{Ed}$	$\xi k_h q_{Ed} h/a$
Dầm chữ C, tải hướng lên	$(1-\xi)(k_h - a/h)q_{Ed}$	$\xi k_h q_{Ed} h/(b-a) + q_{Ed}$

(2) Các chốt liên kết cố định xà gồ với gối tựa phải được kiểm tra với phản lực R_w trong mặt phẳng của bản bụng và phản lực ngang R_1 và R_2 trong mặt phẳng của bản cánh, xem hình 10.8. Có thể tính toán lực R_1 và R_2 bằng cách sử dụng bảng 10.5. Lực R_2 cũng phải kể đến các tải trọng song song với mái đối với mái dốc. Nếu R_1 dương thì không có lực kéo trong chốt liên kết. Lực R_2 cần được truyền từ tấm đến bản cánh trên của xà gồ và tiếp tục đến vì kèo (dầm chính) thông qua liên kết xà gồ/vì kèo (gối đỡ bằng thép góc) hoặc thông qua các đinh chống cắt đặc biệt hoặc trực tiếp đến đế hoặc cấu kiện tương tự. Các phản lực tại một gối tựa trung gian của xà gồ liên tục có thể được lấy bằng 2,2 lần các giá trị cho trong bảng 10.5.

CHÚ THÍCH: Đối với mái dốc, tải trọng ngang lên xà gồ là thành phần vuông góc (với mặt phẳng mái) của tải trọng thẳng đứng và thành phần song song của tải trọng thẳng đứng tác dụng lên mặt phẳng mái.



Hình 10.8 – Phản lực tại gối tựa

Bảng 10.5 Phản lực tại gối tựa cho dầm đơn giản

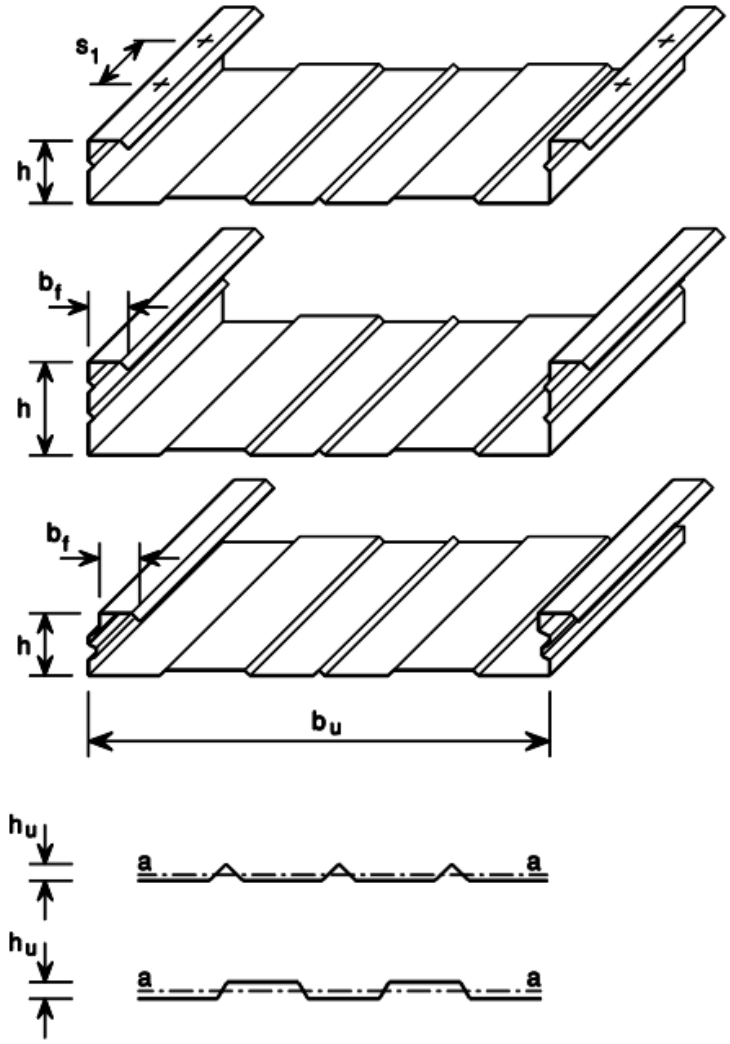
Dầm và tải trọng	Phản lực lên bản cánh dưới R_1	Phản lực lên bản cánh trên R_2
Dầm chữ Z, tải trọng lực	$(1-\varsigma)k_h q_{Ed} L/2$	$(1+\varsigma)k_h q_{Ed} L/2$
Dầm chữ Z, tải hướng lên	$-(1-\varsigma)k_h q_{Ed} L/2$	$-(1+\varsigma)k_h q_{Ed} L/2$
Dầm chữ C, tải trọng lực	$(1-\varsigma)k_h q_{Ed} L/2$	$-(1-\varsigma)k_h q_{Ed} L/2$
Dầm chữ C, tải hướng lên	$-(1-\varsigma)k_h q_{Ed} L/2$	$(1-\varsigma)k_h q_{Ed} L/2$

(3) Hệ số ς có thể được lấy bằng $\varsigma = 1-\sqrt[3]{\kappa_R^2}$ trong đó κ_R là hệ số hiệu chỉnh cho trong Bảng 10.1 và hệ số ξ có thể được lấy bằng $\xi = 1{,}5\varsigma$

10.2 Máng được ngàm bằng tấm

10.2.1 Quy định chung

(1) Máng cần có tiết diện chữ C rộng với hai cánh hẹp, hai bản bụng và một bản cánh rộng, thông thường như trên Hình 10.9. Hai bản cánh hẹp được ngàm theo phương ngang bằng tấm thép định hình gắn vào hoặc bằng xà gồ thép hoặc bằng bộ phận tương tự.



Hình 10.9 – Hình học điển hình cho máng

(2) Khả năng chịu lực của các bản bụng của máng chịu lực cắt và lực ngang cục bộ cần được xác định theo 6.1.5 đến 6.1.11, nhưng dùng giá trị của $M_{c,Rd}$ nêu trong (3) hoặc (4).

(3) Khả năng chịu uốn $M_{c,Rd}$ của máng có thể được xác định theo 10.2.2 nếu:

- Các đặc trưng hình học nằm trong phạm vi áp dụng nêu trong Bảng 10.6;
- Chiều cao sóng h_u của các bản cánh rộng không được vượt quá $h/8$, trong đó h là tổng chiều cao của máng.

(4) Bằng cách khác, khả năng chịu uốn của máng có thể được xác định bằng thí nghiệm nếu nó đảm bảo rằng ứng xử cục bộ của máng không bị ảnh hưởng bởi thiết bị thí nghiệm.

CHÚ THÍCH: Quy trình thí nghiệm thích hợp nêu trong Phụ lục A.

Bảng 10.6 – Phạm vi áp dụng của 10.2.2

0,75 mm $\le t_{nom} \le$ 1,5 mm
30 mm $\le b_f \le$ 60 mm
60 mm $\le h \le$ 200 mm
300 mm $\le b_u \le$ 600 mm
$I_a / b_u \le$ 10 mm^4/mm
$s_1 \le$ 1000 mm

10.2.2 Khả năng chịu uốn

10.2.2.1 Bản cánh rộng chịu nén

(1) Khả năng chịu uốn của máng với bản cánh rộng chịu nén cần được xác định bằng quy trình từng bước được mô tả trên Hình 10.10 như sau:

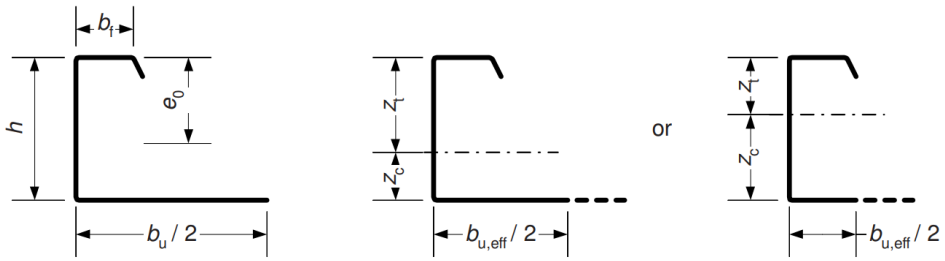
- **Bước 1**: Xác định diện tích hiệu dụng của tất cả các phần tử chịu nén của tiết diện ngang, dựa trên các giá trị của tỉ số ứng suất $\psi = \sigma_2 / \sigma_1$ thu được bằng cách sử dụng chiều rộng hiệu dụng của các bản cánh chịu nén trừ diện tích tiết diện nguyên của bản bụng;
- **Bước 2**: Tìm tâm của tiết diện ngang hiệu dụng, sau đó xác định khả năng chịu uốn $M_{c,Rd}$ theo công thức:

$$M_{c,Rd} = \frac{0,8 W_{eff,\min} f_{yb}}{\gamma_{M0}} \qquad (10.19)$$

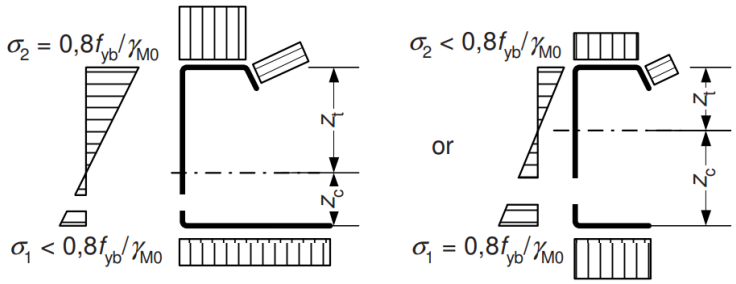
với:

$W_{eff,\min} = I_{y,eff} / z_c$ nhưng $W_{eff,\min} \le I_{y,eff} / z_t$

trong đó z_c và z_t được chỉ dẫn trên Hình 10.10.



Bước 1



Bước 2

Hình 10.10 – Xác định khả năng chịu uốn – Bản cánh rộng chịu nén

10.2.2.2 Bản cánh rộng chịu kéo

(1) Khả năng chịu uốn của máng với bản cánh rộng chịu kéo cần được xác định bằng quy trình theo bước mô tả trên Hình 10.11 như sau:

– **Bước 1**: Xác định trọng tâm của tiết diện ngang nguyên;

– **Bước 2**: Xác định chiều rộng hiệu dụng của bản cánh rộng $b_{u,eff}$, có kể đến khả năng cong của bản cánh, theo công thức:

$$b_{u,eff} = \frac{53{,}3 \cdot 10^{10} e_o^2 t^3 t_{eq}}{h L b_u^3} \tag{10.20}$$

trong đó:

b_u là tổng chiều rộng của bản cánh rộng;

e_o là khoảng cách từ trục trung tâm của tiết diện ngang nguyên đến trục trung tâm của bản cánh hẹp;

h là tổng chiều cao của máng;

L là nhịp của máng;

t_{eq} là chiều dày tương đương của bản cánh rộng:

$t_{eq} = \left(12 I_a / b_u\right)^{1/3}$;

I_a là mô men quán tính của diện tích bản cánh rộng, quanh trục bản thân của nó, xem Hình 10.9.

- **Bước 3**: Xác định diện tích hiệu dụng của tất cả các phần tử chịu nén, dựa trên các giá trị của tỉ số ứng suất $\psi = \sigma_2 / \sigma_1$ thu được bằng cách sử dụng chiều rộng hiệu dụng của bản cánh trừ diện tích tiết diện nguyên của bản bụng;
- **Bước 4**: Tìm trọng tâm của tiết diện ngang hiệu dụng, sau đó xác định khả năng chịu uốn khi mất ổn định $M_{b,Rd}$ theo công thức:

$$M_{b,Rd} = \frac{0,8\beta_b W_{eff,com} f_{yb}}{\gamma_{M0}} \text{ nhưng } M_{b,Rd} \le \frac{0,8\, W_{eff,t} f_{yb}}{\gamma_{M0}} \quad (10.21)$$

với:

$W_{eff,com} = I_{y,eff} / z_c$;

$W_{eff,t} = I_{y,eff} / z_t$,

trong đó hệ số hiệu chỉnh β_b lấy như sau:

- Nếu $s_1 \le 300$ mm:

$\beta_b = 1,0$

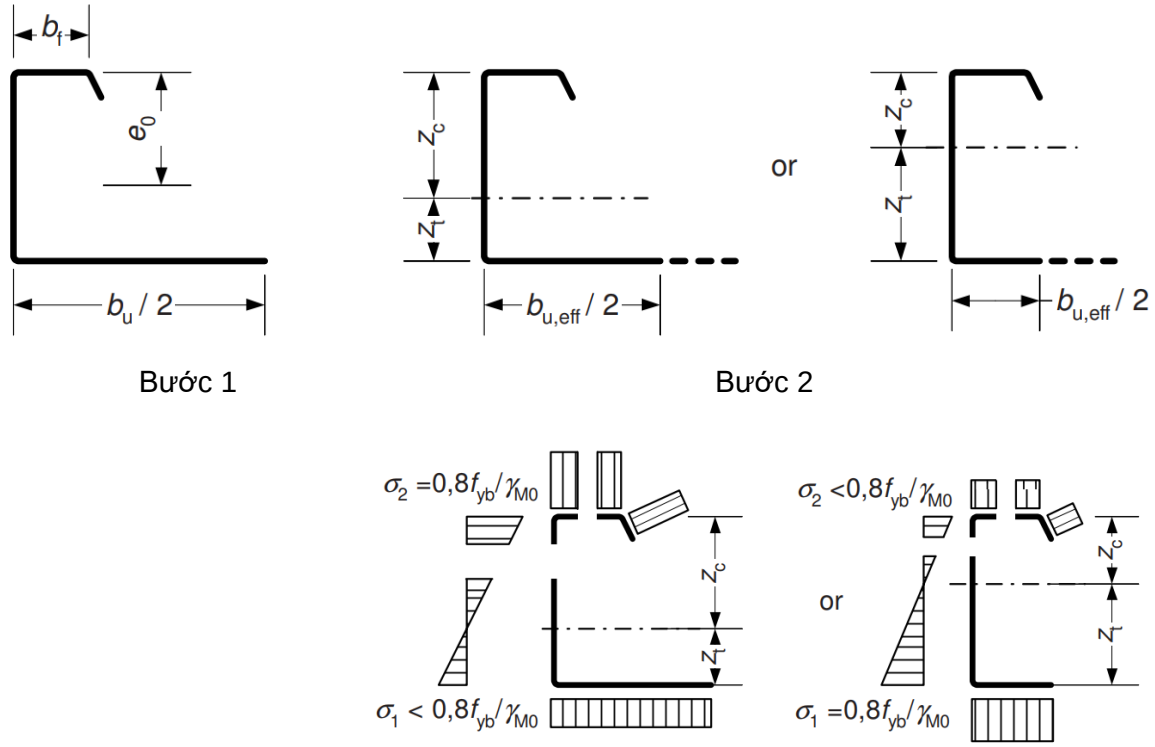
- Nếu $300\,\text{mm} \le s_1 \le 1000$ mm:

$\beta_b = 1,15 - s_1/2000$

trong đó:

s_1 là khoảng cách dọc của các chốt tạo nên ngàm ngang vào các bản cánh hẹp, xem Hình 10.9.

(2) Ảnh hưởng của trễ cắt không cần xét đến nếu $L/b_{u,eff} \ge 25$. Nếu không thì giá trị giảm của ρ cần được xác định theo các chỉ dẫn trong 6.1.4.3.



Hình 10.11 – Xác định khả năng chịu uốn – Bản cánh rộng chịu kéo

(3) Không cần kể đến độ cong của bản cánh khi xác định độ võng ở các trạng thái giới hạn.

(4) Như một cách đơn giản hóa, khả năng chịu uốn của máng với bản cánh rộng không được tăng cứng có thể lấy gần đúng bằng cách lấy diện tích hiệu dụng của bản cánh rộng chịu kéo bằng diện tích tiết diện của hai cánh hẹp chịu nén gộp lại.

10.3 Thiết kế vỏ mỏng chịu lực

10.3.1 Quy định chung

(1) Tương tác giữa các cấu kiện chịu lực và các ô bản của tấm được thiết kế để làm việc đồng thời như là các phần của một hệ kết cấu liên hợp có thể được kể đến như mô tả trong 10.3.

(2) Các yêu cầu trong mục này chỉ được áp dụng cho màng cứng tấm làm bằng thép.

(3) Các màng cứng có thể được tạo bởi tấm định hình được sử dụng như mái hoặc tường bao che hoặc cho sàn. Chúng cũng có thể được tạo bởi tường hoặc kết cấu mái dựa trên máng.

CHÚ THÍCH: Thông tin về tính toán kiểm tra các màng cứng này có thể được tìm thấy trong:

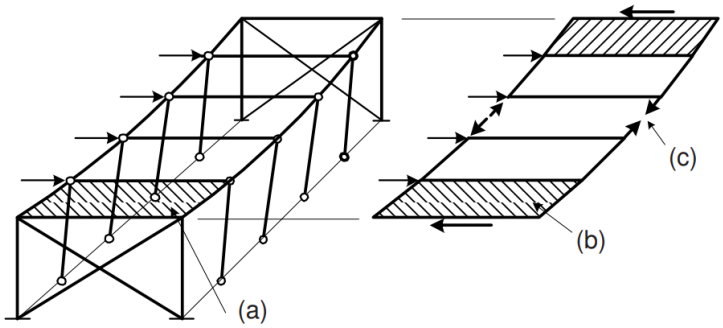
Ấn phẩm ECCS số 88 (1995): Các khuyến nghị của châu Âu về áp dụng tấm kim loại làm màng cứng.

10.3.2 Hiệu ứng màng cứng

(1) Trong thiết kế màng mỏng chịu lực, cần kể đến sự tham gia của màng cứng dùng làm mái, sàn hoặc tường bao che làm tăng độ cứng và khả năng chịu lực tổng thể của khung nhờ độ cứng và cường độ chịu cắt của chúng.

(2) Mái và sàn có thể được coi là các dầm phẳng cao kéo dài theo chiều dài nhà, chịu các tải trọng ngang trong mặt phẳng và truyền chúng vào mặt đầu hồi hoặc vào các khung trung gian có giằng. Ô bản của tấm có thể được coi là bản bụng chịu các tải trọng ngang trong mặt phẳng khi cắt, với các cấu kiện biên tác dụng như các bản cánh chịu lực kéo dọc trục và lực nén dọc trục, xem các hình 10.12 và 10.13.

(3) Tương tự, các ô bản chữ nhật của tường có thể được coi như là hệ giằng làm việc như là màng chịu cắt để chịu các lực trong mặt phẳng.



CHÚ DẪN:

(a) Tấm
(b) Vùng cắt trong tấm
(c) Lực trong bản cánh của cấu kiện biên

Hình 10.12 – Sự làm việc của vỏ mỏng chịu lực trong nhà có mái phẳng

10.3.3 Các điều kiện cần thiết

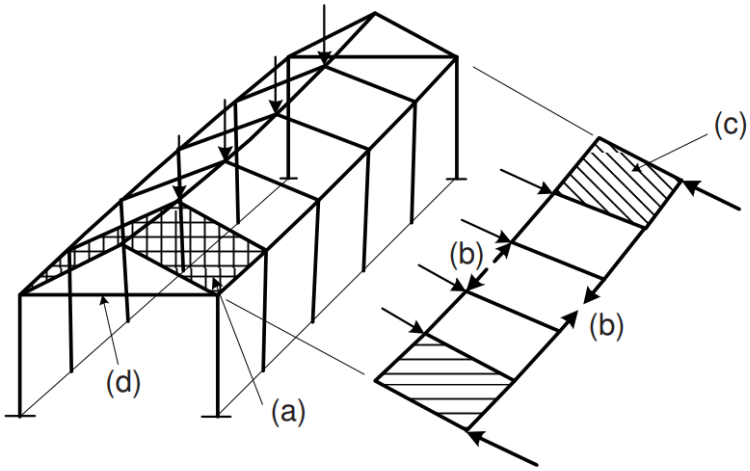
(10) Các phương pháp thiết kế vỏ mỏng chịu lực có kể đến tấm như một phần tích hợp của kết cấu, chỉ có thể được sử dụng nếu các điều kiện sau đây thỏa mãn:

- Sử dụng tấm, để bổ sung cho mục đích chính, được giới hạn đến khi hình thành màng cứng để ngăn cản chuyển vị của kết cấu trong mặt phẳng tấm này.
- Màng cứng có các cấu kiện biên dọc chịu các lực ở bản cánh sinh ra do ứng xử màng cứng;
- Các lực màng cứng trong mặt phẳng mái hoặc sàn được truyền xuống móng thông qua các khung giằng, các màng cứng khác, hoặc các phương pháp khả năng chống xoay khác;
- Các liên kết kết cấu thích hợp được sử dụng để truyền các lực màng cứng vào khung thép chính và để nối các cấu kiện biên tác dụng như các bản cánh;
- Tấm được coi như là bộ phận kết cấu mà không thể tháo rời nếu không xem xét một cách đúng đắn;

- Yêu cầu kỹ thuật của dự án, bao gồm cả tính toán và bản vẽ, đưa ra các lưu ý về một thực tế là nhà được thiết kế để tận dụng sự làm việc của vỏ mỏng chịu lực;
- Trong tấm có sóng hướng theo phương dọc của mái, các lực trong bản cánh sinh ra do sự làm việc của màng cứng có thể do chính tấm tiếp nhận.

(2) Thiết kế vỏ mỏng chịu lực có thể được sử dụng chủ yếu trong nhà thấp tầng, hoặc trong sàn và mặt dựng của nhà cao tầng.

(3) Các màng cứng chịu lực có thể được sử dụng chủ yếu để chịu tải trọng gió, tải trọng tuyết và các tải trọng khác truyền qua tấm. Chúng cũng có thể được sử dụng để chịu tải trọng tạm thời nhỏ (không lớn), như lực hãm của cần trục treo hoặc móc nâng nhẹ lên dầm cầu trục, nhưng có thể không được sử dụng để tiếp nhận các tải trọng ngoài thường xuyên, như tải trọng do thiết bị.



CHÚ DẪN:

(a) Tấm

(b) Lực trong bản cánh của cấu kiện biên

(c) Vùng cắt trong tấm

(d) Giằng đầu hồi để chịu lực trong tấm mái

Hình 10.13 – Sự làm việc của vỏ mỏng chịu lực trong nhà có mái dốc hai phía

10.3.4 Màng cứng bằng tấm thép định hình

(1) Trong màng cứng bằng tấm thép định hình, xem Hình 10.14, cả hai đầu của tấm cần được gắn vào các cấu kiện đỡ bằng vít tự cắt, chốt đạn, hàn, bu lông hoặc các chốt khác đảm bảo không bị lỏng trong quá trình sử dụng, không bị nhổ, hoặc phá hoại do cắt trước khi tấm bị phá hoại. Tất cả các chốt này cần được cố định trực tiếp thông qua tấm vào cấu kiện đỡ, ví dụ thông qua sóng của tấm định hình, trừ khi có các biện pháp đặc biệt để đảm bảo liên kết có hiệu quả truyền lực như được dự tính trong thiết kế.

(2) Các mép nối giữa các tấm liền kề cần được giữ bởi đinh tán, vít tự cắt, hàn, hoặc các loại chốt khác đảm bảo không bị lỏng trong quá trình sử dụng, không bị nhổ hoặc bị phá hoại trước khi tấm bị phá hoại. Khoảng cách giữa các chốt này không được vượt quá 500 mm.

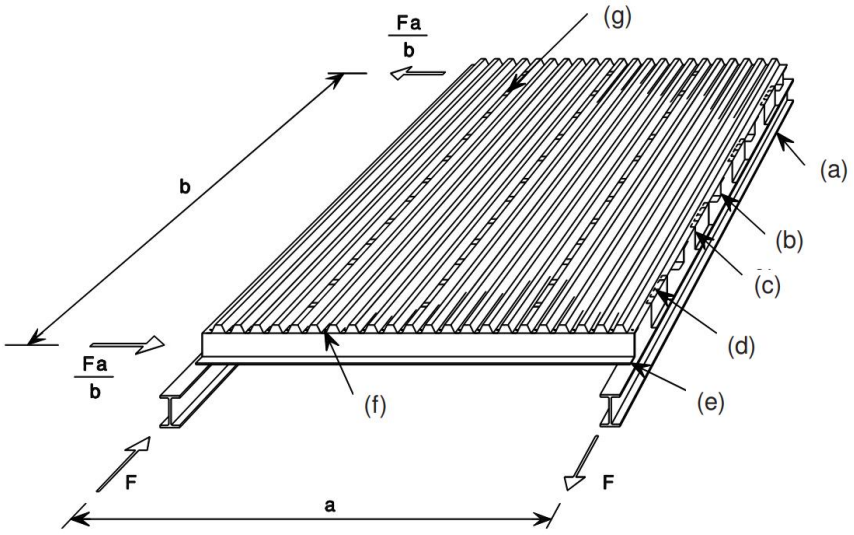
(3) Các khoảng cách từ tất cả các chốt đến các cạnh và đầu tấm cần đủ để tránh tấm bị phá hoại sớm do xé.

(4) Các lỗ mở nhỏ bố trí ngẫu nhiên trong vùng có diện tích không lớn hơn 3 % diện tích tương ứng, có thể được bố trí mà không cần tính toán cụ thể nếu tổng số chốt không bị giảm. Các lỗ mở chiếm tối đa 15 % diện tích tương ứng (diện tích của bề mặt màng cứng mà được kể đến trong tính toán) có thể được bố trí nếu được chứng minh bằng tính toán chi tiết. Các diện tích chứa các lỗ lớn cần được chia thành các diện tích nhỏ hơn, mỗi diện tích làm việc như một màng cứng.

(5) Tất cả các tấm mà cũng hình thành nên một phần của màng cứng cần được thiết kế trước tiên chịu uốn như mục đích chính. Để đảm bảo loại trừ được bất kỳ sự suy giảm nào của tấm đều phải do uốn trước khi khả năng chịu lực của hiệu ứng vỏ mỏng bị ảnh hưởng, cần kiểm tra điều kiện ứng suất tiếp do hiệu ứng màng cứng không vượt quá $0,25f_{yb} / \gamma_{M1}$.

(6) Khả năng chịu cắt của màng cứng vỏ mỏng chịu lực cần dựa trên khả năng chống xé nhỏ nhất của các chốt liên kết tại mép nối hoặc các chốt liên kết tấm với cấu kiện ở vị trí song song với các sóng, hoặc các chốt nối đầu tấm với cấu kiện đối với màng cứng chỉ được gắn chặt với các cấu kiện biên dọc. Khả năng chịu cắt tính toán cho bất kỳ loại phá hoại nào khác cần vượt quá giá trị tối thiểu này ít nhất như sau:

- Đối với phá hoại của chốt giữ tấm với xà gồ dưới tổ hợp lực cắt và lực gió hướng lên trên, ít nhất 40 %;
- Đối với các loại phá hoại khác: ít nhất 25 %.



CHÚ DẪN:

(a) Kèo

(b) Xà gồ

(c) Chốt chịu cắt

(d) chốt giữ tấm và chốt chịu cắt

(e) Xà gồ

(f) Chốt giữ tấm vào xà gồ

(g) Chốt tại mép nối

Hình 10.14 – Bố trí ô bản đơn lẻ

10.3.5 Màng cứng bằng máng thép

(1) Máng được sử dụng làm màng cứng chịu cắt cần có các bản cánh rộng được tăng cứng;

(2) Máng trong màng cứng chịu cắt cần được liên kết với nhau bằng các chốt ở bản bụng của máng đặt cách nhau một khoảng e_s không lớn hơn 300 mm bằng các chốt ở mép (thường bằng đinh tán chìm) ở khoảng e_u không quá 30 mm tính từ bản cánh rộng, tất cả được minh họa trên Hình 10.15.

(3) Việc đánh giá chính xác độ võng do chốt có thể được thực hiện bằng quy trình tương tự với quy trình đối với tấm định hình sóng hình thang.

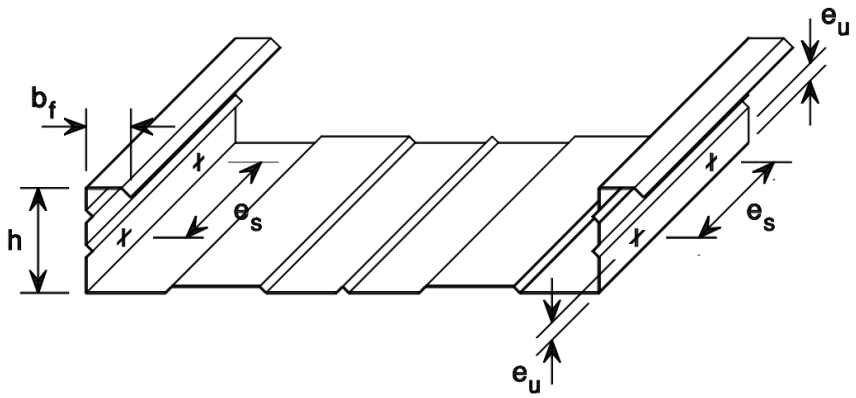
(4) Dòng lực cắt $T_{v,Ed}$ do các tải trọng thiết kế theo trạng thái giới hạn cực hạn không được vượt quá $T_{v,Rd}$ theo biểu thức:

$$T_{V,Rd} = 8,43E\sqrt[4]{I_a \left(t/b_u\right)^9} \qquad (10.22)$$

trong đó

I_a là mô men quán tính của bản cánh rộng đối với trục bản thân, xem Hình 10.9;

b_u là tổng chiều rộng của bản cánh rộng.



Hình 10.15 – Vị trí của các chốt nối

(5) Dòng lực cắt $T_{v,ser}$ do các tải trọng thiết kế theo trạng thái giới hạn sử dụng không được vượt quá $T_{v,Cd}$ được xác định theo công thức:

$$T_{v,Cd} = \frac{S_v}{375} \tag{10.23}$$

trong đó

S_v là độ cứng chống cắt của màng cứng, trên chiều dài đơn vị của nhịp máng;

(6) Độ cứng chống cắt S_v trên chiều dài đơn vị có thể được xác định theo công thức:

$$S_v = \frac{\alpha L b_u}{e_s (b - b_u)} \tag{10.24}$$

trong đó:

L là tổng chiều dài của màng cứng chịu cắt (theo phương nhịp của máng);

b là tổng chiều rộng của màng cứng chịu cắt $(b = \sum b_u)$;

α là hệ số độ cứng.

(7) Hệ số độ cứng α có thể thiên về an toàn lấy bằng 2000 N/mm nếu không có giá trị nào chính xác hơn thu được từ thí nghiệm.

10.4 Tấm có lỗ

(1) Tấm có lỗ với các lỗ bố trí theo hình tam giác đều có thể được thiết kế bằng tính toán nếu các quy tắc cho tấm không lỗ được điều chỉnh bằng cách sử dụng chiều dày hiệu dụng cho dưới đây.

CHÚ THÍCH: Các quy tắc tính toán này có xu hướng cho các giá trị thiên về an toàn. Các giải pháp kinh tế hơn có thể được xác định từ thiết kế có sự hỗ trợ của thí nghiệm, xem chương 9.

(2) Nếu $0,2 \le d/a \le 0,9$ thì các đặc trưng tiết diện nguyên có thể được tính theo Mục 5 nhưng thay t bằng $t_{a,eff}$ xác định theo công thức:

$$t_{a,eff} = 1,18t\left(1 - 0,9\frac{d}{a}\right) \tag{10.25}$$

trong đó:

d là đường kính lỗ;

a là khoảng cách giữa tâm các lỗ.

(3) Nếu $0,2 \le d/a \le 0,9$ thì các đặc trưng tiết diện hiệu dụng có thể được tính theo Mục 5, nhưng thay t bằng $t_{b,eff}$ xác định theo công thức:

$$t_{b,eff} = t\sqrt[3]{1,18(1 - d/a)} \tag{10.26}$$

(4) Khả năng chịu lực của bản bụng đơn chịu lực ngang cục bộ có thể được tính theo 6.1.7, nhưng thay t bằng $t_{c,eff}$ xác định theo công thức:

$$t_{c,eff} = t\left[1 - (d/a)^2 s_{per}/s_w\right]^{3/2} \tag{10.27}$$

trong đó:

s_{per} là chiều cao nghiêng của phần có lỗ của bản bụng;

s_w là tổng chiều cao nghiêng của bản bụng.

Phụ lục A
(quy định)

Quy trình thí nghiệm

A.1 Quy định chung

(1) Phụ lục A đưa ra thí nghiệm tiêu chuẩn và quy trình đánh giá thích hợp cho một số thí nghiệm mà thiết kế yêu cầu.

CHÚ THÍCH 1: Trong lĩnh vực cấu kiện và tấm tạo hình nguội, nhiều sản phẩn tiêu chuẩn thường sử dụng trong đó thiết kế bằng tính toán có thể không dẫn đến các giải pháp kinh tế, do đó thường phải thiết kế có sự hỗ trợ của thí nghiệm.

CHÚ THÍCH 2: Phụ lục quốc gia có thể đưa thêm thông tin về thí nghiệm.

CHÚ THÍCH 3: Phụ lục quốc gia có thể đưa ra các hệ số chuyển đổi cho các kết quả thí nghiệm tương đương với các kết quả thí nghiệm tiêu chuẩn hóa phù hợp với Phụ lục này.

(2) Phụ lục này bao gồm:

- Thí nghiệm tấm định hình và máng, xem A.2;
- Thí nghiệm cấu kiện tạo hình nguội, xem A.3;
- Thí nghiệm kết cấu và bộ phận kết cấu, xem A.4;
- Thí nghiệm dầm ngàm chống xoắn, xem A.5;
- Đánh giá kết quả thí nghiệm để xác định giá trị thiết kế, xem A.6.

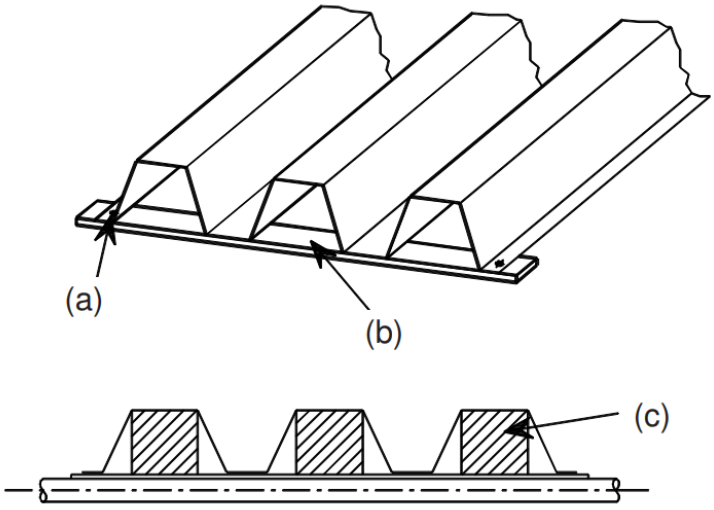
A.2 Thí nghiệm tấm định hình và máng

A.2.1 Quy định chung

(1) Mặc dù quy trình thí nghiệm này được dùng cho tấm định hình, cũng có thể sử dụng quy trình tương tự dựa trên các nguyên tắc tương tự cho máng và các loại tấm khác (nghĩa là tấm được nêu trong EN 508).

(2) Tải trọng có thể tác dụng thông qua túi khí trong buồng chân không hoặc bằng dầm ngang bằng thép hoặc gỗ bố trí mô phỏng như tải trọng phân bố đều.

(3) Để tránh các sóng bị dập, có thể sử dụng các giằng ngang hoặc các thiết bị thí nghiệm như khúc gỗ cho mẫu thử. Một số ví dụ được minh họa trên Hình A.1



CHÚ DẪN:

(a) Đinh tán hoặc vít

(b) Giằng ngang (dải kim loại)

(c) Khúc gỗ

Hình A.1 – Các ví dụ về các đồ gá thí nghiệm

(4) Đối với các thí nghiệm đẩy lên, thiết lập thí nghiệm phải mô phỏng chính xác ứng xử của tấm trong điều kiện thực tế. Loại nút liên kết giữa tấm và các gối tựa phải giống như các liên kết được sử dụng trong thực tế.

(5) Để kết quả thí nghiệm có thể được ứng dụng trọng phạm vi rộng, tốt nhất nên sử dụng các gối quay hoặc gối trượt, để tránh mọi ảnh hưởng của hạn chế chuyển vị xoay tại các gối đỡ đối với kết quả thí nghiệm.

(6) Cần đảm bảo rằng hướng của tải tác dụng được giữ vuông góc với mặt phẳng ban đầu của tấm trong suốt quy trình thí nghiệm.

(7) Cần phải đo chuyển vị ở cả hai đầu của mẫu thử để loại bỏ các biến dạng của gối đỡ.

(8) Kết quả thí nghiệm phải được lấy theo giá trị tối đa của tải trọng tác dụng cho mẫu tại thời điểm phá hoại hoặc ngay trước khi phá hoại nếu thích hợp.

A.2.2 Thí nghiệm nhịp đơn

(1) Có thể sử dụng thiết lập thí nghiệm tương đương với thiết lập trong Hình A.2 để xác định khả năng chịu uốn giữa nhịp (trong trường hợp không có lực cắt) và độ cứng chống uốn hiệu dụng.

(2) Nên chọn nhịp sao cho kết quả thí nghiệm thể hiện khả năng chịu uốn của tấm.

(3) Khả năng chịu uốn phải được xác định từ kết quả thí nghiệm.

(4) Độ cứng chống uốn phải được xác định từ biểu đồ ứng xử tải trọng-độ võng.

A.2.3 Thí nghiệm nhịp đôi

(1) Có thể sử dụng thiết lập thí nghiệm như được mô tả trong Hình A.3 để xác định khả năng chịu lực của một tấm liên tục trên hai hoặc nhiều nhịp chịu tác dụng đồng thời của mô men và lực cắt tại các gối tựa trung gian, và khả năng chịu lực chống lại tác dụng đồng thời của mô men và phản lực gối tựa cho một dải chiều rộng gối đỡ nhất định.

(2) Tải nên được phân bố đều (ví dụ sử dụng túi khí hoặc hút chân không).

(3) Bằng cách khác, có thể sử dụng số lượng bất kỳ của tải trọng đường (vuông góc với nhịp), được bố trí để tạo ra các mô men và nội lực phù hợp để đại diện các tác động của tải phân bố đều. Một số ví dụ về việc bố trí thí nghiệm phù hợp được thể hiện trong Hình A.4.

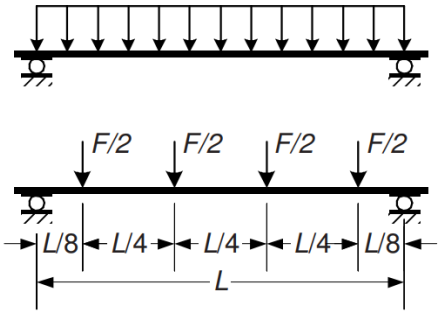
A.2.4 Thí nghiệm gối tựa trung gian

(1) Để thay thế cho A.2.3, có thể sử dụng thiết lập thí nghiệm được mô tả trong Hình A.5 để xác định khả năng chịu lực của một tấm liên tục trên hai hoặc nhiều nhịp chịu tác dụng đồng thời của mô men và lực cắt tại các gối tựa trung gian, và khả năng chịu lực chống lại tác dụng đồng thời của mô men và phản lực gối tựa cho một dải chiều rộng gối đỡ nhất định.

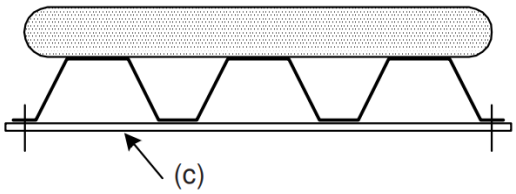
(2) Nhịp s của thí nghiệm được dùng để đại diện cho phần của tấm giữa các điểm uốn ngược tại mỗi bên của gối tựa trung gian trong một tấm liên tục trên hai nhịp bằng nhau L có thể được tính như sau:

$$s = 0,4L \tag{A.1}$$

(3) Nếu có kể đến việc phân phối lại mô men tại gối do hóa dẻo, cần giảm nhịp thí nghiệm s để thể hiện tỷ lệ thích hợp giữa mô men tại gối và lực cắt tại gối.

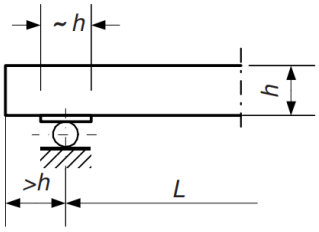


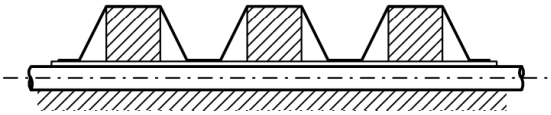
a) Tải phân bố đều và ví dụ về tải trọng đường tương đương thay thế



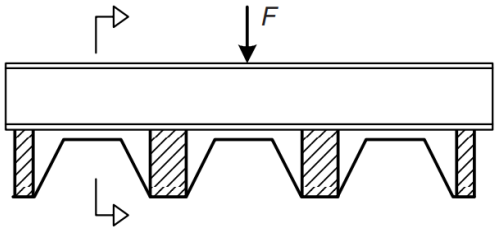
b) Phân bố lực tác dụng bằng túi khí (hoặc vòng thử chân không

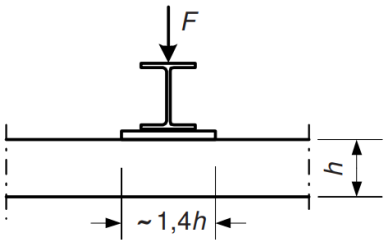
Chú dẫn: (c) Giằng ngang





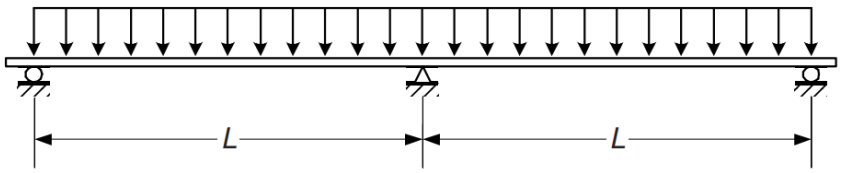
c) Ví dụ về bố trí gối tựa để ngăn ngừa méo



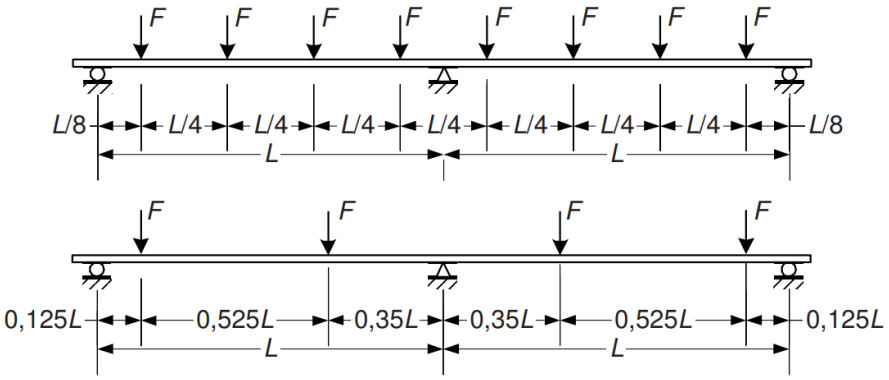


d) Ví dụ về phương pháp tác dụng tải trọng đường

Hình A.2 – Thiết lập thí nghiệm cho thí nghiệm một nhị



Hình A.3 – Thiết lập thí nghiệm cho thí nghiệm hai nhịp



Hình A.4 – Các ví dụ về cách bố trí thích hợp cho tải trọng đường thay thế

(4) Chiều rộng b_B của dầm được sử dụng để tác dụng tải thí nghiệm phải được chọn để đại diện cho chiều rộng gối đỡ thực sẽ được sử dụng trong thực tế.

(5) Mỗi kết quả thí nghiệm có thể được sử dụng để đại diện cho khả năng chịu lực chống lại tác dụng đồng thời của mô men uốn và phản lực gối tựa (hoặc lực cắt) cho một nhịp nhất định và một chiều rộng gối tựa nhất định. Để có được thông tin về sự tương tác của mô men uốn và phản lực gối tựa, các thí nghiệm phải được thực hiện cho nhiều nhịp khác nhau.

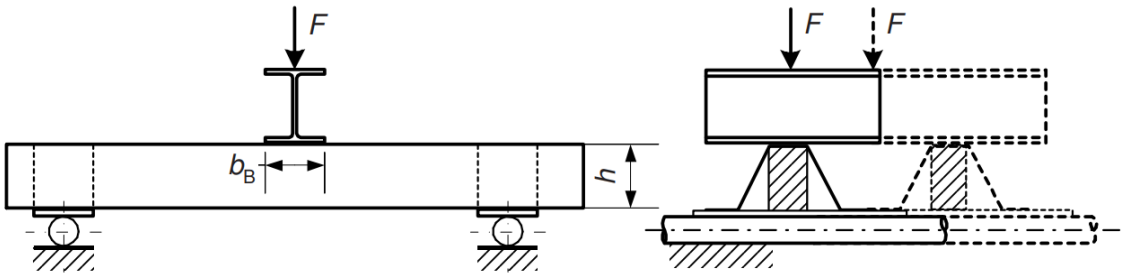
(6) Để diễn giải kết quả thí nghiệm, xem A.5.2.3

A.2.5 Thí nghiệm gối tựa biên

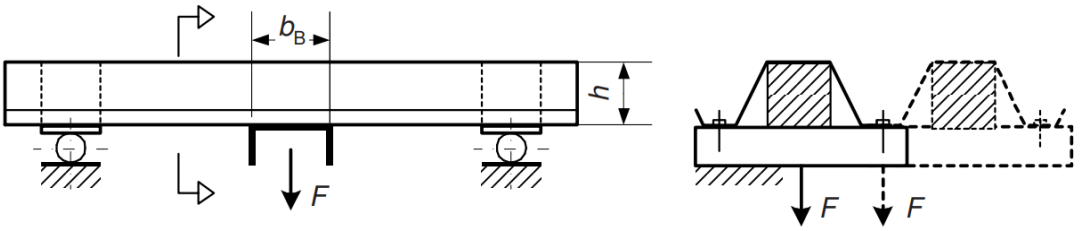
(1) Có thể sử dụng thiết lập thí nghiệm được mô tả trong Hình A.6 để xác định khả năng chịu lực của một tấm tại gối tựa biên.

(2) Các thí nghiệm riêng biệt cần được thực hiện để xác định khả năng chịu cắt của tấm đối với các giá trị khác nhau của độ dài *u* từ điểm tiếp xúc ở mép trong của gối đỡ biên đến điểm đầu thực tế của tấm, xem Hình A.6.

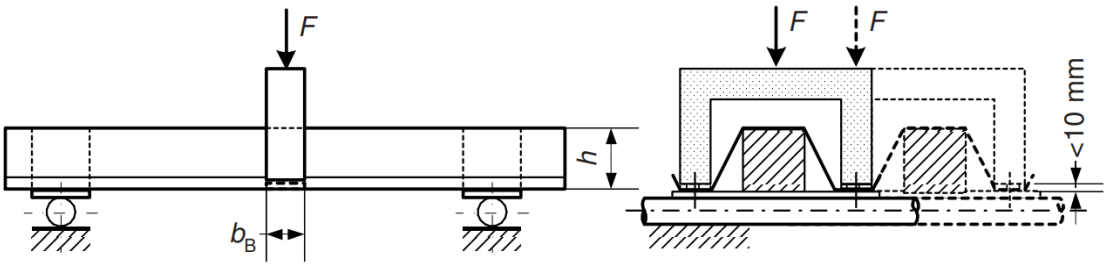
CHÚ THÍCH: Giá trị của phản lực gối tựa lớn nhất đo được trong quá trình thí nghiệm uốn có thể được sử dụng làm giới hạn dưới cho khả năng chịu lực của mặt cắt đối với cả lực cắt và lực ngang cục bộ.



a) Gối tựa trung gian chịu tải trọng trọng lực

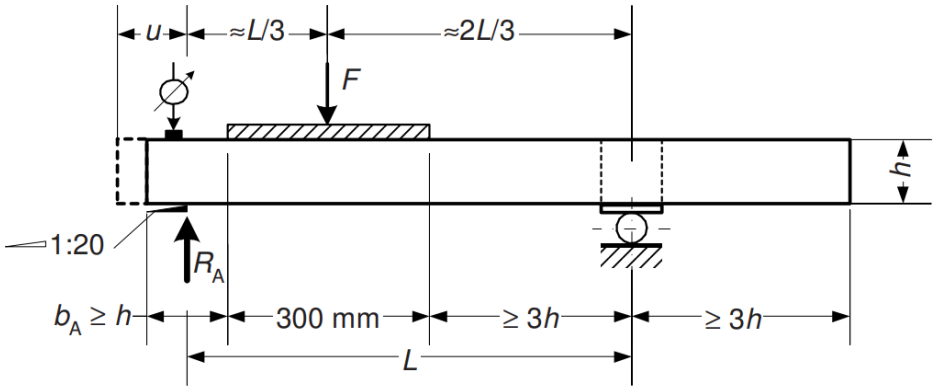


b) Gối tựa trung gian chịu tải trọng hướng lên trên



c) Gối tựa trung gian có tải trọng tác dụng lên bản cánh chịu kéo

Hình A.5 – Thiết lập thí nghiệm cho thí nghiệm gối tựa trung gian



CHÚ DẪN:

b_A chiều dài gối đỡ

u = chiều dài từ mép trong của gối đỡ biên đến cuối tấm

Hình A.6 – Thiết lập thí nghiệm cho thí nghiệm gối tựa biên

A.3 Thí nghiệm cấu kiện tạo hình nguội

A.3.1 Quy định chung

(1) Mỗi mẫu thử phải giống nhau về mọi mặt đối với cấu kiện hoặc kết cấu mà nó đại diện.

(2) Các thiết bị gối đỡ được sử dụng cho các thí nghiệm cần đảm bảo các điều kiện biên ở gối có thể mô phỏng chính xác các điều kiện biên được áp dụng bởi các liên kết được sử dụng khi làm việc. Trong trường hợp không thể đạt được yêu cầu này, cần sử dụng các điều kiện biên gây bất lợi hơn để giảm khả năng chịu lực hoặc tăng tính uốn.

(3) Các thiết bị được sử dụng để gia tải thí nghiệm phải mô phỏng cách mà tải trọng sẽ tác dụng khi làm việc. Cần đảm bảo rằng tải thí nghiệm không tạo ra thêm khả năng chống biến dạng ngang của tiết diện so với khả năng sẵn có trong trường hợp quá tải khi sử dụng. Cũng cần đảm bảo rằng tải thí nghiệm không bị bố trí để tạo nên các lực tác dụng cục bộ lên các đường có khả năng chịu lực lớn nhất.

(4) Nếu tổ hợp tải trọng đã cho bao gồm các lực tác dụng lên nhiều hơn một đường tác động, thì mỗi cấp tải thí nghiệm phải được tác dụng tương ứng với từng lực này.

(5) Ở mỗi cấp tải, cần đo các chuyển vị hoặc biến dạng tại một hoặc nhiều vị trí chính trên kết cấu. Không được thực hiện các phép đo chuyển vị hoặc biến dạng cho đến khi kết cấu đã ổn định hoàn toàn sau khi gia tải.

(6) Mẫu thử được coi là phá hoại trong bất kỳ trường hợp nào sau đây:

- bị sụp đổ hoặc đứt;

- nếu vết nứt bắt đầu lan ra ở một phần quan trọng của mẫu thử;

- nếu chuyển vị quá lớn.

(7) Kết quả thí nghiệm phải được lấy theo giá trị lớn nhất của tải trọng tác dụng lên mẫu thử tại thời điểm bị đứt hoặc ngay trước khi phá hoại theo điều kiện thích hợp.

(8) Độ chính xác của tất cả các phép đo phải phù hợp với độ lớn của giá trị đo liên quan và trong mọi trường hợp không được vượt quá ± 1% giá trị cần xác định. Các cường độ sau (trong điều (9)) cũng phải được đáp ứng.

(9) Các phép đo kích thước tiết diện ngang của mẫu thử phải bao gồm:

- kích thước tổng thể (chiều rộng, chiều cao và chiều dài) với độ chính xác ± 1,0 mm;

- chiều rộng của các phần tử phẳng của tiết diện với độ chính xác đến ± 1,0 mm;

- bán kính cong với độ chính xác ± 1,0 mm;

- độ nghiêng của các phần tử phẳng với độ chính xác ± 2,0°;

- góc giữa các bề mặt phẳng với độ chính xác ± 2,0°;

- vị trí và kích thước của các sườn cứng trung gian với độ chính xác đến ± 1,0 mm;

- chiều dày của vật liệu với độ chính xác đến ± 0,01 mm;

- Độ chính xác của tất cả các phép đo tiết diện ngang phải được lấy tối đa bằng 0,5% giá trị danh định.

(10) Tất cả các thông số liên quan khác cũng cần được đo, chẳng hạn như:

- vị trí của các bộ phận so với nhau;

- vị trí của chốt liên kết;

- các giá trị của mô men xoắn, v.v. được sử dụng để xiết các bu lông.

A.3.2 Thí nghiệm nén toàn bộ tiết diện ngang

A.3.2.1 Thí nghiệm cột ngắn

(1) Có thể sử dụng các thí nghiệm cột ngắn để kể đến ảnh hưởng của hiện tượng mất ổn định cục bộ trong các tiết diện ngang khổ mỏng, bằng cách xác định giá trị tỷ số $\beta_A = A_{eff} / A_g$ và vị trí của trục trọng tâm hiệu dụng.

(2) Nếu mất ổn định cục bộ của các phần tử phẳng chi phối khả năng chịu lực của tiết diện, mẫu thử phải có chiều dài ít nhất bằng 3 lần chiều rộng của phần tử tấm rộng nhất.

(3) Chiều dài của mẫu thử có tiết diện được đục lỗ phải bao gồm ít nhất 5 bước của các lỗ và phải đảm bảo mẫu được cắt theo chiều dài ở giữa hai lỗ.

(4) Trong trường hợp tiết diện có sườn cứng biên hoặc trung gian, cần đảm bảo rằng chiều dài của mẫu không nhỏ hơn chiều dài mất ổn định dự kiến của sườn cứng.

(5) Nếu chiều dài tổng thể của mẫu thử vượt quá 20 lần bán kính quán tính nhỏ nhất của tiết diện ngang nguyên $i_{\min}$, cần bố trí các ngăn cản chuyển vị trung gian theo phương ngang với khoảng cách không quá $20 i_{\min}$.

(6) Trước khi thí nghiệm, phải kiểm tra dung sai của các kích thước tiết diện ngang của mẫu để đảm bảo rằng chúng nằm trong sai lệch cho phép.

(7) Các đầu cắt của mẫu phải phẳng và phải vuông góc với trục dọc của mẫu.

(8) Lực nén dọc trục phải được tác dụng lên mỗi đầu của mẫu thử thông qua các miếng đệm chịu lực dày ít nhất 30 mm, nhô ra ngoài chu vi của tiết diện ít nhất 10 mm.

(9) Mẫu thử phải được đặt vào máy thử với gối đỡ bi ở mỗi đầu. Nên có những vết lõm nhỏ được khoan trong miếng đệm áp suất để nhận gối đỡ bi. Các gối đỡ bi phải được đặt thẳng hàng với tâm của tiết diện ngang hiệu dụng được tính toán. Nếu vị trí được tính toán của tâm hiệu dụng này chứng minh là không chính xác, nó có thể được điều chỉnh trong loạt thí nghiệm.

(10) Trong trường hợp tiết diện hở, có thể hiệu chỉnh các hiệu ứng đàn hồi ngược nếu có.

(11) Có thể sử dụng thí nghiệm cột ngắn để xác định khả năng chịu nén của tiết diện ngang. Khi diễn giải kết quả thí nghiệm, các tham số sau đây cần được coi là các biến:

- chiều dày;

- tỉ lệ b_p / t;

- tỉ lệ f_u / f_{yb};

- khả năng chịu kéo đứt f_u và giới hạn chảy f_{yb}

- vị trí của tâm của tiết diện ngang hiệu dụng;

- sự khiếm khuyết về hình dạng của các phần tử của tiết diện ngang;

- phương pháp tạo hình nguội (ví dụ tăng giới hạn chảy bằng cách tạo ra một biến dạng sau đó được loại bỏ).

A.3.2.2 Thí nghiệm mất ổn định cấu kiện

(1) Có thể dùng các thí nghiệm mất ổn định của cấu kiện để xác định khả năng chịu lực của các cấu kiện chịu nén có tiết diện khổ mỏng chịu mất ổn định tổng thể (bao gồm mất ổn định dạng uốn, mất ổn định dạng xoắn và mất ổn định dạng xoắn-uốn) và tương tác giữa mất ổn định cục bộ và mất ổn định tổng thể.

(2) Phương pháp thực hiện thí nghiệm nói chung phải được đưa ra như cho thí nghiệm cột ngắn trong A.3.2.1.

(3) Có thể sử dụng một loạt các thí nghiệm trên các mẫu thử chịu tải dọc trục để xác định đường cong mất ổn định thích hợp cho một loại tiết diện nhất định và một loại mác thép nhất định, được sản xuất bằng một quy trình cụ thể. Các giá trị của độ mảnh tương đối $\bar{\lambda}$ cần phải thí nghiệm và số lần thí nghiệm tối thiểu *n* tại mỗi giá trị phải được thực hiện như trong Bảng A.1.

Bảng A.1: Giá trị độ mảnh tương đối và số lượng thí nghiệm

$\bar{\lambda}$	0,2	0,5	0,7	1,0	1,3	1,6	2,0	3,0
N	3	5	5	5	5	5	5	5

(4) Các thí nghiệm tương tự cũng có thể được sử dụng để xác định ảnh hưởng của việc bổ sung các hạn chế chuyển vị trung gian lên khả năng chịu xoắn của cấu kiện.

(5) Để giải thích kết quả thí nghiệm, cần kể đến các thông số sau:

- các tham số được liệt kê cho các thí nghiệm cột ngắn trong A.3.2.1 (11);

- sự khiếm khuyết tổng thể về độ thẳng so với đầu ra sản xuất tiêu chuẩn, xem (6);

- loại ngăn cản chuyển vị ở đầu và trung gian ngăn (uốn, xoắn hoặc cả hai).

(6) Sự sai lệch tổng thể về độ thẳng có thể được kể đến như sau:

(a) Xác định tải trọng nén tới hạn đàn hồi của cấu kiện bằng một phân tích thích hợp với độ vòng ban đầu bằng với mẫu thử: $F_{cr,bow,test}$

(b) Như a) nhưng với độ vồng ban đầu bằng mức tối đa cho phép theo đặc điểm kỹ thuật của sản phẩm: $F_{cr,bow,\max,nom}$

(c) Hệ số hiệu chỉnh bổ sung: $F_{cr,bow,\max,nom} / F_{cr,bow,test}$

A.3.3 Thí nghiệm kéo toàn bộ tiết diện ngang

(1) Thí nghiệm này có thể được sử dụng để xác định giới hạn chảy trung bình f_{ya} của tiết diện ngang.

(2) Mẫu thử phải có chiều dài ít nhất bằng 5 lần chiều rộng của phần tử phẳng rộng nhất trong tiết diện ngang.

(3) Tải trọng phải được đặt thông qua các gối tựa ở đầu để đảm bảo sự phân bố ứng suất đồng đều trên tiết diện ngang.

(4) Vùng phá hoại phải xuất hiện tại vị trí có khoảng cách tới các gối tựa đầu không nhỏ hơn chiều rộng của phần tử phẳng rộng nhất trong mặt cắt ngang.

A.3.4 Kiểm tra uốn toàn bộ tiết diện ngang

(1) Thí nghiệm này có thể được sử dụng để xác định khả năng chịu uốn và khả năng xoay của tiết diện ngang.

(2) Mẫu thử phải có chiều dài ít nhất gấp 15 lần kích thước theo phương ngang lớn nhất của nó. Khoảng cách giữa các hạn chế chuyển vị ngang đến bản cánh chịu nén không được nhỏ hơn khoảng cách được sử dụng khi làm việc thực tế.

(3) Cần tác dụng lên mẫu với hai tải trong tập trung để tạo ra một chiều dài chịu mô men uốn không đổi tại giữa nhịp bằng ít nhất 0,2 × (nhịp) nhưng không lớn hơn 0,33 × (nhịp). Các tải trọng này phải đi qua tâm cắt của tiết diện. Tiết diện cần được ngàm chống xoắn tại các điểm đặt tải. Nếu cần, phải ngăn chặn sự mất ổn định cục bộ của mẫu tại các điểm chịu tải để đảm bảo rằng phá hoại xảy ra trong phần giữa nhịp. Cần đo độ võng ở các vị trí đặt tải, ở giữa nhịp và ở các đầu của mẫu thử.

(4) Khi diễn giải kết quả thí nghiệm, các tham số sau cần được coi là các biến:

- chiều dày;

- tỉ lệ b_p / t

- tỉ lệ f_u / f_{yb}

- khả năng chịu kéo đứt f_u và giới hạn chảy f_{yb}

- sự khác biệt giữa các ngăn cản chuyển vị được sử dụng trong thí nghiệm và trong khi sử dụng

- các điều kiện gối đỡ.

A.4 Thí nghiệm kết cấu và bộ phận kết cấu

A.4.1 Thí nghiệm chấp nhận

(1) Có thể sử dụng thí nghiệm chấp nhận như một thí nghiệm không phá hủy để xác nhận tính năng kết cấu của một kết cấu hoặc một phần của kết cấu.

(2) Tải trọng thí nghiệm đối với thí nghiệm chấp nhận phải được lấy bằng tổng của:

- 1,0 × (trọng lượng bản thân thực tế có trong quá trình thí nghiệm);

- 1,15 × (phần còn lại của tĩnh tải);

- 1,25 × (hoạt tải).

nhưng không được lấy nhiều hơn giá trị trung bình của tổng tải trọng thiết kế ở trạng thái giới hạn cực hạn và tổng tải trọng thiết kế ở trạng thái giới hạn sử dụng đối với tổ hợp tải trọng tiêu chuẩn.

(3) Trước khi tiến hành thí nghiệm chấp nhận, có thể cho phép chất tải sơ bộ (không vượt quá giá trị tiêu chuẩn của tải), sau đó dỡ tải.

(4) Đầu tiên kết cấu phải được gia tải đến tải trọng bằng tổng tải trọng tiêu chuẩn. Dưới tải trọng này, kết cấu phải ứng xử chủ yếu ở trạng thái đàn hồi. Khi loại dỡ bỏ tải trọng này, độ võng dư không được vượt quá 20% giá trị lớn nhất của độ võng được ghi nhận. Nếu các tiêu chí này không được đáp ứng, phải lặp lại quá trình gia tải này của quy trình thí nghiệm. Trong chu kỳ gia tải lặp lại này, kết cấu phải ứng xử chủ yếu ở trạng thái tuyến tính khi chịu tải trọng tiêu chuẩn và độ võng dư không được vượt quá 10% giá trị lớn nhất của độ võng được ghi nhận.

(5) Trong quá trình thí nghiệm chấp nhận, tải thí nghiệm phải được tác dụng theo cấp tăng dần đều trong các khoảng thời gian đều nhau và các độ võng chính phải được đo ở mỗi giai đoạn. Khi độ võng có sự không tuyến tính một cách đáng kể thì phải giảm giá trị cấp tăng tải.

(6) Khi đạt được cấp tải trọng thí nghiệm chấp nhận, phải giữ tải không đổi giữa các lần đọc số liệu kế tiếp nhau và cần thực hiện việc đo độ võng để xác định xem kết cấu có chịu bất kỳ biến dạng phụ thuộc thời gian nào hay không, chẳng hạn như biến dạng của chốt liên kết hoặc biến dạng phát sinh do sự rão (từ biến) trong lớp kẽm.

(7) Cần dỡ tải theo các cấp giảm đều, và đo các giá trị độ võng ở mỗi cấp.

(8) Kết cấu phải chứng minh được khả năng chịu được cấp tải trọng thí nghiệm chấp nhận và không xuất hiện biến dạng cục bộ đáng kể hoặc các khuyết tật có khả năng làm cho kết cấu không thể sử dụng được sau khi thí nghiệm.

A.4.2 Thí nghiệm khả năng chịu lực

(1) Có thể sử dụng thí nghiệm khả năng chịu lực để xác nhận khả năng chịu lực tính toán của kết cấu hoặc bộ phận của kết cấu. Trong trường hợp một số lượng hạng mục/cấu kiện giống nhau được thi công theo một thiết kế chung và một hoặc nhiều nguyên mẫu được dùng để thí nghiệm và đáp ứng tất cả các yêu cầu của thí nghiệm khả năng chịu lực này thì những hạng mục/cấu kiện còn lại có thể được chấp nhận mà không cần thí nghiệm thêm với điều kiện là chúng giống nhau về mọi khía cạnh so với nguyên mẫu được thí nghiệm.

(2) Trước khi thực hiện thí nghiệm khả năng chịu lực, trước tiên mẫu thử phải thỏa mãn thí nghiệm chấp nhận được nêu chi tiết trong A.4.1

(3) Sau đó, tải trọng phải được tăng lên theo từng cấp cho đến khi đạt tải trọng thí nghiệm khả năng chịu lực và phải đo các độ võng chính ở mỗi cấp tải. Tải trọng thí nghiệm khả năng chịu lực phải được giữ trong ít nhất một giờ và các phải đo độ võng để xác định xem kết cấu có bị rão (từ biến) hay không.

(4) Cần dỡ tải theo các cấp giảm đều, và đo các giá trị độ võng ở mỗi cấp.

(5) Tổng tải trọng thí nghiệm (bao gồm cả trọng lượng bản thân) đối với thí nghiệm khả năng chịu lực F_{str} phải được xác định từ tổng tải trọng thiết kế F_{Ed} được quy định cho việc kiểm tra trạng thái giới hạn cực hạn bởi tính toán, xác định như sau:

$$F_{str} = \gamma_{Mi} \mu_F F_{Ed} \tag{A.2}$$

Trong đó μ_F là hệ số điều chỉnh tải trọng và γ_{Mi} là hệ số riêng của trạng thái giới hạn cực hạn.

(6) Hệ số điều chỉnh tải trọng μ_F phải tính đến các biến động về khả năng chịu lực của kết cấu hoặc một phần của kết cấu, do ảnh hưởng của biến động về giới hạn chảy của vật liệu, mất ổn định cục bộ, mất ổn định tổng thể và bất kỳ thông số hoặc những xem xét có liên quan khác.

(7) Khi đánh giá thực tế về khả năng chịu lực của kết cấu hoặc một phần của kết cấu có thể được thực hiện bằng cách sử dụng các quy định của Phần 1-3 này của TCVN X1993 cho thiết kế bằng tính toán, hoặc bằng một phương pháp phân tích đã được chứng minh khác có kể đến tất cả các tác động mất ổn định, hệ số điều chỉnh tải trọng μ_F có thể được lấy bằng tỷ số của (giá trị của khả năng chịu lực được đánh giá dựa trên giới hạn chảy cơ bản trung bình f_{ym}), so với (giá trị tương ứng dựa trên giới hạn chảy cơ bản danh định f_{yb}).

(8) Giá trị f_{ym} phải được xác định từ giới hạn chảy cơ bản đo được $f_{yb,obs}$ của các thành phần khác nhau của kết cấu, hoặc một phần của kết cấu, có kể đến tầm quan trọng tương đối của chúng.

(9) Nếu không thể thực hiện được các đánh giá lý thuyết thực tế về khả năng chịu lực thì hệ số điều chỉnh tải trọng μ_F phải được lấy bằng hệ số điều chỉnh khả năng chịu lực μ_R được xác định trong A.6.2.

(10) Dưới tải trọng thí nghiệm, không cho phép xuất hiện phá hoại do mất ổn định hoặc đứt gãy ở bất kỳ bộ phận nào của mẫu thử.

(11) Khi dỡ tải thí nghiệm, độ võng phải giảm ít nhất 20%.

A.4.3 Thí nghiệm đến phá hoại của nguyên mẫu

(1) Có thể sử dụng thí nghiệm đến phá hoại để xác định dạng phá hoại thực và khả năng chịu lực thực của kết cấu hoặc cụm cấu kiện. Nếu không có yêu cầu sử dụng lại mẫu thí nghiệm, có thể cho phép dùng nguyên mẫu này để lấy thông tin bổ sung này (về dạng phá hoại và khả năng chịu lực thực) sau khi đã hoàn thành thí nghiệm khả năng chịu lực được mô tả trong A.4.2.

(2) Bằng cách khác, có thể tiến hành thí nghiệm đến phá hoại để xác định khả năng chịu lực thiết kế thực từ tải trọng thí nghiệm cực hạn. Vì các quy trình chấp nhận và thí nghiệm khả năng chịu lực cần được thực hiện trước, cần dự đoán khả năng chịu lực thiết kế dự kiến để làm cơ sở cho các thí nghiệm phá hoại này.

(3) Trước khi thực hiện thí nghiệm phá hoại, mẫu thử phải vượt qua thí nghiệm khả năng chịu lực được mô tả trong A.4.2. Khả năng chịu lực thiết kế dự kiến của mẫu thử sau đó có thể được điều chỉnh dựa trên ứng xử của nó trong thí nghiệm khả năng chịu lực.

(4) Trong quá trình thí nghiệm phá hoại, tải trọng phải được tăng lên theo từng cấp cho đến khi đạt tải trọng thí nghiệm khả năng chịu lực. Sau đó, các bước tăng tải tiếp theo phải dựa trên việc kiểm tra biểu đồ của các độ võng chính.

(5) Khả năng chịu lực cực hạn phải được coi là giá trị của tải trọng thí nghiệm tại thời điểm kết cấu hoặc cụm cấu kiện không thể chịu được bất kỳ sự tăng tải nào nữa.

CHÚ THÍCH: Tại thời điểm này, có thể đã xảy ra biến dạng dài hạn tổng thể. Trong một số trường hợp, biến dạng tổng thể có thể quyết định giới hạn của thí nghiệm.

A.4.4 Thí nghiệm hiệu chỉnh

(1) Thí nghiệm hiệu chỉnh có thể được sử dụng để:

- xác minh ứng xử chịu lực so với các mô hình thiết kế phân tích;

- định lượng các thông số xác định từ mô hình thiết kế, chẳng hạn như khả năng chịu lực hoặc độ cứng của các cấu kiện hoặc mối nối.

A.5 Thí nghiệm dầm có ngăn cản xoắn

A.5.1 Quy định chung

(1) Các quy trình thí nghiệm này có thể được sử dụng cho các dầm được hạn chế chuyển vị xoắn bán phần, bằng các tấm thép định hình hình thang hoặc các tấm ốp thích hợp khác.

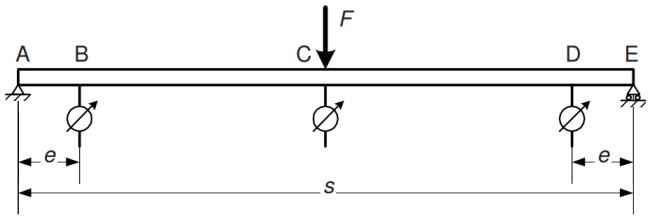
(2) Các quy trình này có thể được áp dụng cho xà gồ, ray bên, dầm sàn và các loại dầm tương tự khác có các điều kiện hạn chế tương ứng.

A.5.2 Thí nghiệm gối tựa trung gian

A.5.2.1 Thiết lập thí nghiệm

(1) Thiết lập thí nghiệm nêu trong Hình A.7 có thể được sử dụng để xác định khả năng chịu lực của một dầm liên tục trên hai hoặc nhiều nhịp, chịu tổ hợp của mô men uốn và lực cắt tại các gối tựa trung gian.

CHÚ THÍCH: Thiết lập thí nghiệm tương tự có thể được sử dụng cho các hệ nối có bản táp hoặc nối chồng.



Hình A.7 – Thiết lập thí nghiệm cho thí nghiệm gối trung gian

(2) Các gối tựa tại A và E phải tương ứng là gối khớp và gối trượt. Tại các gối tựa này, có thể bố trí ngăn cản chuyển vị xoay quanh trục dọc của dầm, ví dụ bằng các bản đỡ thép góc.

(3) Phương pháp gia tải tại C phải tương ứng với phương pháp được áp dụng trong thực tế sử dụng.

CHÚ THÍCH: Trong nhiều trường hợp, điều này có nghĩa là dịch chuyển theo phương của cả hai bản cánh bị ngăn cản tại C.

(4) Chuyển vị được đo tại các điểm B và D nằm cách mỗi gối đỡ một khoảng e, xem Hình A.7, phải được ghi lại để loại trừ các chuyển vị này khi phân tích kết quả.

(5) Nhịp thí nghiệm s phải được chọn để tạo ra sự tổ hợp của mô men uốn và lực cắt đại diện cho những giá trị dự kiến xảy ra trong thực tế dưới tác dụng của tải trọng thiết kế cho trạng thái giới hạn có liên quan.

(6) Đối với dầm nhịp đôi của nhịp L chịu tải trọng phân bố đều, nhịp kiểm tra s thường được lấy bằng $0,4L$. Tuy nhiên, nếu dự kiến xảy ra sự phân bố lại do chảy dẻo của mô men gối tựa, thì nhịp thí nghiệm s phải được giảm xuống để thể hiện tỷ lệ thích hợp của mô men và lực cắt tại gối.

A.5.2.2 Tiến hành thí nghiệm

(1) Ngoài các quy tắc chung về thí nghiệm, các khía cạnh cụ thể sau đây cần được kể đến.

(2) Phải tiếp tục thí nghiệm sau khi tải trọng đã đạt đỉnh và phải tiếp tục đo độ võng cho đến khi tải trọng tác dụng giảm xuống từ 10% đến 15% so với giá trị đỉnh của nó hoặc cho đến khi độ võng đạt đến giá trị gấp 6 lần chuyển vị đàn hồi lớn nhất.

A.5.2.3 Xử lý kết quả thí nghiệm

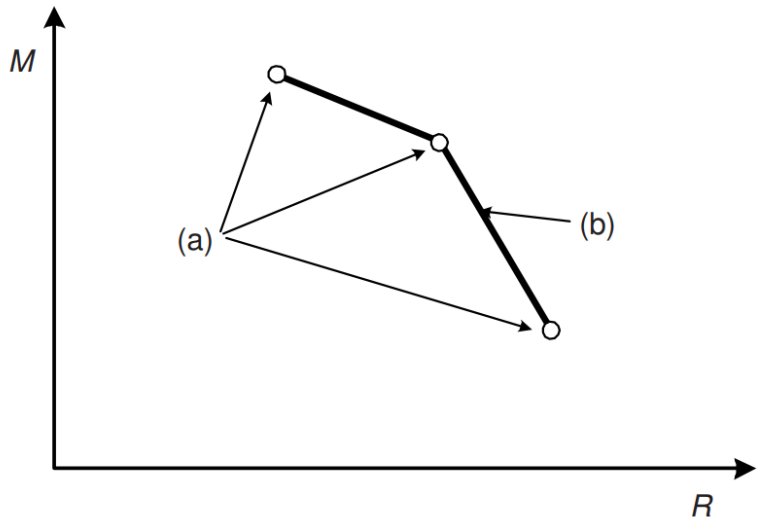
(1) Cần điều chỉnh kết quả thí nghiệm được đo thực tế $R_{obs,i}$ như quy định trong A.6.2 để thu được các giá trị điều chỉnh $R_{adj,i}$ liên quan đến giới hạn chảy cơ bản danh định f_{yb} và chiều dày thiết kế t của thép, xem 3.2.4.

(2) Đối với mỗi giá trị của nhịp thí nghiệm s, phản lực gối tựa *R* phải được lấy bằng giá trị trung bình của các giá trị đã điều chỉnh của tải trọng đỉnh $F_{\max}$ đối với nhịp *s* đó. Tiếp đó, giá trị tương ứng của mô men tại gối M cần xác định từ:

$$M = \frac{sR}{4} \tag{A.3}$$

Nói chung cần kể thêm ảnh hưởng của tĩnh tải khi tính giá trị của mô men *M* theo công thức (A.3).

(3) Cần vẽ biểu đồ các cặp giá trị của M và R với mỗi giá trị của s như trong hình A.8. Sau đó có thể xác định các cặp giá trị trung gian của tổ hợp *M* và *R* bằng phép nội suy tuyến tính.



(a) kết quả thí nghiệm cho các nhịp thí nghiệm khác nhau, (b) phép nội suy tuyến tính

Hình A.8 – Quan hệ giữa mô men gối tựa *M* và phản lực gối tựa *R*

(4) Độ võng thực tại điểm đặt tải C trong Hình A.7 phải được lấy từ các giá trị độ võng tổng đo được trừ đi giá trị trung bình của độ võng tương ứng đo được tại các điểm B và D nằm cách các điểm gối đỡ A và E một khoảng là e, xem hình A.7.

(5) Với mỗi thí nghiệm, cần vẽ biểu đồ quan hệ tải trọng tác dụng với độ võng thực tương ứng, xem Hình A.9. Từ biểu đồ này, góc xoay θ sẽ được tính tương ứng với một loạt các giá trị của tải trọng tác dụng bằng cách sử dụng:

$$\theta = \frac{2(\delta_{pl} - \delta_e - \delta_{el})}{0{,}5s - e} \quad \text{(A.4a)}$$

$$\theta = \frac{2(\delta_{pl} - \delta_e - \delta_{lin})}{0{,}5s - e} \quad \text{(A.4b)}$$

trong đó:

δ_{el} là độ võng thực của một tải trọng nhất định trên phần đi lên của đường cong, trước giá trị F_{max};

δ_{pl} là độ võng thực của cùng một tải trọng trên phần đi xuống của đường cong, sau giá trị F_{max};

δ_{lin} là độ võng thực giả định đối với một tải nhất định, xác định dựa trên ứng xử tuyến tính, xem Hình A.9;

δ_e là độ võng trung bình đo được tại khoảng cách *e* tính từ gối tựa, xem hình A.7;

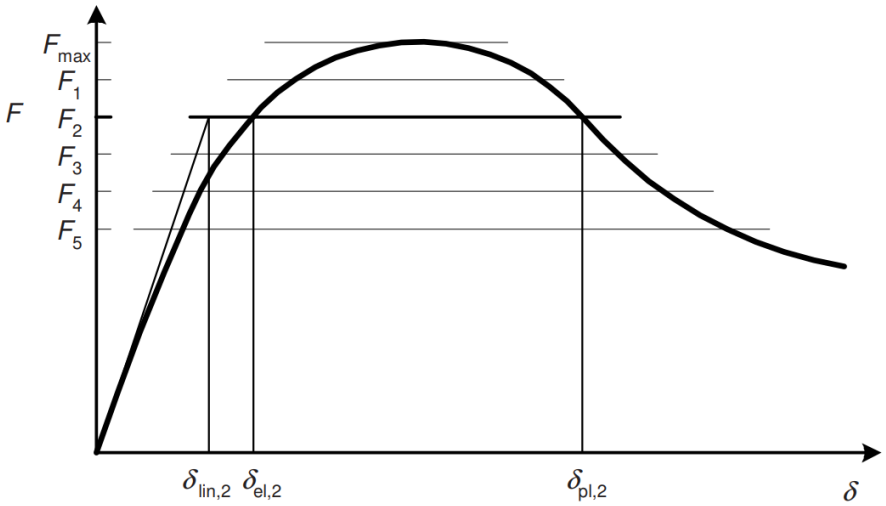
s là nhịp thí nghiệm;

e là khoảng cách giữa điểm đo độ võng và gối tựa, xem hình A.7.

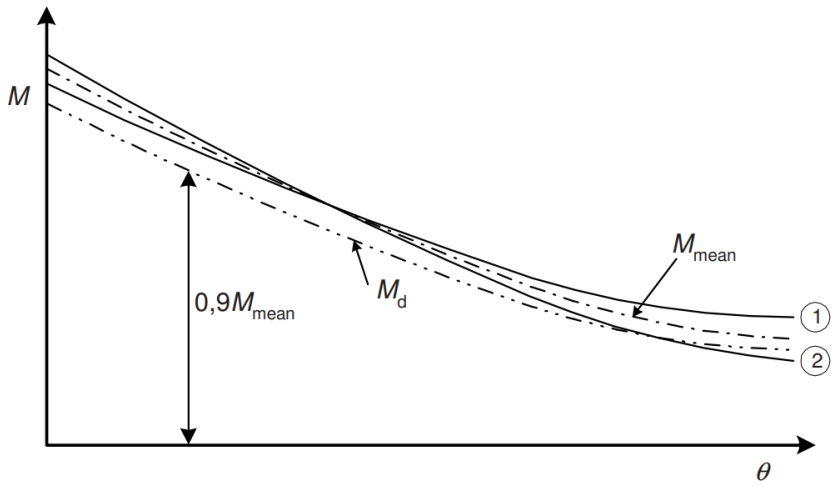
Sử dụng biểu thức (A.4a) khi tính toán dựa trên tiết diện ngang hiệu dụng. Sử dụng biểu thức (A.4b) khi tính toán dựa trên tiết diện ngang nguyên.

(6) Cần vẽ biểu đồ quan hệ giữa M và θ cho mỗi thí nghiệm tại một giá trị nhịp thí nghiệm s đã cho tương ứng với một giá trị nhất định của nhịp dầm L như thể hiện trong Hình A.10. Khi đó, đặc trưng thiết kế $M-\theta$ cho khả năng chịu uốn của dầm trên gối tựa trung gian phải được lấy bằng 0,9 lần giá trị trung bình của M trong tất cả các thí nghiệm tương ứng với giá trị đó của nhịp dầm L.

CHÚ THÍCH: Nên sử dụng giá trị suy giảm nhỏ hơn 0,9 nếu các thí nghiệm kích thước thực được sử dụng để xác định ảnh hưởng của tải trọng ngang và mất ổn định của bản cánh tự do xung quanh gối tựa trung gian, xem 10.1.3.2 (4)



Hình A.9 – Quan hệ giữa tải trọng *F* và độ võng thuần túy δ



CHÚ DẪN:

M_{mean} - Giá trị trung bình;

M_d - Giá trị thiết kế.

Hình A.10 – Xây dựng quan hệ mô men – góc xoay *(M - θ)*

A.5.3 Xác định ngàm chống xoắn

(1) Có thể sử dụng thiết lập thí nghiệm nêu trong Hình A.11 để xác định độ lớn của ngàm chống xoắn do tấm được liên kết chốt thích hợp hoặc bởi một cấu kiện khác vuông góc với nhịp của dầm.

(2) Thiết lập thí nghiệm này bao gồm hai phần có đóng góp khác nhau vào tổng độ lớn của ngàm như sau:

a) Độ cứng bên K_A trên một đơn vị chiều dài tương ứng với độ cứng chống xoay của liên kết giữa tấm và dầm;

b) Độ cứng bên K_B trên một đơn vị chiều dài do mặt cắt ngang của xà gồ bị biến dạng.

(3) Độ lớn kết hợp của ngàm trên một đơn vị chiều dài có thể được xác định từ:

$$\frac{1}{K_A}+\frac{1}{K_B}=\frac{\delta}{F} \tag{A.5}$$

trong đó:

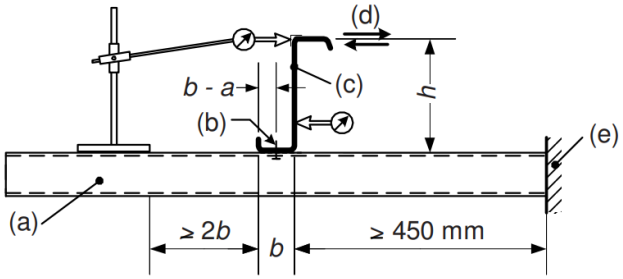
F là tải trọng trên một đơn vị chiều dài lên mẫu thử để tạo ra độ võng ngang là $h/10$

h là chiều cao tổng thể của mẫu thử;

δ là chuyển vị ngang của bản cánh trên theo hướng của tải trọng F

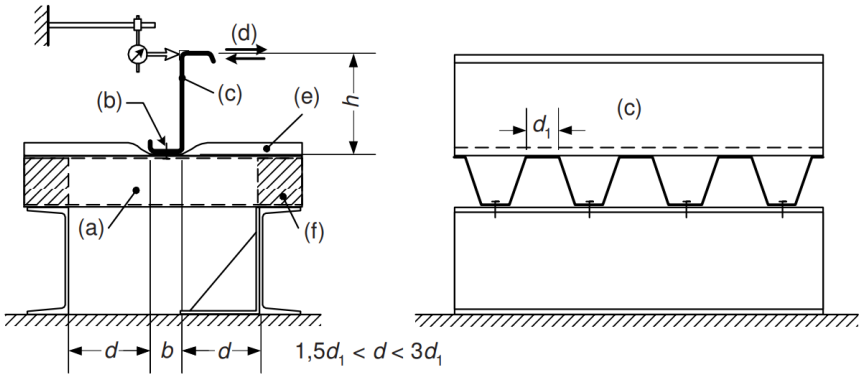
(4) Khi diễn giải kết quả thí nghiệm, các tham số sau cần được coi là biến:

- số lượng chốt liên kết trên một đơn vị chiều dài của mẫu thử;
- loại chốt liên kết;
- độ cứng chống uốn của dầm, so với chiều dày của nó;
- độ cứng chống uốn của bản cánh dưới của tấm, so với chiều dày của nó;
- vị trí của các chốt liên kết trong bản cánh của tấm;
- khoảng cách từ các chốt liên kết đến tâm quay của dầm;
- chiều cao tổng thể của dầm;
- sự có mặt (nếu có) của lớp cách nhiệt giữa dầm và tấm.



(a) tấm, (b) chốt, (c) định hình, (d) tải trọng, gối tựa

a) Phương án 1



(a) tấm, (b) chốt, (c) định hình, (d) tải trọng, (e) đệm, (f) cục gỗ

b) Phương án 2

Hình A.11 – Xác định độ cứng K_A và K_B bằng thực nghiệm

A.6 Đánh giá kết quả thí nghiệm

A.6.1 Quy định chung

(1) Mẫu thử được coi là phá hoại nếu tải trọng thí nghiệm tác dụng đạt giá trị tối đa, hoặc nếu biến dạng tổng thể vượt quá giới hạn quy định.

(2) Các biến dạng tổng thể của các cấu kiện thường phải thỏa mãn:

$$\delta \le \frac{L}{50} \tag{A.6}$$

$$\phi \le \frac{1}{50} \tag{A.7}$$

trong đó:

δ là độ võng lớn nhất của dầm nhịp L;

ϕ là góc lệch ngang của một kết cấu.

(3) Trong thí nghiệm các liên kết, hoặc thí nghiệm các bộ phận trong đó cần kiểm tra các biến dạng lớn để đánh giá một cách chính xác (ví dụ, trong việc đánh giá các đặc trưng mô men-góc quay của mối nối có bản táp), không cần kiểm tra giới hạn biến dạng tổng thể.

(4) Cần có sẵn một biên độ an toàn thích hợp giữa dạng phá hoại dẻo và các dạng phá hoại giòn có thể xảy ra. Vì các dạng phá hoại giòn thường không xuất hiện trong các thí nghiệm kích thước lớn, nên cần thực hiện bổ sung các thí nghiệm chi tiết khi cần thiết.

CHÚ THÍCH: Điều này thường xảy ra đối với các liên kết.

A.6.2 Điều chỉnh kết quả thí nghiệm

(1) Kết quả thí nghiệm phải được điều chỉnh thích hợp để kể đến sự biến động giữa các đặc trưng được đo thực tế của mẫu thử và giá trị danh định của chúng.

(2) Giới hạn chảy cơ bản đo thực tế $f_{yb,obs}$ không được sai lệch quá - 25% so với giới hạn chảy cơ bản danh định f_{yb}, tức là $f_{yb,obs} \geq 0,75 f_{yb}$.

(3) Chiều dày đo thực tế t_{obs} không được vượt quá 12% chiều dày vật liệu danh định t_{nom} (xem 3.2.4).

(4) Các điều chỉnh phải được thực hiện đối với các giá trị đo thực tế của chiều dày vật liệu lõi $t_{obs,cor}$ và giới hạn chảy cơ bản $f_{yb,obs}$ đối với tất cả các thí nghiệm, ngoại trừ nếu các giá trị đo được trong các thí nghiệm được sử dụng để hiệu chỉnh mô hình thiết kế thì không cần áp dụng các quy định của (5).

(5) Giá trị điều chỉnh $R_{adj,i}$ của kết quả thí nghiệm đối với thí nghiệm thứ i phải được xác định từ kết quả thí nghiệm đo thực tế $R_{obs,i}$ bằng cách sử dụng:

$$R_{adj,i} = R_{obs,i} / \mu_R \tag{A.8}$$

trong đó μ_R là hệ số điều chỉnh:

$$\mu_R = \left(\frac{f_{yb,obs}}{f_{yb}} \right)^{\alpha} \left(\frac{t_{obs,cor}}{t_{cor}} \right)^{\beta} \tag{A.9}$$

(6) Số mũ lũy thừa α sử dụng trong biểu thức (A.9) được xác định như sau:

- nếu $f_{yb,obs} \leq f_{yb}$ $\alpha = 0$

- nếu $f_{yb,obs} > f_{yb}$ $\alpha = 1$

Đối với các tấm định hình hoặc máng trong đó các phần tử chịu nén có tỷ lệ b_p / t lớn đến mức dạng phá hoại chắc chắn là mất ổn định cục bộ: $\alpha = 0,5$.

(7) số mũ lũy thừa β sử dụng trong biểu thức (A.9) được xác định như sau:

- nếu $t_{obs,cor} \leq t_{cor}$: $\beta = 1$

- nếu $t_{obs,cor} > t_{cor}$:

- đối với các thí nghiệm trên các tấm định hình hoặc máng: $\beta = 2$

- đối với các thí nghiệm trên các cấu kiện, kết cấu hoặc các bộ phận của kết cấu:

- Nếu $b_p / t \leq (b_p / t)_{\lim}$; $\beta = 1$

- Nếu $b_p / t > 1,5 (b_p / t)_{\lim}$; $\beta = 2$

- Nếu $(b_p / t)_{\lim} < b_p / t < 1,5 (b_p / t)_{\lim}$: xác định β bằng nội suy tuyến tính.

trong đó tỷ lệ giới hạn chiều rộng trên chiều dày $(b_p / t)_{\lim}$ cho bởi:

$$\left(\frac{b_p}{t}\right)_{\lim} = 0,64\sqrt{\frac{Ek_\sigma}{f_{yb}}}.\sqrt{\frac{f_{yb}/\gamma_{M1}}{\sigma_{com,Ed}}} \cong 19,1\varepsilon\sqrt{k_\sigma}.\sqrt{\frac{f_{yb}/\gamma_{M1}}{\sigma_{com,Ed}}} \quad \text{(A.10)}$$

trong đó

b_p là chiều rộng phẳng danh định của một phần tử phẳng;

k_σ là hệ số mất ổn định tương ứng lấy từ bảng 4.1 hoặc 4.2 trong TCVN X1993-1-5;

$\sigma_{com,Ed}$ là ứng suất nén tính toán lớn nhất trong cấu kiện ở trạng thái giới hạn cực hạn.

CHÚ THÍCH: Trong trường hợp báo cáo thí nghiệm có sẵn liên quan đến các mẫu thử tấm với $t_{obs,cor} / t_{cor} \le 1,06$ việc điều chỉnh lại giá trị hiện tại không vượt quá 1,02 lần $R_{adj,i}$ theo A.6.2 có thể được bỏ qua.

Đối với việc điều chỉnh mô men quán tính, khi ứng xử tuyến tính được ghi nhận trong phạm vi tải trọng của trạng thái giới hạn sử dụng, các số mũ lũy thừa trong công thức (A.9) phải được lấy như sau: $\alpha = 0,0$ và $\beta = 1,0$

A.6.3 Các giá trị đặc trưng

A.6.3.1 Quy định chung

(1) Có thể xác định các giá trị đặc trưng theo thống kê, với điều kiện có ít nhất 4 kết quả thí nghiệm.

CHÚ THÍCH: Thường khuyến kích số lượng thí nghiệm lớn hơn, đặc biệt nếu độ phân tán tương đối rộng.

(2) Nếu số lượng kết quả thí nghiệm có được là 3 hoặc ít hơn thì có thể sử dụng phương pháp nêu trong A.6.3.3.

(3) Cần xác định giá trị đặc trưng nhỏ nhất bằng cách sử dụng các quy định sau. Nếu cần xác định giá trị đặc trưng lớn nhất hoặc giá trị đặc trưng trung bình, thì giá trị này phải được xác định bằng cách sử dụng các điều chỉnh thích hợp của các điều khoản được quy định đối với giá trị đặc trưng nhỏ nhất.

(4) Giá trị đặc trưng R_k được xác định trên cơ sở ít nhất 4 thí nghiệm có thể xác định từ:

$$R_k = R_m \pm ks \quad \text{(A.11)}$$

trong đó:

s là độ lệch chuẩn;

k là hệ số thích hợp từ bảng A.2;

R_m là giá trị trung bình của các kết quả thí nghiệm đã điều chỉnh R_{adj};

Cần sử dụng dấu bất lợi "+" hoặc "-" cho từng giá trị được xem xét cụ thể

CHÚ THÍCH: Theo nguyên tắc chung, cần lấy dấu "-" đối với giá trị đặc trưng của khả năng chịu lực, và ví dụ đối với giá trị đặc trưng góc xoay, cần xem xét cả hai trường hợp.

(5) Độ lệch chuẩn s có thể được xác định bằng từ:

$$s = \left[\sum_{i=1}^{n} \frac{\left(R_{adj,i} - R_m\right)^2}{n-1} \right]^{0,5} \equiv \left[\frac{\left[\sum_{i=1}^{n} \left(R_{adj,i}\right)^2 - \left(\frac{1}{n}\right)\left(\sum_{i=1}^{n} R_{adj,i} \right)^2 \right]}{n-1} \right]^{0,5} \quad \text{(A.12)}$$

trong đó:

$R_{adj,i}$ là kết quả thí nghiệm đã được điều chỉnh cho thí nghiệm thứ i;

n là số lần thí nghiệm.

Bảng A.2 – Các giá trị của hệ số k

N	4	5	6	8	10	20	30	∞
k	2,63	2,33	2,18	2,00	1,92	1,76	1,73	1,64

A.6.3.2 Các giá trị đặc trưng cho họ thí nghiệm

(1) Một nhóm các thí nghiệm được thực hiện trên một số lượng kết cấu, các phần của kết cấu, cấu kiện, tấm (hoặc các thành phần kết cấu khác) giống nhau, trong đó có một hoặc nhiều tham số được thay đổi, có thể được coi là một họ thí nghiệm, với điều kiện là chúng đều có chung một dạng phá hoại. Các tham số thay đổi có thể bao gồm kích thước tiết diện ngang, nhịp, chiều dày và cường độ vật liệu.

(2) Khả năng chịu lực đặc trưng của các cấu kiện trong một họ thí nghiệm có thể được xác định trên cơ sở một biểu thức thiết kế phù hợp liên hệ kết quả thí nghiệm với tất cả các thông số có liên quan. Biểu thức thiết kế này có thể dựa trên các phương trình thích hợp của cơ học kết cấu, hoặc được xác định trên cơ sở thực nghiệm.

(3) Biểu thức thiết kế cần được điều chỉnh để có thể dự đoán càng chính xác càng tốt khả năng chịu lực trung bình đo được, bằng cách điều chỉnh các hệ số để tối ưu hóa mối tương quan.

CHÚ THÍCH: Thông tin về quy trình này được cung cấp trong Phụ lục D của TCVN X1990.

(4) Để tính toán độ lệch chuẩn *s*, trước tiên mỗi kết quả thí nghiệm phải được chuẩn hóa bằng cách chia nó cho giá trị tương ứng được dự đoán bởi biểu thức thiết kế. Nếu biểu thức thiết kế đã được điều chỉnh như quy định trong (3), giá trị trung bình của các kết quả thí nghiệm được chuẩn hóa sẽ bằng một. Số lượng thí nghiệm *n* cần được thực hiện bằng tổng số thí nghiệm trong họ thí nghiệm.

(5) Sau đó, đối với một họ có ít nhất bốn thí nghiệm, khả năng chịu lực đặc trưng R_k cần được xác định từ biểu thức (A.11) bằng cách lấy R_m bằng giá trị dự đoán bởi biểu thức thiết kế và sử dụng giá trị k từ bảng A .2 tương ứng với giá trị n bằng tổng số thí nghiệm trong họ.

A.6.3.3 Các giá trị đặc trưng cho số lượng thí nghiệm ít

(1) Nếu chỉ thực hiện một thí nghiệm thì khả năng chịu lực đặc trưng R_k tương ứng với thí nghiệm này phải được xác định từ kết quả thí nghiệm đã điều chỉnh R_{adj} như sau:

$$R_k = 0,9\eta_k R_{adj} \tag{A.13}$$

trong đó η_k cần được lấy như sau, tùy thuộc vào dạng phá hoại:

- phá hoại dẻo: $\eta_k = 0,9$

- biến dạng tổng thể: $\eta_k = 0,9$

- mất ổn định cục bộ: $\eta_k = 0,8...0,9$ tùy thuộc vào ảnh hưởng đối với ứng xử tổng thể trong các thí nghiệm;

- mất ổn định tổng thể : $\eta_k = 0,7$

(2) Đối với họ có hai hoặc ba thí nghiệm, với điều kiện là mỗi kết quả thí nghiệm điều chỉnh $R_{adj,i}$ nằm trong giá trị trung bình R_m của các kết quả thí nghiệm điều chỉnh, thì khả năng chịu lực đặc trưng R_k cần được xác định như sau:

$$R_k = \eta_k R_m \tag{A.14}$$

(3) Các giá trị đặc trưng của đặc tính độ cứng (như độ cứng chống uốn hoặc độ cứng chống xoay) có thể được lấy bằng giá trị trung bình của ít nhất hai thí nghiệm, với điều kiện là mỗi kết quả thí nghiệm nằm trong khoảng ± 10% giá trị trung bình.

(4) Trong trường hợp chỉ có một thí nghiệm đơn lẻ, giá trị đặc trưng của độ cứng giảm đi 0,95 đối với giá trị có lợi và tăng 1,05 đối với giá trị bất lợi.

A.6.4 Các giá trị thiết kế

(1) Giá trị thiết kế của khả năng chịu lực R_d phải được xác định từ giá trị đặc trưng tương ứng R_k được xác định bằng thí nghiệm như sau:

$$R_d = \eta_{sys} \frac{R_k}{\gamma_M} \tag{A.15}$$

trong đó

γ_M là hệ số riêng cho khả năng chịu lực;

η_{sys} là hệ số chuyển đổi kể đến sự khác biệt về ứng xử trong điều kiện thí nghiệm và điều kiện sử dụng.

(2) Giá trị thích hợp cho η_{sys} phải được xác định phụ thuộc vào mô hình để thí nghiệm

(3) Đối với tấm và đối với các quy trình thí nghiệm tiêu chuẩn được xác định rõ ràng khác (bao gồm cả thí nghiệm cột ngắn A.3.2.1, thí nghiệm kéo A.3.3 và thí nghiệm uốn A.3.4) η_{sys} có thể lấy bằng 1,0. Đối với các thí nghiệm cho dầm có ngăn cản xoắn theo mục A.5, cũng có thể lấy $\eta_{sys} = 1{,}0$.

(4) Đối với các loại thí nghiệm khác trong đó các hiện tượng mất ổn định có thể xảy ra hoặc các dạng ứng xử của kết cấu hoặc các bộ phận của kết cấu có thể không được kể đến một cách đầy đủ bởi thí nghiệm, khi xác định giá trị η_{sys} phải tính đến các điều kiện thí nghiệm thực tế để đạt được độ tin cậy cần thiết.

CHÚ THÍCH: Hệ số riêng γ_M có thể được xác định trong Phụ lục Quốc gia. Khuyến nghị sử dụng các giá trị γ_M như đã chọn trong thiết kế bởi tính toán đưa ra trong Mục 2 hoặc Mục 8 của Phần này trừ khi có các giá trị khác thu được từ việc sử dụng Phụ lục D của TCVN X1990.

A.6.5 Điều kiện sử dụng

(1) Cần đáp ứng các quy định nêu trong Mục 7.

Phụ lục B
(tham khảo)

Độ bền lâu của chốt

(1) Có thể áp dụng Bảng B.1 cho các kết cấu cấp I, II và III.

Bảng B.1 - Vật liệu chốt liên quan đến môi trường xâm thực (và vật liệu tấm chỉ để tham khảo). Chỉ xét đến nguy cơ ăn mòn. Phân loại môi trường xâm thực theo EN ISO 12944-2

Hạng môi trường	Vật liệu tấm						
		Nhôm	Thép mạ điện, chiều dày lớp mạ > 7 µm	Thép mạ kẽm nhúng nóng. Chiều dày lớp mạ > 45 µm	Thép không gỉ cứng 1.4006[d)]	Thép không gỉ, 1.4301[d)] 1.4436[d)]	Hợp kim [a)]
C1	A, B, C	X	X	X	X	X	X
	D, E, S	X	X	X	X	X	X
C2	A	X	-	X	X	X	X
	C, D, E	X	-	X	X	X	X
	S	X	-	X	X	X	X
C3	A	X	-	X	-	X	X
	C, E	X	-	X	(X)[c)]	(X)[c)]	-
	D	X	-	X	-	(X)[c)]	X
	S	-	-	X	X	X	X
C4	A	X	-	(X)[c)]	-	(X)[c)]	-
	D	-	-	X	-	(X)[c)]	-
	E	X	-	X	-	(X)[c)]	-
	S	-	-	X	-	X	X
C5-1	A	X	-	-	-	(X)[c)]	-
	D[f)]	-	-	X	-	(X)[c)]	-
	S	-	-	-	-	X	-
C5-M	A	X	-	-	-	(X)[c)]	-
	D[f)]	-	-	X	-	(X)[c)]	-
	S	-	-	-	-	X	-

CHÚ THÍCH: Chốt bằng thép không mạ có thể sử dụng trong phân loại môi trường C1.

A Nhôm không phụ thuộc lớp phủ
B Tấm thép không mạ
C Tấm thép mạ kẽm nhúng nóng (Z275) hoặc mạ hợp kim nhôm – kẽm (AZ150)
D Tám thép mạ kẽm nhúng nóng + Sơn hoặc chất dẻo
E Tấm thép mạ hợp kim nhôm – kẽm (A185)
S Thép không gỉ
X Loại vật liệu khuyến nghị theo khía cạnh ăn mòn
(X) Loại thép khuyến nghị theo khía cạnh ăn mòn chỉ trong điều kiện đặc thù
- Loại vật liệu không khuyến nghị theo khía cạnh ăn mòn
a Chỉ tham chiếu tới đinh tán
b Chỉ tham chiếu tới vít và đai ốc
c Vòng đệm, làm từ vật liệu chống lão hóa, giữa tấm và chốt
d Thép không gỉ theo EN 10088
e Nguy cơ phai màu
f Luôn kiểm tra cùng với nhà cung cấp

(2) Phân loại môi trường theo EN ISO 12944-2 nêu trong Bảng B.2.

Bảng B.2 – Hạng môi trường ăn mòn khí quyển theo EN ISO 12944-2 và các ví dụ các môi trường điển hình

Hạng môi trường	Mức độ ăn mòn	Các ví dụ về môi trường điển hình ở vùng khí hậu ôn đới	
		Ngoài	Trong
C1	Rất thấp	-	Nhà có sưởi với môi trường sạch, ví dụ văn phòng, cửa hàng, trường học và khách sạn
C2	Thấp	Khí quyển có mức độ ô nhiễm thấp. Hầu hết các vùng nông thôn	Nhà không sưởi có tích tụ, ví dụ kho, phòng tập thể thao
C3	Trung bình	Khí quyển đô thị và công nghiệp, Ô nhiễm vừa phải SO_2. Vùng biển có độ mặn thấp	Gian phòng sản xuất có độ ẩm cao và ít ô nhiễm không khí, ví dụ xưởng chế biến thực phẩm, phòng giặt, phòng nấu bia và sữa.
C4	Cao	Khu công nghiệp và vùng ven biển có độ mặn vừa phải	Nhà máy hóa chất, bể bơi, xưởng đóng tàu biển và thuyền
C5-1	Rất cao (công nghiệp)	Khu công ngiệp có độ ẩm cao và môi trường xâm thực cao	Nhà hoặc vùng thường xuyên tích tụ và ô nhiễm không khí cao
C5-M	Rất cao (biển)	Vùng ben biển và ngoài khơi có độ mặn cao	Nhà hoặc vùng thường xuyên tích tụ và ô nhiễm không khí cao

Phụ lục C
(tham khảo)

Các hằng số tiết diện ngang của tiết diện ngang thành mỏng

C.1 Tiết diện ngang hở

(1) Chia tiết diện ngang thành *n* phần. Đánh số phần tử 1 đến *n*

Thêm các nút giữa các phần. Đánh số nút từ 0 đến *n*.

Phần tử *i* sau đó được xác định bởi nút thứ $i-1$ và *i*.

Cho các nút, tọa độ và chiều dày (hiệu dụng).

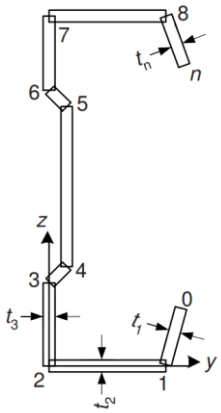
Các nút và các phần: $j = 0..n$; $i = 1..n$.

Diện tích của các phần tiết diện ngang:

$$dA_i = \left[t_i . \sqrt{(y_i - y_{i-1})^2 + (z_i - z_{i-1})^2} \right]$$

Diện tích tiết diện ngang:

$$A = \sum_{i=1}^{n} dA_i$$



Hình C.1 – Các nút của tiết diện ngang

Mô men tĩnh đối với trục y và tọa độ trọng tâm

$$S_{y0} = \sum_{i=1}^{n} (z_i + z_{i-1}) . \frac{dA_i}{2} \qquad z_{gc} = \frac{S_{y0}}{A}$$

Mô men quán tính đối với trục gốc *y* và trục y mới đi qua trọng tâm

$$I_{y0} = \sum_{i=1}^{n} \left[(z_i)^2 + (z_{i-1})^2 + z_i . z_{i-1} \right] . \frac{dA_i}{3} \qquad I_y = I_{y0} - A . z_{gc}^2$$

Mô men tĩnh đối với trục z và tọa độ trọng tâm

$$S_{z0} = \sum_{i=1}^{n} (y_i + y_{i-1}).\frac{dA_i}{2} \qquad y_{gc} = \frac{S_{z0}}{A}$$

Mô men quán tính đối với trục gốc z và trục z mới đi qua trọng tâm

$$I_{z0} = \sum_{i=1}^{n} \left[(z_i)^2 + (z_{i-1})^2 + z_i.z_{i-1} \right].\frac{dA_i}{3} \qquad I_z = I_{z0} - A.y_{gc}^2$$

Mô men quán tính ly tâm đối với các trục y và z và các trục mới đi qua trọng tâm:

$$I_{yz0} = \sum_{i=1}^{n} (2.y_{i-1}.z_{i-1} + 2.y_i.z_i + y_{i-1}.z_i + y_i.z_{i-1}).\frac{dA_i}{6} \qquad I_{yz} = I_{yz0} - \frac{S_{y0}.S_{z0}}{A}$$

Trục chính

$$\alpha = \frac{1}{2}\arctan\left(\frac{2I_{yz}}{I_z - I_y}\right) \text{ nếu } (I_z - I_y) \neq 0, \qquad \text{nếu không thì } \alpha = 0$$

$$I_\xi = \frac{1}{2}.\left[I_y + I_z + \sqrt{(I_z - I_y)^2 + 4.I_{yz}^2} \right]$$

$$I_\eta = \frac{1}{2}.\left[I_y + I_z - \sqrt{(I_z - I_y)^2 + 4.I_{yz}^2} \right]$$

Tọa độ quạt

$$\omega_0 = 0 \qquad \omega_{0i} = y_{i-1}.z_i - y_i.z_{i-1} \qquad \omega_i = \omega_{i-1} + \omega_{0i}$$

Các giá trị trung bình của tọa độ quạt

$$I_\omega = \sum_{i=1}^{n} (\omega_{i-1} + \omega_i).\frac{dA_i}{2} \qquad \omega_{mean} = \frac{I_\omega}{A}$$

Các hằng số quạt

$$I_{y\omega 0} = \sum_{i=1}^{n} (2.y_{i-1}.\omega_{i-1} + 2.y_i.\omega_i + y_{i-1}.\omega_i + y_i.\omega_{i-1}).\frac{dA_i}{6} \qquad I_{y\omega} = I_{y\omega 0} - \frac{S_{z0}.I_\omega}{A}$$

$$I_{z\omega 0} = \sum_{i=1}^{n} (2.\omega_{i-1}.z_{i-1} + 2.\omega_i.z_i + \omega_{i-1}.z_i + \omega_i.z_{i-1}).\frac{dA_i}{6} \qquad I_{z\omega} = I_{z\omega 0} - \frac{S_{y0}.I_\omega}{A}$$

$$I_{\omega\omega 0} = \sum_{i=1}^{n} \left[(\omega_i)^2 + (\omega_{i-1})^2 + \omega_i.\omega_{i-1} \right].\frac{dA_i}{3} \qquad I_{\omega\omega} = I_{\omega\omega 0} - \frac{I_\omega^{\,2}}{A}$$

Tâm cắt

$$y_{sc} = \frac{I_{z\omega}.I_z - I_{y\omega}.I_{yz}}{I_y.I_z - I_{yz}^2} \qquad z_{sc} = \frac{-I_{y\omega}.I_y + I_{z\omega}.I_{yz}}{I_y.I_z - I_{yz}^2} \qquad (I_y I_z - I_{yz}^{\,2} \neq 0)$$

Hằng số vênh

$$I_w = I_{\omega\omega} + z_{sc}.I_{y\omega} - y_{sc}.I_{z\omega}$$

Hằng số xoắn

$$I_t = \sum_{i=1}^{n} dA_i . \frac{(t_i)^2}{3} \qquad W_t = \frac{I_t}{\min(t)}$$

Tọa độ quạt so với tâm cắt

$$\omega_{s_j} = \omega_j - \omega_{mean} + z_{sc} . (y_j - y_{gc}) - y_{sc} . (z_j - z_{gc})$$

Tọa độ quạt lớn nhất và mô đun chống vênh

$$\omega_{\max} = \max(|\omega_s|) \qquad W_w = \frac{I_w}{\omega_{\max}}$$

Khoảng cách giữa tâm cắt và trọng tâm

$$y_s = y_{sc} - y_{gc} \qquad z_s = z_{sc} - z_{gc}$$

Mô men quạt của diện tích đối với tâm cắt

$$I_p = I_y + I_z + A(y_s{}^2 + z_s^2)$$

Hệ số không đối xứng z_j và y_j

$$z_j = z_s - \frac{0{,}5}{I_y} \cdot \sum_{i=1}^{n} \left[(z_{c_i})^3 + z_{c_i} \cdot \left[\frac{(z_i - z_{i-1})^2}{4} + (y_{c_i})^2 + \frac{(y_i - y_{i-1})^2}{12} \right] + y_{c_i} \cdot \frac{(y_i - y_{i-1}) . (z_i - z_{i-1})}{6} \right] \cdot dA_i$$

$$y_j = y_s - \frac{0{,}5}{I_z} \cdot \sum_{i=1}^{n} \left[(y_{c_i})^3 + y_{c_i} \cdot \left[\frac{(y_i - y_{i-1})^2}{4} + (z_{c_i})^2 + \frac{(z_i - z_{i-1})^2}{12} \right] + z_{c_i} \cdot \frac{(z_i - z_{i-1}) . (y_i - y_{i-1})}{6} \right] \cdot dA_i$$

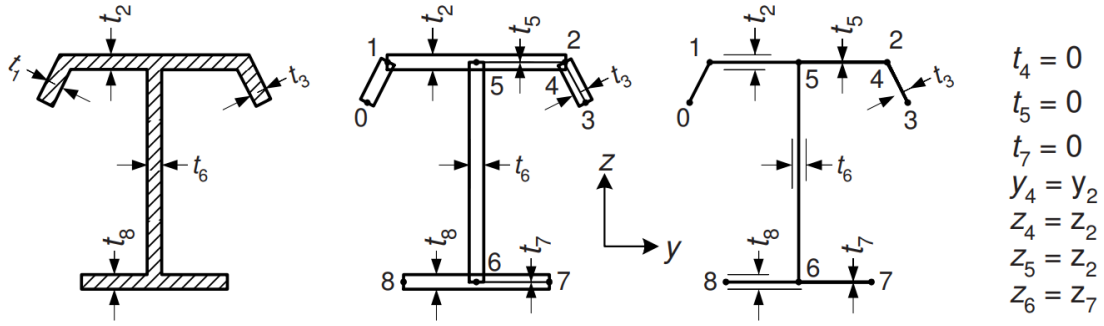
trong đó các tọa độ của tâm các phần tiết diện ngang đối với tâm cắt là

$$y_{c_i} = \frac{y_i + y_{i-1}}{2} - y_{gc} \qquad z_{c_i} = \frac{z_i + z_{i-1}}{2} - z_{gc}$$

CHÚ THÍCH: $z_j = 0$ $(y_j = 0)$ đối với tiết diện ngang có trục y (trục z) là trục đối xứng, xem Hình C.1.

C.2 Các hằng số tiết diện ngang đối với tiết diện ngang hở có các nhánh

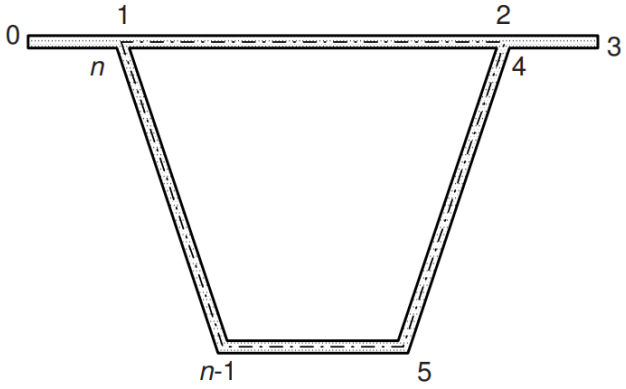
(1) Trong các tiết diện ngang có nhiều nhánh, có thể sử dụng các công thức trong C.1. Tuy nhiên, cần chuyển từ nhánh có chiều dày $t = 0$ sang phần tiếp theo có chiều dày $t \neq 0$, xem các nhánh 3-4-5 và 6-7 trên Hình C.2. Tiết diện có nhiều nhánh là tiết diện có nhiều hơn hai phần giao nhau tại một điểm.



Tiết diện ngang Nút và phần tử Mô hình dạng thanh

Hình C.2 – Nút và các phần trong tiết diện ngang có nhánh

C.3 – Hằng số xoắn và tâm cắt của tiết diện ngang có phần kín



Hình C.3 – Tiết diện ngang có phần kín

(1) Đối với tiết diện ngang đối xứng hoặc không đối xứng có phần kín, Hình C.3, hằng số xoắn được tính bằng công thức:

$$I_t = \frac{4A_t^2}{S_t} \text{ và } W_t = 2A_t \min(t_i)$$

trong đó:

$$A_t = 0{,}5\sum_{i=2}^{n}(y_i - y_{i-1})(z_i + z_{i-1})$$

$$S_t = \sum_{i=2}^{n}\frac{\sqrt{(y_i - y_{i-1})^2 + (z_i - z_{i-1})^2}}{t_i} \qquad (t_i \neq 0)$$

Phụ lục D
(tham khảo)

Phương pháp hỗn hợp xác định chiều rộng hiệu dụng và chiều dày hiệu dụng cho các phần tử vươn tự do

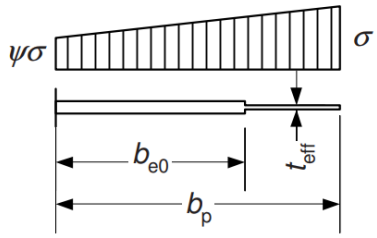
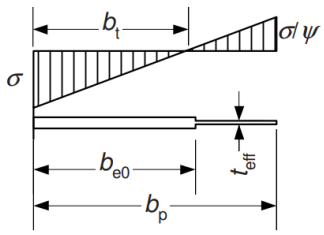
(1) Phụ lục này đưa ra phương pháp khác thay thế phương pháp chiều rộng hiệu dụng nêu trong 5.5.2 cho các phần tử vươn chịu nén. Diện tích hiệu dụng của phần tử bao gồm chiều dày nhân với chiều rộng hiệu dụng b_{e0} và chiều dày hiệu dụng t_{eff} nhân với chiều rộng còn lại b_p. Xem Bảng D.1.

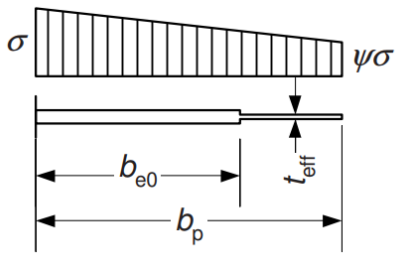
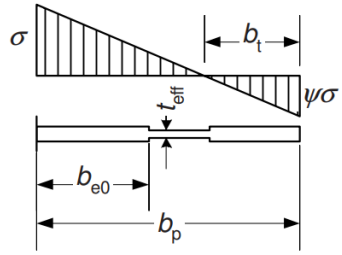
Thông số độ mảnh $\overline{\lambda}_p$ và hệ số giảm ρ được xác định theo 5.5.2 cho hệ số mất ổn định k_σ trong Bảng D.1.

Tỉ số ứng suất ψ trong hệ số mất ổn định k_σ có thể được tính dựa trên sự phân bố ứng suất trong tiết diện ngang nguyên.

(2) Khả năng chịu lực của tiết diện cần được xác định dựa trên sự phân bố ứng suất đàn hồi trên toàn bộ tiết diện.

Bảng D.1 – Các phần tử vươn tự do chịu nén

<table>
<tr><td colspan="3">Nén lớn nhất tại cạnh dài tự do</td></tr>
<tr><td>Phân bố ứng suất</td><td>Chiều rộng và chiều dày hiệu dụng</td><td>Hệ số mất ổn định</td></tr>
<tr><td rowspan="2"> 
</td><td>$1 \geq \psi \geq 0$
$b_{e0} = 0,42 b_p$
$t_{eff} = (1,75\rho - 0,75)t$</td><td rowspan="2">$1 \geq \psi \geq -2$
$k_\sigma = \frac{1,7}{3+\psi}$</td></tr>
<tr><td> 
</td><td>$\psi < 0$
$b_{e0} = \frac{0,42 b_p}{(1-\psi)} + b_t < b_p$
$b_t = \frac{\psi b_p}{(\psi - 1)}$
$t_{eff} = (1,75\rho - 0,75 - 0,15\psi)t$</td><td>$-2 > \psi \geq -3$
$k_\sigma = 3,3(1+\psi) + 1,25\psi^2$

$\psi < -3$
$k_\sigma = 0,29(1-\psi)^2$</td></tr>
<tr><td colspan="3">Nén lớn nhất tại cạnh dài có gối tựa</td></tr>
<tr><td>Phân bố ứng suất</td><td>Chiều rộng và chiều dày hiệu dụng</td><td>Hệ số mất ổn định</td></tr>
<tr><td rowspan="2"> 
</td><td>$1 \geq \psi \geq 0$
$b_{eo} = 0,42 b_p$
$t_{eff} = (1,75\rho - 0,75)t$</td><td>$1 \geq \psi \geq 0$
$k_\sigma = \frac{1,7}{1+3\psi}$</td></tr>
<tr><td> 
</td><td>$\psi < 0$
$b_{e0} = \frac{0,42 b_p}{(1-\psi)}$
$b_t = \frac{\psi b_p}{(\psi - 1)}$
$t_{eff} = (1,75\rho - 0,75)t$</td><td>$0 \geq \psi \geq -1$
$k_\sigma = 1,7 - 5\psi + 17,1\psi^2$

$\psi < -1$
$k_\sigma = 5,98(1-\psi)^2$</td></tr>
</table>

Phụ lục E
(tham khảo)

Phương pháp tính đơn giản cho xà gồ

(1) Xà gồ tiết diện chữ C, Z và tiết diện Σ có hoặc không có sườn cứng bổ sung trong bản bụng hoặc bản cánh có thể được tính toán theo (2) đến (4) nếu các điều kiện sau đây thỏa mãn:

- Các kich thước của tiết diện ngang nằm trong khoảng nêu trong Bảng E.1;
- Xà gồ được ngàm ngang bằng tấm sóng hình thang, trong đó ngàm ngang thỏa mã các điều kiện của biểu thức (10.1a);
- Xà gồ được ngàm chống xoay bằng tấm sóng hình thang và các điều kiện của Bảng 10.3 được thoả mãn;
- Xà gồ có nhịp bằng nhau và chịu tải trọng phân bố đều.

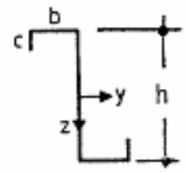
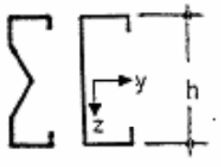
Phương pháp này không dùng:

- Cho hệ sử dụng thanh chống ngang;
- Cho hệ nối chồng hoặc nối với bản táp;
- Nếu có lực dọc N_{Ed} tác dụng.

CHÚ THÍCH: Giới hạn và hiệu lực của phương pháp này có thể được nêu trong Phụ lục Quốc gia

Bảng E.1- Các giới hạn cần thỏa mãn nếu sử dụng phương pháp tính đơn giản và các giới hạn khác của Bảng 5.1 và mục 5.2

(trục y và z lần lượt song song và vuông góc với bản cánh trên)

Xà gồ	t , mm	b/t	h/t	h/b	c/t	b/c	L/h
	≥1,25	≤55	≤160	≤3,43	≤20	≤4,0	≥15
	≥1,25	≤55	≤160	≤3,43	≤20	≤4,0	≥15

(2) Giá trị thiết kế của mô men uốn M_{Ed} cần thỏa mãn điều kiện:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{LT,Rd}} \le 1 \quad \text{(E.1)}$$

trong đó:

$$M_{LT,Rd} = \left(\frac{f_y}{\gamma_{M1}}\right) W_{eff,y} \frac{\chi_{LT}}{k_d} \quad \text{(E.2)}$$

$W_{eff,y}$ là mô đun chống uốn của tiết diện ngang hiệu dụng đối với trục y-y;

χ_{LT} là hệ số giảm cho mất ổn định dạng xoắn ngang phụ thuộc vào $\bar{\lambda}_{LT}$ theo 6.2.3, trong đó α_{LT} được thay bằng $\alpha_{LT,eff}$;

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{eff,y} f_y}{M_{cr}}} \quad \text{(E.3)}$$

$$\alpha_{LT,eff} = \alpha_{LT} \sqrt{\frac{W_{el,y}}{W_{eff,y}}} \quad \text{(E.4)}$$

α_{LT} là hệ số khiếm khuyết theo 6.2.3;

$W_{el,y}$ là mô đun chống uốn của tiết diện ngang nguyên đối với trục y-y;

k_d là hệ số kể đến phần không ngàm của xà gồ theo biểu thức (E.5) và Bảng E.2;

$$k_d = \left(a_1 - a_2 \frac{L}{h}\right) \text{ nhưng } \ge 1{,}0 \quad \text{(E.5)}$$

a_1, a_2 là các hệ số trong Bảng E.2;

L là nhịp xà gồ;

h là tổng chiều cao xà gồ.

Bảng E.2 – Các hệ số a_1, a_2 cho biểu thức (E.5)

Hệ	Xà gồ chữ Z		Xà gồ chữ C		Xà gồ chữ $\sum$	
	a_1	a_2	a_1	a_2	a_1	a_2
Dầm một nhịp Tải trọng hướng xuống dưới	1,0	0	1,1	0,002	1,1	0,002
Dầm một nhịp Tải trọng hướng lên trên	1,3	0	3,5	0,050	1,9	0,02
Dầm liên tục Tải trọng hướng xuống dưới	1,0	0	1,6	0,02	1,6	0,02
Dầm liên tục Tải trọng hướng lên trên	1,4	0,01	2,7	0,04	1,0	0

(3) Hệ số giảm χ_{LT} có thể được lựa chọn bằng biểu thức (E.6) nếu dầm một nhịp chịu tải trọng trọng lực hoặc nếu biểu thức (E.7) thỏa mãn:

$$\chi_{LT} = 1{,}0 \tag{E.6}$$

$$C_D \geq \frac{M_{el,u}^2}{EI_v} k_g \tag{E.7}$$

trong đó:

$M_{el,u}$ là mô men uốn đàn hồi của tiết diện ngang nguyên đối với trục chính u-u:

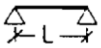
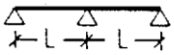
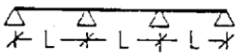
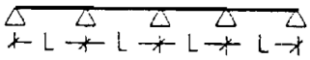
$$M_{el,u} = W_{el,u} f_y \tag{E.8}$$

I_v là mô men quán tính của tiết diện ngang nguyên đối với trục phụ v-v;

k_g là hệ số kể đến hệ tĩnh của xà gồ, lấy theo Bảng E.3.

CHÚ THÍCH: Đối với xà gồ cánh đều chữ C và chữ $\sum$, $I_v = I_z$, $W_u = W_y$ và $M_{el,u} = M_{el,y}$. Quy tắc trục cho tiết diện ngang được thể hiện trên Hình 1.7 và mục 1.5.4.

Bảng E.3 – Hệ số k_g

Hệ tĩnh	Tải trọng hướng xuống dưới	Tải trọng hướng lên trên
	-	0,210
	0,07	0,029
	0,15	0,066
	0,10	0,053

(4) Hệ số giảm χ_{LT} cần được tính theo 6.2.4 sử dụng $\bar{\lambda}_{LT}$ và $\alpha_{LT,eff}$ trong các trường hợp không thỏa mãn (3). Mô men tới hạn đàn hồi cho mất ổn định dạng xoắn-ngang M_{cr} có thể được tính theo công thức (E.9):

$$M_{cr} = \frac{k}{L}\sqrt{GI_t^* EI_v} \tag{E.9}$$

trong đó:

I_t^* là hằng số xoắn St. Venant quy ước, kể đến ngàm chống xoay hiệu dụng, xác định theo công thức (E.10) và (E.11):

$$I_t^* = I_t + C_D \frac{L^2}{\pi^2 G} \tag{E.10}$$

trong đó: I_t là hằng số xoắn St. Venant của xà gồ;

$$\frac{1}{C_D} = \frac{1}{C_{D,A}} + \frac{1}{C_{D,B}} + \frac{1}{C_{D,C}} \quad \text{(E.11)}$$

$C_{D,A}$, $C_{D,C}$ là các độ cứng chống xoay theo 10.1.5.2;

$C_{D,B}$ là độ cứng chống xoay của xà gồ khi tiết diện bị méo theo 10.1.5.1:

$C_{D,B} = K_B h^2$

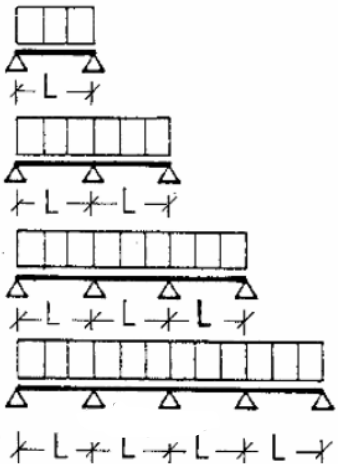
trong đó:

h là chiều cao xà gồ;

K_B lấy theo 10.1.5.1;

k là hệ số mất ổn định dạng xoắn ngang, lấy theo Bảng E.4.

Bảng E.4 – Hệ số mất ổn định dạng xmất ổn định ngang k cho xà gồ được ngàm ngang tại bản cánh trên

Hệ tĩnh	Tải trọng hướng xuống dưới	Tải trọng hương lên trên
	∞	10,3
	17,7	27,7
	12,2	18,3
	14,6	20,5

Phụ lục Quốc gia

kèm theo TCVN X1993-1-3:202x

Thiết kế kết cấu thép – Phần 1-3: Các quy định chung – Các quy định bổ sung cho cấu kiện và tấm tạo hình nguội

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 tiểu mục sau đây của TCVN X1993-1-3:202X.

2(3)	8(3) Bảng 8,4
2(5)	8.4 (5)
3.1(3) chú thích 1 và chú thích 2	8.5.1 (4)
3.2.4 (1)	9.(2)
5.3.(4)	10.1.1 (1)
8.3 (5)	10.1.4.2 (1)
8.3 (13), Bảng 8.1	A.1 (1), chú thích 2 và chú thích 3
8.3 (13), Bảng 8.2	A.6.4 (4)
8.3 (13), Bảng 8.3	E(1)

b) Các quyết định về tình trạng của phụ lục tham khảo trong TCVN X1993-1-3:202X

c) Các tài liệu tham khảo cho những thông tin bổ sung không mâu thuẫn.

NA.2 Thông số do quốc gia xác định

NA.2.1 Tổng quát

Các quyết định cho các thông số do quốc gia xác định được mô tả trong TCVN X1993-1-3:202X được đưa ra trong các mục NA.2.2 đến NA.2.19.

NA.2.2 Hệ sô an toàn riêng, γ_M [TCVN X1993-1-3:202X, 2(3)]

Sử dụng các giá trị được đề xuất.

NA.2.3 Hệ sô an toàn riêng, $\gamma_{M,ser}$ [TCVN X1993-1-3:202X, 2(5)]

Sử dụng các giá trị được đề xuất.

NA.2.4 Giá trị danh nghĩa của giới hạn chảy f_{yb} và giới hạn bền kéo tới hạn f_u [TCVN X1993-1-3:202X, 3.1(3) Chú thích 1 và Chú thích 2]

Chú thích 1: sử dụng giá trị được đề xuất.

Chú thích 2: bên cạnh các vật liệu thép và các loại được liệt kê trong Bảng 3.1b của TCVN X1993-1-3:202X, các vật liệu thép khác cũng có thể được sử dụng, với điều kiện là đặc tính cơ học của chúng đáp ứng các yêu cầu hoặc được chỉ định theo các nguyên tắc của các tiêu chuẩn được liệt kê trong bảng 3.1b của TCVN X1993-1-3:202X.

NA.2.5 Chiều dày của thép lõi [TCVN X1993-1-3:202X, 3.2.4(1)]

Giới hạn cho phép của thép cơ bản t_{cor} để thiết kế bằng tính toán theo TCVN X1993-1-3:202X như sau:

- Đối với tấm và cấu kiện : 0,35 mm ≤ t_{cor} ≤ 15 mm
- Đối với liên kết : 0,35 mm ≤ t_{cor} ≤ 4 mm

NA.2.6 Khiếm khuyết (không hoàn hảo) vồng ban đầu [TCVN X1993-1-3:202X, 5.3(4)]

Sử dụng các giá trị được đề xuất.

NA.2.7 Hệ số riêng cho chốt cơ khí, γ_{M2}, [TCVN X1993-1-3:202X, 8.3(5)]

Hệ số an toàn riêng, γ_{M2}, cho chốt cơ khí tương ứng nên được lấy như sau:

Cấp 4.6: γ_{M2}= 1,5
Các cấp khác : γ_{M2} = 1,25

NA.2.8 Khả năng chịu lực thiết kế của đinh tán chìm [TCVN X1993-1-3:202X, 8.3(13)]

Khả năng chịu cắt của đinh tán chìm cần được lấy từ thí nghiệm. Trong trường hợp các giá trị độ bền đặc trưng được cung cấp bởi một nhà sản xuất, chúng cần được sử dụng cùng với giá trị γ_{M2} được đề xuất của nhà sản xuất

NA.2.9 Khả năng chịu lực thiết kế của vít tự khoan [TCVN X1993-1-3:202X, 8.3(13)]

Khả năng chịu cắt, khả năng chống kéo tuột và khả năng chịu kéo của vít tự khoan cần được lấy từ thí nghiệm. Trong trường hợp giá trị các cường độ đặc trưng được cung cấp bởi nhà sản xuất, chúng cần được sử dụng cùng với giá trị γ_{M2} được đề xuất của nhà sản xuất.

NA.2.10 Đồ bền thiết kế của chốt đạn [TCVN X1993-1-3:202X, 8.3(13)]

Khả năng chịu cắt, khả năng chống kéo tuột và chống kéo của chốt đạn cần được xác định bằng cách thử nghiệm. Trong trường hợp các giá trị cường độ đặc trưng được cung cấp bởi nhà sản xuất, chúng cần được kết hợp sử dụng cùng với giá trị γ_{M2} được đề xuất của nhà sản xuất.

NA.2.11 Khả năng chịu lực thiết kế của bu lông [TCVN X1993-1-3:202X, 8.3(13)]

Khả năng chống kéo xuyên của bu lông chịu kéo cần được xác định bằng cách thí nghiệm. Khả năng chịu lực đặc trưng được cung cấp bởi nhà sản xuất, chúng cần được sử dụng cùng với giá trị γ_{M2} được đề xuất của nhà sản xuất.

NA.2.12 Hệ số riêng cho mối hàn điểm, γ_{M2} [TCVN X1993-1-3:202X, 8.4(5)]

Đối với mối hàn điểm chịu cắt, sử dụng γ_{M2} = 1,25.

Mối hàn điểm không nên được sử dụng trong chịu kéo

NA.2.13 Hệ số riêng cho mối hàn chồng, γ_{M2} [TCVN X1993-1-3:202X, 8.5.1(4)]

Sử dụng giá trị được đề xuất.

NA.2.14 Thiết kế được hỗ trợ bởi thí nghiệm [TCVN X1993-1-3:202X, 9(2)]

Thí nghiệm cần được thực hiện theo các nguyên tắc được đưa ra trong A.2 đến A.5 của TCVN X1993-1-3:202X. Việc đánh giá kết quả thí nghiệm để đưa ra các giá trị đặc trưng hoặc thiết kế có thể được thực hiện theo các phương pháp được đưa ra trong A.6 của TCVN X1993-1-3:202X. Ngoài ra, các phương pháp trong Phụ lục D của TCVN X1990:202x có thể được sử dụng.

NA.2.15 Dầm được ngàm bởi các tấm [TCVN X1993-1-3:202X, 10.1.1(1)]

Sử dụng các thí nghiệm được mô tả trong Phụ lục A của TCVN X1993-1-3:202X.

NA.2.16 Mất ổn định của bản cánh tự do [TCVN X1993-1-3:202X, 10.1.4.2(1)]

Hệ số giảm mất ổn định xoắn-ngang, χ_{LT}, cần được lấy theo TCVN ***1-1, **6.3.2.2** sử dụng đường cong mất ổn định b.

NA.2.17 Quy trình thí nghiệm [TCVN X1993-1-3:202X, A1(1)]

Chú thích 2: Thí nghiệm nên được thực hiện theo các nguyên tắc được đưa ra trong A.2 đến A.5 của TCVN X1993-1-3:202X. Việc đánh giá kết quả thử nghiệm để đưa ra các giá trị đặc trưng hoặc thiết kế có thể được thực hiện theo các phương pháp được đưa ra trong A.6 của TCVN X1993-1-3:202X. Các phương pháp trong Phụ lục D của TCVN X1990:202X có thể được sử dụng để thay thế.

Chú thích 3: Kết quả thử nghiệm sẵn có có thể được chuyển đổi thành các giá trị Eurocode tương đương với điều kiện các quy trình kiểm tra ban đầu tuân thủ các nguyên tắc được đưa ra trong TCVN X1993-1-3:202X và các sắp xếp thử nghiệm không khác biệt đáng kể so với các khuyến nghị của A.2 đến A.5 của TCVN X1993-1-3:202X. Các giá trị thiết kế hoặc đặc trưng tương đương Eurocode có thể thu được bằng cách phân tích lại dữ liệu thử nghiệm thô ban đầu theo các khuyến nghị của A.6 của TCVN X1993-1-3:202X hoặc Phụ lục D của TCVN X1990:202X, hoặc bằng cách phân tích lại các giá trị đặc trưng hoặc thiết kế ban đầu.

NA.2.18 Hệ số riêng cho kết quả thí nghiệm, γ_M TCVN X1993-1-3:202X, A6.4(4)]

Các giá trị được đưa ra trong Phụ lục quốc gia này để thiết kế theo tính toán có thể được sử dụng. Lựa chọn các giá trị của γ_M do việc sử dụng phụ lục D của TCVN X1990:202X có thể được sử dụng.

NA.2.19 Hạn chế về việc sử dụng "Thiết kế đơn giản cho xà gồ" [TCVN X1993-1-3:202X, E(1)]

Quy trình được đưa ra trong Phụ lục E của TCVN X1993-1-3:202X không được sử dụng.

Thông tin về một phương pháp thay thế được đưa ra trong NA.4.

NA.3 Quyết định định về tình trạng phụ lục tham khảo

NA.3.1 Phụ lục B

TCVN X1993-1-3:202X Phụ lục B có thể được sử dụng.

NA.3.2 Phụ lục C

TCVN X1993-1-3:202X Phụ lục C có thể được sử dụng.

NA.3.3 Phụ lục D

TCVN X1993-1-3:202X Phụ lục D có thể được sử dụng.

NA.3.4 Phụ lục E

TCVN X1993-1-3:202X Phụ lục E có thể được sử dụng

NA.4 Các tài liệu tham khảo cho những thông tin bổ sung không mâu thuẫn

Tài liệu tham khảo được trích dẫn trong Phụ lục Quốc gia này đối với thông tin bổ sung, không mâu thuẫn có thể được tìm thấy tại các TCVN hiện hành có liên quan (người dùng phải tự xem xét về sự phù hợp của tài liệu này đối với mục đích sử dụng cụ thể của họ). Đặc biệt, cần lưu ý rằng tài liệu được chỉ ra là không được xác nhận có thể chứa các nội dung mâu thuẫn với tiêu chuẩn Châu âu Eurocode.

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

TCVN X1990:202x, Phụ lục quốc gia cho TCVN X1990 - Cơ sở thiết kế kết cấu

TCVN ***1-1:202x, Thiết kế kết cấu thép – Phần 1-1: Quy tắc và quy tắc chung cho nhà