

TỦ SÁCH KHOA HỌC CÔNG NGHỆ XÂY DỰNG

**HƯỚNG DẪN THIẾT KẾ
KẾT CẤU THÉP
THEO TCXDVN 338 : 2005**

(Tái bản)

**NHÀ XUẤT BẢN XÂY DỰNG
HÀ NỘI - 2010**

LỜI GIỚI THIỆU

*Tiêu chuẩn Xây dựng Việt Nam TCXDVN 338:2005 “Kết cấu thép. Tiêu chuẩn thiết kế” đã được Bộ Xây dựng ban hành năm 2005, thay thế cho Tiêu chuẩn TCVN 5575:1991. Trong khuôn khổ nhiệm vụ Khoa học Công nghệ do Bộ Xây dựng đặt hàng, tài liệu “**Hướng dẫn thiết kế kết cấu thép theo TCXDVN 338:2005**” được Viện Khoa học Công nghệ Xây dựng biên soạn trên cơ sở chuyển dịch tài liệu “Hướng dẫn thiết kế kết cấu thép” của Cộng hòa liên bang Nga (Пособие по проектированию стальных конструкций - к СНиП II.23.81*) và bổ sung một số tài liệu kỹ thuật khác có liên quan.*

*“**Hướng dẫn thiết kế kết cấu thép theo TCXDVN 338:2005**” bao gồm những nội dung cơ bản của tiêu chuẩn kèm theo các ví dụ tính toán, minh họa để các kỹ sư có thể hiểu và vận dụng chính xác các quy định của tiêu chuẩn trong quá trình thiết kế kết cấu thép của nhà và công trình xây dựng.*

*Nhằm phục vụ đông đảo các kỹ sư ngành xây dựng, Vụ Khoa học Công nghệ và Môi trường (Bộ Xây dựng) phối hợp với Nhà Xuất bản Xây dựng xuất bản “**Hướng dẫn thiết kế kết cấu thép theo TCXDVN 338:2005**”. Chúng tôi chân thành cảm ơn các ý kiến góp ý của độc giả và mọi ý kiến đóng góp xin gửi về Nhà Xuất bản Xây dựng.*

Chương 1

GIỚI THIỆU CHUNG

1.1. MỤC ĐÍCH CỦA TÀI LIỆU HƯỚNG DẪN THIẾT KẾ KẾT CẤU THÉP THEO “TCXDVN 338 : 2005 KẾT CẤU THÉP - TIÊU CHUẨN THIẾT KẾ”

Mục đích của tài liệu này nhằm hướng dẫn các kỹ sư xây dựng có thể thiết kế kết cấu thép các công trình xây dựng dân dụng và công nghiệp theo “TCXDVN 338 : 2005 Kết cấu thép - Tiêu chuẩn thiết kế”, do Bộ Xây dựng ban hành năm 2005. Đồng thời nhằm giúp người đọc hiểu rõ thấu đáo hơn các điều mục đã được trình bày trong TCXDVN 338 : 2005.

1.2. PHẠM VI DÙNG

Tài liệu này dùng để hướng dẫn sử dụng “TCXDVN 338 : 2005. Kết cấu thép - Tiêu chuẩn thiết kế” để thiết kế các công trình xây dựng dân dụng và công nghiệp bằng thép. Khi sử dụng có thể dùng kèm theo các tiêu chuẩn trích dẫn, các tài liệu có liên quan như đã viết trong TCXDVN 338 : 2005. Tài liệu này còn giúp cho các kỹ sư, các cán bộ kỹ thuật, các cán bộ quản lý và sinh viên ngành xây dựng nâng cao các hiểu biết về lĩnh vực kết cấu thép nói chung.

1.3. NỘI DUNG CHÍNH CỦA TÀI LIỆU

Tài liệu này gồm 6 chương:

Chương 1. Giới thiệu chung.

Chương 2. Cơ sở lý thuyết thiết kế kết cấu thép theo trạng thái giới hạn.

Chương 3. Vật liệu thép dùng cho kết cấu và liên kết.

Chương 4. Tính toán các cấu kiện.

Chương 5. Tính toán liên kết.

Chương 6. Tính toán kết cấu thép theo độ bền mỏi.

Cuối của hướng dẫn là phần phụ lục, cung cấp các số liệu cần thiết dùng khi thiết kế.

Nội dung của mỗi chương gắn chặt với các phần tương ứng của TCXDVN 338 : 2005. Có phần giải thích các khái niệm cơ bản, các lý thuyết tính toán có liên quan được trình bày trong TCXDVN 338 : 2005, và quan trọng hơn cả là có những ví dụ tính toán thiết kế để người đọc có thể vận dụng vào thực tế thiết kế một cách dễ dàng.

1.4. VỀ CÁC TIÊU CHUẨN THIẾT KẾ KẾT CẤU THÉP DO VIỆT NAM BAN HÀNH

1.4.1. Các tiêu chuẩn thiết kế kết cấu thép đã ban hành của Việt Nam

- Từ năm 1963 đến 1971: Tiêu chuẩn và quy phạm kỹ thuật thiết kế kết cấu thép, do UBKT Cơ bản Nhà nước ban hành, dựa theo HuTy 121 - 55 của Liên Xô (tính theo lý thuyết ứng suất cho phép).

- Từ 1972 đến 1990: TCXD 09 - 72 Kết cấu thép - Tiêu chuẩn thiết kế, do UBKT Cơ bản Nhà nước phê chuẩn, dựa theo CHuΠ IIB - 3.62 của Liên Xô (tính theo lý thuyết trạng thái giới hạn).

- Từ năm 1991 đến 6/2005: TCVN 5575 - 1991 Kết cấu thép - Tiêu chuẩn thiết kế, do Bộ Xây dựng ban hành, dựa theo CHuΠ II - 23 - 81 của Liên Xô.

- Từ 6/2005: TCXDVN 338 : 2005 Kết cấu thép - Tiêu chuẩn thiết kế, do Bộ Xây dựng ban hành, dựa chủ yếu theo CHuΠ II - 23 - 81* của Nga.

- Tiêu chuẩn về thi công, nghiệm thu: 20 TCN 170- 89 Kết cấu thép - Gia công, lắp ráp và nghiệm thu. Yêu cầu kỹ thuật, do Bộ Xây dựng ban hành.

1.4.2. Đặc điểm của "TCXDVN 338 : 2005 Kết cấu thép - Tiêu chuẩn thiết kế" so với các Tiêu chuẩn thiết kế kết cấu thép của Việt Nam trước đây.

a) Cơ sở biên soạn tiêu chuẩn có thể tóm tắt như sau:

- Nền tảng của TCXDVN 338 : 2005 là dựa vào các tiêu chuẩn về kết cấu thép trước đó của Việt Nam; tiêu chuẩn của Nga CHuΠ II - 23 - 81*. Стальные конструкции. Москва, 1999; có tham khảo một số tiêu chuẩn nước ngoài khác theo nguyên tắc kế thừa, đổi mới và phù hợp với hệ thống tiêu chuẩn hiện hành ở Việt Nam;

- Xem xét đến khả năng thiết kế, công nghệ chế tạo trong giai đoạn hiện tại và sắp tới của Việt Nam (tiện dụng để lập chương trình tính toán, công nghệ lắp ráp, công nghệ hàn hiện đại);

- Phù hợp với yêu cầu của kinh tế thị trường và yêu cầu hoà nhập với kinh tế khu vực và thế giới nói chung, tức là phải tăng được tính cạnh tranh của các sản phẩm kết cấu thép khi thiết kế theo tiêu chuẩn Việt Nam.

b) Các tài liệu tham khảo gồm

1. TCXDVN 338 : 2005. Kết cấu thép - Tiêu chuẩn thiết kế;
2. TCVN 5575 : 1991. Kết cấu thép - Tiêu chuẩn thiết kế;
3. TCVN 1765 : 1975. Thép cacbon kết cấu thông thường - Mác thép và yêu cầu kỹ thuật;
4. TCVN 3104 : 1979. Thép kết cấu hợp kim thấp - Mác, yêu cầu kỹ thuật;
5. TCVN 5709 : 1993. Thép cacbon cán nóng dùng cho xây dựng - Yêu cầu kỹ thuật.

6. TCVN 1766 :1975. Thép cacbon kết cấu chất lượng tốt - Mác thép và yêu cầu kỹ thuật;
7. TCVN 3223 : 1994. Que hàn điện dùng cho thép cacbon và hợp kim thấp - Kích thước và yêu cầu kỹ thuật chung;
8. TCVN 3909 : 1994. Que hàn điện dùng cho thép cacbon và hợp kim thấp - Phương pháp thử;
9. TCVN 1691 : 1975. Mối hàn hồ quang điện bằng tay;
10. TCVN 5400 : 1991. Mối hàn - Yêu cầu chung về lấy mẫu để thử cơ tính;
11. TCVN 5401 : 1991. Mối hàn - Phương pháp thử uốn;
12. TCVN 5402 : 1991. Mối hàn - Phương pháp thử va đập;
13. TCVN 5403 : 1991. Mối hàn - Phương pháp thử kéo;
14. TCVN 1916 : 1995. Bulông, vít, vít cấy và đai ốc - Yêu cầu kỹ thuật;
15. TCVN 6522 : 1999. Thép tấm kết cấu cán nóng;
16. TCVN 4169 : 1985. Kim loại - Phương pháp thử mỗi nhiều chu trình và ít chu trình;
17. TCVN 197 : 1985. Kim loại - Phương pháp thử kéo;
18. TCVN 198 : 1985. Kim loại - Phương pháp thử uốn;
19. TCVN 312 : 1984. Kim loại - Phương pháp thử uốn va đập ở nhiệt độ thường;
20. TCVN 313 : 1985. Kim loại - Phương pháp thử xoắn;
21. TCVN 2737 : 1995. Tải trọng và tác động - Tiêu chuẩn thiết kế;
22. Quy chuẩn xây dựng, Bộ Xây dựng 1997;
23. Ведеников Г.С. Металлические конструкции 1997;
24. Мандриков. Примеры расчета металлических конструкций, 1991;
25. Беления. Металлические конструкции. Общий курс, 1986;
26. Пособие по расчету и конструированию сварных соединений стальных конструкций (к главе СНиП II-23-81), 1983;
27. О.В. Евдокимцев, О.В. Умнова. Проектирование и расчет стальных балочных клеток 2005;
28. В.В Горев. Элементы конструкций. 2001;
29. Пособие по проектированию стальных конструкций (к СНиП II-23-81*), 1989;
30. СНиП II - 23 - 81*. Стальные конструкции. Москва, 1999;
31. СНиП 2.03.06 - 85. Алюминиевые конструкции. Москва, 1986;
32. Eurocode 3. Calcul des Structures en Acier. Paris 1993;
33. BSI - Structural Use of Steelwork in Building. BS 5950: Part 1: 2000;
34. Manual of Steel construction. Allowable Stress Design. American institute of Steel Construction (AISC) - 1994;

35. Australian Standard. Steel structures. AS 4100 - 1990;

36. Tiêu chuẩn nhà nước. Nước Cộng Hoà Nhân Dân Trung Hoa. "Quy phạm thiết kế kết cấu thép GBJ 17 - 89". Có hiệu lực từ 1/7/1989. (Dịch từ bản gốc).

c) Những phần đổi mới về nội dung của TCXDVN 338 : 2005 so với TCVN 5575 : 1991

- Bố trí lại về cấu trúc các phần, điều, mục hợp lý hơn và thuận tiện khi sử dụng;
- Toàn bộ phần vật liệu thép được lấy theo các tiêu chuẩn Việt Nam gần đây nhất, có bổ sung bảng so sánh tính năng cơ học của một số loại thép nước ngoài, phần lớn hiện đang được sử dụng ở nước ta (TCXDVN 338 : 2005 bảng A.2 phụ lục A);
- Các vật liệu hàn, bulông dùng theo TCVN đã được thiết lập trên cơ sở ISO;
- Phần các yêu cầu khống chế về độ võng và chuyển vị ngang của kết cấu được biên soạn lại và chia các loại công trình chi tiết hơn để phù hợp với yêu cầu chịu lực thực tế của mỗi loại công trình;
- Loại bỏ bớt những phần thiết kế quá phức tạp, ít gặp trong thực tế xây dựng của Việt Nam như kiểm tra ổn định của bản bụng dầm khi tăng cường cả sườn ngang và sườn dọc;...
- Đơn giản hoá việc phân chia nhóm kết cấu;
- Chính xác hoá cách tính tiết diện giảm yếu do lỗ bulông;
- Bổ sung cách tính toán cột vát (TCXDVN 338 : 2005, bảng D.7 phụ lục D);
- Hệ số biến đổi chiều dài tính toán của thanh nén khi kể đến điều kiện liên kết gần sát với lý thuyết (TCXDVN 338 : 2005, bảng D.1 phụ lục D);
- Cánh tính liên kết nút hàn của kết cấu thép ống (TCXDVN 338 : 2005, phụ lục G);
- Bổ sung phần các tiêu chuẩn trích dẫn, phần chuyển đổi đơn vị kỹ thuật cũ sang hệ đơn vị SI.

d) Những đổi mới về hình thức của TCXDVN 338 : 2005 so với TCVN 5575 : 1991

- Dùng các ký hiệu theo tiêu chuẩn quốc tế thông dụng;
- Thay một số thuật toán cho gọn hơn;
- Sắp xếp lại vị trí các bảng biểu hợp lý hơn, dễ tra cứu hơn.
- Đưa thêm một số hình vẽ cho dễ hiểu hơn;
- Trình bày tiêu chuẩn, đánh số công thức, bảng theo các quy định chung.

1.5. CÁC KÝ HIỆU CHUNG DÙNG TRONG TCXDVN 338 : 2005

a) Các đặc trưng hình học

A	diện tích tiết diện nguyên
A_n	diện tích tiết diện thực

A_f	diện tích tiết diện bản cánh
A_w	diện tích tiết diện bản bụng
A_{bn}	diện tích tiết diện thực của bulông
A_d	diện tích tiết diện thanh xiên
b	chiều rộng
b_f	chiều rộng cánh
b_o	chiều rộng phần nhô ra của cánh
b_s	chiều rộng của sườn ngang
h	chiều cao của tiết diện
h_w	chiều cao của bản bụng
h_f	chiều cao của đường hàn góc
h_{fk}	khoảng cách giữa trục của các cánh dầm
i	bán kính quán tính của tiết diện
i_x, i_y	bán kính quán tính của tiết diện đối với các trục tương ứng x-x, y-y
i_{min}	bán kính quán tính nhỏ nhất của tiết diện
I_f	mômen quán tính của tiết diện nhánh
I_m, I_d	mômen quán tính của thanh cánh và thanh xiên của dầm
I_b	mômen quán tính tiết diện bản giằng
I_s, I_{sl}	mômen quán tính tiết diện sườn ngang và dọc
I_t	mômen quán tính khi xoắn
I_x, I_y	các mômen quán tính của tiết diện nguyên đối với các trục tương ứng x-x, y-y
I_{nx}, I_{ny}	các mômen quán tính của tiết diện thực đối với các trục tương ứng x-x, y-y
L	chiều cao của thanh đứng, cột hoặc chiều dài nhịp dầm
l	chiều dài nhịp
l_d	chiều dài của thanh xiên
l_m	chiều dài khoang các thanh cánh của dầm hoặc cột rỗng
l_o	chiều dài tính toán của cấu kiện chịu nén
l_x, l_y	chiều dài tính toán của cấu kiện trong các mặt phẳng vuông góc với các trục tương ứng x-x, y-y.
l_w	chiều dài tính toán của đường hàn
S	mômen tĩnh

s	bước lỗ bulông
t	chiều dày
t_f, t_w	chiều dày của bản cánh và bản bụng
u	khoảng cách đường lỗ bulông
W_{nmin}	môđun chống uốn (mômen kháng) nhỏ nhất của tiết diện thực đối với trục tính toán
W_x, W_y	môđun chống uốn (mômen kháng) của tiết diện nguyên đối với trục tương ứng x-x, y-y
$W_{nx,min}, W_{ny,min}$	môđun chống uốn (mômen kháng) nhỏ nhất của tiết diện thực đối với các trục tương ứng x-x, y-y.

b) Ngoại lực và nội lực

F	ngoại lực tập trung
M	mômen uốn
M_x, M_y	mômen uốn đối với các trục tương ứng x-x, y-y
M_t	mômen xoắn cục bộ
N	lực dọc
N_d	nội lực phụ
N_M	lực dọc trong nhánh do mômen gây ra
p	áp lực tính toán
V	lực cắt
V_f	lực cắt quy ước tác dụng trong một mặt phẳng thanh (bản) giằng
V_s	lực cắt quy ước tác dụng trong thanh (bản) giằng của một nhánh

c) Cường độ và ứng suất

E	môđun đàn hồi
G	môđun trượt
f_y	cường độ tiêu chuẩn lấy theo giới hạn chảy của thép
f_u	cường độ tiêu chuẩn của thép theo sức bền kéo đứt
f	cường độ tính toán của thép chịu kéo, nén, uốn lấy theo giới hạn chảy
f_t	cường độ tính toán của thép theo sức bền kéo đứt
f_v	cường độ tính toán chịu cắt của thép
f_c	cường độ tính toán của thép khi ép mặt theo mặt phẳng tì dầm (có gia công phẳng)

f_{cc}	cường độ tính toán ép mặt cục bộ trong các khớp trụ (mặt cong) khi tiếp xúc chặt
f_{th}	cường độ tính toán chịu kéo của sợi thép cường độ cao
f_{ub}	cường độ kéo đứt tiêu chuẩn của bulông
f_{tb}	cường độ tính toán chịu kéo của bulông
f_{vb}	cường độ tính toán chịu cắt của bulông
f_{cb}	cường độ tính toán chịu ép mặt của bulông
f_{ba}	cường độ tính toán chịu kéo của bulông neo
f_{hb}	cường độ tính toán chịu kéo của bulông cường độ cao
f_{cd}	cường độ tính toán chịu ép mặt theo đường kính con lăn
f_w	cường độ tính toán của mối hàn đối đầu chịu nén, kéo, uốn theo giới hạn chảy
f_{wu}	cường độ tính toán của mối hàn đối đầu chịu nén, kéo, uốn theo sức bền kéo đứt
f_{wv}	cường độ tính toán của mối hàn đối đầu chịu cắt
f_{wf}	cường độ tính toán của đường hàn góc (chịu cắt quy ước) theo kim loại mối hàn
f_{ws}	cường độ tính toán của đường hàn góc (chịu cắt quy ước) theo kim loại ở biên nóng chảy
f_{wun}	cường độ tiêu chuẩn của kim loại đường hàn theo sức bền kéo đứt
σ	ứng suất pháp
σ_c	ứng suất pháp cục bộ
σ_x, σ_y	các ứng suất pháp song song với các trục tương ứng x-x, y-y
$\sigma_{cr}, \sigma_{c,cr}$	các ứng suất pháp tới hạn và ứng suất cục bộ tới hạn
σ_{yield}	ứng suất chảy của thép
σ_u	ứng suất bền của thép
σ_{eq}	ứng suất tương đương
τ	ứng suất tiếp
τ_{cr}	ứng suất tiếp tới hạn

d) Kí hiệu các thông số

c_l, c_x, c_y	các hệ số dùng để kiểm tra bền của dầm chịu uốn trong một mặt phẳng chính hoặc trong hai mặt phẳng chính khi có kể đến sự phát triển của biến dạng dẻo
-----------------	--

e	độ lệch tâm của lực
m	độ lệch tâm tương đối
m_e	độ lệch tâm tương đối tính đối
n, p, μ	các thông số để xác định chiều dài tính toán của cột
n_a	số lượng bulông trên một nửa liên kết
n_c	hệ số tổ hợp
n_Q	chu kỳ tải trọng
n_v	số lượng các mặt cắt tính toán
β_f, β_s	các hệ số để tính toán đường hàn góc theo kim loại đường hàn và ở biên nóng chảy của thép cơ bản
γ_c	hệ số điều kiện làm việc của kết cấu
γ_b	hệ số điều kiện làm việc của liên kết bulông
γ_M	hệ số độ tin cậy về cường độ
γ_Q	hệ số độ tin cậy về tải trọng
γ_u	hệ số độ tin cậy trong các tính toán theo sức bền tức thời
η	hệ số ảnh hưởng hình dạng của tiết diện
λ	độ mảnh của cấu kiện ($\lambda = l_o / i$)
$\bar{\lambda}$	độ mảnh quy ước ($\bar{\lambda} = \lambda \sqrt{f / E}$)
λ_o	độ mảnh tương đương của thanh tiết diện rỗng
$\bar{\lambda}_o$	độ mảnh tương đương quy ước của thanh tiết diện rỗng ($\bar{\lambda}_o = \lambda_o \sqrt{f / E}$)
$\bar{\lambda}_w$	độ mảnh quy ước của bản bụng ($\bar{\lambda}_w = (h_w / t_w) \sqrt{f / E}$)
λ_x, λ_y	độ mảnh tính toán của cấu kiện trong các mặt phẳng vuông góc với các trục tương ứng x-x, y-y.
μ	hệ số chiều dài tính toán của cột
φ	hệ số uốn dọc
φ_b	hệ số giảm cường độ tính toán khi mất ổn định dạng uốn xoắn
φ_e	hệ số giảm cường độ tính toán khi nén lệch tâm, nén uốn
ψ	hệ số để xác định hệ số φ_b khi tính toán ổn định của dầm (phụ lục E).

Chương 2

CƠ SỞ LÝ THUYẾT THIẾT KẾ KẾT CẤU THÉP THEO TRẠNG THÁI GIỚI HẠN

2.1. PHƯƠNG PHÁP THIẾT KẾ KẾT CẤU THÉP THEO TRẠNG THÁI GIỚI HẠN

2.1.1. Các trạng thái giới hạn

Tiêu chuẩn TCXDVN 338 : 2005 quy định việc tính toán kết cấu thép theo phương pháp trạng thái giới hạn (TTGH).

Mục đích của việc tính toán kết cấu là bảo đảm cho kết cấu không bị vượt quá trạng thái giới hạn khiến cho chúng không thể sử dụng được nữa, trong khi vẫn đảm bảo ít tổn kém nhất về vật liệu cũng như nhân công chế tạo, dựng lắp.

Trạng thái giới hạn là trạng thái mà khi vượt quá thì kết cấu không còn thoả mãn các yêu cầu sử dụng hoặc khi dựng lắp được đề ra đối với nó khi thiết kế. Các trạng thái giới hạn gồm:

- Các trạng thái giới hạn về khả năng chịu lực là các trạng thái mà kết cấu không còn đủ khả năng chịu lực, sẽ bị phá hoại, sụp đổ hoặc hư hỏng làm nguy hại đến sự an toàn của con người, của công trình. Đó là các trường hợp: kết cấu không đủ độ bền (phá hoại bền), hoặc kết cấu bị mất ổn định, hoặc kết cấu bị phá hoại dòn, hoặc vật liệu kết cấu bị chảy.

- Các trạng thái giới hạn về sử dụng là các trạng thái mà kết cấu không còn sử dụng bình thường được nữa do bị biến dạng quá lớn hoặc do hư hỏng cục bộ. Các trạng thái giới hạn này gồm: trạng thái giới hạn về độ võng và biến dạng làm ảnh hưởng đến việc sử dụng bình thường của thiết bị máy móc, của con người hoặc làm hỏng sự hoàn thiện của kết cấu, do đó hạn chế việc sử dụng công trình; sự rung động quá mức; sự hạn chế quá mức.

Kết cấu phải được tính toán để đảm bảo không xuất hiện trạng thái giới hạn trong bất cứ trường hợp nào, cho dù xét với tổ hợp và các điều kiện bất lợi nhất có thể có như: tải trọng có trị số vượt quá mức bình thường, vật liệu có các đặc trưng cơ học kém nhất.

2.1.2. Các hệ số an toàn

Khi tính toán kết cấu theo trạng thái giới hạn phải dùng các hệ số độ tin cậy sau:

- Hệ số độ tin cậy về cường độ γ_M

- Hệ số độ tin cậy về tải trọng γ_Q
- Hệ số điều kiện làm việc γ_C .

Hệ số độ tin cậy về cường độ γ_M thực chất là hệ số an toàn về vật liệu. Hệ số an toàn vật liệu γ_M xét đến ảnh hưởng của các yếu tố làm giảm khả năng chịu lực của kết cấu: sự làm việc thực tế của kim loại trong kết cấu phức tạp hơn so với mẫu kim loại chịu lực kéo lúc thí nghiệm cơ tính. Có một số trường hợp tính năng của kim loại trong kết cấu kém hơn tính năng theo quy định; kích thước của chế phẩm thép cán có khi nhỏ hơn kích thước danh nghĩa v.v... Hệ số γ_M được lấy bằng 1,05 cho mọi mác thép. Đối với các thép của nước ngoài thì lấy bằng 1,1 cho mọi mác thép. Cường độ tiêu chuẩn f_y hay f_u của thép chia cho hệ số an toàn vật liệu γ_M sẽ cho cường độ tính toán f .

Hệ số độ tin cậy của tải trọng γ_Q (còn được gọi là hệ số vượt tải) xét đến sự biến thiên của tải trọng do những sai lệch ngẫu nhiên khác với điều kiện sử dụng bình thường. Trị số của γ_Q được xác lập bằng cách xử lý thống kê số liệu của các tải trọng thực tế có trong thời gian sử dụng công trình. Tiêu chuẩn tải trọng quy định các trị số γ_Q tùy theo loại tải trọng. Ví dụ, trọng lượng vật liệu thép $\gamma_Q = 1,05$; tải trọng gió $\gamma_Q = 1,2$; tải trọng tạm thời trên sàn $\gamma_Q = 1,3$ hay 1,2 tùy trường hợp cụ thể (xem chi tiết trong TCVN 2737 : 1995).

Hệ số điều kiện làm việc γ_c xét đến các yếu tố của quá trình sử dụng như: tải trọng tác dụng dài hạn hoặc lặp lại nhiều lần, sự gập đung của các giả thiết tính toán, ảnh hưởng của chế độ ẩm - nhiệt hay sự ăn mòn của môi trường. Trị số của γ_c được cho trong bảng 3 của TCXDVN 338 : 2005.

2.1.3. Các công thức tính toán theo các trạng thái giới hạn

Đối với nhóm TTGH thứ nhất, điều kiện an toàn về khả năng chịu lực có thể viết dưới dạng:

$$N \leq S \quad (2.1)$$

trong đó: N - nội lực trong cấu kiện đang xét;

S - nội lực giới hạn mà cấu kiện có thể chịu được.

Nội lực N gây bởi *tải trọng tính toán*, đó là tải trọng lớn nhất có thể xảy ra trong suốt thời gian sử dụng. Tải trọng tính toán P là tích số của *tải trọng tiêu chuẩn* P^C (tức là tải trọng lớn nhất có thể có trong điều kiện sử dụng bình thường, được xác định bằng cách thống kê xác suất và được quy định trong tiêu chuẩn) với hệ số độ tin cậy về tải trọng γ_Q .

Khi có nhiều tải trọng (P_i) tác dụng đồng thời, phải tính toán với tổ hợp bất lợi nhất của các tải trọng. Xác suất để xuất hiện đồng thời nhiều tải trọng mang giá trị lớn nhất được xét bằng cách nhân tải trọng hoặc nội lực với hệ số tổ hợp n_c .

Như vậy, nội lực N có thể viết dưới dạng:

$$N = \sum P_i^c \bar{N}_i \gamma_Q n_c \rightarrow \text{tuyến tính} \quad (2.2)$$

trong đó: \bar{N}_i - nội lực do $P_i = 1$.

Khả năng chịu lực S là nội lực giới hạn mà cấu kiện có thể chịu được, nó phụ thuộc các đặc trưng hình học của tiết diện cấu kiện và các đặc trưng cơ học của vật liệu. Có thể viết S dưới dạng tích số của diện tích tiết diện A với cường độ tính toán f của vật liệu.

Cường độ tiêu chuẩn của vật liệu f_y trong phần lớn trường hợp, chính là giới hạn chảy σ_{yield} của thép: $f_y = \sigma_{\text{yield}}$, hoặc trong một số trường hợp mà có thể sử dụng tới giới hạn bền thì ký hiệu là f_u và lấy bằng σ_u .

- Cường độ tính toán của vật liệu theo giới hạn chảy được xác định như sau:

$$f = \frac{f_y}{\gamma_M} \quad (2.3a)$$

- Cường độ tính toán của vật liệu theo giới hạn bền được xác định như sau:

$$f_t = \frac{f_u}{\gamma_M} \quad (2.3b)$$

Như vậy, khả năng chịu lực S tính theo f :

$$S = Af = \frac{Af_y}{\gamma_M} \quad (2.4a)$$

hoặc khả năng chịu lực S tính theo f_t :

$$S = Af_t = \frac{Af_u}{\gamma_u} \quad (2.4b)$$

không hạn? $S = A \cdot f$?

trong đó: $\gamma_u = 1,3$ - hệ số độ tin cậy đối với cấu kiện tính theo giới hạn bền.

Đối với nhóm TTGH thứ hai, điều kiện giới hạn phải đảm bảo là: $\Delta \leq \bar{\Delta}$

trong đó:

Δ - biến dạng hay chuyển vị của kết cấu do tác dụng của các tổ hợp tải trọng tiêu chuẩn bất lợi nhất. Nếu δ_i là biến dạng gây bởi tải trọng đơn vị thì dưới tác dụng của các tải trọng tiêu chuẩn P_i^c , biến dạng của kết cấu sẽ là:

$$\Delta = \sum P_i^c n_c \delta_i \quad (2.5)$$

$\bar{\Delta}$ - biến dạng lớn nhất cho phép để kết cấu có thể sử dụng bình thường, được quy định trong bảng D14a, bảng D14b trong phụ lục D;

n_c - hệ số tổ hợp.

2.2. CƯỜNG ĐỘ TIÊU CHUẨN VÀ CƯỜNG ĐỘ TÍNH TOÁN

Cường độ tiêu chuẩn là đặc trưng cơ bản của vật liệu được quy định trong các tiêu chuẩn thiết kế kết cấu. Do tính chất vật liệu luôn biến động, nên trị số cường độ tiêu chuẩn phải xác định theo xử lý thống kê các chỉ tiêu cơ học và lấy bằng chỉ tiêu để loại bỏ phế phẩm được quy định trong các tiêu chuẩn quốc gia, với độ đảm bảo không dưới 0,95 (có nghĩa là trong thực tế, có không quá 5% trường hợp chỉ tiêu thực nhỏ hơn chỉ tiêu phế phẩm loại bỏ).

Đối với thép cacbon và thép cường độ khá cao, khi không cho phép làm việc quá giới hạn chảy, cường độ tiêu chuẩn lấy bằng trị số giới hạn chảy $f_y = \sigma_{yield}$. Đối với thép không có biến dạng chảy (cường độ cao) và cả trong những trường hợp kết cấu có thể làm việc quá giới hạn dẻo thì cường độ tiêu chuẩn có thể lấy bằng giới hạn bền $f_u = \sigma_u$. Các giá trị f_y , f_u là những số khống chế loại bỏ phế phẩm của tiêu chuẩn quốc gia về thép, đối với thép cacbon được cho trong bảng 5 của TCXDVN 338 : 2005 hoặc trong Bảng A.1 của phụ lục A, đối với thép hợp kim thấp được cho trong bảng 6 của TCXDVN 338 : 2005.

Cường độ tính toán f và f_t bằng cường độ tiêu chuẩn chia cho hệ số an toàn vật liệu γ_M .

Với các dạng chịu lực khác, cường độ tính toán được xác định từ cường độ kéo, nén, uốn cơ bản (f_y và f_u) nhân với các hệ số chuyển đổi. Ví dụ cường độ trượt thì dùng hệ số 0,58 nhân với f_y ; cường độ ép mặt lên khớp trụ thì nhân 0,5 với f_u v.v... Công thức xác định các cường độ tính toán được cho trong bảng 4 của TCDVN 338 : 2005 hoặc bảng A.6 của phụ lục A.

2.3. TẢI TRỌNG VÀ TÁC ĐỘNG

Tải trọng và tác động để tính toán kết cấu thép được lấy theo tiêu chuẩn nhà nước "TCVN 2737 : 1995 Tải trọng và tác động - Tiêu chuẩn thiết kế".

2.3.1. Phân loại tải trọng

Tùy theo thời gian tác dụng, tải trọng được chia thành tải trọng thường xuyên và tải trọng tạm thời (dài hạn, ngắn hạn và tải trọng đặc biệt).

Tải trọng thường xuyên là tải trọng không biến đổi về giá trị, vị trí, phương chiều trong quá trình sử dụng công trình. Loại tải trọng này gồm có: trọng lượng các bộ phận của nhà và công trình kể cả trọng lượng bản thân kết cấu; trọng lượng và áp lực đất đắp, tác dụng của ứng lực trước.

Tải trọng tạm thời là những tải trọng có thể có hoặc không có trong một giai đoạn nào đó của quá trình xây dựng và sử dụng. *Tải trọng tạm thời dài hạn* gồm có: trọng lượng vách ngăn; trọng lượng thiết bị cố định như mô tơ, máy cái, trọng lượng các chất chứa trong thùng chứa; tải trọng trên sàn của các kho, thư viện, v.v... *Tải trọng tạm thời*

ngắn hạn gồm có: trọng lượng của người và đồ đạc trên sàn nhà; tải trọng gió; tải trọng do các thiết bị nâng cầu, tải trọng sinh ra khi chế tạo, vận chuyển, xây lắp các kết cấu xây dựng v.v...

Tải trọng đặc biệt gồm có: tải trọng do động đất và nổ; tải trọng do các sự cố sinh ra trong quá trình công nghệ và sử dụng như đứt dây (của đường dây tải điện), đất sụt v.v...

2.3.2. Tải trọng tiêu chuẩn và tải trọng tính toán

Đặc trưng cơ bản của tải trọng là giá trị tiêu chuẩn của chúng, được xác lập trên cơ sở thống kê và được cho trong tiêu chuẩn.

Tải trọng thường xuyên do trọng lượng các kết cấu được xác định theo số liệu của các tiêu chuẩn và của các nhà máy chế tạo, theo kích thước và khối lượng thể tích của vật liệu.

Tải trọng tạm thời tác dụng lên sàn nhà được quy định theo tiêu chuẩn tải trọng TCVN 2737: 1995. Tải trọng gió cũng được xác định theo các chỉ dẫn của Tiêu chuẩn này.

Khi tính toán kết cấu theo nhóm trạng thái giới hạn thứ nhất thì dùng tải trọng tính toán, tức là tải trọng tiêu chuẩn nhân với hệ số độ tin cậy về tải trọng. Khi tính kết cấu theo nhóm trạng thái giới hạn thứ hai thì chỉ dùng tải trọng tiêu chuẩn.

2.3.3. Tổ hợp tải trọng

Các tải trọng tác dụng đồng thời của các tải trọng lên công trình được xét đến thông qua các tổ hợp tải trọng. Tổ hợp tải trọng được chia ra:

- Tổ hợp cơ bản, gồm các tải trọng thường xuyên, tải trọng tạm thời dài hạn và ngắn hạn.
- Tổ hợp đặc biệt, gồm các tải trọng thường xuyên, các tải trọng tạm thời dài hạn và ngắn hạn và một trong các tải trọng đặc biệt.

Sự xuất hiện đồng thời của nhiều tải trọng với trị số lớn nhất, là ít có xác suất xảy ra. Xét đến thực tế đó, người ta dùng hệ số tổ hợp n_c để nhân với trị số các tải trọng tham gia trong tổ hợp. Khi tổ hợp cơ bản chỉ có một tải trọng ngắn hạn thì giá trị tải trọng ngắn hạn được lấy toàn bộ, tức là $n_c = 1$. Còn tổ hợp cơ bản có hai hay nhiều tải trọng ngắn hạn thì giá trị mọi tải trọng ngắn hạn này nhân với $n_c = 0,9$. Khi tính với tổ hợp đặc biệt thì mọi tải trọng ngắn hạn nhân với $n_c = 0,8$. Tải trọng thường xuyên và tải trọng tạm thời dài hạn nhân với $n_c = 1$.

2.4. BIẾN DẠNG CHO PHÉP CỦA KẾT CẤU

Về biến dạng cho phép của kết cấu nói chung và của kết cấu thép, đã có nhiều cách tiếp cận khác nhau.

Biến dạng của kết cấu là thuộc vào nhóm trạng thái giới hạn về sử dụng, cùng với các yêu cầu khác như: rung động, hư hỏng cục bộ, trượt của liên kết, v.v... TTGH về sử dụng

có thể không gây ra sụp đổ công trình, nguy hại đến tính mạng, tài sản nhưng có ảnh hưởng đến việc sử dụng công trình, làm tốn phí sửa chữa và các hậu quả khác về kinh tế.

Biến dạng giới hạn của kết cấu tùy thuộc việc sử dụng hoặc chức năng của công trình, nhận thức của người sử dụng và tùy thuộc loại hệ thống kết cấu. Việc ấn định biến dạng giới hạn cho một công trình cụ thể phải do một tập thể các người chủ công trình, kiến trúc sư và kỹ sư kết cấu phân tích đầy đủ các yêu cầu về công năng, về kinh tế và kỹ thuật. Do đó, tiêu chuẩn và quy phạm của nhiều nước không có quy định cụ thể về biến dạng cho phép mà thường chỉ nêu chung chung: biến dạng của kết cấu không được ảnh hưởng đến sự sử dụng công trình và ảnh hưởng đến các kết cấu khác liên kết với nó.

Biến dạng theo phương đứng (độ võng) quá mức của kết cấu gây cảm giác khó chịu cho người sử dụng, mất mỹ quan và gây hư hỏng cho tường, vách, cửa hoặc trần. Giá trị giới hạn của độ võng được nhiều Tiêu chuẩn lấy theo kinh nghiệm, ví dụ: Độ võng cho phép của dầm trần có trát vữa chỉ gây bởi hoạt tải được lấy là $1/360$ đến $1/350$ nhịp dầm, của cả tĩnh tải và hoạt tải thì là $1/240$ nhịp. TCXDVN 338 : 2005 quy định độ võng cho phép của dầm ở bảng 1, dựa chính vào Tiêu chuẩn SNIIP II-23-81* và bổ sung thêm một số trường hợp khác dựa vào UBC 1997 (Mỹ) và GB 50017-2003 (Trung Quốc).

Vấn đề chuyển vị ngang cho phép của kết cấu được thế giới nghiên cứu và thảo luận rất nhiều. Giá trị chuyển vị ngang cho phép phụ thuộc nhiều yếu tố: gây bởi gió hay bởi động đất, tính toán với gió có chu kỳ lặp 50 năm hay với gió có chu kỳ lặp 10 năm, tường xây gạch hay tường trong khung chèn gạch chèn có thể chịu được biến dạng ngang bao nhiêu, có hay không có cầu trục, v.v. Nhiều tiêu chuẩn không đề cập vấn đề này mà để người thiết kế tự quyết định, từ đó gây khó khăn trong việc so sánh, đánh giá và xét duyệt thiết kế. TCXDVN 338 : 2005 dựa vào tiêu chuẩn Liên Xô SNIIP II - 23 - 81* để quy định chuyển vị cho phép của cột đỡ cầu trục ($1/1250$ đến $1/4000$ của chiều cao cột) và đỉnh nhà khung ($1/500$ của chiều cao khung). Còn đối với các loại nhà khác không có trong SNIIP II - 23 - 81* thì tham khảo các tiêu chuẩn mới nhất của Mỹ (MBMA 2002), Anh (BS 5950 : 2000): $1/200$ đến $1/240$ chiều cao khung nhà một tầng; $1/300$ chiều cao một tầng của khung nhà nhiều tầng.

Nhắc lại lần nữa là khi tính toán biến dạng (theo nhóm TTGH thứ hai) thì dùng tải trọng tiêu chuẩn chứ không dùng tải trọng tính toán. Tải trọng gió đưa vào trong tổ hợp tải trọng để tính biến dạng là tải trọng gió tiêu chuẩn có chu kỳ lặp 20 năm theo quy định của TCVN 2737 - 95.

Chương 3

VẬT LIỆU THÉP DÙNG CHO KẾT CẤU VÀ LIÊN KẾT

3.1. VẬT LIỆU THÉP DÙNG CHO KẾT CẤU

3.1.1. Quy định về sử dụng vật liệu thép cán cho kết cấu

Vật liệu thép dùng cho kết cấu phải được lựa chọn cho phù hợp với tính chất quan trọng của công trình, điều kiện làm việc của kết cấu, đặc trưng của tải trọng, phương pháp liên kết. Thép làm kết cấu chịu lực là thép lò Martin hoặc lò quay thổi oxy, rót sôi, nửa tĩnh và tĩnh. Không dùng thép sôi cho các kết cấu hàn làm việc trong điều kiện chịu lực nặng hay trực tiếp chịu tải trọng động như dầm cầu trục chế độ nặng, dầm sàn đỡ máy, kết cấu hành lang băng tải, cột vượt của đường dây tải điện cao trên 60m...

Dưới đây, giới thiệu các mác thép dùng trong xây dựng, được chỉ dẫn trong TCXDVN 338 : 2005.

a) Thép cacbon thấp cường độ thường

Thép cacbon thấp cường độ thường (giới hạn chảy $f_y \leq 290 \text{ N/mm}^2$) được lấy theo Tiêu chuẩn Việt nam TCVN 1765: 1976, gồm hai loại chính: loại thép cacbon thông thường với hàm lượng cacbon từ 0,14% ÷ 0,22%, là thép sôi hoặc nửa tĩnh và thép cacbon thông thường có thêm hàm lượng mangan 0,8% ÷ 1,1%. Tùy theo yêu cầu sử dụng, các thép này được chia làm ba nhóm:

- + Nhóm A: thép được đảm bảo chặt chẽ về tính chất cơ học;
- + Nhóm B: thép được đảm bảo chặt chẽ về thành phần hoá học;
- + Nhóm C: thép được đảm bảo về tính chất cơ học và cả thành phần hoá học.

Vì thép làm kết cấu chịu lực phải bảo đảm cả về độ bền và tính dễ hàn, chịu được tác động xung kích, nên chỉ được dùng thép nhóm C.

Căn cứ vào yêu cầu về độ dai va đập (độ dai xung kích), thép cacbon thấp lại được chia làm sáu hạng. Ví dụ hạng 2 không cần bảo đảm độ dai va đập; hạng 6 phải bảo đảm độ dai va đập cần thiết sau khi bị hoá già cơ học, hạng 5 phải bảo đảm độ dai va đập ngay cả ở nhiệt độ thấp. Tiêu chuẩn cho phép dùng trong xây dựng ba hạng: thép sôi hạng 2, thép nửa tĩnh hạng 6, thép nửa tĩnh có mangan và thép tĩnh hạng 5.

Các loại thép cacbon thấp có giới hạn chảy vào khoảng 220 - 270 N/mm² (giá trị lớn nhất ứng với chiều dày $t \leq 20$ mm, khi chiều dày thép càng tăng, các đặc trưng cơ học càng giảm), giới hạn bền biến động từ 330 đến 540 N/mm²

Bảng 3.1 là các đặc trưng cơ học của một số loại thép cacbon thấp. Có thể tham khảo đầy đủ hơn ở bảng A.1 của phụ lục A.

Bảng 3.1. Thép cacbon TCVN 1765 : 1975

Mác thép	Độ bền kéo f_u , N/mm ²	Giới hạn chảy f_y , N/mm ² . cho độ dày t , mm			Độ dẫn dài ϵ_0 , %. cho độ dày t , mm		
		≤ 20	$20 < t \leq 40$	$40 < t \leq 100$	≤ 20	$20 < t \leq 40$	> 40
		Không nhỏ hơn			Không nhỏ hơn		
CT34s	330÷420	220	210	200	33	32	30
CT34n, CT34	340÷440	230	220	210	32	31	29
CT38s	370÷470	240	230	220	27	26	24
CT38n, CT38	380÷490	250	240	230	26	25	23
CT38nMn	380÷500	250	240	230	26	25	23
CT42s	410÷520	260	250	240	25	24	22
CT42n, CT42	420÷540	270	260	250	24	23	21

Các ký hiệu của mác thép có ý nghĩa như sau: CT có nghĩa là cacbon thường, con số đi sau chỉ độ bền kéo đứt (N/mm²), chữ s chỉ thép sôi (hoặc n là nửa tĩnh, nếu là thép tĩnh thì không ghi gì). Ví dụ CT38nMn là thép cacbon thường, có độ bền kéo đứt là 38N/mm², thép nửa tĩnh, có thêm nguyên tố mangan. Trong mác thép, hạng thép được ghi ở cuối cùng, Ví dụ CT38n2.

Thép dùng trong kết cấu thép thuộc nhóm C nên ở đầu mác thép có thêm ký hiệu C. Ví dụ: CCT34, CCT38, CCT42. Tiêu chuẩn Việt Nam dành riêng cho thép cacbon thấp dùng cho kết cấu thép có số hiệu TCVN 5709:1993 (bảng 5 trong TCXDVN 338:2005). Tiêu chuẩn này không ghi rõ thép sôi, tĩnh, hay nửa tĩnh nữa mà quy định độ dai va đập cho từng loại.

b) Thép cường độ khá cao

Là thép cacbon thấp được nhiệt luyện hoặc thép hợp kim thấp. Giới hạn chảy 310 ÷ 400 N/mm², giới hạn bền 450 ÷ 540 N/mm². Thép hợp kim thấp là thép cacbon có bổ sung thêm các nguyên tố như: mangan, crôm, niken, đồng, silic... với tổng hàm lượng các chất bổ sung không quá 2,5%. Các thép hợp kim thấp thông dụng dùng cho kết cấu xây dựng lấy theo TCVN 3104 : 1979 (bảng 6 trong TCXDVN 338 : 2005 hoặc bảng A.2 của phụ lục A), có sáu loại: 09Mn2, 14Mn2, 16Mn2Si, 09Mn2Si, 10Mn2Si1,

10CrSiNiCu. Ý nghĩa ký hiệu như sau: đầu tiên là con số chỉ phần vạn của hàm lượng cacbon; tiếp theo là tên các thành phần hợp kim: mangan; silic; crôm; niken; đồng v.v... Con số đứng sau chữ chỉ số phần trăm của chất đứng trước nó, nếu tỉ lệ hợp kim lớn hơn 1%. Ví dụ, thép 09Mn2Si có nghĩa là trong nó có 0,09% cacbon, mangan từ 1 đến 2%, còn silic thì dưới 1%.

c) Thép cường độ cao

Gồm các loại thép hợp kim có nhiệt luyện, giới hạn chảy cao trên 440N/mm^2 và giới hạn bền trên 590N/mm^2 như các mác 16Mn2NV, 12Mn2SiMoV v.v...

3.1.2. Quy định về cách xác định cường độ tiêu chuẩn và cường độ tính toán của thép

Đối với thép có giới hạn chảy rõ ràng (như trên hình 3.1, đường cong 1), cường độ tiêu chuẩn lấy bằng trị số giới hạn chảy $f_y = \sigma_{\text{yield},1}$.

Đối với thép cacbon và thép cường độ khá cao, khi không cho phép làm việc quá giới hạn chảy, cường độ tiêu chuẩn lấy bằng trị số giới hạn chảy $f_y = \sigma_{\text{yield},2}$ (tương ứng với biến dạng dư $\varepsilon = 0,2\%$ như trên hình 3.1, đường cong 2).

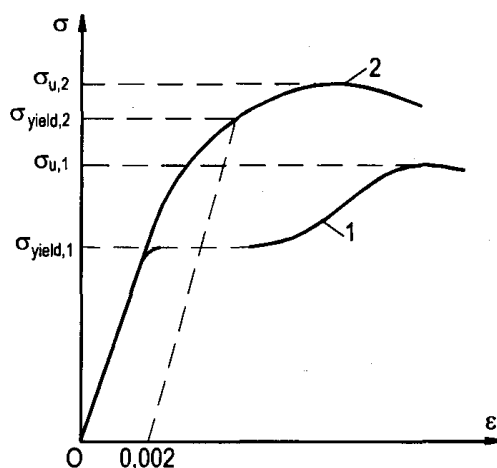
Đối với thép không có biến dạng chảy (cường độ cao) và cả trong những trường hợp kết cấu có thể làm việc quá giới hạn dẻo thì cường độ tiêu chuẩn có thể lấy bằng giới hạn bền $f_u = \sigma_{u,2}$ (hình 3.1, đường cong 2).

Các giá trị f_y , f_u là những số khống chế loại bỏ phế phẩm của tiêu chuẩn quốc gia về thép, đối với thép cacbon được ghi trong bảng 3.1.

Cường độ tính toán f và f_t (tính theo sức bền kéo đứt) bằng cường độ tiêu chuẩn chia cho hệ số an toàn vật liệu γ_M (bảng A.6 của phụ lục A). Hệ số γ_M được lấy như sau:

- Với thép cán và thép ống cường độ thông thường và cường độ cao vừa có $f_y \leq 380\text{N/mm}^2$, $\gamma_M = 1,05$.

- Với các loại thép không nêu tên trong Tiêu chuẩn TCXDVN 338 : 2005, và thép nước ngoài được phép sử dụng bảng 4 của Tiêu chuẩn TCXDVN 338 : 2005 nhưng để thiên về an toàn trong Tiêu chuẩn TCXDVN 338 : 2005 quy định dùng $\gamma_M = 1,1$.



Hình 3.1. Biểu đồ làm việc của thép

1- ứng với thép có giới hạn chảy rõ ràng;
2- ứng với thép không có giới hạn chảy

$\sigma_{\text{yield},1}$; $\sigma_{\text{yield},2}$ - ứng suất chảy; $\sigma_{u,1}$, $\sigma_{u,2}$ - ứng suất bền.

- Sợi thép cường độ cao

+ *Cường độ tính toán.* có đường kính không nhỏ hơn 2,4 mm đối với cáp bền và không nhỏ hơn 3 mm đối với bó sợi song song có cường độ tính toán $f_{th} = 0,63f_u$. Hệ số 0,63 kể đến một loạt các yếu tố như: hệ số độ tin cậy khi tính toán theo sức bền tức thời $\gamma_u = 1,3$; hệ số độ tin cậy về cường độ $\gamma_M = 1,2$; hệ số điều kiện làm việc $\gamma_c = 0,8 \div 1$, kể đến sự phân bố không đều của nội lực giữa các cáp thép, xác suất hư hỏng ngẫu nhiên khác nhau của các dây chịu lực, sự phân bố lại nội lực trước khi đạt đến trạng thái giới hạn của kết cấu không gian và kết cấu ứng suất trước, ảnh hưởng của ứng suất tập trung...

+ *Môđun đàn hồi E*

- Bó sợi song song, tiết diện đặc hay dạng ống: $E = 2,1 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2$

- Bó sợi bền, tùy số lượng bó: $E = (1,1 \cdot 10^5 \div 1,7 \cdot 10^5) \text{ N/mm}^2$

Cường độ tiêu chuẩn và cường độ tính toán của một số loại thép thông dụng được cho trong bảng 5 và bảng 6 của TCXDVN 338 : 2005 hoặc xác định từ bảng A.1 và bảng A.6 của phụ lục A.

3.1.3. Thép của nước ngoài trên thị trường Việt Nam

a) Thép của Liên Xô (trước đây) và của Nga

- *Thép cacbon thấp:* dùng làm kết cấu gồm các mác BCT3 КΠ, BCT3 ΠC, BCT3 CΠ, chứa hàm lượng cacbon từ 0,14 đến 0,22%. Chữ B có nghĩa là thuộc nhóm thứ ba, phải thoả mãn cả yêu cầu về cơ tính lẫn thành phần hóa, tương tự như nhóm C của Việt Nam; theo quy định thì chỉ loại thép này mới được dùng làm kết cấu. Các chữ tiếp theo: CΠ - lạng; ΠC - nửa lạng, КΠ - sợi. Cuối cùng là con số chỉ hạng của thép từ 1 đến 6, để sử dụng trong những trường hợp riêng, ví dụ chịu nhiệt thấp, khi cần có độ dai va chạm. Thông dụng trong xây dựng là các mác BCT3 КΠ2, thép sợi hạng 2, BCT3 ΠC6, thép nửa tinh hạng 6 và thép tinh hạng 5 BCT3 CΠ5

- *Thép hợp kim thấp:* thông dụng trong xây dựng có các mác 14Γ2, 09Γ2C, 10Γ2C1, 15XCHΔ, 10XCHΔ, v.v... ý nghĩa giống như thép hợp kim thấp Việt Nam: hai con số đầu tiên chỉ phần vạn của lượng cacbon, chữ tiếp theo là nguyên tố hợp kim với Γ - mangan, X - crôm, C - silic, Δ - đồng, v.v., con số đứng sau nguyên tố là tỉ lệ hợp kim khi lớn hơn 1%. Ví dụ thép mác 09Γ2C có 0,09 % cacbon, từ 1 đến 2 % mangan và dưới 1% silic. Dùng cho nhà cửa là 3 loại trên, 2 mác sau dùng cho cầu

b) Thép Trung Quốc

- *Thép cacbon:* theo Tiêu chuẩn GB699-88, thép cacbon có tới 30 loại, các loại số 20, 25 được gọi là thép số 3, là thép cacbon thấp, tương đương CT3 của Nga. Thép được phân làm 3 nhóm A, B, C, đảm bảo về tính năng cơ học, về thành phần hoá học hoặc

đảm bảo cả hai. Dùng chữ Y để chỉ lò quay thổi oxy, chữ F để chỉ thép sôi, chữ b chỉ thép nửa lạnh và còn thép lạnh thì không có chữ gì. Ví dụ: thép số 3 lạnh, lò bằng, nhóm A thì kí hiệu A3; thép số 3 sôi, lò quay, nhóm B thì kí hiệu BY3F.

Tiêu chuẩn mới GB700 - 88 dùng giới hạn chảy để đặt tên thép, thép số 3 thì gọi là Q235, con số là cường độ chảy theo N/mm². Căn cứ vào chất lượng phân thép làm 4 cấp A, B, C, D: A là không quy định về độ dai va chạm; B là khi công va chạm là 27J ở 20°C; C như vậy nhưng ở 0°C; D như vậy nhưng ở -20°C. Ví dụ Q235 - A.F; Q235 - B.b; Q235 - D.Z (Z là thép lạnh, có thể không cần viết).

- *Thép hợp kim thấp*: dùng làm kết cấu xây dựng có 4 loại 16Mn, 16Mnq, 15MnV, 15MnVq. Con số là phần vạn của cacbon; nguyên tố hợp kim mangan hay vanadi được kể vào tên có hàm lượng nhỏ dưới 1,5%; chữ q là thép có độ dai xung kích tốt, dùng làm cầu.

c) Thép Hoa kỳ

Thép của Hoa kỳ được sản xuất và đặt tên theo tiêu chuẩn ASTM (American Society for Testing and Materials), được nhiều nước trên thế giới áp dụng. Theo Viện AISC (American Institute of Steel Construction) và AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials), có 16 loại được chọn để dùng trong xây dựng.

- Thép cacbon thấp: A36, thông dụng nhất, giới hạn chảy khoảng 36 ksi = 250 N/mm², tương đương như CT3. Dùng cho kết cấu phổ thông, chủ yếu cho nhà, hàn hay bulông. Còn có A53, A501 cường độ tương đương A36, dùng làm thép ống hàn hay không mối nối.

- Thép cacbon cường độ khá cao: ví dụ A529, A570, dùng làm thép hình uốn nguội, có các cấp cường độ 40 đến 65, là giới hạn chảy (theo ksi).

- Thép hợp kim thấp cường độ cao: gồm nhiều loại thép có các chất hợp kim, với giới hạn chảy từ 40 - 70 ksi. Loại thông dụng có A441, A572 các cấp 42 đến 65; loại chống gỉ tốt có A242, A606, A588, ví dụ loại sau cùng có độ chống gỉ cao hơn thép A36 tới 4 lần. Loại chuyên làm thép tấm, thép dãi như A606 có độ chống gỉ cao, A607 có hợp kim vanadi.

- Thép cường độ rất cao (thép hợp kim, được nhiệt luyện): ví dụ A852, A514, giới hạn chảy tới 90 - 100ksi, giới hạn bền 100 - 130 ksi.

d) Thép Châu Âu

Những năm gần đây, thép Châu Âu đã dùng tiêu chuẩn chung EN thay thế dần cho tiêu chuẩn từng nước như NF của Pháp, BS của Anh. Ví dụ ở Pháp thì thông dụng trong xây dựng là 3 mác E24, E28 và E36, với con số là chỉ giới hạn chảy bằng N/mm². Thép E24, E28 là thép cacbon, dùng cho nhà và các công trình thông thường, E36 là thép hợp kim thấp, dùng cho cầu và các công trình lớn. Mỗi mác lại có 3 cấp chất lượng 2, 3, 4; cấp 2 là thép sôi, 3 là nửa lạnh, 4 là lạnh. Tại Anh thì mác thép quen thuộc nhất là thép của BS 4360, gồm các cấp 40, 43, 50, 55 và chia thêm thành hạng A, B, C có độ dai va

chạm cao hơn. Mác 40, 43 có giới hạn chảy 240N/mm^2 đến 270N/mm^2 , mác 50 và 55 cao hơn nhiều. Hiện nay, các thép đó được thay bằng tiêu chuẩn Châu Âu EN như sau:

- Thép kết cấu: có ký hiệu chung là Snnn, với nnn là giá trị nhỏ nhất của giới hạn chảy N/mm^2 (tên gọi dựa vào cơ tính), với 3 cấp JR, JO, J2 tương đương các cấp A, B, C của Anh hay 2,3,4 của Pháp, hay B, C, D của Trung Quốc. Thép kết cấu được quy định bởi tiêu chuẩn EN 10025 gồm các mác: S235 thay cho E24 hoặc BS 4360 cấp 40; S275 thay cho E28 hoặc BS 4360 cấp 43; S355 thay cho E36 hoặc BS 4360 cấp 50. Ví dụ thép S355J0C của EN 10025 là thép kết cấu (chữ S) có giới hạn chảy 355 N/mm^2 (số 355), độ dai va chạm là 27 Joule ở nhiệt độ 0°C (chữ J0), và có thể mang tuốt nguội, tạo hình nguội (chữ C). Thép S355J2WP của EN 10155 là thép kết cấu (S), có giới hạn chảy 355 N/mm^2 (số 355), độ dai va chạm là 27 Joule ở nhiệt độ -20°C (chữ J2), có độ chống gỉ cao (W) dùng làm cọc ván (P). Các chữ cái ở cuối mác thép có bảng riêng để chỉ rõ ý nghĩa của chúng.

Thép có tên dựa vào thành phần hoá học: thép hợp kim thấp, ví dụ 25CrMo4, số đầu là phần vạn cacbon, tức là 0,25%, tiếp theo tên hợp kim và phần trăm của nó, ở đây là hợp kim Cr và Mo trong đó lượng Mo là 4% lấy tròn.

e) Thép các nước khác

Có thể gặp trên thị trường nhiều loại thép của các nước khác như thép Nhật Bản và thép Hàn Quốc theo tiêu chuẩn Nhật JIS như: thép cán nóng dùng làm kết cấu:

SS330 tương đương CT2, với giới hạn chảy 210 N/mm^2

SS400 tương đương CT3, với giới hạn chảy 235 đến 245 N/mm^2

SS490 là thép cacbon, với giới hạn chảy 290 N/mm^2

- Thép dùng cho kết cấu hàn: SM400, SM490, với các hạng A, B, C có chung cường độ với thép SS nhưng tính năng hàn cao hơn.

- Thép của Úc, theo tiêu chuẩn AS như: 250 (giới hạn chảy 230N/mm^2), 300 (giới hạn chảy 280 đến 320 N/mm^2), 350 (330 đến 360 N/mm^2), 400 (380 đến 400N/mm^2), v.v.

3.1.4. Vật liệu dùng cho liên kết trong kết cấu thép

a) Vật liệu dùng cho liên kết hàn

a.1) Vật liệu dùng cho que hàn

Có hai tiêu chuẩn là TCVN 3909 : 2000 và TCVN 3223 : 1994.

Theo “TCVN 3909 : 2000 Que hàn điện dùng cho thép cacbon thấp và thép hợp kim thấp - Phương pháp thử” thì que hàn có 2 lớp độ bền là E43 và E51 (xem bảng B.1, phụ lục B). Ký hiệu quy ước như sau:

- Que hàn có vỏ bọc được ký hiệu là E;

- Sau chữ E là nhóm 2 chữ số chỉ độ bền kéo nhỏ nhất (σ_{bmin}) của kim loại mối hàn được tính bằng N/mm^2 . Hai mức độ bền này là:

+ Độ bền kéo từ 430 đến 510 N/mm² được ký hiệu là 43;

+ Độ bền kéo từ 510 đến 610 N/mm² được ký hiệu là 51;

Kết quả thử độ bền kéo cho phép vượt thêm 40N/mm² tương ứng cho từng trường hợp.

- Ký hiệu số ở vị trí thứ 3 cho các tính chất cơ lý, biểu thị độ dai va đập (giá trị va đập Charpy) và độ dẫn dài thử nghiệm. Có 6 nhóm đặc trưng ký hiệu 0,1, 2, 3, 4 và 5.

- Ở vị trí thứ tư biểu thị loại vỏ bọc của que hàn, được ký hiệu bằng các chữ cái như:

A - axít (oxít sắt);

O - oxy hoá;

AR - axít (rutil);

R - rutil (vỏ bọc trung bình);

B - bazơ;

RR - rutil (vỏ bọc dày);

C - cellulozơ;

S - các loại khác.

- Ví dụ que hàn có vỏ bọc E431RR có nghĩa là:

E - que hàn có vỏ bọc;

43 - giới hạn bền kéo thấp nhất 430 N/mm²;

1 - nhiệt độ quy định để thử độ dai va đập (là nhiệt độ trong phòng);

RR - vỏ bọc rutil dày.

Theo TCVN 3223 : 1994, que hàn có 5 lớp độ bền là 42; 46; 50; 55 và 60 (xem bảng B.2, phụ lục B). Ký hiệu như sau, ví dụ N42 - 6B: N chỉ que hàn dùng cho thép cacbon và hợp kim thấp; 42 - độ bền kéo thấp nhất 410 N/mm²; số 6 chỉ dòng điện cực hàn thích hợp; B là nhóm vỏ bọc bazơ.

Kích thước que hàn cho ở bảng B.4, phụ lục B.

a.2) Cách chọn que hàn

Kim loại que hàn phải có cường độ kéo đứt tức thời không nhỏ hơn trị số tương ứng của thép được hàn. Đối với thép xây dựng thông thường cách chọn que hàn lấy theo bảng B.3 và B.4 của phụ lục B.

a.3) Cường độ tính toán của đường hàn

- Cường độ tính toán của đường hàn đối đầu phụ thuộc vào vật liệu que hàn (hoặc dây hàn) và phương pháp kiểm tra chất lượng đường hàn. Tùy theo cường độ tức thời tiêu chuẩn của thép cơ bản mà chọn que hàn (bảng B.5 phụ lục B). Khi đó cường độ tính toán của đường hàn đối đầu được lấy như sau:

+ Khi chịu nén, với phương pháp hàn tự động, nửa tự động hoặc hàn tay, không phụ thuộc vào phương pháp kiểm tra chất lượng đường hàn $f_{wc} = f$ (f là cường độ tính toán của thép cơ bản). Ví dụ đối với thép CCT34 có $f_{wc} = 210$ N/mm².

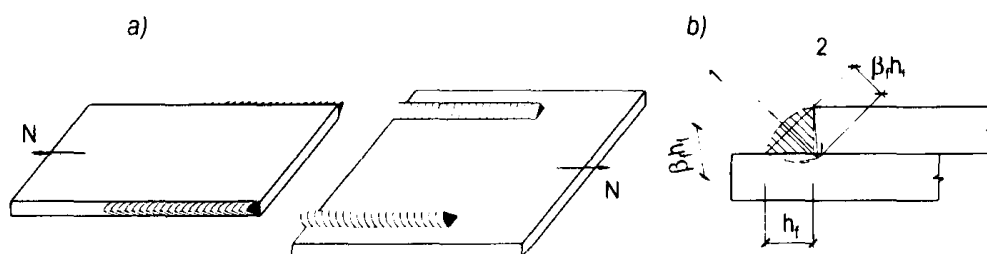
+ Khi chịu kéo, nếu dùng các phương pháp vật lý kiểm tra chất lượng đường hàn thì $f_{wt} = f$. Đối với thép CCT34, $f_{wc} = 210$ N/mm²; nếu kiểm tra chất lượng đường hàn bằng các phương pháp thông thường đơn giản $f_{wt} = 0,85f$. Với thép CCT34 $f_{wt} = 180$ N/mm².

+ Khi chịu cắt $f_{wv} = f_v$ (f_v là cường độ tính toán khi chịu cắt của thép cơ bản) với thép CCT34, $f_{wv} = 120 \text{ N/mm}^2$.

Các quy định trên được nêu trong bảng B.5 của phụ lục B.

Đối với các mức thép khác cần kiểm tra cụ thể để xác định các cường độ tính toán của đường hàn.

- Cường độ tính toán của đường hàn góc: Đường hàn góc cạnh và đường hàn góc đầu có cường độ tính toán như nhau. Do đường hàn góc có thể bị phá hoại theo hai tiết diện khác nhau, đi qua hai miền thép có độ bền khác nhau nên có hai cường độ tính toán chịu cắt (quy ước). Ứng với tiết diện 1 là cường độ tính toán chịu cắt của thép đường hàn f_{wf} và ứng với tiết diện 2 là cường độ tính toán của thép cơ bản trên biên nóng chảy của nó với đường hàn f_{ws} (hình 3.2).

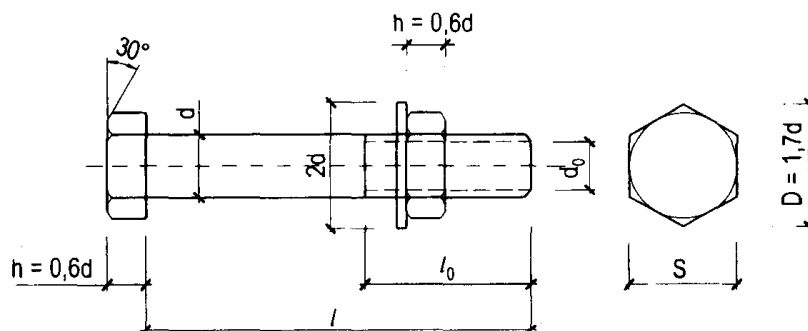


Hình 3.2. Dạng phá hoại và tiết diện làm việc của đường hàn
a) Dạng phá hoại của đường hàn góc cạnh; b) Các tiết diện làm việc

Cường độ tính toán chịu cắt của thép đường hàn f_{wf} phụ thuộc vào vật liệu que hàn (hoặc dây hàn) được lấy theo bảng B.6 của phụ lục B. Thép cơ bản được chia làm các lớp cường độ khác nhau, que hàn được chọn theo bảng B.5 phụ lục B, cho từng mức thép để độ bền của đường hàn theo các tiết diện 1 và 2 xấp xỉ nhau. Cường độ chịu cắt tính toán của thép cơ bản trên biên nóng chảy $f_{ws} = 0,45 f_u$ (f_u - cường độ tức thời tiêu chuẩn của thép cơ bản).

b) Vật liệu dùng cho liên kết bulông

b.1) Vật liệu làm bulông



Hình 3.3. Cấu tạo của bulông

Vật liệu làm bulông có thể là thép cacbon thấp thông thường, thép hợp kim thấp hoặc thép cường độ cao và được chia thành các lớp độ bền khác nhau ký hiệu 4.6 ÷ 10.9 (bảng 1.10 5.9 mục 5.2). Ý nghĩa của các chữ số như sau: chữ số đầu nhân với 100 cho biết cường độ tức thời của vật liệu bulông f_u (N/mm²), tích của số đầu và số thứ hai rồi là giới hạn chảy f_y (N/mm²). Bulông cho các công trình thông thường nên dùng lớp độ bền 4.6; 4.8; hoặc 5.6. Bulông cường độ cao được làm từ thép hợp kim (40Cr; 38CrSi; 40CrVA; 30Cr 3MoV), sau đó cho gia công nhiệt.

b.2) Đặc điểm chế tạo, làm việc và cường độ tính toán của bulông

- *Bulông thô và bulông thường*: Bulông thô và bulông thường được sản xuất từ thép cacbon bằng cách rèn, dập. Độ chính xác thấp nên đường kính thân bulông phải làm nhỏ hơn đường kính lỗ 2 ÷ 3mm. Lỗ của loại bulông này được làm bằng cách đột hoặc khoan từng bản riêng rẽ. Đột thì mặt lỗ không phẳng, phần thép xung quanh lỗ 2 ÷ 3mm bị giòn vì biến cứng nguội. Do độ chính xác không cao nên khi ghép tập bản thép các lỗ không hoàn toàn trùng khít nhau, bulông không thể tiếp xúc chặt với thành lỗ (ký hiệu lỗ loại C). Cũng chính vì thế cường độ tính toán khi chịu ép mặt của loại bulông này thấp hơn so với bulông tinh. Bulông thô rẻ, sản xuất nhanh và dễ đặt vào lỗ nhưng chất lượng không cao. Khi làm việc (chịu trượt) sẽ biến dạng nhiều, vì vậy không nên dùng chúng trong các công trình quan trọng và khi thép cơ bản có giới hạn chảy $f_y > 380$ N/mm². Chỉ nên dùng bulông thô và bulông thường khi chúng làm việc chịu kéo hoặc để định vị các cấu kiện khi lắp ghép.

- *Bulông tinh*: Được sản xuất từ thép cacbon, thép hợp kim thấp bằng cách tiện, độ chính xác cao. Đường kính lỗ không lớn hơn đường kính bulông quá 0,3mm. Để tạo lỗ, dùng máy khoan từng bản riêng rẽ hoặc khoan cả chồng bản theo khuôn mẫu đến đường kính thiết kế. Phương pháp khoan cho lỗ độ chính xác cao nhưng năng suất thấp. Khi bản thép mỏng có thể đột từng bản riêng tới đường kính lỗ nhỏ hơn đường kính thiết kế từ 2 ÷ 3mm, sau đó khoan mở rộng cả chồng bản đã đột đến đường kính thiết kế. Phương pháp này tận dụng được các ưu điểm của đột và khoan nên nhanh và chính xác, loại bỏ được phần thép quanh lỗ bị giòn do quá trình đột. Lỗ bulông tinh nhẵn, chất lượng cao (ký hiệu lỗ loại B). Khe hở giữa bulông và lỗ nhỏ nên liên kết chặt, có thể làm việc chịu cắt tuy không bằng bulông cường độ cao hoặc đinh tán. Do tính phức tạp khi sản xuất và lắp đặt bulông vào lỗ (phải dùng búa gỗ nhẹ) nên loại bulông này ít dùng. Bulông tinh có các lớp độ bền tương tự bulông thô và bulông thường.

Chú ý: Cường độ tính toán khi chịu kéo của bulông lớp độ bền 4.6 và 5.6 giảm đi so với các lớp độ bền khác (bảng B.10 của phụ lục B) vì chúng được sản xuất bằng phương pháp tán nguội, không có gia công nhiệt, do đó vật liệu thân bulông bị giảm tính dẻo do hiện tượng biến cứng nguội.

- *Bulông cường độ cao*: Cách sản xuất bulông cường độ cao giống bulông thường, có độ chính xác thấp, nhưng do được làm bằng thép cường độ cao nên có thể vận êcu rất chặt (bằng clê đo lực, ...) làm thân bulông chịu kéo và gây lực ép rất lớn lên tập bản thép liên kết. Khi chịu lực, giữa mặt tiếp xúc của các bản thép có lực ma sát lớn chống lại sự trượt tương đối giữa chúng. Như vậy lực truyền từ cấu kiện này sang cấu kiện khác chủ yếu do lực ma sát. Để đảm bảo khả năng chịu lực của liên kết bulông cường độ cao, cần gia công mặt các cấu kiện liên kết để tăng tính ma sát. Ví dụ chải bằng bàn chải sắt, đánh bằng bột kim loại... Bulông cường độ cao dễ chế tạo, khả năng chịu lực lớn, liên kết ít biến dạng nên được dùng rộng rãi và thay thế cho liên kết đinh tán trong các kết cấu chịu tải trọng nặng và tải trọng động. Cường độ tính toán của liên kết bulông cường độ cao trong liên kết truyền lực bằng ma sát $f_{hb} = 0,7f_{ub}$, trong đó f_{ub} là cường độ tiêu chuẩn kéo đứt của vật liệu làm bulông.

Chương 4

TÍNH TOÁN CÁC CẤU KIỆN

4.1. CẤU KIỆN CHỊU KÉO ĐÚNG TÂM

4.1.1. Cấu kiện đặc

Sự làm việc cấu kiện chịu kéo đúng tâm hoàn toàn phù hợp với sự làm việc của vật liệu thép khi kéo thuần túy như biểu đồ kéo thép trên hình 3.1.

Cấu kiện chịu kéo đúng tâm được tính toán theo nhóm trạng thái giới hạn thứ nhất trong miền đàn hồi theo công thức:

$$\sigma = \frac{N}{A_n} \leq f\gamma_c \quad (4.1a)$$

trong đó: N - lực dọc kéo đúng tâm tính toán;

γ_c - hệ số điều kiện làm việc của cấu kiện kể đến đặc thù làm việc của các kết cấu khác nhau. Giá trị của γ_c lấy theo điều 3.4 trong TCXDVN 338 : 2005 hoặc theo bảng D.13, phụ lục D.

Với những cấu kiện chịu kéo của kết cấu thép làm từ những loại thép có $f_t/f > \gamma_u$ (với $\gamma_u = 1,3$ là hệ số an toàn, đảm bảo một dự trữ an toàn tránh phá hoại của thép), cho phép chúng làm việc sau khi đạt giới hạn chảy trong những trường hợp hạn chế, khi mà biến dạng đáng kể của kết cấu không làm ảnh hưởng tới sự làm việc bình thường của kết cấu. Đó là các kết cấu thép tấm riêng rẽ, nói chung, có ứng suất phân phối đều (như là bản sàn thép, một số loại ống dẫn và bể chứa...). Việc kể đến sự làm việc của thép sau khi đạt giới hạn chảy trong từng trường hợp cụ thể cần phải dựa trên kinh nghiệm thiết kế và sử dụng những loại kết cấu tương ứng. Trong trường hợp này, cho phép tính toán theo giới hạn bền của thép, thay vì công thức (4.1a), tiến hành kiểm tra theo công thức:

$$\sigma = \frac{N}{A_n} \leq \frac{f_t}{\gamma_u} \gamma_c \quad (4.1b)$$

A_n - diện tích tiết diện thực của cấu kiện (tiết diện tính toán):

$$A_n = A - A_0 \quad (4.2)$$

với A là diện tích tiết diện nguyên, A_0 là diện tích tiết diện lỗ giảm yếu;

Diện tích giảm yếu là diện tích bị mất đi do yêu cầu chế tạo. Đối với liên kết bulông (trừ bulông cường độ cao):

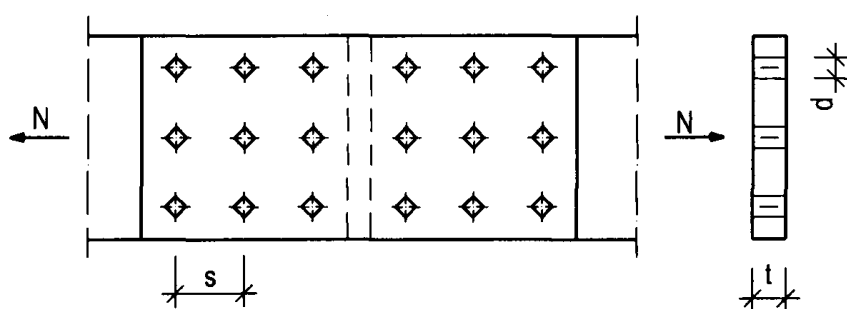
- Khi các lỗ xếp thẳng hàng (hình 4.1), thì diện tích giảm yếu bằng tổng lớn nhất của diện tích các lỗ tại một tiết diện ngang bất kỳ vuông góc với chiều của ứng suất trong cấu kiện:

$$A_0 = n_1 dt \quad (4.3)$$

trong đó: n_1 - số lỗ giảm yếu trên đường thẳng vuông góc với chiều của ứng suất trong cấu kiện;

d - đường kính lỗ giảm yếu;

t - chiều dày của cấu kiện mỏng nhất được liên kết.



Hình 4.1. Lỗ giảm yếu bố trí song song

- Khi các lỗ xếp so le thì diện tích giảm yếu được lấy bằng trị số lớn hơn trong hai trị số A_0^1 và A_0^2 (hình 4.2, a):

$$A_0 = \max(A_0^1; A_0^2) \quad (4.4)$$

trong đó: A_0^1 - diện tích giảm yếu do các lỗ xếp trên đường thẳng 1-5:

$$A_0^1 = n_2 dt \quad (4.5a)$$

với n_2 - số lỗ giảm yếu trên đường thẳng 1-5 vuông góc với chiều của ứng suất trong cấu kiện;

A_0^2 - tổng diện tích ngang của các lỗ nằm trên đường chữ chi 1 - 2 - 3 - 4 - 5 trừ đi lượng $s^2t/(4u)$ cho mỗi đoạn đường chéo giữa các lỗ.

$$A_0^2 = n_3 dt - n_4 \frac{s^2 t}{4u} = t \left(n_3 d - n_4 \frac{s^2}{4u} \right) \quad (4.5b)$$

Ở đây: t - bề dày thanh thép có lỗ;

d - đường kính lỗ giảm yếu (lỗ bulông);

n_3 - số lỗ giảm yếu trên đường chữ chi 1 - 2 - 3 - 4 - 5;

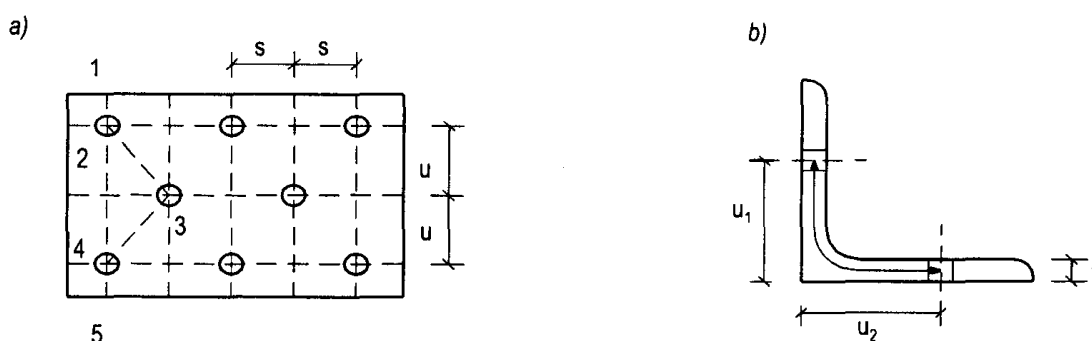
n_4 - số đoạn đường chéo theo đường chữ chi 1 - 2 - 3 - 4 - 5;

s - bước lỗ so le, tức là khoảng cách song song với phương của lực giữa tâm của các lỗ trên hai đường liên tiếp nhau;

u - khoảng đường lỗ, là khoảng cách vuông góc với phương của lực giữa tâm các lỗ trên hai đường liên tiếp.

Đối với thép góc có lỗ trên hai cánh thì khoảng đường lỗ u là tổng các khoảng cách từ tâm lỗ đến sống thép góc, trừ đi bề dày cánh (hình 4.2, b).

$$u = u_1 + u_2 - t \quad (4.6)$$



Hình 4.2. Cách xác định diện tích thực

Khi cấu kiện chịu tải trọng tĩnh và tiết diện bị giảm yếu (bởi lỗ bulông cường độ cao) hơn 15% tức là $A_n < 0,85A$ thì tiết diện thực A_n lấy bằng diện tích tiết diện quy ước $A_c = 1,18A_n$ và công thức (4.1a) và (4.1b) lần lượt có dạng:

$$\sigma = \frac{N}{A_c} = \frac{N}{1,18A_n} \leq f_{\gamma_c} \quad (4.7a)$$

$$\sigma = \frac{N}{A_c} = \frac{N}{1,18A_n} \leq \frac{f_t}{\gamma_u} \gamma_c \quad (4.7b)$$

trong đó: A_c - diện tích quy ước: $A_c = 1,18A_n$

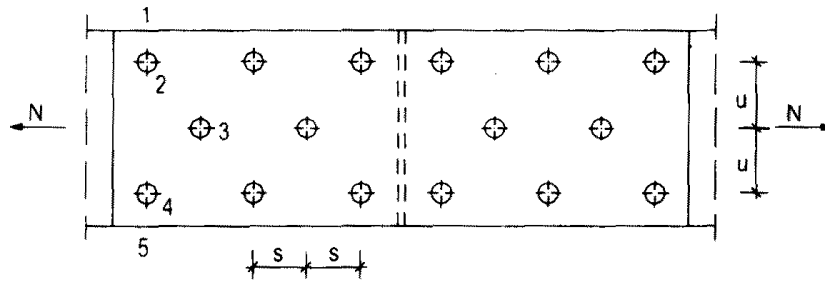
Khi tiết diện bị giảm yếu nhỏ hơn 15% tức là $A_n \geq 0,85$ thì diện tích tiết diện thực A_n lấy bằng diện tích tiết diện nguyên A .

Ví dụ 4.1:

Hai bản thép $260 \times 14\text{mm}$ được liên kết với nhau bằng bulông cường độ cao đường kính 20mm, lỗ bulông có đường kính $d = 23\text{mm}$. Bố trí lỗ bulông như trên hình 4.3. Xác định tiết diện thực A_n .

Theo công thức (4.5a), tiết diện giảm yếu theo đường thẳng 1-5:

$$A_0^I = n_1 dt = 2 \cdot 23 \cdot 14 = 644 \text{ mm}^2.$$



Hình 4.3. Cho ví dụ 4.1

Theo công thức (4.5b), tiết diện giảm yếu theo đường chữ chi 1 - 2 - 3 - 4 - 5:

$$A_0^2 = n_3 d t - n_4 \frac{s^2 t}{4u} = t \left(n_3 d - n_4 \frac{s^2}{4u} \right) = 14 \left(3 \cdot 23 - 2 \cdot \frac{35^2}{4 \cdot 9} \right) = 871 \text{ mm}^2$$

Theo công thức (4.4): $A_0 = \max(A_0^1; A_0^2) = \max(644; 871) = 871 \text{ mm}^2$

Theo công thức (4.2): $A_n = A - A_0 = A - A_0^2$.

Tiết diện nguyên theo đường chữ chi:

$$A = (40 + 2\sqrt{35^2 + 90^2} + 40) \cdot 14 = 3824 \text{ mm}^2$$

$$A_n = A - A_0^2 = 3824 - 871 = 2953 \text{ mm}^2$$

So sánh diện tích tiết diện thực với diện tích tiết diện nguyên:

$$A_n = 2953 < 0,85A = 0,85 \cdot 3824 = 3250 \text{ mm}^2$$

Vì vậy, tiết diện thực dùng để tính toán là tiết diện quy ước $A_c = 1,18A_n$.

$$A_c = 1,18 \cdot 2953 = 3485 \text{ mm}^2$$

4.1.2. Cấu kiện rỗng

Tính toán bền cấu kiện rỗng chịu kéo đúng tâm theo công thức (4.1a) và (4.1b), trong đó A_n là diện tích tiết diện thực của toàn thanh.

4.2. CẤU KIỆN CHỊU UỐN

4.2.1. Tính cấu kiện đặc theo điều kiện bền

a) Tính toán trong giai đoạn đàn hồi

Trạng thái giới hạn của cấu kiện chịu uốn được xác định khi ứng suất pháp ở thớ biên hoặc ứng suất tiếp lớn nhất của tiết diện đạt tới giới hạn chảy. Độ bền của các cấu kiện chịu uốn được kiểm tra theo các điều kiện sau:

- Khi có mômen uốn tác dụng trong một mặt phẳng chính:

$$\sigma = \frac{M}{W_{n,\min}} \leq f_{\gamma_c} \quad (4.8)$$

trong đó: M - mômen uốn quanh trục tính toán;

$W_{n,min}$ - môđun chống uốn nhỏ nhất của tiết diện thực đối với trục tính toán.

- Khi có tác dụng của lực cắt:

$$\tau = \frac{VS}{I_{tw}} \leq f_v \gamma_c \quad (4.9)$$

trong đó: V - lực cắt trong mặt phẳng bán bụng của tiết diện tính toán;

S - mômen tĩnh đối với trục trung hoà của phần tiết diện nguyên ở bên trên vị trí tính ứng suất;

I - mômen quán tính của tiết diện nguyên;

t_w - bề dày bản bụng;

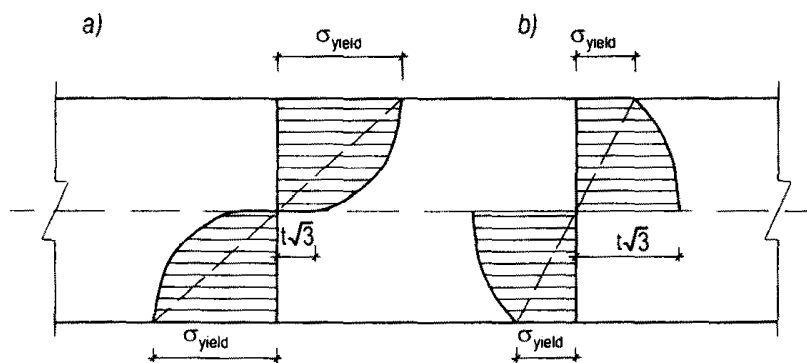
f_v - cường độ tính toán chịu cắt của thép.

- Khi có tác dụng của mômen trong hai mặt phẳng chính:

$$\frac{M_x}{I_{nx}} y \pm \frac{M_y}{I_{ny}} x \leq f \gamma_c \quad (4.10)$$

trong đó: x và y - các khoảng cách từ các trục chính tới điểm đang xét của tiết diện.

Đồng thời với công thức (4.10), bản bụng dầm phải được kiểm tra theo công thức (4.9).



Hình 4.4 Biểu đồ ứng suất tương đương khi có tác dụng đồng thời của mômen uốn và lực cắt

$$a) \sigma_{yield} > \tau\sqrt{3}; b) \sigma_{yield} < \tau\sqrt{3}$$

- Khi có tác dụng đồng thời của ứng suất pháp và ứng suất tiếp, theo điều kiện chuyển trạng thái làm việc của vật liệu từ đàn hồi sang dẻo, sự chảy dẻo xuất hiện khi giới hạn chảy của vật liệu đạt ứng suất tương đương $\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2}$. Nếu ứng suất tiếp không lớn, sự chảy dẻo của vật liệu bắt đầu từ thớ ngoài cùng của tiết diện. Khi có lực cắt lớn tác dụng, sự chảy dẻo của vật liệu tại trục trung hòa có thể xảy ra sớm hơn ở thớ biên (khi $\tau = \sigma_{yield} / \sqrt{3}$, hình 4.4b), dẫn đến sớm mất khả năng chịu lực của cấu kiện chịu uốn.

Khi đó, công thức kiểm tra bền có dạng:

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq 1,15f_{yc} \quad (4.11)$$

trong đó: Số 1,15 kể đến sự phát triển của biến dạng dẻo.

- Khi có trạng thái ứng suất phức tạp (có tác dụng đồng thời của ứng suất pháp và ứng suất tiếp và ứng suất cục bộ), cần phải kiểm tra độ bền bản bụng dầm bằng cách xác định ứng suất tương đương trên cơ sở thuyết bền năng lượng theo công thức (4.12). Ứng suất tương đương này được so sánh với cường độ tính toán đã được tăng lên 15%, với giả thiết có sự phát triển của biến dạng cục bộ không đàn hồi trong bản bụng dầm:

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\sigma^2 + \sigma_c^2 - \sigma\sigma_c + 3\tau^2} \leq 1,15f_{yc} \quad (4.12)$$

trong đó: σ , τ , σ_c lần lượt là ứng suất pháp, ứng suất tiếp và ứng suất pháp cục bộ vuông góc với trục dầm ở cùng một điểm tại cao độ ứng với biên trên của chiều cao tính toán của bản bụng; τ và σ_c tính theo các công thức (4.9) và (4.14); còn σ tính theo công thức sau:

$$\sigma = \frac{M}{I_n} y \quad (4.13)$$

trong đó: σ và σ_c mang dấu dương nếu là kéo, dấu âm nếu là nén;

I_n - mômen quán tính của tiết diện thực của dầm;

y - khoảng cách từ biên trên của chiều cao tính toán của bản bụng đến trục trung hoà;

Trong các dầm được tính theo công thức (4.10), các giá trị ứng suất trong bụng dầm cần phải được kiểm tra theo công thức (4.12) trong hai mặt phẳng uốn chính.

Khi trên cánh dầm có tải trọng tập trung tác dụng trong mặt phẳng bản bụng mà bên dưới không có sườn tăng cường, phải kiểm tra độ bền nén cục bộ của mép trên bản bụng theo công thức:

$$\sigma_c = \frac{F}{t_w l_z} \leq f_{yc} \quad (4.14)$$

trong đó: F - tải trọng tập trung;

t_w - chiều dày bản bụng;

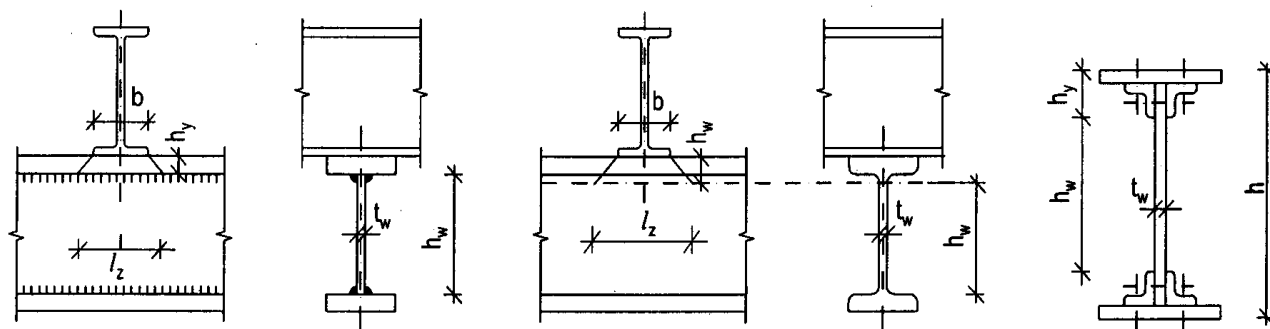
l_z - chiều dài phân bố quy đổi của tải trọng tập trung dọc theo mép trên của bản bụng tại cao độ ứng với biên trên của chiều cao tính toán h_w của bản bụng:

$$l_z = b + 2h_y \quad (4.15)$$

với b là chiều dài phân bố lực của tải trọng tập trung theo chiều dài dầm; h_y là khoảng cách từ mặt trên của cánh dầm đến biên trên của chiều cao tính toán của bản bụng (hình 4.5).

Chiều cao tính toán h_w của bản bụng lấy như sau:

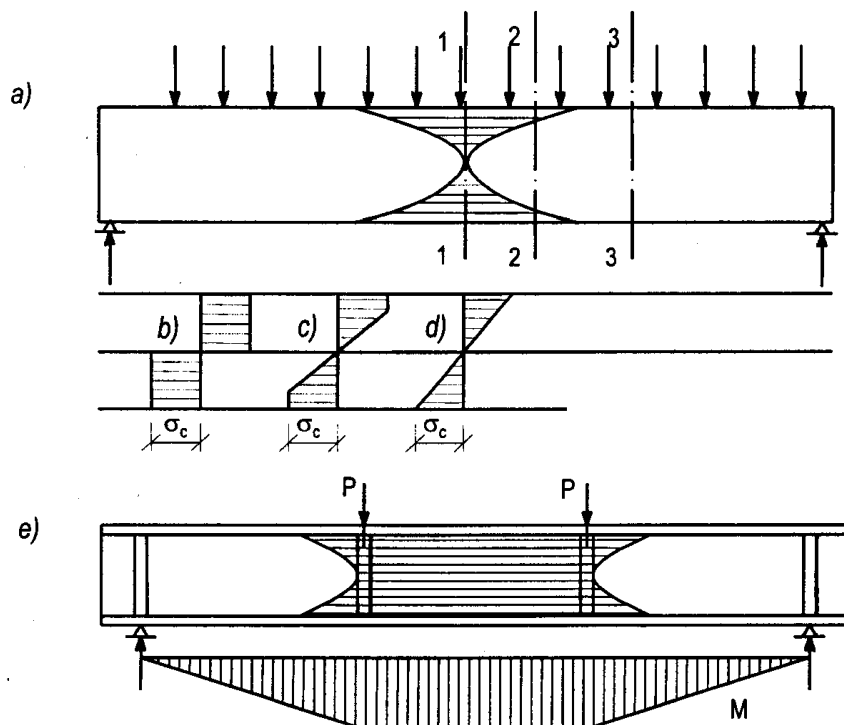
- Với dầm thép cán là khoảng cách giữa các điểm bắt đầu uốn cong của bản bụng, chỗ tiếp giáp của bản bụng với cánh trên và cánh dưới (hình 4.5b);
- Với dầm hàn là chiều cao bản bụng (hình 4.5a);
- Với dầm đinh tán hay bulông là khoảng cách giữa các mép gần nhau nhất của các thép góc trên hai cánh (hình 4.5c).



Hình 4.5. Sơ đồ tính chiều dài phân bố tải trọng lên bụng dầm
a) Dầm hàn; b) Dầm thép cán; c) Dầm bulông (đinh tán)

b) Tính toán trong giai đoạn biến dạng dẻo

Kết thúc giai đoạn làm việc đàn hồi, trong các cấu kiện đặc chịu uốn làm từ thép dẻo, biến dạng dẻo bắt đầu ăn sâu vào trong tiết diện. Khi đạt trạng thái giới hạn, biến dạng dẻo phát triển trên toàn bộ tiết diện tạo thành khớp dẻo (hình 4.6b)



Hình 4.6. Sự phát triển biến dạng dẻo theo chiều dài của dầm chịu uốn:

- a) Sự phát triển biến dạng dẻo theo chiều dài dầm khi chịu tải trọng phân bố đều;
b-d) Ứng suất pháp trong các tiết diện 1-1, 2-2, 3-3; e) Sự phát triển biến dạng dẻo theo chiều dài dầm khi uốn thuần túy

Đối với dầm đơn giản làm bằng thép có giới hạn chảy $f_y \leq 530 \text{ N/mm}^2$, chịu tải trọng tĩnh, uốn trong các mặt phẳng chính, được phép tính toán có kể đến sự phát triển của biến dạng dẻo, công thức kiểm tra bền như sau:

- Chịu uốn ở một trong các mặt phẳng chính và khi ứng suất tiếp $0,5f_y \leq \tau \leq 0,9f_y$ (trừ tiết diện ở gối).

$$\frac{M}{c_l W_{n,\min}} \leq f_{yc} \quad (4.16)$$

- Chịu uốn trong hai mặt phẳng chính và khi ứng suất tiếp $\tau \leq 0,5f_y$ (trừ đi tiết diện ở gối):

$$\frac{M_x}{c_x W_{nx,\min}} + \frac{M_y}{c_y W_{ny,\min}} \leq f_{yc} \quad (4.17)$$

trong đó: M_x, M_y - các giá trị tuyệt đối của mômen uốn;

c_l, c_x, c_y - các hệ số kể đến biến dạng dẻo, lấy theo bảng C.1, phụ lục C.

Tiết diện tại gối dầm ($M = 0$; $M_x = 0$; $M_y = 0$) được kiểm tra bền theo công thức:

$$\tau = \frac{V}{t_w h_w} \leq f_v \gamma_c \quad (4.18)$$

Đối với dầm có tiết diện thay đổi, chỉ được tính toán kể đến sự phát triển của biến dạng dẻo cho một tiết diện có tổ hợp nội lực M và V lớn nhất, các tiết diện còn lại không cho phép phát triển biến dạng dẻo

Dầm liên tục và dầm ngầm, có tiết diện chữ I không đổi, chịu uốn trong mặt phẳng có độ cứng lớn nhất, chiều dài các nhịp lân cận khác nhau không quá 20%, chịu tải trọng tĩnh, được tính toán bền theo công thức (4.16) có kể đến sự phân bố lại mômen tại gối và nhịp. Giá trị tính toán của mômen uốn M được lấy như sau:

$$M = \alpha M_{\max} \quad (4.19)$$

trong đó: M_{\max} - mômen uốn lớn nhất tại nhịp hoặc gối khi tính như dầm liên tục với giả thiết vật liệu làm việc đàn hồi;

α - hệ số phân bố lại mômen, tính theo công thức:

$$\alpha = 0,5 \left(1 + \frac{M_e}{M_{\max}} \right) \quad (4.20)$$

với M_e là mômen uốn quy ước được lấy như sau:

- Với những dầm liên tục có hai đầu mút là khớp, lấy trị số lớn hơn trong hai trị số sau:

$$M_e = \max \left[\frac{M_1}{1 + (a/l)} \right] \quad (4.21)$$

$$M_e = 0,5 M_2 \quad (4.22)$$

trong đó: M_1 - mômen uốn ở nhịp biên, được tính như dầm đơn giản một nhịp, ký hiệu max tức là lấy trị số lớn nhất có thể có của biểu thức đứng sau nó;

M_2 - mômen uốn lớn nhất trong nhịp trung gian được tính như dầm đơn giản một nhịp;

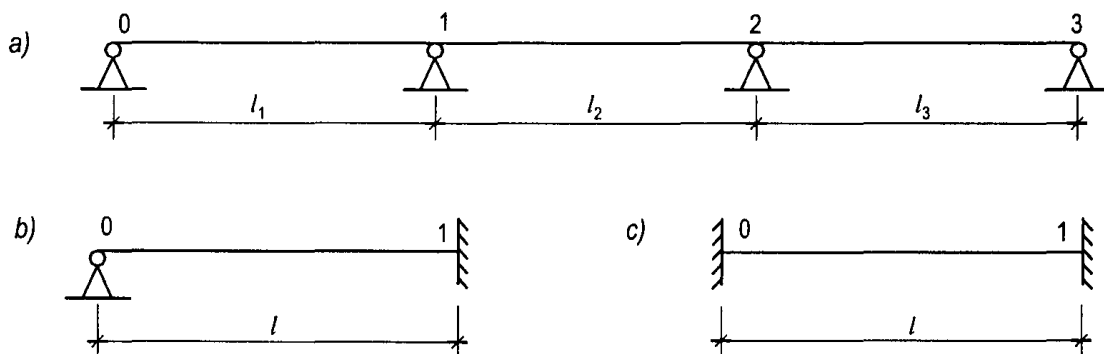
a - khoảng cách từ tiết diện có mômen M_1 đến gối biên;

l - chiều dài nhịp biên.

- Trong dầm một nhịp và dầm liên tục có hai đầu mút liên kết ngàm thì $M_e = 0,5M_3$, với M_3 là giá trị lớn nhất trong các mômen tính được khi coi gối tựa là các khớp.

- Dầm có một đầu liên kết ngàm, đầu kia liên kết khớp thì M_e được lấy theo công thức (4.21).

Giá trị của lực cắt V trong công thức (4.18) lấy tại tiết diện có M_{\max} tác dụng, nếu M_{\max} là mômen uốn ở nhịp thì kiểm tra tiết diện ở gối dầm.



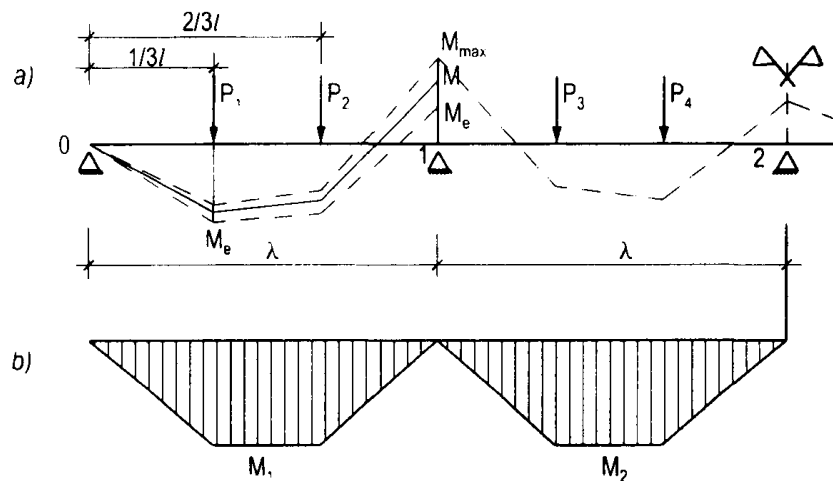
Hình 4.7. Vị trí xác định mômen M_1 , M_2 , M_3 để tính toán mômen uốn quy ước M_e

a) Dầm liên tục có hai đầu mút là khớp; b) Dầm có một đầu liên kết ngàm, đầu kia liên kết khớp; c) Dầm có hai đầu mút liên kết ngàm;

Dầm liên tục và dầm ngàm, chịu uốn trong hai mặt phẳng chính, có $\tau \leq 0,5f_v$ được kiểm tra bền theo công thức (4.17) có kể đến sự phân bố lại mômen theo các công thức từ (4.19) đến (4.22). Nghĩa là, khi dầm liên tục chịu uốn trong 2 mặt phẳng chính, hệ số phân phối lại mômen uốn α cần được xác định trong từng mặt phẳng riêng rẽ có kể đến các điều kiện và yêu cầu cho dầm chịu uốn trong 1 mặt phẳng.

Ví dụ 4.2:

Xác định mômen tính toán M của dầm 4 nhịp, chịu các lực tập trung như trên hình 4.9a ($P_1 = P_2 = P_3 = \dots = P_n = P$), có xét đến sự phân bố lại mômen.



Hình 4.8. Phân phối mômen uốn trong dầm liên tục

a) Sơ đồ tải trọng và biểu đồ mômen; b) Biểu đồ mômen cho dầm theo sơ đồ tựa tự do ở các gối

- Xác định M_{\max}

Từ kết quả tính toán dầm liên tục theo giả thiết vật liệu làm việc đàn hồi, mômen uốn lớn nhất M_{\max} tác động lên gối tựa số 1 có giá trị $M_{\max} = 0,2856Pl$ (chi tiết không trình bày ở đây).

- Xác định giá trị lớn nhất của mômen uốn M_e .

Theo công thức (4.21) và (4.22), để tính M_e cần tìm M_1 và M_2 .

Tính M_1 theo sơ đồ dầm đơn giản:

Mômen uốn tại nhịp biên được tính như đối với dầm tựa tự do (hình 4.8b):

+ Tại điểm đặt lực P_1 có $a = l/3$:
$$M_{1,P1} = \frac{Pl}{3}$$

Theo công thức (4.21) tìm được:
$$M_e = \frac{M_{1,P1}}{1 + a/l} = \frac{Pl/3}{1 + 1/3} = 0,25Pl$$

+ Tại điểm đặt lực P_2 có $a = 2l/3$:
$$M_{1,P2} = \frac{Pl}{3}$$

Theo công thức (4.21):
$$M_e = \frac{M_{1,P2}}{1 + a/l} = \frac{Pl/3}{1 + 2/3} = 0,2Pl$$

Từ đó max của M_e là $0,25Pl$

Tính M_2 cho nhịp trung gian theo sơ đồ dầm đơn giản:
$$M_2 = \frac{Pl}{3}$$

Theo công thức (4.22) tìm được:
$$M_e = 0,5M_2 = 0,5Pl/3 = Pl/6$$

Vậy giá trị lớn nhất của M_e
$$\max M_e = \max(0,25Pl; Pl/6) = 0,25Pl$$

Theo công thức (4.20) tìm hệ số α - giá trị của hệ số phân phối mômen:

$$\alpha = 0,5 \left(1 + \frac{M_e}{M_{\max}} \right) = 0,5 \left(1 + \frac{0,25Pl}{0,2856Pl} \right) = 0,9376$$

Theo công thức (4.19), giá trị tính toán của mômen uốn M :

$$M = \alpha M_{\max} = 0,9376 \cdot 0,2856Pl = 0,2678Pl$$

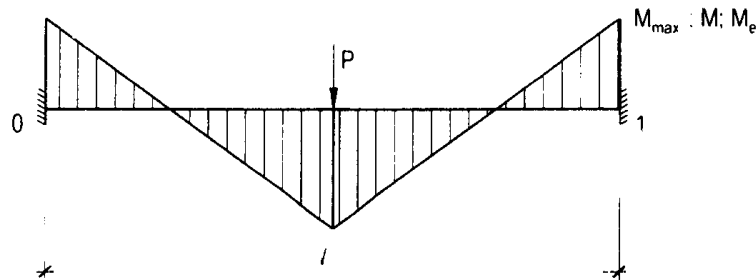
Sự giảm mômen uốn do sự phân phối lại mômen là:

$$\frac{M_{\max} - M}{M_{\max}} = \frac{0,2856Pl - 0,2678Pl}{0,2856Pl} = 6,24\%$$

Biểu đồ mômen uốn M thể hiện bằng đường liền nét trên hình 4.8a.

Ví dụ 4.3:

Xác định giá trị của hệ số α cho dầm 1 nhịp ngàm 2 đầu (hình 4.9).



Hình 4.9. Biểu đồ mômen trong dầm một nhịp ngàm hai đầu

- Xác định M_{\max} :

Khi làm việc đàn hồi, mômen uốn lớn nhất trong dầm đồng thời tại 2 gối và giữa dầm:

$$M_{\max} = 0,125Pl$$

- Xác định M_e :

Để tính M_e , trước tiên tính M_3 là mômen uốn tại giữa nhịp, được tính toán như là dầm 1 nhịp kê tự do:

$$M_3 = 0,25Pl$$

Vậy:

$$M_e = 0,5M_3 = 0,5 \cdot 0,25Pl = 0,125Pl$$

Theo công thức (4.20):
$$\alpha = 0,5 \left(1 + \frac{M_e}{M_{\max}} \right) = 0,5 \left(1 + \frac{0,125Pl}{0,125Pl} \right) = 1$$

Vậy trong dầm đang xét, sự phân phối lại mômen uốn khi làm việc sau giới hạn đàn hồi không xảy ra.

Ví dụ 4.4:

Xác định mômen tính toán M của dầm siêu tĩnh một nhịp có xét đến sự phân bố lại mômen (hình 4.10).

Cũng như ví dụ 4.2, từ kết quả phân tích (không trình bày chi tiết ở đây), tính được mômen uốn lớn nhất M_{\max} trong dầm xét trong giai đoạn làm việc đàn hồi của vật liệu tác dụng ở vị trí ngàm (gối tựa số 1):

$$M_{\max} = ql^2 / 8.$$

- Xác định M_e :

Mômen uốn lớn nhất trong nhịp tại khoảng cách $a = 0,375l$ tính từ gối tựa số 0: $M = 0,0703 ql^2$.

Mômen uốn M_1 tại vị trí cách gối số 0 một khoảng $a = 0,375l$, được tính như đối với dầm kê tự do 1 nhịp:

$$M_1 = 0,1172 ql^2$$

Theo công thức (4.21) tìm được:

$$M_e = \max \left[\frac{M_1}{1 + (a/l)} \right] = \frac{0,1172ql^2}{1 + 0,375} = 0,08524ql^2$$

Giá trị của hệ số α xác định theo công thức (4.20):

$$\alpha = 0,5 \left(1 + \frac{M_e}{M_{\max}} \right) = 0,5 \left(1 + \frac{0,08524ql^2}{ql^2/8} \right) = 0,84096$$

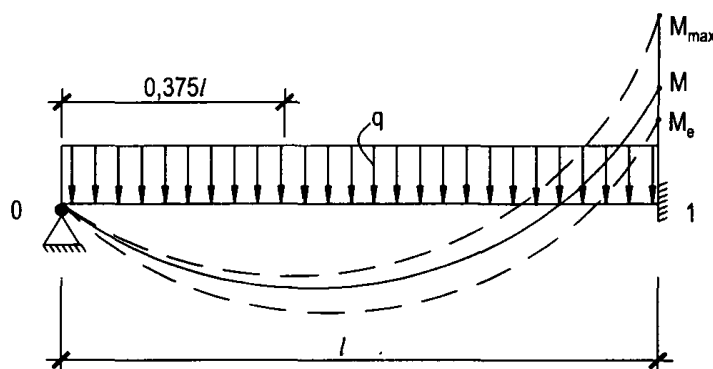
Theo công thức (4.19), giá trị tính toán của mômen uốn M :

$$M = \alpha M_{\max} = 0,84096 \cdot ql^2/8 = 0,1051ql^2.$$

Sự giảm mômen tính toán do sự phân phối lại mômen là:

$$(M_{\max} - M)/M_{\max} = (0,125Pl - 0,1051Pl)/0,125Pl = 10,4\%$$

Biểu đồ mômen tính toán M được thể hiện là đường liền nét trên hình 4.10.



Hình 4.10. Biểu đồ mômen của dầm một đầu ngàm, đầu kia khớp

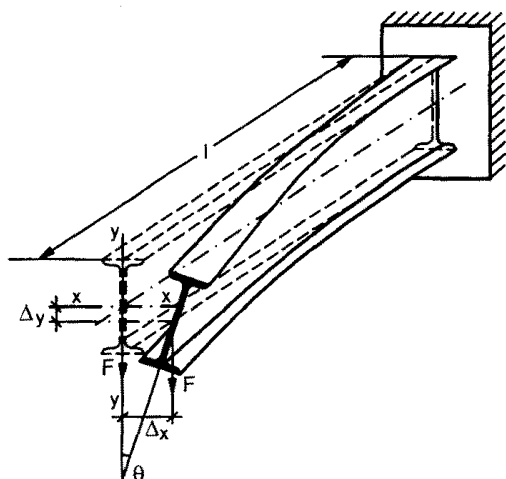
4.2.2. Tính về ổn định cấu kiện đặc

Các cấu kiện chịu uốn có thể mất khả năng làm việc do bị mất ổn định tổng thể. Khi bị mất ổn định, cấu kiện chịu uốn (dầm) chịu tải trọng tác dụng trong mặt phẳng trục quán tính chính bắt đầu uốn trong mặt phẳng của nó. Khi tải trọng tăng đạt giá trị tới hạn, cấu kiện bắt đầu bị xoắn và oằn ra ngoài mặt phẳng uốn (hình 4.11).

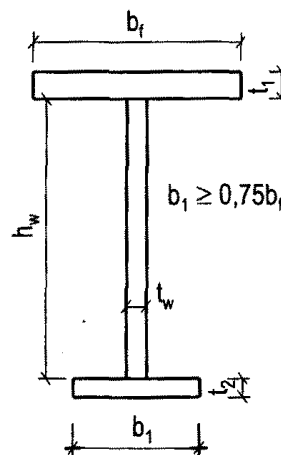
Dầm có bản cánh hẹp hoặc được liên kết yếu trong mặt phẳng ngang có thể mất ổn định trước khi mất khả năng chịu lực theo độ bền.

Không cần kiểm tra ổn định của dầm trong các trường hợp sau đây:

- Khi tải trọng truyền lên cánh chịu nén của dầm thông qua bản sàn cứng và cánh chịu nén của dầm được liên kết chặt với sàn cứng (sàn bê tông cốt thép bằng bê tông nặng, bê tông nhẹ, bê tông xốp; các sàn thép phẳng, thép hình, thép ống, v.v...).



Hình 4.11. Mất ổn định tổng thể của dầm chữ I khi chịu uốn



Hình 4.12. Dầm chữ I có cánh chịu nén mở rộng

- Đối với dầm có tiết diện chữ I đối xứng và những dầm có cánh chịu nén mở rộng nhưng chiều rộng cánh chịu kéo không nhỏ hơn 0,75 chiều rộng cánh chịu nén (xem hình 4.12), tỉ số giữa chiều dài tính toán l_0 và chiều rộng cánh chịu nén b_f của dầm không lớn hơn giá trị tính theo các công thức của bảng 4.1.

Bảng 4.1. Giá trị lớn nhất l_0 / b_f để không cần kiểm tra ổn định của dầm

Vị trí đặt tải trọng	Dầm cán và dầm hàn (khi $1 \leq h/b_f \leq 6$ và $15 \leq b_f/t_f \leq 35$)
Ở cánh trên	$\frac{l_0}{b_f} = \left[0,35 + 0,0032 \frac{b_f}{t_f} + \left(0,76 - 0,02 \frac{b_f}{t_f} \right) \frac{b_f}{h_{fk}} \right] \sqrt{\frac{E}{f}} \quad (4.23)$
Ở cánh dưới	$\frac{l_0}{b_f} = \left[0,57 + 0,0032 \frac{b_f}{t_f} + \left(0,92 - 0,02 \frac{b_f}{t_f} \right) \frac{b_f}{h_{fk}} \right] \sqrt{\frac{E}{f}} \quad (4.24)$
Không phụ thuộc vị trí đặt tải khi tính các đoạn dầm giữa các điểm giằng hoặc khi uốn thuần túy	$\frac{l_0}{b_f} = \left[0,41 + 0,0032 \frac{b_f}{t_f} + \left(0,73 - 0,016 \frac{b_f}{t_f} \right) \frac{b_f}{h_{fk}} \right] \sqrt{\frac{E}{f}} \quad (4.25)$
<p><i>Ghi chú:</i> b_f, t_f - chiều rộng và bề dày của cánh chịu nén; h_{fk} - khoảng cách giữa các trục của các cánh dầm; Đối với dầm bulông cường độ cao, giá trị của l_0/b_f trong bảng này được nhân với 1,2; Đối với dầm có tỉ số $b_f/t_f < 15$ thì trong các công thức của bảng này dùng $b_f/t_f = 15$.</p>	

Yêu cầu về liên kết chắc chắn bản cánh chịu nén của dầm với bản sàn cứng đặc cần phải được xét đến khi thiết kế kết cấu xây dựng và thi công:

- Khi liên kết bản cánh chịu nén là không liên tục (bằng hàn điểm, nút liên kết các giằng dọc và ngang, các điểm liên kết bản sàn thép cứng), thì những điểm liên kết này

cần được tính toán chịu lực cắt thực tế (hoặc quy ước) trong mặt phẳng ngang. Khi đó, ở mỗi điểm liên kết có tác dụng làm giảm chiều dài tính toán của bản cánh chịu nén của dầm.

Với những bản sàn thép mỏng và định hình hoặc lượn sóng, liên kết được coi là chắc chắn khi bản sàn đó được liên kết với bản cánh chịu nén của dầm bằng hàn chặt bởi bulông hoặc bằng chốt.

Bản sàn đặc cần được hàn vào bản cánh chịu nén của dầm theo yêu cầu về ngàm của bản sàn. Trong trường hợp này, các tấm của bản sàn cần được bố trí ngang nhịp (vuông góc với trục dầm).

- Khi thực hiện liên kết, cần phải thỏa mãn những yêu cầu cấu tạo đối với dạng liên kết được áp dụng (kích thước nhỏ nhất của đường hàn, khoảng cách giữa các bulông và giữa bulông với mép của cấu kiện).

a) Kiểm tra ổn định tổng thể

Khi không thỏa mãn các yêu cầu nêu trên thì dầm phải được kiểm tra ổn định tổng thể.

Dầm tiết diện chữ I, chịu uốn trong mặt phẳng bản bụng, được kiểm tra ổn định tổng thể (trong giai đoạn làm việc đàn hồi) theo công thức:

$$\frac{M}{\phi_b W_c} \leq f_{y_c} \quad (4.26)$$

trong đó: W_c - môđun chống uốn của tiết diện nguyên cho thứ biên của cánh chịu nén;

ϕ_b - hệ số kể đến sự giảm khả năng chịu uốn của dầm, xác định theo phụ lục E.

Ứng với $\phi_b = 0,85$ thì ứng suất tới hạn chuyển sang giai đoạn đàn dẻo.

Khi xác định ϕ_b , chiều dài tính toán l_0 lấy như sau:

- Trường hợp dầm đơn giản:

+ Là khoảng cách giữa các điểm cố kết của cánh chịu nén không cho chuyển vị ngang (các mắt của hệ giằng dọc, giằng ngang, các điểm liên kết của sàn cứng).

+ Bằng chiều dài nhịp dầm khi không có hệ giằng.

- Trường hợp dầm côngxôn:

+ Bằng khoảng cách giữa các điểm liên kết của cánh chịu nén trong mặt phẳng ngang khi có các liên kết này ở đầu mút và trong nhịp côngxôn.

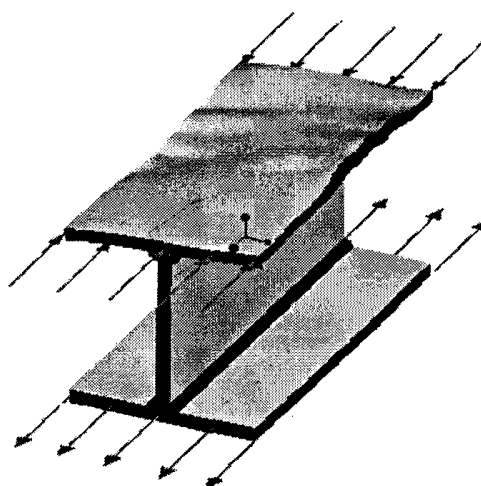
+ Bằng chiều dài côngxôn khi đầu mút cánh chịu nén không được liên kết chặt trong mặt phẳng ngang.

Khi dầm chịu uốn trong 2 mặt phẳng chính, sự mất ổn định xảy ra khi tải trọng đạt giá trị tới hạn. Trong trường hợp này, sự uốn trong 2 mặt phẳng và sự xoắn xuất hiện từ khi bắt đầu đặt tải và tăng dần, dẫn đến biến dạng dẻo phát triển và làm dầm mất khả năng chịu lực.

b) Ổn định cục bộ bản bụng và bản cánh dầm

Sự oằn cục bộ của từng phần tiết diện (bản cánh hoặc bản bụng) do tác dụng của ứng suất pháp hoặc ứng suất tiếp gọi là sự mất ổn định cục bộ. Sự mất ổn định cục bộ của các phần của tiết diện (bụng hoặc cánh dầm) có thể xảy ra sớm hơn hoặc đồng thời với sự mất ổn định tổng thể.

Trong dầm, sự mất ổn định có thể xảy ra đối với bản cánh chịu nén do tác dụng của ứng suất pháp, bụng dầm - do tác dụng của ứng suất tiếp hoặc ứng suất pháp cũng như do tác dụng đồng thời của cả chúng. Sự mất ổn định cục bộ của bất kỳ phần nào của tiết diện (bản cánh hoặc bản bụng) làm thay đổi hình dáng của chúng và làm giảm yếu khả năng chịu lực của tiết diện, dẫn đến làm sớm mất khả năng chịu lực của toàn dầm.

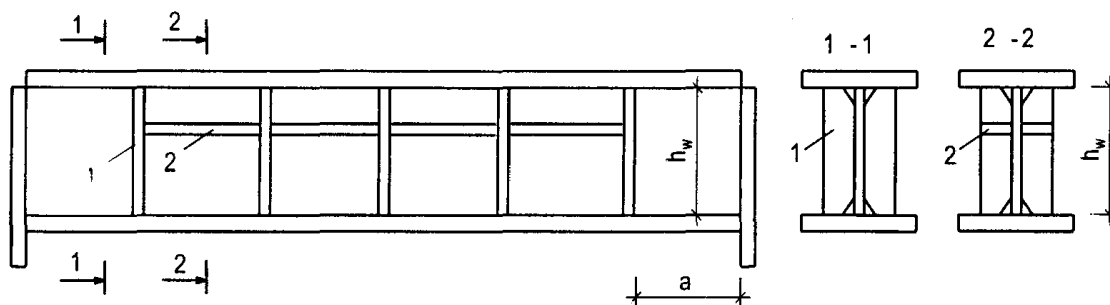


Hình 4.13. Mất ổn định cục bộ của dầm

Bản bụng:

Bản bụng là tấm mỏng dài, được liên kết đàn hồi với bản cánh chịu tác dụng của ứng suất tiếp do cắt, ứng suất pháp do uốn và ứng suất cục bộ do tác dụng cục bộ của lực.

Để tránh sự mất ổn định cục bộ của bản bụng, có thể tăng chiều dày của nó nhưng như vậy sẽ dẫn đến làm tăng chi phí thép. Để tăng khả năng ổn định cho dầm, khi cần thiết, có thể gia cường bản bụng bằng các sườn cứng (dọc và ngang) vuông góc với mặt phẳng mất ổn định. Các sườn này chia bản bụng theo chiều dài thành các ô bản (hình 4.14). Các ô bản này có thể bị mất ổn định không phụ thuộc vào nhau. Các sườn cứng không nên bố trí tại các mối nối lắp ráp. Khi mối nối lắp ráp bằng hàn thì sườn cứng được bố trí cách vị trí hàn khoảng $400 \div 500$ mm để giảm ứng suất hàn. Khi mối nối bằng bulông cường độ cao, thì các sườn cứng không được làm ảnh hưởng đến sự bố trí các bản ghép.



Hình 4.14. Bố trí sườn cho bản bụng dầm

1) sườn cứng ngang; 2) sườn cứng dọc

Để đảm bảo ổn định cục bộ, bản bụng của dầm tổ hợp phải được tăng cường bằng các sườn cứng theo các quy định sau:

- Bản bụng phải được tăng cường bằng các sườn cứng ngang (hình 4.15) nếu độ mảnh quy ước của bản bụng:

$$\bar{\lambda}_w = \frac{h_w}{t_w} \sqrt{\frac{f}{E}} > 3,2 \text{ khi dầm chịu tải trọng tĩnh, hoặc}$$

$$\bar{\lambda}_w > 2,2 \text{ khi dầm chịu tải trọng động}$$

trong đó: h_w - chiều cao tính toán của bản bụng dầm;

t_w - chiều dày của bản bụng.

Khoảng cách giữa các sườn cứng ngang a lấy như sau: $a \leq 2h_w$ nếu $\bar{\lambda}_w > 3,2$

$$a \leq 2,5h_w \text{ nếu } \bar{\lambda}_w \leq 3,2.$$

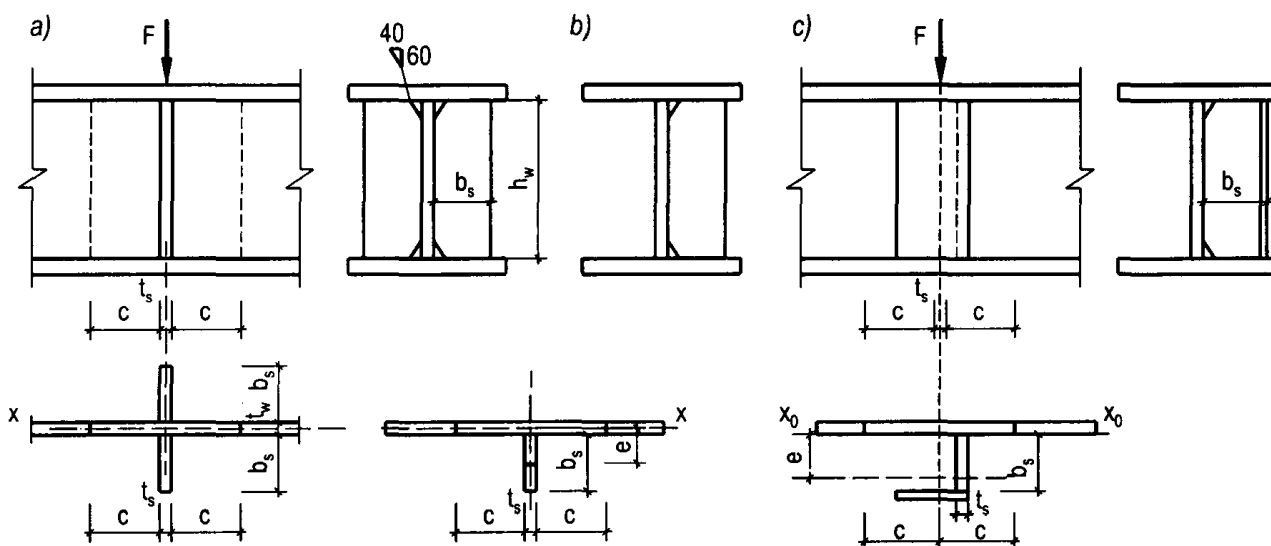
Nếu chỉ tăng cường bản bụng bằng sườn cứng ngang thì kích thước của chúng lấy như sau:

+ Chiều rộng sườn:

Khi bố trí cặp sườn đối xứng: $b_s \geq h_w/30 + 40 \text{ mm},$

Khi chỉ bố trí các sườn ở một bên của bản bụng: $b_s \geq h_w/24 + 50 \text{ mm}.$

+ Chiều dày sườn: $t_s \geq 2b_s \sqrt{f/E}.$



Hình 4.15. Tăng cường bản bụng bằng sườn cứng ngang

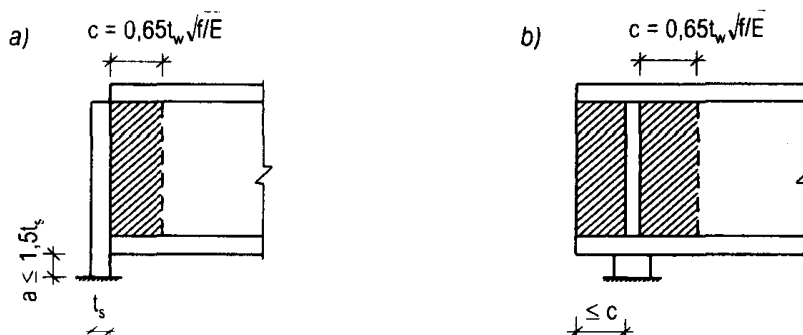
a) Bố trí hai bên đối xứng; b) Bố trí một bên; c) Bố trí một bên bằng thép góc

Tại gối tựa của dầm và tại những chỗ có tải trọng tĩnh tập trung lớn đặt ở cánh trên phải đặt các sườn tăng cường ngang. Sườn ở gối tựa (sườn đầu dầm) được tính theo uốn dọc ra

ngoài mặt phẳng của bản bụng như một thanh đứng chịu phản lực gối. Tiết diện tính toán của thanh gồm tiết diện của sườn và phần bản bụng ở hai bên sườn, mỗi bên rộng không quá $c = 0,65t_w \sqrt{E/f}$. Chiều dài tính toán của thanh bằng chiều cao bản bụng.

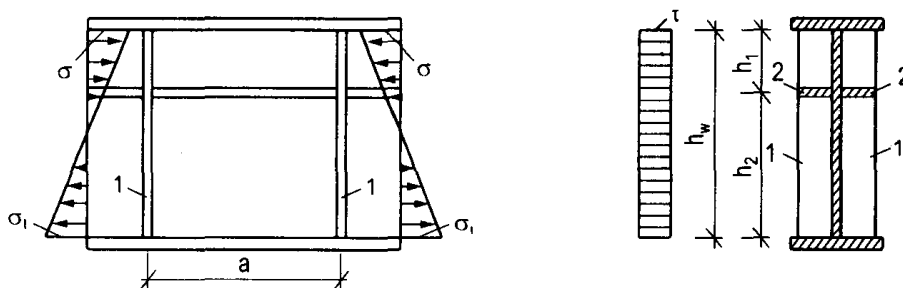
Cặp sườn đối xứng được tính như cấu kiện chịu nén đúng tâm, sườn bố trí một bên được tính như cấu kiện chịu nén lệch tâm chịu tác dụng của lực nén F với độ lệch tâm e .

Tiết diện mút dưới của sườn gối (hình 4.16) phải được bào nhẵn, tì sát hoặc hàn vào cánh dưới của dầm. Ứng suất tại tiết diện này do phản lực gối tựa trong trường hợp thứ nhất (hình 4.16a) không vượt quá cường độ tính toán của thép cán về ép mặt khi $a \leq 1,5t_s$ và về nén khi $a > 1,5t_s$; trong trường hợp thứ hai (hình 4.16b) không vượt quá cường độ ép mặt. Khi hàn sườn gối với cánh dưới của dầm thì đường hàn được tính với phản lực gối tựa.



Hình 4.16. Sơ đồ đặt sườn cứng ở gối.

- a) Sườn gối ở đầu mút dầm, mặt tựa được bào nhẵn.
b) Sườn gối ở gần đầu mút dầm, tì sát hoặc hàn vào cánh dưới



Hình 4.17 Sơ đồ dầm được tăng cường bằng các sườn cứng dọc và ngang

1. Sườn cứng ngang; 2. Sườn cứng dọc

- Nếu độ mảnh của bản bụng $\bar{\lambda}_w > 5,5$ thì ngoài sườn ngang còn phải tăng cường bản bụng bằng sườn tăng cường dọc (hình 4.17). Sườn dọc được đặt cách mép chịu nén của bản bụng đoạn $h_1 = (0,2 \div 0,3)h_w$. Khi đó kích thước các sườn lấy phải thỏa mãn các điều kiện sau:

+ Đối với sườn ngang: $I_s = 3h_w t_w^3$; I_s là mômen quán tính của cặp sườn ngang đối với trục dọc của bản bụng;

+ Đối với sườn dọc: $I_{sl} \geq 1,5h_w t_w^3$; I_{sl} là mômen quán tính của sườn dọc đối với trục thẳng đứng của tiết diện dầm.

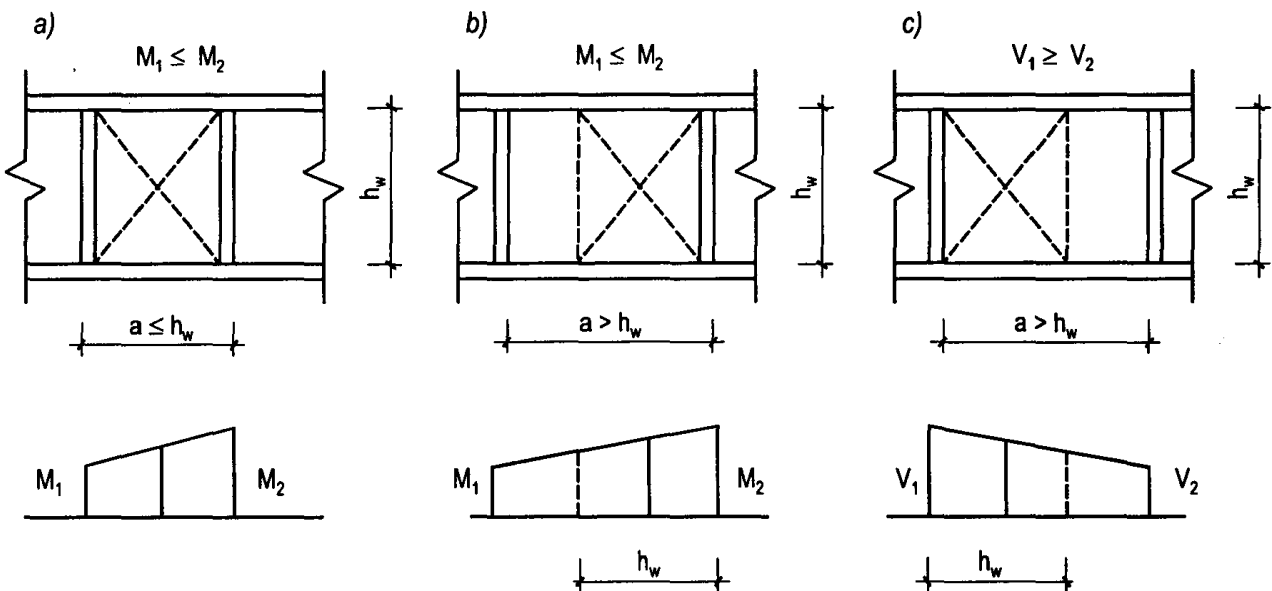
Khi chỉ bố trí sườn ngang và dọc ở một bên của bản bụng thì mômen quán tính của các sườn được tính đối với các trục thẳng đứng nhưng nằm ở mặt tiếp xúc của sườn với bản bụng.

Khi kiểm tra ổn định cục bộ bản bụng dầm phải kể đến tất cả các thành phần của trạng thái ứng suất (σ , τ , σ_c). Các thành phần ứng suất được tính với giả thiết vật liệu làm việc đàn hồi theo tiết diện nguyên, không kể đến hệ số φ_b . Ứng suất nén σ (lấy dấu "+") ở biên của ô bản khảo sát và ứng suất tiếp trung bình τ được tính theo công thức:

$$\sigma = \frac{M}{I_x} y \quad (4.27)$$

$$\tau = \frac{V}{h_w t_w} \quad (4.28)$$

trong đó: M , V - giá trị trung bình của mômen và lực cắt trong phạm vi của ô bản. Nếu chiều dài của ô nhỏ hơn hoặc bằng chiều cao tính toán của nó ($a \leq h_w$) thì M , V lấy tại tiết diện giữa ô; nếu $a > h_w$ thì M và V lấy tại tiết diện giữa của phần ô bản có ứng suất lớn hơn và có chiều dài bằng h_w ; nếu trong phạm vi ô kiểm tra có M và V đổi dấu thì giá trị trung bình của chúng lấy trên phần ô có giá trị tuyệt đối của nội lực lớn (hình 4.18).



Hình 4.18. Sơ đồ xác định mômen tính toán M

Ứng suất cục bộ σ_c trong bản bụng do tải trọng tập trung được tính theo công thức (4.14) và công thức 4.37 ở mục 4.2.4 (với $\gamma_1 = 1,1$).

Nếu trong ô bản có tải trọng tập trung đặt ở cánh chịu kéo thì chỉ kiểm tra do tác dụng đồng thời của hai thành phần ứng suất σ và τ hoặc σ_c và τ .

* *Dầm có tiết diện đối xứng:*

Bản bụng dầm có tiết diện đối xứng, chỉ tăng cường bằng các sườn cứng ngang, khi ứng suất cục bộ $\sigma_c = 0$, và độ mảnh quy ước $\bar{\lambda}_w \leq 6$, được kiểm tra ổn định theo công thức:

$$\sqrt{(\sigma / \sigma_{cr})^2 + (\tau / \tau_{cr})^2} \leq \gamma_C \quad (4.29)$$

trong đó:
$$\sigma_{cr} = \frac{c_{cr} f}{\bar{\lambda}_w^2} \quad (4.30)$$

$$\tau_{cr} = 10,3 \left(1 + \frac{0,76}{\mu^2} \right) \frac{f_v}{\bar{\lambda}_0^2} \quad (4.31)$$

Trong công thức (4.30) hệ số c_{cr} lấy như sau:

- Đối với dầm hàn, theo bảng 4.2, phụ thuộc hệ số:

$$\delta = \beta \frac{b_f}{h_w} \left(\frac{t_f}{t_w} \right)^3 \quad (4.32)$$

trong đó: b_f , t_f - chiều rộng và chiều dày của cánh chịu nén;

β - hệ số, lấy theo bảng 4.3.

Bảng 4.2. Hệ số c_{cr}

δ	$\leq 0,8$	1,0	2,0	4,0	6,0	10,0	≥ 30
c_{cr}	30,0	31,5	33,3	34,6	34,8	35,1	35,5

Bảng 4.3. Hệ số β

Dầm	Điều kiện làm việc của cánh chịu nén	β
Cầu trục	Ray không hàn	2
	Ray được hàn	∞
Các dầm khác	Khi có sàn cứng đặt liên tục trên cánh nén	∞
	Trong các trường hợp khác	0,8

Ghi chú: đối với dầm cầu trục, khi có lực tập trung đặt ở cánh chịu kéo, khi tính hệ số α lấy $\beta = 0,8$.

- Đối với dầm bulông cường độ cao lấy: $c_{cr} = 35,2$.

Trong công thức (4.31):
$$\bar{\lambda}_0 = \frac{d}{t_w} \sqrt{\frac{f}{E}}$$

trong đó: d - cạnh bé của ô bản (h_w hoặc a);

μ - tỉ số giữa cạnh lớn của ô bản chia cho cạnh nhỏ.

Khi các dầm này có ứng suất cục bộ $\sigma_c \neq 0$, tiến hành kiểm tra ổn định theo công thức:

$$\sqrt{\left(\frac{\sigma}{\sigma_{cr}} + \frac{\sigma_c}{\sigma_{c,cr}}\right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau_{cr}}\right)^2} \leq \gamma_c \quad (4.33)$$

trong đó: σ, σ_c, τ - được tính theo các công thức (4.27) và (4.28);

τ_{cr} - tính theo công thức (4.31).

Giá trị của σ_{cr} và $\sigma_{c,cr}$ trong công thức (4.33) được tính như sau:

Trường hợp 1: Khi $a/h_w \leq 0,8$:

$$- \sigma_{cr} \text{ tính theo công thức (4.30); } \sigma_{c,cr} = \frac{c_1 f}{\lambda_a^2} \quad (4.34)$$

với:

$$\lambda_a = \frac{a}{t_w} \sqrt{f/E}$$

c_1 - hệ số, đối với dầm hàn lấy theo bảng 4.4 phụ thuộc vào giá trị của a/h_w và δ (theo công thức 4.32); đối với dầm bulông cường độ cao lấy theo bảng 4.5.

Nếu tải trọng đặt ở cánh chịu kéo (hình 4.19b) thì kiểm tra ổn định của bản bụng được thực hiện theo hai tổ hợp ứng suất :

- σ và τ (cho biên chịu nén);

- σ_c và τ , (cho biên chịu kéo), khi đó tính hệ số δ theo công thức (4.32) thì b_f và t_f là chiều rộng và dày của cánh chịu kéo.

Trường hợp 2: Khi $a/h_w > 0,8$ và tỉ số σ_c/σ lớn hơn các giá trị cho trong bảng 4.6 thì:

$$\sigma_{cr} = \frac{c_2 f}{\lambda_w^2} \quad (4.35)$$

trong đó: c_2 - hệ số lấy theo bảng 4.7;

$\sigma_{c,cr}$ - tính theo công thức (4.34), trong đó nếu $a/h_w > 2$ thì lấy $a = 2h_w$.

Trường hợp 3: Khi $a/h_w > 0,8$ và tỉ số σ_c/σ không lớn hơn các giá trị cho trong bảng 4.6 thì:

- σ_{cr} tính theo công thức (4.30);

- $\sigma_{c,cr}$ tính theo công thức (4.34) nhưng lấy $a/2$ thay cho a khi tính λ_a ứng như ở trong bảng 4.5.

Trong mọi trường hợp τ_{cr} đều được tính theo kích thước thực của ô bản.

Bảng 4.4. Giá trị của c_1 đối với dầm hàn

δ	Giá trị của c_1 đối với dầm hàn khi a/h_w bằng								
	$\leq 0,5$	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	≥ 2
≤ 1	11,5	12,4	14,8	18,0	22,1	27,1	32,6	38,9	45,6
2	12,0	13,0	16,1	20,4	25,7	32,1	39,2	46,5	55,7
4	12,3	13,3	16,6	21,6	28,1	36,3	45,2	54,9	65,1
6	12,4	13,5	16,8	22,1	29,1	38,3	48,7	59,4	70,4
10	12,4	13,6	16,9	22,5	30,0	39,7	51,0	63,3	76,5
≥ 30	12,5	13,7	17,0	22,9	31,0	41,6	53,8	68,2	83,6

Bảng 4.5. Giá trị của c_1 đối với dầm bulông cường độ cao

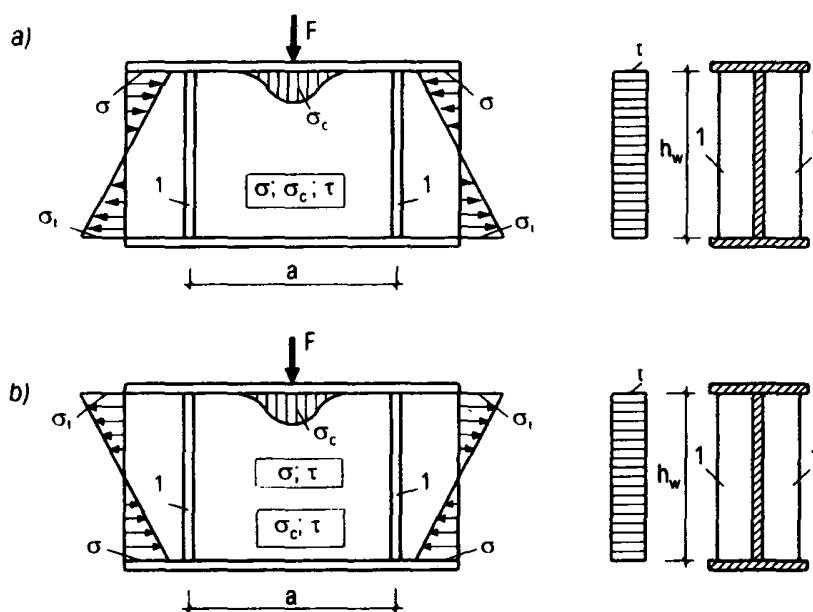
a/h_w	0,5	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0
c_1	13,7	15,9	20,8	28,4	38,75	51,0	64,2	79,8	94,9

Bảng 4.6. Giá trị giới hạn của σ_c / σ

Loại dầm	δ	Giá trị giới hạn của σ_c / σ khi a/h_w bằng							
		0,8	0,9	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	≥ 2
Hàn	≤ 1	0	0,146	0,183	0,267	0,359	0,445	0,540	0,618
	2	0	0,109	0,169	0,277	0,406	0,543	0,652	0,799
	4	0	0,072	0,129	0,281	0,479	0,711	0,930	1,132
	6	0	0,066	0,127	0,288	0,536	0,874	1,192	1,468
	10	0	0,059	0,122	0,296	0,574	1,002	1,539	2,154
	≥ 30	0	0,047	0,112	0,300	0,633	1,283	2,249	3,939
Bulông cường độ cao	-	0	0,121	0,184	0,378	0,643	1,131	1,614	2,347

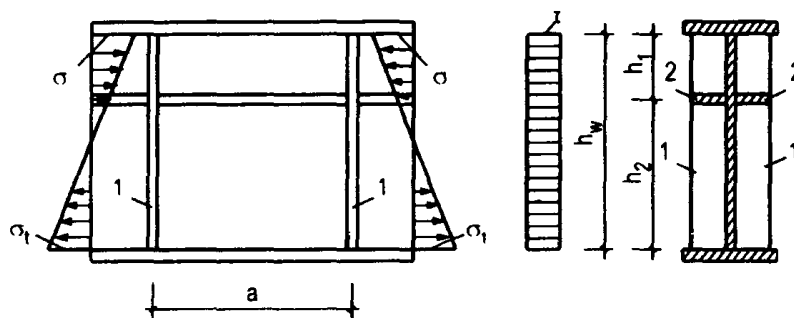
Bảng 4.7. Hệ số c_2

a/h_w	$\leq 0,8$	0,9	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	≥ 2
c_2	Theo bảng 27, $c_2 = c_{cr}$	37,0	39,2	45,2	52,8	62,0	72,6	84,7



Hình 4.19 Sơ đồ dầm được tăng cường bằng các sườn cứng ngang

- a) Tải trọng tập trung F đặt ở cánh chịu nén. (σ_t - ứng suất kéo);
 b) Tải trọng tập trung F đặt ở cánh chịu kéo; 1. Sườn cứng ngang



Hình 4.20. Sơ đồ dầm được tăng cường bằng các sườn cứng dọc và ngang

1. Sườn cứng ngang; 2. Sườn cứng dọc

* Dầm có tiết diện không đối xứng.

Việc kiểm tra ổn định của bản bụng dầm có tiết diện không đối xứng (cánh chịu nén mở rộng) được thực hiện giống như ở phần dầm có tiết diện đối xứng nhưng trong công thức (4.30), (4.35) và bảng 4.7 giá trị của h_w lấy bằng hai lần khoảng cách từ trục trung hoà đến biên tính toán chịu nén của ô bản. Nếu $a/h_w > 0,8$ thì cần kiểm tra cả hai trường hợp 2 và 3 không phụ thuộc vào giá trị của σ_c/σ .

Không cần kiểm tra ổn định cục bộ của bản bụng dầm trong các trường hợp sau:

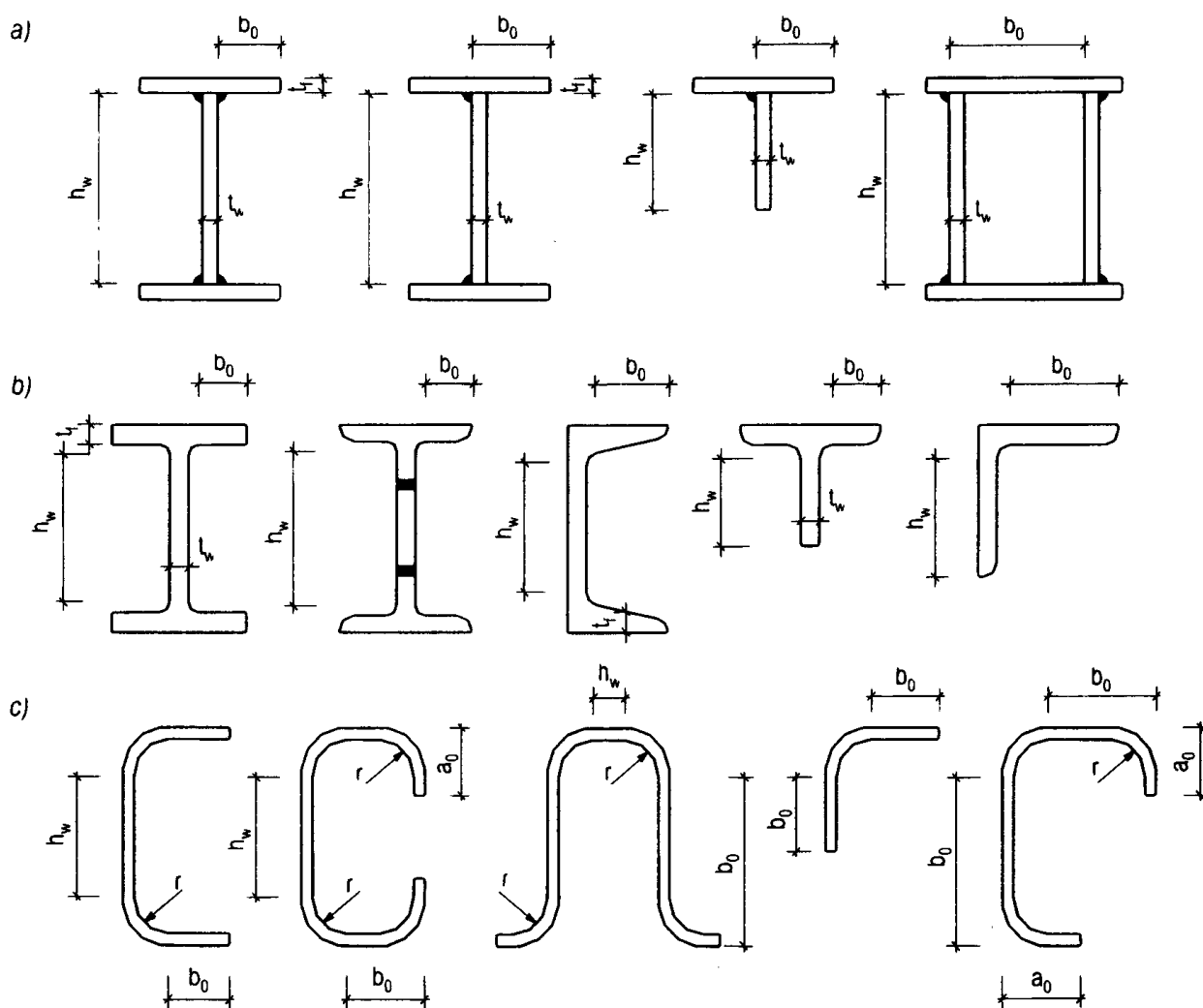
- $\bar{\lambda}_w \leq 3,5$, trong trường hợp không có ứng suất cục bộ;
- $\bar{\lambda}_w \leq 2,5$, trong trường hợp có ứng suất cục bộ.

Khi đó chỉ cần đặt các sườn cứng ngang. Theo các yêu cầu ở mục 4.2.2b.

* *Bán cánh*

Chiều rộng tính toán b_0 của bán cánh lấy như sau:

- Trong cấu kiện hàn: bằng khoảng cách từ biên của bản bụng đến mép của bán cánh (hình 4.21a);
- Trong các thép cán định hình: từ điểm bắt đầu uốn cong phía trong của cánh đến mép của bán cánh (hình 4.21b);
- Trong các định hình cong: từ điểm cuối đoạn cong của bản bụng đến mép của bán cánh (hình 4.21c)



Hình 4.21 Sơ đồ tính chiều rộng tính toán của bán cánh dầm

a) Cấu kiện hàn; b) Thép cán định hình; c) Định hình cong

Tỉ số giữa chiều rộng tính toán và chiều dày của bản cánh dầm b_0/t_f không được lớn hơn giá trị giới hạn $[b_0/t_f]$ cho ở bảng 4.8.

Phần nhô a_0 của mép viền định hình cong (hình 4.21) phải thỏa mãn điều kiện:

$a_o \geq 0,3b_o$ khi không có bản giằng;

$a_o \geq 0,2b_o$ khi có bản giằng.

Chiều dày của mép viền $t_o \geq 2a_o \sqrt{f/E}$.

Bảng 4.8. Giá trị giới hạn $[b_o/t_f]$

Tính toán dầm	Đặc điểm phân nhô ra	Giá trị $[b_o/t_f]$
Trong giới hạn đàn hồi	Không viền mép	$0,5 \sqrt{E/f}$
	Có viền mép	$0,75 \sqrt{E/f}$
Kể đến sự phát triển của biến dạng dẻo ⁽¹⁾	Không viền mép	$0,11h_w/t_w$ nhưng không lớn hơn $0,5 \sqrt{E/f}$
	Có viền mép	$0,16h_w/t_w$ nhưng không lớn hơn $0,75 \sqrt{E/f}$
Như trên, với $h_w/t_w \leq 2,7 \sqrt{E/f}$	Không viền mép	$0,3 \sqrt{E/f}$
	Có viền mép	$0,45 \sqrt{E/f}$

Ghi chú: h_w và t_w là chiều cao tính toán và chiều dày của bản bụng.

4.2.3. Tính toán độ võng

Dầm cần thiết kế đủ độ cứng để trong suốt quá trình sử dụng dầm không bị võng quá độ võng giới hạn quy định:

$$\frac{\Delta}{l} \leq \left[\frac{\Delta}{l} \right] \quad (4.36)$$

trong đó: l - nhịp dầm;

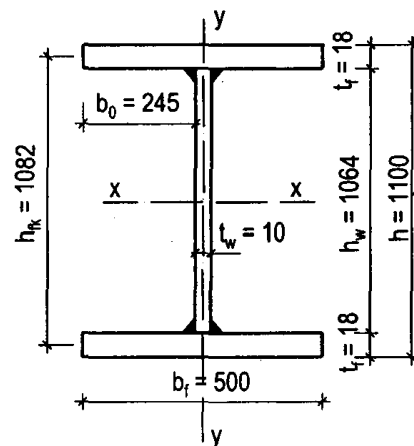
Δ - độ võng của dầm;

$\frac{\Delta}{l}$ - giá trị độ võng tương đối của dầm do tổ hợp các tải trọng tiêu chuẩn gây ra;

$\left[\frac{\Delta}{l} \right]$ - Độ võng tương đối giới hạn của dầm; giá trị của $\left[\frac{\Delta}{l} \right]$ cho trong bảng D.14 của phụ lục D.

Ví dụ 4.5:

Kiểm tra ổn định của dầm chính có kích thước như trên hình 4.22. Khoảng cách giữa các điểm liên kết bản cánh trên của dầm chính (bước dầm phụ) là $l_0 = 1000$ mm (chiều dài tính toán của dầm). Thép làm dầm là CCT38.



Hình 4.22. Cho ví dụ 4.5

Trước tiên tính: $h/b_f = 1100/500 = 2,2$ thỏa mãn điều kiện $1 < h/b_f < 6$

$b_f/t_f = 500/18 = 27,78$ thỏa mãn điều kiện $15 < b_f/t_f < 35$

Như vậy kích thước dầm thỏa mãn điều kiện có thể áp dụng các công thức trong bảng 4.1
Xét trường hợp đặt tải bất kỳ thì kiểm tra ổn định tổng thể được xác định theo công thức 4.25.

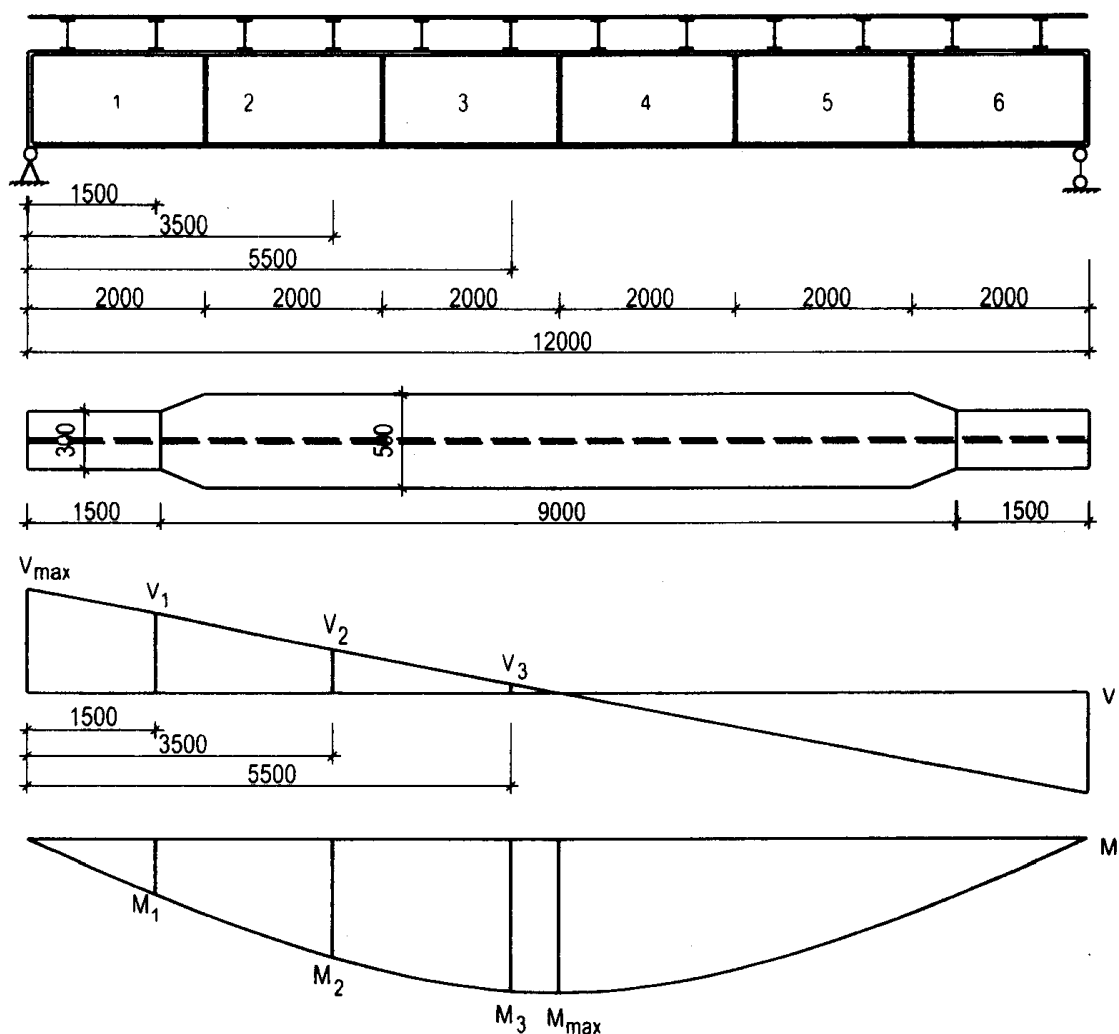
$$\left[\frac{l_0}{b_f} \right] = \frac{1000}{500} = 2 < \left[0,41 + 0,0032 \frac{b_f}{t_f} + \left(0,73 - 0,016 \frac{b_f}{t_f} \right) \frac{b_f}{h_{fk}} \right] \sqrt{\frac{E}{f}}$$

$$= \left[0,41 + 0,0032 \frac{500}{18} + \left(0,73 - 0,016 \frac{500}{18} \right) \frac{500}{1082} \right] \sqrt{\frac{2,1 \cdot 10^5}{230}} = 19,063$$

Điều kiện được thỏa mãn. Dầm đảm bảo ổn định tổng thể

Ví dụ 4.6:

Kiểm tra ổn định cục bộ của bán cánh nén, bán bụng và độ võng dầm trong ví dụ 4.5. Dầm có chiều dài 12m, hai đầu liên kết khớp. Lực tập trung do dầm phụ truyền trực tiếp lên dầm chính $F = 128,35 \cdot 10^3 \text{ N}$; $E = 2,1 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2$ (hình 4.23).



Hình 4.23. Cho ví dụ 4.6

a) Kiểm tra ổn định cục bộ của cánh chịu nén:

$$\frac{b_0}{t_f} = \frac{b_f - t_w}{2t_f} = \frac{500 - 10}{2.18} = 13,61 < 0,5\sqrt{\frac{E}{f}} = 0,5\sqrt{\frac{2,1.10^5}{230}} = 15,108$$

Kết luận: Cánh nén đảm bảo ổn định.

b) Kiểm tra ổn định cục bộ bản bụng dầm:

- Kiểm tra độ mảnh quy ước:

$$\bar{\lambda}_w = \frac{h_w}{t_w} \sqrt{\frac{f}{E}} = \frac{1064}{10} \sqrt{\frac{230}{2,1.10^5}} = 3,521 \geq 3,2$$

Vì $\bar{\lambda}_w > 3,2$ nên bản bụng phải được tăng cường bằng các sườn cứng ngang.

+ Xác định khoảng cách các bản sườn cứng ngang:

Khoảng cách các sườn phải thỏa mãn điều kiện $a \leq 2h_w = 2.1064 = 2128\text{mm}$. Chọn $a = 2000\text{mm}$

+ Bố trí các sườn cứng đối xứng có bề rộng b_s thỏa mãn điều kiện:

$$b_s \geq \frac{h_w}{30} + 40\text{mm}$$

$$b_s \geq \frac{1064}{30} + 40\text{mm} = 75,47\text{mm}$$

Chọn $b_s = 8\text{ cm}$.

+ Chiều dày bản sườn phải thỏa mãn điều kiện: $t_s \geq 2b_s \sqrt{\frac{f}{E}}$

$$t_s \geq 2b_s \sqrt{\frac{f}{E}} = 2.80 \cdot \sqrt{\frac{230}{2,1.10^5}} = 5,3\text{mm}$$

Chọn $t_s = 6\text{ mm}$.

Vậy bản sườn gia cường có kích thước như sau: $b_s = 80\text{ mm}$; $t_s = 6\text{ mm}$, khoảng cách giữa các bản sườn $a = 2000\text{ mm}$.

- Kiểm tra ổn định của các ô bản: ổn định cục bộ của các ô bản được kiểm tra theo công thức (4.33):

$$\sqrt{\left(\frac{\sigma}{\sigma_{cr}} + \frac{\sigma_c}{\sigma_{c,cr}}\right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau_{cr}}\right)^2} \leq \gamma_c$$

Xác định nội lực tại các vị trí kiểm tra:

Ta quy đổi các tải trọng tập trung từ dầm phụ lên dầm chính, thành tải phân bố đều trên dầm chính:

$$q = \frac{F.n}{l} = \frac{128,35.10^3.12}{12000} = 128,35\text{ N/mm}$$

trong đó: F - tải trọng tập trung từ một dầm phụ truyền vào dầm chính;

n - số dầm phụ.

$$M_{\max} = \frac{ql^2}{8} = \frac{128,35 \cdot 12000^2}{8} = 2310,3 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

$$V_{\max} = \frac{ql}{2} = \frac{128,35 \cdot 12000}{2} = 770100 \text{ N}$$

$$V_x = V_{\max} - x \cdot q$$

$$M_x = V_{\max} \cdot x - q \cdot x \cdot \frac{x}{2} = \frac{q}{2} \cdot x \cdot (l - x)$$

Tính mômen quán $I_x^{2,3}$ tại các ô số 2 và số 3 của dầm (có tiết diện không thay đổi):

$$I_x^{2,3} = \frac{b_f h^3}{12} - \frac{(b_f - t_w) h_w^3}{12} = \frac{50 \cdot 110^3}{12} - \frac{(50 - 1) \cdot 106,4^3}{12} = 627253,6 \text{ cm}^4$$

Tính mômen quán I_x^1 tại ô số 1 của dầm (có tiết diện thay đổi):

$$I_x^1 = \frac{b_f h^3}{12} - \frac{(b_f - t_w) h_w^3}{12} = \frac{30 \cdot 110^3}{12} - \frac{(30 - 1) \cdot 106,4^3}{12} = 416503,8 \text{ cm}^4$$

- Xác định nội lực tại vị trí kiểm tra:

+ Tại ô số 1: $x = 1,5\text{m}$:

$$V_1 = V_{\max} - x \cdot q = 770100 - 1500 \cdot 128,35 = 577580 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} M_1 &= V_{\max} x - qx \frac{x}{2} = \frac{q}{2} x (l - x) = \\ &= \frac{128,35}{2} \cdot 1500 \cdot (12000 - 1500) = 1010,76 \cdot 10^6 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

+ Tại ô số 2: $x = 3,5\text{m}$:

$$V_2 = V_{\max} - x \cdot q = 770100 - 3500 \cdot 128,35 = 320880 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} M_2 &= V_{\max} x - qx \frac{x}{2} = \frac{q}{2} x (l - x) = \\ &= \frac{128,35}{2} \cdot 3500 \cdot (12000 - 3500) = 1909,21 \cdot 10^6 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

+ Tại ô số 3: $x = 5,5\text{m}$:

$$V_3 = V_{\max} - x \cdot q = 770100 - 5500 \cdot 128,35 = 64180 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} M_3 &= V_{\max} x - qx \frac{x}{2} = \frac{q}{2} x (l - x) = \\ &= \frac{128,35}{2} \cdot 5500 \cdot (12000 - 5500) = 2294,26 \cdot 10^6 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

Kiểm tra ổn định ô bán số 1

+ Xác định σ_1 theo công thức (4.27):

$$\sigma_1 = \frac{M}{I_x} y = \frac{M_1 h_w}{2I_x^1} = \frac{1010,76 \cdot 10^6 \cdot 1064}{2 \cdot 416503,8 \cdot 10^4} = 129,1 \text{ N/mm}^2$$

+ Xác định τ theo công thức (4.28):

$$\tau = \frac{V_1}{h_w t_w} = \frac{577580}{1064 \cdot 10} = 54,3 \text{ kN/cm}^2$$

+ Xác định σ_c theo công thức (4.14):

$$\sigma_c = \frac{F}{t_w l_f} = \frac{125,54 \cdot 10^4}{10 \cdot 175} = 71,7 \text{ N/mm}^2$$

trong đó: $l_f = b_f' + 2t_f' = 13,5 + 2 \cdot 2 = 17,5 \text{ cm} = 175 \text{ mm}$

F - tải trọng tập trung do dầm phụ.

Vì: $\frac{a}{h_w} = \frac{2}{1,064} = 1,88 > 0,8$

$$\delta = \beta \frac{b_f}{h_w} \left(\frac{t_f}{t_w} \right)^3 = 0,8 \cdot \frac{30}{106,4} \cdot \left(\frac{1,8}{1} \right)^3 = 1,32 \text{ (trong đó } \beta \text{ tra bảng 4.3 được } \beta = 0,8)$$

Nội suy bảng 4.2 được $c_{cr} = 32,1$

Nội suy bảng 4.6 được $\left[\frac{\sigma_c}{\sigma_1} \right] = 0,616$ (trong đó σ_1 là ứng suất nén ở biên của ô số 1).

$$\frac{\sigma_c}{\sigma_1} = \frac{71,7}{129,1} = 0,56 < \left[\frac{\sigma_c}{\sigma_1} \right] = 0,616 \text{ nên } \sigma_{cr} \text{ xác định theo công thức (4.30).}$$

$$\sigma_{cr} = \frac{c_{cr} f}{\lambda_w^2} = \frac{32,1 \cdot 230}{3,36^2} = 653,97 \text{ N/mm}^2$$

$\sigma_{c,cr}$ xác định theo công thức (4.34): $\sigma_{c,cr} = \frac{c_1 f}{\lambda_a^2}$

Với: $\bar{\lambda}_a = \frac{a}{2t_w} \sqrt{\frac{f}{E}} = \frac{200}{2 \cdot 1} \sqrt{\frac{23}{21000}} = 3,31;$

Nội suy bảng 4.4 theo $\frac{a}{h_w}$ được $c_1 = 44,33$

$$\sigma_{c,cr} = \frac{c_1 f}{\lambda_a^2} = \frac{44,33 \cdot 230}{3,31^2} = 930,6 \text{ N/mm}^2$$

+ Xác định τ_{cr} theo công thức (4.31): $\tau_{cr} = 10,3(1 + \frac{0,76}{\mu^2}) \frac{f_v}{\lambda_a^2}$

trong đó: $\mu = \frac{a}{h_w} = \frac{2000}{1064} = 1,88$; $f_v = 0,58.230 = 133,4 \text{ N/mm}^2$

Vậy $\tau_{cr} = 10,3(1 + \frac{0,76}{\mu^2}) \frac{f_v}{\lambda_a^2} = 10,3 \cdot \left(1 + \frac{0,76}{1,88^2}\right) \cdot \frac{133,4}{3,31^2} = 152,4 \text{ N/mm}^2$

Kiểm tra ổn định cục bộ ô 1 theo công thức (4.33)

$$\sqrt{\left(\frac{\sigma_l}{\sigma_{cr}} + \frac{\sigma_c}{\sigma_{c,cr}}\right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau_{cr}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{129,1}{653,97} + \frac{71,7}{930,6}\right)^2 + \left(\frac{54,3}{152,4}\right)^2} = 0,449 < \gamma_c = 1$$

Vậy bán bụng ô bán 1 đảm bảo ổn định.

Kiểm tra ổn định ô bán số 2

+ Xác định σ_2 theo công thức (4.27):

$$\sigma_2 = \frac{M}{I_x} y = \frac{M_2 h_w}{2I_x^2} = \frac{1909,21 \cdot 10^6 \cdot 1064}{2 \cdot 627253,6 \cdot 10^4} = 161,9 \text{ N/mm}^2$$

+ Xác định τ theo công thức (4.28):

$$\tau = \frac{V_2}{h_w t_w} = \frac{320880}{1064 \cdot 10} = 30,1 \text{ N/mm}^2$$

Vì: $\frac{a}{h_w} = \frac{2000}{1064} = 1,88 > 0,8$

$$\delta = \beta \frac{b_f}{h_w} \left(\frac{t_f}{t_w}\right)^3 = 0,8 \cdot \frac{50}{106,4} \cdot \left(\frac{1,8}{1}\right)^3 = 2,19 \text{ (trong đó } \beta \text{ tra bảng 4.3 được } \beta=0,8).$$

Nội suy bảng 4.2 được $c_{cr} = 33,42$

Nội suy bảng 4.6 được $\left[\frac{\sigma_c}{\sigma_2}\right] = 0,7393$ (trong đó σ_2 là ứng suất nén ở biên của ô số 2)

$$\frac{\sigma_c}{\sigma_2} = \frac{71,7}{161,9} = 0,443 < \left[\frac{\sigma_c}{\sigma_2}\right] = 0,7393, \text{ nên } \sigma_{cr} \text{ xác định theo công thức (4.30)}$$

$$\sigma_{cr} = \frac{c_{cr} f}{\lambda_w^2} = \frac{33,42 \cdot 230}{3,36^2} = 680,86 \text{ N/mm}^2$$

$\sigma_{c,cr}$ xác định theo công thức (4.34):

$$\sigma_{c,cr} = \frac{c_1 f}{\lambda_a^2} \text{ Với } \bar{\lambda}_a = \frac{a}{2t_w} \sqrt{\frac{f}{E}} = \frac{200}{2 \cdot 1} \sqrt{\frac{230}{2,1 \cdot 10^5}} = 3,31;$$

Tra bảng 4.4 theo $\frac{a}{h_w}$ được $c_1 = 51,016$

$$\sigma_{c,cr} = \frac{c_1 f}{\lambda_a^2} = \frac{51,016 \cdot 230}{3,31^2} = 1070,97 \text{ N/mm}^2$$

+ Xác định τ_{cr} theo công thức (4.31): $\tau_{cr} = 10,3 \left(1 + \frac{0,76}{\mu^2}\right) \frac{f_v}{\lambda_a^2}$

trong đó: $\mu = \frac{a}{h_w} = \frac{2000}{1064} = 1,88$; $f_v = 0,58 \cdot f = 0,58 \cdot 230 = 133,4 \text{ N/mm}^2$

Vậy:
$$\tau_{cr} = 10,3 \left(1 + \frac{0,76}{\mu^2}\right) \frac{f_v}{\lambda_a^2} = 10,3 \cdot \left(1 + \frac{0,76}{1,88^2}\right) \cdot \frac{133,4}{3,31^2} = 152,4 \text{ N/mm}^2$$

Kiểm tra ổn định cục bộ ô 2 theo công thức (4.33)

$$\sqrt{\left(\frac{\sigma_2}{\sigma_{cr}} + \frac{\sigma_c}{\sigma_{c,cr}}\right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau_{cr}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{161,9}{680,86} + \frac{71,7}{1070,97}\right)^2 + \left(\frac{30,1}{152,4}\right)^2} = 0,363 < \gamma_c = 1$$

Vậy bản bụng ô bản 2 đảm bảo ổn định.

- Kiểm tra ổn định ô bản số 3:

+ Xác định σ_3 theo công thức (4.27):

$$\sigma_3 = \frac{M}{I_x} y = \frac{M_3 h_w}{2I_x^3} = \frac{2294,26 \cdot 10^6 \cdot 1064}{2 \cdot 627253,6 \cdot 10^4} = 194,6 \text{ N/mm}^2$$

+ Xác định τ theo công thức (4.28):

$$\tau = \frac{V_3}{h_w t_w} = \frac{64180}{1064 \cdot 10} = 6 \text{ N/mm}^2$$

Vì:
$$\frac{a}{h_w} = \frac{2000}{1064} = 1,88 > 0,8$$

$$\delta = \beta \frac{b_f}{h_w} \left(\frac{t_f}{t_w}\right)^3 = 0,8 \cdot \frac{50}{106,4} \cdot \left(\frac{1,8}{1}\right)^3 = 2,19 \text{ (trong đó } \beta \text{ tra bảng 4.3 được } \beta = 0,8).$$

Nội suy bảng 4.2 được $c_{cr} = 33,42$

Nội suy bảng 4.6 được $\left[\frac{\sigma_c}{\sigma_3}\right] = 0,7393$ (trong đó σ_3 là ứng suất nén ở biên của ô số 3)

$$\frac{\sigma_c}{\sigma_3} = \frac{71,7}{194,6} = 0,368 < \left[\frac{\sigma_c}{\sigma_3}\right] = 0,7393, \text{ nên } \sigma_{cr} \text{ xác định theo công thức (4.30)}$$

$$\sigma_{cr} = \frac{c_{cr} f}{\lambda_w^2} = \frac{33,42 \cdot 230}{3,36^2} = 680,86 \text{ N/mm}^2 \text{ (trong đó: } c_{cr} = 33,42 \text{ nội suy bảng 4.2 theo } \delta)$$

$\sigma_{c,cr}$ xác định theo công thức (4.34)

$$\sigma_{c,cr} = \frac{c_1 f}{\lambda_a^2} \text{ Với } \bar{\lambda}_a = \frac{a}{2t_w} \sqrt{\frac{f}{E}} = \frac{200}{2,1} \sqrt{\frac{230}{2,1 \cdot 10^5}} = 3,31;$$

Nội suy bảng 4.4 theo $\frac{a}{h_w}$ được $c_1 = 51,016$

$$\sigma_{c,cr} = \frac{c_1 f}{\lambda_a^2} = \frac{51,016 \cdot 230}{3,31^2} = 1070,97 \text{ N/mm}^2$$

+ Xác định τ_{cr} theo công thức (4.31):

$$\tau_{cr} = 10,3 \left(1 + \frac{0,76}{\mu^2} \right) \frac{f_v}{\lambda_a^2}$$

trong đó: $\mu = \frac{a}{h_w} = \frac{2000}{1064} = 1,88; f_v = 0,58 \cdot f = 0,58 \cdot 230 = 133,4 \text{ N/mm}^2$

Vậy: $\tau_{cr} = 10,3 \left(1 + \frac{0,76}{\mu^2} \right) \frac{f_v}{\lambda_a^2} = 10,3 \cdot \left(1 + \frac{0,76}{1,88^2} \right) \cdot \frac{133,4}{3,31^2} = 152,4 \text{ N/mm}^2$

Kiểm tra ổn định cục bộ ô 3 theo công thức (4.33):

$$\sqrt{\left(\frac{\sigma_3}{\sigma_{cr}} + \frac{\sigma_c}{\sigma_{c,cr}} \right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau_{cr}} \right)^2} = \sqrt{\left(\frac{194,6}{680,86} + \frac{71,7}{1070,97} \right)^2 + \left(\frac{6}{152,4} \right)^2} = 0,307 < \gamma_c = 1$$

Bản bụng ô bản 3 đảm bảo ổn định.

Vậy dầm đã thiết kế như trong hình 4.23 đảm bảo ổn định cục bộ.

c) Kiểm tra độ võng của dầm:

Độ võng của dầm được kiểm tra theo công thức (4.36):

$$\frac{\Delta}{l} \leq \left[\frac{\Delta}{l} \right]$$

Tra bảng D.14 phụ lục D dầm chính được: $\left[\frac{\Delta}{l} \right] = \frac{1}{400}$

Độ võng tương đối của dầm $\frac{\Delta}{l}$ được xác định theo công thức sau: $\frac{\Delta}{l} = \frac{5}{384} \frac{q^c \cdot l^3}{EI}$

trong đó: $q^c = \frac{q}{\gamma_Q} = \frac{128,35}{1,1} = 116,68 \text{ N/mm}$

$$\frac{\Delta}{l} = \frac{5}{384} \frac{q^c \cdot l^4}{EI} = \frac{5}{384} \cdot \frac{116,68 \cdot 12000^3}{2,1 \cdot 10^5 \cdot 627253,6 \cdot 10^4} = 0,00199 < \left[\frac{\Delta}{l} \right] = \frac{1}{400} = 0,0025$$

Vậy độ võng của dầm đảm bảo

4.2.4. Dầm cầu trục

Kiểm tra độ bền của dầm cầu trục do tác dụng của tải trọng đứng và ngang theo các quy định ở mục 4.2.1, phần tính toán cấu kiện đặc trong giai đoạn đàn hồi, khi có tác dụng của mômen trong hai mặt phẳng chính

Kiểm tra độ bền của bán bụng dầm cầu trục (trừ các dầm được tính toán theo bền mỏi với số chu kỳ của tải trọng từ $2 \cdot 10^6$ trở lên) theo công thức (4.12), trong đó khi kiểm tra tiết diện gối dầm liên tục thay hệ số 1,15 bằng 1,3

Kiểm tra ổn định tổng thể của dầm cầu trục theo quy định kiểm tra ổn định tổng thể, mục 4.2.2.a.

Kiểm tra ổn định của bán bụng và bán cánh của dầm cầu trục theo các quy định ở mục 4.2.2.b.

Tính toán về bền mỏi của dầm cầu trục theo các quy định ở chương 6. Tải trọng cầu trục dùng để kiểm tra dầm cầu trục theo bền và mỏi được lấy theo các quy định của tiêu chuẩn TCVN 2737 : 1995. Số chu kỳ tải trọng của dầm cầu trục là số lượt nâng tải trong thời gian phục vụ của cầu trục do các yêu cầu sản xuất. Đối với dầm cầu trục có số chu kỳ của tải trọng $n_Q > 2 \cdot 10^6$ thì bán bụng dầm phải được kiểm tra thêm về độ bền theo các điều kiện bền và mỏi như sau:

a) Vùng chịu nén của bán bụng dầm cầu trục bằng thép có giới hạn chảy từ 400 N/mm² trở xuống phải thoả mãn điều kiện:

$$\sqrt{(\sigma_x + \sigma_{cx})^2 - (\sigma_x + \sigma_{cx})\sigma_{cy} + \sigma_{cy}^2 + 3(\tau_{xy} + \tau_{cy})^2} \leq \beta f \quad (4.37)$$

$$\sigma_x + \sigma_{cx} \leq f \quad (4.38)$$

$$\sigma_{cy} + \sigma_{ly} \leq f \quad (4.39)$$

$$\tau_{xy} + \tau_{cxy} + \tau_{lxy} \leq f_v \quad (4.40)$$

trong đó:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_x &= \frac{M}{W_{nx}}; \tau_{xy} = \frac{V}{h_w t_w}; \sigma_{cy} = \frac{\gamma_1 P}{t_w l_7}; \\ \sigma_{cx} &= 0,25\sigma_{cy}; \tau_{cxy} = 0,3\sigma_{cy}; \\ \sigma_{ly} &= \frac{2M_l t_w}{I_l}; \tau_{lxy} = 0,25\sigma_{ly}; \end{aligned} \right\} \quad (4.41)$$

β - hệ số lấy bằng 1,15 khi tính toán dầm đơn giản; bằng 1,3 khi tính toán tiết diện tại gối của dầm liên tục;

M và V - tương ứng là mômen uốn và lực cắt trong tiết diện của dầm do tải trọng tính toán gây ra;

P - áp lực tính toán của bánh xe cầu trục không kể đến hệ số động;

γ_1 - hệ số tăng tải trọng tập trung thẳng đứng đứng lên một bánh xe cầu trục, lấy theo quy định của TCVN 2737 : 1995.

$I_t = I_{tr} + b_f t_f^3 / 3$ - tổng các mômen quán tính xoắn bản thân của ray và của cánh;

t_f và b_f - chiều dày và chiều rộng của cánh trên (chịu nén) của dầm;

I_{tr} - mômen quán tính xoắn của ray;

l_z - chiều dài chịu tải quy ước, được xác định theo công thức:

$$l_z = c \sqrt[3]{I_{lt} / t_w} \quad (4.42)$$

trong đó:

c - hệ số, lấy bằng 3,25 đối với dầm hàn và dầm cán; bằng 4,5 đối với dầm bulông cường độ cao;

I_{lt} - tổng các mômen quán tính bản thân của cánh dầm và của ray cầu trục hoặc là mômen quán tính chung của ray và cánh khi hàn ray bằng đường hàn đảm bảo sự làm việc đồng thời của ray và cánh;

M_t - mômen xoắn cục bộ, được xác định theo công thức:

$$M_t = P e + 0,75 V_t h_r$$

trong đó:

e - độ lệch tâm quy ước, lấy bằng 15 mm;

V_t - tải trọng ngang (lực xô) tính toán gây bởi sự nghiêng lệch của cầu trục và sự không song song của đường ray cầu trục lấy theo TCVN 2737 : 1995;

h_r - chiều cao của ray cầu trục.

Trong tất cả các công thức từ (4.37) đến (4.41) ứng suất lấy dấu dương.

b) Kiểm tra độ bền mỗi vùng trên của bụng dầm cầu trục hàn được tiến hành theo công thức:

$$0,5 \sqrt{\sigma_x^2 + 0,36 \tau_{xy}^2} + 0,4 \sigma_{cy} + 0,5 \sigma_{ty} \leq f_f \quad (4.43)$$

trong đó: f_f - cường độ tính toán về mỗi, với mọi mác thép lấy bằng: 75 N/mm² đối với vùng trên chịu nén của bản bụng (tiết diện tại nhịp dầm); 65 N/mm² đối với vùng trên chịu kéo của bản bụng (tại tiết diện gối của dầm liên tục).

Giá trị của các đại lượng trong công thức (4.43) được xác định theo phần 4.2.4a.

Khi tính toán theo điều kiện về mỏi với số chu kỳ của tải trọng $n_0 \geq 2 \cdot 10^6$, đường hàn liên kết cánh trên với bản bụng phải hàn thấu hết chiều dày bản bụng.

Các mép tự do của cánh chịu kéo của dầm cầu trục và các dầm sàn công tác chịu trực tiếp tải trọng di động phải được cán hoặc bào nhẵn.

Các kích thước của sườn cứng trong dầm cầu trục được lấy theo các quy định về quy cách của sườn gia cường cho bản bụng, mục 4.2.2.b, khi đó chiều rộng phần nhô ra của sườn hai bên bản bụng không được nhỏ hơn 90 mm. Sườn cứng ngang hai bên không cần hàn với cánh dầm, nhưng phải bào nhẵn và tì sát với cánh trên dầm. Trong các dầm cầu trục có chế độ làm việc nhẹ và trung bình cho phép dùng các sườn cứng ngang bố trí ở một bên bản bụng, hàn với bản bụng và cánh trên dầm, bố trí sườn theo các quy định về quy cách của sườn gia cường cho bản bụng, mục 4.2.2.b.

Khi kiểm tra độ bền của các dầm cầu trục treo, phải kể đến các ứng suất pháp cục bộ do áp lực của bánh xe cầu trục theo hướng dọc và ngang trục dầm.

4.3. CẦU KIẾN CHỊU NÉN ĐÚNG TÂM

Các trạng thái giới hạn của các cấu kiện cứng (ngắn) chịu nén được xác định bằng sự phát triển của biến dạng dẻo khi đạt ứng suất chảy, còn của các cấu kiện mảnh (dài) chịu nén - bằng sự mất ổn định.

Trong trường hợp này, tiết diện ngang của cấu kiện chịu nén đúng tâm chịu ứng suất nén đều.

4.3.1. Tính toán cấu kiện đặc

a) Tính toán bền

Tính toán về bền của cấu kiện đặc chịu nén đúng tâm tương tự như trường hợp cấu kiện chịu kéo đúng tâm. Việc tính toán cũng được tiến hành theo công thức (4.1a) và (4.1b), nhưng thay lực kéo đúng tâm bằng lực nén đúng tâm.

Khi tính toán về bền, các cấu kiện chịu nén đúng tâm cần phải kể đến đặc thù làm việc của thép khi chịu nén. Ví dụ, việc tính toán bền cấu kiện chịu nén đúng tâm có liên kết bulông cấp chính xác cao được phép thực hiện như với các cấu kiện không bị giảm yếu tiết diện tức là theo tiết diện nguyên A.

Với chiều dài của phần nhô ra của cấu kiện chịu nén (ví dụ, sườn gối tựa của dầm) thì tiết diện của nó được xác định bằng tính toán chịu ép mặt (khi có xà gồ gác lên) theo công thức (4.1a) nhưng thay f bằng f_c là cường độ tính toán chịu ép mặt.

b) Tính toán ổn định tổng thể

Tính toán ổn định tổng thể của cấu kiện đặc chịu nén đúng tâm theo công thức:

$$\frac{N}{\varphi A} \leq f_{\gamma_c} \quad (4.44)$$

trong đó: A - diện tích tiết diện nguyên;

φ - hệ số uốn dọc, phụ thuộc vào độ mảnh quy ước $\bar{\lambda} = \lambda \sqrt{\frac{f}{E}}$ được tính theo

các công thức:

$$\text{Khi } 0 < \bar{\lambda} \leq 2,5: \quad \varphi = 1 - \left(0,073 - 5,53 \frac{f}{E} \right) \bar{\lambda} \cdot \sqrt{\bar{\lambda}} \quad (4.45)$$

Khi $2,5 < \bar{\lambda} \leq 4,5$:

$$\varphi = 1,47 - 13,0 \frac{f}{E} - \left(0,371 - 27,3 \frac{f}{E} \right) \bar{\lambda} + \left(0,0275 - 5,53 \frac{f}{E} \right) \bar{\lambda}^2 \quad (4.46)$$

$$\text{Khi } \bar{\lambda} > 4,5: \quad \varphi = \frac{332}{\bar{\lambda}^2 (51 - \bar{\lambda})} \quad (4.47)$$

Các giá trị tính được của hệ số φ ứng với các dạng tiết diện khác nhau được lấy trung bình, làm tròn và cho trong bảng D.8 phụ lục D.

c) Kiểm tra ổn định bản bụng và bản cánh

Ổn định bản bụng của các cấu kiện đặc chịu nén đúng tâm (độ lệch tâm tương đối $m = 0$) được đảm bảo khi độ mảnh quy ước của bản bụng không vượt quá các giá trị giới hạn trong bảng 4.9

Với cột tiết diện chữ I, khi $[h_w/t_w] < h_w/t_w \leq 2 [h_w/t_w]$, thì khi kiểm tra ổn định cột chịu nén đúng tâm theo công thức (4.44) diện tích tiết diện A chỉ gồm diện tích của hai cánh và hai phần bản bụng tiếp giáp với hai cánh, mỗi phần rộng $h_{red}/2 = 0,5t_w[h_w/t_w]$ (hình 4.24):

$$A = 2A_f + 2 \cdot 0,5t_w[h_w/t_w]$$

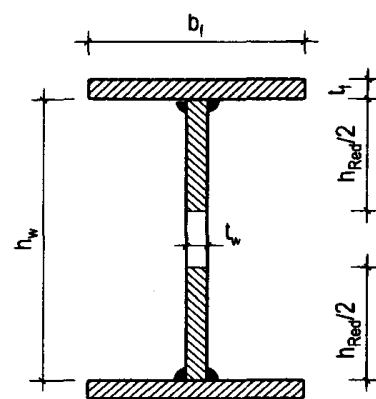
trong đó: A_f là diện tích tiết diện một bản cánh;

Khi bản bụng của cột đặc có $h_w/t_w \geq 2,3 \sqrt{E/f}$, thì phải gia cường bằng các sườn cứng ngang, đặt cách nhau một khoảng $(2,5 \div 3)h_w$. Trong trường hợp cột phải vận chuyển thì mỗi đoạn cột phải được gia cường không ít hơn 2 sườn. Nếu chỉ gia cường bản bụng bằng sườn cứng ngang thì kích thước của các sườn cứng ngang lấy như sau:

- Chiều rộng của sườn:

$$b_s \geq h_w/30 + 40 \text{ mm khi bố trí cặp sườn đối xứng;}$$

$$b_s \geq h_w/24 + 50 \text{ mm khi chỉ bố trí các sườn ở một bên của bản bụng.}$$



Hình 4.24. Diện tích tiết diện tính toán của cột chữ I

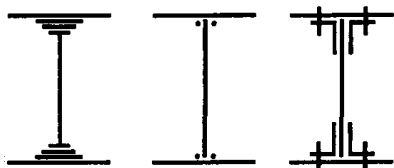
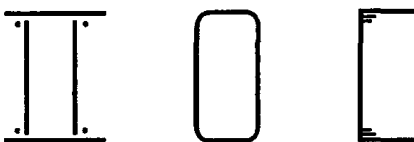

- Chiều dày của sườn: $t_s \geq 2b_s \sqrt{f/E}$.

Ổn định của bản cánh:

Khi kiểm tra ổn định bản cánh, chiều rộng tính toán b_0 của nó được lấy như đối với bản cánh dầm (xem hình 4.22).

Đối với cột chịu nén đúng tâm có độ mảnh quy ước $0,8 \leq \bar{\lambda} \leq 4$, tỉ số $[b_0/t_f]$ không được lớn hơn các giá trị ở bảng 4.10.

Bảng 4.9. Giá trị giới hạn $[h_w/t_w]$

Độ lệch tâm tương đối	Loại tiết diện cột	Giá trị $\bar{\lambda}$	Công thức tính $[h_w/t_w]$
m = 0		$\bar{\lambda} < 2,0$	$(1,3 + 0,15\bar{\lambda}^2) \sqrt{E/f}$
		$\bar{\lambda} \geq 2,0$	$(1,2 + 0,35\bar{\lambda}) \sqrt{E/f}$; nhưng không lớn hơn $2,3 \sqrt{E/f}$
		$\bar{\lambda} < 1,0$	$1,2 \sqrt{E/f}$
		$\bar{\lambda} \geq 1,0$	$(1,0 + 0,2\bar{\lambda}) \sqrt{E/f}$; nhưng không lớn hơn $1,6 \sqrt{E/f}$
		$\bar{\lambda} < 0,8$	$\sqrt{E/f}$
		$\bar{\lambda} \geq 0,8$	$(0,85 + 0,19\bar{\lambda}) \sqrt{E/f}$; nhưng không lớn hơn $1,6 \sqrt{E/f}$
<p>Ghi chú: $\bar{\lambda}$ - độ mảnh quy ước khi tính toán ổn định của cột chịu nén trung tâm; - Tiết diện hình hộp là các tiết diện kín (tổ hợp, uốn cong dạng chữ nhật hay vuông);</p>			

Bảng 4.10. Giá trị giới hạn của $[b_0/t_f]$

Đặc điểm của bản cánh và tiết diện	Giá trị $[b_0/t_f]$
Cánh của tiết diện chữ I và chữ T	$(0,36 + 0,10\bar{\lambda}) \sqrt{E/f}$
Thép góc đều cánh và định hình cong không viền bằng sườn (trừ tiết diện chữ L)	$(0,40 + 0,07\bar{\lambda}) \sqrt{E/f}$
Định hình cong có sườn viền	$(0,50 + 0,18\bar{\lambda}) \sqrt{E/f}$
Cánh lớn của thép góc không đều cánh và cánh của tiết diện chữ L	$(0,43 + 0,08\bar{\lambda}) \sqrt{E/f}$

Khi $\bar{\lambda} < 0,8$ hoặc $\bar{\lambda} > 4$ thì các công thức trong bảng 4.10 lấy tương ứng với $\bar{\lambda} = 0,8$ hoặc $\bar{\lambda} = 4$.

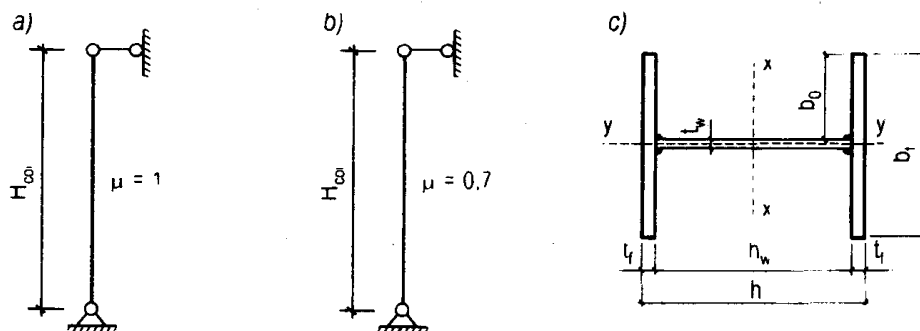
Trong cột chịu nén đúng tâm có tiết diện hình hộp, giá trị $[b_o / t_f]$ lấy theo bảng 4.8 như đối với bản bụng của tiết diện hình hộp

Khi tiết diện của cột chịu nén đúng tâm được chọn theo độ mảnh giới hạn thì giá trị của $[b_o / t_f]$ được tăng lên $\sqrt{f_{\phi_m} / \sigma}$ lần nhưng không lớn hơn 1,25 lần, trong đó ϕ_m lấy giá trị nhỏ nhất trong các giá trị của ϕ , ϕ_e , ϕ_{exy} , c_ϕ dùng khi kiểm tra ổn định của cột; còn $\sigma = N/A$

Ví dụ 4.7:

Chọn tiết diện thân cột đặc chịu nén đúng tâm. Liên kết đỉnh và chân cột là khớp, chịu tổng tải trọng tác dụng từ hai dầm chính là $N = 3250$ kN. Chiều dài tính toán của cột theo cả hai phương x và y là $l_0 = 6.873$ m. Thép làm cột CCT38 dày 20 mm, có $f = 23$ kN/cm².

Sơ đồ tính toán của cột thể hiện trên hình 4.25



Hình 4.25. Tính toán cột đặc chịu nén đúng tâm

Chọn trước độ mảnh của cột:

Theo kinh nghiệm, độ mảnh của cột có thể chọn trước như sau:

Nếu tải trọng đến 3000kN thì: $\lambda = 100 \div 70$

Nếu tải trọng từ 3000 kN đến 4000kN thì: $\lambda = 70 \div 50$

Nếu tải trọng trên 4000kN thì: $\lambda = 50 \div 40$

Trong ví dụ này, vì $N > 3000$ kN nên chọn $\lambda = 70$, tra bảng phụ lục E có $\phi = 0.76$.

- Xác định diện tích tiết diện yêu cầu theo công thức:

$$A_{\text{req}} = \frac{N}{\phi f \gamma_c} = \frac{3250}{0.76 \cdot 23 \cdot 1} = 185.9 \text{ cm}^2$$

- Tổ hợp tiết diện cột (như trên hình 4.25c)

- Xác định bán kính quán tính của tiết diện cột và xác định kích thước của tiết diện cột:

$$i_x = l_{0x} / \lambda, \quad i_y = l_{0y} / \lambda, \quad h = i_x / \alpha_x, \quad b = i_y / \alpha_y$$

trong đó: α_x và α_y - các hệ số để xác định bán kính quán tính (đối với một số tiết diện thường gặp, giá trị của các hệ số này cho trong bảng 4.11).

Bảng 4.11. Giá trị của các hệ số α_x và α_y đối với một số tiết diện

Tiết diện				
α_x α_y	0,42 0,24	0,49 0,32	0,40 0,32	0,58 0,32
Tiết diện				
α_x α_y	0,44 0,38	0,60 0,38	0,52 0,41	0,43 0,43

Trong ví dụ này, tiết diện cột là chữ I nên theo điều kiện hợp lý ta chọn:

$$h \approx b = \frac{l_y}{\alpha_y} = \frac{9,82}{0,24} = 40,9 \text{ cm}$$

trong đó: $i_y = \frac{l_{0,y}}{\lambda} = \frac{687,3}{70} = 9,82 \text{ cm}$; $\alpha_y = 0,24$ (lấy theo bảng 4.11).

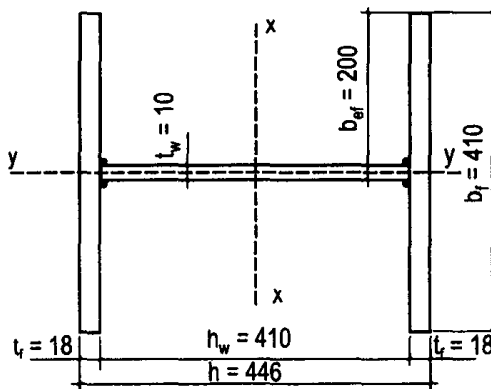
Chọn thép tấm làm bản bụng: 410×10 mm; bản cánh: 410×18 mm.

Diện tích tiết diện cột:

$$A = 1,0,41 + 2 \cdot 1,8,41 = 188,6 \text{ cm}^2 > A_{\text{req}} = 185,9 \text{ cm}^2.$$

Kiểm tra tiết diện:

Xác định các đặc trưng hình học của tiết diện (hình 4.26):

**Hình 4.26.** Tiết diện cột trong ví dụ 4.7

$$h = 410 + 2.18 = 446 \text{ mm.}$$

$$b_f = 410 \text{ mm;}$$

$$b_0 = \frac{410 - 10}{2} = 200 \text{ mm.}$$

$$I_y = \frac{2.1.8.41^3}{12} + \frac{41.1.0^3}{12} = 20679.72 \text{ cm}^4.$$

$$i_y = \sqrt{\frac{20679.72}{188.6}} = 10.47 \text{ cm.}$$

$$\lambda_y = \lambda_{\max} = \frac{l_0}{i_y} = \frac{687.3}{10.47} = 65.64 < [\lambda] = 120.$$

$$\bar{\lambda} = \lambda \sqrt{\frac{f}{E}} = 65.64 \cdot \sqrt{\frac{23}{21000}} = 2.172 > 2$$

Kiểm tra ổn định cục bộ các bản cánh và bản bụng cột theo công thức trong bảng 4.9 và 4.10

Bản cánh:

$$\frac{b_0}{t_f} = \frac{20}{1.8} = 11.11 < (0.36 + 0.1\bar{\lambda}) \sqrt{\frac{E}{f}} = (0.36 + 0.1 \cdot 2.172) \sqrt{\frac{21000}{23}} = 17.44$$

Bản bụng: $\frac{h_w}{t_w} = \frac{41}{1.0} = 41 < (1.2 + 0.35\bar{\lambda}) \sqrt{\frac{E}{f}} = (1.2 + 0.35 \cdot 2.172) \sqrt{\frac{21000}{23}}$

$$= 59.23 < \bar{\lambda} \sqrt{\frac{E}{f}} = 2.172 \cdot \sqrt{\frac{21000}{23}} = 65.63$$

Tiết diện cột đảm bảo ổn định cục bộ.

- Kiểm tra ổn định tổng thể cột theo công thức (4.37):

$$\frac{N}{\varphi_{\min} A f_{y_c}} = \frac{3250}{0.767 \cdot 188.6 \cdot 23.1} = 0.98 < 1$$

trong đó: $\varphi_{\min} = 0.767$ (tra phụ lục E).

Tiết diện cột đảm bảo ổn định tổng thể. Dự trữ không quá 2%.

4.3.2. Tính toán cấu kiện rỗng

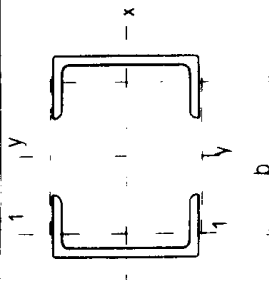
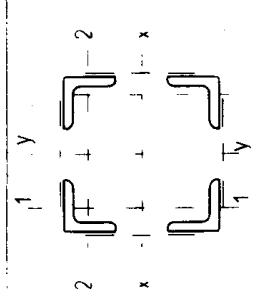
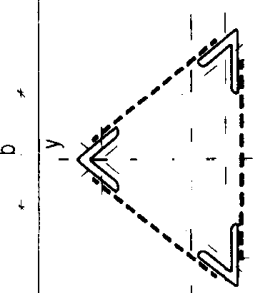
a) Tính toán bền

Tính toán bền cấu kiện rỗng chịu nén đúng tâm theo công thức (4.1 a,b).

b) Tính toán ổn định

Tính toán ổn định tổng thể cấu kiện rỗng chịu nén đúng tâm theo công thức (4.44), trong đó giá trị hệ số φ tính theo các công thức từ (4.45) đến (4.47), trong đó thay giá trị λ bằng độ mảnh tương đương quy ước λ_0 . Giá trị λ_0 tính theo bảng 4.12.

Bảng 4.12. Công thức tính độ mảnh tương đương của cấu kiện rỗng

Loại tiết diện	Số đồ nội diện	Độ mảnh tương đương λ_0		Với thanh giăng
		Với bản giăng khi		
		$l_b \text{ l } / (l_r \text{ b}) < 5$	$l_b \text{ l } / (l_r \text{ b}) \geq 5$	
1		$\lambda_{01} = \sqrt{\lambda_v^2 + 0.82\lambda_{r1}^2 (1 + n)}$	$(4.48) \quad \lambda_{01} = \sqrt{\lambda_v^2 + \lambda_{r1}^2} \quad (4.51) \quad \lambda_{01} = \sqrt{\lambda_v^2 + \alpha_1 \frac{A}{A_{d1}}} \quad (4.54)$	
2		$\lambda_{02} = \sqrt{\lambda^2 + 0.82[\lambda_{r1}^2 (1 + n_1) + \lambda_{r2}^2 (1 + n_2)]} \quad (4.49)$	$(4.52) \quad \lambda_{02} = \sqrt{\lambda^2 + \lambda_{r1}^2 + \lambda_{r2}^2} \quad (4.55) \quad \lambda_{02} = \sqrt{\lambda^2 + A \left(\frac{\alpha_1}{A_{d1}} + \frac{\alpha_2}{A_{d2}} \right)}$	
3		$\lambda_{03} = \sqrt{\lambda^2 + 0.82[\lambda_{r3}^2 (1 + 3n_1)]}$	$(4.50) \quad \lambda_{03} = \sqrt{\lambda^2 + 1.3\lambda_{r3}^2} \quad (4.53) \quad \lambda_{03} = \sqrt{\lambda^2 + \alpha_1 \frac{2A}{3A_d}} \quad (4.56)$	

Ghi chú: b - khoảng cách giữa trục của các nhánh;

l - khoảng cách giữa trọng tâm của các bản giằng;

λ - độ mảnh lớn nhất của thanh;

$\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ - độ mảnh của từng nhánh đối với các trục 1-1, 2-2, 3-3, tương ứng với chiều dài nhánh l_f , đối với cột hàn là khoảng cách giữa các mép gần nhau của hai bản giằng liên tiếp (hình 4.28,a), đối với cột bulông là khoảng cách giữa trọng tâm của hai bulông ngoài cùng của hai bản giằng liên tiếp (hình 4.28,b);

A - diện tích tiết diện toàn cột;

A_{d1}, A_{d2}, A_d - diện tích tiết diện các thanh xiên của hệ giằng (khi thanh giằng dạng chữ thập là diện tích của hai thanh) nằm trong các mặt phẳng thẳng góc với các trục tương ứng 1-1 và 2-2, hoặc nằm trong một mặt phẳng nhánh (đối với cột 3 nhánh);

α_1, α_2 - các hệ số, xác định theo công thức: $\alpha = 10 \frac{a^3}{b^2 l}$, trong đó: a, b, l lấy theo hình 4.27;

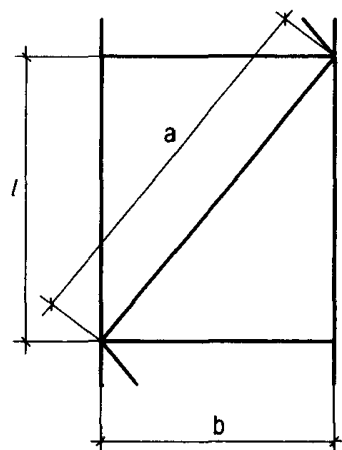
I_b - mômen quán tính của bản giằng đối với trục bản thân x-x (hình 4.28);

I_f - mômen quán tính của một nhánh lấy với trục 1-1 (tiết diện loại 1); 1-1 và 2-2 (tiết diện loại 2); 3-3 (tiết diện loại 3);

n, n_1, n_2, n_3 - tương ứng là các hệ số được xác định theo các công thức sau:

$$n = \frac{I_{f1} b}{I_b l}; \quad n_1 = \frac{I_{f1} b}{I_{b1} l};$$

$$n_2 = \frac{I_{f2} b}{I_{b2} l}; \quad n_3 = \frac{I_{f3} b}{I_b l};$$



Hình 4.27. Sơ đồ thanh giằng xiên

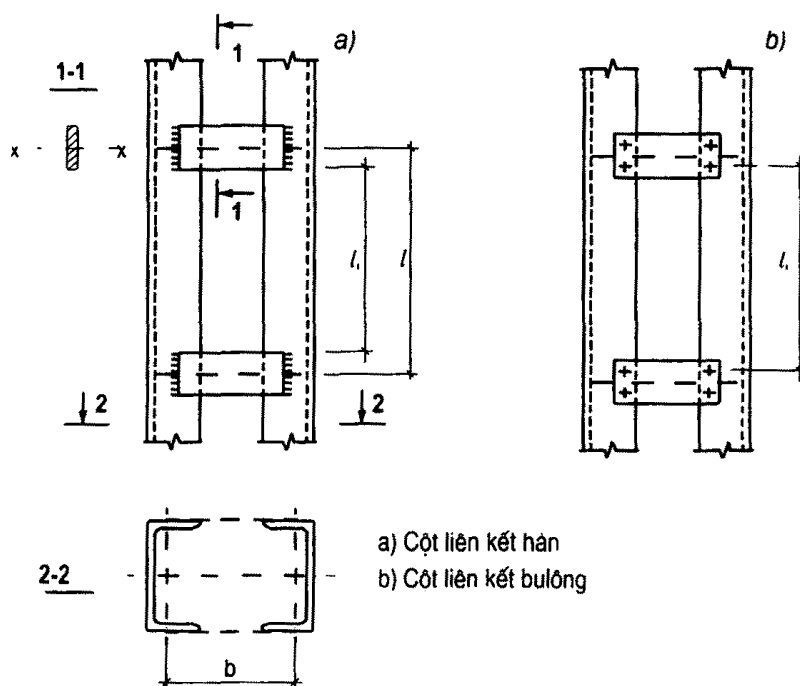
ở đây:

I_{f1} và I_{f3} - mômen quán tính của tiết diện từng nhánh lấy với trục tương ứng 1-1 và 3-3 (đối với tiết diện loại 1 và loại 3);

I_{f1} và I_{f2} - mômen quán tính của các tiết diện thép chữ I lấy với trục 1-1 và 2-2 (đối với tiết diện loại 1 và loại 2);

I_{b1} và I_{b2} - mômen quán tính của 1 bản giằng nằm tương ứng trong mặt phẳng vuông góc với trục các trục tương ứng 1-1 và 2-2 (đối với tiết diện loại 2).

Trong các cấu kiện rỗng bản giằng, độ mảnh quy ước của từng nhánh $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ (bảng 4.12) trong đoạn giữa các đường hàn hoặc hàng bulông ngoài cùng liên kết các bản giằng, không được lớn hơn 1,4.



Hình 4.28. Cột tổ hợp bằng hàn giằng

Ảnh hưởng của độ mềm của các cấu kiện liên kết đến sự giảm độ cứng của thanh rỗng chịu nén được kể đến trong tính toán bằng cách đưa vào độ mảnh tương đương λ_0 lớn hơn độ mảnh của thanh $\lambda_y = l/i_y$ được tính toán theo chiều dài hình học và bán kính quán tính $i_y = \sqrt{I_y / A}$ (trong đó I_y - mômen quán tính của tiết diện thanh đối với trục tự do (trục ảo) $y - y$, xem bảng 4.12, loại tiết diện 1).

Các công thức của bảng 4.12 (loại tiết diện 3) để xác định λ_0 cho các thanh rỗng ba mặt được thiết lập dựa trên việc xét sự mất ổn định của chúng trong các mặt phẳng $x - x$ và $y - y$ với giả thiết không có sự thay đổi khoảng cách giữa các nhánh của thanh khi uốn.

Với những thanh có bản giằng, độ mảnh của từng nhánh riêng rẽ λ_1, λ_2 và λ_3 phải ≤ 40 .

Trong tính toán kết cấu không gian rỗng, độ lệch tâm ban đầu thường được kể đến bằng hệ số φ trong công thức (4.44) khi lựa chọn tiết diện của toàn bộ thanh và khi kiểm tra ổn định từng nhánh riêng rẽ của nó. Đồng thời, khi tính toán khả năng chịu lực của hệ kết cấu không gian rỗng, sự tăng độ mảnh của từng khoảng giữa các nút, cũng như độ cong của thanh và từng khoảng giữa các nút riêng rẽ có ảnh hưởng đáng kể đến khả năng chịu lực của hệ. Vì vậy, trong 5.3.2.3 TCXDVN 338 : 2005 quy định hạn chế về giá trị của độ mảnh của các nhánh riêng giữa các nút là 80.

Đối với các cấu kiện tổ hợp từ các thanh thép góc, một thép $|$ (như thanh dầm, v.v...) bằng cách ghép sát nhau hoặc qua các bản đệm, các liên kết này phải đảm bảo được sự làm việc đồng thời của các thanh được ghép và sự phân phối lực dọc đều nhau giữa chúng. Khi đó, các thanh thép góc, thép $|$ đó sẽ được tính toán như thanh bụng đặc, khi khoảng tự do của nhánh l_f giữa các bản đệm không vượt quá:

- 40 i, đối với cấu kiện chịu nén (Khi đó, ảnh hưởng của lực dọc đến sự biến dạng của cấu kiện là không đáng kể);

- 80 i, đối với cấu kiện chịu kéo.

trong đó:

i - bán kính quán tính của một thép góc, thép I đối với trục song song với mặt phẳng của bản đệm; khi tiết diện thanh dạng chữ thập (gép từ hai thép góc) là bán kính quán tính nhỏ nhất của một thép góc.

Trong phạm vi chiều dài của thanh nén, cần đặt ít nhất hai bản đệm.

* *Tính toán bản giằng, thanh giằng*

Bản giằng, thanh giằng của cấu kiện tổ hợp được tính theo lực cắt quy ước V_f không đổi theo chiều dài thanh. V_f được tính theo công thức:

$$V_f = 7,15 \cdot 10^{-6} (2330 - E/f) N/\varphi \quad (4.57)$$

trong đó: N - lực nén tính toán trong thanh tổ hợp;

φ - hệ số uốn dọc của thanh tổ hợp xác định theo λ_0 .

Lực cắt quy ước V_f được phân phối như sau:

- Đối với tiết diện loại 1 và 2 (bảng 4.12), mỗi mặt phẳng chứa bản (thanh) giằng vuông góc với trục tính toán chịu một lực là $0,5 V_f$;

- Đối với tiết diện loại 3 (bảng 4.12) mỗi mặt phẳng bản (thanh) giằng chịu một lực bằng $0,8 V_f$.

Bản giằng và liên kết của nó với nhánh cột (hình 4.28) được tính theo các nội lực sau:

- Lực cắt trong bản: $T_b = V_s l/b \quad (4.58)$

- Mômen uốn trong bản: $M_b = V_s l/2 \quad (4.59)$

trong đó: V_s - lực cắt quy ước tác dụng vào bản của một nhánh.

Các thanh bụng trong các cấu kiện rỗng, cần phải tính đến nội lực phụ thêm trong các thanh xiên (do lực nén trong các thanh bụng) gây bởi lực cắt quy ước (hoặc lực cắt thực tế) V_f . Nội lực phụ này được tính theo công thức:

$$N_d = \alpha N_f \frac{A_d}{A_f} \quad (4.60)$$

trong đó: N_f - lực nén trong một nhánh;

A_f - diện tích tiết diện một nhánh;

A_d - diện tích tiết diện một thanh xiên;

α - hệ số, xác định theo công thức: $\alpha = a^2/(a^3 + 2b^3)$;

a, b, l - các kích thước, xác định theo hình 4.27.

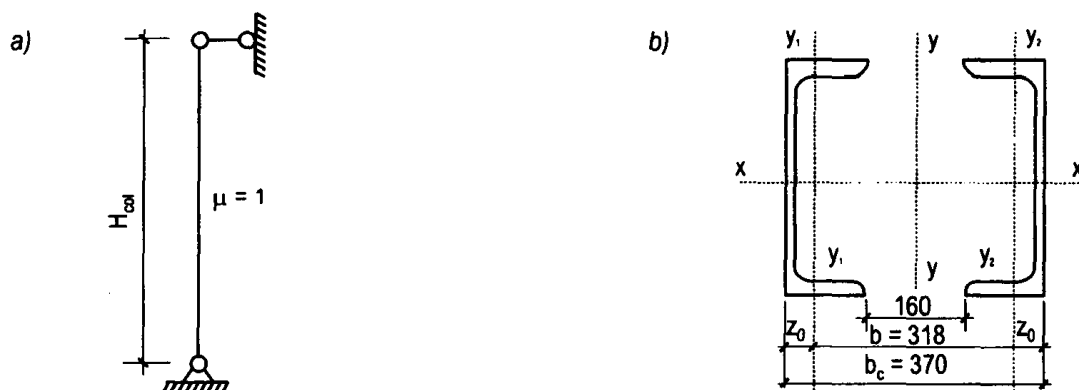
Đối với các thanh dầm để làm giảm chiều dài tính toán của các thanh chịu nén, việc tính toán cần phải tiến hành với nội lực V_f và được xác định bằng cách sử dụng số liệu trong bảng 4.12 và công thức (4.57) tùy thuộc vào lực dọc N và hệ số uốn dọc α đối với cấu kiện đỡ cơ bản.

Đối với các thanh giằng dầm để làm giảm chiều dài tính toán của cột theo hướng dọc nhà (vuông góc với mặt phẳng khung ngang), khi có tải trọng do cầu trục, được phép tính toán theo lực xác định theo công thức (4.57), trong đó giá trị N được lấy bằng tổng của lực dọc trong 2 cột liền kề nhau.

Ví dụ 4.8:

Yêu cầu chọn tiết diện cột rỗng chịu nén đúng tâm, liên kết ở chân cột và đỉnh cột là khớp. Tải trọng tác dụng $N = 1800 \text{ kN}$. Chiều dài tính toán của cột theo hai phương $l_{ox} = l_{oy} = 6,78 \text{ m}$.

- Sơ đồ tính toán cột như hình 4.29.



Hình 4.29. Sơ đồ tính toán và tiết diện cột trong ví dụ 4.8

a) Sơ đồ tính toán; b) Tiết diện cột

- Sử dụng thép XCT38 dày tới 20mm. Tra bảng A.1 và A.6 phụ lục A có $f = 23 \text{ kN/cm}^2$. Chọn sơ bộ độ mảnh của cột $\lambda = 50$ (Vì $N < 2000 \text{ kN}$). Tra bảng D.8 phụ lục D được $\varphi = 0,856$.

Diện tích tiết diện yêu cầu của tiết diện toàn cột được xác định theo công thức:

$$A_{\text{req}} = \frac{N}{\varphi f \gamma_c} = \frac{1800}{0,856 \cdot 23 \cdot 1} = 91,4 \text{ cm}^2$$

Diện tích của tiết diện một nhánh:

$$A_{\text{b,req}} = \frac{A_{\text{req}}}{2} = \frac{91,4}{2} = 45,7 \text{ cm}^2.$$

Theo bảng thép định hình trong bảng H.3 phụ lục H chọn tiết diện từ hai chữ C33 có:

$$A = 46,5 \text{ cm}^2; h = 330 \text{ mm}; b = 105 \text{ mm}; z_0 = 25,9 \text{ mm};$$

$$I_x = 7980 \text{ cm}^4; I_y = 410 \text{ cm}^4; i_x = 13,1 \text{ cm}; i_y = 2,97 \text{ cm}.$$

Diện tích tiết diện cột: $A = 2 \cdot 46,5 = 93 \text{ cm}^2 > A_{\text{eq}} = 91,4 \text{ cm}^2$.

Xác định độ mảnh của cột:

$$\lambda_x = \frac{l_{0x}}{i_x} = \frac{678}{13,1} = 52 < [\lambda] = 120$$

Kiểm tra ổn định cột đối với trục thực x-x trên hình 4.28 theo công thức:

$$\frac{N}{\varphi_x A f_{y_c}} = \frac{1800}{0,847 \cdot 93 \cdot 23 \cdot 1} = 0,99 < 1$$

trong đó: $\varphi_x = 0,847$ (Tra bảng D.8 phụ lục D).

Cột đảm bảo ổn định.

- Liên kết các nhánh cột bằng giằng.

Chọn độ mảnh của một nhánh $\lambda_f = 30$. Phải lưu ý rằng $\lambda_f < \lambda_{y,req}$, nếu không thì sự mất ổn định của nhánh xảy ra sớm hơn của cột.

Tính: $\lambda_{y,req} = \sqrt{\lambda_x^2 - \lambda_f^2} = \sqrt{52^2 - 30^2} = 42,5$

Xác định khoảng cách giữa các nhánh:

Trước tiên tính:

$$l_{y,req} = \frac{l_{0,y}}{\lambda_{y,req}} = \frac{678}{42,5} = 15,95 \text{ cm}$$

Vậy: $b_{req} = \frac{l_{y,req}}{\alpha_y} = \frac{15,95}{0,44} = 36,25 \text{ cm}$

trong đó: $\alpha_y = 0,44$ (theo bảng 4.11).

Chọn $b_c = 37 \text{ cm}$.

Kiểm tra khoảng cách tối thiểu thông thủy giữa hai nhánh theo yêu cầu cấu tạo và chế tạo:

$370 - 2 \cdot 105 = 160$ thỏa mãn $> 150 \text{ mm}$ là khoảng thông thủy tối thiểu. Khoảng cách thông thủy đảm bảo.

- Xác định khoảng cách giữa các bản giằng: $L_f = i_b \cdot \lambda_f = 2,97 \cdot 30 = 89,1 \text{ cm}$.

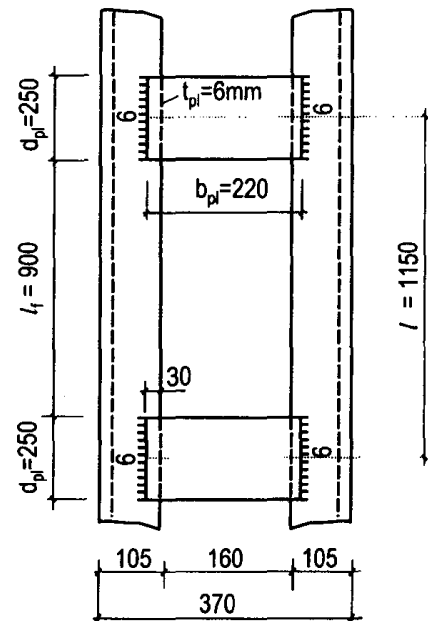
Chọn $l_f = 90 \text{ cm}$. Chiều cao bản giằng d_{pl} nên lựa chọn trong khoảng $(0,5 \div 0,75)b_c = 18,5 \div 27,75 \text{ cm}$.

Lấy $d_{pl} = 25 \text{ cm}$. Khi đó, khoảng cách giữa trục các bản giằng (hình 4.30):

$$l = l_f + d_{pl} = 90 + 25 = 115 \text{ cm}.$$

Lực cắt quy ước được xác định theo công thức (4.57):

$$V_f = 7,15 \cdot 10^{-6} \left(2330 - \frac{21000}{23} \right) \frac{1800}{0,847} = 22,58 \text{ kN}$$



Hình 4.30. Bố trí bản giằng trong ví dụ 4.8

Lực cắt và mô men tác dụng vào bản giằng xác định theo công thức:

$$T = \frac{V_f l}{2b} = \frac{22,58 \cdot 115}{2 \cdot 31,8} = 40,83 \text{ kN}$$

$$M = \frac{V_f l}{4} = \frac{22,58 \cdot 115}{4} = 649,18 \text{ kN.cm}$$

trong đó: $b = b_c - 2 \cdot z_0 = 370 - 2 \cdot 25,9 = 318 \text{ mm}$ (xem hình 4.29).

Chiều dày bản giằng t_{pl} lấy không nhỏ hơn 6 mm. Chọn $t_{pl} = 6 \text{ mm}$

Kiểm tra độ bền của bản giằng chịu uốn:

$$\frac{6M}{t_{pl} d_{pl}^2 f_{\gamma c}} = \frac{6 \cdot 649,18}{0,6 \cdot 25^2 \cdot 23 \cdot 1} = 0,452 < 1$$

Bản giằng được liên kết với các nhánh cột bằng các đường hàn góc, sử dụng que hàn N42 theo TCVN 3223 : 1994 có cường độ tính toán của kim loại đường hàn $f_{wt} = 18 \text{ kN/cm}^2$.

Chọn trước chiều cao đường hàn bằng chiều dày bản giằng: $h_f = t_{pl} = 6 \text{ mm}$.

Kiểm tra độ bền đường hàn theo công thức:

$$\tau_w = \frac{T}{\beta_f h_f l_w} = \frac{40,83}{0,7 \cdot 0,6 \cdot 24} = 4,05 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_w = \frac{6M}{\beta_f h_f l_w^2} = \frac{6 \cdot 649,18}{0,7 \cdot 0,6 \cdot 24^2} = 16,1 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma = \sqrt{\tau_w^2 + \sigma_w^2} = \sqrt{4,05^2 + 16,1^2} = 16,6 \text{ kN/cm}^2 < f \cdot \gamma_c = 18 \cdot 1,0 = 18 \text{ kN/cm}^2$$

trong đó: $l_w = d - l = 25 - 1 = 24 \text{ cm} < 85 \beta_f h_f = 85 \cdot 0,7 \cdot 0,6 = 35,7 \text{ cm}$ (dùng phương pháp hàn tay có $\beta_f = 0,7$).

Độ bền đường hàn đảm bảo.

- Xác định độ mảnh của cột và kiểm tra ổn định cột đối với trục ảo y-y.

Trước tiên tính tỉ số: $\frac{I_b}{I_f b}$

trong đó:
$$I_b = \frac{t_{pl} d^3}{12} = \frac{0,6 \cdot 25^3}{12} = 781,25 \text{ cm}^4$$

Với I_b - mômen quán tính của bản giằng đối với trục bản thân;

I_f - mômen quán tính của nhánh đối với trục $y_1 - y_1$: $I_f = 410 \text{ cm}^4$; $l = 115 \text{ cm}$; $b = 31,8 \text{ cm}$

Vậy:
$$\frac{I_b l}{I_f b} = \frac{781,25 \cdot 115}{410 \cdot 31,8} = 6,89 > 5$$

Nên độ mảnh tương đương của cột được xác định theo công thức:

$$\lambda_0 = \sqrt{\lambda_y^2 + \lambda_f^2}$$

Với λ_f độ mảnh của nhánh: $\lambda_f = \frac{l_f}{i_f} = \frac{90}{2,97} = 30,3$

i_f - bán kính quán tính của nhánh đối với trục $y_1 - y_1$: $i_f = 2,97$

Ta có: $i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{24331}{93}} = 16,2\text{cm}$ (I_y là bán kính quán tính của tiết diện đối với trục $y - y$).

Vậy: $\lambda_y = \frac{l_{oy}}{i_y} = \frac{678}{16,2} = 41,85$

Độ mảnh tương đương của cột là: $\lambda_0 = \sqrt{\lambda_y^2 + \lambda_f^2} = \sqrt{41,85^2 + 30,3^2} \approx 52$

Vì $\lambda_0 \approx 52 = \lambda_x$, nên cột ổn định so với trục áo.

4.4. CẤU KIỆN CHỊU NÉN UỐN, KÉO UỐN

4.4.1. Tính toán bền

a) Tiết diện đặc

Tính toán về bền cấu kiện chịu nén lệch tâm, nén uốn, kéo lệch tâm, kéo uốn, làm bằng thép có giới hạn chảy $f_y \leq 530 \text{ N/mm}^2$, không chịu trực tiếp tác dụng của tải trọng động, khi $\tau \leq 0,5 f_v$ và $N/(A_n f) > 0,1$ được thực hiện theo công thức:

$$\left(\frac{N}{A_n f_{\gamma_c}} \right)^{n_c} + \frac{M_x}{c_x W_{nx, \min} f_{\gamma_c}} + \frac{M_y}{c_y W_{ny, \min} f_{\gamma_c}} \leq 1 \quad (4.61)$$

trong đó: N, M_x, M_y - là giá trị tuyệt đối tương ứng của lực dọc, mômen uốn của tổ hợp nội lực bất lợi nhất;

n_c, c_x, c_y - các hệ số, lấy theo phụ lục C.

Nếu $\frac{N}{A_n f} \leq 0,1$ thì chỉ được dùng công thức (4.61) khi thoả mãn các yêu cầu:

Tỷ số $b_0 / t_f \leq [b_0 / t_f]$ và phần nhô ra a_0 của mép viền định hình cong (hình 4.21) phải thoả mãn các quy định nêu trong mục 4.2.2 (thoả mãn điều 5.6.3.2 TCXDVN 338: 2005).

Trong các trường hợp khác, tính toán về bền theo công thức:

$$\frac{N}{A_n} \pm \frac{M_x}{I_{nx}} y \pm \frac{M_y}{I_{ny}} x \leq f_{\gamma_c} \quad (4.62)$$

trong đó: x, y - các toạ độ của thớ đang xét đối với các trục chính của tiết diện.

Không cần tính toán về độ bền của cấu kiện chịu nén lệch tâm, nén uốn đồng thời, khi độ lệch tâm tương đối tính đối $m_e \leq 20$, tiết diện không bị giảm yếu và giá trị của mômen uốn để tính bền và ổn định là như nhau. Giá trị m_e được tính như sau:

$$m_e = \eta m \quad (4.63)$$

trong đó:

η - hệ số ảnh hưởng hình dạng tiết diện kể đến sự phát triển của biến dạng dẻo, lấy theo bảng D.9, phụ lục D, các thanh có dạng tiết diện khác nhau, theo giá trị giới hạn của lực N_{cr} , quy về thanh có tiết diện chữ nhật (có $\eta = 1$) với cùng độ mảnh λ ;

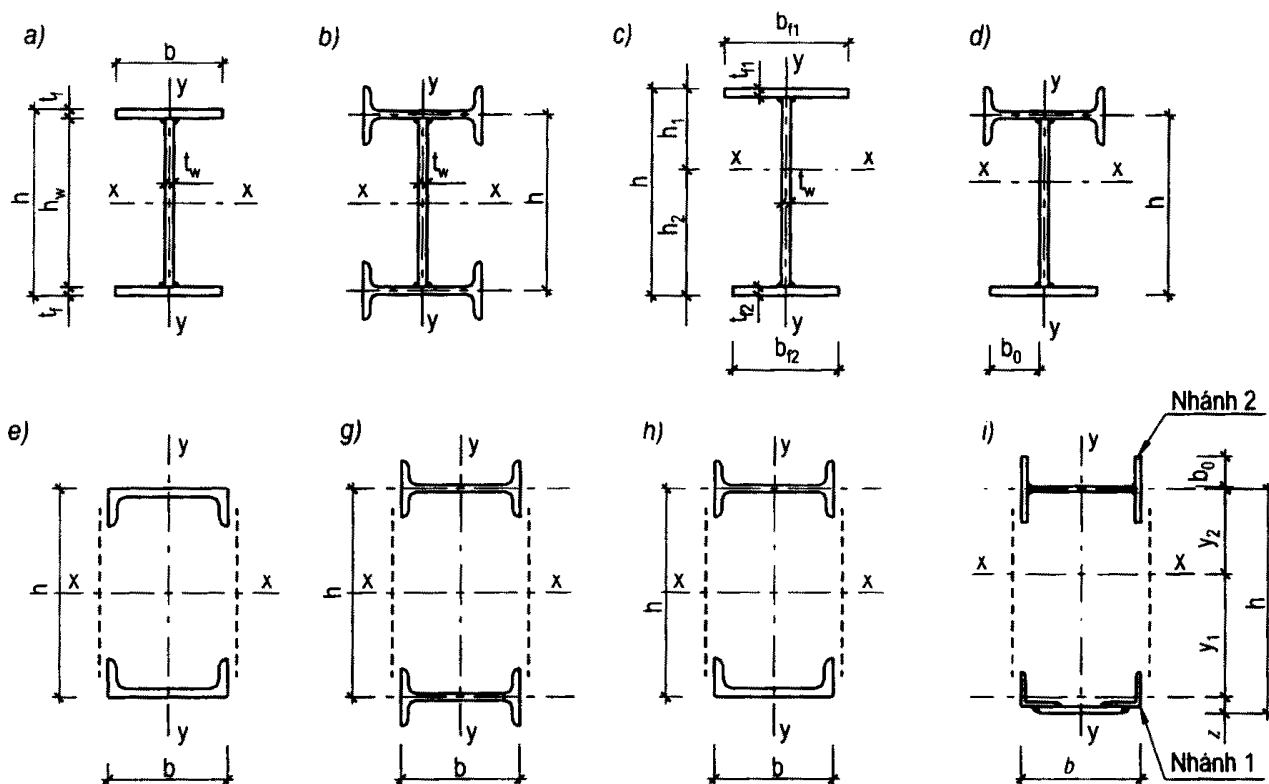
$m = \frac{eA}{W_c}$ - độ lệch tâm tương đối ($e = M/N$ là độ lệch tâm, giá trị của M và N lấy

theo quy định trong mục 4.4.2a;

W_c - môđun chống uốn của thớ chịu nén lớn nhất của tiết diện).

b) Tiết diện rỗng

Trong mục này chỉ xét cột (và các đoạn cột bậc) rỗng hai nhánh có tiết diện không đối, chịu uốn quanh trục ảo ($x - x$). Các trường hợp khác có thể tiến hành tương tự với các đặc thù riêng của cột. Hình 4.31 giới thiệu một số dạng tiết diện của cột nén lệch tâm.



Hình 4.31. Các dạng tiết diện cột nén lệch tâm

Cột được tính toán với các cặp nội lực mômen và lực dọc nguy hiểm nhất. Tùy theo thực tế, cột có thể chỉ chịu một cặp nội lực (M_x , N) nguy hiểm, song có thể là hai cặp nội lực (M_1 , N_1 và M_2 , N_2 ; M_1 ngược dấu với M_2), mỗi cặp gây nguy hiểm cho một nhánh cột

Mômen uốn và lực dọc của cột gây ra nội lực dọc trong các nhánh cột. Để xác định nội lực dọc này, xem cột như một dầm có cánh song song.

Trường hợp cột chỉ chịu M_x và N , nội lực trong các nhánh cột xác định theo công thức sau:

$$N_f = \frac{N \cdot y}{h_0} \pm \frac{M_x}{h_0} \quad (4.64)$$

trong đó: h_0 - khoảng cách trọng tâm hai nhánh;

y - khoảng cách từ trọng tâm toàn tiết diện đến trọng tâm nhánh đối diện với nhánh khảo sát (là y_1 hoặc y_2 trên hình 4.31i).

Trong công thức (4.64) lấy dấu “+” khi M_x gây nén cho nhánh và ngược lại.

Trường hợp cột chịu M_1 , N_1 và M_2 , N_2 (M_1 ngược dấu với M_2), trong đó M_1 gây nén cho nhánh 1, M_2 gây nén cho nhánh 2, nội lực dọc trong các nhánh là:

$$N_{f1} = \frac{N_1 \cdot y_2}{h_0} + \frac{M_1}{h_0}; \quad (4.65)$$

$$N_{f2} = \frac{N_2 \cdot y_1}{h_0} + \frac{M_2}{h_0}; \quad (4.66)$$

trong đó: N_{f1} và N_{f2} - lực dọc trong nhánh 1 và nhánh 2 của cột

y_1 và y_2 - khoảng cách từ trọng tâm toàn tiết diện đến trọng tâm nhánh 1 và nhánh 2 (xem hình 4.31i).

Đối với cột rỗng có bán giảng, khi chịu mômen uốn quanh trục ảo các nhánh cột ngoài lực dọc (N_f hoặc N_{f1} , N_{f2}) còn có mômen uốn phụ quanh trục x_0 của nhánh (song song với trục ảo), do lực cắt V gây ra:

Với cột hai nhánh như nhau, mômen uốn phụ này là

$$M_f = \frac{V}{4} \cdot I \quad (4.67)$$

Với cột có nhánh 1 khác nhánh 2, mômen uốn phụ của nhánh 1 (M_{f1}) và của nhánh 2 (M_{f2}) gần đúng lấy là:

$$M_{f1} = \frac{V \cdot A_{f1}}{2A} \cdot I; \quad M_{f2} = \frac{V \cdot A_{f2}}{2A} \cdot I \quad (4.68)$$

trong đó: l - khoảng cách tâm các bản giằng;

A_{f1}, A_{f2}, A - diện tích tiết diện nhánh 1, nhánh 2 và toàn cột.

Phải tính toán kiểm tra theo điều kiện bền đối với cột rỗng chịu nén lệch tâm khi trên các nhánh cột có sự giảm yếu tiết diện hoặc khi cột có độ lệch tâm tương đối $m > 20$. Việc tính toán này được thực hiện riêng cho từng nhánh.

Đối với cột rỗng thanh giằng chịu nén lệch tâm, các nhánh được kiểm tra bền như một cột đặc chịu nén đúng tâm theo công thức (4.44) với lực dọc N_f hoặc N_{f1}, N_{f2} .

Đối với cột rỗng bản giằng chịu nén lệch tâm có mômen uốn quanh trục ảo ($x - x$), các nhánh được kiểm tra về bền như một cột đặc chịu nén lệch tâm theo công thức (4.61) hoặc (4.62) với nội lực N_f, M_f hoặc N_{f1}, M_{f1} và N_{f2}, M_{f2} .

* *Xác định kích thước của thân cột rỗng chịu nén lệch tâm, nén uốn*

- Chọn dạng và kích thước chính h, b của tiết diện

Dạng tiết diện cột có thể chọn là dạng đối xứng hay không đối xứng tùy theo các điều kiện cụ thể.

Sau đây xét cho cột hai nhánh dạng tiết diện không đối xứng và cột chỉ chịu uốn quanh trục ảo. Tiết diện cột có trục thực ($y - y$) là trục đối xứng, trục ảo ($x - x$) là trục không đối xứng. Xem như đã có l_x, l_y và các cặp nội lực nguy hiểm nhất cho cột là N_1, M_1 và N_1, M_2 (M_1 ngược dấu M_2).

Để đảm bảo yêu cầu về độ cứng của cột, chiều cao h và bề rộng b của tiết diện cột được chọn sơ bộ theo kinh nghiệm là:

$$h = \left(\frac{1}{8} \div \frac{1}{14} \right) \cdot l_c \quad (4.69)$$

$$b = \left(\frac{1}{20} \div \frac{1}{30} \right) \cdot l_c \quad \text{và} \quad b = (0,3 \div 0,5)h \quad (4.70)$$

Với l_c là chiều cao của cột.

- Chọn tiết diện nhánh

Nội lực dọc N_{f1}, N_{f2} trong các nhánh xác định theo công thức (4.65) và (4.66), trong đó khoảng cách y_1 từ trọng tâm toàn tiết diện đến trọng tâm nhánh 1 và y_2 đến trọng tâm nhánh 2 xác định gần đúng như sau:

$$y_1 = (0,4 \div 0,6) \cdot h_0; y_2 = h_0 - y_1 \quad (4.71)$$

$$\text{Hoặc} \quad y_1^2 - \left(\frac{M_1 + M_2}{N_1 - N_2} + h_0 \right) y_1 + \frac{M_2 h_0}{N_1 - N_2} = 0 \quad (4.72)$$

Nếu $N_1 = N_2$ thì xác định y_1 theo công thức sau:

$$y_1 = \frac{M_2}{M_1 + M_2} h_0 \quad (4.73)$$

Ở đây gần đúng lấy $h_0 \approx h$.

Cột rỗng thanh giằng các nhánh được xác định như cột đặc chịu nén đúng tâm, với N_{f1}, N_{f2} .

Cột rỗng bản giằng các nhánh được xác định như cột đặc chịu nén lệch tâm, với N_{f1}, M_{f1} và N_{f2}, M_{f2} , trong đó N_{f1}, N_{f2}, M_{f1} và M_{f2} xác định như trên.

- Tính toán thanh bụng và bản giằng:

Các thanh bụng hay bản giằng của cột được tính toán và kiểm tra với nội lực sinh ra do lực cắt bằng giá trị lớn hơn trong hai lực cắt sau: Lực cắt quy ước V_f xác định theo công thức (4.57) và lực cắt thực tế V .

Việc tính toán các thanh bụng, các bản giằng cũng như tính toán liên kết giữa chúng với nhánh cột được tiến hành như đã trình bày ở phần cột rỗng hai nhánh chịu nén đúng tâm với giá trị lực cắt nêu trên.

Ví dụ 4.9:

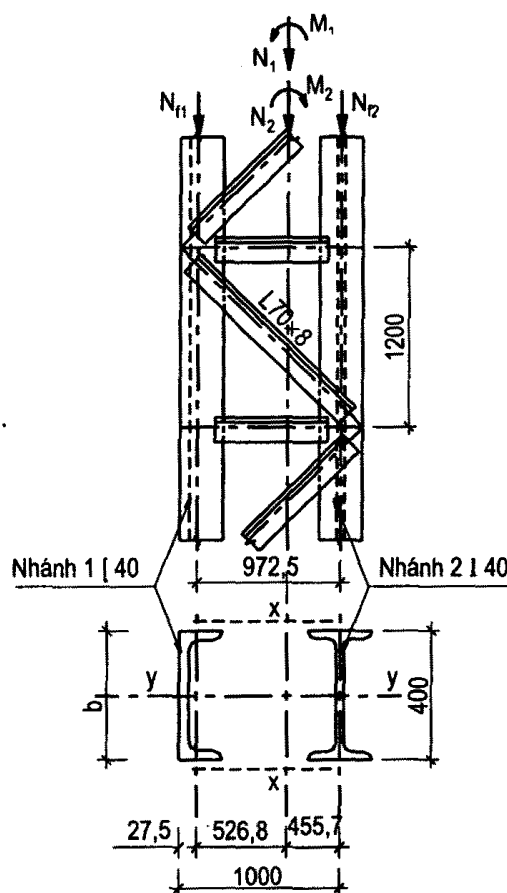
Chọn tiết diện cột rỗng thanh giằng hai nhánh có các tổ hợp nội lực nguy hiểm cho cột và cho nhánh 1 là $M_1 = 710 \text{ kNm}$, $N_1 = 950 \text{ kN}$; cho nhánh 2 là $M_2 = 766,5 \text{ kNm}$, $N_2 = 1095 \text{ kN}$ và lực cắt $V = 105 \text{ kN}$ (M_1 ngược dấu với M_2 xem hình 4.32). Cột dài 10,8 m. Chiều dài tính toán của cột đã được xác định: $l_x = 2160 \text{ cm}$, $l_y = 540 \text{ cm}$. Trục x là trục ảo, mômen uốn xoay quanh trục ảo. Hai nhánh làm bằng thép hình cán và thanh bụng làm bằng một thép góc. Vật liệu làm cột là thép CT38s. Hệ số điều kiện làm việc của cột γ_c , của thanh bụng $\gamma_c = 0,75$.

1) Xác định dạng và chiều cao h của tiết diện

Chọn tiết diện không đối xứng như hình 4.32, theo yêu cầu độ cứng $(\frac{1}{14} \leq \frac{h}{l} \leq \frac{1}{8})$ chọn $h = 100 \text{ cm}$

2) Xác định nhánh

- Xác định gần đúng khoảng cách y_1 từ trọng tâm toàn tiết diện đến trọng tâm nhánh 1 và y_2 đến trọng tâm nhánh 2 như sau:



Hình 4.32. Thân cột của ví dụ 4.9

- Gần đúng lấy $h_0 \approx h = 1$ m, theo công thức (4.72) có

$$y_1^2 - \left(\frac{M_1 + M_2}{N_1 - N_2} + h_0 \right) y_1 + \frac{M_2 h_0}{N_1 - N_2} = 0$$

$$y_1^2 - \left(\frac{766,5 + 710}{950 - 1095} \right) y_1 + \frac{766,5}{950 - 1095} \cdot 1 = 0$$

$$y_1^2 + 9,183 y_1 + 5,286 = 0$$

Giải phương trình trên ta được: $y_1 = 0,54$ m và $y_2 = 1 - 0,54 = 0,46$ m

- Theo các công thức (4.65) và (4.66) ta có:

$$N_{f1} = \frac{950}{1} \cdot 0,46 + \frac{710}{1} = 1147 \text{ kN}$$

$$N_{f2} = \frac{1095}{1} \cdot 0,54 + \frac{766,5}{1} = 1357,8 \text{ kN}$$

- Theo công thức (4.44) có diện tích yêu cầu các nhánh như sau, trong đó sơ bộ lấy $\varphi = 0,88$ (có thể giả thiết độ mảnh lớn nhất của nhánh để tìm ra φ như ở phần cột đặc chịu nén đúng tâm), thép cán mác CT38s có $f = 23 \text{ kN/cm}^2$

$$A_{f1} = \frac{N_{f1}}{\varphi f \gamma_c} = \frac{1147}{0,88 \cdot 23} = 56,67 \text{ cm}^2$$

$$A_{f2} = \frac{N_{f2}}{\varphi f \gamma_c} = \frac{1358}{0,88 \cdot 23} = 67,09 \text{ cm}^2$$

- Theo yêu cầu độ cứng $\left(\frac{1}{30} \leq \frac{b}{l} \leq \frac{1}{20} \right)$ chọn bề rộng cột (bề cao tiết diện nhánh) là $b = 40$ cm, và chọn các nhánh như sau:

- Nhánh 1 là [40 có: $A_{f1} = 61,5 \text{ cm}^2$; $I_{y(1)} = 15220 \text{ cm}^4$; $i_{y(1)} = 15,7 \text{ cm}$:

$$I_{x(1)} = 642 \text{ cm}^4; \quad i_{x(1)} = 3,23 \text{ cm}; \quad Z_1 = 2,75 \text{ cm}$$

- Nhánh 2 là I40 có: $A_{f2} = 72,7 \text{ cm}^2$; $I_{y(2)} = 19062 \text{ cm}^4$.

$$i_{y(2)} = 16,2 \text{ cm}; \quad I_{x(2)} = 667 \text{ cm}^4; \quad i_{x(2)} = 3,03 \text{ cm}$$

3) Xác định h_0 , y_1 , y_2 , I_x và độ mảnh của cột theo trục ảo

$$h_0 = 100 - 2,75 = 97,25 \text{ cm}; \quad A = 61,5 + 72,7 = 134,2 \text{ cm}^2$$

$$y_1 = \frac{A_{nh2}}{A} \cdot h_0 = \frac{72,7}{134,2} \cdot 97,25 = 52,68 \text{ cm}$$

$$y_2 = h_0 - y_1 = 97,25 - 52,68 = 45,57 \text{ cm}$$

$$I_x = \sum_{i=1}^2 I_{x(0,i)} + \sum_{i=1}^2 y_i^2 A_{f,i} =$$

$$= 642 + 667 + 52,68^2 \cdot 61,5 + 45,57^2 \cdot 72,7 = 322953 \text{ cm}^4$$

$$i_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}} = \sqrt{\frac{322953}{134,2}} = 49 \text{ cm}$$

$$\lambda_x = \frac{l_x}{i_x} = \frac{2160}{49} = 44$$

$$\alpha = \frac{\pi^2 l_d^3}{h_0^2 a} = \frac{3,14^2 \cdot 154,5^3}{97,25^2 \cdot 120} = 31,9$$

$$\lambda_0 = \sqrt{\lambda_x^2 + \alpha \cdot \frac{A}{A_d}} = \sqrt{44^2 + 31,9 \cdot \frac{134,2}{2 \cdot 10,7}} = 46,22 < [\lambda] = 120$$

$$\bar{\lambda}_0 = \lambda_0 \sqrt{\frac{f}{E}} = 46,22 \sqrt{\frac{23}{2,1 \cdot 10^4}} = 1,53$$

4) Xác định hệ thanh bụng

- Bố trí hệ thanh bụng như hình 4.32, khoảng cách nút $l = 120$ cm, chiều dài thanh xiên

$$l_d = \sqrt{l^2 + h_0^2} = 154,5 \text{ cm}$$

- Chọn thanh bụng xiên là một thép góc L70x8 có: $A_t = 10,7 \text{ cm}^2$, $i_{\min} = 1,37 \text{ cm}$.

- Nội lực nén trong thanh bụng xiên do lực cắt thực tế V

$$N_d = \frac{V}{2 \sin \theta} = \frac{105 \cdot 154,5}{2 \cdot 97,25} = 83,4 \text{ kN}$$

- Kiểm tra thanh bụng:

Kiểm tra độ mảnh:
$$\lambda_{\max} = \frac{l_d}{i_{\min}} = \frac{154,5}{1,37} = 113 < [\lambda] = 150$$

Kiểm tra khả năng chịu lực: Tra bảng hệ số ϕ ở phần phụ lục theo $\lambda_{\max} = 113$ và $f = 230 \text{ N/mm}^2$ được $\phi_{\min} = 0,475$, vậy có:

$$\frac{N_d}{\gamma_c \phi_{\min} A_t} = \frac{83,4}{0,75 \cdot 0,475 \cdot 10,7} = 21,9 < f = 23 \text{ kN/cm}^2$$

- Kiểm tra lực cắt quy ước:

Từ $\lambda_0 = 46,22$ và $f = 230 \text{ N/km}^2$ tra bảng hệ số ϕ ở phần phụ lục có $\phi = 0,872$ và theo (4.57) có lực cắt quy ước của cột là:

$$V_f = 7,15 \cdot 10^{-6} \left(2330 - \frac{2,1 \cdot 10^4}{23} \right) \cdot \frac{1095}{0,872} = 12,72 \text{ kN} < V = 105 \text{ kN}$$

Vậy không phải tính lại thanh bụng xiên và độ mảnh tương đương λ_0

5) Kiểm tra tiết diện cột đã chọn (hình 4.32)

a) Kiểm tra nhánh chính

- Nhánh 1:
$$N_{f1} = \left(\frac{950}{97,25} \right) \cdot 45,57 + \frac{71000}{97,25} = 1175,23 \text{ kN}$$

$$\lambda_{y(1)} = \frac{540}{15,7} = 34,4; \quad \lambda_{x(1)} = \frac{l_f}{i_{x(1)}} = \frac{120}{3,23} = 37,2$$

$$\lambda_{max} = 37,2 < [\lambda] = 120$$

Tra bảng hệ số φ ở phần phụ lục theo $\lambda_{max} = 37,2$ và $f = 230\text{N/mm}^2$ được $\varphi_{min} = 0,907$ vậy có

$$\frac{N_{f1}}{\varphi_{min} \cdot A_{f1}} = \frac{1175,23}{0,907 \cdot 61,5} = 21,07\text{kN/cm}^2$$

Nhánh 2

$$N_{f2} = \left(\frac{1095}{97,25} \right) \cdot 52,68 + \frac{76650}{97,25} = 1381,33\text{kN}$$

$$\lambda_{y(1)} = \frac{l_y}{i_{y(1)}} = \frac{540}{16,2} = 33,33; \quad \lambda_{x(1)} = \frac{120}{3,03} = 39,6$$

$$\lambda_{max} = 39,6 < [\lambda] = 120$$

Tương tự trên tra bảng được $\varphi_{min} = 0,898$ vậy có

$$\frac{N_{f2}}{\varphi_{min} \cdot A_{f2}} = \frac{1381,33}{0,898 \cdot 72,7} = 21,16\text{kN/cm}^2 < \gamma_c \cdot f = 23\text{kN/cm}^2$$

b) Kiểm tra toàn cột theo trục ảo ($\lambda = x$)

Với cấp 1 ($M_1 = 710\text{ kNm}$; $N_1 = 950\text{kN}$)

$$e_1 = \frac{71000}{950} = 74,74\text{cm}$$

$$m = e_1 \frac{A_y}{I_x} = 74,74 \cdot \frac{134,2 \cdot 55,03}{322953} = 1,71$$

Với $m = 1,71$ và $\bar{\lambda}_{(1)} = 1,53$ tra bảng hệ số φ_e của cột rỗng ở phần phụ lục, ta có $\varphi_e = 0,3399$

Vậy có

$$\frac{N_1}{\varphi_e \cdot A} = \frac{950}{0,3399 \cdot 143,2} = 20,83\text{kN/cm}^2 < \gamma_c \cdot f = 23\text{kN/cm}^2$$

Với cấp 2 ($M_2 = 766,5\text{ kNm}$; $N_2 = 1095\text{kN}$)

$$e_2 = \frac{76650}{1095} = 70\text{cm}$$

$$m = e_2 \frac{A_y}{I_x} = 70 \cdot \frac{134,2 \cdot 45,57}{322953} = 1,33$$

Với $m = 1,33$ và $\bar{\lambda}_{(1)} = 1,53$ tra bảng hệ số φ_e của cột rỗng ở phần phụ lục, ta có $\varphi_e = 0,393$

Vậy có:

$$\frac{N_2}{\varphi_e \cdot A} = \frac{1095}{0,393 \cdot 143,2} = 20,76\text{kN/cm}^2 < \gamma_c \cdot f = 23\text{kN/cm}^2$$

c) Kết luận: Cột đã chọn đảm bảo khả năng chịu lực

4.4.2. Tính về ổn định

a) Cấu kiện đặc

Cấu kiện chịu nén lệch tâm, nén uốn phải được kiểm tra ổn định trong mặt phẳng tác dụng của mômen (dạng mất ổn định phẳng) và ngoài mặt phẳng tác dụng của mômen (dạng mất ổn định uốn xoắn)

Cấu kiện chịu nén lệch tâm, nén uốn, có tiết diện không đổi trong mặt phẳng của mômen uốn trùng với mặt phẳng đối xứng được tính toán về ổn định theo công thức:

$$\frac{N}{\varphi_e A} \leq f_{y_c} \quad (4.74)$$

trong đó φ_e được lấy theo bảng D.10, phụ lục D tùy thuộc vào độ mảnh quy ước $\bar{\lambda}$ và độ lệch tâm tương đối tính đối m_e . Bảng D.10 TCXDVN 338 2005 được thiết lập cho những thanh có tiết diện đặc hình chữ nhật. Nếu $m_e > 20$ tiến hành tính toán như với cấu kiện chịu uốn.

Với các giá trị không lớn của lực dọc $N/(A_n f) \leq 0,1$, cấu kiện đang xét gần giống cấu kiện chịu uốn, do đó khi tính toán nó cần phải kể đến những điều kiện và yêu cầu tương ứng.

Giá trị của lực dọc N và mômen uốn M trong cấu kiện để tính độ lệch tâm e ($e = M/N$) được lấy trong cùng một tổ hợp tải trọng từ tính toán hệ kết cấu theo sơ đồ không biến dạng (dàn hồi) với giả thiết vật liệu làm việc đàn hồi khi kể đến sự thay đổi của mômen uốn theo chiều dài của cấu kiện và điều kiện liên kết các đầu mút cấu kiện. Khi đó M được lấy như sau:

- Với cột tiết diện không đổi của hệ khung, là mômen lớn nhất trong chiều dài cột;
- Với cột bậc, là mômen lớn nhất ở đoạn cột có tiết diện không đổi;
- Với cột dạng cong xoắn, là mômen ở ngàm nhưng không nhỏ hơn mômen tại tiết diện cách ngàm một đoạn bằng $1/3$ chiều dài cột;
- Với thanh hai đầu tựa khớp và tiết diện có một trục đối xứng trùng với mặt phẳng uốn, giá trị của M lấy theo bảng 4.13 tùy thuộc vào độ lệch tâm tương đối $m = \frac{M_{\max} A}{N W_c}$
- Với thanh hai đầu tựa khớp và tiết diện có hai trục đối xứng, giá trị của độ lệch tâm tương đối tính đối m_e lấy theo bảng D.12, phụ lục D
- Với cánh trên chịu nén của dàn và của hệ lưới thanh không gian, chịu tải trọng tập trung không đúng nút, là mômen lớn nhất trong khoảng $1/3$ chiều dài khoang nút khi tính cánh trên như dầm liên tục trên gối đàn hồi.

Bảng 4.13. Giá trị M

Độ lệch tâm tương đối ứng với M_{\max}	Giá trị tính toán của M khi độ mảnh quy ước	
	$\bar{\lambda} < 4$	$\bar{\lambda} \geq 4$
$m \leq 3$	$M = M_2 = M_{\max} - \frac{\bar{\lambda}}{4} (M_{\max} - M_1)$	$M = M_1$
$3 < m \leq 20$	$M = M_2 + \frac{m-3}{17} (M_{\max} - M_2)$	$M = M_1 + \frac{m-3}{17} (M_{\max} - M_1)$

Ghi chú: M_{\max} - mômen uốn lớn nhất trong phạm vi chiều dài thanh;

M_1 - mômen uốn lớn nhất trong khoảng 1/3 chiều dài của thanh nhưng không nhỏ hơn $0,5M_{\max}$;

Khi cấu kiện chịu nén lệch tâm có tiết diện không đối bị uốn trong mặt phẳng có độ cứng lớn nhất $x - x$ ($I_x > I_y$) trùng với mặt phẳng đối xứng có thể xảy ra sự mất ổn định ngoài mặt phẳng tác dụng của mômen khi biến dạng gây uốn xoắn trước khi đạt lực tới hạn N_{cr} (lực gây mất ổn định). Khi đó, cần kiểm tra ổn định trong mặt phẳng có độ cứng nhỏ nhất $y - y$ như đối với cấu kiện chịu nén đúng tâm bằng cách đưa vào hệ số c kể đến ảnh hưởng của mômen uốn M_x đến sự mất ổn định không gian của cấu kiện. Công thức tính toán ổn định có dạng:

$$\frac{N}{c\varphi_y A} \leq f_{yc} \quad (4.75)$$

trong đó: φ_y - hệ số uốn dọc khi nén đúng tâm, xác định theo bảng D.8 của phụ lục D;

c - hệ số lấy như sau:

- Khi độ lệch tâm tương đối $m_x \leq 5$:

$$c = \frac{\beta}{1 + \alpha m_x} \quad (4.76)$$

trong đó các hệ số α và β được lấy theo bảng 4.14. Trong bảng này, các hệ số α và β được thiết lập trên cơ sở kết quả nghiên cứu thực nghiệm và lý thuyết, ứng với các loại tiết diện khác nhau.

$$\text{- Khi } m_x \geq 10: \quad c = \frac{1}{1 + m_x \varphi_y / \varphi_b} \quad (4.77)$$

trong đó:

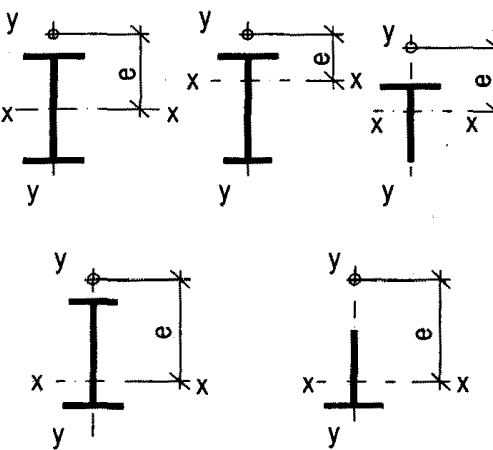
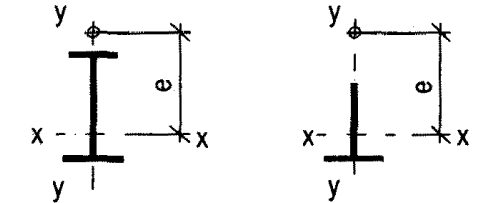
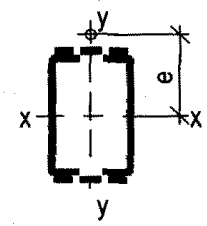
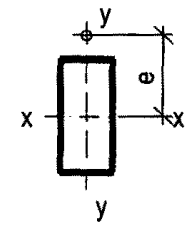
φ_b - hệ số lấy theo phụ lục E như trong dầm có cánh chịu nén với từ hai điểm cố kết trở lên; đối với tiết diện kín thì $\varphi_b = 1,0$.

$$\text{- Khi } 5 < m_x < 10: \quad c = c_5 (2 - 0,2 m_x) + c_{10} (0,2 m_x - 1) \quad (4.78)$$

trong đó: c_5 - tính theo các công thức (4.76) khi $m_x = 5$;

c_{10} - tính theo công thức (4.77) khi $m_x = 10$.

Bảng 4.14. Hệ số α và β

Loại tiết diện		Giá trị của các hệ số			
		α khi		β khi	
		$m_x \leq 1$	$1 < m_x \leq 5$	$\lambda_y \leq \lambda_c$	$\lambda_y > \lambda_c$
Hở 		0,7	$0,65 + 0,05 m_x$	1	$\sqrt{\phi_c / \phi_y}$
		$1 - 0,3 \frac{I_2}{I_1}$	$1 - (0,35 - 0,05 m_x) \frac{I_2}{I_1}$	1	$1 - \left(1 - \sqrt{\frac{\phi_c}{\phi_y}}\right) \times$ $\times \left(2 \frac{I_2}{I_1} - 1\right)$ Khi $\frac{I_1}{I_2} < 0,5$, $\beta = 1$
Kín					
Thanh (bản) giằng	Đặc				
		0,6	$0,55 + 0,05 m_x$	1	$\sqrt{\phi_c / \phi_y}$
Ghi chú: I_1, I_2 - lần lượt là các mômen quán tính của cánh lớn và nhỏ đối trục đối xứng y-y của tiết diện; ϕ_c - giá trị của ϕ_y khi $\lambda_y = \lambda_c$ (trong đó $\lambda_c = 3,14 \sqrt{E/f}$); Đối với cột rỗng (thanh giằng, bản giằng) chỉ lấy giá trị của α và β theo tiết diện kín nếu trên chiều dài thanh có ít nhất 2 vách cứng, trong trường hợp ngược lại lấy theo tiết diện chữ I hở.					

Khi xác định độ lệch tâm tương đối m_x , mômen tính toán M_x lấy như sau:

- Với thanh hai đầu được giữ không cho chuyển vị trong phương vuông góc với mặt phẳng tác dụng của mômen, là mômen lớn nhất trong khoảng 1/3 chiều dài thanh (nhưng không nhỏ hơn 0,5 của mômen lớn nhất trên cả chiều dài thanh).

- Với thanh công xôn, là mômen ở ngàm (nhưng không nhỏ hơn mômen ở tiết diện cách ngàm một đoạn bằng 1/3 chiều dài thanh).

Khi độ mảnh $\lambda_y > \lambda_c = 3,14 \sqrt{E/f}$ thì hệ số c lấy như sau:

- Với thanh tiết diện kín, $c = 1$:

- Với thanh tiết diện chữ I, có hai trục đối xứng, c không vượt quá:

$$c_{\max} = \frac{2}{1 + \delta + \sqrt{(1 - \delta)^2 + \frac{16}{\mu} \left(\frac{M_x}{Nh} \right)^2}} \quad (4.79)$$

trong đó: $\delta = \frac{4\rho}{\mu}$; $\rho = \frac{I_x + I_y}{Ah^2}$; $\mu = 2 + 0,156 \cdot \frac{I_1}{Ah^2} \cdot \lambda_y^2$; $I_1 = 0,433 \sum b_i t_i^3$;

b_i, t_i - là chiều rộng và chiều dày các bản (cánh, bụng) của tiết diện;

h - khoảng cách giữa trục hai cánh.

- Với thanh tiết diện chữ I và chữ T có một trục đối xứng, hệ số c không được vượt quá giá trị tính theo công thức D.8, phụ lục D

Cấu kiện chịu nén lệch tâm, uốn trong mặt phẳng có độ cứng nhỏ nhất ($I_y < I_x$ và $e_y \neq 0$), nếu $\lambda_x > \lambda_y$ thì tính ổn định theo công thức (4.74) và kiểm tra ổn định ngoài mặt phẳng có mômen tác dụng như thanh nén đúng tâm theo công thức:

$$\frac{N}{\varphi_x A} \leq f_{yc} \quad (4.80)$$

trong đó:

φ_x - hệ số lấy như quy định trong phần tính toán ổn định của cấu kiện đặc chịu nén đúng tâm.

Nếu $\lambda_x \leq \lambda_y$ thì kiểm tra ổn định ra ngoài mặt phẳng tác dụng của mômen là không cần thiết.

Ổn định của thanh bụng đặc, chịu nén uốn trong hai mặt phẳng chính, khi mặt phẳng có độ cứng lớn nhất ($I_x > I_y$) trùng với mặt phẳng đối xứng, được kiểm tra theo công thức:

$$\frac{N}{\varphi_{exy} A} \leq f_{yc} \quad (4.81)$$

trong đó: $\varphi_{exy} = \varphi_{ey} \left(0,6\sqrt[3]{c} + 0,4\sqrt[4]{c} \right)$;

φ_{ey} lấy như quy định trong phần kiểm tra ổn định của cấu kiện đặc chịu nén lệch tâm, nén uốn nhưng thay các đại lượng m và λ tương ứng bằng m_y và λ_y ;
 c lấy như quy định trong công thức (4.75)

Khi tính độ lệch tâm tương đối tính đối $m_{ey} = \eta m_y$ đối với các tiết diện chữ I có các cạnh không giống nhau, hệ số η được lấy như đối với tiết diện loại 8 bảng D.9, phụ lục D.

Nếu $m_{ey} < m_x$ thì ngoài việc kiểm tra theo công thức (4.81) còn phải theo công thức (4.74) và (4.75) khi lấy $e_y = 0$.

Giá trị của độ lệch tâm tương đối theo hai phương tính như sau:

$$m_x = e_x \left(\frac{A}{W_x} \right); \quad m_y = e_y \left(\frac{A}{W_y} \right)$$

trong đó: W_x và W_y là các mômen chống uốn của tiết diện của các thớ chịu nén lớn nhất đối với các trục $x-x$ và $y-y$.

Nếu $\lambda_x > \lambda_y$ thì ngoài việc tính theo công thức (4.81) cần kiểm tra thêm theo công thức (4.74) và (4.75) với $e_y = 0$.

Trong trường hợp mặt phẳng có độ cứng lớn nhất ($I_x > I_y$) không trùng với mặt phẳng đối xứng thì giá trị của m_x được tăng lên 25%

b) Cấu kiện rỗng

Đối với thanh rỗng chịu nén lệch tâm, có các thanh giằng nằm trong những mặt phẳng song song với mặt phẳng uốn, ngoài việc kiểm tra ổn định của cả thanh (trong mặt phẳng và ngoài mặt phẳng) theo công thức (4.74) còn phải tính ổn định của từng nhánh riêng như thanh chịu nén đúng tâm theo công thức (4.44). Việc kiểm tra ổn định các nhánh riêng rẽ nhằm đảm bảo cho thanh rỗng không sớm bị mất khả năng chịu lực, khi đó cho phép kể đến sự tương tác của các thanh giằng và vách cứng với các nhánh cột.

Khi kiểm tra theo (4.74) thì hệ số φ_e được lấy như sau: khi các thanh giằng hoặc bản giằng nằm trong các mặt phẳng song song với mặt phẳng uốn, lấy theo bảng D.11, phụ lục D, tùy thuộc độ mảnh tương đương quy ước $\bar{\lambda}_0$ (khi tính lấy λ_0 theo bảng 4.12) và độ lệch tâm tương đối m :

$$m = e \frac{Aa}{I} \quad (4.82)$$

trong đó:

a - khoảng cách từ trục chính vuông góc với mặt phẳng uốn của tiết diện đến trọng tâm của nhánh chịu nén lớn nhất, nhưng không nhỏ hơn khoảng cách đến trục của bản bụng nhánh;

$e = M/N$ - độ lệch tâm; giá trị của M và N lấy như quy định trong phần a của 4.4.2

Độ lệch tâm tương đối m của thanh rỗng ba mặt, liên kết bằng thanh giằng hoặc bản giằng, chịu nén uốn (nén lệch tâm) được xác định như sau:

- Khi uốn trong mặt phẳng vuông góc với một trong các mặt phẳng của thân cột:

$$m = \frac{3,48.\beta.M}{N.b} \quad (4.83)$$

- Khi uốn trong mặt phẳng song song với một trong các mặt phẳng của thân cột:

$$m = \frac{3.\beta.M}{N.b} \quad (4.84)$$

trong đó: b - khoảng cách giữa các trục của cánh song song trong một mặt phẳng của thân.

β - hệ số, bằng 1,2 khi liên kết bulông và bằng 1 khi liên kết hàn.

Khi xác định lực dọc trong mỗi nhánh phải kể thêm lực nén N_M do mômen gây ra. Giá trị của N_M khi uốn trong mặt phẳng vuông góc với trục y-y (Bảng 4.12) như sau:

$$N_M = M/b \text{ đối với tiết diện loại 1 và 3;}$$

$$N_M = M/2b \text{ với tiết diện loại 2;}$$

Với tiết diện loại 3 khi uốn trong mặt phẳng vuông góc với trục x-x, $N_M = 1,16M/b$ (b là khoảng cách giữa trục các nhánh).

Các nhánh (bụng đặc) của thanh rỗng chịu nén lệch tâm, có các bản giằng, được kiểm tra ổn định như cấu kiện đặc chịu nén lệch tâm, khi đó phải kể thêm lực nén N_M do mômen và sự uốn cục bộ của nhánh do lực cắt thực tế hoặc quy ước (như cánh của dàn không thanh xiên, lực cắt quy ước lấy theo công thức (4.57).

Khi lực cắt thực tế lớn hơn lực cắt quy ước, thường dùng các thanh giằng để liên kết các nhánh.

c) Kiểm tra ổn định bản bụng và bản cánh

Khi kiểm tra ổn định bản bụng và bản cánh, kích thước của chúng lấy tương tự như phần ổn định của bản bụng và bản cánh cấu kiện chịu nén đúng tâm).

* Bản bụng

Đối với cột chịu nén lệch tâm và nén uốn, tiết diện chữ I hoặc hình hộp (hình 4.33) mà điều kiện ổn định được kiểm tra theo công thức (4.75) thì giá trị giới hạn của h_w/t_w phụ thuộc vào giá trị của thông số $\alpha = (\sigma - \sigma_1)/\sigma$ (với σ là ứng suất nén lớn nhất tại biên của bản bụng, mang dấu "+", khi không kể đến các hệ số φ_e , φ_{exy} hoặc c_φ ; σ_1 là ứng suất tại biên tương ứng của bản bụng), được lấy như sau:

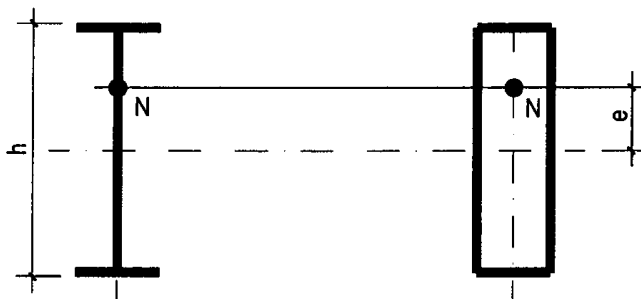
Khi $\alpha \leq 0,5$: lấy theo bảng 4.15;

Khi $\alpha \geq 1$, tính theo công thức:

$$\frac{h_w}{t_w} = 4,35 \sqrt{\frac{(2\alpha - 1)E}{\sigma(2 - \alpha + \sqrt{\alpha^2 + 4\beta^2})}} \leq 3,8 \sqrt{\frac{E}{f}} \quad (4.85)$$

trong đó: $\beta = 1,4 (2\alpha - 1) \frac{\tau}{\sigma}$, (với $\tau = \frac{V}{t_w h_w}$ là ứng suất tiếp trung bình trong tiết diện đang xét).

- Khi $0,5 < \alpha < 1$, nội suy tuyến tính giữa các giá trị được tính với $\alpha = 0,5$ và $\alpha = 1$.



Hình 4.33. Sơ đồ cột chịu nén lệch tâm tiết diện chữ I và hình hộp

Bảng 4.15. Giá trị giới hạn $[h_w/t_w]$

Độ lệch tâm tương đối	Loại tiết diện cột	Giá trị $\bar{\lambda}_1$	Công thức tính $[h_w/t_w]$
$m \geq 1,0$	Chữ I,	$\bar{\lambda}_1 < 2,0$	$(1,3 + 0,15\bar{\lambda}_1^2) \sqrt{E/f}$
	hình hộp	$\bar{\lambda}_1 \geq 2,0$	$(1,2 + 0,35\bar{\lambda}_1) \sqrt{E/f}$; nhưng không lớn hơn $3,1 \sqrt{E/f}$
<p>Ghi chú: $\bar{\lambda}_1$ - độ mảnh quy ước khi tính toán ổn định trong mặt phẳng tác dụng của mômen; Tiết diện hình hộp là các tiết diện kín (tổ hợp, uốn cong dạng chữ nhật hay vuông); Đối với tiết diện hình hộp, khi $m > 0$, giá trị của $[h_w/t_w]$ lấy cho bản bụng nằm song song với mặt phẳng tác dụng của mômen uốn; Khi $0 < m < 1,0$ giá trị của $[h_w/t_w]$ được nội suy tuyến tính theo các giá trị với $m = 0$ và $m = 1,0$. trường hợp $m = 0$, xem phần cấu kiện chịu nén đúng tâm.</p>			

Đối với cột chịu nén lệch tâm, nén uốn có tiết diện khác chữ I hoặc hình hộp (trừ tiết diện chữ T), giá trị của $[h_w/t_w]$ được nhân với hệ số 0,75.

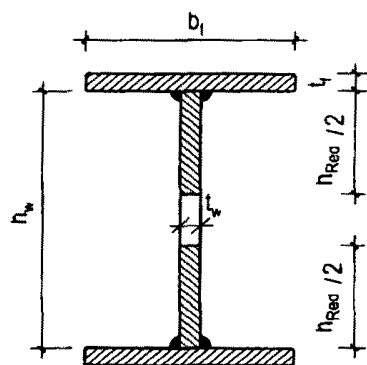
Đối với cột chịu nén uốn, nén lệch tâm tiết diện chữ T, có độ mảnh quy ước $\bar{\lambda}$ từ 0,8 đến 4 và khi $1 \leq b_f/h_w \leq 2$ (với b_f - chiều rộng của cánh chữ T; h_w - chiều cao bản bụng chữ T), thì tỉ số h_w/t_w không được vượt quá giá trị tính theo công thức:

$$\frac{h_w}{t_w} = (0,40 + 0,07\bar{\lambda}) \left(1 + 0,25 \sqrt{2 - \frac{b_f}{h_w}} \right) \sqrt{\frac{E}{f}} \quad (4.86)$$

Khi $\bar{\lambda} < 0,8$ hoặc $\bar{\lambda} > 4$ thì trong công thức (4.86) lấy tương ứng $\bar{\lambda} = 0,8$ hoặc $\bar{\lambda} = 4$.

Khi tiết diện của cấu kiện được chọn theo độ mảnh giới hạn thì giá trị giới hạn của h_w/t_w được phép tăng lên $\sqrt{f\phi_c}/\sigma$ lần (trong đó $\sigma = N/A$), nhưng không lớn hơn 1,25 lần

Với cột tiết diện chữ I, khi giá trị thực tế của h_w/t_w vượt quá giá trị giới hạn $[h_w/t_w]$ quy định trong bảng 4.15 thì khi kiểm tra ổn định của cột nén lệch tâm và nén uốn theo công thức (4.74), (4.81), diện tích tiết diện A chỉ gồm diện tích hai cánh và hai phần bán bụng tiếp giáp với hai cánh, mỗi phần rộng $h_{red}/2 = 0,85t_w[h_w/t_w]$ (hình 4.34).



Hình 4.34. Diện tích tính toán khi kiểm tra ổn định của cột chịu nén lệch tâm và nén uốn

Giá trị của $[h_w/t_w]$ được lấy tương ứng theo bảng 4.15.

Khi bán bụng của cột đặc có $h_w/t_w \geq 2,3\sqrt{E/f}$ thì phải gia cường bằng các sườn cứng ngang đặt cách nhau một khoảng $(2,5 \div 3)h_w$. Trong trường hợp cột phải vận chuyển thì mỗi đoạn cột phải được gia cường không ít hơn 2 sườn. Kích thước của các sườn cứng ngang lấy như đối với cột chịu nén đúng tâm.

* Bản cánh

Chiều rộng tính toán b_0 của bản cánh và cách kiểm tra ổn định của bản cánh được tiến hành như với trường hợp cấu kiện chịu nén đúng tâm. Tuy nhiên, khi sử dụng bảng 4.10 cần chú ý: Đối với cột chịu nén lệch tâm, nén uốn có tiết diện hình hộp, giá trị $[b_0/t_f]$ cho trong bảng 4.10 được lấy như sau:

- Khi $m \leq 0,3$: lấy như đối với cấu kiện chịu nén đúng tâm;
- Khi $m \geq 1,0$ và $\lambda \leq 2 + 0,4m$: $[b_0/t_f] = \sqrt{E/f}$;
- Khi $m \geq 1,0$ và $\lambda > 2 + 0,4m$: $[b_0/t_f] = (0,4 + 0,3\bar{\lambda})(1 - 0,01m)\sqrt{E/f}$;
- Khi giá trị độ lệch tâm tương đối $0,3 < m < 1$, thì $[b_0/t_f]$ được nội suy tuyến tính theo các giá trị ứng với $m = 0,3$ và $m = 1$;

Ví dụ 4.10:

Tính toán cột đặc tiết diện không đối xứng chịu nén lệch tâm. Xác định cột đặc có tiết diện đối xứng chịu nén uốn $N = 100 \cdot 10^4$ N, $M = 37 \cdot 10^7$ Nmm và $V = 15 \cdot 10^4$ N. Cột chịu uốn quanh trục x của tiết diện. Cột dài 8m. Chiều dài tính toán của cột đã được xác định là: $l_x = 1500$ cm, $l_y = 525$ cm (Chân cột liên kết ngàm theo cả phương x và y, đỉnh cột liên kết khớp theo phương y còn tự do theo phương x). Vật liệu làm cột là thép CT34s. Hệ số điều kiện làm việc của cột $\gamma_c = 1$.

* *Dạng tiết diện và chiều cao h của tiết diện*

Chọn tiết diện cột dạng chữ H đối xứng

Dựa theo yêu cầu $\frac{l}{15} \leq \frac{h}{1} \leq \frac{l}{10}$, có $l = 750$ cm, chọn $h = 56$ cm

* *Độ lệch tâm và diện tích yêu cầu*

$$\text{Độ lệch tâm } e = \frac{M}{N} = \frac{37.10^7}{100.10^4} = 370 \text{ mm} = 37 \text{ cm}$$

Cường độ tính toán của thép bán mác CT34s là:

$$f = \frac{f_y}{\gamma_M} = \frac{22}{1.05} = 21 \text{ kN/cm}^2 = 210 \text{ N/mm}^2 \text{ (với thép bán có chiều dày } t < 20 \text{ mm)}$$

Diện tích tiết diện cột xác định sơ bộ theo công thức gần đúng của Iassinski sau:

$$A_{yc} = \frac{N}{f \cdot \gamma_c} \left(1.25 + 2.8 \frac{M_x}{h \cdot N} \right) = \frac{100.10^4}{210 \cdot 1} \left(1.25 + 2.8 \frac{37.10^7}{56 \cdot 100 \cdot 10^4} \right) = 14760 \text{ mm}^2 = 147.60 \text{ cm}^2$$

* *Chiều rộng tiết diện b và hệ dày của các bản t_f, t_w*

Dựa theo yêu cầu $\frac{l}{30} \leq \frac{b}{1} \leq \frac{l}{20}$, có $l = 750$, chọn $b = 36$ cm

Dựa vào $A_{yc} = 147.6 \text{ cm}^2$ và các yêu cầu $\frac{h}{t_w} = (60 \div 120); \frac{b}{t_f} = (28 \div 35) \frac{21}{f} (f - \text{kN/cm}^2)$

Chọn $t_w = 0.9$ cm và $t_f = 1.4$ cm

Vậy diện tích tiết diện đã chọn là: Bản bụng $53.2 \times 0.9 = 47.88 \text{ cm}^2$

Bản cánh $2(36 \times 1.4) = 100.8 \text{ cm}^2$

Diện tích tiết diện $A = 148.68 \text{ cm}^2$

* *Kiểm tra tiết diện đã chọn*

Các đặc trưng hình học của tiết diện:

$$I_x = \frac{36.56^3}{12} - \frac{(36 - 0.9).53.2^3}{12} = 86434.35 \text{ cm}^4$$

$$I_y = 2 \cdot \frac{1.4.36^3}{12} + \frac{53.2.0.9^3}{12} = 10889.6 \text{ cm}^4$$

$$i_x = \sqrt{\frac{86434.35}{148.68}} = 24.1 \text{ cm}; i_y = \sqrt{\frac{10889.6}{148.68}} = 8.56 \text{ cm}$$

$$W_x = \frac{2I_x}{h} = \frac{2.86434.35}{56} = 3086.94 \text{ cm}^3$$

Độ mảnh và độ mảnh quy ước của cột:

$$\lambda_y = \frac{l_y}{i_y} = \frac{525}{8.56} = 61.33$$

$$\bar{\lambda}_y = \lambda_y \sqrt{\frac{f}{E}} = 61,33 \sqrt{\frac{2100}{2,1 \cdot 10^6}} = 1,94$$

$$\lambda_x = \frac{l_x}{i_x} = \frac{1500}{24,11} = 62,21 = \lambda_{\max} < [\lambda] = 120$$

$$\bar{\lambda}_x = \lambda_x \sqrt{\frac{f}{E}} = 62,21 \sqrt{\frac{2100}{2,1 \cdot 10^6}} = 1,97$$

Độ lệch tâm tương đối m và độ lệch tâm tính đối m_x :

$$m = \frac{e \cdot A}{W_x} = \frac{37.148,68}{3086,94} = 1,78$$

Với $\bar{\lambda}_x < 5$, $m < 5$ và $\frac{A_f}{A_w} = \frac{50,4}{47,88} > 1$, tra bảng D.9 có hệ số η là:

$$\eta = (1,9 - 0,1m) - 0,02(6 - m)\bar{\lambda} = (1,9 - 0,1 \cdot 1,78) - 0,02(6 - 1,56) \cdot 1,97 = 1,556$$

$$m_e = \eta \cdot m = 1,556 \cdot 1,78 = 2,77$$

Cột có $A_n = A$ và có $m_e < 20$ nên không cần kiểm tra về bền.

Kiểm tra ổn định tổng thể trong mặt phẳng uốn:

Với $\bar{\lambda}_x = 1,97$ và $m_e = 2,77$, tra bảng D.10 phụ lục D được hệ số $\varphi_e = 0,333$.

Theo công thức:

$$\frac{N}{\varphi_e \cdot A} \leq f \gamma_c$$

Ta có:

$$\frac{N}{\varphi_e A} = \frac{100 \cdot 10^4}{0,333 \cdot 148,68} = 201,978 \text{ N/mm}^2 < f \cdot \gamma_c = 210 \text{ N/mm}^2$$

Kiểm tra ổn định tổng thể ngoài mặt phẳng uốn:

Theo phương uốn cột có sơ đồ là thanh côngxon, nên có $m_x = m = 1,78 < 5$ vậy c xác định

theo công thức: $c = \frac{\beta}{1 + \alpha m_x}$ với β và α tra bảng 4.14.

Với $m_x < 5$ và $\lambda_y = 61,33 < \lambda_c = 3,14 \sqrt{\frac{E}{f}} = 3,14 \cdot \sqrt{\frac{2,1 \cdot 10^6}{2100}} = 99,3$ có $\beta = 1$ và

$$\alpha = 0,65 + 0,05 m_x = 0,65 + 0,05 \cdot 1,78 = 0,739$$

$$c = \frac{\beta}{1 + \alpha \cdot m_x} = \frac{1}{1 + 0,739 \cdot 1,78} = 0,432$$

Với $\bar{\lambda}_y = 1,94 < 2,5$ thì:

$$\varphi_y = 1 - \left(0,073 - 5,53 \frac{f}{E} \right) \bar{\lambda}_y \sqrt{\bar{\lambda}_y}$$

$$\varphi_y = 1 - \left(0,073 - 5,53 \frac{2100}{2,1 \cdot 10^6} \right) 1,94 \sqrt{1,94} = 0,8177$$

Ta có:
$$\frac{N}{\phi_y A} = \frac{1000000}{0,432 \cdot 0,8177 \cdot 148,68} = 190,4 \text{ N/mm}^2 < f_{y_c} = 210 \text{ N/mm}^2$$

Kiểm tra ổn định cục bộ:

Với bản cánh được kiểm tra theo công thức: $\frac{b_0}{t_f} \leq \left[\frac{b_0}{t_f} \right]$. Theo bảng 4.10 có

$$\left[\frac{b_0}{t_f} \right] = (0,36 + 0,1\bar{\lambda}) \sqrt{\frac{E}{f}}; \bar{\lambda} = \bar{\lambda}_x = 1,97$$

$$\left[\frac{b_0}{t_f} \right] = (0,36 + 0,1 \cdot 1,97) \sqrt{\frac{2,1 \cdot 10^5}{210}} = 17,6$$

Vậy có
$$\frac{b_0}{t_f} = \frac{36 - 0,9}{2,1,4} = 12,5 < \left[\frac{b_0}{t_f} \right] = 17,99 \text{ đảm bảo ổn định cục bộ.}$$

Với bản bụng được kiểm tra theo công thức: $\frac{h_w}{t_w} \leq \left[\frac{h_w}{t_w} \right]$. Do khả năng chịu lực của cột được

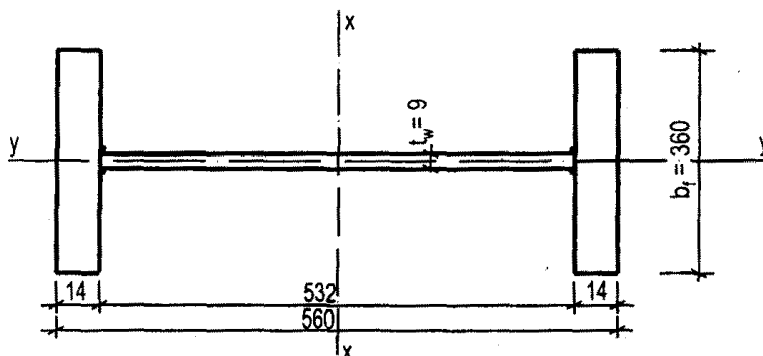
xác định theo ổn định tổng thể trong mặt phẳng uốn nên độ mảnh giới hạn $\left[\frac{h_w}{t_w} \right]$ của bản bụng được xác định theo bảng 4.15.

Với $m = 1,78 > 1$, $\bar{\lambda} = 1,97 < 2$ có $\left[\frac{h_w}{t_w} \right]$ là:

$$\left[\frac{h_w}{t_w} \right] = (1,3 + 0,15\bar{\lambda}) \sqrt{\frac{E}{f}} = (1,3 + 0,15 \cdot 1,97) \sqrt{\frac{2,1 \cdot 10^5}{210}} = 59,5$$

Vậy có:
$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{53,2}{0,9} = 59,11 < \left[\frac{h_w}{t_w} \right] = 59,5 \text{ đảm bảo ổn định cục bộ.}$$

Đồng thời vì
$$\frac{h_w}{t_w} = 59,11 < 2,3 \sqrt{\frac{E}{f}} = 2,3 \sqrt{\frac{2,1 \cdot 10^5}{210}} = 72,7 \text{ nên không phải đặt sườn ngang.}$$

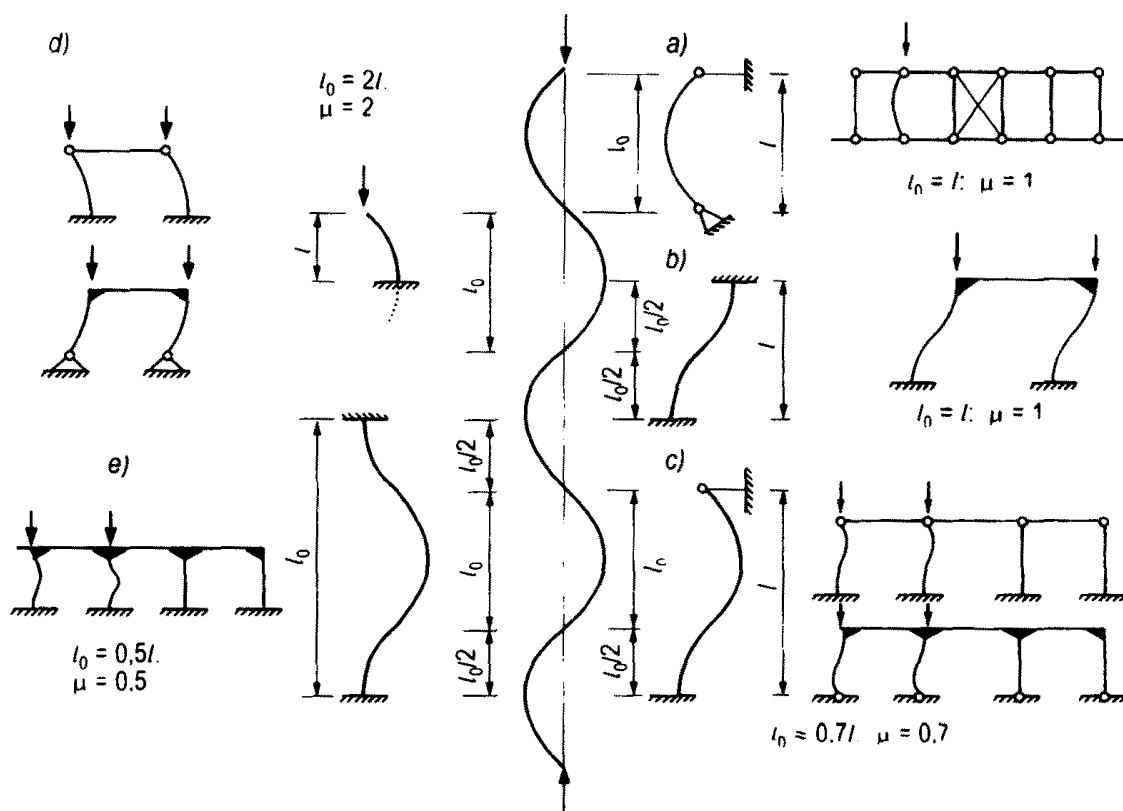


Hình 4.35. Tiết diện cột trong ví dụ 4.10

4.5. CHIỀU DÀI TÍNH TOÁN VÀ ĐỘ MẠNH GIỚI HẠN

4.5.1. Khái niệm chung về chiều dài tính toán

Chiều dài tính toán của thanh được hiểu là chiều dài quy đổi của thanh một nhịp, mà lực tới hạn của thanh này khi liên kết khớp tại 2 đầu mút cũng bằng lực tới hạn của nó. Về ý nghĩa vật lý, chiều dài tính toán của thanh có liên kết bất kỳ ở đầu mút là khoảng cách lớn nhất giữa 2 điểm uốn của trục cong, được xác định từ tính toán ổn định thanh này theo phương pháp Euler. Hình 4.36 cho sơ đồ xác định chiều dài tính toán của cột ở một số kết cấu dạng khung.



Hình 4.36. Sơ đồ xác định chiều dài tính toán của cột ở một số kết cấu dạng khung

Chiều dài tính toán l_0 của thanh xác định theo công thức:

$$l_0 = \mu l \quad (4.87)$$

trong đó: μ - hệ số chiều dài tính toán, phụ thuộc vào điều kiện liên kết ở 2 đầu thanh và sơ đồ tải trọng;

l - chiều dài hình học của thanh.

Đối với hệ thanh phẳng, chiều dài tính toán của thanh chịu nén được xác định trong mặt phẳng và ngoài mặt phẳng (trong mặt phẳng vuông góc với mặt phẳng hệ).

Trong TCXDVN 338 - 2005, giá trị chiều dài tính toán của các thanh ứng với các hệ kết cấu khác nhau quy định trong điều 5.5

4.5.2. Chiều dài tính toán của các cấu kiện chịu nén và nén uốn

a) Thanh của dàn và hệ giằng

Chiều dài tính toán l_0 của các thanh trong dàn phẳng và hệ giằng (trừ các thanh bụng chữ thập) lấy theo bảng 4.16

Nếu theo chiều dài thanh (cánh, bụng) có các lực nén N_1 và N_2 ($N_1 > N_2$) thì chiều dài tính toán ngoài mặt phẳng dàn của thanh (hình 4.37 c, d) là:

$$l_0 = l_1 \left(0,75 + 0,25 \frac{N_2}{N_1} \right) \quad (4.88)$$

Khi đó thanh được tính toán về ổn định theo lực N_1

Chiều dài tính toán l_0 của các thanh bụng chữ thập (hình 4.37. e) lấy như sau:

Trong mặt phẳng dàn, bằng khoảng cách từ tâm của mắt dàn đến điểm giao nhau của chúng ($l_0 = l$).

Ngoài mặt phẳng dàn, đối với các thanh chịu nén lấy theo bảng 4.17, đối với các thanh chịu kéo lấy bằng chiều dài hình học của thanh ($l_0 = l_1$).

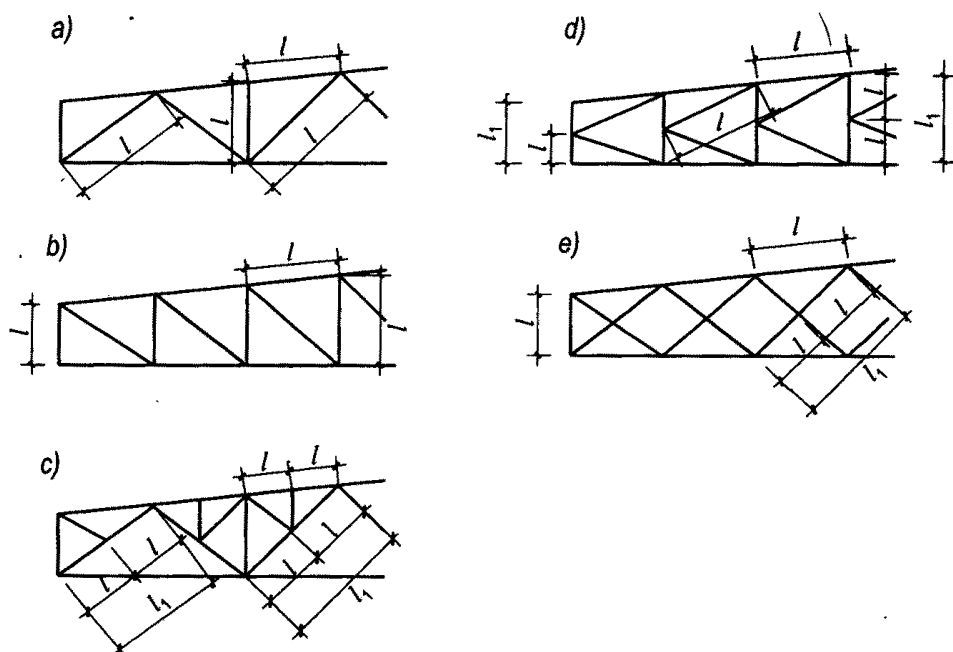
Bảng 4.16. Chiều dài tính toán của các thanh trong dàn phẳng và hệ giằng

Phương uốn dọc	Chiều dài tính toán l_0		
	Thanh cánh	Thanh xiên, thanh đứng ở gối tựa	Các thanh bụng khác
1 Trong mặt phẳng dàn			
a) Đối với các dàn, trừ những dàn ở mục 1.b	l	l	$0,8l$
b) Đối với dàn có các thanh là thép góc đơn và dàn có các thanh bụng liên kết dạng chữ T với các thanh cánh	l	l	$0,9l$
2 Trong phương vuông góc với mặt phẳng dàn (ngoài mặt phẳng dàn)			l_1
a) Đối với các dàn, trừ những dàn ở mục 2.b	l_1	l_1	$0,9l_1$
b) Dàn có các thanh cánh là định hình cong, các thanh bụng liên kết dạng chữ T với thanh cánh	l_1	l_1	
Các ký hiệu trong bảng 4.16 (Theo hình 4.37) l chiều dài hình học của thanh (khoảng cách giữa tâm các mắt) trong mặt phẳng dàn. l_1 khoảng cách giữa các mắt được liên kết không cho chuyển vị ra ngoài mặt phẳng dàn (bằng các thanh giằng, các tấm má cứng được hàn hoặc bắt bulông chặt với cánh dàn, v.v...)			

Bán kính quán tính i của tiết diện thanh thép góc đơn lấy như sau:

- Khi chiều dài tính toán của thanh bằng l hoặc $0,9l$ (l là khoảng cách giữa các mắt gần nhất), lấy giá trị nhỏ nhất: $i = i_{min}$;

- Trong các trường hợp còn lại: lấy đối với trục của thép góc vuông góc hoặc song song với mặt phẳng dàn ($i = i_x$ hoặc $i = i_y$ phụ thuộc vào phương uốn dọc).



Hình 4.37. Các sơ đồ thanh bụng dàn để xác định chiều dài tính toán các thanh
a) Hệ tam giác có thanh đứng; b) Hệ thanh bụng xiên; c) Hệ tam giác có dàn phân nhỏ;
d) Hệ thanh bụng hình chữ K; e) Hệ thanh bụng chữ thập.

Bảng 4.17. Chiều dài tính toán ngoài mặt phẳng dàn của thanh bụng chữ thập chịu nén

Đặc điểm mắt giao nhau của các thanh bụng	Chiều dài tính toán l_0 nếu thanh giao nhau với thanh khảo sát là thanh		
	chịu kéo	không chịu lực	chịu nén
Cả hai thanh đều không gián đoạn	l	$0,7 l_1$	l_1
Thanh giao nhau với thanh khảo sát gián đoạn và có phủ bản mã:			
- Thanh khảo sát không gián đoạn;	$0,7 l_1$	l_1	$1,4 l_1$
- Thanh khảo sát gián đoạn.	$0,7 l_1$	-	-
Ghi chú (hình 4.37e): l - khoảng cách từ tâm mắt dàn đến điểm giao nhau của các thanh; l_1 - chiều dài hình học của thanh.			

b) Cột

b.1) Cột có tiết diện không đổi

Chiều dài tính toán của cột có tiết diện không đổi hoặc các đoạn của cột bậc được tính theo công thức (4.87).

trong đó: l - chiều dài của cột, từng đoạn của nó hoặc chiều cao của tầng;

μ - hệ số chiều dài tính toán.

Khi xác định chiều dài tính toán của cột, vấn đề khó nhất là việc xác định sự có mặt của chuyển vị tự do của các nút khung (nút liên kết dầm và cột). Theo dấu hiệu này, phân ra làm hai loại: khung có chuyển vị ngang (tại các nút khung không có liên kết chống chuyển vị ngang) và khung không có chuyển vị ngang (các nút khung có liên kết chống chuyển vị ngang).

trong đó: μ - hệ số tính theo các công thức (4.89), (4.90), bảng 4.18;

I_c, N_c - mômen quán tính và lực nén lớn nhất trong cột khảo sát;

$\sum N_i, \sum I_i$ - tương ứng là tổng lực nén và tổng mômen quán tính tiết diện của tất cả các cột ở khung khảo sát và của 4 khung lân cận (2 khung mỗi phía). Tất cả các lực N_i đều trong cùng một tổ hợp tải trọng với N_c .

Hệ số chiều dài tính toán μ của cột có tiết diện không đổi (đứng độc lập) phụ thuộc vào cách liên kết ở hai đầu cột và dạng tải trọng, lấy theo bảng D.1, phụ lục D.

Hệ số chiều dài tính toán μ của cột có tiết diện không đổi, trong mặt phẳng khung, khi xà ngang liên kết ngàm với cột được lấy như sau:

- Với khung có chuyển vị ngang khi chịu tải (tại các nút khung không có liên kết chống chuyển vị ngang) và tải trọng tại các nút như nhau: lấy theo bảng 4.18.

Chú ý: Khi tỷ số $H/B > 6$ (H - chiều cao của nhà nhiều tầng; B - chiều rộng của nhà), phải kiểm tra thêm ổn định tổng thể của khung như thanh tổ hợp, ngàm ở móng.

Đối với cột biên, hệ số μ lấy như cột của khung một nhịp.

- Với khung không có chuyển vị ngang khi chịu tải (các nút khung có liên kết chống chuyển vị ngang) và tải trọng tại các nút như nhau:

$$\mu = \sqrt{\frac{1 + 0,46(p+n) + 0,18pn}{1 + 0,93(p+n) + 0,71pn}} \quad (4.93)$$

Trong công thức (4.91), (4.92) p và n lấy như sau:

+ Với khung 1 tầng: $p = I_1 I_c / I_c$; $n = I_b I_c / I_c$;

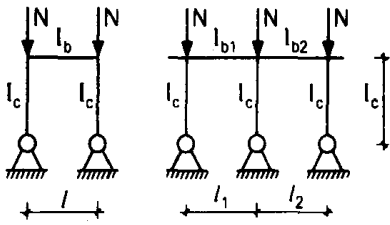
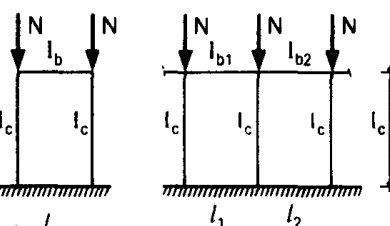
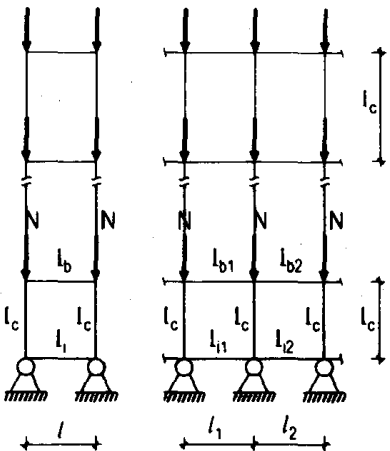
+ Với khung nhiều tầng: Đối với tầng trên cùng: $p = 0,5 (p_1 + p_2)$; $n = n_1 + n_2$;

Đối với các tầng giữa: $p = 0,5 (p_1 + p_2)$; $n = 0,5(n_1 + n_2)$;

Đối với tầng dưới cùng: $p = p_1 + p_2$; $n = 0,5(n_1 + n_2)$.

trong đó: p_1, p_2, n_1, n_2 lấy theo bảng 4.18.

Bảng 4.18. Hệ số chiều dài tính toán μ của cột có tiết diện không đổi

Sơ đồ tính của khung có chuyển vị ngang tự do	Công thức tính μ	Hệ số n và p	
		Một nhịp	Nhiều nhịp
	$2\sqrt{1 + \frac{0,38}{n}} \quad (4.89)$	$n = \frac{l_b l_c}{l l_c}$	$n = \frac{k(n_1 + n_2)}{k + 1}$
	$\sqrt{\frac{n + 0,56}{n + 0,14}} \quad (4.90)$	$n = \frac{l_b l_c}{l l_c}$	$n = \frac{k(n_1 + n_2)}{k + 1}$
	<p>Khi $n \leq 0,2$</p> $\frac{(p + 0,68)\sqrt{n + 0,22}}{\sqrt{0,68p(p + 0,9)(n + 0,08) + 0,1n}} \quad (4.91)$	Tầng trên cùng	
		$n = \frac{l_b l_c}{2l l_c}$	$n = \frac{k(n_1 + n_2)}{k + 1}$
		$p = \frac{l_i l_c}{2l l_c}$	$p = \frac{k(p_1 + p_2)}{k + 1}$
		Các tầng giữa	
		$n = \frac{l_b l_c}{2l l_c}$	$n = \frac{k(n_1 + n_2)}{k + 1}$
		$p = \frac{l_i l_c}{2l l_c}$	$p = \frac{k(p_1 + p_2)}{k + 1}$
		Tầng dưới cùng	
		$n = \frac{l_b l_c}{2l l_c}$	$n = \frac{k(n_1 + n_2)}{k + 1}$
		$p = \frac{l_i l_c}{l l_c}$	$p = \frac{2k(p_1 + p_2)}{k + 1}$
	<p>Khi $n > 0,2$</p> $\frac{(p + 0,63)\sqrt{n + 0,28}}{\sqrt{pn(p + 0,9) + 0,1n}} \quad (4.92)$		

Ghi chú: $n_1 = l_{b1} l_c / l l_c$; $n_2 = l_{b2} l_c / l l_c$; $p_1 = l_{i1} l_c / l l_c$; $p_2 = l_{i2} l_c / l l_c$;

k - số nhịp; l, l_1, l_2 - các nhịp khung;

l_c, l_c - mômen quán tính tiết diện và chiều dài của cột khảo sát;

l_b, l_{b1}, l_{b2} - mômen quán tính của các xà liên kết với đầu trên của cột;

l_i, l_{i1}, l_{i2} - mômen quán tính của các xà liên kết với đầu dưới của cột;

- Đối với cột ngoài của khung nhiều nhịp - tính như đối với cột khung 1 nhịp.
- Đối với cột có tiết diện không đổi của khung, khi một đầu của cột liên kết khớp với xà ngang còn đầu kia ngàm với móng thì trong công thức (4.90) của khung một tầng; (4.91), (4.92) của khung nhiều tầng; (4.93) của khung không có chuyển vị ngang, các giá trị của n và p lấy như sau:

+ Đầu trên của cột là khớp (dưới ngàm): $n = 0, (I_b = 0); \quad p = 50, (I_i = \infty);$

+ Đầu trên của cột là ngàm (dưới khớp): $n = 50, (I_b = \infty); \quad p = 0, (I_i = 0).$

- Đối với nhà một tầng, có chuyển vị ngang, khi tải trọng tại nút các cột không đều nhau, nhà có khối mái cứng hoặc có hệ giằng dọc nối đầu trên của tất cả các cột, thì hệ số chiều dài tính toán μ_e của cột chịu tải lớn nhất tính như sau:

$$\mu_e = \mu \sqrt{I_c \Sigma N_i / (N_c \Sigma I_i)} \quad (4.94)$$

Giá trị của μ_e tính theo công thức (4.94) không được nhỏ hơn 0,7.

b.2) Cột bậc

Hệ số chiều dài tính toán đối với các đoạn của cột bậc lấy theo phụ lục D.

Khi xác định hệ số μ của cột bậc trong khung nhà công nghiệp một tầng cho phép:

- Không kể đến ảnh hưởng sự chịu tải và độ cứng của các cột lân cận;
- Chỉ xác định chiều dài tính toán của cột đối với tổ hợp tải trọng cho lực nén lớn nhất trong các đoạn và giá trị μ nhận được này sẽ dùng cho các tổ hợp tải trọng khác;
- Đối với khung nhiều nhịp (từ hai trở lên), khi có khối mái cứng hoặc hệ giằng dọc nối đầu trên của các cột đảm bảo sự làm việc không gian của cả hệ khung thì chiều dài tính toán của cột khung được xác định như đối với một cột độc lập được liên kết cố định ở mức xà ngang;
- Đối với cột một bậc, khi tỉ số $l_2/l_1 \leq 0,6$ và $N_1/N_2 \geq 3$ thì giá trị của μ lấy theo bảng 4.19.

Bảng 4.19. Hệ số chiều dài tính toán μ của cột bậc

Điều kiện liên kết ở đầu trên của cột	Hệ số μ đối với		
	Đoạn cột dưới khi		Đoạn cột trên
	$0,1 < l_2/l_1 \leq 0,3$	$0,05 \leq l_2/l_1 \leq 0,1$	
Đầu tự do	2,5	3,0	3,0
Chỉ liên kết không cho xoay	2,0	2,0	3,0
Tựa khớp cố định	1,6	2,0	2,5
Liên kết ngàm	1,2	1,5	2,0
Ghi chú: l_1, I_1, N_1 - chiều dài, mômen quán tính tiết diện và lực dọc của đoạn cột dưới; l_2, I_2, N_2 - chiều dài, mômen quán tính tiết diện và lực dọc của đoạn cột trên.			

Chiều dài tính toán của cột theo hướng dọc nhà (ngoài mặt phẳng khung) bằng khoảng cách giữa các điểm liên kết không cho cột chuyển vị ra ngoài mặt phẳng khung (gối tựa của cột, dầm cầu trục, dàn đỡ kèo, mắt liên kết với hệ giằng, với xà ngang, v.v...).

b.3) Cột có tiết diện thay đổi

Trường hợp cột có tiết diện thay đổi (chiều cao và bề rộng tiết diện thay đổi theo quy luật bậc nhất), khi xác định chiều dài tính toán ngoài hệ số μ , cần kể thêm hệ số chiều dài tính toán bổ sung μ_1 , cho trong bảng D.7 phụ lục D. Khi đó, chiều dài tính toán l_0 được tính theo công thức:

$$l_0 = \mu\mu_1 l \quad (4.95)$$

trong đó: l - chiều dài hình học;

μ - hệ số chiều dài tính toán như trong trường hợp tiết diện không đổi.

b.4) Kết cấu không gian rỗng

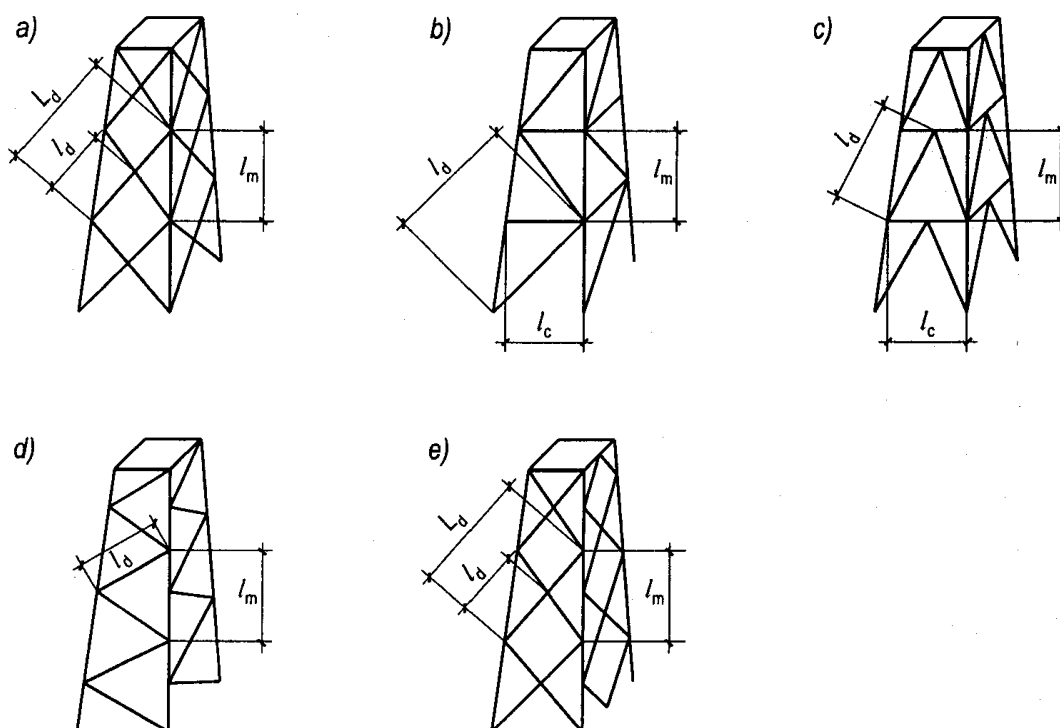
Khi xác định độ mảnh của các thanh thép góc đơn chịu nén hoặc không chịu lực trong kết cấu không gian rỗng, chiều dài tính toán l_0 và bán kính quán tính i của các thanh lấy theo bảng 4.20.

Khi xác định độ mảnh của thanh chịu kéo bằng thép góc đơn, chiều dài tính toán và bán kính quán tính của chúng lấy như sau:

- Với thanh cánh: theo bảng 4.20;
- Với thanh xiên:
 - + Theo hình 4.38a,e: trong mặt phẳng dàn - l_d và i_{\min} ; ngoài mặt phẳng dàn - L_d (khoảng cách giữa hai mắt liên kết với thanh cánh) và i_x (lấy với trục song song với mặt phẳng dàn);
 - + Theo hình 4.38b, c,d: chiều dài l_d và i_{\min} .

Bảng 4.20. Chiều dài tính toán l_0 và bán kính quán tính i của các thanh

Thanh	l_0	i
Cánh: - theo hình 4.38, a, b, c	l_m	i_{\min}
- theo hình 4.38, d, e	$1,14l_m$	i_x hoặc i_y
Xiên: - theo hình 4.38, b, c, d	$\mu_d l_d$	i_{\min}
- theo hình 4.38, a, e	$\mu_d l_{dc}$	i_{\min}
Ngang: - theo hình 4.38, b	$0,8l_c$	i_{\min}
- theo hình 4.38, c	$0,65l_c$	i_{\min}
<p><i>Ghi chú:</i> l_{dc} - chiều dài quy ước của thanh xiên, lấy theo bảng 4.21;</p> <p>μ_d - hệ số chiều dài tính toán của thanh xiên lấy theo bảng 4.22.</p> <p>Trong hình 4.38, a, e, các thanh xiên phải liên kết với nhau tại giao điểm của chúng.</p> <p>Giá trị l_0 đối với thanh ngang theo hình 4.38c ứng với thép góc đơn đều cạnh.</p>		



Hình 4.38. Sơ đồ kết cấu không gian rỗng, các thanh từ thép góc đơn

a, b, c - các mắt ở hai mặt tiếp giáp trùng nhau;

d, e - các mắt ở hai mặt tiếp giáp không trùng nhau.

Bảng 4.21. Chiều dài quy ước l_{dc} của thanh xiên

Đặc điểm mắt giao nhau của các thanh xiên	Giá trị l_{dc} của thanh xiên khảo sát nếu thanh giao nhau với thanh khảo sát là thanh		
	Chịu kéo	Không chịu lực	Chịu nén
1. Cả hai thanh không gián đoạn	l_d	$1,3l_d$	$0,8l_d$
2. Thanh giao nhau với thanh khảo sát gián đoạn và có phủ bản mã: - Kết cấu theo hình 4.38 a; - Kết cấu theo hình 4.38 e, khi: $1 < n \leq 3$ $n > 3$	$1,3l_d$ $(1,75 - 0,15n)l_d$ $1,3l_d$	$1,6l_d$ $(1,9 - 0,1n)l_d$ $1,6l_d$	L_d L_d L_d
3. Mắt giao nhau của các thanh xiên được liên kết tránh chuyển vị ra ngoài mặt phẳng dàn	l_d	l_d	l_d
<p>Ghi chú: L_d - chiều dài thanh xiên theo hình 4.38 a, e;</p> <p>$n = (I_{m,min}l_d) / (I_{d,min}l_m)$; với $I_{m,min}$ và $I_{d,min}$ - mômen quán tính nhỏ nhất của thanh cánh và thanh xiên.</p>			

Bảng 22. Hệ số chiều dài tính toán của thanh xiên μ_d

Liên kết của thanh xiên với thanh cánh	n	Giá trị của μ_d khi l/i_{\min} bằng		
		≤ 60	$60 < l/i_{\min} \leq 160$	≥ 160
Bằng đường hàn hoặc bulông (không nhỏ hơn 2), không có bản mã	≤ 2	1,14	$0,54 + 36 (i_{\min}/l)$	0,765
	≥ 6	1,04	$0,56 + 28,8 (i_{\min}/l)$	0,74
Bằng 1 bulông, không có bản mã	Không phụ thuộc n	1,12	$0,64 + 28,8 (i_{\min}/l)$	0,82

Ghi chú: n - xem bảng 4.21;
 l - chiều dài thanh, lấy bằng l_d đối với hình 4.38, b, c, d; bằng l_x theo bảng 4.20 (đối với hình 4.38, a, e);
 - Giá trị của μ_d khi n từ 2 đến 6 xác định theo nội suy tuyến tính;
 - Khi liên kết trực tiếp một đầu của thanh xiên với thanh cánh bằng đường hàn hoặc bulông, còn đầu kia qua bản mã thì hệ số chiều dài tính toán là $0,5(1 + \mu_d)$; khi liên kết cả hai đầu thanh qua bản mã thì $\mu_d = 1$.

Chiều dài tính toán và bán kính quán tính của thanh thép ống và tiết diện ghép từ hai thép góc lấy theo mục 4.5.2a.

b.5) Hệ mái lưới thanh không gian

Các thanh dàn của hệ mái lưới không gian nói chung làm việc theo hai phương chính: phương song song với mặt phẳng dàn và phương vuông góc với mặt phẳng dàn.

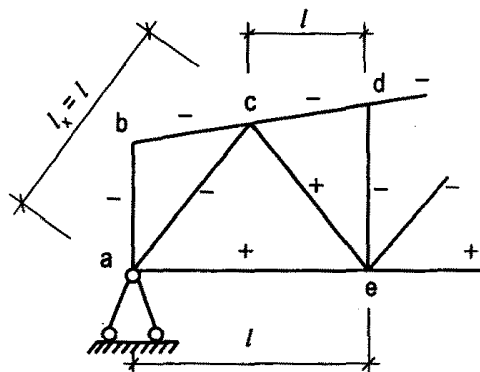
Với những thanh chịu nén, việc xác định chiều dài tính toán là cần thiết vì nó liên quan đến vấn đề ổn định của thanh, còn các thanh chịu kéo thì cần phải xác định độ mảnh của nó sao cho không quá lớn để thanh không bị cong vênh do trọng lượng bản thân, do chuyển chỗ dựng lắp.

Như vậy, chiều dài tính toán sẽ được tính toán theo hai phương: phương trong mặt phẳng, ký hiệu là l_x và phương ngoài mặt phẳng, ký hiệu là l_y .

Chiều dài tính toán trong mặt phẳng:

Trong thực tế, nút dàn có độ cứng nhất định nên không phải là khớp lý tưởng như thường giả thiết khi lập sơ đồ tính toán. Khi một thanh chịu nén nào đó liên kết tại nút mất ổn định (tức là bị cong) làm nút quay dẫn đến các thanh nén khác quay tại nút cong theo. Các thanh kéo liên kết tại nút này có xu hướng bị kéo dài ra nên sẽ chống lại sự xoay này. Nút càng có nhiều thanh chịu kéo trong liên kết thì khả năng chống xoay càng lớn (tức là nút có độ cứng lớn). Do vậy, có thể coi nút có nhiều thanh nén hơn thanh kéo thì nút dễ xoay và được xem là khớp và ngược lại nút có nhiều thanh kéo hơn thanh nén thì nút khó xoay và được xem là ngàm đàn hồi.

Chiều dài tính toán của các thanh trong hệ mái lưới không gian lấy theo bảng 4.23.



Hình 4.39. Sơ đồ xác định chiều dài tính toán thanh dàn

Bảng 4.23. Chiều dài tính toán của các thanh trong hệ mái lưới không gian

Các thanh của hệ mái lưới	Chiều dài tính toán l_0
1. Ngoài các điều nêu ở mục 2 và 3 ở dưới đây	l
2. Cánh liên tục (không gián đoạn tại nút) và liên kết hàn dạng chữ T với nút cầu (thanh xuyên qua nút cầu và hàn ở chu vi giao nhau với mặt cầu)	$0,85l$
3. Là thép góc đơn, liên kết vào nút theo một cánh bằng:	
a) Đường hàn hoặc bulông (không ít hơn hai) bố trí dọc theo thanh khi:	
- $l/i_{\min} \leq 90$;	l
- $90 < l/i_{\min} \leq 120$;	$0,9l$
- $120 < l/i_{\min} \leq 150$ (chỉ đối với các thanh bụng);	$0,75l$
- $150 < l/i_{\min} \leq 200$ (chỉ đối với các thanh bụng).	$0,7l$
b) Một bulông khi:	
- $l/i_{\min} \leq 90$;	l
- $90 < l/i_{\min} \leq 120$;	$0,95l$
- $120 < l/i_{\min} \leq 150$ (chỉ đối với các thanh bụng);	$0,85l$
- $150 < l/i_{\min} \leq 200$ (chỉ đối với các thanh bụng).	$0,8l$
<i>Ghi chú:</i> l - chiều dài hình học của thanh (khoảng cách giữa các nút).	

Chiều dài tính toán ngoài mặt phẳng:

Độ cứng của bản mã theo phương ngoài mặt phẳng dàn rất nhỏ nên có thể bỏ qua, do vậy, chiều dài tính toán ngoài mặt phẳng dàn của các thanh bụng sẽ là $l = 0,9l$. Đối với dàn có hệ thanh bụng phân nhỏ, các thanh bụng nén (có chứa nút dàn phân nhỏ) có hai trị số nội lực N_1 và N_2 ($N_1 > N_2$) thì:

$$l_y = \left(0,75 + 0,25 \frac{N_2}{N_1} \right) l \quad (4.96)$$

Chiều dài tính toán ngoài mặt phẳng dàn của thanh cánh lấy bằng khoảng cách giữa hai điểm cố kết ngăn cản thanh cánh chuyển vị khỏi mặt phẳng dàn (phương dọc nhà). Nếu thanh nằm trong phạm vi giữa hai điểm cố kết mà có hai trị số nội lực N_1 và N_2 ($N_1 > N_2$) thì:

$$l_y = \left(0,75 + 0,25 \frac{N_2}{N_1} \right) l_1 \quad (4.97)$$

trong đó: l_1 là khoảng cách giữa hai điểm cố kết.

Độ mảnh giới hạn của các thanh chịu nén cho trong bảng 4.24.

Bảng 4.24. Độ mảnh giới hạn của các thanh chịu nén

Các thanh	Độ mảnh giới hạn
1. Thanh cánh, thanh xiên và thanh đứng nhận phản lực gối: a) Cửa dầm phẳng, hệ mái lưới thanh không gian, hệ thanh không gian rỗng (có chiều cao $H \leq 50$ m) bằng thép ống hoặc tổ hợp từ hai thép góc; b) Cửa hệ thanh không gian rỗng bằng thép góc đơn, hệ thanh không gian rỗng (chiều cao $H > 50$ m) nhưng bằng thép ống hay tổ hợp từ hai thép góc.	180 - 60α 120
2. Các thanh (trừ những thanh đã nêu ở mục 1 và 7): a) Cửa dầm phẳng bằng thép góc đơn; hệ mái lưới thanh không gian và hệ thanh không gian rỗng bằng thép góc đơn, tổ hợp từ hai thép góc hoặc thép ống; b) Cửa hệ mái lưới thanh không gian, hệ thanh không gian rỗng bằng thép góc đơn, dùng liên kết bulông.	210 - 60α 220 - 40α
3. Cánh trên của dầm không được tăng cường khi lắp ráp (khi đã lắp ráp lấy theo mục 1)	220
4. Cột chính	180 - 60α
5. Cột phụ (cột sườn tường, thanh đứng của cửa mái, v.v...), thanh giằng của cột rỗng, thanh của hệ giằng cột (ở dưới dầm cầu trục)	210 - 60α
6. Các thanh giằng (trừ các thanh đã nêu ở mục 5), các thanh dùng để giảm chiều dài tính toán của thanh nén	200
7. Các thanh chịu nén hoặc không chịu lực của hệ thanh không gian rỗng, tiết diện chữ T, chữ thập, chịu tải trọng gió khi kiểm tra độ mảnh trong mặt phẳng thẳng đứng.	150
<i>Ghi chú:</i> $\alpha = N / (\varphi A f_{yc})$ - hệ số $\varphi \geq 0,5$ (khi nén lệch tâm, nén uốn thay φ bằng φ_e).	

Độ mảnh giới hạn của các thanh chịu kéo cho trong bảng 4.25.

Bảng 4.25. Độ mảnh giới hạn của các thanh chịu kéo

Các thanh	Khi kết cấu chịu tải trọng		
	Động trực tiếp	Tĩnh	Cầu trục
l	2	3	4
1. Cánh, thanh xiên ở gối của dầm phẳng (kể cả dầm hãm) và của hệ mái lưới thanh không gian	250	400	250
2. Các thanh dầm và của hệ mái lưới thanh không gian (trừ các thanh ở mục 1)	350	400	300
3. Cánh dưới của dầm cầu trục, dầm	-	-	150
4. Các thanh của hệ giằng cột (ở dưới dầm cầu trục)	300	300	200
5. Các thanh giằng khác	400	400	300
6. Thanh cánh và thanh xiên ở gối của cột đường dây tải điện	250	-	-

Bảng 4.25. (tiếp theo)

1	2	3	4
7. Các thanh của cột đường dây tải điện (trừ các thanh ở mục 6 và 8)	350	-	-
8. Các thanh của hệ thanh không gian rỗng có tiết diện chữ T hoặc chữ thập chịu tác dụng của tải trọng gió khi kiểm tra độ mảnh trong mặt phẳng thẳng đứng.	150	-	-
<p><i>Ghi chú:</i> 1. Trong các kết cấu không chịu tải trọng động chỉ cần kiểm tra độ mảnh của thanh trong mặt phẳng thẳng đứng.</p> <p>2. Không hạn chế độ mảnh của thanh chịu kéo do ứng suất trước.</p> <p>3. Tải trọng động đặt trực tiếp lên kết cấu là tải trọng dùng để tính bền mỏi hoặc khi tính kể đến hệ số động.</p>			

4.6. KẾT CẤU THÉP TẮM

4.6.1. Giới thiệu chung

Kết cấu thép tấm là kết cấu được cấu tạo từ các thép tấm và được sử dụng để bảo quản và vận chuyển chất lỏng, khí và vật liệu hạt (rời). Đó là: bể chứa các sản phẩm dầu, khí, nước và các chất lỏng khác; bункer và silo để chứa các vật liệu rời; đường ống dẫn đường kính lớn để dẫn nước, khí...; ống khói, ống thông gió,... Nói chung, phạm vi sử dụng của kết cấu thép tấm rất lớn.

4.6.2. Các đặc thù của kết cấu thép tấm

Nói chung, kết cấu thép tấm thuộc loại kết cấu vỏ mỏng đặc. Điều kiện làm việc của kết cấu thép tấm rất đa dạng: nổi, chìm dưới đất, nửa nổi nửa chìm, dưới nước... Kết cấu thép tấm có thể chịu tải trọng động cũng như tải trọng tĩnh, làm việc trong điều kiện chịu áp lực thấp, vừa và cao; chân không, dưới tác dụng của nhiệt độ thấp, vừa và cao; trong môi trường ăn mòn...

Kết cấu thép tấm có các đặc thù khác với kết cấu thép thông thường:

Trạng thái làm việc ứng suất hai trục, tại các vị trí liên kết các vỏ với nhau, trên các đoạn ngàm với các sườn cứng, má, đáy xuất hiện ứng suất cục bộ giảm tắt dần theo chiều dài những đoạn này (hiệu ứng biên). Phần lớn, kết cấu thép tấm là kết cấu chịu lực kết hợp chức năng bao che.

Kết cấu thép tấm có chiều dài liên kết hàn rất lớn (thường gấp 2–3 lần so với các kết cấu thép thông thường). Yêu cầu đối với đường hàn thường là cao hơn vì chúng phải đảm bảo vừa đủ độ bền, vừa kín khít.

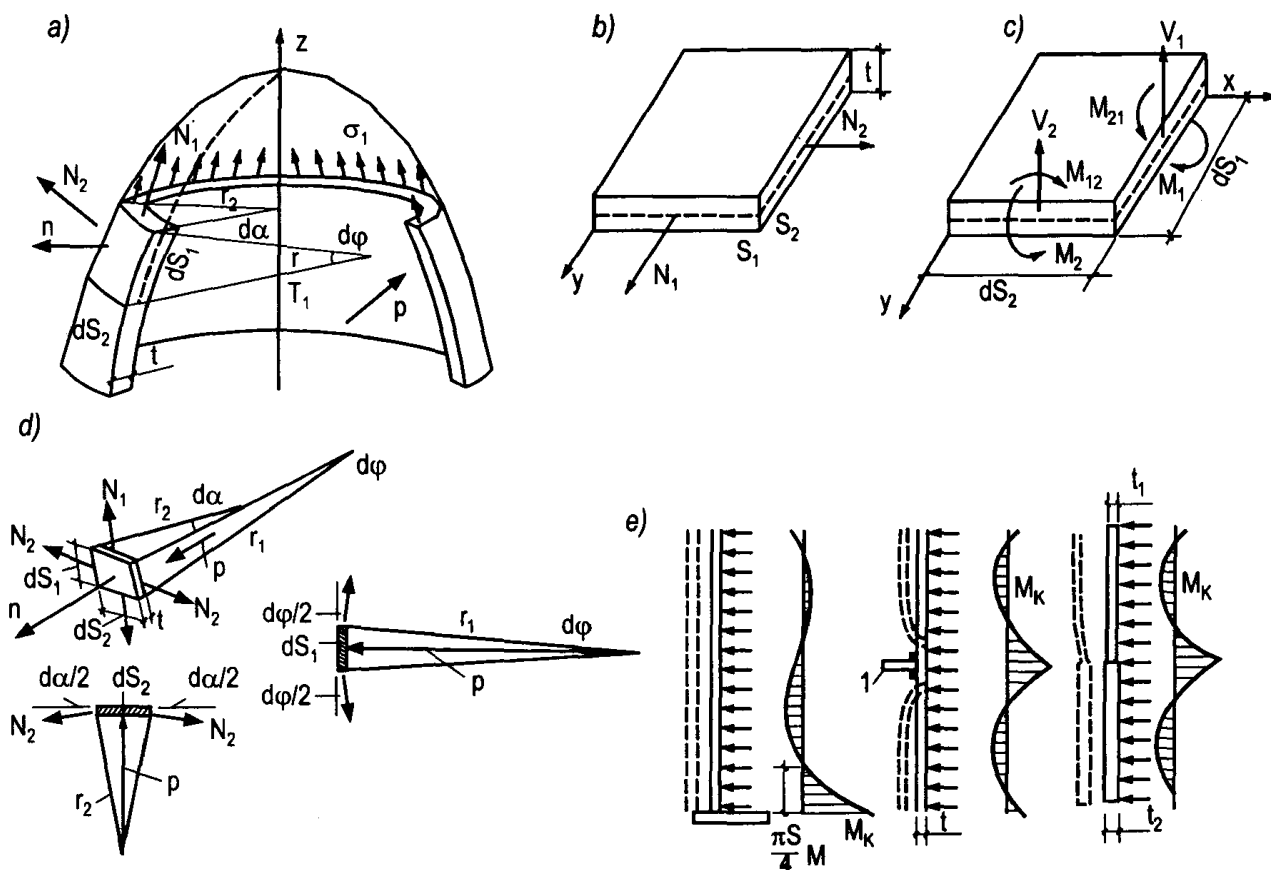
Đường hàn thường sử dụng là đường hàn đối đầu, hàn ghép chồng, hàn chữ T. Hợp lý nhất là dùng đường hàn đối đầu do chi phí kim loại ít nhất và độ tin cậy cao của mối hàn.

Đối với kết cấu thép tấm thường sử dụng thép tấm có chiều dày 4–10mm hoặc hơn.

Để đảm bảo yêu cầu chống ăn mòn, kết cấu thép tấm được phủ lớp sơn chống ăn mòn.

4.6.3. Đặc điểm tính toán

Phần lớn kết cấu thép tấm là các vỏ mỏng tròn xoay. Bề mặt của chúng có một hoặc hai trục đối xứng và hai bán kính cong vuông góc với bề mặt của chúng: r_1 - bán kính theo phương kinh tuyến và r_2 - theo phương vòng (hình 4.40).



Hình 4.40. Tính toán kết cấu thép tấm

- a) Vỏ tròn xoay; b) Phần tử của vỏ với các nội lực trong bề mặt trung bình;
c) Phần tử của vỏ trong trạng thái phi mômen; d) Trạng thái cân bằng của phần tử vỏ;
e) Hiện tượng hiệu ứng biên; 1- sườn vòng.

Chiều dày của vỏ rất nhỏ so với các kích thước khác của vỏ. Phần lớn các vỏ đều có chiều dày không đổi, nên kích thước hình học của chúng được xác định bởi hình dạng bề mặt trung bình.

Dưới tác dụng của tải trọng ngoài bất kỳ, trong vỏ xuất hiện hai nhóm nội lực: pháp tuyến N_1 và N_2 ; lực trượt S_1 và S_2 trong các mặt phẳng tiếp tuyến với bề mặt trung bình của vỏ (hình 4.40b); các mômen uốn M_1 và M_2 , mômen xoắn M_{12} và M_{21} và lực cắt V_1 và V_2 (hình 4.40c).

Đặc điểm riêng của kết cấu vỏ so với kết cấu tấm là: các tải trọng ngoài được cân bằng với nội lực pháp tuyến và lực trượt, vì vậy, vỏ làm việc chủ yếu là chịu kéo và nén, nên vật liệu trong vỏ được sử dụng lợi hơn so với tấm.

Nếu các ứng suất theo chiều dày thành vỏ không đổi thì trạng thái ứng suất của vỏ là phi mômen.

4.6.4. Tính về bền

Kiểm tra độ bền của kết cấu thép tấm vỏ tròn xoay theo trạng thái ứng suất phi mômen theo công thức:

$$\sqrt{\sigma_x^2 - \sigma_x \sigma_y + \sigma_y^2 + 3\tau_{xy}^2} \leq f\gamma_c \quad (4.98)$$

trong đó: σ_x và σ_y - các ứng suất pháp theo hai phương vuông góc với nhau;

τ_{xy} - ứng suất tiếp.

Ngoài ra, các giá trị tuyệt đối của các ứng suất chính không được lớn hơn $f\gamma_c$.

Các ứng suất trong vỏ mỏng tròn xoay tính theo lý thuyết phi mômen (hình 4.41), chịu áp lực của chất lỏng, chất khí hoặc vật liệu hạt được xác định theo công thức:

$$\frac{\sigma_1}{r_1} + \frac{\sigma_2}{r_2} = \frac{p}{t} \quad (4.99)$$

$$\sigma_1 = \frac{F}{2\pi r t \cos \beta} \quad (4.100)$$

trong đó: σ_1 và σ_2 - các ứng suất tương ứng theo phương kinh tuyến và phương vòng;

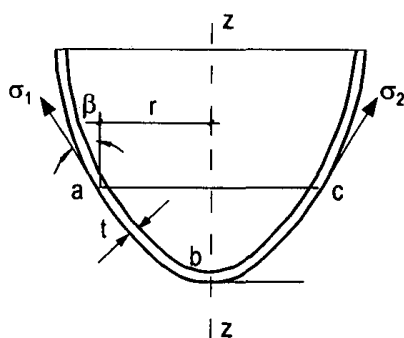
r_1 và r_2 - các bán kính cong theo các phương chính của mặt trung bình của vỏ;

p - áp lực tính toán trên một đơn vị bề mặt của vỏ;

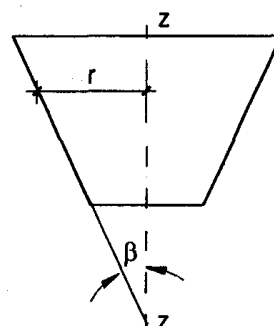
t - chiều dày của vỏ;

F - hình chiếu lên trục $z - z$ của toàn bộ áp lực tính toán tác dụng lên phần vỏ abc (hình 4.41);

r và β - bán kính và góc như trên hình 4.41.



Hình 4.41. Sơ đồ vỏ tròn xoay



Hình 4.42. Sơ đồ vỏ nón tròn xoay

Vỏ mỏng kín, tròn xoay, chịu áp lực phân bố đều bên trong, khi tính theo trạng thái phi mômen, các ứng suất được xác định theo các công thức:

$$\text{- Đối với vỏ trụ: } \sigma_1 = \frac{pr}{2t} \text{ và } \sigma_2 = \frac{pr}{t} \quad (4.101)$$

$$\text{- Đối với vỏ cầu: } \sigma_1 = \sigma_2 = \frac{pr}{t} \quad (4.102)$$

$$\text{- Đối với vỏ nón: } \sigma_1 = \frac{pr}{2t \cos \beta} \text{ và } \sigma_2 = \frac{pr}{t \cos \beta} \quad (4.103)$$

trong đó: p - áp lực tính toán bên trong trên một đơn vị diện tích bề mặt vỏ;

r - bán kính mặt trung bình của vỏ (hình 4.42);

β - góc giữa đường sinh của mặt nón và trục $z-z$ của nó (hình 4.42).

Ở những chỗ vỏ thay đổi hình dạng, thay đổi chiều dày, cũng như có tải trọng thay đổi phải kể đến ứng suất cục bộ (hiệu ứng biên).

4.6.5. Tính về ổn định

Về mặt cấu tạo khi thiết kế kết cấu thép tấm cần đảm bảo các yêu cầu sau:

- Các sườn cứng ngang của vỏ phải có chu vi kín.
- Tải trọng tập trung không được truyền trực tiếp lên vỏ mà phải thông qua các sườn cứng trung gian.
- Để giảm ứng suất cục bộ, chỗ nối các vỏ có hình dạng khác nhau được làm trơn thoải.
- Các đường hàn đối đầu được hàn hai phía hoặc hàn một phía có hàn đầy thêm ở mặt sau, hoặc hàn trên bản lót.
- Trong thiết kế phải ghi rõ các điều cần thiết để đảm bảo tính đặc kín của liên kết theo yêu cầu sử dụng.
- Trong kết cấu thép tấm thường dùng liên kết hàn đối đầu. Khi chiều dày các tấm $t \leq 5 \text{ mm}$, hoặc khi liên kết lắp ghép cho phép dùng liên kết chồng.

Trong các kết cấu xây dựng, thường áp dụng các vỏ mà ứng suất trong chúng gần bằng cường độ tính toán. Các vỏ này được tính toán có kể đến ảnh hưởng của độ lệch tâm ban đầu và sự phát triển biến dạng dẻo.

Đối với vỏ có độ mảnh nhỏ và vừa, việc kể đến sự làm việc không đàn hồi của vật liệu có ảnh hưởng lớn đến tải trọng giới hạn khi mất ổn định. Khi $r/t > 300$ thì không cần kể đến hệ số ψ .

Vỏ trụ kín, chịu nén đều song song với đường sinh, được kiểm tra ổn định theo công thức:

$$\sigma_1 \leq \gamma_c \sigma_{cr1} \quad (4.104)$$

trong đó: σ_1 - ứng suất tính toán trong vỏ;

σ_{cr1} - ứng suất tới hạn, lấy bằng giá trị nhỏ hơn trong hai giá trị: ψf hoặc cEt/r .

Giá trị của hệ số ψ khi $0 < r/t \leq 300$ được tính theo công thức:

$$\psi = 0,97 - \left(0,00025 + 0,95 \frac{f}{E} \right) \frac{r}{t} \quad (4.105)$$

Giá trị của hệ số c lấy theo bảng 4.28.

Bảng 4.28. Giá trị của hệ số c

r/t	100	200	300	400	600	800	1000	1500	2500
c	0,22	0,18	0,16	0,14	0,11	0,09	0,08	0,07	0,06

Khi vỏ chịu nén lệch tâm song song với đường sinh, hoặc chịu uốn thuần túy trong mặt phẳng đường kính, nếu ứng suất tiếp ở chỗ mômen lớn nhất $\tau \leq 0,07E(t/r)^{3/2}$, thì giá trị của ứng suất σ_{cr1} được tăng lên bằng cách nhân với $(1,1 - 0,1 \sigma'_1/\sigma_1)$, trong đó: σ'_1 - ứng suất nhỏ nhất (ứng suất kéo được quy ước là âm).

Trong trường hợp chịu thêm nén dọc trục, với vỏ trụ tròn có áp lực phân bố đều bên trong, giá trị tới hạn của ứng suất dọc trục tăng lên.

Vỏ trụ kín tròn xoay, chịu tác động của áp lực phân bố đều từ phía ngoài vuông góc với mặt vỏ, được tính về ổn định theo công thức:

$$\sigma_2 \leq \gamma_c \sigma_{cr2} \quad (4.106)$$

trong đó: $\sigma_2 = pr/t$ - ứng suất vòng tính toán trong vỏ;

σ_{cr2} - ứng suất tới hạn, xác định theo các công thức sau:

$$\text{- Khi } 0,5 \leq l/r \leq 10 : \quad \sigma_{cr2} = 0,55E(r/l)(t/r)^{3/2} \quad (4.107)$$

$$\text{- Khi } l/r \geq 20: \quad \sigma_{cr2} = 0,17E(t/r)^2 \quad (4.108)$$

- Khi $10 < l/r < 20$, giá trị của σ_{cr2} được nội suy tuyến tính theo các giá trị ứng với $l/r = 10$ và $l/r = 20$ (với l là chiều dài vỏ trụ).

Nếu vỏ được tăng cường bằng các sườn vòng có khoảng cách giữa các trục sườn là $s \geq 0,5r$, thì khi kiểm tra ổn định theo các công thức (4.106) đến (4.108), giá trị của l được thay bằng s . Khi đó để đảm bảo ổn định của vành, mômen quán tính của nó lấy theo trục song song với đường sinh không được nhỏ hơn giá trị $psr^3/3E$. Diện tích tính toán gồm diện tích của sườn cộng thêm diện tích phần vỏ có chiều rộng $0,65t\sqrt{E/f}$ về mỗi phía của sườn (tính từ trục sườn). Trường hợp sườn chỉ đặt ở một phía của vỏ thì mômen quán tính được lấy đối với trục trùng với mặt tiếp xúc của vỏ và sườn.

Vỏ trụ kín chịu tác dụng đồng thời của các tải trọng nén đều song song với đường sinh và chịu áp lực phân bố đều từ phía ngoài vuông góc với mặt vỏ được kiểm tra ổn định theo công thức:

$$\frac{\sigma_1}{\sigma_{cr1}} + \frac{\sigma_2}{\sigma_{cr2}} \leq \gamma_c \quad (4.109)$$

trong đó: σ_{cr1} - được tính theo điều kiện 4.103;

σ_{cr2} - được tính theo điều kiện 4.105;

Vỏ nón tròn xoay, có góc nghiêng $\beta \leq 60^\circ$, chịu lực nén dọc trục N (hình 4.43), được kiểm tra về ổn định theo công thức:

$$N \leq \gamma_c N_{cr} \quad (4.110)$$

trong đó: N_{cr} - lực nén tới hạn, tính theo công thức:

$$N_{cr} = 6,28 r_m t \sigma_{cr1} \cos^2 \beta \quad (4.111)$$

với: t - chiều dày của vỏ;

σ_{cr1} - ứng suất tới hạn, tính theo điều kiện 4.103 nhưng thay bán kính r bằng bán kính r_m :

$$r_m = \frac{0,9r_2 + 0,1r_1}{\cos \beta} \quad (4.112)$$

Vỏ nón tròn xoay, chịu áp lực phân bố đều từ phía ngoài p vuông góc với mặt vỏ, được kiểm tra về ổn định theo công thức:

$$\sigma_2 \leq \gamma_c \sigma_{cr2} \quad (4.113)$$

trong đó: $\sigma_2 = pr_m/t$ - ứng suất tính toán trong vỏ;

σ_{cr2} - ứng suất tới hạn, tính theo công thức:

$$\sigma_{cr2} = 0,55E(r_m/h)(t/r_m)^{3/2} \quad (4.114)$$

Với: h - chiều cao của vỏ uốn (khoảng cách giữa hai đáy);

r_m - bán kính, tính theo công thức (4.112).

Vỏ nón tròn xoay, chịu tác dụng đồng thời của các lực nén dọc trục N và áp lực phân bố đều từ phía ngoài vuông góc với mặt vỏ được kiểm tra về ổn định theo công thức:

$$\frac{N}{N_{cr}} + \frac{\sigma_2}{\sigma_{cr2}} \leq \gamma_c \quad (4.115)$$

trong đó: các giá trị của N_{cr} và σ_{cr2} được tính theo các công thức (4.111) và (4.114).

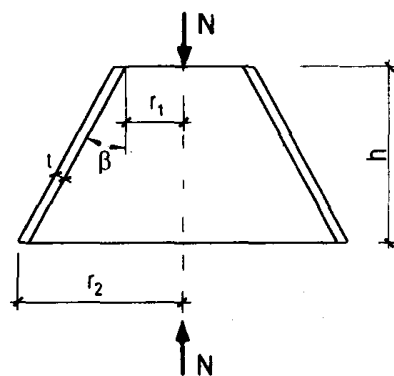
Vỏ cầu (hoặc chòm cầu) có tỷ số $r/t \leq 750$, chịu áp lực phân bố đều từ phía ngoài vuông góc với mặt vỏ được kiểm tra ổn định theo công thức:

$$\sigma \leq \gamma_c \sigma_{cr} \quad (4.116)$$

trong đó: $\sigma = pr/2t$ - ứng suất tính toán;

$\sigma_{cr} = 0,1Et/r$ - ứng suất tới hạn, lấy không lớn hơn f ;

r - bán kính trung bình của vỏ.



Hình 4.43. Sơ đồ vỏ nón tròn xoay chịu lực nén dọc trục

Chương 5

TÍNH TOÁN LIÊN KẾT

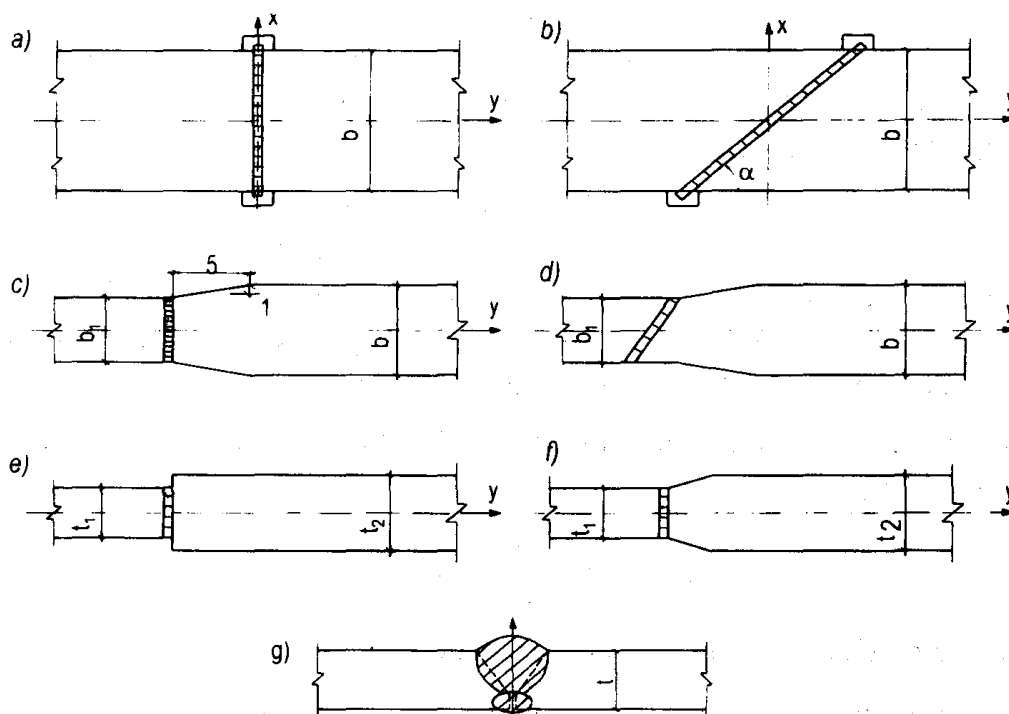
5.1. LIÊN KẾT HÀN

Khi thiết kế liên kết hàn, cần kể đến sự không đồng nhất của liên kết gây ra sự tập trung ứng suất, sự thay đổi tính chất của kim loại và sự biến hình hàn.

Liên kết hàn thường được thực hiện dưới 4 dạng chính: liên kết đối đầu, liên kết có bán ghép, liên kết ghép chồng và liên kết hàn góc. Độ bền của đường hàn đặc trưng bởi cường độ tính toán của nó. Độ bền của đường hàn được tính toán theo các điều kiện của trạng thái giới hạn thứ nhất.

5.1.1. Liên kết hàn đối đầu

Liên kết hàn đối đầu sử dụng các đường hàn đối đầu vuông góc hoặc xiên với phương tác dụng của lực một góc α (hình 5.1).



Hình 5.1. Các dạng liên kết hàn đối đầu

a) Dùng đường hàn vuông góc; b) Dùng đường hàn xiên; c-d) Các cấu kiện được hàn có chiều rộng khác nhau; e-f) Các cấu kiện được hàn có chiều dày khác nhau

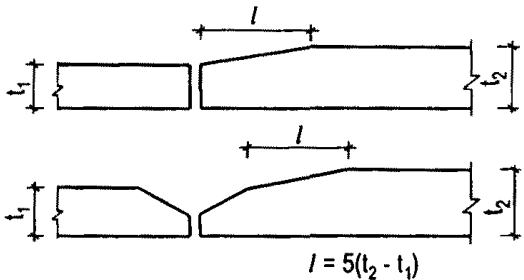
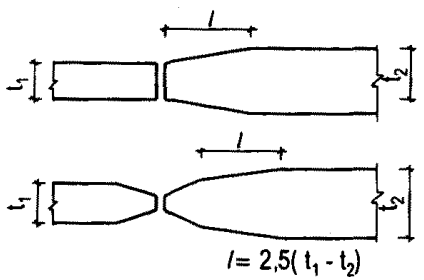
Khi hàn đối đầu các bản thép có chiều dày khác nhau thì hiệu số giới hạn lớn nhất của chiều dày ($t_2 - t_1$) được quy định trong bảng 5.1.

Bảng 5.1. Quy định về chênh lệch độ dày của các bản thép khi hàn đối đầu với nhau

Chiều dày bản mỏng t_1 , mm	Đến 3	4 – 8	9 – 11	12 – 25	Trên 25
Hiệu số lớn nhất của chiều dày ($t_2 - t_1$)	$0,7t_1$	$0,6t_1$	$0,1t_1$	5	7

Nếu hiệu số giữa chiều dày các bản thép đó vượt quá giá trị quy định trong bảng 5.1, thì bản dày hơn phải được vát một phía hoặc hai phía trên chiều dài l như trong bảng 5.2.

Bảng 5.2. Quy định tạo vát khi hàn các bản thép có bề dày khác nhau

Vát một bên	Vát hai bên
 <p style="text-align: center;">$l = 5(t_2 - t_1)$</p>	 <p style="text-align: center;">$l = 2,5(t_1 - t_2)$</p>
$t_2 - t_1 > t_1/8$	

Liên kết hàn đối đầu có chất lượng tốt thì ứng suất do tải trọng bên ngoài tác dụng tập trung không lớn, vì vậy độ bền của nó trước tiên phụ thuộc vào tính chất cơ học của thép cơ bản và kim loại đường hàn.

Đoạn đầu và cuối của đường hàn thường có chất lượng không tốt, vì vậy nên dùng bản lót để hàn đoạn đầu và cuối của đường hàn, sau khi đường hàn nguội có thể bỏ bản lót. Trường hợp ngược lại, thì chiều dài tính toán của đường hàn phải giảm đi một đoạn nhỏ so với chiều dài thực tế của nó (chiều dài hình học). Ngoài ra, cần phải kiểm soát chất lượng đường hàn để tránh các khuyết tật có thể xảy ra.

Liên kết hàn đối đầu vuông góc (hình 5.1a) chịu lực kéo hoặc nén đúng tâm N được tính theo công thức:

$$\sigma_w = \frac{N}{A_w} = \frac{N}{tl_w} \leq f_w \gamma_c \quad (5.1)$$

trong đó: A - diện tích tính toán của đường hàn đối đầu, $A_w = tl_w$;

t - chiều dày nhỏ nhất của các cấu kiện được liên kết;

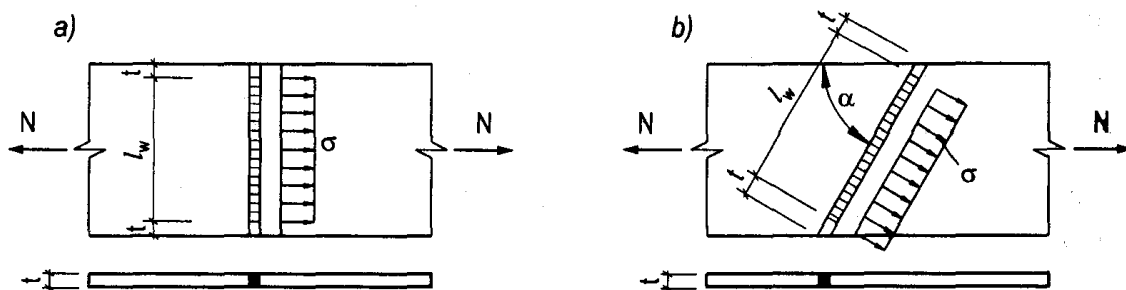
l_w - chiều dài tính toán của đường hàn, bằng chiều dài thực (chiều dài hình học) trừ đi $2t$, hoặc bằng chiều dài thực nếu hai đầu của đường hàn kéo dài quá giới hạn nối (khi hàn trên bản lót);

γ_c - hệ số điều kiện làm việc;

f_w - cường độ tính toán của đường hàn đối đầu: khi chịu kéo ký hiệu là f_{wt} , khi chịu nén ký hiệu là f_{wc} , lấy theo bảng B.5 phụ lục B.

Khi $tg\alpha = 2:1$ thì đường hàn xiên có độ bền bằng độ bền của thép cơ bản nên không cần kiểm tra độ bền đường hàn nữa.

Khi không thể hoặc khó sử dụng các phương pháp vật lý để kiểm tra đường hàn, thì theo TCXCVN 338 : 2005 cường độ tính toán của kim loại đường hàn $f_w = 0.85f$. Để đường hàn có độ bền bằng độ bền của kim loại cơ bản (cấu kiện được hàn) thì chiều dài đường hàn phải lớn hơn chiều rộng bản thép cơ bản b , vì vậy người ta dùng đường hàn xiên (hình 5.2). Chiều dài đường hàn lớn hơn sẽ bù lại được sự giảm chất lượng kim loại đường hàn trong liên kết. Thực tế thường sử dụng đường hàn xiên với góc $\alpha = 45^\circ - 60^\circ$.



Hình 5.2. Tính toán đường hàn đối đầu

a) Vuông góc; b) Xiên

Đường hàn đối đầu xiên (hình 5.2b) chịu lực dọc trục N được kiểm tra bền theo ứng suất pháp và ứng suất tiếp bằng các công thức sau:

$$\sigma_w = \frac{N \sin \alpha}{A_w} = \frac{N}{t l_w} \leq f_{wt} \gamma_c \quad (5.2)$$

$$\tau_w = \frac{N \cos \alpha}{A_w} = \frac{N}{t l_w} \leq f_{wt} \gamma_c \quad (5.3)$$

trong đó: σ_w - ứng suất pháp trong đường hàn (vuông góc với đường hàn);

τ_w - ứng suất tiếp trong đường hàn (song song với đường hàn);

f_{wt} - cường độ chịu cắt của đường hàn đối đầu (xem bảng B.5 của phụ lục B);

l_w - chiều dài tính toán của đường hàn xiên, bằng chiều dài thực (chiều dài hình học) trừ đi $2t$, hoặc bằng chiều dài thực nếu hai đầu của đường hàn kéo dài quá giới hạn nối (khi hàn trên bản lót).

Không cần kiểm tra bền liên kết hàn đối đầu khi dùng loại que hàn theo bảng B.3, phụ lục B, các cấu kiện liên kết được hàn đầy và có kiểm tra chất lượng mối hàn bằng các phương pháp vật lý.

Liên kết hàn đối đầu chịu tác dụng của mômen uốn (hình 5.3a) được kiểm tra bền theo công thức:

$$\sigma_w = \frac{M}{W_w} \leq f_{wt} \gamma_c \quad (5.4)$$

trong đó: W_w - mômen kháng của tiết diện đường hàn: $W_w = t l_w^2 / 6$.

Khi liên kết hàn đối đầu chịu tác dụng đồng thời của mômen uốn và lực cắt, trạng thái ứng suất sẽ phức tạp, có tác dụng đồng thời của ứng suất pháp, ứng suất tiếp và ứng suất cục bộ (hình 5.3b), độ bền của nó được kiểm tra theo ứng suất tương đương bằng công thức:

$$\sqrt{\sigma_{xw}^2 + \sigma_{yw}^2 - \sigma_{xw} \sigma_{yw} + 3\tau_w^2} \leq 1,15 f_w \gamma_c \quad (5.5)$$

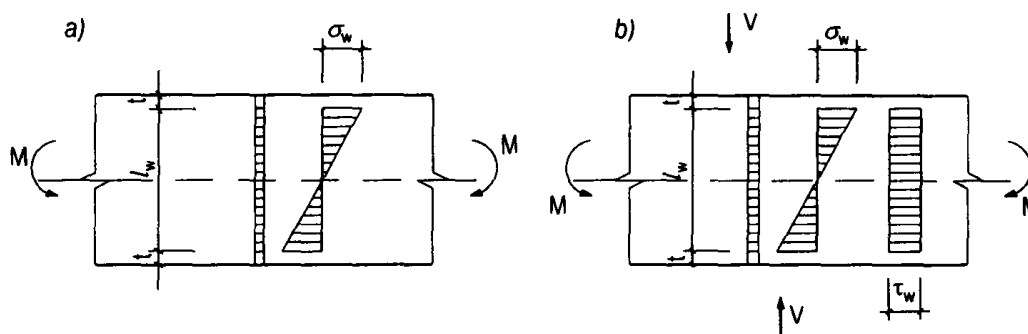
trong đó σ_{xw} , σ_{yw} , τ_w và f_w lần lượt là các ứng suất pháp theo hai phương vuông góc, ứng suất tiếp trong đường hàn và cường độ tính toán của đường hàn đối đầu.

Hệ số 1,15 kể đến sự phát triển của biến dạng dẻo trong đường hàn.

Trường hợp liên kết hàn đối đầu vuông góc chịu tác dụng đồng thời của ứng suất pháp và ứng suất tiếp, thì công thức (5.5) có dạng:

$$\sqrt{\sigma_w^2 + 3\tau_w^2} \leq 1,15 f_w \gamma_c \quad (5.6)$$

trong đó: σ_w - ứng suất pháp trong đường hàn.



Hình 5.3. Liên kết hàn đối đầu

a) Chịu mômen uốn M ; b) Chịu mômen uốn và lực cắt

Ví dụ 5.1:

Tính toán liên kết hàn đối đầu các bản thép rộng $b = 300$ mm, dày $t_1 = 6$ mm và $t_2 = 10$ mm, chịu tác dụng của nội lực dọc kéo tính toán $N = 350$ kN (xem hình 5.4). Thép CCT34 có cường độ tính toán chịu kéo $f = 210$ N/mm². Phương pháp hàn bằng tay dùng que hàn N46 (theo TCVN 3223 : 1994), kiểm tra đường hàn bằng trực quan. Hệ số điều kiện làm việc $\gamma_c = 1,0$.

Trước tiên chọn đường hàn đối đầu thẳng góc.

Theo bảng B.5 phụ lục B, cường độ tính toán của đường hàn chịu kéo:

$$f_{wt} = f_w = 0,85f = 0,85 \cdot 210 = 178,5 \text{ N/mm}^2.$$

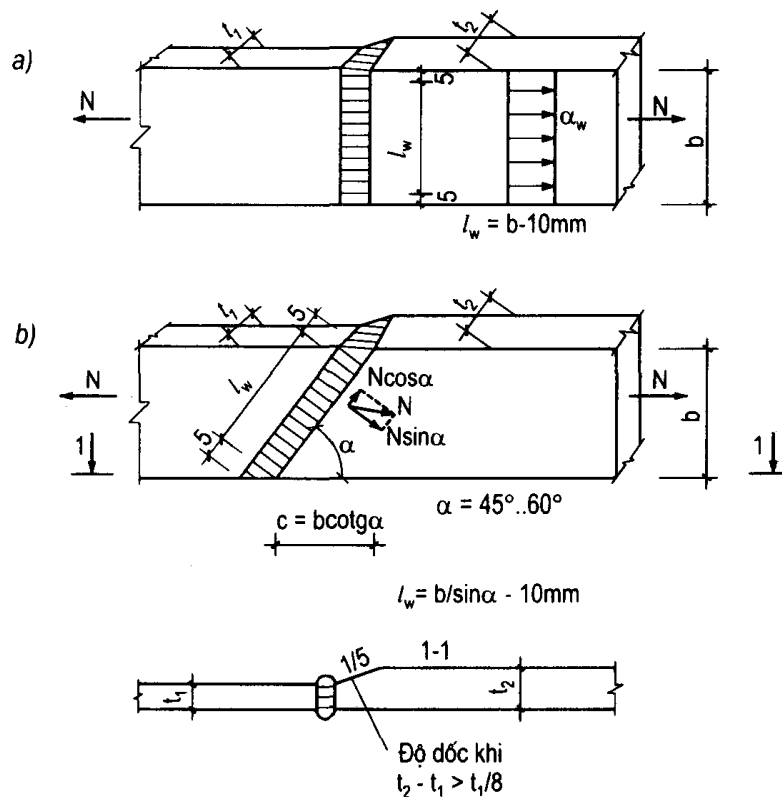
Theo cấu tạo ban đầu thì chiều dày bản thép mỏng nhất: $t_{\min} = t_1 = 6 \text{ mm}$; $b = 300 \text{ mm}$;

$$l_w = b - 2t_1 \text{ mm (hình 5.4).}$$

Kiểm tra độ bền của đường hàn theo công thức (5.1):

$$\begin{aligned} \sigma_w &= \frac{N}{A_w} = \frac{N}{t l_w} = \frac{N}{t_{\min} (b - 2t_1)} = \frac{350}{6(300 - 2 \cdot 6)} = \\ &= 202 \text{ N/mm}^2 > f_w \gamma_c = 178,5 \cdot 1,0 = 178,5 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

Độ bền đường hàn đối đầu thẳng góc không đảm bảo, cần phải bố trí đường hàn xiên.



Hình 5.4. Cho ví dụ 5.1

Từ công thức (5.1), tính lực giới hạn mà đường hàn thẳng góc chịu được:

$$N = \gamma_c f_w t_1 (b - 2t_1) = 1 \cdot 178,5 \cdot 6(300 - 6) = 314,9 \cdot 10^3 \text{ N} = 314,9 \text{ kN}.$$

Tính toán đường hàn xiên.

Chọn đường hàn với tỉ số các cạnh $b : c = 2 : 1$. Từ đó tính được góc: $\alpha = \arctg 2 = 63^\circ 26'$.

Chiều dài đường hàn xiên bằng:

$$l_w = \frac{b}{\sin \alpha} - 2t_1 = \frac{300}{\sin 63^\circ 26'} - 12 = \frac{300}{0,894} - 12 = 325 \text{ mm} = 32,5 \text{ cm}$$

Theo công thức (5.2), ứng suất pháp trong đường hàn bằng:

$$\sigma_w = \frac{N \sin \alpha}{t_l l_w} = \frac{350000 \cdot 0,894}{6 \cdot 325} = 161 \text{ N/mm}^2 < f_{wt} \gamma_c = 178,5 \text{ N/mm}^2$$

Theo công thức (5.3), ứng suất tiếp trong đường hàn bằng:

$$\tau_w = \frac{N \cos \alpha}{A_w} = \frac{N \cos \alpha}{t_l l_w} = \frac{350000 \cdot 0,447}{6 \cdot 325} = 80 \text{ N/mm}^2 < f_{wv} \gamma_c = 121,8 \text{ N/mm}^2$$

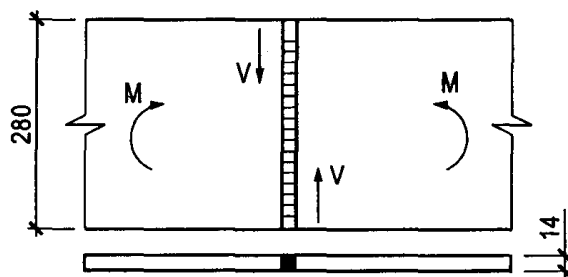
trong đó: $f_{wv} = 0,58f = 0,58 \cdot 210 = 121,8 \text{ N/mm}^2$ (theo bảng A.6 phụ lục A).

Độ bền đường hàn đối đầu xiên đảm bảo.

Theo bảng 5.1, vì $t_2 - t_1 = 10 - 6 = 4 \text{ mm} > t_1/8 = 0,75$, nên theo yêu cầu cấu tạo, bản thép dày t_2 tại mép hàn phải được vát mép với độ dốc 1 : 5 (xem hình 5.4a, b).

Ví dụ 5.2:

Kiểm tra độ bền của đường hàn đối đầu hai bản thép có tiết diện $280 \times 14 \text{ mm}$ chịu mômen uốn $M = 25 \text{ kNm}$, lực cắt $V = 240 \text{ kN}$ (hình 5.5), hệ số điều kiện làm việc $\gamma_c = 1,0$. Thép CCT34 có cường độ tính toán $f = 210 \text{ N/mm}^2$. Phương pháp hàn tay dùng que hàn N42, kiểm tra bằng trực quan.



Hình 5.5. Cho ví dụ 5.2

Đường hàn chịu tác dụng đồng thời của mômen và lực cắt nên được kiểm tra bền theo công thức (5.6):

Trước tiên tính:

$$W_w = \frac{t_l^2}{6} = \frac{1,4(28 - 2 \cdot 1,4)^2}{6} = 148,13 \text{ cm}^3.$$

$$\sigma_w = \frac{M}{W_w} = \frac{250000}{148,18} = 168,713 \text{ N/mm}^2.$$

$$\tau_w = \frac{V}{A_w} = \frac{24000}{1,4(28 - 2 \cdot 1,4)} = 68,027 \text{ N/mm}^2.$$

Vậy:

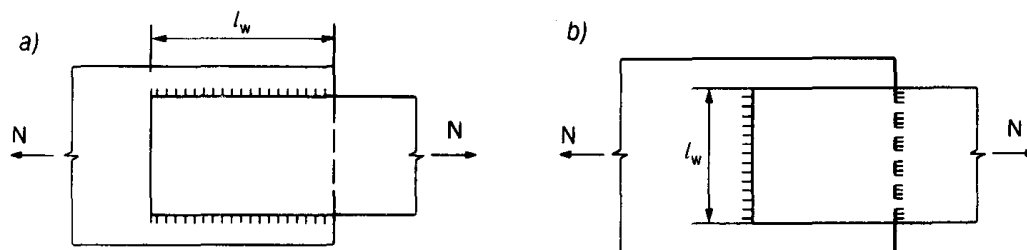
$$\sigma_{eq} = \sqrt{\sigma_w^2 + 3\tau_w^2} = \sqrt{168,713^2 + 3 \cdot 68,027^2} = 205,78 \text{ N/mm}^2 \leq 1,15 \cdot 1800 \cdot 1,0 = 207 \text{ N/mm}^2$$

Liên kết đủ bền.

5.1.2. Liên kết hàn góc

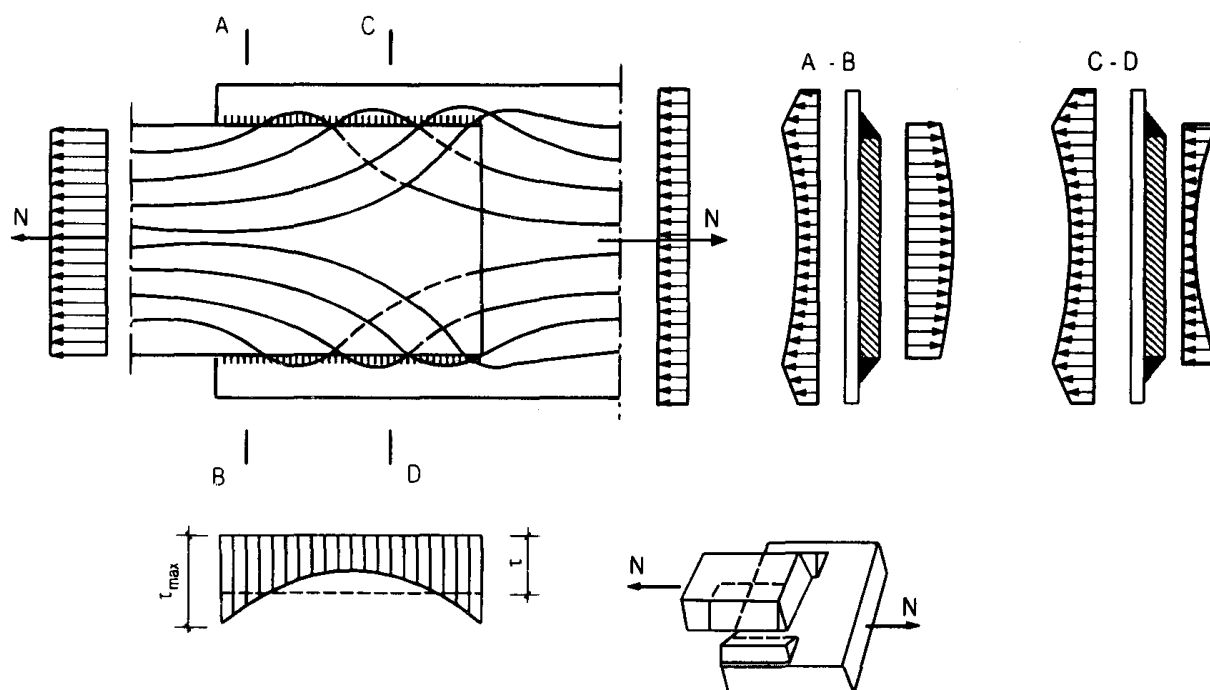
Trong kết cấu xây dựng, đường hàn góc được sử dụng dưới các dạng liên kết chính: liên kết chữ T, liên kết góc và liên kết ghép chồng.

Liên kết **ghép chồng** dùng đường hàn góc cạnh và đường hàn góc đầu. Đường hàn góc cạnh là đường hàn góc song song với phương của lực tác dụng (hình 5.6a). Đường hàn góc đầu là đường hàn góc vuông góc với phương lực tác dụng (hình 5.6b).



Hình 5.6. Các dạng đường hàn góc
a) Đường hàn góc cạnh; b) Đường hàn góc đầu

Đường hàn góc cạnh gây nên sự phân bố ứng suất không đều theo bề rộng và chiều dài của liên kết vì ngoài việc truyền lực trực tiếp từ cấu kiện này sang cấu kiện kia, đầu và cuối đường hàn chịu thêm nội lực bổ sung do biến dạng không đều của các cấu kiện được liên kết (hình 5.7).

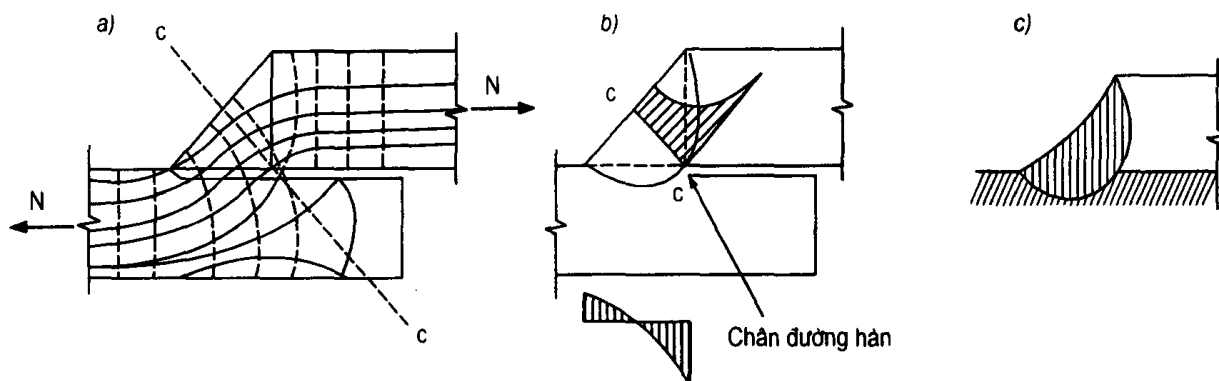


Hình 5.7. Đường hàn góc cạnh
a) Sự phân bố ứng suất trong đường hàn; b) Dạng phá hoại của đường hàn

Do tính chất truyền lực nên đường hàn góc cạnh làm việc chịu tác dụng đồng thời của uốn và cắt. Sự phá hoại đường hàn thường bắt đầu từ cuối đường hàn.

Đường hàn góc đầu truyền lực tương đối đều theo bề rộng cấu kiện, nhưng rất không đều theo chiều cao đường hàn do đường lực bị uốn cong khi truyền từ cấu kiện này sang cấu kiện kia (hình 5.8). Đặc biệt ở chân đường hàn ứng suất tập trung lớn. Vì vậy, cần có những biện pháp làm giảm sự tập trung ứng suất trong liên kết như: đường hàn có góc thoải hơn tạo đường hàn có độ vồng và tăng độ sâu của thép nóng chảy. Các biện pháp này đặc biệt nên sử dụng trong các kết cấu chịu tải trọng động và tải trọng rung động

(điều 8.6.1.3 của tiêu chuẩn TCXDVN 338 : 2005 quy định tỉ lệ hai cạnh góc vuông của tiết diện đường hàn là 1:1,5, cạnh dài nằm theo phương tác dụng của lực).

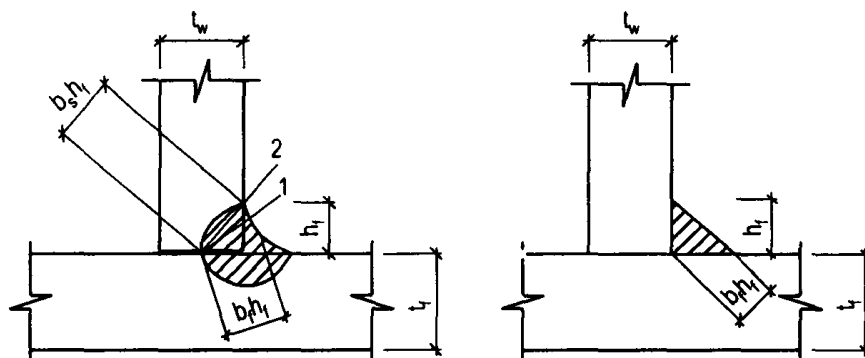


Hình 5.8. Sự làm việc của đường hàn góc đầu

a) Đường lực; b) Sự phân bố ứng suất trong tiết diện đường hàn $c-c$; c) Tiết diện lõm

Đường hàn góc đầu làm việc chịu các ứng suất kéo, nén, uốn và cắt.

Do sự làm việc phức tạp của các đường hàn góc, nên việc tính toán chúng chỉ mang tính chất quy ước và đã được thực tế kiểm chứng. Đường hàn góc cạnh và góc đầu được tính toán như nhau. Lực tác dụng coi như được phân bố đều dọc theo đường hàn và đường hàn coi như bị phá hoại theo một trong hai tiết diện (tiết diện 1 và tiết diện 2 hình 5.9).



Hình 5.9. Các tiết diện làm việc của đường hàn góc

1 - theo kim loại đường hàn; 2 - theo kim loại biên nóng chảy

a) Liên kết hàn dùng đường hàn góc, chịu tác dụng của lực dọc N và lực cắt V được kiểm tra bền (cắt quy ước) theo hai tiết diện (hình 5.9):

- Theo kim loại đường hàn (tiết diện 1):

$$\frac{N}{(\beta_f h_f) l_w} \leq f_{wf} \gamma_c \quad (5.7)$$

- Theo kim loại ở biên nóng chảy (tiết diện 2):

$$\frac{N}{(\beta_s h_f) l_w} \leq f_{ws} \gamma_c \quad (5.8)$$

trong đó:

l_w - chiều dài tính toán của đường hàn góc, bằng tổng chiều dài chiều dài thực các đoạn đường hàn trừ đi 10 mm do chất lượng không tốt ở đầu và cuối đường hàn;

h_f - chiều cao của đường hàn góc;

β_f và β_s - các hệ số chiều sâu nóng chảy của đường hàn ứng với các tiết diện 1 và 2, lấy như sau:

- Khi các cấu kiện được hàn làm từ thép có giới hạn chảy $f_y \leq 530 \text{ N/mm}^2$, lấy theo bảng 5.3;

- Khi $f_y > 530 \text{ N/mm}^2$ không phụ thuộc vào phương pháp hàn, vị trí đường hàn và đường kính que hàn lấy $\beta_f = 0,7$ và $\beta_s = 1$.

f_{wf} và f_{ws} - lần lượt là cường độ tính toán chịu cắt quy ước của kim loại đường hàn và thép cơ bản trên biên nóng chảy.

Khi tính toán phải xác định tiết diện bị phá hoại trước (tiết diện 1 hoặc 2), tương ứng với giá trị: $(\beta f_w)_{\min} = \min(\beta_s f_{ws}; \beta_f f_{wf})$.

Cách gia công mép cấu kiện phụ thuộc vào chiều dày của chúng được đưa vào bảng B.7 phụ lục B.

Kích thước và hình dạng của đường hàn góc được quy định như sau:

- Chiều cao của đường hàn góc h_f không được lớn hơn $1,2t_{\min}$ (t_{\min} - chiều dày nhỏ nhất của các cấu kiện được liên kết).

- Chiều cao của đường hàn góc h_f lấy theo tính toán, nhưng không được nhỏ hơn các giá trị cho trong bảng 5.4.

Bảng 5.3. Hệ số β_f và β_s

Phương pháp hàn, đường kính que (dây) hàn d, mm	Vị trí đường hàn	Hệ số	Giá trị khi chiều cao đường hàn h_f , mm			
			3 ÷ 8	9 ÷ 12	14 ÷ 16	≥ 18
Hàn tự động khi d = 3 ÷ 5	Trong máng	β_f	1,1		0,7	
		β_s	1,15		1,0	
	Nằm	β_f	1,1	0,9		0,7
		β_s	1,15	1,05		1,0
Hàn tự động, bán tự động khi d = 1,4 ÷ 2	Trong máng	β_f	0,9	0,8		0,7
		β_s	1,05		1,0	
	Nằm, ngang, đứng	β_f	0,9	0,8		0,7
		β_s	1,05		1,0	
Hàn tay, bán tự động với dây hàn đặc $d < 1,4$ hoặc dây hàn có lõi thuốc.	Trong máng, ngang, đứng, ngược	β_f	0,7			
		β_s	1,0			
Ghi chú: 1. Giá trị của các hệ số ứng với chế độ hàn tiêu chuẩn. 2. Vị trí đường hàn trong không gian thể hiện trên hình B.1 phụ lục B.						

- Chiều dài tính toán của đường hàn góc không được nhỏ hơn $4h_f$ và không nhỏ hơn 40 mm.

- Chiều dài tính toán của đường hàn góc cạnh không được lớn hơn $85\beta_f$ $85\beta_f h_f$ (β_f - hệ số lấy ở bảng 5.3), trừ những đường hàn mà lực truyền đều trên toàn bộ chiều dài đường hàn (ví dụ đường hàn bản cánh với bản bụng dầm đặc);

- Kích thước các phần chồng nhau (trong liên kết chồng) không được nhỏ hơn 5 lần chiều dày nhỏ nhất của các cấu kiện được hàn

- Tỷ số kích thước hai cạnh góc vuông của đường hàn góc lấy bằng 1:1; khi các cấu kiện được hàn có chiều dày khác nhau cho phép dùng đường hàn có hai cạnh không đều nhau.

Bảng 5.4. Chiều cao tối thiểu của đường hàn góc h_f

Dạng liên kết	Phương pháp hàn	Giới hạn chảy của thép f_y (N/mm ²)	Giá trị h_f khi chiều dày lớn nhất của các cấu kiện được hàn t (mm)						
			4÷5	6÷10	11÷16	17÷22	23÷32	33÷40	41÷80
Chữ T với đường hàn góc hai phía; chồng và góc	Tay	≤ 430	4	5	6	7	8	9	10
		$430 < f_y \leq 530$	5	6	7	8	9	10	12
	Tự động và bán tự động	≤ 430	3	4	5	6	7	8	9
		$430 < f_y \leq 530$	4	5	6	7	8	9	10
Chữ T với đường hàn góc một phía	Tay	≤ 380	5	6	7	8	9	10	12
	Tự động và bán tự động		4	5	6	7	8	9	10

Ghi chú: Các kết cấu từ thép có giới hạn chảy $f_y > 530$ N/mm² và với tất cả các loại thép khi chiều dày các cấu kiện > 80mm chiều cao nhỏ nhất của đường hàn góc lấy theo các quy định kỹ thuật riêng.

b) Liên kết hàn dùng đường hàn góc chỉ chịu mômen uốn M :

- Khi mômen uốn M tác dụng nằm trong mặt phẳng vuông góc với mặt phẳng bố trí đường hàn (hình 5.10), độ bền của đường hàn được tính theo công thức:

+ Theo kim loại đường hàn:

$$\tau_{wf} = \frac{M}{W_f} \leq f_{wf} \gamma_c \quad (5.9)$$

+ Theo kim loại ở biên nóng chảy:

$$\tau_{ws} = \frac{M}{W_s} \leq f_{ws} \gamma_c \quad (5.10)$$

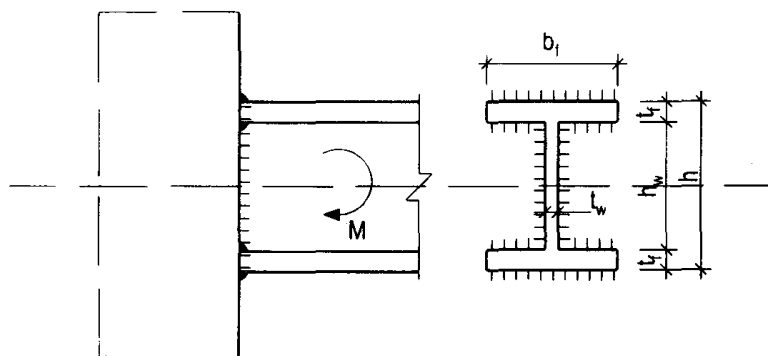
trong đó:

W_f - môđun chống uốn của tiết diện tính toán theo kim loại đường hàn:

$$W_f = \beta_f h_f \frac{\sum l_w^2}{6};$$

W_s - môđun chống uốn của tiết diện tính toán theo biên nóng chảy của thép cơ bản:

$$W_s = \beta_s h_f \frac{\sum l_w^2}{6}.$$



Hình 5.10. Đường hàn góc chịu mômen tác dụng vuông góc với mặt phẳng bố trí đường hàn

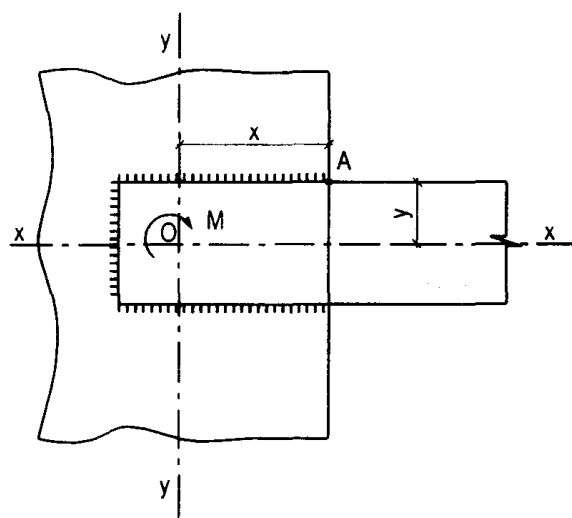
- Khi mômen uốn tác dụng nằm trong mặt phẳng bố trí đường hàn (hình 5.12), độ bền của đường hàn được tính theo công thức:

+ Theo kim loại đường hàn:

$$\frac{M}{I_{xw} + I_{yw}} \sqrt{x^2 + y^2} \leq f_{wf} \gamma_c \quad (5.11)$$

+ Theo kim loại ở biên nóng chảy:

$$\frac{M}{I_{xs} + I_{ys}} \sqrt{x^2 + y^2} \leq f_{ws} \gamma_c \quad (5.12)$$



Hình 5.11. Đường hàn góc chịu mômen (chịu uốn) tác dụng trong mặt phẳng bố trí đường hàn

trong đó:

I_{xw}, I_{yw} - các mômen quán tính của tiết diện tính toán theo kim loại đường hàn đối với các trục chính x-x, y-y của nó;

I_{xs}, I_{ys} - cũng như trên nhưng theo kim loại ở biên nóng chảy của thép cơ bản;

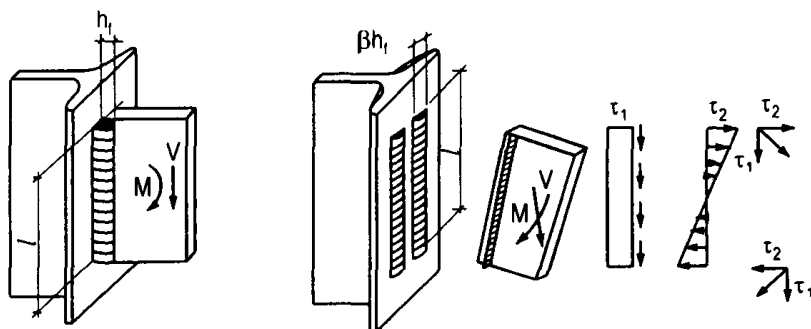
x, y - các toạ độ của những điểm xa nhất so với gốc tọa độ trọng tâm O của tiết diện đường hàn (hình 5.11).

$\sqrt{x^2 + y^2}$ - khoảng cách từ điểm hàn xa nhất (điểm A) so với gốc tọa độ trọng tâm O của tiết diện đường hàn (chính là đoạn OA).

c) Đường hàn góc chịu đồng thời tác dụng của mômen M và lực cắt V (hình 5.12) được kiểm tra theo ứng suất tổng (tổng hình học các vectơ ứng suất thành phần):

- Theo tiết diện 1:
$$\tau_{\text{sum}} = \sqrt{\left(\frac{M}{W_f}\right)^2 + \left(\frac{V}{A_{wf}}\right)^2} \leq f_{wf} \cdot \gamma_c \quad (5.13)$$

- Theo tiết diện 2:
$$\tau_{\text{sum}} = \sqrt{\left(\frac{M}{W_s}\right)^2 + \left(\frac{V}{A_{ws}}\right)^2} \leq f_{ws} \cdot \gamma_c \quad (5.14)$$

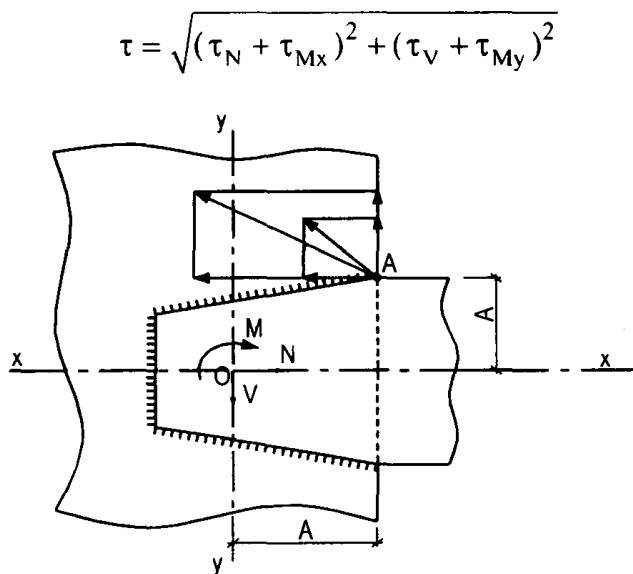


Hình 5.12. Đường hàn góc chịu đồng thời tác dụng của mômen M và lực cắt V

d) Đường hàn góc chịu đồng thời tác dụng của lực dọc N , lực cắt V và mômen M (hình 5.13) được kiểm tra bên theo các công thức:

$$\tau_{wf} \leq f_{wf} \gamma_c \quad \text{và} \quad \tau_{ws} \leq f_{ws} \gamma_c \quad (5.15)$$

trong đó: τ_{wf} và τ_{ws} - lần lượt là các ứng suất trong tiết diện tính toán theo kim loại đường hàn và kim loại ở biên nóng chảy, bằng tổng hình học của các ứng suất gây bởi lực dọc, lực cắt và mômen.



Hình 5.13. Đường hàn góc chịu đồng thời tác dụng của lực dọc N , lực cắt V và mômen M

Ví dụ 5.3:

Tính toán liên kết giữa gối đỡ bằng bản thép với cột. Lực tác dụng vào gối đỡ $V=700$ kN (hình 5.14). Độ lệch tâm không đáng kể nên có thể bỏ qua. Thép làm bản có $f_u = 370$ N/mm². Cường độ tính toán của thép $f = 245$ N/mm². Phương pháp hàn bằng tay dùng que hàn N46 theo TCVN 3223 : 1994.

Theo bảng B.6 phụ lục B:

Cường độ tiêu chuẩn của kim loại đường hàn theo giới hạn kéo đứt $f_{wun} = 490$ N/mm² = 49 kN/cm²

Cường độ tính toán chịu cắt (quy ước) của kim loại đường hàn $f_{wun} = 125$ N/mm² = 21,5 kN/cm²;

Cường độ tính toán của kim loại đường hàn ở biên nóng chảy $f_{ws} = 0,45 \cdot 37 = 16,65$ kN/cm²;

Theo bảng 5.3, với phương pháp hàn tay, $\beta_f = 0,7$; $\beta_s = 1,0$.

Xác định tiết diện tính toán:

- Theo kim loại đường hàn: $\beta_f f_{wf} = 0,7 \cdot 21,5 = 15,5$ kN/cm²

- Theo kim loại biên nóng chảy: $\beta_s f_{ws} = 1,0 \cdot 16,65 = 16,65$ kN/cm²

Vì $\beta_f f_{wf} < \beta_s f_{ws}$, nên tiết diện tính toán là tiết diện theo kim loại đường hàn.

Chọn chiều rộng bản thép là $b = 200$ mm. Dùng 3 đường hàn: hai đường hàn góc cạnh và một đường hàn góc đầu (hình 5.14a). Lực V đặt tại trọng tâm tiết diện bản thép. Tiêu chuẩn cho phép tổng chiều dài của 3 đường hàn đó cùng chịu lực.

Tính toán theo kim loại đường hàn:

Chọn chiều cao đường hàn $h_f = 12$ mm;

Tổng chiều dài tính toán của đường hàn:

$$l_w = \frac{V}{\beta_f h_f f_{wf} \gamma_c} = \frac{700}{0,7 \cdot 1,2 \cdot 15,5 \cdot 1,0} = 53,8 \text{ cm}$$

Chiều dài đường hàn góc đầu (nằm ngang): $b = 20$ cm.

Chiều dài đường hàn góc cạnh (thẳng đứng):

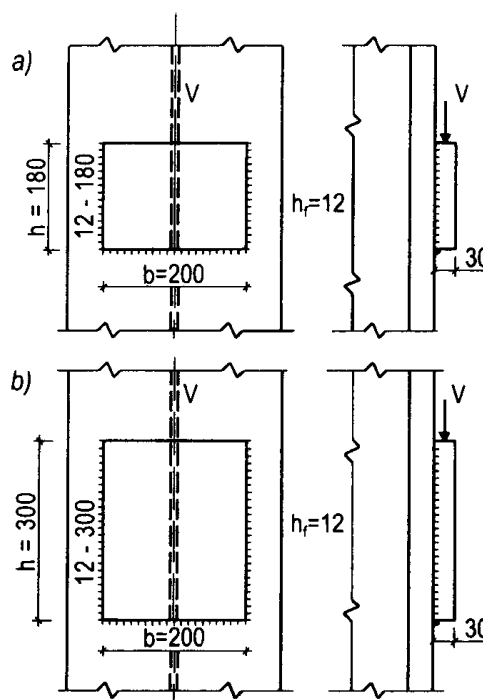
$$l_{w1} = (53,8 - 20) / 2 = 16,9 \text{ cm.}$$

Chiều cao h của bản thép kể đến việc hàn không thấu đầu mút đường hàn:

$$h = 16,9 + 1 = 17,9 \text{ cm} = 180 \text{ mm.}$$

Với loại thép dẻo thì liên kết như trên là đủ đảm bảo. Trường hợp thép bản có độ dẻo ít hơn, đường hàn góc cạnh và góc đầu sẽ làm việc không đều và khi đó, đường hàn góc đầu (chịu nén) sẽ bị chịu lực lớn hơn vì biến dạng ít hơn. Trường hợp này để dự trữ độ bền có thể coi tải trọng tác dụng lên bản thép được truyền chỉ cho các đường hàn góc cạnh (hình 5.14b). Khi đó: $l_{w1} = 53,8$ cm phân bố đều cho hai đường hàn góc cạnh và chiều cao bản thép lúc đó bằng:

$$h = 53,8 / 2 + 1 = 27,9 \text{ cm. Lấy } h = 30 \text{ cm.}$$



Hình 5.14. Cho ví dụ 5.3

a) Dùng cho bản mã 200×180×30;

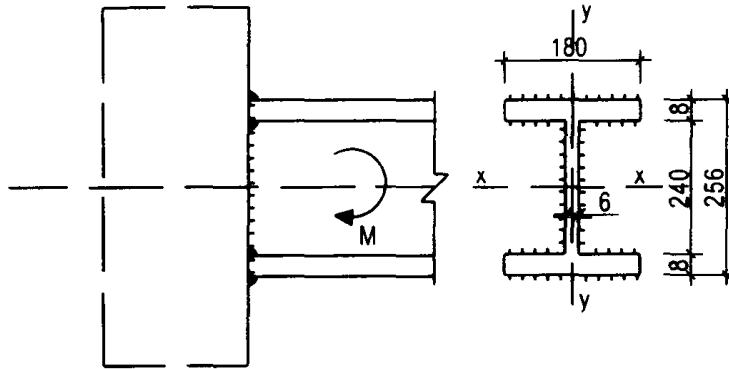
b) Dùng cho bản mã 300×200×30

Ví dụ 5.4:

Tính toán liên kết hàn góc chịu tác dụng của mômen trong mặt phẳng vuông góc với mặt phẳng bố trí đường hàn.

Công xôn tiết diện chữ I được liên kết bằng đường hàn góc bằng cách hàn theo chu vi tiết diện. Kích thước tiết diện cho trên hình 5.15.

$$b_f = 18\text{cm}; t_f = 0,8\text{cm}; t_w = 0,6\text{cm}; h_w = 24\text{cm}; h = 25,6\text{cm}$$



Hình 5.15. Cho ví dụ 5.4

Mômen uốn kNm. Vật liệu sử dụng: thép tấm mác 15CrNiCu (N/mm^2). Phương pháp hàn tay dùng que hàn N50 (có $f_{wf} = 215 N/mm^2$). Hệ số điều kiện làm việc $\gamma_c = 1,0$.

Cần xác định chiều cao đường hàn góc.

Tiết diện cần tính toán liên kết hàn theo kim loại đường hàn được tính theo công thức (5.9).

$$\frac{M}{W_{wf}} \leq f_{wf} \gamma_c$$

Mômen chống uốn của tiết diện đường hàn:

$$W_{wf} = \frac{I_{wf}}{y_{\max}}$$

Trong đó mômen quán tính của tiết diện đường hàn:

$$I_{wf} = \beta_f \left[\frac{2h_w^3 h_f}{12} + 2b_f h_f \left(\frac{h + h_f}{2} \right)^2 + 2(b_f - t_w) h_f \left(\frac{h_w + h_f}{2} \right)^2 \right]$$

$$y_{\max} = h/2 + h_f$$

Chọn sơ bộ đường hàn góc: $h_f = 10\text{mm}$.

$$I_{wf} = 0,7 \cdot \left[2 \cdot 24^3 \cdot \frac{1}{12} + 2 \cdot 18 \cdot 1 \cdot \left(\frac{25,6 + 1}{2} \right)^2 + 2(18 - 0,6) \cdot 1 \cdot \left(\frac{24 - 1}{2} \right)^2 \right] = 11946\text{cm}^4$$

$$y_{\max} = 25,6/2 + 1 = 13,8\text{cm}$$

$$W_{wf} = 11946,9 / 13,8 = 866\text{cm}^3$$

Ứng suất trong đường hàn: $\tau_{wf} = \frac{M}{W_f} = \frac{75 \cdot 10^3}{866} = 86,6 \text{ N/mm}^2$

$$\frac{\tau_{wf}}{f_{wf}} = \frac{86,6}{215} = 0,4$$

Như vậy, với $h_f = 10 \text{ mm}$, ứng suất cắt quy ước trong liên kết τ_{wf} bằng 0,4 lần cường độ tính toán f_{wf} . Do đó, chiều cao đường hàn góc trong liên kết phải lấy bằng $h_f = 4 \text{ mm}$.

Kiểm tra độ bền của liên kết với $h_f = 4 \text{ mm}$.

$$I_{wf} = 4764 \text{ cm}^4; \quad y_{\max} = 13,2 \text{ cm}; \quad W_{wf} = 361 \text{ cm}^3$$

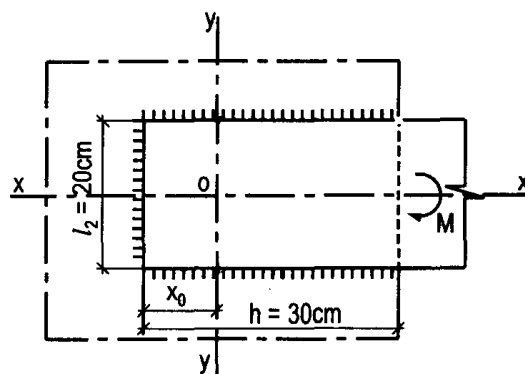
$$\tau_{wf} = \frac{M}{W_{wf}} = \frac{75 \cdot 10^3}{361} = 208 < 215 \text{ N/mm}^2$$

Vậy chiều cao đường hàn lấy bằng $h_f = 4 \text{ mm}$.

Ví dụ 5.5:

Tính toán liên kết hàn dùng đường hàn góc chịu mômen trong mặt phẳng bố trí đường hàn.

Các bản cánh được liên kết với nhau bằng hai đường hàn góc cạnh và một đường hàn góc đầu (hình 5.16). Mômen uốn $M = 55 \text{ kNm}$. Vật liệu bản: thép mác CT38s ($f_u = 370 \text{ N/mm}^2$). Phương pháp hàn bằng tay sử dụng que hàn loại N46 ($f_{wf} = 200 \text{ N/mm}^2$, $\beta_f = 0,7$). Hệ số điều kiện làm việc $\gamma_c = 1$.



Hình 5.16. Cho ví dụ 5.5

Cần xác định chiều cao đường hàn góc.

Cường độ tính toán của kim loại đường hàn ở biên nóng chảy $f_{ws} = 0,45 \cdot 37 = 16,65 \text{ kN/cm}^2$;

Xác định tiết diện tính toán:

Theo kim loại đường hàn: $\beta_f f_{wf} = 0,7 \cdot 20 = 14 \text{ kN/cm}^2$

Theo kim loại biên nóng chảy: $\beta_s f_{ws} = 1,0 \cdot 16,65 = 16,65 \text{ kN/cm}^2$

Vì $\beta_f f_{wf} < \beta_s f_{ws}$, nên tiết diện tính toán là tiết diện theo kim loại đường hàn.

Vì vậy, cần kiểm tra đường hàn theo công thức (5.11):

$$\frac{M}{(I_{xf} + I_{yf})} \sqrt{x^2 + y^2} \leq f_{wf} \gamma_c$$

Trước tiên, xác định trọng tâm O của tiết diện đường hàn, tính theo công thức:

$$x_0 = \frac{(l_1^2 - 0,5 l_2 h_f)}{(2 l_1 + l_2)}$$

$$\text{Với } h_f = 10\text{mm thì } x_0 = \frac{(l_1^2 - 0,5l_2h_f)}{(2l_1 + l_2)} = \frac{900 - 0,5 \cdot 20 \cdot 1}{2 \cdot 30 + 20} = 11\text{ cm (xem hình 5.16)}$$

Tọa độ điểm A cách xa hơn cả so với trọng tâm tiết diện tính toán của đường hàn: $x = 19\text{ cm}$, $y = 10\text{ cm}$ (xem hình 5.16).

Mômen quán tính của tiết diện tính toán theo kim loại đường hàn đối với các trục chính của nó:

$$I_{xw} \approx \beta_f \left\{ \frac{l_2^3 h_f}{12} + 2l_1 h_f \left[\frac{(l_2 + h_f)}{2} \right]^2 \right\}$$

$$I_{yw} \approx \beta_f \left\{ 2 \left[\frac{l_1^3 h_f}{12} + l_1 h_f \left(\frac{l_1}{2} - x_c \right)^2 \right] + l_2 h_f \left(x_0 + \frac{h_f}{2} \right)^2 \right\}$$

Với đường hàn góc $h_f = 10\text{mm}$ và chiều dài tính toán của đường hàn lấy nhỏ hơn chiều dài hình học là 10 mm ($l_{w1} = 30 - 1 = 29\text{ cm}$) thì:

$$I_{xw} = 0,9 \cdot \left[\frac{20^3 \cdot 1}{12} + 2 \cdot 29 \cdot 1 \cdot \left(\frac{(20 + 1)}{2} \right)^2 \right] = 6354\text{cm}^4$$

$$I_{yw} = 0,7 \cdot \left\{ 2 \cdot \left[\frac{29^3 \cdot 1}{12} + 29 \cdot 1 \cdot \left(\frac{29}{2} - 11 \right)^2 \right] + 20 \cdot 1 \cdot \left(11 + 1/2 \right)^2 \right\} = 5194\text{cm}^4$$

Khoảng cách từ trọng tâm tiết diện đường hàn đến điểm A:

$$OA = \sqrt{x^2 + y^2} = \sqrt{11^2 + 10^2} = 21,5\text{ cm (xem hình 5.16)}.$$

Ứng suất trong liên kết:

$$\tau_{wf} = \frac{55 \cdot 10^3 \cdot 21,5}{(6354 + 5194)} = 102,4\text{ N/mm}^2$$

$$\frac{\tau_{wf}}{f_{wf}} = \frac{102,4}{200} = 0,512$$

Như vậy, với $h_f = 10\text{mm}$, ứng suất trong liên kết $\tau_{wf} = 0,512f_{wf}$. Do đó, chiều cao đường hàn trong liên kết lấy bằng $h_f = 5,8\text{mm} \approx 6\text{mm}$.

Kiểm tra độ bền của liên kết với $h_f = 6\text{mm}$:

$$I_{xw} = 2864\text{cm}^4; I_{yw} = 3078\text{cm}^4; \sqrt{x^2 + y^2} = 21,5\text{ cm (xem hình 5.16)}$$

$$\tau_{wf} = \frac{55 \cdot 10^3 \cdot 21,5}{5942} = 199 < 200\text{ N/mm}^2.$$

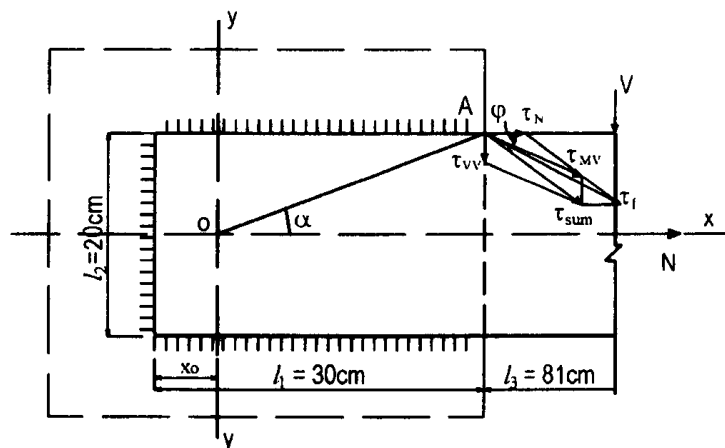
Vậy, chiều cao đường hàn góc là $h_f = 6\text{mm}$.

Ví dụ 5.6

Tính toán liên kết hàn dùng đường hàn góc chịu tác dụng đồng thời của lực dọc và lực cắt.

Các bản được liên kết bằng hai đường hàn góc cạnh và một đường hàn góc đầu (hình 5.17). Lực dọc $N = 100\text{kN}$, lực cắt $V = 38\text{kN}$. Vật liệu: thép tấm mác CT38s ($f_u = 370\text{N/mm}^2$). Phương pháp hàn bằng tay sử dụng que hàn loại N46 ($f_{wf} = 200\text{N/mm}^2$, $\beta_f = 0,7$). Hệ số điều kiện làm việc $\gamma_c = 1$.

Cần xác định chiều cao đường hàn góc.



Hình 5.17. Cho ví dụ 5.6

$$l_1 = 30\text{cm} ; l_2 = 20\text{cm} ; l_3 = 81\text{cm}$$

Cường độ tính toán của kim loại đường hàn ở biên nóng chảy $f_{ws} = 0,45 \cdot 37 = 16,65\text{kN/cm}^2$;

Xác định tiết diện tính toán:

Theo kim loại đường hàn: $\beta_f f_{wf} = 0,7 \cdot 20 = 14\text{kN/cm}^2$

Theo kim loại biên nóng chảy: $\beta_s f_{ws} = 1,0 \cdot 16,65 = 16,65\text{kN/cm}^2$

Vì $\beta_f f_{wf} < \beta_s f_{ws}$, nên tiết diện tính toán là tiết diện theo kim loại đường hàn.

Vì vậy, cần kiểm tra đường hàn theo công thức (5.15): $\tau_{wf} \leq f_{wf} \gamma_c$

Chọn $h_f = 10\text{mm}$.

1. Xác định ứng suất trong liên kết hàn do lực dọc N gây ra:

$$\tau_N = \frac{N}{A_w}$$

Trong đó diện tích tiết diện tính toán của đường hàn:

$$A_w = (2l_1 + l_2)h_f\beta_f$$

Do chiều dài tính toán của đường hàn phải lấy nhỏ hơn chiều dài hình học 10mm:

$$A_w = (2 \cdot 29 + 20) \cdot 10 \cdot 0,7 = 54,6\text{cm}^2$$

$$\tau_N = 100 \cdot 10 / 54,6 = 18,36\text{cm}^2$$

2. Xác định ứng suất trong liên kết hàn do lực cắt V gây ra:

Ứng suất tổng τ_{sum} là tổng vectơ của ứng suất τ_{VV} do lực V quy về trọng tâm tiết diện đường hàn, và ứng suất do mômen τ_{MV} :

$$\tau_{VV} = \frac{V}{A_w} = \frac{38.10}{54,6} = 7 \text{ N/mm}^2;$$

$$\tau_{MV} = \frac{M}{(I_{xf} + I_{yf})} \sqrt{x^2 + y^2}.$$

Trọng tâm tiết diện đường hàn được xác định theo công thức:

$$x_0 = \frac{l_1^2 - 0,5l_2h_f}{2l_1 + l_2} = \frac{900 - 0,5 \cdot 20 \cdot 1}{2 \cdot 30 + 20} = 1,1 \text{ (xem hình 5.17)}$$

Tọa độ điểm A cách xa hơn cả trọng tâm tiết diện tính toán của đường hàn:

$$x_A = 19 \text{ cm}; y_A = 10 \text{ cm (xem hình 5.17)}.$$

Mômen quán tính của tiết diện tính toán theo kim loại đường hàn đối với các trục chính của nó:

$$I_{xw} \approx \beta_f \left[\frac{l_2^3 h_f}{12} + 2l_1 h_f \left(\frac{l_2 + h_f}{2} \right)^2 \right] = 0,7 \left[\frac{20^3 \cdot 1}{12} + 2 \cdot 29 \cdot 1 \cdot \left(\frac{20 + 1}{2} \right)^2 \right] = 4942 \text{ cm}^4$$

Khoảng cách điểm hàn xa nhất so với trọng tâm tiết diện tính toán của liên kết bằng:

$$\sqrt{x^2 + y^2} = \sqrt{19^2 + 10^2} = 21,5 \text{ cm}$$

Ứng suất do mômen τ_{MV} :
$$\tau_{MV} = \frac{38.1.10^3}{(4942 + 5294)21,5} = 80,6 \text{ N/mm}^2.$$

Ứng suất tổng τ_{sum} do tác dụng của lực cắt V:

$$\tau_{\text{sum}} = \sqrt{\tau_{VV}^2 + \tau_{MV}^2 + 2\tau_{VV}\tau_{MV}\cos\alpha}$$

trong đó: α - góc được xác định theo các kích thước của liên kết (xem hình 5.17);

$$\tau_{\text{sum}} = \sqrt{7^2 + 80,6^2 + 2 \cdot 7 \cdot 80,6 \cdot 0,89} = 86,9 \text{ N/mm}^2.$$

3. Xác định góc giữa các vectơ $\vec{\tau}_N$ và $\vec{\tau}_{\text{sum}}$

Góc φ được xác định theo phương pháp tọa độ trong mặt phẳng bằng tích các vectơ:

$$\cos\varphi = \frac{\vec{a} \cdot \vec{b}}{(|\vec{a}| \cdot |\vec{b}|)},$$

trong đó: \vec{a} và \vec{b} - các vectơ; $|\vec{a}|$ và $|\vec{b}|$ - chiều dài các vectơ.

Vì tích các vectơ bằng tổng tọa độ tương ứng của các vectơ đó $\vec{a} \cdot \vec{b} = x_1 \cdot x_2 + y_1 y_2$ và chiều dài các vectơ đó:

$$|\vec{a}| = \sqrt{x_1^2 + y_1^2}; \quad |\vec{b}| = \sqrt{x_2^2 + y_2^2}$$

$$\cos \phi = \frac{x_1 x_2 + y_1 y_2}{\left(\sqrt{x_1^2 + y_1^2} \sqrt{x_2^2 + y_2^2} \right)}$$

Tọa độ các vectơ: $\vec{\tau}_N$; $x_1 = \tau_N$; $y_1 = 0$.

$$\vec{\tau}_V : x_2 = \tau_{yV} \sin \alpha$$

$$y_2 = \tau_{yV} \cos \alpha + \tau_V$$

$$\begin{aligned} \cos \alpha &= \frac{\tau_{MV} \sin \alpha}{\sqrt{(\tau_{MV} \sin \alpha)^2 + (\tau_{MV} \cos \alpha + \tau_V)^2}} = \\ &= \frac{80,6.0,46}{\sqrt{(80,6.0,46)^2 + (80,6.0,89 + 7,3)^2}} = 0,43 \end{aligned}$$

4. Xác định ứng suất tổng:

$$\begin{aligned} \tau_{wf} &= \sqrt{\tau_N^2 + \tau_V^2 + 2\tau_N \tau_{sum} \cos \alpha} = \\ &= \sqrt{18,3^2 + 86,9^2 + 2.18,3.86,9.0,43} = 96,2 \text{ N / mm}^2 \\ \frac{\tau_{wf}}{f_{wf}} &= \frac{96,2}{200} = 0,48. \end{aligned}$$

Như vậy, với $h_f = 10$ mm tổng ứng suất bằng 0,48 lần cường độ tính toán. Do đó chiều cao đường hàn lấy bằng $h_f = 4,8 \approx 5$ mm.

Kiểm tra độ bền liên kết với $h_f = 5$ mm:

$$\begin{aligned} A_w &= 27,3 \text{ cm}^2; \quad \tau_N = \frac{100.10}{27,3} = 36,6 \text{ N / mm}^2 \\ \tau_{VV} &= \frac{38.10}{27,3} = 13,9 \text{ N / mm}^2; \quad I_{xw} = 2366 \text{ cm}^4; \quad I_{yw} = 2557 \text{ cm}^4 \\ \tau_{MV} &= 38.10^3 \cdot \frac{21,5}{4923} = 166 \text{ N / mm}^2 \\ \tau_V &= \sqrt{13,9^2 + 166^2 + 2.13,9.166.0,89} = 179 \text{ N / mm}^2; \quad \cos \phi = 0,43 \\ \tau_f &= \sqrt{36,6 + 179^2 + 2.36,6.179.0,43} = 198 \text{ N / mm}^2 < 200 \text{ N / mm}^2 \end{aligned}$$

Vậy, chiều cao đường hàn góc lấy bằng $h_f = 5$ mm.

5.1.3. Kí hiệu và các lưu ý khi thiết kế liên kết hàn

a) Kí hiệu các loại đường hàn

Quy định về kí hiệu các đường hàn trên bản vẽ kỹ thuật được trình bày trong bảng 5.5.

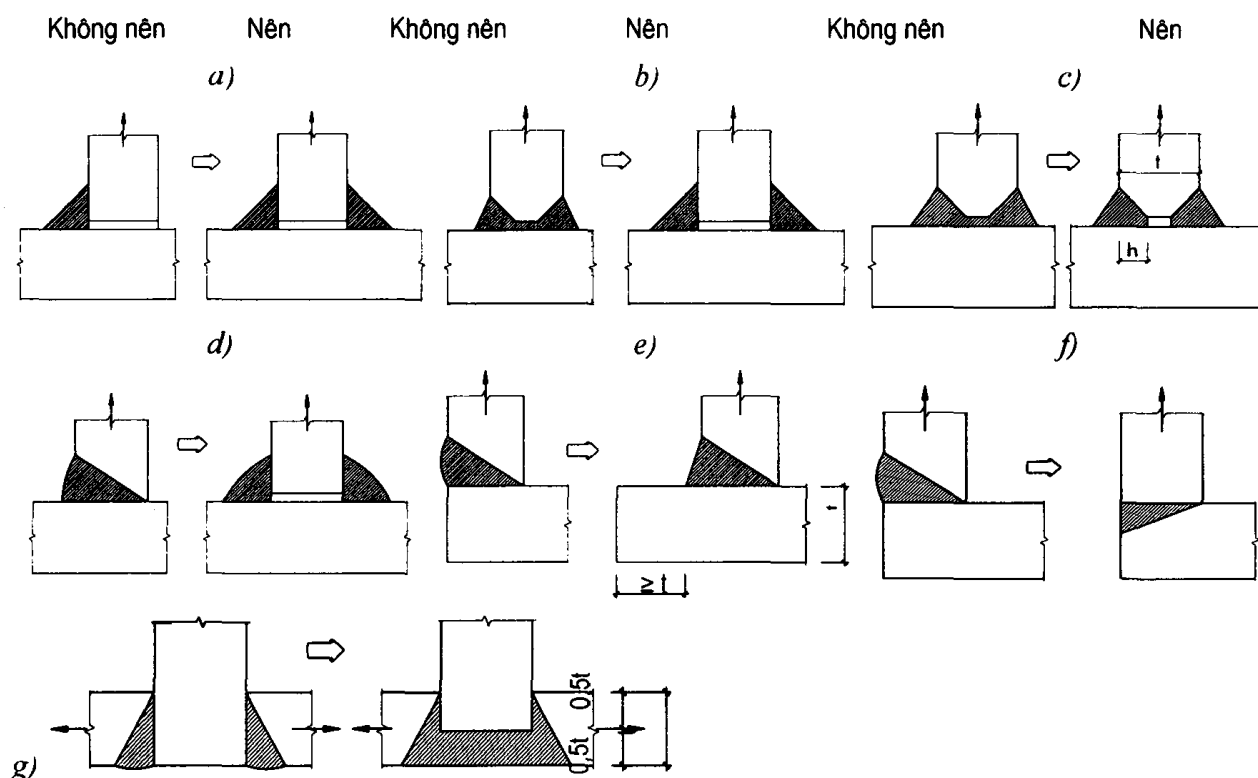
Bảng 5.5. Kí hiệu các loại đường hàn

Tên gọi	Đường hàn nhà máy	Đường hàn công trường
Đường hàn đối đầu		
Đường hàn góc		
Đường hàn góc đứt đoạn		

b) Các khuyến nghị khi thiết kế

Khi thiết kế đường hàn tại các nút, mà ở đó một trong các cấu kiện chịu ứng suất kéo theo phương chiều dày bản thép, cần dùng giải pháp cấu tạo bằng liên kết chữ T và đường hàn góc để giảm nguy cơ xuất hiện các vết nứt tách. Để làm được điều đó:

- Không sử dụng đường hàn góc một bên mà sử dụng đường hàn góc hai bên để giảm tối đa sự tập trung ứng suất tại đỉnh đường hàn góc (hình 5.18a).



Hình 5.18. Liên kết kiểu chữ T và liên kết hàn góc khi có nguy cơ xuất hiện các vết nứt tách lớp trong kim loại cơ bản

- Trong các trường hợp, khi có thể, sử dụng liên kết hàn không vát mép hàn không thấu hết (hình 5.18b);

- Khi có tải trọng tĩnh, sử dụng liên kết hàn vát mép ($h \leq t/3$) và hàn không thấu hết tốt hơn là hàn thấu hết (hình 5.18c);

- Cần tránh sử dụng đến mức có thể kiểu vát mép kiểu V, mà sử dụng kiểu vát mép K (hình 5.18d);

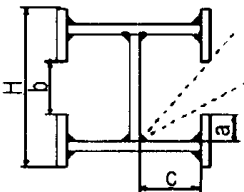
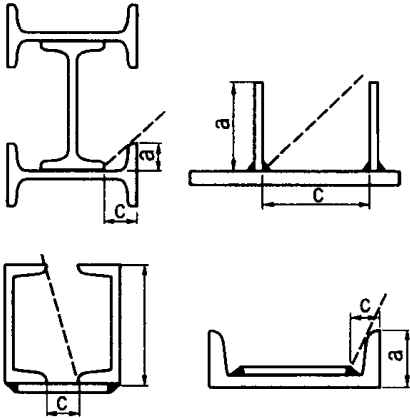
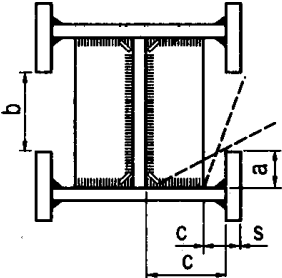
- Trong mọi trường hợp, khi có thể, sử dụng liên kết chữ T thay vì liên kết dùng đường hàn góc (hình 5.18e);

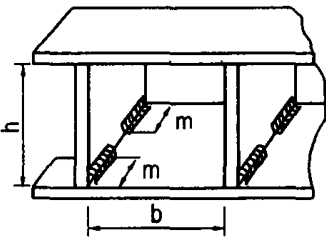
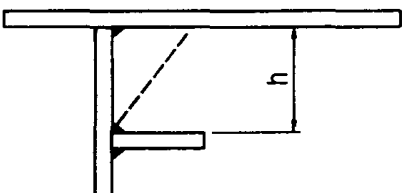
- Để giảm ứng suất kéo theo phương chiều dày bản thép, sử dụng giải pháp như hình 5.19f.

- Trong liên kết hàn góc có hai bản thép giữ như hình 5.18g, bản thép đệm được phủ bằng đường hàn có chiều cao bằng một nửa chiều dày các bản thép giữ.

Khi thiết kế liên kết hàn phải chú ý tới tính khả thi khi thi công liên kết đó. Một số trường hợp hàn thường gặp trong thực tế khi sử dụng phương pháp hàn tay thể hiện trong bảng 5.6.

Bảng 5.6. Khuyến nghị khoảng cách tối thiểu khi thi công đường hàn

Vị trí hàn	Yêu cầu						
	$b \geq 2H - c$						
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>c</th><th>a</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>≤ 400</td><td>$\leq 2c$</td></tr> <tr> <td>> 400</td><td>≤ 600</td></tr> </tbody> </table>	c	a	≤ 400	$\leq 2c$	> 400	≤ 600
c	a						
≤ 400	$\leq 2c$						
> 400	≤ 600						
	<p>Để hàn thấu các sườn cứng: $a \leq c$</p> <p>Đoạn không thể hàn được: $e_{\min} = \frac{as}{b} + 10$</p>						

	b	h	m
	> 400	250 – 400	≤ 800
	≤ 400	≥ 250 < 250	= h $= 0.63b \frac{bh}{400}$
	Hàn được chỉ khi $h \geq 250$.		

5.2. LIÊN KẾT BULÔNG

5.2.1. Các loại liên kết bulông và phạm vi áp dụng

a) Các loại liên kết bulông

Trong kết cấu thép xây dựng sử dụng các liên kết bulông có kiểm tra và không kiểm soát lực xiết bulông.

- Liên kết không kiểm soát lực xiết bulông: có thể sử dụng các loại bulông khác nhau kể cả bulông cường độ cao. Trong tính toán các liên kết đó kể đến khả năng chịu kéo, ép mặt và cắt không kể đến ma sát.

- Liên kết có kiểm soát lực xiết bulông: thường dùng các loại liên kết có mặt bích. Khi tính toán loại liên kết này kể đến cường độ chịu kéo của bulông.

b) Phạm vi sử dụng

Phạm vi sử dụng các loại liên kết bulông cho trong bảng 5.7. Nói chung, nên sử dụng các loại bulông với cấp bền 5.8, 8.8, 10.9 và bulông cường độ cao.

Trong các liên kết được tính toán chịu cắt, ép mặt, thì đường kính phần nhẵn của thân bulông cần phải lấy bằng đường kính danh nghĩa của ren bulông (xem hình 3.3), vì vậy không nên sử dụng các bulông có đường kính phần thân bulông bằng đường kính ren trung bình và bulông cường độ cao.

Các bulông có cấp bền 4.6, 5.6, 6.6 có phạm vi áp dụng như của bulông 5.8.

Để lắp ráp trong liên kết hàn, có thể sử dụng các loại bulông có cấp bền không thấp hơn 4.6 và không cao hơn 8.8.

Đối với bulông cường độ cao, cho phép dùng một vòng đệm (vòng đệm) ở phía đầu bulông hoặc đai ốc khi dung sai giữa đường kính danh nghĩa của lỗ bulông và bulông không quá 4mm đối với kết cấu làm từ thép có cường độ kéo đứt nhỏ hơn 440 N/mm².

Ren bulông cần được bố trí ngoài mặt phẳng cắt và cách lỗ gần nó nhất ít nhất 5 mm
Đầu bulông cần được bố trí ở phía cầu kiện móng hơn

Khi bố trí bulông so le để liên kết các thép góc đơn, các lỗ bulông nằm cách đầu mút thép góc xa hơn cả cần được bố trí gần sống

Bảng 5.7. Phạm vi sử dụng liên kết bulông chịu trượt

Điều kiện làm việc của liên kết	Liên kết				
	Có kiểm soát lực xiết bulông: liên kết truyền lực bằng ma sát dùng bulông cường độ cao	Không kiểm soát lực xiết bulông ¹			
		Cấp bền của bulông			
		10.9; 8.8		5.8	
	Dung sai giữa đường kính lỗ bulông và bulông ổ, mm				
	1—6	1	2—3	1	2—3
	Trong các kết cấu chịu trực tiếp tải trọng động	+	+	-	+
Trong liên kết nhiều bulông, kết cấu làm từ thép có giới hạn chảy trên 380 N/mm ²	+	+	-	-	-
Trong các liên kết cần kiểm tra mới	+	-	-	-	-
Trong các kết cấu không cho phép chuyển dịch trượt tại tâm liên kết, và trong liên kết hàn - bulông	+	-	-	-	-
Trong các kết cấu không hạn chế chuyển dịch trượt trong liên kết	+	+	+	+	+
Trong các liên kết chịu lực nhỏ (giằng, cửa trời, xà gô, v.v .)	+	+	+	+	+

1 Dung sai đường kính và lỗ ổ van + 1.0 mm

2 Dấu "+" là cho phép sử dụng, dấu "-" là không cho phép sử dụng.

5.2.2. Liên kết bulông không kiểm soát lực xiết

a) Khả năng chịu lực tính toán của một bulông (trừ bulông cường độ cao):

Khả năng chịu cắt của một bulông được tính như sau:

$$[N]_{vb} = f_{vb} \gamma_b A_n \quad (5.16)$$

Khả năng chịu ép mặt của một bulông được tính như sau:

$$[N]_{cb} = f_{cb} \gamma_b d \Sigma t \quad (5.17)$$

Khả năng chịu kéo của một bulông được tính như sau:

$$[N]_{tb} = f_{tb} A_{bn} \quad (5.18)$$

trong các công thức từ (5.16) đến (5.18):

f_{vb} , f_{cb} , f_{tb} - lần lượt là cường độ tính toán khi chịu cắt, chịu ép mặt và chịu kéo của một bulông (công thức tính xem bảng 5.8, giá trị xem trong các bảng 5.9 và 5.10);

d - đường kính ngoài của bulông;

$A = \pi d^2/4$ - diện tích tiết diện tính toán của thân bulông (bảng 5.11);

A_{bn} - diện tích tiết diện thực của thân bulông lấy theo bảng 5.11;

Σt - tổng chiều dày nhỏ nhất của các bản thép cùng trượt về một phía;

n_v - số lượng các mặt cắt tính toán;

γ_b - hệ số điều kiện làm việc của liên kết bulông, lấy theo bảng 5.12.

Bảng 5.8. Cường độ tính toán của liên kết một bulông

Trạng thái làm việc	Ký hiệu	Cường độ chịu cắt và kéo của bulông thuộc cấp độ bền			Cường độ ép mặt của cấu kiện thép có giới hạn chảy dưới 440 N/mm ²
		4.6; 5.6; 6.6	4.8; 5.8	8.8; 10.9	
Cắt	f_{vb}	$f_{vb} = 0,38f_{ub}$	$f_{vb} = 0,4f_{ub}$	$f_{vb} = 0,4f_{ub}$	-
Kéo	f_{tb}	$f_{tb} = 0,42f_{ub}$	$f_{tb} = 0,4 f_{ub}$	$f_{tb} = 0,5f_{ub}$	-
Ép mặt :					
a) Bulông độ chính xác cao					$f_{cb} = \left(0,6 + 410 \frac{f_u}{E}\right) f_u$
b) Bulông thô và bulông thường	f_{cb}	-	-	-	$f_{cb} = \left(0,6 + 340 \frac{f_u}{E}\right) f_u$

Bảng 5.9. Cường độ tính toán chịu cắt f_{vb} và kéo f_{tb} của một bulông

Đơn vị tính : N/mm²

Trạng thái làm việc	Ký hiệu	Cấp độ bền						
		4.6	4.8	5.6	5.8	6.6	8.8	10.9
Cắt	f_{vb}	150	160	190	200	230	320	400
Kéo	f_{tb}	170	160	210	200	250	400	500

Bảng 5.10. Cường độ tính toán chịu ép mặt f_{cb} của một bulôngĐơn vị tính: N/mm^2

Giới hạn bền kéo đứt f_u của thép cấu kiện được liên kết	Giá trị f_{cb}	
	Bulông tinh	Bulông thô và thường
340	435	395
380	515	465
400	560	505
420	600	540
440	650	585
450	675	605
480	745	670
500	795	710
520	850	760
540	905	805

Bảng 5.11. Diện tích tiết diện của bulông A , A_{bn} (trích TCVN 1691 : 1995)Đơn vị tính : cm^2

Đường kính bulông d , mm	16	18	20	22	24	27	30	36	42	48
Bước ren p , mm	2	2,5	2,5	2,5	3	3	3,5	4	4,5	5
A	2,01	2,54	3,14	3,80	4,52	5,72	7,06	10,17	13,85	18,09
A_{bn}	1,57	1,92	2,45	3,03	3,52	4,59	5,60	8,16	11,20	14,72

Ghi chú: Chi tiết xem thêm TCVN 1691 : 1995

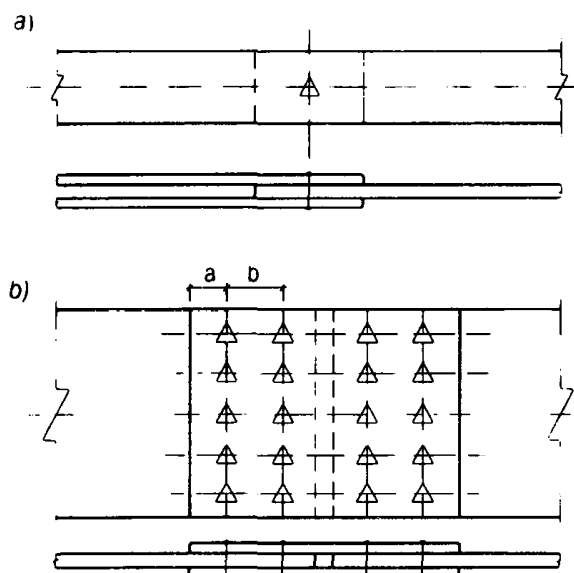
Bảng 5.12. Hệ số điều kiện làm việc γ_b

Đặc điểm của liên kết	Giá trị γ_b
1. Liên kết nhiều bulông khi tính theo chịu cắt và ép mặt: - Đối với bulông tinh (độ chính xác nâng cao) - Bulông thô và bulông độ chính xác bình thường, bulông cường độ cao không điều chỉnh lực xiết đai ốc.	1,0 0,9
2. Liên kết có một hoặc nhiều bulông, được tính theo ép mặt khi $a = 1,5d$ và $b = 2d$, thép được liên kết có giới hạn chảy: $f_y \leq 285 N/mm^2$ $f_y > 285 N/mm^2$	0,8 0,75

Ghi chú: Các hệ số điều kiện làm việc ở mục 1 và 2 được lấy đồng thời;

a - khoảng cách dọc theo lực, từ mép cấu kiện đến trọng tâm của lỗ gần nhất (hình 5.19);

b - khoảng cách giữa trọng tâm các lỗ.

**Hình 5.19** Tính toán liên kết bulông

a) Một bulông; b) Nhiều bulông

Lực giới hạn chịu kéo, cắt của một bulông cho trong bảng 5.13

Bảng 5.13. Lực giới hạn chịu kéo, cắt của một bulông

Cấp bên của bulông	Trạng thái làm việc	Nội lực giới hạn, kN. của 1 bulông có đường kính, mm			
		16	20	22	24
5.6	kéo	33.0	51.4	63.6	73.9
	cắt	34.4	53.7	65.0	77.3
5.8	kéo	31.4	49.0	60.6	70.4
	cắt	36.2	56.5	68.4	81.3
8.8	kéo	62.8	98.0	121.2	141
	cắt	57.9	90.4	109.4	130
10.9	kéo	78.5	122	151	176
	cắt	72.4	113	137	163

Ghi chú: Lực giới hạn chịu cắt trong một mặt phẳng $n_v = 1$; $\gamma_b = 0,9$.

b) Tính toán liên kết bulông

Liên kết bulông chịu kéo:

Số lượng bulông n cần thiết trong liên kết khi chịu lực kéo dọc trục N được tính theo công thức:

$$n \geq \frac{N}{[N]_{tb} \gamma_c} \quad (5.19)$$

trong đó: $[N]_{th}$ - khả năng chịu kéo của một bulông tính theo công thức (5.18);

γ_c - hệ số điều kiện làm việc của kết cấu

Liên kết bulông chịu cắt

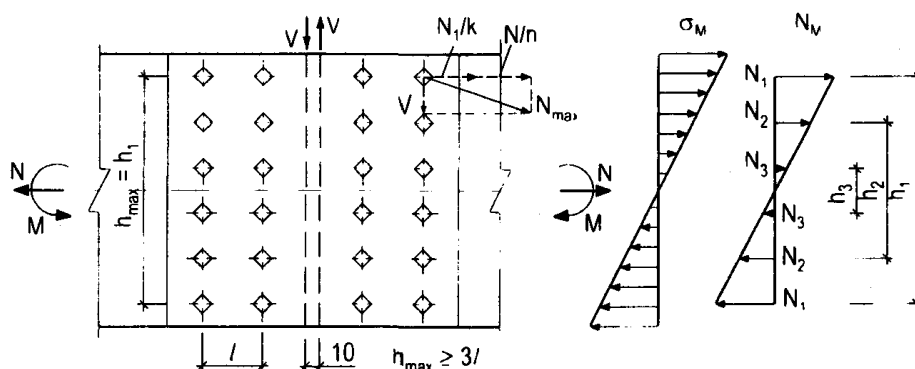
Số lượng bulông n cần thiết trong liên kết khi chịu lực cắt V được tính theo công thức:

$$n \geq \frac{V}{[N]_{vb} \gamma_c} \quad (5.20)$$

trong đó: $[N]_{vb}$ - khả năng chịu cắt của một bulông tính theo công thức (5.16);

Khi bulông chịu cắt và kéo đồng thời được kiểm tra theo cắt và kéo riêng biệt theo các công thức (5.16) và (5.18). Số lượng bulông trong trường hợp này được tính với $[N]_{min}$

$$[N]_{min} = \min \begin{cases} [N]_{vb} = f_{vb} \gamma_b A_n n, \\ [N]_{th} = f_{th} A_n \end{cases} \quad (5.21)$$



Hình 5.20. Sơ đồ tính toán liên kết bulông chịu tác dụng đồng thời của lực dọc N , lực cắt V và mômen M

Khi liên kết chịu tác dụng đồng thời của mômen, lực cắt và lực dọc (hình 5.20), giả thiết rằng lực dọc và lực cắt phân phối đều cho mọi bulông ở một nửa liên kết, còn nội lực lớn nhất do tác dụng của mômen xuất hiện trong bulông hàng ngoài cùng. Nội lực này được tính theo công thức:

$$N_{max} = \sqrt{\left(\frac{N_1}{k} + \frac{N}{n}\right)^2 + \left(\frac{V}{n}\right)^2} \quad (5.22)$$

trong đó: $N_1 = \frac{M h_{max}}{\sum h_i^2}$ - nội lực tác dụng vào hàng bulông nằm ngang ngoài cùng của

một nửa liên kết;

$\sum h_i^2 = h_1^2 + h_2^2 + h_3^2 + \dots + h_i^2$ - tổng bình phương các khoảng cách giữa các hàng bulông nằm ngang cách đều so với trục trung hòa;

k - số hàng bulông thẳng đứng trong một nửa liên kết;

n - tổng số bulông trong một nửa liên kết.

Khi không có lực dọc N thì trong công thức (5.22) thay $N = 0$; còn tiết diện khi chịu uốn thuần túy ($N = 0$; $V = 0$), thì $N_{\max} = N_1/k$.

Khi bulông chịu cắt do tác dụng đồng thời của lực dọc N và mômen M được kiểm tra theo hợp lực của các nội lực thành phần.

5.2.3. Liên kết bulông có kiểm soát lực xiết (truyền lực bằng ma sát)

a) Khả năng chịu lực của bulông cường độ cao

Liên kết bulông cường độ cao được tính toán với giả thiết nội lực trong liên kết được truyền bằng ma sát nảy sinh trên mặt tiếp xúc của các cấu kiện được nối do lực xiết bulông.

Kiểm tra bền liên kết truyền lực bằng ma sát dùng bulông cường độ cao theo công thức:

$$T \leq [N]_b = f_{hb} A_{bn} \mu \gamma_{b1} / \gamma_{b2} \quad (5.23)$$

trong đó:

T - lực trượt do tải trọng tính toán tác dụng lên một bulông, được xác định với giả thiết lực trượt phân phối đều lên các bulông. Mômen tác dụng trong mặt phẳng liên kết cân bằng với các cặp ngẫu lực trượt. Giữa các cấu kiện mối nối hoặc nút, các nội lực được phân bố không phụ thuộc đến tính mềm của liên kết truyền lực bằng ma sát với giả thiết vật liệu thép làm việc đàn hồi;

f_{hb} - cường độ tính toán chịu kéo của bulông cường độ cao, $f_{hb} = 0,7f_{ub}$ (trong đó f_{ub} là cường độ kéo đứt tiêu chuẩn của thép làm bulông cường độ cao, cho trong phụ lục B.9). Giá trị của f_{hb} cho trong bảng 5.14. Bulông coi như bị phá hoại khi lực xiết êcu $P = f_{hba} A_{bn}$;

A_{bn} - diện tích tiết diện thực của bulông, lấy theo bảng 5.8.

Bảng 5.14. Cường độ tính toán chịu kéo f_{hb} của bulông cường độ cao

Đường kính danh nghĩa của ren, mm	Mác thép	Giá trị f_{hb} , N/mm ²	Đường kính danh nghĩa của ren, mm	Mác thép	Giá trị f_{hb} , N/mm ²
Từ 16 đến 27	40Cr	770	36	40Cr	525
	38CrSi; 40CrVA	945		30Cr3MoV	770
	30Cr3MoV	945	42	40Cr	455
	30Cr2NiMoVA			30Cr3MoV	700
30	40Cr	665	48	40Cr	420
	30Cr3MoV; 35Cr2AV	840		30Cr3MoV	630

μ - hệ số ma sát, lấy theo bảng 5.15 và phụ thuộc vào phương pháp làm sạch các bề mặt của các cấu kiện được liên kết. Tiêu chuẩn quy định lấy giá trị trung bình thống kê của hệ số ma sát. Hệ số ma sát không phụ thuộc vào cường độ của thép làm cấu kiện được liên kết.

γ_{b1} - hệ số điều kiện làm việc, kể đến sự giảm lực trượt đi qua mỗi bulông phụ thuộc vào số lượng bulông trong liên kết nhiều hay ít. Khi số lượng bulông ít, do ảnh hưởng bất lợi của sự phân tán thống kê của lực xiết bulông và hệ số ma sát trong vùng tì sát, làm tăng xác suất giảm khả năng chịu trượt của mỗi bulông, γ_{b1} lấy như sau:

$$\gamma_{b1} = 0,8 \text{ nếu số lượng bulông cường độ cao } n_a < 5;$$

$$\gamma_{b1} = 0,9 \text{ nếu } 5 \leq n_a < 10;$$

$$\gamma_{b1} = 1,0 \text{ nếu } n_a \geq 10.$$

γ_{b2} - hệ số độ tin cậy, kể đến mức độ ổn định trượt cần thiết và biến động của hệ số ma sát và lực xiết bulông (trong liên kết nhiều bulông), lấy theo bảng 5.15;

Bảng 5.15. Hệ số ma sát μ và hệ số độ tin cậy γ_{b2}

Phương pháp làm sạch mặt phẳng của các cấu kiện được liên kết	Phương pháp điều chỉnh lực xiết bulông	Hệ số ma sát μ	Hệ số γ_{b2} khi tải trọng và độ dung sai giữa đường kính bulông và lỗ bulông δ , mm	
			Động và $\delta = 3 \div 6$; Tĩnh và $\delta = 5 \div 6$	Động và $\delta = 1$; Tĩnh và $\delta = 1 \div 4$
1. Phun cát thạch anh hoặc bột kim loại.	Theo M	0,58	1,35	1,12
	Theo α	0,58	1,2	1,02
2. Phun cát hoặc bột kim loại sau đó phun sơn kẽm hoặc nhôm.	Theo M	0,5	1,35	1,12
	Theo α	0,5	1,2	1,02
3. Bằng ngọn lửa hơi đốt, không có lớp bảo vệ mặt kim loại.	Theo M	0,42	1,35	1,12
	Theo α	0,42	1,2	1,02
4. Bằng bàn chải sắt, không có lớp sơn bảo vệ.	Theo M	0,35	1,35	1,17
	Theo α	0,35	1,25	1,06
5. Không gia công bề mặt	Theo M	0,25	1,7	1,3
	Theo α	0,25	1,5	1,2
Ghi chú: Phương pháp điều chỉnh theo M tức là theo mômen xoắn; theo α tức là theo góc quay của êcu.				

Phân tích sự làm việc của liên kết bulông cho thấy, có hai mức độ ổn định trượt của liên kết: mức độ lớn và bình thường. Mức độ ổn định trượt cần thiết phụ thuộc vào dung sai ở giữa đường kính danh nghĩa của lỗ bulông và bulông và đặc tính của tải trọng: động (di động, dao động, xung kích) hoặc tĩnh. Mức độ ổn định trượt lớn ứng với $\delta \geq 2$ khi chịu tải trọng động và $\delta \geq 5$ khi chịu tải trọng tĩnh, còn mức độ ổn định trượt bình thường ứng với $\delta \geq 1$ khi chịu tải trọng động và $\delta \geq 4$ khi chịu tải trọng tĩnh.

Dung sai đường kính danh nghĩa của lỗ bulông và bulông ảnh hưởng đến mức độ trượt của các liên kết. Độ trượt lớn có thể làm thay đổi kích thước hình học của kết cấu và độ võng xây dựng. Mức độ trượt của liên kết khi chịu tải trọng động nhỏ hơn khi chịu tải trọng tĩnh.

Mức độ ổn định trượt lớn của liên kết đảm bảo không cho xuất hiện trạng thái giới hạn thứ nhất và hệ số γ_{b2} tương ứng đảm bảo không xuất hiện trạng thái phá hoại. Mức độ ổn định trượt bình thường đảm bảo cho không xuất hiện trạng thái giới hạn thứ hai, còn hệ số γ_{b2} đảm bảo không xuất hiện hai trạng thái phá hoại.

Hệ số γ_{b2} phụ thuộc vào phương pháp điều chỉnh lực xiết bulông. Khi điều chỉnh bằng góc quay đai ốc, lực xiết bulông tăng trung bình lên 20% so với lực P lớn nhất ứng với lực xiết tính toán, nghĩa là tăng khoảng 10% so với phương pháp điều chỉnh bằng mômen xoay. Bulông trong trường hợp này không bị đứt là do hiệu ứng tự điều chỉnh. Tương tự, khi điều chỉnh bằng góc xoay đai ốc, hệ số γ_{b2} giảm xuống khoảng 10% so với phương pháp điều chỉnh bằng mômen xoay.

Trong trường hợp không thể đảm bảo lực xiết bulông bằng góc xoay, việc điều chỉnh lực xiết cho phép thực hiện bằng cách kiểm tra bằng mômen xoay. Khi đó, mômen xoay tính toán cần phải tăng lên 10%.

b) Tính toán liên kết bulông cường độ cao

Số lượng n_b bulông cường độ cao cần thiết để chịu lực dọc N được tính theo công thức:

$$n_b \geq \frac{N}{n_f [N]_b \gamma_c} \quad (5.24)$$

trong đó: n_f - số lượng mặt ma sát của liên kết;

$[N]_b$ - tính theo công thức (5.23).

Cần kiểm tra bên các bản thép được liên kết theo tiết diện giảm yếu bởi lỗ bulông (đối với hàng bulông ngoài cùng) trong liên kết ma sát, khi đó coi như 50% lực đi qua mỗi bulông đã được truyền bằng lực ma sát. Nghĩa là kiểm tra theo điều kiện

$$\frac{N}{A_n} \left(1 - 0,5 \frac{n_1}{n} \right) \leq f \quad (5.25)$$

trong đó:

N - lực tính toán trong bản thép;

A_{ti} - diện tích tiết diện tính toán của cấu kiện, lấy như sau:

- Khi chịu tải trọng động: bằng diện tích thực A_n ;

- Khi chịu tải trọng tĩnh: bằng diện tích tiết diện nguyên A nếu $A_n \geq 0,85A$;

bằng diện tích quy ước $A_c = 1,18A_n$ nếu $A_n < 0,85A$.

n_i - số mặt phẳng tiếp xúc chịu lực tại tiết diện kiểm tra;

n - số mặt phẳng tiếp xúc chịu lực của bulông trong tiết diện kiểm tra, bằng số bulông nhân với số mặt phẳng ma sát;

f - cường độ tính toán của thép;

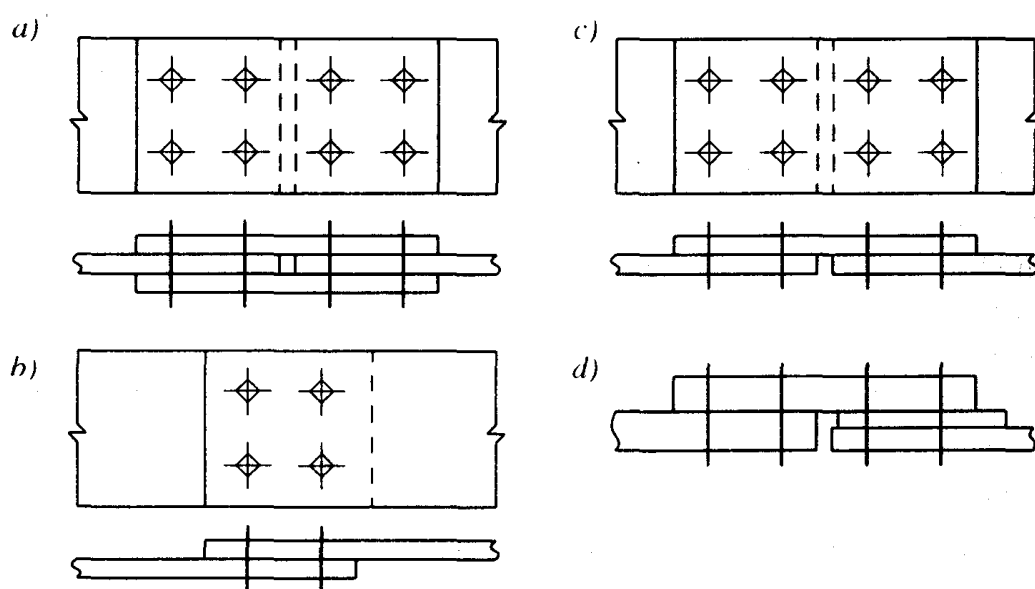
Đối với liên kết dùng bulông cấp bền 10.9 và bulông cường độ cao không kiểm soát lực xiết, phải kiểm tra vật liệu vùng biên chịu giạt đứt theo công thức:

$$[N]_b = f_u \left(a - \frac{d}{2} \right) \Sigma t \quad (5.26)$$

trong đó: a - khoảng cách dọc theo phương của lực, tính từ mép cấu kiện tới tâm của lỗ gần nhất;

d - đường kính lỗ bulông.

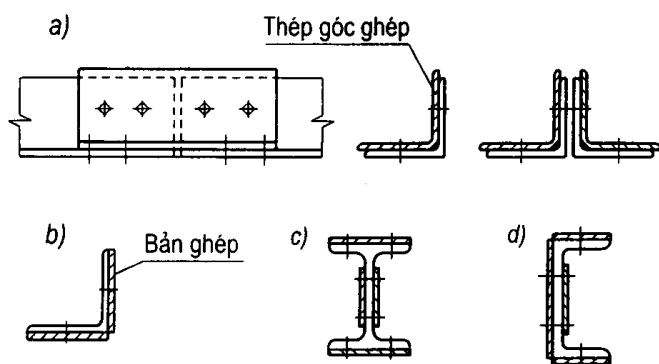
5.2.4. Các hình thức liên kết bulông



Hình 5.21. Liên kết thép bản

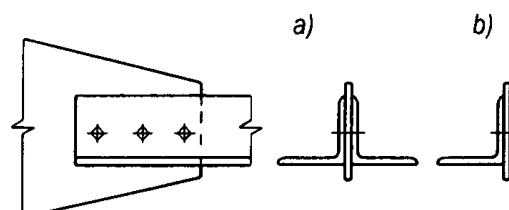
a) Dùng hai bản ốp; b) Dùng một bản ốp; c) Không dùng bản ốp;

d) Dùng một bản ốp và bản đệm khi chiều dày hai bản thép cần nối khác nhau



Hình 5.22. Liên kết thép hình

a) Dùng hàn ốp bằng thép góc;
b, c, d) Dùng hàn ốp bằng thép bản



Hình 5.23. Liên kết thép hình với thép hàn: a) Dùng hai thép góc; b) Dùng một thép góc

5.2.5. Bố trí bulông

Khi cấu tạo một liên kết bulông nên chọn một loại bulông (nhiều nhất là hai) và cố gắng làm cho các khoảng cách giữa các bulông là thống nhất.

Phải bố trí bulông trong liên kết sao cho lực truyền tốt nhất từ cấu kiện này sang cấu kiện kia bằng đường ngắn nhất đồng thời thuận tiện cho việc thi công.

Trong các liên kết không chịu lực hoặc chủ yếu do yêu cầu cấu tạo, các bulông thường được bố trí theo khoảng cách lớn nhất để tiết kiệm bulông, trong các liên kết chịu lực bulông được bố trí theo khoảng cách nhỏ nhất để tiết kiệm thép cơ bản. Bulông có thể bố trí theo đường thẳng hoặc so le (hình 5.24). Theo TCXDVN 338 : 2005 bulông phải được bố trí theo quy định trong bảng 5.16.

Bảng 5.16. Quy định bố trí bulông

Đặc điểm của khoảng cách	Trị số của khoảng cách
l	2
1. Giữa tâm hai bulông theo hướng bất kỳ:	
a) Nhỏ nhất	2,5d
b) Lớn nhất trong các dãy biên khi không có thép góc viền, chịu kéo và chịu nén.	8d hoặc 12t
c) Lớn nhất trong các dãy giữa và các dãy biên khi có thép góc viền:	
- Khi chịu kéo	16d hoặc 24t
- Khi chịu nén	12d hoặc 18t
2. Khoảng cách từ tâm bulông đến mép của cấu kiện:	
a) Nhỏ nhất dọc theo lực	2d
b) Nhỏ nhất khi vuông góc với lực:	
- Khi mép cắt	1,5d
- Khi mép cán	1,2d

Bảng 5.16. (tiếp theo)

1	2
c) Lớn nhất	4d hoặc 8t
d) Nhỏ nhất đối với bulông cường độ cao khi mép bất kỳ và hướng bất kỳ	1,3d

Ghi chú: Trong các cấu kiện liên kết làm bằng thép có giới hạn chảy cao hơn 380 N/mm², khoảng cách nhỏ nhất giữa tâm hai bulông liền kề là 3d.

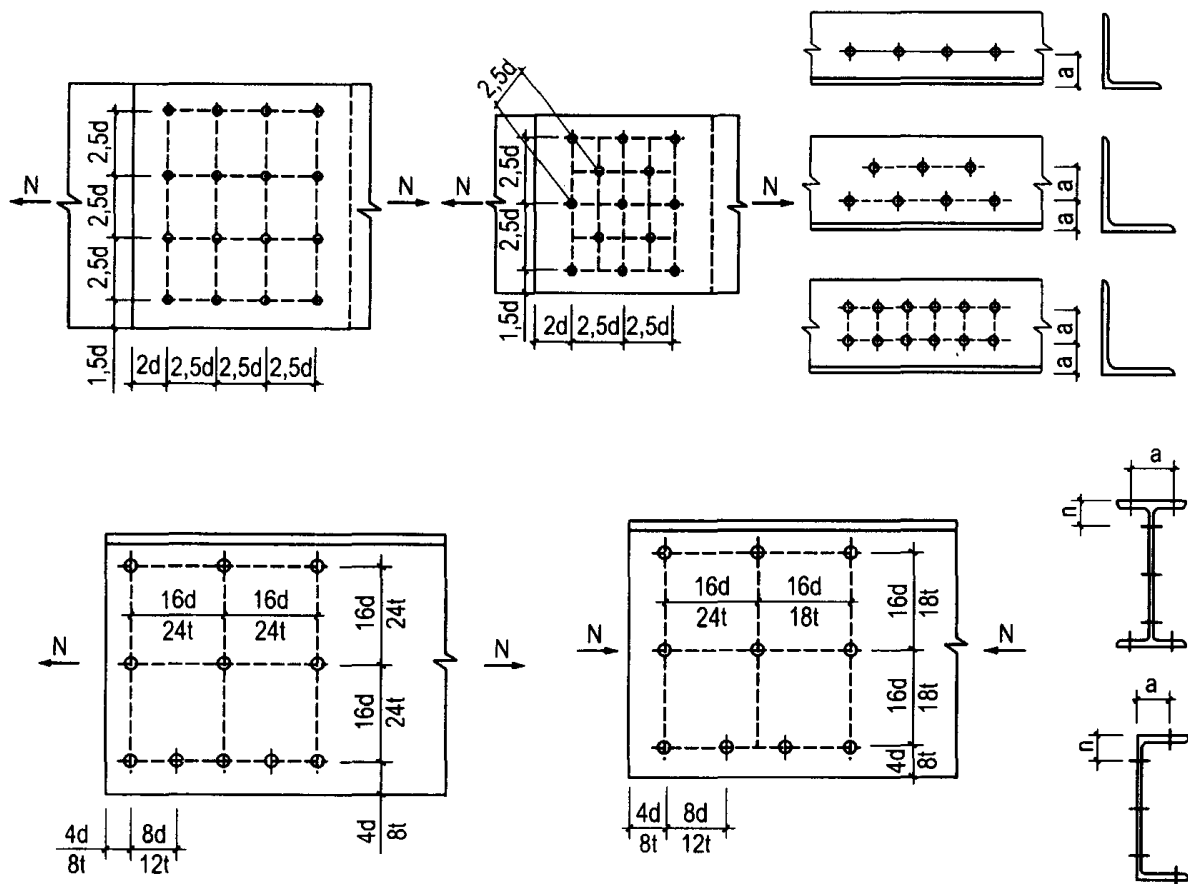
Các ký hiệu dùng trong bảng:

d - đường kính lỗ bulông;

t - chiều dày mỏng hơn của các cấu kiện ngoài.

Khoảng cách tối đa giữa các bulông xác định các điều kiện ổn định của các phần chịu nén của cấu kiện trong khoảng giữa các bulông hoặc mật độ của liên kết các cấu kiện chịu kéo để tránh bụi bám vào làm ăn mòn cấu kiện. Khoảng cách tối thiểu xác định các điều kiện bền của thép cơ bản (hình 5.24).

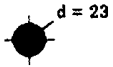

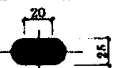

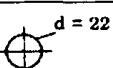

Đối với các thép hình và thép cán (chữ I, C, thép góc) vị trí các lỗ bulông và đường kính của chúng phải đảm bảo yêu cầu về độ bền của thép và khả năng bố trí bulông trong liên kết. Quy định cụ thể nêu trong các tiêu chuẩn của những loại thép hình này.

**Hình 5.24. Bố trí lỗ bulông**

5.2.6. Kí hiệu bulông trên bản vẽ

Quy định về kí hiệu của lỗ bulông, của bulông trên bản vẽ được trình bày trong bảng 5.17.

Bảng 5.17. Kí hiệu bulông trên bản vẽ

Dạng lỗ bulông, đinh tán	Ký hiệu	Dạng lỗ bulông, đinh tán	Ký hiệu
Lỗ tròn		Bulông cố định (thô, thường, tinh)	
Lỗ ôvan		Bulông tạm (thô, thường, tinh)	
Đinh tán mũ cầu		Bulông cường độ cao	

Ví dụ 5.7:

Thiết kế liên kết hai bản thép tiết diện 500×12 làm từ thép CCT34, chịu lực kéo dọc trục $N = 1000 \text{ kN}$.

Chọn hai bản ghép đối xứng, mỗi bản dày 8 mm.

Diện tích tiết diện thép cơ bản: $A_{cb} = 50.1,2 = 60 \text{ cm}^2$.

Diện tích tiết diện hai bản ghép: $2A_{bg} = 2.50.0,8 = 80 \text{ cm}^2 > A = 60 \text{ cm}^2$.

Bản ghép đủ bền.

Chọn bulông cấp bền 5.8, đường kính $d = 20 \text{ mm}$.

Khả năng chịu cắt của một bulông tính theo công thức (5.16):

$$[N]_{vb} = f_{vb} \gamma_b A_{nv}$$

$A = \pi d^2 / 4 = 3,14.2^2 / 4 = 3,14 \text{ cm}^2$; $n_v = 2$; $\gamma_b = 0,9$ (theo bảng 5.12); $f_{vb} = 20 \text{ kN/cm}^2$ (theo bảng 5.8, với bulông cấp bền 5.8).

Thay vào công thức trên có:

$$[N]_b = 77.20.0,9.3,14.2 = 113,04 \text{ kN}$$

Khả năng chịu ép mặt của một bulông tính theo công thức (5.17):

$$[N]_{cb} = f_{cb} \gamma_b d \Sigma t$$

Theo bảng 5.9 với thép CCT34 có: $f_{cb} = 39,5 \text{ kN/cm}^2$.

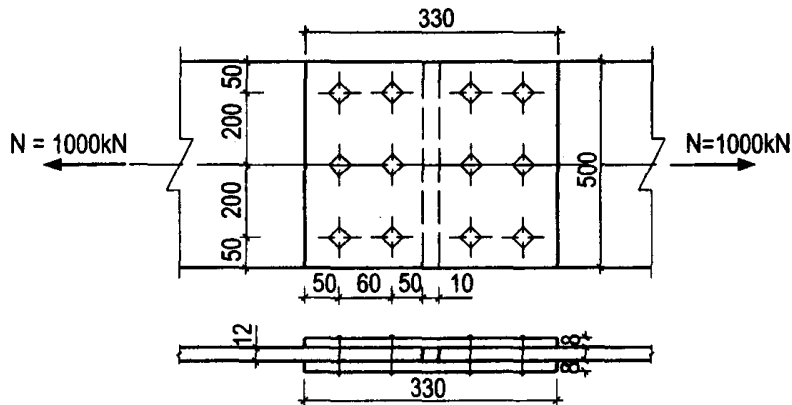
Vậy: $[N]_{cb} = 39,5.0,9.2.1,2 = 85,32 \text{ kN}$.

Số lượng bulông cần thiết tính theo công thức:

$$n = \frac{N}{[N]_{b,\min} \gamma_c} = \frac{1000}{85,32.1,0} = 11,7 \approx 12$$

Trong đó $[N]_{\min} = \min ([N]_{vb}; [N]_b) = \min (113,04; 85,32) = 85,32 \text{ kN}$.

Lấy $n = 12$ bulông. Bố trí bulông theo hình 5.25 thỏa mãn các yêu cầu nêu trong bảng 5.16 và hình 5.24.



Hình 5.25. Cho ví dụ 5.7

Ví dụ 5.8:

Thiết kế liên kết bulông của ví dụ 5.7 nhưng dùng bulông cường độ cao đường kính $d = 20$ mm làm từ thép 40Cr. Mặt các bản thép được gia công sạch bằng bàn chải sắt, không có lớp bảo vệ. Bulông được xiết chặt bằng clê đo lực (theo mômen xoay M). Lỗ bulông có đường kính $d_1 = 23$ mm.

- Xác định số lượng bulông cần thiết:

Lực trượt tính toán mà mỗi bề mặt ma sát chịu được khi xiết một bulông cường độ cao tính theo công thức (5.23):

$$[N]_b = f_{hb} A_{bn} \mu \gamma_{b1} / \gamma_{b2}$$

trong đó: $f_{hb} = 77 \text{ kN/cm}^2$ (bảng 5.14);

$A_{bn} = 2,45 \text{ cm}^2$ (theo bảng 5.11, với bulông đường kính $d = 20$ mm);

$\mu = 0,35$ (theo bảng 5.15);

$\gamma_{b1} = 0,9$ (dự kiến $n = 5 - 9$ chiếc bulông);

$\gamma_{b2} = 1,17$ (theo bảng 5.14 với độ dung sai $\delta = d_1 - d = 23 - 20 = 3 \text{ mm}$)

Thay các đại lượng tìm được vào công thức trên có:

$$[N]_b = 77 \cdot 2,45 \cdot 0,35 \cdot 0,9 / 1,17 = 50,79 \text{ kN}.$$

Số lượng bulông cường độ cao n_a cần thiết tính theo công thức (5.24):

$$n_a \geq \frac{N}{n_f [N]_b \gamma_c} = \frac{1000}{2 \cdot 50,79 \cdot 1,0} = 9,8.$$

trong đó: $n_f = 2$ là số mặt ma sát của liên kết.

Lấy $n_a = 10$.

Bulông được bố trí như trên hình 5.26 thỏa mãn các yêu cầu trong bảng 5.16 và hình 5.24.

- Kiểm tra bền các bản thép:

Kiểm tra theo công thức:

$$\frac{N}{A_c} \leq f_{\gamma_{bl}}$$

trong đó: $A_n = 1,2 (50 - 5.2,3) = 46,2 \text{ cm}^2$.

Diện tích tiết diện nguyên: $A = 1,2.50 = 60 \text{ cm}^2$.

$$A_n/A = 46,2 / 60 = 0,77 < 0,85.$$

Vậy diện tích tiết diện tính toán lấy theo diện tích tiết diện quy ước A_c :

$$A_c = 1,18 A_n = 1,18. 46,2 = 54,52 \text{ cm}^2.$$

$$\frac{N}{A_c} = \frac{1000}{54,52} = 18,34 \leq f_{\gamma_{bl}} = 21.1,0 = 21 \text{ kN/cm}^2.$$

trong đó: $\gamma_{bl} = 1,0$ vì dùng bulông cường độ cao có số lượng $n_a = 10$.

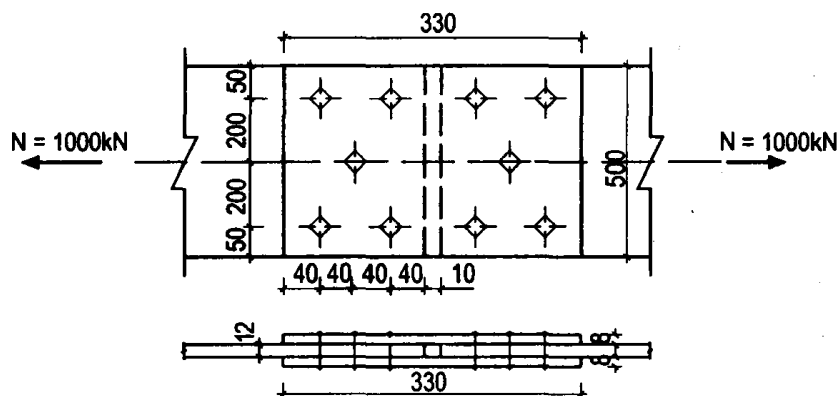
Bản thép đủ bền.

Đối với hàng bulông ngoài cùng còn phải kiểm tra điều kiện (5.25)

$$\frac{N}{A_{tt}} \left(1 - 0,5 \frac{n_i}{n} \right) \leq f$$

trong đó: $n_i = 2.2 = 4$; $n = 2.10 = 20$.

Vậy, $\frac{1000}{54,52} \left(1 - 0,5 \frac{4}{20} \right) = 16,51 < f = 21 \text{ kN/cm}^2$. Điều kiện thỏa mãn



Hình 5.26. Cho ví dụ 5.8

Chương 6

TÍNH TOÁN KẾT CẤU THÉP THEO ĐỘ BỀN MỎI

6.1. SỰ PHÁ HOẠI MỎI CỦA KẾT CẤU THÉP

6.2. Cường độ mỏi

Sự phá hoại mỏi của thép là sự phá hoại ở ứng suất nhỏ hơn giới hạn bền, xảy ra khi thép chịu tải trọng lặp nhiều lần. Sự phá hoại về mỏi mang tính chất phá hoại giòn, thường xảy ra đột ngột và kèm theo vết nứt. Độ bền mỏi (hay còn gọi cường độ mỏi) của kết cấu thép là ứng suất phá hoại khi có hiện tượng mỏi. Phần lớn kết cấu nhà cửa thường không chịu tải trọng lặp với số chu kỳ đủ lớn để phải xét đến sự mỏi. Tuy nhiên, dầm cầu trục, dầm đỡ sàn đặt máy, bệ máy, cầu chuyển tải, bунке v.v... là những kết cấu cần tính toán theo độ bền mỏi.

6.1.2. Các yếu tố ảnh hưởng đến độ bền mỏi

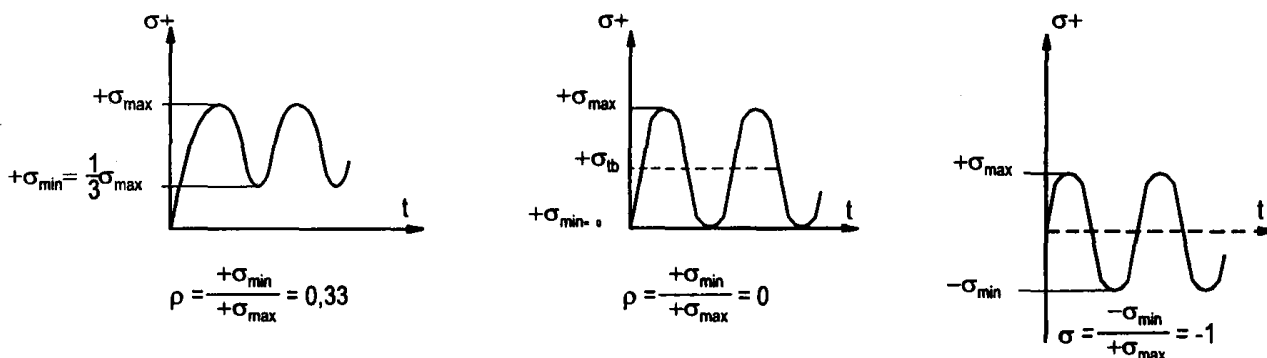
Độ bền mỏi phụ thuộc vào nhiều yếu tố. Những yếu tố chính là: đại lượng ứng suất lớn nhất trong cấu kiện đang xem xét σ_{\max} (hoặc là biên độ ứng suất σ_a); sự tập trung ứng suất, phụ thuộc vào cấu tạo của cấu kiện và kiểu liên kết (nhóm của cấu kiện); đặc tính của tải trọng chu kỳ (dùng hoặc không dùng); số chu kỳ của tải trọng giai đoạn sử dụng kết cấu; nhiệt độ sử dụng kết cấu và các điều kiện khác.

Có hai cách tính toán độ bền mỏi, hoặc dựa vào ứng suất lớn nhất hoặc dựa vào biên độ biến đổi ứng suất. Phương pháp luận tính toán độ bền mỏi của TCXDVN 338 : 2005 quan niệm rằng hiện tượng mỏi trong cấu kiện xuất hiện do tác động của ứng suất lớn nhất σ_{\max} . Một cách tiếp cận khác, theo đó biên độ ứng suất của chu kỳ $\sigma_a = (\sigma_{\max} - \sigma_{\min})/2$ là ảnh hưởng chính đến sự phá hoại mỏi. Cả hai phương pháp đều dựa trên những dữ liệu thực nghiệm tương tự nhau và được gần đúng hoá, nên kết quả cuối cùng của hai phương pháp cũng không khác nhau nhiều.

Một yếu tố có ảnh hưởng lớn đến độ bền mỏi là sự tập trung ứng suất trong cấu kiện và trong liên kết. Sự tập trung ứng suất gây bởi các biến đổi đột ngột của hình dạng cấu kiện như thay đổi tiết diện, có lỗ bulông, có mối hàn, có các chi tiết gắn thêm, v.v. TCXDVN 338 : 2005 phân các cấu kiện thành 8 nhóm (bảng F1) theo mức độ ảnh hưởng đến sự tập trung ứng suất. Số nhóm càng lớn thì cường độ mỏi càng thấp. Bảng 6.1 dưới đây trích từ bảng F1 của TCXDVN 338 : 2005 nhằm minh hoạ các nhóm.

Cường độ mỗi phụ thuộc vào số chu kỳ tải trọng lặp. Khi số chu kỳ tải trọng lặp là từ 10^5 trở lên là phải tính toán theo điều kiện mỏi. Số chu kỳ càng lớn, cường độ mỏi càng thấp và sẽ ổn định với số chu kỳ lớn trên $3,9 \times 10^6$.

Tính chất thay đổi của tải trọng ảnh hưởng đến cường độ mỏi. Tính chất thay đổi của tải trọng thể hiện bằng hệ số ứng suất không đối xứng $\rho = \sigma_{\min}/\sigma_{\max}$, với σ_{\max} và σ_{\min} tương ứng là các ứng suất lớn nhất và nhỏ nhất (tính theo trị tuyệt đối) trong cấu kiện, tính theo tiết diện giảm yếu, không kể đến các hệ số φ , φ_e , φ_b . Khi các ứng suất khác dấu nhau, hệ số ρ mang dấu "—" (xem hình 6.1).



Hình 6.1. Hệ số không đối xứng của ứng suất

Phần lớn kết cấu xây dựng chịu tác động chu kỳ thuộc loại không dừng nghĩa là biên độ của tải trọng và của ứng suất biến đổi theo thời gian. Độ bền mỏi tính toán theo tải trọng không dừng có thể tăng 10 - 20% so với trường hợp tải trọng dừng, việc tăng này đã được đưa vào công thức tính toán.

Nói chung, cường độ mỏi ít phụ thuộc vào cường độ của thép. Thép cường độ cao chịu tác động của tải trọng lặp chỉ phát huy được khả năng khi không có sự tập trung ứng suất trong kết cấu (nhóm cấu kiện 1 và 2 của bảng 6.1. Còn các trường hợp khác (nhóm cấu kiện 3 - 8), việc áp dụng thép có cường độ cao để chịu mỏi là không thích hợp và bởi vậy khi áp dụng chúng cần phải có luận chứng kỹ thuật và kinh tế xác đáng.

Bảng 6.1. Các nhóm cấu kiện và liên kết để tính toán về mỏi

Thứ tự	Sơ đồ cấu kiện và vị trí của tiết diện tính toán	Đặc điểm của cấu kiện	Nhóm cấu kiện
1	2	3	4
1 (1)*		- Mép của thép cơ bản được cán hoặc gia công cơ khí - Mép của thép cơ bản được cắt bằng máy cắt hơi	1 2 **
2 (14)		Tiết diện tổ hợp hàn chữ I, chữ T, hoặc các loại khác được hàn bằng các đường hàn dọc, lực tác dụng dọc theo đường hàn	2

Bảng 6.1 (tiếp theo)

1	2	3	4
3 (10)		<p>Thép cơ bản bằng gia công cơ khí cho đường hàn dày lên được vát tại chỗ nối đối đầu:</p> <p>Khi các bản thép được nối có chiều dày và rộng như nhau</p> <p>Khi chiều dày và rộng khác nhau</p>	<p>2</p> <p>3</p>
4 (13)		Liên kết đối đầu thép định hình	4
5 (17)		Thép cơ bản của cánh dầm chịu kéo, các cấu kiện của dầm gần vách cứng, sườn cứng được liên kết bằng các đường hàn góc	5
6 (18)		Thép cơ bản ở chỗ chuyển tiếp với đường hàn góc đầu	6
7 (19)		<p>Thép cơ bản trong liên kết dùng đường hàn góc bên (chỗ chuyển tiếp từ cấu kiện đến mút của đường hàn) khi:</p> <p>a) Dùng hai đường hàn góc bên</p> <p>b) Đường hàn góc bên và góc đầu</p> <p>c) Khi truyền lực qua thép cơ bản</p> <p>d) Chi tiết neo để giữ cáp</p>	<p>8***</p> <p>7</p> <p>7</p> <p>8</p>

Ghi chú: * Số trong ngoặc là của Bảng F1.

** Văn bản TCXDVN 338 : 2005 in nhầm là nhóm I.

*** Hình vẽ a của TCXDVN 338 : 2005 vẽ thừa mối hàn góc đầu.

Kết cấu thép sử dụng trong điều kiện nhiệt độ âm dưới 0°C (thậm chí âm 40°C) không bị giảm độ bền mỏi.

6.1.3. Cách xác định số chu kỳ tải trọng đối với cầu trục

Việc xác định số chu kỳ tải trọng cầu trục để tính toán mỏi cho các kết cấu đỡ như dầm cầu trục, công xôn đỡ dầm cầu trục không được nêu rõ ràng trong TCXDVN 338 : 2005 cũng như Tiêu chuẩn về tải trọng và tác động TCVN 2737 : 1995. Tiêu chuẩn Kết cấu thép TCXDVN 338 : 2005 quy định phải tính toán về mỏi khi số chu kỳ từ 10^5 trở lên, điều này đối với cầu trục là tương đương số lần mở máy hoạt động 10 lần một ngày trong 25 năm. Phụ lục B của TCVN 2737 : 1995 có phân chia cầu trục làm 4 chế độ làm việc: nhẹ, trung bình, nặng và rất nặng nhưng không có con số cụ thể.

Dưới đây, xin giới thiệu cách xác định số chu kỳ tải trọng để tính toán về mỏi theo Tiêu chuẩn về cầu trục của Úc AS 1418–18. Các cấp sử dụng cầu trục gồm có:

Nhẹ (ít sử dụng): số chu kỳ hoạt động tối đa là dưới:	$1,25 \times 10^5$
Vừa (sử dụng khá thường xuyên): số chu kỳ hoạt động tối đa là dưới:	$2,5 \times 10^5$
Nặng (sử dụng thường xuyên): số chu kỳ hoạt động tối đa là dưới:	5×10^5
Rất nặng (sử dụng rất thường xuyên): số chu kỳ hoạt động tối đa là dưới:	1×10^6
Liên tục (hoặc gần như liên tục): số chu kỳ hoạt động tối đa là trên:	4×10^6

Tuy nhiên số chu kỳ hoạt động tối đa này chưa phải là số chu kỳ tải trọng để tính về mỏi mà còn tùy thuộc chế độ nâng cầu của cầu trục. Cầu trục có các chế độ (hoặc điều kiện) nâng cầu sau:

- Chế độ nhẹ: chỉ có 10% số lần cầu đạt sức cầu tối đa;
- Chế độ vừa: chỉ có 17% số lần cầu đạt sức cầu tối đa;
- Chế độ nặng: có 50% số lần cầu đạt sức cầu tối đa;
- Chế độ rất nặng: có 90% số lần cầu đạt sức cầu tối đa.

Kết hợp cả chế độ sử dụng và chế độ nâng cầu mới được số chu kỳ tải trọng để tính toán về mỏi. Ví dụ số chu kỳ tải trọng 1×10^5 là của cầu trục chế độ sử dụng nhẹ nhưng điều kiện nâng cầu là nặng, hoặc của chế độ sử dụng vừa cùng với điều kiện nâng cầu là vừa, hoặc của chế độ sử dụng nặng nhưng điều kiện nâng cầu là nhẹ. Cầu trục có chế độ sử dụng rất thường xuyên và có chế độ nâng cầu rất nặng được tính với số chu kỳ tải trọng 2×10^6 . Chi tiết có thể tham khảo ở phụ lục F.

Các tiêu chuẩn thiết kế kết cấu thép AISC và MBMA của Mỹ cũng có những quy định cụ thể về số chu kỳ tải trọng của cầu trục tùy theo chế độ sử dụng và sức cầu mà người thiết kế có thể tham khảo để tính toán về mỏi theo Tiêu chuẩn của Việt Nam.

6.1.4. Tính toán kiểm tra điều kiện bền mỏi

Mục đích tính toán kiểm tra là so sánh ứng suất lớn nhất tại tiết diện đang xét với cường độ tính toán về mỏi, có xét đến loại thép, nhóm kết cấu, số chu kỳ và hệ số ứng suất không đối xứng ρ .

Công thức kiểm tra theo bền mỗi như sau:

$$\sigma_{\max} \leq \alpha f_f \gamma_f \quad (6.1)$$

trong đó:

f_f - cường độ tính toán về mỗi, lấy theo bảng 6 - 2 (bảng 40 TCXDVN 338:2005) phụ thuộc vào cường độ kéo đứt tức thời của thép và nhóm cấu kiện ở bảng F.1, phụ lục F. Thực tế, f_f là cường độ phá hoại của thép do mỗi khi số chu kỳ là 2×10^6 và ứng suất đối dấu đối xứng (hệ số ρ là -1), được xác định qua thí nghiệm.

Bảng 6.2. Cường độ tính toán về mỗi f_f

Đơn vị tính: N/mm^2

Nhóm cấu kiện	Trị số của f_f khi cường độ kéo đứt tức thời f_u				
	≤ 420	$420 \div 440$	$440 \div 520$	$520 \div 580$	$580 \div 675$
1	120	128	132	136	145
2	100	106	108	110	116
3	Đối với mọi mức thép				90
4	Đối với mọi mức thép				75
5	Đối với mọi mức thép				60
6	Đối với mọi mức thép				45
7	Đối với mọi mức thép				36
8	Đối với mọi mức thép				27

α - hệ số, kể đến số chu kỳ tải trọng n_Q và được tính theo công thức:

- Khi $n_Q < 3,9 \times 10^6$:

Đối với các nhóm cấu kiện 1 và 2:

$$\alpha = 0,064 \left(\frac{n_Q}{10^6} \right)^2 - 0,5 \left(\frac{n_Q}{10^6} \right) + 1,75 \quad (6.2)$$

Đối với các nhóm cấu kiện 3 đến 8:

$$\alpha = 0,07 \left(\frac{n_Q}{10^6} \right)^2 - 0,64 \left(\frac{n_Q}{10^6} \right) + 2,2 \quad (6.3)$$

- Khi $n_Q \geq 3,9 \times 10^6$, lấy $\alpha = 0,77$. Lúc này độ bền mỗi tính toán có giá trị ổn định, không phụ thuộc vào số chu kỳ cũng như nhóm cấu kiện.

γ_f - hệ số, lấy theo bảng 6.3, phụ thuộc vào trạng thái ứng suất và hệ số không đối xứng của ứng suất ρ .

γ_f luôn luôn lớn hơn 1 vì đã được xác định với trường hợp bất lợi nhất là ứng suất phản xứng $\rho = -1$. Tuy nhiên cường độ mỗi tính toán (số hạng ở vế phải của công thức là cường độ mỗi tính toán, xác định theo phương pháp của SNiP II-23-81*) không thể vượt quá giới hạn bền tính toán nên khi kiểm tra theo công thức 6.1, tích số $\alpha f_f \gamma_f$ không được lấy vượt quá giá trị f_u/γ_u ; $\gamma_u = 1,3$.

Bảng 6.3. Hệ số γ_f

σ_{max}	Hệ số không đối xứng của ứng suất	Công thức tính hệ số γ_f
Kéo	$-1 \leq \rho \leq 0$	$\gamma_f = 2,5/(1,5 - \rho)$
	$0 < \rho \leq 0,8$	$\gamma_f = 2,0/(1,2 - \rho)$
	$0,8 < \rho < 1$	$\gamma_f = 1,0/(1 - \rho)$
Nén	$-1 \leq \rho < 1$	$\gamma_f = 2,0/(1 - \rho)$

Ví dụ 6.1:

Tính cường độ mỗi của dầm cầu trục tổ hợp hàn, làm bằng thép 09Mn2Si. Chu kỳ tải trọng là 5×10^5 .

Dầm cầu trục tổ hợp hàn thuộc loại cầu kiện nhóm 2. Thép 09Mn2Si có cường độ kéo đứt tức thời là 450 MPa, vậy giá trị f_t là 108 MPa.

Công thức (6.2) cho:

$$\alpha = 0,064 \left(\frac{5 \times 10^5}{10^6} \right)^2 - 0,5 \left(\frac{5 \times 10^5}{10^6} \right) + 1,75 = 1,48$$

Với $\rho = 0$ đối với dầm cầu trục gối tựa đơn giản, công thức ở bảng 6-3 cho:

$$\gamma_f = 2,0/(1,2 - \rho) = 2,0/1,2 = 1,67$$

Cường độ mỗi tính toán:

$$\alpha f_f \gamma_f = 1,48 \times 108 \times 1,67 = 267 \text{ MPa.}$$

Lưu ý rằng cường độ mỗi này nhỏ hơn cường độ tính toán của thép 09Mn2Si ($f = 315 \text{ MPa}$).

Ví dụ 6.2:

Cầu trục có số lần làm việc 20 lần/ngày, chế độ nâng cẩu là trung bình (không quá 17% thời gian làm việc cẩu đạt mức tối đa). Xác định chu kỳ tải trọng tính toán, dựa theo AS 1418-18.

Số chu kỳ làm việc trong 25 năm là $20 \times 365 \times 25 = 182000$ chu kỳ, thuộc loại U4 (sử dụng khá thường xuyên); điều kiện chất tải là trung bình Q2. Tra bảng của AS 1418-18 ở Phụ lục F, được xếp loại kết cấu dầm cầu trục là S4. Số chu kỳ tải trọng tương đương để tính về mỗi là 100000

PHỤ LỤC A

VẬT LIỆU DÙNG CHO KẾT CẤU THÉP VÀ CƯỜNG ĐỘ TÍNH TOÁN

Bảng A.1. Thép cacbon theo TCVN 1765 : 1975

Mác thép	Độ bền kéo f_u , N/mm ²	Giới hạn chảy f_y , N/mm ² cho độ dày t, mm			Độ dẫn dài Δ , % cho độ dày t, mm		
		≤ 20	$20 < t \leq 40$	$40 < t \leq 100$	≤ 20	$20 < t \leq 40$	> 40
		Không nhỏ hơn			Không nhỏ hơn		
CT31	≥ 310	–	–	–	23	22	20
CT33s	$310 \div 400$	–	–	–	35	34	32
CT33n, CT33	$320 \div 420$	–	–	–	34	33	31
CT34s	$330 \div 420$	220	210	200	33	32	30
CT34n, CT34	$340 \div 440$	230	220	210	32	31	29
CT38s	$370 \div 470$	240	230	220	27	26	24
CT38n, CT38	$380 \div 490$	250	240	230	26	25	23
CT38nMn	$380 \div 500$	250	240	230	26	25	23
CT42s	$410 \div 520$	260	250	240	25	24	22
CT42n, CT42	$420 \div 540$	270	260	250	24	23	21
CT51n, CT51	$510 \div 640$	290	280	270	20	19	17
CT52nMn	$460 \div 600$	290	280	270	20	19	17
CT61n, CT61	≥ 610	320	310	300	15	14	12

Bảng A.2. Tính năng cơ học của một số loại thép nước ngoài (tham khảo)

Nước	Ký hiệu thép	Loại thép	Ứng suất giới hạn nhỏ nhất, N/mm ²		Ghi chú
			Chảy f_y	Bền đứt f_u	
Nga - Liên xô cũ (ГОСТ hay ТУ)	BCт3кп2-1	Thép cacbon sôi	225	360	Thép tấm 11mm – 12mm
	BCт3кп5-1	Thép cacbon lắng	245	370	
	09Г2	Thép hợp kim thấp	305	440	
	09 Г2С	Thép hợp kim thấp	325	470	
	14Г2	Thép hợp kim thấp	355	470	
	15XCHД	Thép hợp kim thấp	345	490	Thép tấm 4mm – 32mm
	10XCHД	Thép hợp kim thấp	390	530	

Bảng A.2. (tiếp theo)

Nước	Ký hiệu thép	Loại thép	Ứng suất giới hạn nhỏ nhất, N/mm ²		Ghi chú
			Chảy f_y	Bền đứt f_u	
Hoa Kỳ (theo ASTM)	A36	Thép cacbon	250	400	Các loại thép cán
	A500 gr.C	Thép cacbon	345	427	Thép ống
	A570 gr.50	Thép cacbon	345	450	Thép cuộn và tấm
	A572 gr.50	Thép hợp kim thấp	345	450	Thép tấm và hình
	A607 gr.65	Thép hợp kim thấp	450	550	Chống rỉ
	A514	Thép hợp kim nhiệt luyện	690	760	Thép tấm
Anh	BS 4360 gr.40	Thép kết cấu không hợp kim	240	340	≤ 16 mm
	BS 4360 gr.43	Thép kết cấu không hợp kim	275	410	
	BS 4360 gr.50	Thép kết cấu không hợp kim	355	480	
	BS 4360 gr.55	Thép hợp kim thấp	450	550	
Châu Âu (EN)	S235	Thép kết cấu không hợp kim	235	340	≤ 16 mm
	S275	Thép kết cấu không hợp kim	275	410	
	S355	Thép kết cấu không hợp kim	355	490	
	S460	Thép hợp kim thấp	460	550	
Nhật (JIS – G3101)	SS330	Thép kết cấu cán nóng	205	330	≤ 16 mm
	SS400	Thép kết cấu cán nóng	245	400	
	SS490	Thép kết cấu cán nóng	275	490	
	SS540	Thép kết cấu cán nóng	400	540	
Trung Quốc	Số 3 (hay Q235)	Thép cacbon	235	370	≤ 16 mm
	16Mn (hay Q345)	Thép hợp kim thấp	345	510	
	15MnV (hay Q 390)	Thép hợp kim thấp	390	530	
Úc	AS 3678 gr.250	Thép tấm	250	410	≤ 50 mm
	AS 3678 gr.300	Thép tấm	300	430	≤ 20 mm
	AS 3679 gr.250	Thép hình	250	410	≤ 40 mm
	AS 3679 gr.350	Thép hình	340	480	≤ 40 mm

Ghi chú: Các ký hiệu thép nêu trong bảng này chỉ gồm ký tự gốc nói lên tính chất cơ học, không ghi các ký tự đuôi nói lên đặc điểm sử dụng và chế tạo của thép / Thép có chung ký tự gốc đều dùng được trị số cho trong bảng, ví dụ: thép Anh BS 4360 gr.40B hay gr.40C dùng được trị số của BS 4360 gr. 40; thép châu Âu S355JOC dùng trị số như S355; thép Trung Quốc Q235B–YF dùng được trị số như Q235.

Bảng A.3. Yêu cầu về độ dai va đập đối với thép cacbon TCVN 5709 : 1993Đơn vị tính: Nm/cm^2

Mác thép	Độ dày, mm	Không nhỏ hơn					
		Ở nhiệt độ, °C				Sau khi hoá già cơ học	
		+ 20		- 20		Dọc	Ngang
		Dọc	Ngang	Dọc	Ngang		
XCT34	12 đến 40	100	80	60	50	60	40
XCT38		90	60	60	40	60	30
XCT42		80	60	50	40	40	30
XCT52		70	50	50	40	40	30

Bảng A.4. Cường độ tính toán của thép cán chịu ép mặt từ đầu, ép mặt cục bộ trong các khớp trụ, ép theo đường kính con lănĐơn vị tính : N/mm^2

Giới hạn bền	Cường độ tính toán		
	Ép mặt		Ép theo đường kính con lăn (trong các kết cấu có độ di động hạn chế)
	Từ đầu (có gia công phẳng mặt)	Cục bộ trong các khớp trụ (giữa các thốt cong với trục hình trụ) khi tiếp xúc chặt	
360	327	164	8
365	332	166	8
370	336	168	8
380	346	173	9
390	355	178	9
400	364	182	10
430	391	196	10
440	400	200	10
450	409	205	10
460	418	209	10
470	427	214	11
480	436	218	11
490	445	223	11
500	455	228	11
510	464	232	12
520	473	237	12
530	473	237	12
540	482	241	12
570	504	252	13
590	522	261	13
635	578	289	14

Ghi chú: Giá trị của cường độ tính toán lấy theo các công thức ở bảng 4, với $\gamma_M = 1,1$.

Bảng A.5. Các đặc trưng vật lý của thép

Các đặc trưng vật lý	Giá trị
1. Khối lượng riêng ρ , kg/ m ³	
- Thép cán và khối đúc bằng thép	7850
- Khối đúc bằng gang	7200
2. Hệ số dẫn dài do nhiệt α° , C ⁻¹	0,12.10 ⁻⁴
3. Môđun đàn hồi E , N/mm ²	
- Thép cán và khối đúc bằng thép	2,1.10 ⁵
- Khối đúc bằng gang	0,85.10 ⁶
- Bó sợi thép song song	2,0.10 ⁶
- Cáp thép xoắn và cáp thép xoắn có lớp bọc ngoài	1,7.10 ⁶
4. Môđun trượt của thép và khối đúc bằng gang G , N/mm ²	0,81.10 ⁶
5. Hệ số nở ngang (hệ số Poát xông)	0,3
Ghi chú: Giá trị môđun đàn hồi của cáp thép cho trong bảng ứng với khi lực kéo không bé hơn 60% lực kéo đứt sợi cáp.	

Bảng A.6. Cường độ tính toán của thép cán và thép ống

Trạng thái làm việc	Ký hiệu	Cường độ tính toán
Kéo, nén, uốn	f	$f = f_y / \gamma_M$
Trượt	f_v	$f_v = 0,58 f_y / \gamma_M$
Ép mặt lên đầu mút (khi ti sắt)	f_c	$f_c = f_u / \gamma_M$
Ép mặt trong ổ trục khi tiếp xúc chặt	f_{cc}	$f_{cc} = 0,5 f_u / \gamma_M$
Ép theo đường kính của con lăn	f_{cd}	$f_{cd} = 0,025 f_u / \gamma_M$

PHỤ LỤC B

VẬT LIỆU DÙNG CHO LIÊN KẾT KẾT CẤU THÉP

**Bảng B.1. Que hàn điện dùng cho thép cacbon thấp
và thép hợp kim thấp - Kí hiệu, kích thước và yêu cầu kỹ thuật chung**

Kí hiệu que hàn	Độ bền kéo, N/mm ² (Mpa)	Độ dẫn dài tối thiểu với L = 5d, %	Nhiệt độ thử độ dai và đập tối thiểu của 28J °C
E 430	430 đến 510	-	-
E 431	430 đến 510	20	+27 (nhiệt độ phòng)
E 432	430 đến 510	22	0
E 433	430 đến 510	24	-20
E 434	430 đến 510	24	-30
E 435	430 đến 510	24	-40
E 510	510 đến 610	-	-
E 511	510 đến 610	18	+27 (nhiệt độ phòng)
E 512	510 đến 610	18	0
E 513	510 đến 610	20	-20
E 514	510 đến 610	20	-30
E 515	510 đến 610	20	-40

Bảng B.2. Chỉ tiêu cơ tính que hàn Việt Nam theo TCVN 3223 : 1994

Loại que hàn	Độ bền kéo σ_B daN/cm ²	Độ dai va đập a, kg m/cm ²	Biến dạng tỉ đối ϵ , %	Góc uốn α , độ
N 42	4100	8	18	150
N 46	4500	8	18	150
N 50	4900	7	16	120
N 42 – 6B	4100	15	22	180
N 46 – 6B	4500	14	22	180
N 50 – 6B	4900	13	20	150
N 55 – 6B	5400	12	20	150
N 60 – 6B	5900	10	18	120

Bảng B.3. Que hàn dùng ứng với mác thép (tham khảo)

Mác thép	Loại que hàn có thuốc bọc	
	TCVN 3223 : 1994	ГОСТ 9467-75 (Nga)
XCT34; XCT38; XCT42; XCT52	N42; N46	Э42; Э46
09Mn2; 14Mn2; 09Mn2Si; 10Mn2Si1	N46; N50	Э46; Э50

Bảng B.4. Kích thước que hàn điện TCVN 3223 : 1994 (tham khảo)

Đường kính lõi que hàn d, mm	Chiều dày thép cơ bản t, mm	Chiều dài que hàn (L ± 2), mm
1,6	3 ÷ 5	250 (200)
2,0		250 (300)
2,5		300 (350)
3,0 (3,25)	6 ÷ 10	350 (400)
4,0	10 ÷ 14	400 (450)
5,0	16 ÷ 20	450
6,0		450

Bảng B.5. Cường độ tính toán của mối hàn

Dạng liên kết	Trạng thái làm việc		Ký hiệu	Cường độ tính toán
Hàn đối đầu	Nén, kéo và uốn khi kiểm tra chất lượng đường hàn bằng các phương pháp vật lý	Theo giới hạn chảy	f_w	$f_w = f$
		Theo sức bền kéo đứt	f_{wu}	$f_{wu} = f_t$
	Kéo và uốn		f_w	$f_w = 0,85 f$
	Trượt		f_{wv}	$f_{wv} = f_v$
Hàn góc	Cắt (quy ước)	Theo kim loại mối hàn	f_{wf}	$f_{wf} = 0,55 f_{wun} / \gamma_M$
		Theo kim loại ở biên chảy	f_{ws}	$f_{ws} = 0,45 f_u$

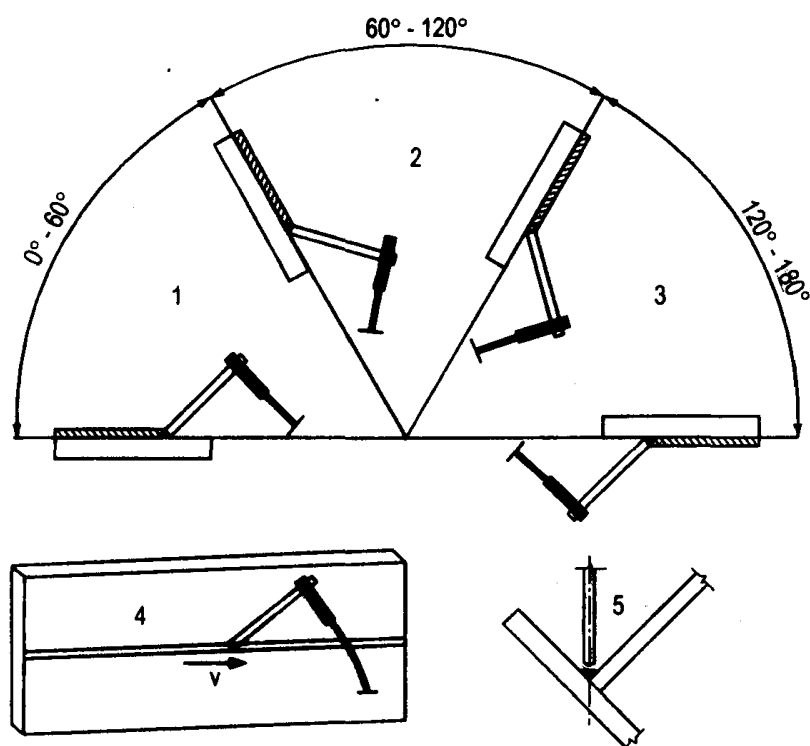
Ghi chú:

1. f và f_v là cường độ tính toán về kéo và cắt của thép được hàn; f_u và f_{wun} là ứng suất kéo đứt tức thời theo tiêu chuẩn sản phẩm (cường độ kéo đứt tiêu chuẩn) của thép được hàn và của kim loại hàn.
2. Hệ số độ tin cậy về cường độ của mối hàn γ_M lấy bằng 1,25 khi $f_{wun} \leq 490 \text{ N/mm}^2$ và bằng 1,35 khi $f_{wun} \geq 590 \text{ N/mm}^2$.

Bảng B.6. Cường độ kéo đứt tiêu chuẩn f_{wun} và cường độ tính toán f_{wr} của kim loại hàn trong mối hàn góc

Đơn vị tính : N/mm^2



Loại que hàn theo TCVN 3223 : 1994	Cường độ kéo đứt tiêu chuẩn f_{wun}	Cường độ tính toán f_{wr}
N42, N42 - 6B	410	180
N46, N46 - 6B	450	200
N50, N50 - 6B	490	215



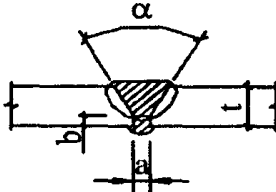
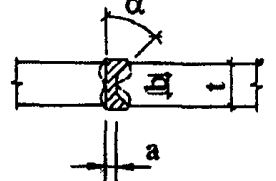
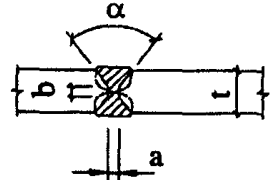
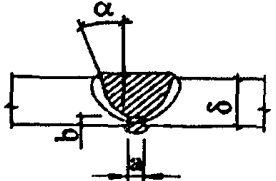
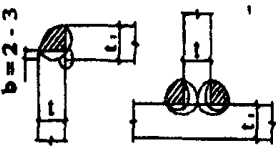
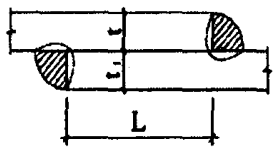
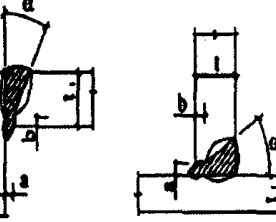
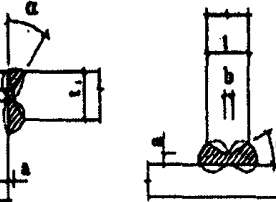
Hình B.1. Vị trí đường hàn trong không gian

1 - đường hàn nằm; 2 - đường hàn đứng; 3 - đường hàn ngược;
4 - đường hàn ngang; 5 - trong máng

Bảng B.7. Các dạng gia công mép đường hàn

Dạng gia công mép	Mặt cắt t, a, b (mm) α (độ)	Hàn tay có hàn thêm mặt sau	Hàn tự động có hàn thêm mặt sau
1) Đường hàn đối đầu			
Không gia công mép		2 - 8	2 - 20
		1 - 2	0

Bảng B.7. (tiếp theo)

Dạng gia công mép	Mặt cắt t,a,b (mm) α (độ)		Hàn tay có hàn thêm mặt sau	Hàn tự động có hàn thêm mặt sau
Dạng chữ V		t a b α	3 – 50 2 2 55	14 – 24 0 6 60
Dạng chữ K		t a b α	12 – 60 2 1 50	20 – 30 0 6 45
Dạng chữ X		t a b α	12 – 60 2 2 55	20 – 60 0 6 – 8 60
Dạng chữ U		t a b α	15 – 100 2 2 10	24 – 100 0 6 – 8 10 – 13
2) Đường hàn góc				
Không gia công mép		t t ₁	2 – 30 2 – 30	6 – 14 3 – 40
		t t ₁ L	2 – 60 2 – 60 $\geq 2(t + t_1)$	1 – 20 – 20 – 90
		t t ₁ a b α	4 – 26 4 – 26 2 1 – 2 50	8 – 20 – 2 2 50 – 40
Dạng chữ K		t t ₁ a b α	4 – 26 4 – 26 2 1 50	16 – 40 – 0 4 50

**Bảng B.8. Quy định sử dụng các cấp bền của bulông
trong các điều kiện làm việc khác nhau**

Bulông trong các kết cấu	Điều kiện làm việc của bulông	Cấp bền của bulông được sử dụng
Không tính đến mối	Kéo hoặc cắt	4.6; 5.6; 4.8; 5.8; 6.6; 8.8; 10.9
Có tính đến mối	Kéo hoặc cắt	4.6; 5.6; 6.6; 8.8; 10.9
Ghi chú: Khi đặt hàng, đối với bulông cấp độ bền 6.6; 8.8 và 10.9 phải ghi rõ mác thép và tiêu chuẩn tương ứng.		

Bảng B.9. Đặc trưng cơ học của bulông cường độ cao

Đường kính danh nghĩa của ren, mm	Mác thép	Độ bền kéo nhỏ nhất f_{ub} , N/mm ²	Đường kính danh nghĩa của ren, mm	Mác thép	Độ bền kéo nhỏ nhất f_{ub} , N/mm ²
Từ 16 đến 27	40Cr	1100	36	40Cr	750
	38CrSi; 40CrVA	1350		30Cr3MoV	1100
	30Cr3MoV	1350	42	40Cr	650
	30Cr2NiMoVA			30Cr3MoV	1000
30	40Cr	950	48	40Cr	600
	30Cr3MoV; 35Cr2AV	1200		30Cr3MoV	900

Bảng B.10. Cường độ tính toán chịu cắt và kéo của bulông

Đơn vị tính: N/mm²

Trạng thái làm việc	Ký hiệu	Cấp độ bền						
		4.6	4.8	5.6	5.8	6.6	8.8	10.9
Cắt	f_{vb}	150	160	190	200	230	320	400
Kéo	f_{tb}	170	160	210	200	250	400	500

Bảng B.11. Cường độ tính toán chịu ép mặt của bulông f_{cb} Đơn vị tính: N/mm^2

Giới hạn bền kéo đứt của thép cấu kiện được liên kết	Giá trị f_{cb}	
	Bulông tinh	Bulông thô và thường
340	435	395
380	515	465
400	560	505
420	600	540
440	650	585
450	675	605
480	745	670
500	795	710
520	850	760
540	905	805

Bảng 12. Cường độ tính toán chịu kéo của bulông neoĐơn vị tính: N/mm^2

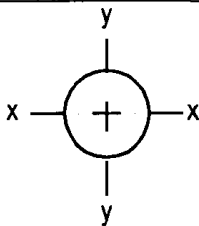
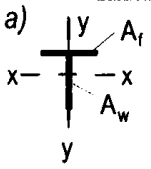
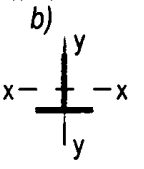
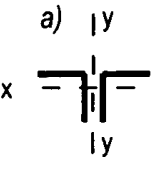
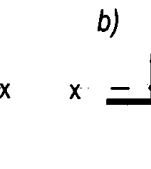
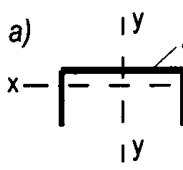
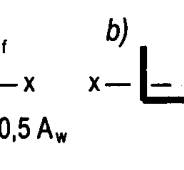
Đường kính bulông, mm	Làm từ thép mác		
	CT38	16MnSi	09Mn2Si
12 ÷ 32	150	192	190
33 ÷ 60	150	190	185
61 ÷ 80	150	185	180
81 ÷ 140	150	185	165

PHỤ LỤC C

CÁC HỆ SỐ ĐỂ TÍNH ĐỘ BỀN CỦA CÁC CẤU KIỆN
KHI KỂ ĐẾN SỰ PHÁT TRIỂN CỦA BIẾN DẠNG DẸOBảng C1. Các hệ số: c_1 ; c_x ; c_y ; n_c

Loại tiết diện	Hình dạng tiết diện	$\frac{A_f}{A_w}$	Giá trị các hệ số		
			c_1 (c_x)	c_y	n_c khi $M_y = 0$
1		0,25	1,19	1,47	1,5
		0,5	1,12		
		1,0	1,07		
		2,0	1,04		
2		0,5	1,40	1,47	2,0
		1,0	1,28		
		2,0	1,18		
3		0,25	1,19	1,07	1,5
		0,5	1,12	1,12	
		1,0	1,07	1,19	
		2,0	1,04	1,26	
4		0,5	1,40	1,12	2,0
		1,0	1,28	1,20	
		2,0	1,18	1,31	
5	a)	-	1,47	1,47	a) 2,0
	b)				b) 3,0
6		0,25	1,47	1,04	3,0
		0,5		1,07	
		1,0		1,12	
		2,0		1,19	

Bảng C.1. (kết thúc)

Loại tiết diện	Hình dạng tiết diện	$\frac{A_f}{A_w}$	Giá trị các hệ số		
			$c_x (c_x)$	c_y	n_c khi $M_y = 0$
7		-	1,26	1,26	1,5
8	a)  b)  a)  b) 	-	1,60	1,47	a) 3,0 b) 1,0
9	a)  b) 	0,5 1,0 2,0	1,60	1,07 1,12 1,19	a) 3,0 b) 1,0
Ghi chú: - Khi $M_y \neq 0$ lấy $n_c = 1,5$ (trừ tiết diện loại 5a lấy $n_c = 2$ và loại 5b lấy $n_c = 3$). - Khi giá trị A_f/A_w trung gian thì các hệ số xác định theo nội suy tuyến tính.					

PHỤ LỤC D

CÁC HỆ SỐ ĐỂ TÍNH TOÁN ỔN ĐỊNH CỦA CẤU KIỆN
CHỊU NÉN ĐÚNG TÂM, NÉN LỆCH TÂM VÀ NÉN UỐN

D.1. Xác định hệ số chiều dài tính toán của cột

D.1.1. Cột có tiết diện không đổi

Hệ số chiều dài tính toán μ của cột có tiết diện không đổi được xác định theo bảng D.1.

Bảng D.1. Hệ số μ xác định chiều dài tính toán của cột có tiết diện không đổi

Cách liên kết và dạng tải trọng								
Hệ số μ theo lý thuyết	1,0	0,7	0,5	2,0	1,0	2,0	0,725	1,12
Hệ số μ khi các điều kiện liên kết gần sát với lý thuyết (Tham khảo)	1,0	0,8	0,65	2,1	1,2	2,0	-	-

D.1.2. Cột một bậc

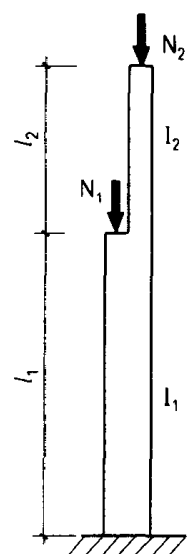
Hệ số chiều dài tính toán μ_1 đối với phần dưới của cột một bậc xác định tùy thuộc vào số chiều dài tính toán tỷ số:

$$n = \frac{I_2 l_1}{I_1 l_2} \text{ và trị số } \alpha = \frac{l_2}{l_1} \sqrt{\frac{I_1}{I_2 \beta}}$$

trong đó: I_1, I_2, l_1, l_2 - mômen quán tính của tiết diện và chiều dài tương ứng của phần cột dưới và phần cột trên (hình D.1);

$$\beta = \frac{N_1 + N_2}{N_2};$$

- Khi đầu trên cột tự do, μ_1 tra theo bảng D.2;
- Khi đầu trên cột là ngàm trượt, μ_1 tra theo bảng D.3;



Hình D.1. Sơ đồ cột một bậc

- Khi đầu trên là khớp cố định hoặc ngàm thì μ_1 đối với phần cột dưới tính theo công thức:

$$\mu_1 = \sqrt{\frac{\mu_{12}^2 + \mu_{11}^2 (\beta - 1)}{\beta}} \quad (D.1)$$

trong đó: μ_{12} - hệ số chiều dài tính toán của phần cột dưới khi $N_1 = 0$;

μ_{11} - hệ số chiều dài tính toán của phần cột dưới khi $N_2 = 0$.

Trị số của μ_{12} và μ_{11} lấy như sau:

- Khi đầu trên cột tựa khớp, theo bảng D.4;
- khi đầu trên cột là liên kết ngàm, theo bảng D.5.

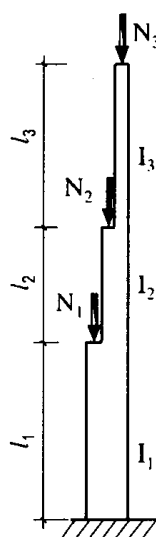
Hệ số chiều dài tính toán μ_2 của phần cột trên trong tất cả mọi trường hợp đều được tính theo công thức:

$$\mu_2 = \frac{\mu_1}{\alpha_1} \leq 3 \quad (D.2)$$

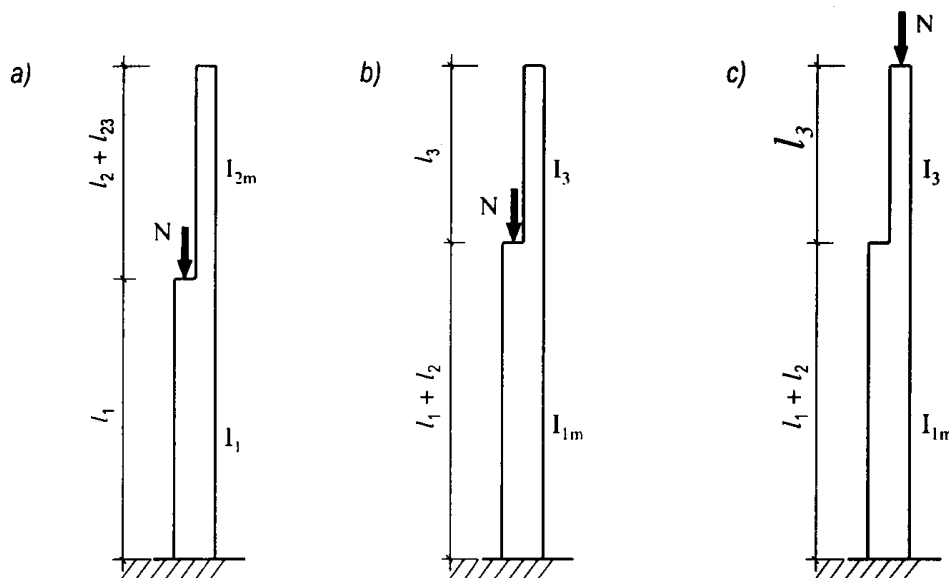
D.1.3. Cột hai bậc

Hệ số chiều dài tính toán μ_1 đối với phần dưới của cột hai bậc (hình D.2) khi đầu trên của cột được liên kết như trong Bảng D.6, tính theo công thức:

$$\mu_1 = \sqrt{\frac{\beta_1 \mu_{m1}^2 + (\beta_2 \mu_{m2}^2 + \mu_{m3}^2)(1 + \delta_2)^2 I_1 / I_{1m}}{1 + \beta_1 + \beta_2}} \quad (D.3)$$



Hình D.2. Sơ đồ cột



Hình D.3. Các sơ đồ cột một bậc (cho bảng D.5)

- a) Lực N đặt tại phần cột dưới; b) Lực N đặt tại phần cột giữa;
c) Lực N đặt tại đỉnh cột

trong đó:

μ_{m1} , μ_{m2} , μ_{m3} - các hệ số, xác định theo bảng D.6 như đối với cột một bậc ở hình D.3;

$$\beta_1 = \frac{N_1}{N_3}; \beta_2 = \frac{N_2}{N_3}; \delta_2 = \frac{l_2}{l_1};$$

N_1 ; N_2 ; N_3 - các lực dọc đặt tương ứng tại các bậc và đỉnh cột (hình D.2);

I_{1m} - mômen quán tính trung bình của các đoạn cột l_1 và l_2 , được tính theo công thức:

$$I_{1m} = \frac{I_1 l_1 + I_2 l_2}{l_1 + l_2} \quad (D.4)$$

I_{2m} - mômen quán tính trung bình của các đoạn cột l_2 và l_3 , được tính theo công thức:

$$I_{2m} = \frac{I_2 l_2 + I_3 l_3}{l_2 + l_3} \quad (D.5)$$

I_1 ; I_2 ; I_3 và l_1 ; l_2 ; l_3 - mômen quán tính của tiết diện và chiều dài tương ứng của các đoạn cột dưới, giữa và trên cùng.

Hệ số chiều dài tính toán μ_2 của phần cột giữa, ứng với l_2 được tính theo công thức:

$$\mu_2 = \frac{\mu_1}{\alpha_2} \quad (D.6)$$

và hệ số μ_3 đối với phần cột trên cùng, ứng với l_3 , theo công thức:

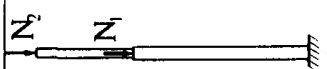

$$\mu_3 = \frac{\mu_1}{\alpha_3} \leq 3 \quad (D.7)$$

trong đó:

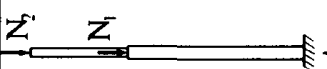
$$\alpha_2 = \frac{l_2}{l_1} \sqrt{\frac{I_1 (N_2 + N_3)}{I_2 (N_1 + N_2 + N_3)}};$$

$$\alpha_3 = \frac{l_3}{l_1} \sqrt{\frac{I_1 N_3}{I_3 (N_1 + N_2 + N_3)}}$$

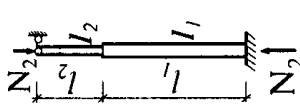
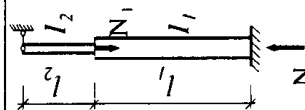
Bảng D.2. Hệ số chiều dài tính toán μ_1 đối với cột một bậc có đầu trên tự do

Sơ đồ tính	α_1	Hệ số μ_1 khi n																			
		0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,5	5,0	10,0	20,0
	0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	
	0,2	2,0	2,01	2,02	2,03	2,04	2,05	2,06	2,06	2,07	2,08	2,09	2,10	2,12	2,14	2,15	2,17	2,21	2,40	2,76	3,38
	0,4	2,0	2,04	2,08	2,11	2,13	2,18	2,21	2,25	2,28	2,32	2,35	2,42	2,48	2,54	2,60	2,66	2,80	-	-	-
	0,6	2,0	2,11	2,20	2,28	2,36	2,44	2,52	2,59	2,66	2,73	2,80	2,93	3,05	3,17	3,28	3,39	-	-	-	-
	0,8	2,0	2,25	2,42	2,56	2,70	2,83	2,96	3,07	3,17	3,27	3,36	3,55	3,74	-	-	-	-	-	-	-
	1,0	2,0	2,50	2,73	2,94	3,13	3,29	3,44	3,59	3,74	3,87	4,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	1,5	3,0	3,43	3,77	4,07	4,35	4,61	4,86	5,05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2,0	4,0	4,44	4,90	5,29	5,67	6,03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	2,5	5,0	5,55	6,08	6,56	7,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	3,0	6,0	6,65	7,25	7,82	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

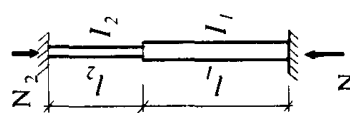
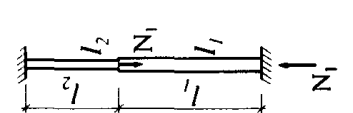
Bảng D.3. Hệ số chiều dài tính toán μ_1 đối với cột có đầu trên là ngàm trượt

Sơ đồ tính	α_1	Hệ số μ_1 khi n																			
		0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,5	5,0	10,0	20,0
																					
	0	2,0	1,92	1,86	1,80	1,76	1,70	1,67	1,64	1,60	1,57	1,55	1,50	1,46	1,43	1,40	1,37	1,32	1,18	1,10	1,05
	0,2	2,0	1,93	1,87	1,82	1,76	1,71	1,68	1,64	1,62	1,59	1,56	1,52	1,48	1,45	1,41	1,39	1,33	1,20	1,11	-
	0,4	2,0	1,94	1,88	1,83	1,77	1,75	1,72	1,69	1,66	1,62	1,61	1,57	1,53	1,50	1,48	1,45	1,40	-	-	-
	0,6	2,0	1,95	1,91	1,86	1,83	1,79	1,77	1,76	1,72	1,71	1,69	1,66	1,63	1,61	1,59	-	-	-	-	-
	0,8	2,0	1,97	1,94	1,92	1,90	1,88	1,87	1,86	1,85	1,83	1,82	1,80	1,79	-	-	-	-	-	-	-
	1,0	2,0	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	1,5	2,0	2,12	2,25	2,33	2,38	2,43	2,48	2,52	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2,0	2,0	2,45	2,66	2,81	2,91	3,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2,5	2,5	2,94	3,17	3,34	3,50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	3,0	3,0	3,43	3,70	3,93	4,12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Bảng D.4. Hệ số chiều dài tính toán μ_{12} và μ_{11} đối với cột một bậc có đầu tựa khớp cố định

Số đồ tính	$\frac{I_2}{I_1}$	Hệ số μ_{12} và μ_{11} khi I_2/I_1														
		0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0
		Hệ số μ_{12}														
	0,04	1,02	1,84	2,25	2,59	2,85	3,08	3,24	3,42	3,70	4,00	4,55	5,25	5,80	6,55	7,20
	0,06	0,91	1,47	1,93	2,26	2,57	2,74	2,90	3,05	3,24	3,45	3,88	4,43	4,90	5,43	5,94
	0,08	0,86	1,31	1,73	2,05	2,31	2,49	2,68	2,85	3,00	3,14	3,53	3,93	4,37	4,85	5,28
	0,1	0,83	1,21	1,57	1,95	2,14	2,33	2,46	2,60	2,76	2,91	3,28	3,61	4,03	4,43	4,85
	0,2	0,79	0,98	1,23	1,46	1,67	1,85	2,02	2,15	2,28	2,40	2,67	2,88	3,11	3,42	3,71
	0,3	0,78	0,90	1,09	1,27	1,44	1,60	1,74	1,86	1,98	2,11	2,35	2,51	2,76	2,99	3,25
	0,4	0,78	0,88	1,02	1,17	1,32	1,45	1,58	1,69	1,81	1,92	2,14	2,31	2,51	2,68	2,88
	0,5	0,78	0,86	0,99	1,10	1,22	1,35	1,47	1,57	1,67	1,76	1,96	2,15	2,34	2,50	2,76
1,0	0,78	0,85	0,92	0,99	1,06	1,13	1,20	1,27	1,34	1,41	1,54	1,68	1,82	1,97	2,10	
Hệ số μ_{11}																
	0,04	0,67	0,67	0,83	1,25	1,43	1,55	1,65	1,70	1,75	1,78	1,84	1,87	1,88	1,90	1,92
	0,06	0,67	0,67	0,81	1,07	1,27	1,41	1,51	1,60	1,64	1,70	1,78	1,82	1,84	1,87	1,88
	0,08	0,67	0,67	0,75	0,98	1,19	1,32	1,43	1,51	1,58	1,63	1,72	1,77	1,81	1,82	1,84
	0,1	0,67	0,67	0,73	0,93	1,11	1,25	1,36	1,45	1,52	1,57	1,66	1,72	1,77	1,80	1,82
	0,2	0,67	0,67	0,69	0,75	0,89	1,02	1,12	1,21	1,29	1,36	1,46	1,54	1,60	1,65	1,69
	0,3	0,67	0,67	0,67	0,71	0,80	0,90	0,99	1,08	1,15	1,22	1,33	1,41	1,48	1,54	1,59
	0,4	0,67	0,67	0,67	0,69	0,75	0,84	0,92	1,00	1,07	1,13	1,24	1,33	1,40	1,47	1,51
	0,5	0,67	0,67	0,67	0,69	0,73	0,81	0,87	0,94	1,01	1,07	1,17	1,26	1,33	1,39	1,44
1,0	0,67	0,67	0,67	0,68	0,71	0,74	0,78	0,82	0,87	0,91	0,99	1,07	1,13	1,19	1,24	

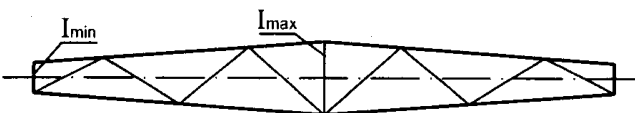
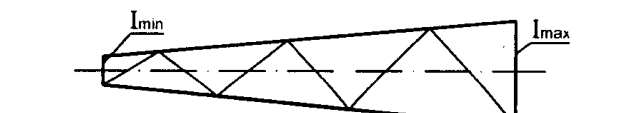
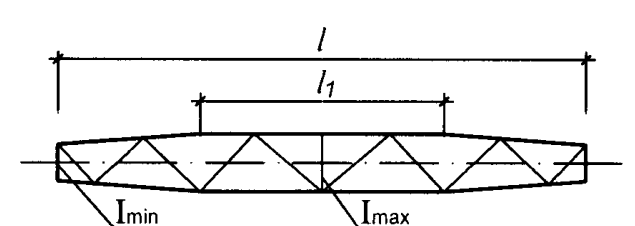
Bảng D.5. Hệ số chiều dài tính toán $\mu_{1,2}$ và $\mu_{1,1}$ đối với cột một bậc có đầu trên liên kết ngàm

Sơ đồ tính	$\frac{I_2}{I_1}$	Hệ số $\mu_{1,2}$ và $\mu_{1,1}$ khi I_2/I_1														
		0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0
	0,04	0,78	1,02	1,53	1,73	2,01	2,21	2,38	2,54	2,65	2,85	3,24	3,70	4,20	4,76	5,23
	0,06	0,70	0,86	1,23	1,47	1,73	1,93	2,08	2,23	2,38	2,49	2,81	3,17	3,50	3,92	4,30
	0,08	0,68	0,79	1,05	1,31	1,54	1,74	1,91	2,05	2,20	2,31	2,55	2,80	3,11	3,45	3,73
	0,1	0,67	0,76	1,00	1,20	1,42	1,61	1,78	1,92	2,04	2,20	2,40	2,60	2,86	3,18	3,41
	0,2	0,64	0,70	0,79	0,93	1,07	1,23	1,41	1,50	1,60	1,72	1,92	2,11	2,28	2,45	2,64
	0,3	0,62	0,68	0,74	0,85	0,95	1,06	1,18	1,28	1,39	1,48	1,67	1,82	1,96	2,12	2,20
	0,4	0,60	0,66	0,71	0,78	0,87	0,99	1,07	1,16	1,26	1,34	1,50	1,65	1,79	1,94	2,08
	0,5	0,59	0,65	0,70	0,77	0,82	0,93	0,99	1,08	1,17	1,23	1,39	1,53	1,66	1,79	1,92
1,0	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40	1,50	
	0,04	0,66	0,68	0,75	0,94	1,08	1,24	1,37	1,47	1,55	1,64	1,72	1,78	1,81	1,85	1,89
	0,06	0,65	0,67	0,68	0,76	0,94	1,10	1,25	1,35	1,44	1,50	1,61	1,69	1,74	1,79	1,82
	0,08	0,64	0,66	0,67	0,68	0,84	1,00	1,12	1,25	1,34	1,41	1,53	1,62	1,68	1,75	1,79
	0,1	0,64	0,65	0,65	0,65	0,78	0,92	1,05	1,15	1,25	1,33	1,45	1,55	1,62	1,68	1,71
	0,2	0,62	0,64	0,65	0,65	0,66	0,73	0,83	0,92	1,01	1,09	1,23	1,33	1,41	1,48	1,54
	0,3	0,60	0,63	0,64	0,65	0,66	0,67	0,73	0,81	0,89	0,94	1,09	1,20	1,28	1,35	1,41
	0,4	0,58	0,63	0,63	0,64	0,64	0,66	0,68	0,75	0,82	0,88	1,01	1,10	1,19	1,26	1,32
	0,5	0,57	0,61	0,63	0,64	0,64	0,65	0,68	0,72	0,77	0,83	0,94	1,04	1,12	1,19	1,25
	1,0	0,55	0,58	0,60	0,61	0,62	0,63	0,65	0,67	0,70	0,73	0,80	0,88	0,93	1,01	1,05

Bảng D.6. Hệ số chiều dài tính toán μ_{m1} , μ_{m2} , μ_{m3}

Liên kết đầu trên của cột	Giá trị các hệ số		
	μ_{m1}	μ_{m2}	μ_{m3}
	Với tải trọng		
	Theo hình D.3, a	Theo hình D.3, b	Theo hình D.3, c
Tự do	$\mu_{m1} = 2,0$	$\mu_{m2} = 2,0$	$\mu_{m3} = \mu_1$ $(\mu_1 \text{ theo bảng khi } \alpha_1 = \frac{l_3}{l_1 + l_2} \sqrt{\frac{I_{1m}}{I_3}})$
Chỉ liên kết không cho xoay	$\mu_{m1} = \mu_1$ $(\mu_1 \text{ theo bảng D.3 với } \alpha_1 = 0)$	$\mu_{m2} = \mu_1$ $(\mu_1 \text{ theo bảng D.3 với } \alpha_1 = 0)$	$\mu_{m3} = \mu_1$ $(\mu_1 \text{ theo bảng D.3 khi } \alpha_1 = \frac{l_3}{l_1 + l_2} \sqrt{\frac{I_{1m}}{I_3}})$
Liên kết khớp cố định	$\mu_{m1} = \mu_{11}$ $(\mu_{11} \text{ theo bảng D.4})$	$\mu_{m2} = \mu_{11}$ $(\mu_{11} \text{ theo bảng D.4})$	$\mu_{m3} = \mu_{12}$ $(\mu_{12} \text{ theo bảng D.4})$
Liên kết ngàm	$\mu_{m1} = \mu_{11}$ $(\mu_{11} \text{ theo bảng D.5})$	$\mu_{m2} = \mu_{11}$ $(\mu_{11} \text{ theo bảng D.5})$	$\mu_{m3} = \mu_{12}$ $(\mu_{12} \text{ theo bảng D.5})$

D.1.4. Cột có tiết diện thay đổi (tham khảo)**Bảng D.7. Hệ số chiều dài tính toán bổ sung μ_1 đối với thanh có tiết diện thay đổi**

Sơ đồ thanh	l_1/l	Khi tỉ số I_{min}/I_{max} bằng						
		0,01	0,1	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
	-	-	1,35	1,24	1,14	1,08	1,02	1,00
	-	-	1,66	1,45	1,24	1,14	1,06	1,00
	0	1,69	1,35	1,25	1,14	1,08	1,03	1,00
	0,2	1,45	1,22	1,15	1,08	1,05	1,02	-
	0,4	1,23	1,11	1,07	1,04	1,02	1,01	-
	0,6	1,07	1,03	1,02	1,01	1,01	1,00	-
	0,8	1,01	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	-

D.2. CÁC HỆ SỐ KHÁC

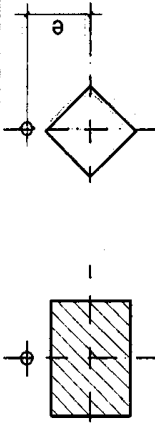
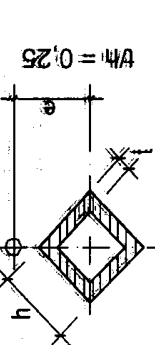
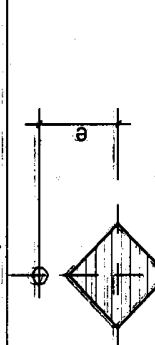
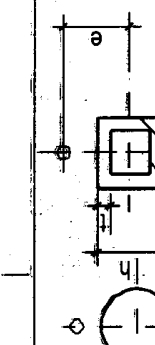
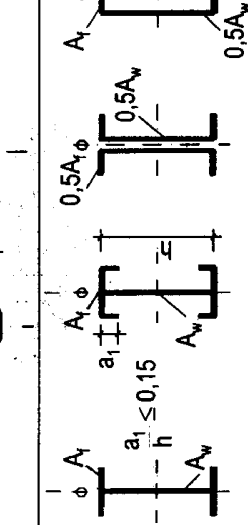
D.2.1. Hệ số uốn dọc φ lấy theo bảng D.8; hệ số ảnh hưởng của hình dạng tiết diện η lấy theo bảng D.9; hệ số φ_e lấy theo bảng D.1 và D.11; độ lệch tâm tính đối m_e lấy theo bảng D.12; giá trị hệ số điều kiện làm việc γ_c lấy theo bảng D.13; tỉ số độ võng trên nhịp giới hạn $[\Delta/L]$ của cầu kiện chịu uốn lấy theo bảng D.14; độ mảnh giới hạn $[\lambda]$ lấy theo bảng D.15.

Bảng D.8. Hệ số uốn dọc φ của cầu kiện chịu nén đúng tâm

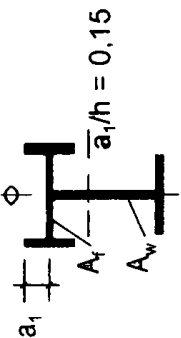
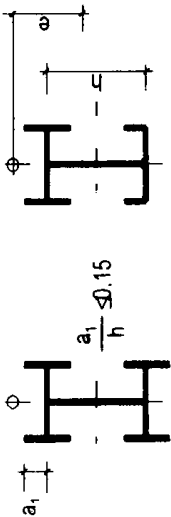
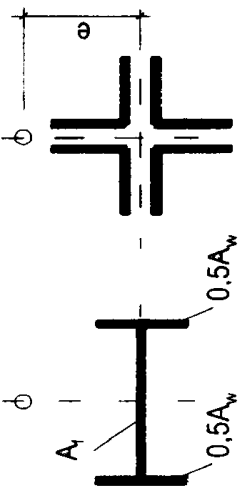
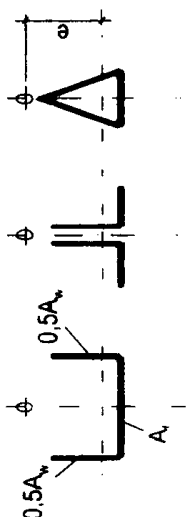
Độ mảnh λ	Hệ số φ đối với các cầu kiện bằng thép có cường độ tính toán f , N/mm ²											
	200	240	280	320	360	400	440	480	520	560	600	640
10	988	987	985	984	983	982	981	980	979	978	977	977
20	967	962	959	955	952	949	946	943	941	938	936	934
30	939	931	924	917	911	905	900	895	891	887	883	879
40	906	894	883	873	863	854	846	849	832	825	820	814
50	869	852	836	822	809	796	785	775	764	746	729	712
60	827	805	785	766	749	721	696	672	650	628	608	588
70	782	754	724	687	654	623	595	568	542	518	494	470
80	734	686	641	602	566	532	501	471	442	414	386	359
90	665	612	565	522	483	447	413	380	349	326	305	287
100	599	542	493	448	408	369	335	309	286	267	250	235
110	537	478	427	381	338	306	280	258	239	223	209	197
120	479	419	366	321	287	260	237	219	203	190	178	167
130	425	364	313	276	247	223	204	189	175	163	153	145
140	376	315	272	240	215	195	178	164	153	143	134	126
150	328	276	239	211	189	171	157	145	134	126	118	111
160	290	244	212	187	167	152	139	129	120	112	105	099
170	259	218	189	167	150	136	125	115	107	100	094	089
180	233	196	170	150	135	123	112	104	097	091	085	081
190	210	177	154	136	122	111	102	094	088	082	077	073
200	191	161	140	124	111	101	093	086	080	075	071	067
210	174	147	128	113	102	093	085	079	074	069	065	062
220	160	135	118	104	094	086	077	073	068	064	060	057

Ghi chú: Giá trị của hệ số φ trong bảng đã được tăng lên 1000 lần.

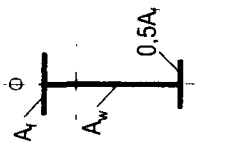
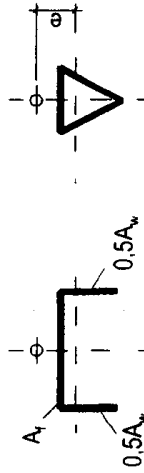
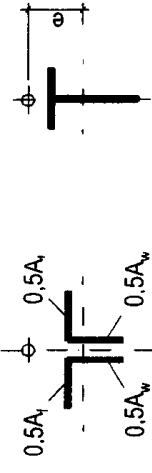
Bảng D.9. Hệ số ảnh hưởng của hình dạng tiết diện η

Loại tiết diện	Sơ đồ tiết diện	$\frac{A_r}{A_w}$	Trị số của η khi		
			$0 \leq \bar{\lambda} \leq 5$		$\bar{\lambda} > 5$
			$0,1 \leq m \leq 5$	$5 < m \leq 20$	$0,1 \leq m \leq 5$
					$\bar{\lambda} < m \leq 20$
1		-	1,0	1,0	1,0
2		-	0,85	0,85	0,85
3		-	$0,75 + 0,02 \bar{\lambda}$	$0,75 + 0,02 \bar{\lambda}$	0,85
4		-	$(1,35 - 0,05m) - 0,01(5 - m) \bar{\lambda}$	1,1	1,1
5		0,25	$(1,45 - 0,05m) - 0,01(5 - m) \bar{\lambda}$	1,2	1,2
		0,5	$(1,75 - 0,1m) - 0,02(5 - m) \bar{\lambda}$	1,25	1,25
		≥ 1	$(1,90 - 0,1m) - 0,02(6 - m) \bar{\lambda}$	$1,4 - 0,2 \bar{\lambda}$	1,3

Bảng D.9. (tiếp theo)

Loại tiết diện	Sơ đồ tiết diện	$\frac{A_1}{A_w}$	Trị số của η khi		
			$0 \leq \bar{\lambda} \leq 5$		$\bar{\lambda} > 5$
			$0,1 \leq m \leq 5$	$5 < m \leq 20$	$0,1 \leq m \leq 5$ $5 < m \leq 20$
6		.	$\eta_s \left[1 - 0,3(5 - m) \right] \times \frac{a_1}{h}$	η_s	η_s
7		.	$\eta_s \left(1 - 0,8 \frac{a_1}{h} \right)$	$\eta_s \left(1 - 0,8 \frac{a_1}{h} \right)$	$\eta_s \left(1 - 0,8 \frac{a_1}{h} \right)$
8		0,25	$(0,75 + 0,05 m) + 0,01(5 - m) \bar{\lambda}$	1,0	1,0
		0,5	$(0,5 + 0,1 m) + 0,02(5 - m) \bar{\lambda}$	1,0	1,0
		≥ 1	$(0,25 + 0,15 m) + 0,03(5 - m) \bar{\lambda}$	1,0	1,0
9		0,5	$(1,25 - 0,05 m) - 0,01(5 - m) \bar{\lambda}$	1,0	1,0
		≥ 1	$(1,5 - 0,1 m) - 0,02(5 - m) \bar{\lambda}$	1,0	1,0

Bảng D.9. (kết thúc)

		0,5	1,4	1,4	1,4	1,4
10		1,0	1,6 - 0,01 (5 - m) λ	1,6	1,35 + 0,05m	1,6
		2,0	1,8 - 0,02 (5 - m) λ	1,8	1,3 + 0,1m	1,8
11		0,5	1,45 + 0,04m	1,65	1,45 + 0,04m	1,65
		1,0	1,8 + 0,12m	2,4	1,8 + 0,12m	2,4
		1,5	2,0 + 0,25m + 0,1 λ	-	-	-
		2,0	3,0 + 0,25m + 0,1 λ	-	-	-
Ghi chú: Đối với các loại tiết diện từ 5 ÷ 7 khi tính tỉ số A_t/A_w không kể đến phần cánh dẹt thẳng đứng: Đối với các loại tiết diện từ 6 ÷ 7 giá trị của η , lấy bằng giá trị của η của loại tiết diện 5, tương ứng với các trị số của A_t/A_w .						

Bảng D.10. Hệ số φ_e để kiểm tra ổn định của cấu kiện tiết diện đặc, chịu nén lệch tâm (nén uốn), mặt phẳng tác dụng của mômen trùng với mặt phẳng đối xứng

Độ mảnh quy ước $\bar{\lambda} = \lambda \sqrt{f/E}$	Hệ số φ_e khi độ lệch tâm tương đối tính đối m ₀ bằng												
	0,1	0,25	0,5	0,75	1,0	1,25	1,5	1,75	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0
0,5	967	922	850	782	722	669	620	577	538	469	417	370	337
1,0	925	854	778	711	653	600	563	520	484	427	382	341	307
1,5	875	804	716	647	593	548	507	470	439	388	347	312	283
2,0	813	742	653	587	536	496	457	425	397	352	315	286	260
2,5	742	672	587	526	480	442	410	383	357	317	287	262	238
3,0	667	597	520	465	425	395	365	342	320	287	260	238	217
3,5	587	522	455	408	375	350	325	303	287	258	233	216	198
4,0	505	447	394	356	330	309	289	270	256	232	212	197	181
4,5	418	382	342	310	288	272	257	242	229	208	192	178	165
5,0	354	326	295	273	253	239	225	215	205	188	175	162	150
5,5	302	280	256	240	224	212	200	192	184	170	158	148	138
6,0	258	244	223	210	198	190	178	172	166	153	145	137	128
6,5	223	213	196	185	176	170	160	155	149	140	132	125	117
7,0	194	186	173	163	157	152	145	141	136	127	121	115	108
8,0	152	146	138	133	128	121	117	115	113	106	100	095	091
9,0	122	117	112	107	103	100	098	096	093	088	085	082	079
10,0	100	097	093	091	090	085	081	080	079	075	072	070	069
11,0	083	079	077	076	075	073	071	069	068	063	062	061	060
12,0	069	067	064	063	062	060	059	059	058	055	054	053	052
13,0	062	061	054	053	052	051	051	050	049	049	048	048	047
14,0	052	049	049	048	048	047	047	046	045	044	043	043	042

Bảng D.10. (kết thúc)

Độ mảnh quy ước $\bar{\lambda} = \lambda \sqrt{f/E}$	Hệ số φ_e khi độ lệch tâm tính đối khi m_e													
	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	8,0	9,0	10	12	14	17	20	
0,5	307	280	260	237	222	210	183	164	150	125	106	090	077	
1,0	283	259	240	225	209	196	175	157	142	121	103	086	074	
1,5	262	240	223	207	195	182	163	148	134	114	099	082	070	
2,0	240	222	206	193	182	170	153	138	125	107	094	079	067	
2,5	220	204	190	178	168	158	144	130	118	101	090	076	065	
3,0	202	187	175	166	156	147	135	123	112	097	086	073	063	
3,5	183	172	162	153	145	137	125	115	106	092	082	069	060	
4,0	168	158	149	140	135	127	118	108	098	088	078	066	057	
4,5	155	146	137	130	125	118	110	101	093	083	075	064	055	
5,0	143	135	126	120	117	111	103	095	088	079	072	062	053	
5,5	132	124	117	112	108	104	095	089	084	075	069	060	051	
6,0	120	115	109	104	100	096	089	084	079	072	066	057	049	
6,5	112	106	101	097	094	089	083	080	074	068	062	054	047	
7,0	102	098	094	091	087	083	078	074	070	064	059	052	045	
8,0	087	083	081	078	076	074	068	065	062	057	053	047	041	
9,0	075	072	069	066	065	064	061	058	055	051	048	043	038	
10,0	065	062	060	059	058	057	055	052	049	046	043	039	035	
11,0	057	055	053	052	051	050	048	046	044	040	038	035	032	
12,0	051	050	049	048	047	046	044	042	040	037	035	032	029	
13,0	045	044	043	042	041	041	039	038	037	035	033	030	027	
14,0	041	040	040	039	039	038	037	036	036	034	032	029	026	
Ghi chú: Giá trị của hệ số φ_e trong bảng đã được tăng lên 1000 lần; Giá trị của hệ số φ_e không lấy lớn hơn giá trị của φ .														



Bảng D.11. Hệ số φ_e để kiểm tra ổn định của cấu kiện tiết diện rỗng, chịu nén lệch tâm (nén uốn), mặt phẳng tác dụng của mômen trùng với mặt phẳng đối xứng

Độ mảnh quy ước $\bar{\lambda} = \lambda \sqrt{f / E}$	Hệ số φ_e khi độ lệch tâm tương đối khi m												
	0,1	0,25	0,5	0,75	1,0	1,25	1,5	1,75	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0
0,5	908	800	666	571	500	444	400	364	333	286	250	222	200
1,0	872	762	640	553	483	431	387	351	328	280	243	218	197
1,5	830	727	600	517	454	407	367	336	311	271	240	211	190
2,0	774	673	556	479	423	381	346	318	293	255	228	202	183
2,5	708	608	507	439	391	354	322	297	274	238	215	192	175
3,0	637	545	455	399	356	324	296	275	255	222	201	182	165
3,5	562	480	402	355	320	294	270	251	235	206	187	170	155
4,0	484	422	357	317	288	264	246	228	215	191	173	160	145
4,5	415	365	315	281	258	237	223	207	196	176	160	149	136
5,0	350	315	277	250	230	212	201	186	178	161	149	138	127
5,5	300	273	245	223	203	192	182	172	163	147	137	128	118
6,0	255	237	216	198	183	174	165	156	149	135	126	119	109
6,5	211	208	190	178	165	157	149	142	137	124	117	109	102
7,0	192	184	168	160	150	141	135	130	125	114	108	101	095
8,0	148	142	136	130	123	118	113	108	105	097	091	085	082
9,0	117	114	110	107	102	098	094	090	087	082	079	075	072
10,0	097	094	091	090	087	084	080	076	073	070	067	064	062
11,0	082	078	077	076	073	071	068	066	064	060	058	056	054
12,0	068	066	064	063	061	060	058	057	056	054	053	050	049
13,0	060	059	054	053	052	051	050	049	049	048	047	046	045
14,0	050	049	048	047	046	046	045	044	043	043	042	042	041



Bảng D.11. (kết thúc)

Độ mảnh quy ước $\bar{\lambda}_0 = \lambda \sqrt{f/E}$	Hệ số φ_e khi độ lệch tâm tương đối khi m												
	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	8,0	9,0	10	12	14	17	20
0,5	182	167	154	143	133	125	111	100	091	077	067	056	048
1,0	180	165	151	142	131	121	109	098	090	077	066	055	046
1,5	178	163	149	137	128	119	108	096	088	077	065	053	045
2,0	170	156	143	132	125	117	106	095	086	076	064	052	045
2,5	162	148	136	127	120	113	103	093	083	074	062	051	044
3,0	153	138	130	121	116	110	100	091	081	071	061	051	043
3,5	143	130	123	115	110	106	096	088	078	069	059	050	042
4,0	133	124	118	110	105	100	093	084	076	067	057	049	041
4,5	124	116	110	105	100	096	089	079	073	065	055	048	040
5,0	117	108	104	100	095	092	086	076	071	062	054	047	039
5,5	110	102	098	095	091	087	081	074	068	059	052	046	039
6,0	103	097	093	090	085	083	077	070	065	056	051	045	038
6,5	097	092	088	085	080	077	072	066	061	054	050	044	037
7,0	091	087	083	079	076	074	068	063	058	051	047	043	036
8,0	079	077	073	070	067	065	060	055	052	048	044	041	035
9,0	069	067	064	062	059	056	053	050	048	045	042	039	035
10,0	060	058	056	054	052	050	047	045	043	041	038	036	033
11,0	053	052	050	048	046	044	043	042	041	038	035	032	030
12,0	048	047	045	043	042	040	039	038	037	034	032	030	028
13,0	044	044	042	041	040	038	037	036	035	032	030	028	026
14,0	041	040	039	039	038	037	036	035	034	031	029	027	025
Ghi chú: Giá trị của hệ số φ_e trong bảng đã được tăng lên 1000 lần; Giá trị của hệ số φ_e không lấy lớn hơn giá trị của φ .													

Bảng D.12. Độ lệch tâm tính đối m_e đối với thanh có đầu tựa khớp

$\delta = \frac{M_2}{M_1}$	$\bar{\lambda}$	Độ lệch tâm tính đối m_e khi m_{e1}										
		0,1	0,5	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0	5,0	7,0	10,0	20,0
<div>$\delta = -1,0$</div> <div></div>	1	0,10	0,30	0,68	1,12	1,60	2,62	3,55	4,55	6,50	9,40	19,40
	2	0,10	0,17	0,39	0,68	1,03	1,80	2,75	3,72	5,65	8,60	18,50
	3	0,10	0,10	0,22	0,36	0,55	1,17	1,95	2,77	4,60	7,40	17,20
	4	0,10	0,10	0,10	0,18	0,30	0,57	1,03	1,78	3,35	5,90	15,40
	5	0,10	0,10	0,10	0,10	0,15	0,23	0,48	0,95	2,18	4,40	13,40
	6	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,15	0,18	0,40	1,25	3,00	11,40
	7	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,50	1,70	9,50
<div>$\delta = -0,5$</div> <div></div>	1	0,10	0,31	0,68	1,12	1,60	2,62	3,55	4,55	6,50	9,40	19,40
	2	0,10	0,22	0,46	0,73	1,05	1,88	2,75	3,72	5,65	8,60	18,50
	3	0,10	0,17	0,38	0,58	0,80	1,33	2,00	2,77	4,60	7,40	17,20
	4	0,10	0,14	0,32	0,49	0,66	1,05	1,52	2,22	3,50	5,90	15,40
	5	0,10	0,10	0,26	0,41	0,57	0,95	1,38	1,80	2,95	4,70	13,40
	6	0,10	0,16	0,28	0,40	0,52	0,95	1,25	1,60	2,50	4,00	11,50
	7	0,10	0,22	0,32	0,42	0,55	0,95	1,10	1,35	2,20	3,50	10,80

Bảng D.12. (kết thúc)

$\delta = \frac{M_2}{M_1}$	$\bar{\lambda}$	Độ lệch tâm tính đối m_e khi m_e bằng										
		0,1	0,5	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0	5,0	7,0	10,0	20,0
<div>$\delta = 0,5$ </div>	1	0,10	0,32	0,70	1,12	1,60	2,62	3,55	4,55	6,50	9,40	19,40
	2	0,10	0,28	0,60	0,90	1,28	1,96	2,75	3,72	5,65	8,40	18,50
	3	0,10	0,27	0,55	0,84	1,15	1,75	2,43	3,17	4,80	7,40	17,20
	4	0,10	0,26	0,52	0,78	1,10	1,60	2,20	2,83	4,00	6,30	15,40
	5	0,10	0,25	0,52	0,78	1,10	1,55	2,10	2,78	3,85	5,90	14,50
	6	0,10	0,28	0,52	0,78	1,10	1,55	2,00	2,70	3,80	5,60	13,80
	7	0,10	0,32	0,52	0,78	1,10	1,55	1,90	2,60	3,75	5,50	13,00
<div>$\delta = 0,5$ </div>	1	0,10	0,40	0,80	1,23	1,68	2,62	3,55	4,55	6,50	9,40	19,40
	2	0,10	0,40	0,78	1,20	1,60	2,30	3,15	4,10	5,85	8,60	18,50
	3	0,10	0,40	0,77	1,17	1,55	2,30	3,10	3,90	5,55	8,13	18,00
	4	0,10	0,40	0,75	1,13	1,55	2,30	3,05	3,80	5,30	7,60	17,50
	5	0,10	0,40	0,75	1,10	1,55	2,30	3,00	3,80	5,30	7,60	17,00
	6	0,10	0,40	0,75	1,10	1,50	2,30	3,00	3,80	5,30	7,60	16,50
	7	0,10	0,40	0,75	1,10	1,40	2,30	3,00	3,80	5,30	7,60	16,00
Ghi chú: $m_{e1} = \eta \frac{M_1}{N} \frac{A}{W_c}$												

Bảng D.13. Giá trị hệ số điều kiện làm việc γ_c

Loại cấu kiện	γ_c
1. Dầm đặc và thanh chịu nén trong dàn của các sàn những phòng lớn ở các công trình như nhà hát, rạp chiếu bóng, cầu lạc bộ, khán đài, các gian nhà hàng, kho sách, kho lưu trữ, v.v... khi trọng lượng sàn lớn hơn hoặc bằng tải trọng tạm thời	0,9
2. Cột của các công trình công cộng, cột đỡ tháp nước	0,95
3. Các thanh chịu nén chính của hệ thanh bụng dàn liên kết hàn ở mái và sàn nhà (trừ thanh tại gối tựa) có tiết diện chữ T tổ hợp từ thép góc (ví dụ: vì kèo và các dàn, v.v...), khi độ mảnh λ lớn hơn hoặc bằng 60	0,8
4. Dầm đặc khi tính toán về ổn định tổng thể khi $\varphi_b < 1,0$	0,95
5. Thanh căng, thanh kéo, thanh néo, thanh treo được làm từ thép cán	0,9
6. Các thanh của kết cấu hệ thanh ở mái và sàn:	
a. Thanh chịu nén (trừ loại tiết diện ống kín) khi tính về ổn định	0,95
b. Thanh chịu kéo trong kết cấu hàn	0,95
7. Các thanh bụng chịu nén của kết cấu không gian rỗng gồm các thép góc đơn đều cạnh hoặc không đều cạnh (được liên kết theo cánh lớn):	
a) Khi liên kết trực tiếp với thanh cánh trên theo một cạnh bằng đường hàn hoặc bằng hai bulông trở lên, dọc theo thanh thép góc:	
- Thanh xiên của hệ chữ thập có nút thuộc về thanh cánh ở 2 mặt liên tiếp trùng nhau	0,9
- Thanh ngang của hệ tam giác có thanh đứng và hệ chữ K có nút thuộc về thanh cánh ở 2 mặt liên tiếp trùng nhau	0,9
- Thanh xiên của hệ chữ thập hoặc tam giác có nút thuộc về thanh cánh ở 2 mặt liên tiếp không trùng nhau và hệ chữ K có nút thuộc về thanh cánh ở 2 mặt liên tiếp trùng nhau	0,8
b) Khi liên kết trực tiếp với thanh cánh trên theo một cạnh bằng một bulông (ngoài mục 7 của bảng này) hoặc khi liên kết qua bản mã bằng liên kết bất kỳ	0,75
8. Các thanh chịu nén là thép góc đơn được liên kết theo một cạnh (đối với thép góc không đều cạnh chỉ liên kết cạnh ngắn), trừ các trường hợp đã nêu ở mục 7 của bảng này, và các dàn phẳng chỉ gồm thép góc đơn	0,75
9. Các loại bể chứa chất lỏng	0,8
Ghi chú: 1. Các hệ số điều kiện làm việc $\gamma_c < 1$ không được lấy đồng thời. 2. Các hệ số điều kiện làm việc γ_c trong các mục 3, 4, 6a, 7 và 8 cũng như các mục 5 và 6b (trừ liên kết hàn đối đầu) sẽ không được xét đến khi tính toán liên kết của các cấu kiện đó.	

Bảng D.14a. Tỷ số giới hạn $[\Delta/L]$ của độ võng trên nhịp của cấu kiện chịu uốn

Loại cấu kiện	$[\Delta/L]$
<i>Dầm của sàn nhà và mái:</i>	
1. Dầm chính	1/400
2. Dầm của trần có trát vữa, chỉ tính võng cho tải trọng tạm thời	1/350
3. Các dầm khác, ngoài trường hợp 1 và 2	1/250
4. Tấm bản sàn	1/150
<i>Dầm có đường ray:</i>	
1. Dầm đỡ sàn công tác có đường ray nặng 35 kg/m và lớn hơn	1/600
2. Như trên, khi đường ray nặng 25 kg/m và nhỏ hơn	1/400
<i>Xà gỗ:</i>	
1. Mái lợp ngói không đắp vữa, mái tấm tôn nhỏ	1/100
2. Mái lợp ngói có đắp vữa, mái tôn mũi và các mái khác	1/200
<i>Dầm hoặc dàn đỡ cấu trúc:</i>	
1. Cầu trục chế độ làm việc nhẹ, cầu trục tay, palăng	1/400
2. Cầu trục chế độ làm việc vừa	1/500
3. Cầu trục chế độ làm việc nặng và rất nặng	1/600
<i>Sườn tường:</i>	
1. Dầm đỡ tường xây	1/300
2. Dầm đỡ tường nhẹ (tôn, fibrô xi măng), dầm đỡ cửa kính	1/200
3. Cột tường	1/400
Ghi chú: L là nhịp của cấu kiện chịu uốn. Đối với dầm công xôn thì L lấy bằng 2 lần độ vươn của dầm.	

Bảng D.14b. Chuyển vị cho phép của cột đỡ cầu trục

Chuyển vị	Tính theo kết cấu phẳng	Tính theo kết cấu không gian
1. Chuyển vị theo phương ngang nhà của cột nhà xưởng	$H_T / 1250$	$H_T / 2000$
2. Chuyển vị theo phương ngang nhà của cột cầu tải ngoài trời	$H_T / 2500$	—
3. Chuyển vị theo phương dọc nhà của cột trong và ngoài nhà	$H_T / 4000$	—
Ghi chú: 1. H_T là độ cao từ mặt đáy chân cột đến mặt đỉnh dầm cầu trục hay dàn cầu trục. 2. Khi tính chuyển vị theo phương dọc nhà của cột trong nhà hay ngoài trời, có thể giả định là tải trọng theo phương dọc nhà của cầu trục sẽ phân phối cho tất cả các hệ giằng và hệ khung dọc giữa các cột trong phạm vi khối nhiệt độ. 3. Trong các nhà xưởng có cầu trục ngoạm và cầu trục cào san vật liệu, trị số chuyển vị cho phép của cột nhà tương ứng phải giảm đi 10%.		

Bảng D.15a. Độ mảnh giới hạn $[\lambda]$ của các thanh chịu nén

Các thanh	$[\lambda]$
1. Thanh cánh, thanh xiên và thanh đứng nhận phản lực gối: a) Cửa dàn phẳng, hệ mái lưới thanh không gian, hệ thanh không gian rỗng (có chiều cao $H \leq 50$ m) bằng thép ống hoặc tổ hợp từ hai thép góc; b) Cửa hệ thanh không gian rỗng bằng thép góc đơn, hệ thanh không gian rỗng (chiều cao $H > 50$ m) nhưng bằng thép ống hay tổ hợp từ hai thép góc.	180 - 60α 120 210 - 60α
2. Các thanh (trừ những thanh đã nêu ở mục 1 và 7): a) Cửa dàn phẳng bằng thép góc đơn; hệ mái lưới thanh không gian và hệ thanh không gian rỗng bằng thép góc đơn, tổ hợp từ hai thép góc hoặc thép ống; b) Cửa hệ mái lưới thanh không gian, hệ thanh không gian rỗng bằng thép góc đơn, dùng liên kết bulông.	220 - 40α 220
3. Cánh trên của dàn không được tăng cường khi lắp ráp (khi đã lắp ráp lấy theo mục 1)	180 - 60α
4. Cột chính	
5. Cột phụ (cột sườn tường, thanh đứng của cửa mái, v.v...), thanh giằng của cột rỗng, thanh của hệ giằng cột (ở dưới dầm cầu trục)	210 - 60α
6. Các thanh giằng (trừ các thanh đã nêu ở mục 5), các thanh dùng để giảm chiều dài tính toán của thanh nén và những thanh không chịu lực mà không nêu ở mục 7 dưới đây	200
7. Các thanh chịu nén hoặc không chịu lực của hệ thanh không gian rỗng, tiết diện chữ T, chữ thập, chịu tải trọng gió khi kiểm tra độ mảnh trong mặt phẳng thẳng đứng	150
Ghi chú: $\alpha = N / (\varphi A f_y)$ - Hệ số φ lấy không nhỏ hơn 0,5 (khi nén lệch tâm, nén uốn thay φ bằng φ_e).	

Bảng D.15b. Độ mảnh giới hạn $[\lambda]$ của các thanh chịu kéo

Các thanh	$[\lambda]$ Khi kết cấu chịu tải trọng		
	Động trực tiếp	Tĩnh	Cầu trục
1. Thanh cánh, thanh xiên ở gối của dàn phẳng (kể cả dàn hãm) và của hệ mái lưới thanh không gian	250	400	250
2. Các thanh dàn và của hệ mái lưới thanh không gian (trừ các thanh nêu ở mục 1)	350	400	300
3. Thanh cánh dưới của dầm cầu trục, dàn	-	-	150
4. Các thanh của hệ giằng cột (ở dưới dầm cầu trục)	300	300	200
5. Các thanh giằng khác	400	400	300
6. Thanh cánh và thanh xiên ở gối của cột đường dây tải điện	250	-	-
7. Các thanh của cột đường dây tải điện (trừ các thanh nêu ở mục 6 và 8)	350	-	-
8. Các thanh của hệ thanh không gian rỗng có tiết diện chữ T hoặc chữ thập chịu tác dụng của tải trọng gió khi kiểm tra độ mảnh trong mặt phẳng thẳng đứng.	150	-	-
Ghi chú: 1. Trong các kết cấu không chịu tải trọng động chỉ cần kiểm tra độ mảnh của thanh trong mặt phẳng thẳng đứng. 2. Không hạn chế độ mảnh của thanh chịu kéo ứng lực trước. 3. Tải trọng động đặt trực tiếp lên kết cấu là tải trọng dùng trong tính toán về bền mỏi hoặc trong tính toán có kể đến hệ số động.			

D.2.2. Hệ số c_{\max} đối với tiết diện chữ I và chữ T

D.2.2.1. Đối với tiết diện chữ I

Đối với tiết diện chữ I có 1 trục đối xứng (hình D.4), hệ số c_{\max} được tính theo công thức:

$$c_{\max} = \frac{2}{1 + \delta B + \sqrt{(1 - \delta B)^2 + \frac{16}{\mu} \left(\alpha_x - \frac{e_x}{h} \right)^2}} \quad (D.8)$$

trong đó: $\alpha_x = (h_1 I_1 - h_2 I_2) / (I_y h)$;

$e_x = M_x / N$ - độ lệch tâm của lực nén so với trục x-x, lấy theo dấu tương ứng (như trên hình D.4 là dấu dương);

h - khoảng cách giữa các trục của cánh;

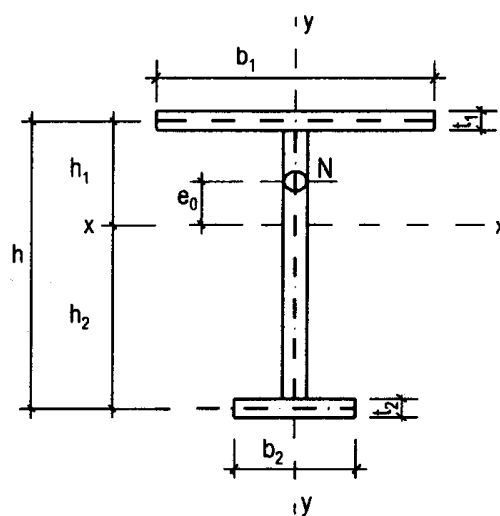
$$\mu = \frac{8I_1 I_2}{I_y^2} + 0,156 \frac{I_t}{A h^2} \lambda_y^2;$$

$$B = 1 + \frac{2\beta e_x}{\rho h}$$

$$\delta = \frac{4\rho}{\mu}$$

Ở đây: I_1, I_2 - lần lượt là mômen quán tính của cánh lớn và cánh nhỏ lấy với trục y - y;

$$\rho = \frac{I_x + I_y}{A h^2} + \alpha_x^2;$$



Hình D.4. Sơ đồ tiết diện chữ I một trục đối xứng chịu nén lệch tâm

I_1 và β - các giá trị tính theo các công thức ở bảng E.3 và bảng E.4.

D.2.2.2. Đối với tiết diện chữ T

Đối với tiết diện chữ T, giá trị của hệ số c_{\max} được xác định như đối với tiết diện chữ I nhưng khi tính I_1 lấy $I_2 = 0$; $b_2 = 0$; $t_2 = 0$ (hình D.4).

PHỤ LỤC E

HỆ SỐ φ_B ĐỂ TÍNH ỔN ĐỊNH CỦA DẦM

E.1. Đối với dầm tiết diện chữ I có hai trục đối xứng

Để xác định φ_b cần tính giá trị của hệ số φ_1 :

$$\varphi_1 = \psi \frac{I_y}{I_x} \left(\frac{h}{l_o} \right)^2 \frac{E}{f} \quad (E.1)$$

trong đó giá trị của ψ lấy theo bảng E.1 và E.2 phụ thuộc vào đặc điểm tải trọng và thông số α . Trị số của α tính như sau:

a) Đối với thép I cán:

$$\alpha = 1,54 \frac{I_t}{I_y} \left(\frac{l_o}{h} \right)^2 \quad (E.2)$$

trong đó: l_o - chiều dài tính toán của dầm hoặc công xôn, lấy theo điều mục 4.5;

h - chiều cao của tiết diện dầm;

I_t - mômen quán tính của tiết diện dầm khi xoắn.

b) Đối với dầm tổ hợp hàn từ 3 tấm thép hoặc dầm bulông cường độ cao:

$$\alpha = 8 \left(\frac{l_o t_1}{h b_f} \right)^2 \left(1 + \frac{a t^3}{b_f t_1^3} \right) \quad (E.3)$$

trong đó:

- Đối với dầm hàn tiết diện chữ I:

t - chiều dày bản bụng;

b_f, t_1 - chiều rộng và chiều dày bản cánh;

h - khoảng cách giữa trọng tâm hai cánh;

$a = 0,5h$.

- Đối với dầm chữ I, liên kết cánh và bụng bằng bulông cường độ cao:

t - tổng chiều dày bản bụng và các cánh thép góc thẳng đứng đặt sát bản bụng;

b_f - chiều rộng tấm cánh (bản phủ);

t_1 - tổng chiều dày các tấm cánh và của cánh nằm ngang của thép góc cánh;

h - khoảng cách giữa các trục của hai tập bản phủ ở hai cánh;

a - chiều rộng của cánh thép góc thẳng đứng, không kể đến chiều dày của các tấm cánh.

Giá trị của hệ số φ_b trong công thức (4.26) lấy như sau:

- Nếu $\varphi_1 \leq 0,85$ thì $\varphi_b = \varphi_1$;
- Nếu $\varphi_1 > 0,85$ thì $\varphi_b = 0,68 + 0,21\varphi_b$, nhưng không lớn hơn 1,0.

E.2. Đối với dầm tiết diện chữ I có một trục đối xứng (hình E.1)

Để xác định φ_b cần tính các hệ số φ_1 và φ_2 :

$$\varphi_1 = \psi \frac{I_y}{I_x} \frac{2hh_1}{l_o^2} \frac{E}{f} \quad (E.4)$$

$$\varphi_2 = \psi \frac{I_y}{I_x} \frac{2hh_2}{l_o^2} \frac{E}{f} \quad (E.5)$$

trong đó:

- h_1 - khoảng cách từ trọng tâm của tiết diện đến trục của cánh lớn;
- h_2 - như trên nhưng đến trục của cánh nhỏ;
- l_o - xác định như ở công thức (E.2);
- ψ - hệ số, tính theo công thức:

$$\psi = D \left(B + \sqrt{B^2 + C} \right) \quad (E.6)$$

Các hệ số D, C, B trong công thức (E.6) lấy theo bảng E.3 và E.4 với tiết diện chữ I khi $0,9 < n < 1,0$ hệ số ψ được xác định bằng nội suy tuyến tính theo công thức (E.5), khi đó với tiết diện chữ I lấy $n = 0,9$ và chữ T lấy $n = 1$.

Đối với tiết diện chữ T, chịu lực tập trung hoặc phân bố đều và khi $\alpha < 40$, hệ số ψ sẽ được nhân với giá trị $(0,8 + 0,004\alpha)$.

Khi $n > 0,7$ và $5 \leq l_o/b_2 \leq 25$ thì hệ số φ_2 sẽ lấy giảm đi bằng cách nhân với giá trị $(1,025 - 0,015l_o/b_2)$ nhưng không lớn hơn 0,95.

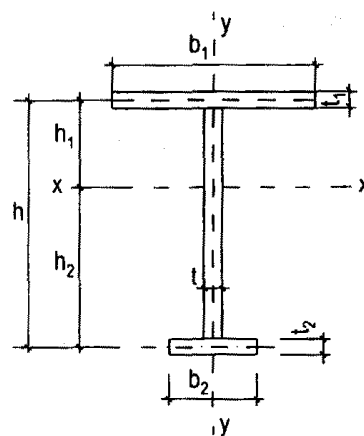
Không cho phép dùng dầm tiết diện không đối xứng có $l_o/b_2 > 25$.

Hệ số φ_b trong công thức 5.16 tính theo các công thức ở bảng E.5 nhưng không được lớn hơn 1,0.

E.3. Đối với dầm tiết diện chữ I

Hệ số φ_b được xác định như đối với dầm có tiết diện chữ I đối xứng, giá trị của α được tính theo công thức (E.2), nhưng giá trị của φ_1 được nhân với 0,7.

Các giá trị của I_x , I_y và I_t trong các công thức (E.1), (E.2) lấy theo tiết diện chữ I.



Hình E.1. Sơ đồ dầm tiết diện chữ I có một trục đối xứng

Bảng E.1. Hệ số ψ đối với dầm tiết diện chữ I có hai trục đối xứng

Số lượng điểm cố kết cánh nén trong nhịp	Dạng tải trọng	Cánh được chất tải	Công thức tính ψ khi α	
			$0,1 \leq \alpha \leq 40$	$40 < \alpha \leq 400$
Không cố kết	Tập trung	Cánh trên	$\psi = 1,75 + 0,09\alpha$	$\psi = 3,3 + 0,053\alpha - 4,5 \cdot 10^{-5}\alpha^2$
		Cánh dưới	$\psi = 5,05 + 0,09\alpha$	$\psi = 6,6 + 0,053\alpha - 4,5 \cdot 10^{-5}\alpha^2$
	Phân bố đều	Cánh trên	$\psi = 1,6 + 0,08\alpha$	$\psi = 3,15 + 0,04\alpha - 2,7 \cdot 10^{-5}\alpha^2$
		Cánh dưới	$\psi = 3,8 + 0,08\alpha$	$\psi = 5,35 + 0,04\alpha - 2,7 \cdot 10^{-5}\alpha^2$
Hai hay nhiều, chia nhịp thành các phần đều nhau	Bất kỳ	Bất kỳ	$\psi = 2,25 + 0,07\alpha$	$\psi = 3,6 + 0,04\alpha - 3,5 \cdot 10^{-5}\alpha^2$
Một ở giữa	Tập trung ở giữa	Bất kỳ	$\psi = 1,75 \psi_1$	$\psi = 1,75 \psi_1$
	Tập trung ở 1/4 nhịp	Cánh trên	$\psi = 1,14 \psi_1$	$\psi = 1,14 \psi_1$
		Cánh dưới	$\psi = 1,6 \psi_1$	$\psi = 1,6$
	Phân bố đều	Cánh trên	$\psi = 1,14 \psi_1$	$\psi = 1,14 \psi_1$
		Cánh dưới	$\psi = 1,3 \psi_1$	$\psi = 1,3 \psi_1$

Ghi chú: Trị số của ψ_1 lấy bằng ψ khi cánh nén được cố kết bằng hai hoặc nhiều điểm.

Bảng E.2. Hệ số ψ đối với dầm côngxôn, tiết diện chữ I có hai trục đối xứng

Dạng tải trọng	Cánh được chất tải	Công thức tính ψ khi cánh nén của dầm không được cố kết, và khi α	
		$4 \leq \alpha \leq 28$	$28 < \alpha \leq 100$
Tập trung ở đầu mút côngxôn	Cánh trên	$\psi = 1,0 + 0,16\alpha$	$\psi = 4,0 + 0,05\alpha$
	Cánh dưới	$\psi = 6,2 + 0,08\alpha$	$\psi = 7,0 + 0,05\alpha$
Phân bố đều	Cánh trên	$\psi = 1,42\sqrt{\alpha}$	

Ghi chú: Khi cánh nén của côngxôn được cố kết trong phương ngang ở đầu mút hoặc theo chiều dài thì hệ số ψ được lấy như đối với côngxôn không cố kết, ngoài trường hợp tải trọng tập trung đặt tại cánh trên ở mút côngxôn, khi đó $\psi = 1,75\psi_1$ (giá trị của ψ_1 lấy theo ghi chú trong bảng E.1).

Bảng E.3. Hệ số D và C

Dạng tải trọng	D	Hệ số C khi tiết diện	
		Chữ I, $n \leq 0,9$	Chữ T, $n = 1$
Tập trung ở giữa nhịp	3,265	$0,330\mu$	$0,0826\alpha$
Phân bố đều	2,247	$0,481\mu$	$0,1202\alpha$
Uốn thuần túy	4,315	$0,101\mu$	$0,0253\alpha$

Các kí hiệu trong bảng E.3:

$$n = \frac{I_1}{I_1 + I_2}; \quad \mu = n(1 - n)(9,87 + \alpha_1),$$

trong đó:

$$\alpha_1 = 0,385 \frac{I_1 (I_1 + I_2)}{I_1 I_2} \left(\frac{l_0}{h} \right)^2$$

với: I_1, I_2 tương ứng là mômen quán tính của cánh lớn và cánh nhỏ đối với trục đối xứng của tiết diện, được tính theo công thức (D.4);

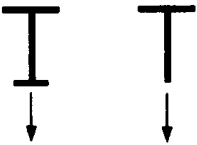
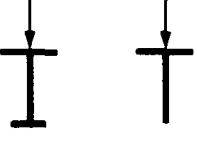
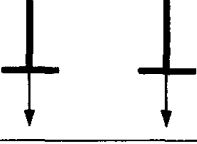

Mômen quán tính xoắn được tính như sau:

$$I_t = \frac{\delta}{3} \sum b_i t_i^3$$

ở đây: b_i và t_i tương ứng là các chiều rộng và chiều dày của các tấm cánh; $\alpha = 1,25$ đối với tiết diện chữ I một trục đối xứng; $\alpha = 1,20$ đối với tiết diện chữ T;

α xác định như trong bảng E.2.

Bảng E.4. Hệ số B

Sơ đồ tiết diện và vị trí đặt tải	Hệ số B khi sơ đồ đặt tải		
	Tập trung ở giữa nhịp	Phân bố đều	Uốn thuần túy
	δ	μ	β
	$\delta - 1$	$\mu - 1$	β
	$1 - \delta$	$1 - \mu$	$-\beta$
	$-\delta$	$-\mu$	$-\beta$

Các kí hiệu dùng trong bảng E.4: $\delta = n + 0,734\beta$; $\mu = n + 1,145\beta$;

$$\beta = \left\{ 0,47 - 0,035 \left(\frac{b_1}{h} \right) \left[1 + \frac{b_1}{h} - 0,072 \left(\frac{b_1}{h} \right)^2 \right] \right\} (2n - 1)$$

trong đó: b_1 - chiều rộng cánh lớn hơn của dầm;

n - kí hiệu xem bảng E.3.

Bảng E.5. Hệ số φ_b

Giá trị của φ_2	Hệ số φ_b khi cánh chịu nén là	
	Cánh lớn hơn	Cánh nhỏ hơn
$\varphi_2 \leq 0,85$	$\varphi_b = \varphi_1$	$\varphi_b = \varphi_2$
$\varphi_2 > 0,85$	$\varphi_b = \varphi_1 \left[0,21 + 0,68 \left(\frac{n}{\varphi_1} + \frac{1-n}{\varphi_2} \right) \right]$	$\varphi_b = 0,68 + 0,21\varphi_2$

Bảng E.6. Mômen quán tính xoắn

Số hiệu thép I	I_t, cm^4	Số hiệu thép I	I_t, cm^4	Số hiệu thép I	I_t, cm^4
10	2,28	22	8,60	33	23,8
12	2,88	22a	9,77	36	31,4
14	3,59	24	11,1	40	40,6
16	4,46	24a	12,8	45	54,7
18	5,60	27	13,6	50	75,4
18a	6,54	27a	16,7	55	100
20	6,92	30	17,4	60	135
20a	7,94	30a	20,3		

PHỤ LỤC F

CÁCH XÁC ĐỊNH SỐ CHU KỲ TẢI TRỌNG ĐỂ TÍNH TOÁN VỀ MỖI
THEO TIÊU CHUẨN VỀ CẦU TRỤC CỦA ÚC AS 1418 - 18

Kết cấu đỡ cầu trục được tính toán theo các cấp sử dụng của cầu trục và chế độ nâng cầu. Các cấp sử dụng cầu trục được chia làm 9 cấp theo bảng F.1. Từ các cấp sử dụng này, kết hợp với chế độ nâng cầu Q1 đến Q4, được cấp sử dụng của kết cấu S1 đến S9 (bảng F.2). Chỉ có cấp S4 trở lên mới phải tính toán về mỏi. Số chu kỳ tải trọng tương đương của các cấp sử dụng kết cấu được cho trong bảng F.3.

Bảng F.1. Các cấp sử dụng cầu trục

Số chu kỳ vận hành tối đa	Cấp sử dụng	Mô tả sử dụng
$1,6 \times 10^4$	U_0	ít sử dụng
$3,2 \times 10^4$	U_1	
$6,3 \times 10^4$	U_2	
$1,25 \times 10^5$	U_3	
$2,5 \times 10^5$	U_4	Sử dụng khá thường xuyên
5×10^5	U_5	Sử dụng thường xuyên
1×10^6	U_6	Sử dụng rất thường xuyên
2×10^6	U_7	Sử dụng liên tục hoặc gần như liên tục
4×10^6	U_8	
Lớn hơn 4×10^6	U_9	

Bảng F.2. Các cấp sử dụng kết cấu đỡ cầu trục

Chế độ nâng cầu	Cấp sử dụng kết cấu									
	U_0	U_1	U_2	U_3	U_4	U_5	U_6	U_7	U_8	U_9
Q1-Nhẹ	S1	S1	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
Q2-Vừa	S1	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S8
Q3-Nặng	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S8	S9
Q4-Rất nặng	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S8	S9	S9

Bảng F.3. Số chu kỳ tải trọng tương đương

Cấp của kết cấu đỡ cầu trục	Số chu kỳ tải trọng tương đương
S1, S2, S3	Không cần tính về mỗi
S4, S5	100 000
S6, S7	500 000
S8	2 000 000
S9	5 000 000

PHỤ LỤC G

CÁC YÊU CẦU BỔ SUNG KHI TÍNH TOÁN DÀN THÉP ỐNG

G.1. Tỷ số giữa đường kính ống D và chiều dày ống t , (D/t), không được vượt quá:

Đối với thanh cánh: 30.

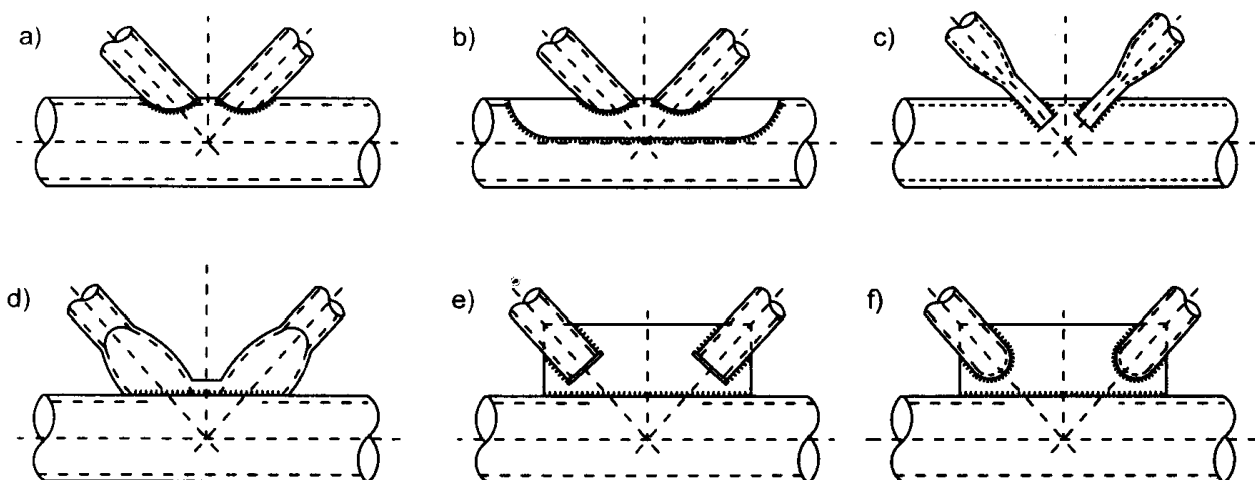
Đối với thanh xiên và thanh bụng: $80 \div 90$.

G.2. Tỷ số giữa đường kính thanh xiên d và đường kính thanh cánh D không được nhỏ hơn 0,3 ($d/D \geq 0,3$) để tránh hiện tượng ép lõm thanh cánh.

G.3. Trục hình học của các thanh được lấy làm trục để định vị. Trong trường hợp không sử dụng hết khả năng chịu lực của thanh cánh cho phép trục có độ lệch tâm là $1/4$ đường kính thanh cánh.

G.4. Khi hàn các thanh thép ống phải đảm bảo độ kín khít ở đầu ống để tránh hiện tượng xuất hiện ăn mòn mặt bên trong ống.

G.5. Để liên kết thanh xiên vào thanh cánh có nhiều biện pháp. Thông thường người ta dùng các biện pháp liên kết như hình G.1.



Hình G.1. Các dạng liên kết thanh thép ống xiên vào thanh cánh

a) Liên kết hàn không bản mã; b) Liên kết hàn có bản đệm cong;

c, d) Liên kết hàn đầu ống đã đập bẹt; e, f) Liên kết hàn dùng bản mã

G.6. Ứng suất dọc theo chiều dài đường hàn phân bố không đều và phụ thuộc vào tỷ số các đường kính của các ống thép được hàn, chiều dày thành ống của thanh cánh, góc nghiêng của ống, các đặc trưng của vật liệu làm thép ống làm thanh cánh.

G.7. Độ bền đường hàn được kiểm tra theo điều kiện:

$$\frac{N}{0,85h_f l_w (R_w \beta \gamma_w)_{\min} \gamma_c} \leq 1 \quad (G.1)$$

trong đó:

0,85 - hệ số điều kiện làm việc của đường hàn kể đến sự phân bố ứng suất không đều dọc đường hàn;

h_f - chiều cao đường hàn;

l_w - chiều dài đường hàn, được tính như sau:

$$l_w = 0,5\pi d\xi \left[1,5(1 + \operatorname{cosec}\alpha) - \sqrt{\operatorname{cosec}\alpha} \right] \quad (G.2)$$

Giá trị ξ phụ thuộc vào đường kính ống thép, cho trong bảng G.1:

Bảng G.1. Giá trị của hệ số ξ

d/D	0,2	0,5	0,6	0,7	0,75	0,8	0,85	0,9	0,95	1,0
ξ	1,0	1,01	1,02	1,03	1,04	1,05	1,06	1,08	1,12	1,22

G.8. Thành ống thanh cánh tại những vị trí tiếp xúc với thanh bụng hoặc tại những vị trí có các cấu kiện khác đè lên (xà gồ) cần được kiểm tra độ bền về uốn cục bộ theo các điều sau:

a) Các thanh thép ống chịu nén, nén uốn khi độ mảnh qui ước $\bar{\lambda} = \lambda \sqrt{\frac{f}{E}} \geq 0,65$ phải thỏa mãn điều kiện:

$$\frac{r}{t} \leq \frac{280}{1 + 1400 \frac{f}{E}} \quad (G.3)$$

Ngoài ra cần kiểm tra ổn định thành ống theo điều kiện:

$$\sigma_l \leq \gamma_c \sigma_{crl} \quad (G.4)$$

trong đó:

σ_l - ứng suất tính toán trong thành ống;

σ_{cr} - ứng suất tới hạn, lấy bằng giá trị nhỏ hơn trong hai giá trị ψf hoặc $\frac{cEt}{r}$ (ở đây

r - giá trị trung bình của bán kính ngoài và trong của ống, t - chiều dày ống).

Giá trị ψ và c được xác định tương ứng theo bảng G.2 và G.3.

Bảng G.2. Giá trị của hệ số ψ

Giá trị f , MPa	Hệ số ψ khi r/t bằng								
	0	25	50	75	100	125	150	200	250
$f = 140$	1,00	0,98	0,88	0,79	0,72	0,65	0,59	0,45	0,39
$f = 280$	1,00	0,94	0,78	0,67	0,57	0,49	0,42	0,29	–
Ghi chú: Giá trị của hệ số ψ khi $140 \text{ MPa} < f < 280 \text{ MPa}$ và đối với các giá trị trung gian của r/t , được lấy nội suy tuyến tính.									

Bảng G.3. Giá trị của hệ số c

Giá trị r/t	≥ 50	100	150	200	250	500
Hệ số c	0,30	0,22	0,20	0,18	0,16	0,12

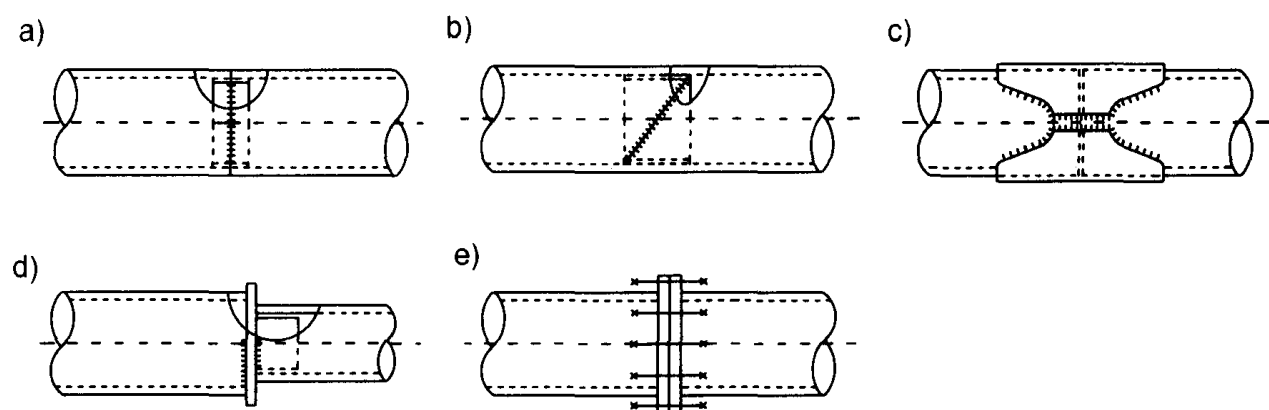
Ghi chú: Đối với các giá trị trung gian của r/t , hệ số c được lấy nội suy tuyến tính.

Trong trường hợp nén lệch tâm có phương song song với đường sinh trục ống hay uốn thuần tuý trong mặt phẳng tiết diện ngang mà ứng suất tiếp tại vị trí có mômen lớn nhất không vượt quá giá trị $0,07E\left(\frac{t}{r}\right)^{3/2}$, ứng suất σ_{cr1} phải được tăng lên bằng cách nhân với giá trị $(1,1 - 0,1 \frac{\sigma'_1}{\sigma_1})$, với σ'_1 là ứng suất nhỏ nhất (quy ước ứng suất kéo lấy dấu “-”).

b) Không cần kiểm tra ổn định thanh thép ống không có đường hàn dọc nếu r/t không vượt quá giá trị $1,7\sqrt{\frac{f}{E}}$ hoặc 35.

G.9. Khi chiều dày thanh cánh không đủ, có thể gia cường bằng các bản ốp cong. Các bản ốp cong này có thể được cắt từ những ống thép có cùng đường kính, hoặc được uốn từ thép tấm có chiều dày không nhỏ hơn chiều dày thanh cánh và không lớn hơn 2 lần chiều dày thanh cánh (hình G.1b).

G.10 Có thể dập đầu ống thép (chỉ được áp dụng đối với thép cacbon thấp hoặc loại thép dẻo khác) (hình G.1c, d); trong một số trường hợp đặc biệt có thể hàn như hình G.11e, f.

**Hình G.2. Các dạng liên kết thanh thép ống xiên vào thanh cánh**

- a) Liên kết hàn 2 ống lót và đường hàn thẳng; b) Liên kết hàn dùng ống lót và đường hàn xiên; c) Liên kết hàn 2 ống thép dùng bản cong ốp bên ngoài; d) Liên kết hàn 2 ống thép khác đường kính; e) Liên kết dùng bulông

G.11 Các ống thép có cùng đường kính được hàn với nhau trên ống lót bằng thép (hình G.2a). Tính toán kiểm tra chịu nén và kéo như sau:

$$\frac{N}{\pi D_{tb} t (R_w \beta)_{\min} \gamma_c} \leq 1 \quad (G.5)$$

trong đó D_{tb} là đường kính trung bình của ống thép có chiều dày nhỏ hơn; t là chiều dày thanh thép ống nhỏ hơn.

Cường độ của mối hàn sẽ bằng cường độ của thép cơ bản nếu cường độ tính toán của thép hàn không nhỏ hơn cường độ tính toán của thép cơ bản (đối với thép không giảm cường độ do hàn). Trong trường hợp cường độ của thép hàn nhỏ hơn cường độ của thép cơ bản thì có thể dùng đường hàn xiên có ống đệm bên trong (hình G.2b).

Trong trường hợp không đảm bảo được liên kết đối đầu và cường độ của liên kết, liên kết các ống thép cùng đường kính có thể được thực hiện bằng hai ống thép tròn cuộn từ thép tấm hoặc được cắt ra từ ống có cùng hoặc đường kính lớn hơn một chút với thép ống cần hàn (hình G.2c).

Bản ốp cần được cắt theo đường cong để tăng chiều dài đường hàn đảm bảo cho cường độ mối hàn bằng cường độ thép cơ bản. Chiều dày ống lót bằng thép hoặc bản ốp và chiều cao đường hàn nên lấy bằng 20% chiều dày các ống thép cần hàn.

Chiều dài đường hàn khi sử dụng bản ốp cong được tính theo công thức sau:

$$l_w = 2n \sqrt{a^2 + \left(\frac{\pi D}{2n} \right)^2} \quad (G.6)$$

trong đó: a - chiều dài đường cong của bản ốp dọc theo trục ống thép;

n - số lượng bản đệm cong bao quanh chu vi ống thép.

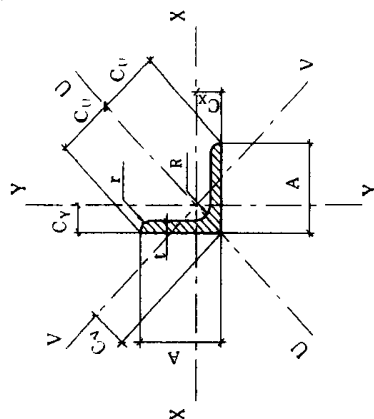
Liên kết hàn các ống thép chịu nén có đường kính khác nhau, hoặc liên kết tại những vị trí trục thanh bị gãy khúc có thể được thực hiện bằng cách dùng các bản mặt bích bịt đầu ống (hình G.2d).

Tại công trường cũng hay dùng liên kết bulông (hình G.2e).

PHỤ LỤC H

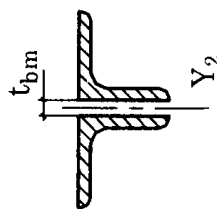
ĐẶC TRƯNG TIẾT DIỆN CỦA MỘT SỐ LOẠI THÉP HÌNH

Bảng H.1.1. Thép cán dạng góc đều cạnh (Trích TCVN 1656 : 1993)



A - Chiều rộng cánh
t - Chiều dày cánh
R - Bán kính lượn trong
r - Bán kính lượn cánh

I - mômen quán tính
i - Bán kính quán tính
c - Khoảng cách từ trọng tâm



Số hiệu	Khối lượng 1 m dài	Diện tích mặt cắt	Kích thước			Khoảng cách từ trọng tâm			Đại lượng tra cứu				Bán kính quán tính $i_{y2}(cm)$ khi t_{bm} bằng		
			A		R	Cx = Cy			X - X = Y - Y		U - U		V - V		i_{y2}
			mm	mm		mm	mm	mm	$i_x = i_y$	$i_x = i_y$	i_u	i_u	i_v	i_v	
	kg/m	cm ²							cm ⁴	cm	cm ⁴	cm	cm ⁴	cm	cm
20×20×3	0,382	1,12	20	3	35	0,598	1,14	0,846	0,392	0,590	06,18	0,742	0,165	0,383	-
25×25×3	1,12	1,42	25	3	35	0,723	1,77	1,02	0,803	0,751	1,27	0,945	0,334	0,484	-
25×25×4	1,45	1,85	25	4	35	0,762	1,77	1,08	1,02	0,741	1,61	0,931	0,430	0,482	-
30×30×3	1,36	1,74	30	3	5	0,835	2,12	1,18	1,40	0,899	2,22	1,13	0,585	0,581	-
30×30×4	1,78	2,27	30	4	5	0,878	2,12	1,24	1,80	0,892	2,85	1,12	0,754	0,577	-

Bảng H.1.1 (tiếp theo)

Số hiệu	Khối lượng 1 m dài	Diện tích mặt cắt	Kích thước			Khoảng cách từ trọng tâm				Đại lượng tra cứu						Bán kính quán tính $i_{y2}(\text{cm})$ khi t_{m} bằng			
										X - X = Y - Y		U - U		V - V					
										A	I	R	$C_x = C_y$	C_u	C_v	$I_x = I_y$	$i_x = i_y$	I_u	i_u
	kg/m	cm ²	mm	mm	mm	cm	cm	cm	cm ⁴	cm	cm ⁴	cm	cm ⁴	cm	cm ⁴	cm	-	-	-
35×35×3	2,09	2,67	35	4	5	1,00	2,47	1,42	2,95	1,05	4,68	1,32	1,23	0,678	-	-	-	-	-
35×35×4	2,57	3,28	35	5	5	1,04	2,47	1,48	3,56	1,04	5,64	1,31	1,49	0,675	-	-	-	-	-
40×40×3	1,34	2,35	40	3	6	1,07	2,83	1,52	3,45	1,21	5,45	1,52	1,44	0,783	-	-	-	-	-
40×40×4	2,42	3,08	40	4	6	1,12	2,83	1,58	4,47	1,21	7,09	1,52	1,86	0,777	-	-	-	-	-
40×40×5	2,49	3,79	40	5	6	1,16	2,83	1,64	5,43	1,20	8,60	1,51	2,26	0,773	-	-	-	-	-
45×45×4	2,74	3,49	45	4	7	1,23	3,18	1,75	6,43	1,36	10,2	1,71	2,68	0,876	-	-	-	-	-
45×45×5	3,38	4,30	45	5	7	1,28	3,18	1,81	7,84	1,35	12,4	1,70	3,26	0,871	-	-	-	-	-
50×50×4	3,06	3,89	50	4	7	1,36	3,54	1,92	8,97	1,52	14,2	1,91	3,73	0,979	-	-	-	-	-
50×50×5	3,77	4,80	50	5	7	1,40	3,54	1,99	11,0	1,51	17,4	1,90	4,55	0,973	2,43	2,51	2,59	2,59	2,59
50×50×6	4,47	5,69	50	6	7	1,45	3,54	2,04	12,8	1,50	20,3	1,89	5,34	0,968	2,46	2,54	2,62	2,62	2,62
60×60×5	4,57	5,82	60	5	8	1,64	4,24	2,32	19,4	1,82	30,7	2,30	8,03	1,17	2,81	2,89	2,97	2,97	2,97
60×60×6	5,42	6,91	60	6	8	1,69	4,24	2,39	22,8	1,82	36,1	2,29	9,44	1,17	2,85	2,92	3,00	3,00	3,00
60×60×8	7,09	9,03	60	8	8	1,77	4,24	2,50	29,2	1,80	46,1	2,26	12,2	1,16	2,90	2,97	3,06	3,06	3,06
65×65×6	5,91	7,53	65	6	9	1,80	4,60	2,55	29,2	1,97	46,3	2,48	12,1	1,27	3,03	3,10	3,18	3,18	3,18
65×65×8	7,73	9,85	65	8	9	1,89	4,60	2,67	37,5	1,95	59,4	2,46	15,6	1,26	3,09	3,16	3,24	3,24	3,24

Bảng H.1 (tiếp theo)

Số hiệu	Khối lượng 1 m dài kg/m	Diện tích mặt cắt cm ²	Kích thước			Khoảng cách từ trọng tâm			Đại lượng tra cứu						Bán kính quán tính i_{y2} (cm) khi t_{m} bằng		
			A	t	R	$C_x = C_y$	C_u	C_v	X - X = Y - Y		U - U		V - V		10 mm	12 mm	14 mm
			mm	mm	mm	cm	cm	cm	$i_x = i_y$ cm ⁴	$i_x = i_y$ cm	i_u cm ⁴	i_u cm	i_v cm ⁴	i_v cm			
70×70×6	6,38	8,13	70	6	9	1,93	4,95	2,73	36,9	2,13	58,5	2,68	15,3	1,37	3,23	3,31	3,38
70×70×7	7,38	9,40	70	7	9	1,97	4,95	2,79	42,3	2,12	67,1	2,67	17,5	1,36	3,26	3,33	3,41
75×75×6	6,85	8,73	75	6	9	2,05	5,30	2,90	45,8	2,29	72,7	2,89	18,9	1,47	3,43	3,50	3,58
75×75×8	8,99	11,4	75	8	9	2,14	5,30	3,02	59,1	2,27	93,8	2,86	24,5	1,46	3,49	3,56	3,64
80×80×6	7,34	9,35	80	6	10	2,17	5,66	3,07	55,8	2,44	88,5	3,08	23,1	1,57	3,62	3,69	3,77
80×80×8	9,63	12,3	80	8	10	2,26	5,66	3,19	72,2	2,43	115	3,06	29,9	1,56	3,67	3,75	3,83
80×80×10	11,9	15,1	80	10	10	2,34	5,66	3,30	87,5	2,41	139	3,03	36,4	1,55	3,72	3,80	3,88
90×90×7	9,61	12,2	90	7	11	2,45	6,36	3,47	92,5	2,75	147	3,46	38,3	1,77	4,04	4,11	4,18
90×90×8	10,9	13,9	90	8	11	2,50	6,36	3,53	104	2,74	166	3,45	43,1	1,76	4,06	4,13	4,21
90×90×9	12,2	15,5	90	9	11	2,54	6,36	3,59	116	2,73	168	3,44	47,9	1,76	4,09	4,16	4,24
90×90×10	15,0	17,1	90	10	11	2,58	6,36	3,65	127	2,72	201	3,42	52,6	1,75	4,11	4,19	4,26
100×100×8	12,2	15,5	100	8	12	2,74	7,07	3,87	145	3,06	230	3,85	59,9	1,96	4,46	4,53	4,60
100×100×10	15,0	19,2	100	10	12	2,82	7,07	3,99	177	3,04	280	3,83	73,0	1,95	4,50	4,57	4,65
100×100×12	17,8	22,7	100	12	12	2,90	7,07	4,11	207	3,02	328	3,80	85,7	1,94	4,55	4,62	4,70
120×120×8	14,7	18,7	120	8	13	3,23	8,49	4,56	255	3,69	405	4,65	105	2,37	5,52	5,32	5,39
120×120×10	18,2	23,2	120	10	13	3,31	8,49	4,69	313	3,67	497	4,63	129	2,36	5,29	5,36	5,44
120×120×12	21,6	27,5	120	12	13	3,40	8,49	4,80	368	3,65	584	4,60	152	2,35	5,35	5,42	5,49

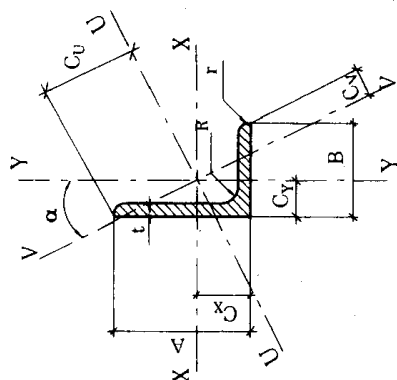
Bảng H.1 (Kết thúc)

Số hiệu	Khối lượng 1 m dài	Diện tích mặt cắt	Kích thước			Khoảng cách từ trọng tâm			Đại lượng tra cứu						Bán kính quán tính i_{y2} (cm) khi $t_{\text{bằng}}$					
									X - X = Y - Y			U - U						V - V		
kg/m	cm ²	mm	A	t	R	C _x = C _y	C _u	C _v	I _x = I _y	i _x = i _y	I _u	i _u	I _v	i _v	10 mm	12 mm	14 mm			
125×125×8	15,3	19,5	mm	125	8	13	cm	8,84	cm	4,74	cm ⁴	cm	cm ⁴	cm ⁴	cm	5,45	5,52	5,59		
125×125×10	19,0	24,2	mm	125	10	13	cm	8,84	cm	4,86	cm ⁴	cm	cm ⁴	cm ⁴	cm	5,50	5,57	5,64		
125×125×12	22,6	28,7	mm	125	12	13	cm	8,84	cm	4,98	cm ⁴	cm	cm ⁴	cm ⁴	cm	5,54	5,62	5,69		
150×150×10	23,0	29,3	mm	150	10	16	cm	10,6	cm	5,71	cm ⁴	cm	cm ⁴	cm ⁴	cm	6,47	6,54	6,61		
150×150×12	27,3	34,8	mm	150	12	16	cm	10,6	cm	5,83	cm ⁴	cm	cm ⁴	cm ⁴	cm	6,52	6,59	6,66		
150×150×15	33,8	43,0	mm	150	15	16	cm	10,6	cm	6,01	cm ⁴	cm	cm ⁴	cm ⁴	cm	6,59	6,66	6,74		
180×180×15	40,9	52,1	mm	180	15	18	cm	12,7	cm	7,05	cm ⁴	cm	cm ⁴	cm ⁴	cm	7,78	7,85	7,92		
180×180×18	48,6	61,9	mm	180	18	18	cm	12,7	cm	7,22	cm ⁴	cm	cm ⁴	cm ⁴	cm	7,85	7,92	7,99		
200×200×16	48,5	61,8	mm	200	16	18	cm	14,1	cm	7,80	cm ⁴	cm	cm ⁴	cm ⁴	cm	8,61	8,68	8,75		
200×200×20	59,9	76,3	mm	200	20	18	cm	14,1	cm	8,04	cm ⁴	cm	cm ⁴	cm ⁴	cm	8,69	8,76	8,83		
200×200×24	71,1	90,6	mm	200	24	18	cm	14,1	cm	8,26	cm ⁴	cm	cm ⁴	cm ⁴	cm	8,12	5,20	8,28		
250×250×28	104	133	mm	250	28	18	cm	17,7	cm	10,2	cm ⁴	cm	cm ⁴	cm ⁴	cm	10,85	10,90	11,00		
250×250×35	128	163	mm	250	35	18	cm	17,7	cm	10,6	cm ⁴	cm	cm ⁴	cm ⁴	cm	10,99	11,06	11,14		

Chú thích:

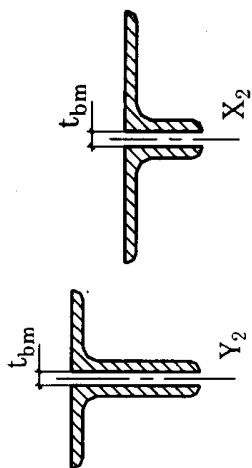
1. Ví dụ kí hiệu quy ước thép góc cạnh đều cân nóng:
Thép góc cạnh đều cân nóng có kích thước 40 × 40 × 4 mm, cấp chính xác B; L40 × 40 × 4B TCVN 1656-1993.
2. Diện tích mặt cắt ngang được tính theo công thức: $S = [(2A - t) + 0,2146(R^2 - 2t^2)] \cdot 1/100$
3. Khối lượng 1m chiều dài tính theo kích thước danh nghĩa với khối lượng riêng của thép bằng 7.85 kg/dm³.

Bảng H.2. Thép cán dạng góc không đều cạnh (Trích theo TCVN 1657 : 1993)



A - Chiều rộng cánh lớn
B - Chiều rộng cánh nhỏ
t - Chiều dày cánh
R - Bán kính lượn trong
r - Bán kính lượn cánh

I - Mômen quán tính
i - Bán kính quán tính
C - Khoảng cách từ trọng tâm



Số hiệu	Khối lượng 1 m dài kg/m	Diện tích mặt cắt ngang cm ²	Kích thước				Khoảng cách từ trọng tâm				Đại lượng tra cứu						Bán kính quán tính i _{y2} (cm) khi t _{bm} bằng			
			A	B	t	R	C _x	C _y	C _u	C _v	i _x	i _y	i _u	i _v	i _u	i _v	10	12	14	14
30×20×3	1,12	1,43	30	20	3	4	0,990	0,502	2,05	1,04	1,25	0,935	1,43	1,00	0,256	0,424	-	-	-	-
30×20×4	1,46	1,86	30	20	4	4	1,03	0,541	2,02	1,04	1,59	0,925	1,81	0,988	0,330	0,421	-	-	-	-
40×20×4	1,77	2,26	40	20	4	4	1,47	0,48	2,58	1,17	3,59	1,26	3,80	1,30	0,393	0,417	-	-	-	-
40×25×4	1,93	2,46	40	25	4	4	1,36	0,623	2,69	1,35	3,89	1,26	4,35	1,33	0,700	0,534	-	-	-	-
45×30×5	2,76	3,52	45	30	5	4	1,52	0,779	3,04	1,58	6,98	1,41	8,00	1,51	1,45	0,641	-	-	-	-
50×30×4	2,41	3,07	50	30	4	5	1,68	0,701	3,36	1,67	7,71	1,59	8,53	1,67	1,27	0,644	-	-	-	-
50×30×5	2,96	3,78	50	30	5	5	1,73	0,741	3,33	1,65	9,36	1,57	10,3	1,65	1,54	0,639	-	-	-	-
50×40×5	3,36	4,28	50	40	5	5	1,55	1,06	3,49	1,85	10,3	1,55	13,2	1,75	3,03	0,842	-	-	-	-

Bảng H.2. (Tiếp theo)

Số hiệu	Khối lượng 1 m dài kg/m	Diện tích mặt cắt ngang cm ²	Kích thước				Khoảng cách từ trọng tâm				Đại lượng tra cứu								tgα	Bán kính quán tính i _y (cm) khi t _{ym} bằng			Bán kính quán tính i _{y2} (cm) khi t _{ym} bằng					
			A mm	B mm	t mm	R mm	C _x cm	C _y cm	C _u cm	C _v cm	i _x cm ⁴	i _x cm	i _y cm ⁴	i _y cm	i _u m ⁴	i _u cm	i _v cm ⁴	i _v cm		10 mm	12 mm	14 mm	10 mm	12 mm	14 mm			
60×30×5	336	4,28	60	30	5	5	2,17	0,684	3,88	1,77	15,6	1,91	2,63	0,784	16,5	1,97	1,71	0,633	0,257	-	-	-	-	-	-	-	-	-
60×30×6	3,98	5,07	60	30	6	5	2,2	0,723	3,85	1,76	18,2	1,90	3,05	0,776	19,3	1,95	2,01	0,630	0,253	-	-	-	-	-	-	-	-	-
60×40×5	3,76	4,79	60	40	5	6	1,96	0,972	4,10	2,11	17,2	1,89	6,11	1,13	19,7	2,03	3,54	0,860	0,434	1,86	1,94	2,02	3,11	3,19	3,27	3,19	3,21	3,29
60×40×6	4,46	5,68	60	40	6	6	2,00	1,01	4,08	2,10	20,1	1,88	7,12	1,12	23,1	2,02	4,16	0,855	0,431	1,88	1,96	2,04	3,13	3,21	3,29	3,21	3,21	3,29
60×50×6	4,93	6,28	60	50	6	6	1,84	1,34	4,20	2,22	21,7	1,86	13,7	1,47	28,5	2,13	6,84	1,04	0,677	2,36	2,44	2,52	2,99	3,07	3,15	3,07	3,15	3,19
60×50×8	6,44	8,20	60	50	8	6	1,91	1,42	4,19	2,24	27,7	1,84	17,3	1,45	36,2	2,10	8,81	1,04	0,672	2,41	2,49	2,57	3,03	3,11	3,19	3,03	3,11	3,19
65×50×5	4,35	5,54	65	50	5	6	1,99	1,25	4,53	2,39	23,2	2,05	11,9	1,47	28,8	2,28	6,32	1,07	0,577	2,28	2,36	2,44	3,22	3,30	3,38	3,22	3,30	3,38
65×50×6	5,16	6,58	65	50	6	6	2,04	1,29	4,52	2,39	27,2	2,03	14,0	1,46	33,8	2,27	7,43	1,06	0,575	2,31	2,39	2,47	3,25	3,33	3,41	3,25	3,33	3,41
65×50×8	6,75	8,60	65	50	8	6	2,11	1,37	4,49	2,39	34,8	2,01	17,7	1,44	43,0	2,23	9,57	105	0,569	2,36	2,44	2,52	3,30	3,37	3,46	3,30	3,37	3,46
70×50×6	5,41	6,89	70	50	6	7	2,23	1,25	4,83	2,52	33,4	2,20	14,2	1,43	39,7	2,40	7,92	1,07	0,500	2,26	2,34	2,42	3,51	3,59	3,67	3,51	3,59	3,67
70×50×7	6,25	7,96	70	50	7	7	2,27	1,29	4,81	2,52	38,2	2,19	16,0	1,42	45,3	2,39	9,06	1,07	0,493	2,28	2,36	2,44	3,53	3,61	3,69	3,53	3,61	3,69
75×50×6	5,65	7,19	75	50	6	7	2,44	1,21	5,12	2,64	40,5	2,37	14,4	1,42	46,6	2,55	8,36	1,08	0,435	2,22	2,30	2,38	3,78	3,86	3,94	3,78	3,86	3,94
75×50×8	7,39	9,41	75	50	8	7	2,52	1,29	5,08	2,62	52,0	2,35	18,4	1,40	59,6	2,52	10,8	1,07	0,430	2,28	2,36	2,44	3,83	3,91	3,99	3,83	3,91	3,99
80×40×6	5,41	6,89	80	40	6	7	2,85	0,884	5,20	2,38	44,9	2,55	7,59	1,05	47,6	2,63	4,93	0,845	0,258	1,74	1,82	1,90	4,21	4,29	4,37	4,21	4,29	4,37
80×40×8	7,07	9,01	80	40	8	7	2,94	0,963	5,14	2,34	57,6	2,53	9,61	1,03	60,9	2,60	6,34	0,838	0,253	1,79	1,87	1,96	4,27	4,35	4,43	4,27	4,35	4,43

Bảng H.2 (Tiếp theo)

Số hiệu	Khối lượng 1 m dài kg/m	Diện tích mặt cắt ngang cm ²	Kích thước				Khoảng cách từ trọng tâm						Đại lượng tra cứu										Bán kính quán tính <i>i</i> _{y2} (cm) khi <i>t</i> _{cm} bằng						Bán kính quán tính <i>i</i> _{y2} (cm) khi <i>t</i> _{cm} bằng					
			A	B	t	R	C _x	C _y	C _u	C _v	I _x	I _y	I _z	tgα	10	12	14	10	12	14	10	12	14	10	12	14								
mm	mm	mm	mm	cm	cm	cm	cm	cm ⁴	cm ⁴	cm ⁴	cm ⁴	cm ⁴	cm ⁴	m ⁴	cm ⁴	cm ⁴	cm ⁴	cm ⁴	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm							
80×60×6	6,37	8,11	80	60	6	8	2,47	1,48	5,57	2,92	51,4	2,52	24,8	1,75	62,8	2,78	13,4	1,29	0,547	2,64	2,72	2,79	3,89	3,97	4,05	4,07	4,10							
80×60×7	7,36	9,38	80	60	7	8	2,51	1,52	5,55	2,92	59,0	2,51	28,4	1,74	72,0	2,77	15,4	1,28	0,546	2,67	3,74	2,82	3,92	4,00	4,07	4,10	4,10							
80×60×8	8,34	10,6	80	60	8	8	2,55	1,56	5,53	2,92	66,3	2,50	31,8	1,73	80,8	2,76	17,3	1,27	0,544	2,69	2,77	2,85	3,94	4,02	4,10	4,10	4,10							
90×60×8	8,97	11,4	90	60	8	8	2,96	1,48	6,13	3,16	92,3	2,84	32,8	1,70	106	3,05	19,0	1,29	0,434	2,61	2,68	2,76	4,48	4,56	4,64	4,64	4,64							
90×65×6	7,07	9,01	90	65	6	8	2,79	1,56	6,24	3,27	73,4	2,85	32,3	1,89	87,9	3,12	17,8	1,41	0,510	2,80	2,87	2,95	4,36	4,43	4,51	4,51	4,51							
90×65×8	9,29	11,8	90	65	8	8	2,88	1,64	6,20	3,26	94,9	2,83	41,5	1,87	113	3,10	23,0	1,39	0,507	2,85	2,92	3,00	4,41	4,49	4,57	4,57	4,57							
90×75×8	9,91	12,6	90	75	8	8	2,72	1,98	6,31	3,35	99,5	2,81	62,7	2,23	131	3,22	31,2	1,57	0,679	3,34	3,41	3,49	4,27	4,35	4,43	4,43	4,43							
90×75×10	12,2	15,6	90	75	10	8	2,80	2,06	6,29	3,35	121	2,79	75,8	2,21	159	3,19	38,1	1,56	0,676	3,38	3,45	3,53	4,32	4,40	4,47	4,47	4,47							
90×75×13	15,6	19,8	90	75	13	8	2,91	2,17	6,26	3,38	150	2,75	93,7	2,17	196	3,14	47,9	1,55	0,670	3,44	3,52	3,60	4,38	4,46	4,54	4,54	4,54							
100×50×6	6,84	8,71	100	50	6	8	3,51	1,05	6,55	3,00	89,9	3,21	15,4	1,33	95,4	3,31	9,92	1,07	0,262	2,04	2,12	2,20	5,14	5,22	5,30	5,30	5,30							
100×50×8	8,97	11,4	100	50	8	8	3,60	1,13	6,48	2,96	116	3,19	19,7	1,31	123	3,28	12,8	1,06	0,258	2,09	2,17	2,25	5,19	5,17	5,35	5,35	5,35							
100×50×10	11,0	14,1	100	50	10	8	3,68	1,21	6,42	2,93	141	3,16	23,6	1,29	149	3,25	15,5	1,05	0,253	2,14	2,22	2,31	5,24	5,32	5,40	5,40	5,40							
100×65×7	8,77	11,2	100	65	7	10	3,23	1,51	6,83	3,49	113	3,17	37,6	1,83	128	3,39	22,0	1,40	0,415	2,72	2,79	2,87	4,90	4,98	5,05	5,05	5,05							
100×65×8	9,94	12,7	100	65	8	10	3,27	1,55	6,81	3,47	127	3,16	42,2	1,83	144	3,37	24,8	1,40	0,413	2,74	2,82	2,90	4,92	5,00	5,08	5,08	5,08							
100×65×10	12,3	15,6	100	65	10	10	3,36	1,63	6,76	3,45	154	3,14	51,0	1,81	175	3,35	30,1	1,39	0,410	2,79	2,87	2,95	4,98	5,06	5,13	5,13	5,13							
100×75×8	10,6	13,5	100	75	8	10	3,10	1,87	6,95	3,65	133	3,14	64,1	2,18	162	3,47	34,6	1,60	0,547	3,22	3,29	3,37	4,78	4,85	4,93	4,93	4,93							
100×75×10	13,0	16,6	100	75	10	10	3,19	1,95	6,92	3,65	162	3,12	77,6	2,16	197	3,45	32,2	1,59	0,544	3,27	3,34	3,42	4,83	4,91	4,99	4,99	4,99							
100×75×12	15,4	19,7	100	75	12	10	3,27	2,03	6,89	3,65	189	3,10	90,2	2,14	230	3,42	49,5	1,59	0,540	3,31	3,39	3,47	4,88	4,96	5,04	5,04	5,04							
100×90×10	14,2	18,1	100	90	10	10	2,96	2,47	7,04	3,68	172	3,08	132	2,69	242	3,66	61,2	1,84	0,797	4,01	4,09	4,16	4,63	4,71	4,79	4,79	4,79							
100×90×13	18,1	23,1	100	90	13	10	3,08	2,59	7,03	3,71	215	3,05	164	2,66	301	3,61	77,1	1,83	0,794	4,08	4,16	4,23	4,70	4,78	4,86	4,86	4,86							

Bảng H.2 (Tiếp theo)

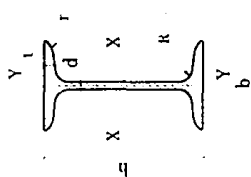
Số hiệu	Khối lượng 1 m dài kg/m	Diện tích mặt cắt ngang cm ²	Kích thước				Khoảng cách từ trọng tâm						Đại lượng tra cứu								Bán kính quán tính <i>i_{y2}</i> (cm) khi <i>t_m</i> bằng			Bán kính quán tính <i>i_{y2}</i> (cm) khi <i>t_m</i> bằng		
			X - X		Y - Y		U - U		V - V		<i>t</i> _α	10 mm	12 mm	14 mm	10 mm	12 mm	14 mm									
			<i>i_x</i> cm ⁴	<i>i_x</i> cm	<i>i_y</i> cm ⁴	<i>i_y</i> cm	<i>i_u</i> m ⁴	<i>i_u</i> cm	<i>i_v</i> cm ⁴	<i>i_v</i> cm																
120×80×8	12,2	15,5	120	80	8	11	3,83	1,87	8,23	4,23	226	3,82	80,8	2,28	260	4,10	46,6	1,74	0,437	3,29	3,36	3,44	5,77	5,85	5,92	
120×80×10	15,0	19,1	120	80	10	11	3,92	1,95	8,19	4,21	276	3,80	98,1	2,26	317	4,07	56,8	1,72	0,435	3,34	3,41	3,49	5,83	5,91	5,98	
120×80×12	17,8	22,7	120	80	12	11	4,00	2,03	8,15	4,20	323	3,77	114	2,24	371	4,04	66,7	1,71	0,431	3,38	3,46	3,53	5,87	5,95	6,03	
125×75×8	12,2	15,5	125	75	8	11	4,14	1,68	8,44	4,20	247	4,00	67,6	2,09	274	4,21	40,9	1,63	0,360	3,02	3,09	3,17	6,12	6,20	6,27	
125×75×10	15,0	19,1	125	75	10	11	4,23	1,76	8,39	4,17	302	3,97	82,1	2,07	334	4,18	49,9	1,61	0,357	3,07	3,14	3,22	6,18	6,26	6,33	
125×75×12	17,8	22,7	125	75	12	11	4,31	1,84	8,33	4,15	354	3,95	95,5	2,05	391	4,15	58,5	1,61	0,354	3,11	3,19	3,26	6,22	6,30	6,38	
125×90×10	16,2	20,6	125	90	10	11	3,95	2,23	8,63	4,52	321	3,95	140	2,60	384	4,31	77,4	1,94	0,506	3,77	3,85	3,92	5,95	6,02	6,10	
125×90×13	20,7	26,4	125	90	13	11	4,08	2,34	8,58	4,52	404	3,91	175	2,57	481	4,27	97,4	1,92	0,501	3,83	3,91	3,98	6,02	6,10	6,18	
135×65×8	12,2	15,5	135	65	8	11	4,78	1,34	8,79	3,95	291	4,34	45,2	1,71	307	4,45	29,4	1,38	0,245	2,51	2,58	2,66	6,83	6,91	6,99	
135×65×10	15,0	19,1	135	65	10	11	4,88	1,42	8,72	3,91	356	4,31	54,7	1,69	375	4,43	35,9	1,37	0,243	2,56	2,64	2,71	6,90	6,98	7,06	
150×75×9	15,4	19,6	150	75	9	12	5,26	1,57	9,82	4,50	455	4,82	77,9	1,99	483	4,96	50,2	1,60	0,261	2,87	2,95	3,02	7,51	7,59	7,66	
150×75×10	17,0	21,7	150	75	10	12	5,31	1,61	9,79	4,48	501	4,81	85,6	1,99	531	4,95	55,1	1,60	0,261	2,90	2,97	3,05	7,54	7,62	7,69	
150×75×12	20,2	25,7	150	75	12	12	5,40	1,69	9,72	4,44	588	4,78	99,6	1,97	623	4,92	64,7	1,59	0,258	2,94	3,02	3,10	7,60	7,67	7,75	
150×75×15	24,8	31,7	150	75	15	12	5,52	1,81	9,63	4,40	713	4,75	119	1,94	753	4,88	78,6	1,58	0,253	3,01	3,09	3,17	7,66	7,74	7,82	
150×90×10	18,2	23,2	150	90	10	12	5,00	2,04	10,1	5,03	533	4,80	146	2,51	591	5,05	88,3	1,95	0,360	3,57	3,64	3,71	7,30	7,37	7,45	
150×90×12	21,6	27,5	150	90	12	12	5,08	2,12	10,1	5,00	627	4,77	171	2,49	694	5,02	104	1,94	0,358	3,62	3,69	3,76	7,34	7,42	7,50	
150×90×15	26,6	33,9	150	90	15	12	5,21	2,23	9,98	4,98	761	4,74	205	2,46	841	4,98	126	1,93	0,354	3,67	3,75	3,83	7,42	7,50	7,57	
150×100×10	19,0	24,2	150	100	10	12	4,81	2,34	10,3	5,29	553	4,79	199	2,87	637	5,13	144	2,17	0,438	4,04	4,11	4,18	7,17	7,22	7,29	
150×100×12	22,5	28,7	150	100	12	12	4,89	2,42	10,2	5,28	651	4,76	233	2,85	749	5,11	134	2,16	0,436	4,08	4,15	4,23	7,19	7,27	7,34	
150×100×16	29,5	37,6	150	100	16	12	5,06	2,58	10,2	5,26	834	4,71	296	2,80	957	5,05	173	2,14	0,431	4,17	4,24	4,32	7,29	7,36	7,44	

Bảng H.2. (Kết thúc)

Số hiệu	Khối lượng 1 m dài kg/m	Diện tích mặt cắt ngang cm ²	Kích thước				Khoảng cách từ trọng tâm				Đại lượng tra cứu								Bán kính quán tính i_{y2} (cm) khi t_{b_m} bằng				Bán kính quán tính i_{x2} (cm) khi t_{b_m} bằng					
			A mm	B mm	t mm	R mm	C_x cm	C_y cm	C_u cm	C_v cm	X - X		Y - Y		U - U		V - V		$\text{tg}\alpha$	10 mm	12 mm	14 mm	10 mm	12 mm	14 mm			
											I_x cm ⁴	I_y cm ⁴	I_u m ⁴	I_v cm ⁴	I_x cm	I_y cm	I_u cm	I_v cm										
180×90×10	20,5	26,2	180	90	10	12	6,31	1,86	11,8	5,42	882	5,81	153	2,42	937	5,99	97,9	1,94	0,264	3,38	3,45	3,52	8,95	9,02	9,10			
200×100×10	23,0	29,2	200	100	10	15	6,93	2,01	13,2	6,05	1220	6,46	210	2,68	1290	6,65	135	2,15	0,263	3,67	3,74	3,81	9,85	9,92	10,0			
200×100×12	27,3	34,8	200	100	12	15	7,03	2,10	13,1	6,00	1440	6,43	247	2,67	1530	6,63	159	2,14	0,262	3,72	3,79	3,86	9,90	9,98	10,06			
200×100×14	31,6	40,3	200	100	14	15	7,12	2,18	13,0	5,96	1650	6,41	282	2,65	1750	6,60	182	2,13	0,261	3,77	3,84	3,91	9,95	10,03	10,10			
200×100×16	35,9	45,7	200	100	16	15	7,20	2,26	13,0	5,93	1861	6,38	316	2,63	1972	6,57	205	2,12	0,259	3,81	3,89	3,96	10,0	10,08	10,16			
200×150×12	32,0	40,8	200	150	12	15	6,08	3,61	13,9	7,34	1650	6,36	803	4,44	2030	7,04	430	3,25	0,552	6,05	6,12	6,19	9,15	9,22	9,30			
200×150×15	39,6	50,5	200	150	15	15	6,21	3,73	13,9	7,33	2022	6,33	979	4,40	2476	7,00	526	3,23	0,551	6,11	6,18	6,25	9,22	9,30	9,37			
200×150×20	52,0	66,2	200	150	20	15	6,41	3,92	13,8	7,34	2602	6,27	1252	4,35	3176	6,92	678	3,20	0,546	6,21	6,28	6,35	9,33	9,40	9,48			
200×150×25	64,0	81,5	200	150	25	15	6,60	4,11	13,7	7,36	3139	6,21	1501	4,29	3816	6,84	825	3,18	0,541	6,32	6,39	6,47	9,43	9,51	9,58			

Chú thích:

1. Ví dụ kí hiệu quy ước thép góc không đều cạnh cân nóng: Thép góc không đều cạnh cân nóng có kích thước 60 × 40 × 5, cấp chính xác B:
L60 × 40 × 5B TCVN 1657-1993
2. Diện tích mặt cắt ngang được tính theo công thức:
$$S = [t(A + B - t) + 0,2146(R^2 - 2r^2)] \cdot 1/100$$
3. Khối lượng 1 m chiều dài tính theo kích thước danh nghĩa với khối lượng riêng của thép bằng 7,85 kg/dm³.



Bảng H.3. Thép cán dạng chữ I (Theo TCVN 1655 : 1975)

h - Chiều cao
b - Chiều rộng cánh
d - Chiều dày thân (bụng)
t - Chiều dày trung bình của cánh

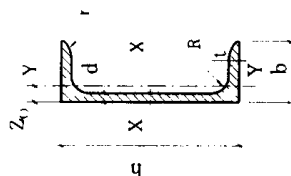
R - Bán kính lượn trong
r - Bán kính lượn cánh
W - Mômen kháng uốn (cản)

S - Mômen tĩnh nửa mặt cắt
I - Mômen quán tính
i - Bán kính quán tính

Số hiệu	Kích thước, mm							Diện tích mặt cắt ngang, cm ²	Khối lượng 1m chiều dài, kg	Đại lượng tra cứu cho trục					
										X - X			Y - Y		
	h	b	d	t	R	r	I _x , cm ⁴			W _x , cm ³	i _x , cm	S _x , cm ³	I _y , cm ⁴	W _y , cm ³	I _y , cm
10	100	55	4,5	7,2	7,0	2,5	12,0	9,46	198	39,7	4,06	23,0	17,9	6,49	1,22
12	120	64	4,8	7,3	7,5	3,0	14,7	11,50	350	58,4	4,88	33,7	27,9	8,72	1,33
14	140	73	4,9	7,5	8,0	3,0	17,4	13,70	572	81,7	5,73	46,8	41,9	11,50	1,55
16	160	81	5,0	7,8	8,5	3,5	20,2	15,90	873	109,0	6,57	62,3	58,6	14,50	1,70
18	180	90	5,1	8,1	9,0	3,5	23,4	18,40	1290	143,0	7,42	81,4	82,6	18,40	1,88
18	180	100	5,1	8,3	9,0	3,5	25,4	19,90	1430	159,0	7,51	89,8	114,0	22,80	2,12
20	200	100	5,2	8,4	9,5	4,0	26,8	21,00	1840	184,0	8,28	104,0	115,0	23,10	2,07
20a	200	110	5,2	8,6	9,5	4,0	28,9	22,70	2030	203,0	8,37	114,0	155,0	28,20	2,32
22	220	110	5,4	8,7	10,0	4,0	30,6	24,00	2550	232,0	9,13	131,0	157,0	28,60	2,27
22a	220	120	5,4	8,9	10,0	4,0	32,8	25,80	2790	254,0	9,22	143,0	206,0	34,30	2,50
24	240	115	5,6	9,5	10,5	4,0	34,8	27,30	3460	289,0	9,97	163,0	198,0	34,50	2,37
24a	240	125	5,6	9,8	10,5	4,0	37,5	29,40	3800	317,0	10,10	178,0	260,0	41,60	2,63
27	270	125	6,0	9,8	11,0	4,5	40,2	31,50	5010	371,0	11,20	210,0	260,0	41,50	2,54
27a	270	135	6,0	10,2	11,0	4,5	43,2	33,90	5500	407,0	11,30	229,0	337,0	50,00	2,80
30	300	135	6,5	10,2	12,0	5,0	46,5	36,50	7080	472,0	12,30	268,0	337,0	49,90	2,69
30a	300	145	6,5	10,7	12,0	5,0	49,9	39,20	7780	518,0	12,50	292,0	436,0	60,10	2,95
33	330	140	7,0	11,2	13,0	5,0	53,8	42,20	9840	597,0	13,50	339,0	419,0	59,90	2,76
36	360	145	7,5	12,3	14,0	6,0	61,9	48,60	13380	743,0	14,70	423,0	516,0	71,10	2,89
40	400	155	8,3	13,0	15,0	6,0	72,6	57,00	19062	953,0	16,20	545,0	667,0	86,10	3,03
45	450	160	9,0	14,2	16,0	7,0	84,7	66,50	27696	1231,0	18,10	708,0	808,0	101,00	3,09
50	500	170	10,0	15,2	17,0	7,0	100,0	78,50	39727	1589,0	19,90	919,0	1043,0	123,00	3,23
55	550	180	11,0	16,5	18,0	7,0	118,0	92,60	55962	2035,0	21,80	1181,0	1356,0	151,00	3,39
60	600	190	12,0	17,8	20,0	8,0	138,0	108,00	76806	2560,0	23,60	1491,0	1725,0	182,00	3,54

Chú thích: 1- Khối lượng 1m chiều dài tính theo kích thước danh nghĩa với khối lượng riêng của thép bằng 7,85kg/dm³.

2- Ký hiệu qui ước thép chữ I, ví dụ thép chữ I có chiều cao 300 là I 30 TCVN 1655:1975.

Bảng H.4. Thép cán dạng chữ C (Trích theo TCVN 1654 : 1975)

h - Chiều cao

b - Chiều rộng cánh

d - Chiều dày bụng (thân)

t - Chiều dày trung bình của cánh (chân)

R - Bán kính lượn trong

r - Bán kính lượn cánh (chân)

I - Mômen quán tính

i - Bán kính quán tính

W - Mômen kháng uốn (cản)

S - Mômen tĩnh nửa mặt cắt

Z₀ - Khoảng cách từ trọng tâm đến mép ngoài của bụng (thân)

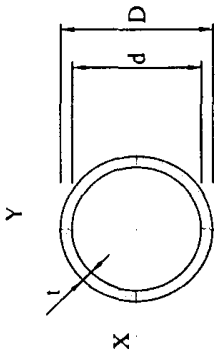
Số hiệu	Kích thước, mm						Diện tích mặt cắt ngang,cm ²	Khối lượng 1m chiều dài,kg	Đại lượng tra cứu cho trục						Z ₀ , cm	
									X - X			Y - Y				
	h	b	d	t	R	r			I _x , cm ⁴	W _x , cm ³	i _x , cm	S _x , cm ³	I _y , cm ⁴	W _y , cm ³		i _y , cm
5	50	32	4,4	7,0	6,0	2,5	6,16	4,84	22,8	9,1	1,92	5,59	5,61	2,75	0,954	1,16
6,5	65	36	4,4	7,2	6,0	2,5	7,51	5,90	48,6	15,0	2,54	9,00	8,70	3,68	1,080	1,24
8	80	40	4,5	7,4	6,5	2,5	8,98	7,05	89,4	22,4	3,16	13,30	12,80	4,75	1,190	1,31
10	100	46	4,5	7,6	7,0	3,0	10,90	8,59	174,0	34,8	3,99	20,40	20,40	6,46	1,370	1,44
12	120	52	4,8	7,8	7,5	3,0	11,30	10,40	304,0	50,6	4,78	29,60	31,20	8,52	1,530	1,54
14	140	58	4,9	8,1	8,0	3,0	15,60	12,30	491,0	70,2	5,60	40,80	45,40	11,00	1,700	1,67
14	140	60	4,9	8,7	8,0	3,0	17,00	13,30	545,0	77,8	5,66	45,10	57,50	13,30	1,840	1,87
16	160	64	5,0	8,4	8,5	3,5	18,10	14,20	747,0	93,4	6,42	54,10	63,30	13,80	1,870	1,80
16	160	68	5,0	9,0	8,5	3,5	19,50	15,30	823,0	103,0	6,49	59,40	78,80	16,40	2,010	2,00
18a	180	70	5,1	8,7	9,0	3,5	20,70	16,30	1090,0	121,0	7,24	69,80	86,00	17,00	2,040	1,94
18	180	74	5,1	9,3	9,0	3,5	22,20	17,40	1190,0	132,0	7,32	76,10	105,00	20,00	2,180	2,13
20	200	76	5,2	9,0	9,5	4,0	23,40	18,40	1520,0	152,0	8,07	87,80	113,00	20,50	2,200	2,07
20a	200	80	5,2	9,7	9,5	4,0	25,20	19,80	1670,0	167,0	8,15	95,90	139,00	24,20	2,350	2,28
22	220	82	5,4	9,5	10,0	4,0	26,70	21,00	2110,0	192,0	8,89	110,00	151,00	25,10	2,370	2,21
22a	220	87	5,4	10,2	10,0	4,0	28,80	22,60	2330,0	212,0	8,99	121,00	187,00	30,00	2,550	2,46
24	240	90	5,6	10,0	10,5	4,0	30,60	24,00	2900,0	242,0	9,73	139,00	208,00	31,60	2,600	2,42
24a	240	95	5,6	10,7	10,5	4,0	32,90	25,80	3180,0	265,0	9,84	151,00	254,00	37,20	2,780	2,67
27	270	95	6,0	10,5	11,0	4,5	35,20	27,70	4160,0	308,0	10,90	178,00	262,00	37,30	2,730	2,47
30	300	100	6,5	11,0	12,0	5,0	40,50	31,80	5810,0	387,0	12,00	224,00	327,00	43,60	2,840	2,52
33	336	105	7,0	11,7	13,0	5,0	46,50	36,50	7980,0	484,0	13,10	281,00	410,00	51,80	2,970	2,59
36	360	110	7,5	12,6	14,0	6,0	53,40	41,90	10820,0	601,0	14,20	350,00	513,00	61,70	3,100	2,68
40	400	115	8,0	13,5	15,0	6,0	61,50	48,30	15220,0	761,0	15,70	444,00	642,00	73,40	3,230	2,75

Chú thích:

- 1- Diện tích mặt cắt ngang, khối lượng 1m chiều dài được tính theo kích thước danh nghĩa và khối lượng riêng của thép lấy bằng 7,85kg/dm³
- 2- Ký hiệu qui ước thép chữ F, ví dụ thép chữ E có chiều cao 300 là □ 30 TCVN 1655:1975.

Bảng H.5. Thép ống Việt Nam VINAPIPE

D - Đường kính ngoài I - Mômen quán tính
 d - Đường kính trong W - Mômen kháng uốn
 t - Chiều dày ống i - Bán kính quán tính

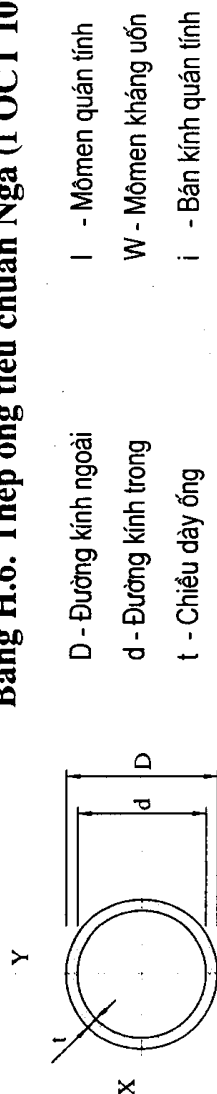


Kích thước, mm		Khối lượng 1m chiều dài, kg	Diện tích mặt cắt ngang, cm ²	Đại lượng tra cứu			Kích thước, mm			Khối lượng 1m chiều dài, kg	Diện tích mặt cắt ngang, cm ²	Đại lượng tra cứu		
d	D	t		I _x = I _y cm ⁴	W _x = W _y cm ³	i _x = i _y cm	d	D	t			I _x = I _y cm ⁴	W _x = W _y cm ³	i _x = i _y cm
15	18,0	1,5	0,736	0,266	0,296	0,59	50	53,6	1,8	2,59	2,9	9,819	3,664	1,83
	18,8	1,9	0,914	0,364	0,387	0,60		54,0	2,0	2,87	3,3	11,040	4,089	1,84
	19,0	2,0	0,947	0,391	0,411	0,60		55,2	2,6	3,69	4,3	14,869	5,387	1,86
	20,2	2,6	1,210	0,568	0,562	0,63		55,8	2,9	4,08	4,8	16,879	6,050	1,87
20	23,0	1,5	0,940	0,587	0,511	0,76	65	57,2	3,6	5,03	6,1	21,829	7,633	1,90
	23,6	1,8	1,110	0,736	0,624	0,77		69,0	2,0	3,65	4,2	23,601	6,841	2,37
	24,2	2,1	1,280	0,897	0,741	0,78		70,0	2,5	4,53	5,3	30,181	8,623	2,39
	24,6	2,3	1,380	1,010	0,822	0,79		70,8	2,9	5,23	6,2	35,652	10,071	2,40
	25,2	2,6	1,560	1,192	0,946	0,80		71,4	3,2	5,71	6,9	39,879	11,171	2,41
25	28,0	1,5	1,190	1,098	0,784	0,94	80	72,2	3,6	6,43	7,8	45,683	12,655	2,43
	28,6	1,8	1,420	1,364	0,954	0,95		85,0	2,5	5,31	6,5	55,079	12,960	2,92
	29,0	2,0	1,570	1,552	1,070	0,96		85,8	2,9	6,14	7,5	64,845	15,115	2,93

Bảng H.5. (kết thúc)

Kích thước, mm			Khối lượng 1m chiều dài, kg	Diện tích mặt cắt ngang, cm ²	Đại lượng tra cứu			Kích thước, mm			Khối lượng 1m chiều dài, kg	Diện tích mặt cắt ngang, cm ²	Đại lượng tra cứu		
d	D	t			$I_x = I_y$ cm ⁴	$W_x = W_y$ cm ³	$i_x = i_y$ cm	d	D	t			$I_x = I_y$ cm ⁴	$W_x = W_y$ cm ³	$i_x = i_y$ cm
25	29,6	2,3	1,790	2,0	1,847	1,284	0,97	80	86,4	3,2	6,72	8,4	72,352	16,748	2,94
	30,2	2,6	1,980	2,3	2,162	1,432	0,98		87,2	3,6	7,56	9,5	82,606	18,946	2,96
	31,4	3,2	2,410	2,8	2,849	1,815	1,00		88,0	4,0	8,37	10,6	93,147	21,170	2,97
32	35,0	1,5	1,520	1,6	2,215	1,266	1,18	100	105,0	2,5	6,87	8,0	105,598	20,114	3,62
	35,6	1,8	1,810	1,9	2,732	1,535	1,20		106,4	3,2	8,74	10,4	138,044	25,941	3,65
	36,0	2,0	2,000	2,1	3,092	1,718	1,20		107,2	3,6	9,75	11,7	157,106	29,311	3,66
	36,6	2,3	2,260	2,5	3,655	1,997	1,21		108,0	4,0	10,9	13,1	176,640	32,711	3,68
	37,2	2,6	2,540	2,8	4,246	2,283	1,23		108,6	4,3	11,6	14,1	191,578	35,281	3,69
	38,4	3,2	3,100	3,5	5,516	2,873	1,25		109,0	4,5	12,2	14,8	201,675	37,005	3,70
40	43,0	1,5	1,730	2,0	4,208	1,957	1,47	115	120,0	2,5	7,68	9,2	159,051	26,508	4,15
	43,6	1,8	2,070	2,4	5,163	2,368	1,48		120,6	2,8	8,58	10,4	179,525	29,772	4,16
	44,0	2,0	2,290	2,6	5,822	2,646	1,49		122,2	3,6	11,0	13,4	235,637	38,566	4,19
	45,0	2,5	2,830	3,3	7,549	3,355	1,50		124,0	4,5	13,6	16,9	301,452	48,621	4,23
	45,8	2,9	3,230	3,9	9,016	3,937	1,52		125,0	5,0	15,0	18,8	339,276	54,284	4,24
	46,4	3,2	3,570	4,3	10,169	4,383	1,53								

Bảng H.6. Thép ống tiêu chuẩn Nga (ГОСТ 10704 - 91)



Kích thước, mm		Khối lượng 1m chiều dài, kg	Diện tích mặt cắt ngang, cm ²	Đại lượng tra cứu			Khối lượng 1m chiều dài, kg	Diện tích mặt cắt ngang, cm ²	Đại lượng tra cứu		
D	d	t		I _x = I _y cm ⁴	W _x = W _y cm ³	i _x = i _y cm			I _x = I _y cm ⁴	W _x = W _y cm ³	i _x = i _y cm
63,5	56,5	3,5	6,6	29,74	9,37	2,12	5,2	6,6	849,63	101,15	5,76
	55,9	3,8	7,1	31,82	10,02	2,11	5,6	7,1	926,20	110,26	5,47
70,0	63,0	3,5	7,3	40,46	11,56	2,35	5,7	7,3	1001,33	119,21	5,73
	62,4	3,8	7,9	43,36	12,34	2,34	6,2	7,9	1147,31	136,59	5,69
	62,0	4,0	8,3	45,25	12,93	2,34	6,5	8,3	1921,92	175,52	7,56
76,0	68,0	4,0	9,0	58,71	15,45	2,55	7,1	9,0	2274,68	207,73	7,53
	67,0	4,5	10,1	64,73	17,04	2,53	7,9	10,1	2617,37	239,03	7,49
	66,0	5,0	11,1	70,50	18,55	2,51	8,8	11,1	2950,17	269,42	7,46
	65,0	5,5	12,2	76,00	20,00	2,50	9,6	12,2	3273,28	298,93	7,43
89,0	81,0	4,0	10,7	96,51	21,69	3,01	8,4	10,7	3586,89	327,57	7,39
	80,0	4,5	11,9	106,73	23,96	2,99	9,4	11,9	4186,35	382,32	7,33
	79,0	5,0	13,2	116,58	26,20	2,97	10,4	13,2	5168,09	378,61	9,40
	78,0	5,5	14,4	126,06	28,33	2,96	11,3	14,4	5841,30	427,93	9,37

Bảng H.6. (kết thúc)

Kích thước, mm			Khối lượng 1m chiều dài, kg	Diện tích mặt cắt ngang, cm ²	Đại lượng tra cứu			Kích thước, mm			Khối lượng 1m chiều dài, kg	Diện tích mặt cắt ngang, cm ²	Đại lượng tra cứu		
D	d	t			$I_x = I_y$ cm ⁴	$W_x = W_y$ cm ³	$i_x = i_y$ cm	D	d	t			$I_x = I_y$ cm ⁴	$W_x = W_y$ cm ³	$i_x = i_y$ cm
102	94,0	4,0	9,7	12,3	147,83	28,99	3,47	325	311,0	7,0	54,9	69,0	8828,28	543,28	11,24
	93,0	4,5	10,8	13,8	163,85	32,13	3,45		309,0	8,0	62,5	79,6	9996,09	615,14	11,20
	92,0	5,0	12,0	15,2	179,36	35,17	3,43		307,0	9,0	70,1	89,3	11141,46	658,63	11,17
108	100	4,0	10,3	13,1	176,64	32,71	3,68	426	414,0	6,0	62,1	79,1	17429,05	818,27	14,84
	99,0	4,5	11,5	14,6	195,95	36,29	3,66		412,0	7,0	72,3	92,1	20190,51	947,91	14,81
	98,0	5,0	12,7	16,2	214,68	39,76	3,64		410,0	8,0	82,5	105,0	22912,05	1075,68	14,77
	97,0	5,5	13,9	17,7	232,85	43,12	3,63		408,0	9,0	92,6	117,8	25594,05	1201,60	14,74
114	105,0	4,5	12,2	15,5	231,99	40,70	3,87	530	406,0	10,0	102,6	130,6	28236,90	1325,68	14,70
	104,0	5,0	13,4	17,1	254,36	44,63	3,86		512,0	9,0	115,6	147,2	49908,13	1883,33	18,41
	103,0	5,5	14,7	18,7	276,09	48,44	3,84		510,0	10,0	128,2	163,3	55138,72	2080,71	18,38
127	118,0	4,5	13,6	17,3	324,71	51,14	4,33	630	508,0	11,0	140,8	179,3	60308,13	2275,78	18,34
	117,0	5,0	15,0	19,2	356,50	56,14	4,31		506,0	12,0	153,3	195,2	65416,85	2468,56	18,31
	116,0	5,5	16,5	21,0	387,50	61,03	4,30		616,0	7,0	107,5	136,9	66359,50	2106,65	22,01
133	124,0	4,5	14,3	18,2	374,75	56,35	4,54	630	614,0	8,0	122,7	156,2	75477,77	2396,12	21,98
	123,0	5,0	15,8	20,1	411,67	61,91	4,53		612,0	9,0	137,8	175,5	84507,37	2682,77	21,94
	122,0	5,5	17,3	22,0	447,70	67,30	4,51		610,0	10,0	152,9	194,7	93448,88	2966,63	21,91
152	143,0	4,5	16,4	20,8	566,60	74,55	5,21	630	608,0	11,0	167,9	213,8	10230,287	3247,71	21,87
	142,0	5,0	18,1	23,1	623,32	82,02	5,20		606,0	12,0	182,9	232,9	11106,992	3526,03	21,84
	141,0	5,5	19,9	25,3	678,85	89,32	5,18								

PHỤ LỤC K

BẢNG CHUYỂN ĐỔI ĐƠN VỊ KỸ THUẬT CŨ SANG HỆ ĐƠN VỊ SI

Đại lượng	Đơn vị kỹ thuật cũ	Hệ đơn vị SI		Quan hệ chuyển đổi
		Tên gọi	Ký hiệu	
Lực	kG T (tấn)	Niuton kilô Niuton mêga Niuton	N kN MN	$1 \text{ kG} = 9,81 \text{ N} \approx 10 \text{ N}$ $1 \text{ kN} = 1\,000 \text{ N}$ $1 \text{ T} = 9,81 \text{ kN} \approx 10 \text{ kN}$ $1 \text{ MN} = 1\,000\,000 \text{ N}$
Mômen	kGm Tm	Niuton mét kilô Niuton mét	Nm kNm	$1 \text{ kGm} = 9,81 \text{ Nm} \approx 10 \text{ Nm}$ $1 \text{ Tm} = 9,81 \text{ kNm} \approx 10 \text{ kNm}$
Ứng suất; Cường độ; Mô đun đàn hồi	kG/mm ² kG/cm ² T/m ²	Niuton/mm ² Pascan Mêga Pascan	N/mm ² Pa MPa	$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2 \approx 0,1 \text{ kG/m}^2$ $1 \text{ kPa} = 1\,000 \text{ Pa} = 1\,000 \text{ N/m}^2 = 100 \text{ kG/m}^2$ $1 \text{ MPa} = 1\,000\,000 \text{ Pa} = 1000 \text{ kPa} \approx 100\,000 \text{ kG/m}^2$ $= 10 \text{ kG/cm}^2$ $1 \text{ MPa} = 1 \text{ N/mm}^2$ $1 \text{ kG/mm}^2 = 9,81 \text{ N/mm}^2$ $1 \text{ kG/cm}^2 = 9,81 \times 10^4 \text{ N/m}^2 \approx 0,1 \text{ MN/m}^2 = 0,1 \text{ MPa}$ $1 \text{ kG/m}^2 = 9,81 \text{ N/m}^2 = 9,81 \text{ Pa} \approx 10 \text{ N/m}^2 = 1 \text{ daN/m}^2$

MỤC LỤC

	Trang
Lời giới thiệu	3
Chương 1: Giới thiệu chung	
1.1. Mục đích của tài liệu hướng dẫn thiết kế kết cấu thép theo "TCXDVN 338:2005.Kết cấu thép - Tiêu chuẩn thiết kế"	5
1.2. Phạm vi dùng	5
1.3. Nội dung chính của tài liệu	5
1.4. Về các Tiêu chuẩn thiết kế kết cấu thép do Việt Nam ban hành	6
1.5. Các ký hiệu chung dùng trong TCXDVN 338 : 2005	8
Chương 2: Cơ sở lí thuyết thiết kế kết cấu thép theo trạng thái giới hạn	
2.1. Phương pháp thiết kế kết cấu thép theo trạng thái giới hạn	13
2.2. Cường độ tiêu chuẩn và cường độ tính toán	16
2.3 Tải trọng và tác động	16
2.4 Biến dạng cho phép của kết cấu	17
Chương 3: Vật liệu thép dùng cho kết cấu và liên kết	
3.1. Vật liệu thép dùng cho kết cấu	19
Chương 4: Tính toán các cấu kiện	
4.1. Cấu kiện chịu kéo đúng tâm	29
4.2. Cấu kiện chịu uốn	32
4.3. Cấu kiện chịu nén đúng tâm	62
4.4. Cấu kiện chịu nén uốn, kéo uốn	75
4.5. Chiều dài tính toán và độ mảnh giới hạn	94
4.6. Kết cấu thép tấm	105
Chương 5: Tính toán liên kết	
5.1. Liên kết hàn	111
5.2. Liên kết bulông	132
Chương 6: Tính toán kết cấu thép theo độ bền mỏi	
6.1. Sự phá hoại mỏi của kết cấu thép	147
	213

Phụ lục

Phụ lục A. Vật liệu dùng cho kết cấu thép và cường độ tính toán	153
Phụ lục B. Vật liệu dùng cho liên kết kết cấu thép	157
Phụ lục C. Các hệ số để tính độ bền của các cấu kiện khi kể đến sự phát triển của biến dạng dẻo	163
Phụ lục D. Các hệ số để tính toán ổn định của cấu kiện chịu nén đúng tâm, nén lệch tâm và nén uốn	165
Phụ lục E. Hệ số φ_b để tính ổn định của dầm	186
Phụ lục F. Cách xác định số chu kỳ tải trọng để tính toán về mỏi theo Tiêu chuẩn về cầu trục của Úc AS 14-18	191
Phụ lục G: Các yêu cầu bổ sung khi tính toán dàn thép ống	193
Phụ lục H: Đặc trưng tiết diện của một số loại thép hình	197
Phụ lục K: Bảng chuyển đổi đơn vị kỹ thuật cũ sang hệ đơn vị SI	212

HƯỚNG DẪN THIẾT KẾ KẾT CẤU THÉP THEO TCXDVN 338 : 2005

(Tái bản)

Chịu trách nhiệm xuất bản :

TRỊNH XUÂN SƠN

Biên tập : TRỊNH KIM NGÂN

Chế bản : PHẠM HỒNG LÊ

Sửa bản in : NGUYỄN QUỐC HUNG

Trình bày bìa : VŨ BÌNH MINH

In 300 cuốn khổ 19 x 27cm tại Xưởng in Nhà xuất bản Xây dựng. Giấy chấp nhận đăng ký kế hoạch xuất bản số 21-2010/CXB/669-64/XD ngày 30-12- 2009. Quyết định xuất bản số 292/QĐ-XBXD ngày 6-10-2010. In xong nộp lưu chiểu tháng 10-2010.

HD thiết kế kết cấu thép

6X	FAHASA TTS-NHT NX00039		110040 003318 (26.12.17)
XD			

63,000 VNĐ

Giá : 63.000đ