

# KẾT CẤU THÉP

## CẦU KIẾN CƠ BẢN

GS.TS. Phạm Văn Hội (Chủ biên)

PGS.TS. Nguyễn Quang Viên

ThS. Phạm Văn Tư

KS. Lưu Văn Tường



NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC VÀ KỸ THUẬT

TÀI LIỆU PHỤC VỤ THAM KHẢO NỘI BỘ

GS.TS. PHẠM VĂN HỘI (Chủ biên)  
PGS.TS. NGUYỄN QUANG VIÊN - ThS. PHẠM VĂN TƯ  
KS. LƯU VĂN TƯỜNG

---

# KẾT CẤU THÉP

## CẦU KIẾN CƠ BẢN

(TÁI BẢN LẦN THỨ TƯ)



NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC VÀ KỸ THUẬT  
HÀ NỘI - 2013



## Lời nói đầu

---

Kết cấu thép là loại kết cấu được sử dụng rộng rãi trong tất cả các lĩnh vực của ngành xây dựng: dân dụng, công nghiệp, cầu, thủy công, thêm lục địa,... Trong những năm gần đây ở Việt Nam, cùng với sự lớn mạnh của nền kinh tế nói chung và của ngành xây dựng nói riêng, kết cấu thép càng phát triển rộng rãi, đa dạng, phong phú hơn. Kiến thức về kết cấu thép là cần thiết cho mọi kỹ sư, cán bộ kỹ thuật xây dựng.

**"Kết cấu thép – Cấu kiện cơ bản"** là tập một trong bộ sách chính về kết cấu thép do Bộ môn công trình thép – gỗ của Trường đại học xây dựng biên soạn. Tập hai có tên là **"Kết cấu thép – Công trình dân dụng và công nghiệp"**. Tài liệu này bao gồm các kiến thức cơ bản nhất về kết cấu thép, nhằm giúp cho người học có thể thiết kế được các cấu kiện chính bằng thép như: dầm, cột, giàn, cũng như biết cách sử dụng vật liệu thép và cách cấu tạo, tính toán các loại liên kết trong kết cấu thép. Tập hai của bộ sách dành cho việc thiết kế các công trình bằng thép như: nhà công nghiệp, nhà nhịp lớn, kết cấu thép tấm, nhà cao tầng, tháp, trụ, kết cấu ứng suất trước.

Cuốn **"Kết cấu thép – Cấu kiện cơ bản"** xuất bản lần này là sự kế tục và phát triển của các cuốn sách do Bộ môn công trình thép – gỗ đã biên soạn trước đây. Nội dung của sách được sửa chữa, bổ sung cho phù hợp với tiêu chuẩn thiết kế kết cấu thép mới ban hành" TCXDVN 338:2005. Kết cấu thép – Tiêu chuẩn thiết kế".

Việc biên soạn được phân công như sau:

- GS.TS. Phạm Văn Hội chủ biên, viết chương mở đầu, chương 1 và chương 2.
- PGS. TS. Nguyễn Quang Viên, viết chương 3.
- Giảng viên chính, ThS. Phạm Văn Tư viết chương 4.
- Giảng viên, KS. Lưu Văn Tường viết chương 5.
- Giảng viên, ThS. Hoàng Văn Quang đọc và sửa chữa.

Chúng tôi xin chân thành cảm ơn Gs, Ts. Đoàn Đình Kiến, các bạn đồng nghiệp, các sinh viên ở Trường đại học Xây dựng và các trường đại học Kiến trúc, Thủy lợi, Giao thông, đã góp nhiều ý kiến để sửa chữa và bổ sung vào lần xuất bản này. Chúng tôi cảm ơn Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật đã góp sức cho cuốn sách sớm ra mắt bạn đọc.

Chúng tôi mong tiếp tục nhận được ý kiến đóng góp phê bình sách của bạn đọc.

CÁC TÁC GIẢ

## CÁC KÍ HIỆU CHÍNH SỬ DỤNG TRONG SÁCH

### 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, diện tích tính toán của đường hàn                                |
| $A_{wf}$         | diện tích tính toán của đường hàn góc theo kim loại đường hàn (tiết diện 1–1)                  |
| $A_{ws}$         | diện tích tính toán của đường hàn góc theo kim loại ở biên nóng chảy (tiết diện 2–2)           |
| $A_{bn}$         | diện tích tiết diện thực của bulông                                                            |
| $A_d$            | diện tích tiết diện thanh xiên                                                                 |
| $b$              | chiều rộng                                                                                     |
| $b_f$            | chiều rộng bản cánh                                                                            |
| $b_o$            | chiều rộng phần nhô ra của bản 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 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                                                            |
| $I_m, I_g$       | mômen quán tính của tiết diện thanh cánh và thanh xiên của giàn                                |
| $I_b$            | 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 xoắn                                                                           |
| $I_{tr}$         | mômen quán tính xoắn của ray, dầm                                                              |
| $I_x, I_y$       | các mômen quán tính của tiết diện nguyên đối với các trục tương ứng x–x và y–y                 |
| $I_{nx}, I_{ny}$ | các mômen quán tính của tiết diện thực đối với các trục tương ứng x–x và 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 giàn 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 |
| $W_w$                    | môđun chống uốn (mômen kháng) của bản bụng, của đường hàn                                     |
| $W_{wf}$                 | mômen kháng của đường hàn góc theo kim loại đường hàn (tiết diện 1-1)                         |
| $W_{ws}$                 | mômen kháng của đường hàn góc theo kim loại ở biên nóng chảy (tiết diện 2-2)                  |

### b) Ngoại lực và nội lực

|            |                                                                |
|------------|----------------------------------------------------------------|
| $F, P$     | 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                                                                    |
| $f_y$    | 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 ti đầu (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 theo giới hạn chảy                        |
| $f_{wc}$ | cường độ tính toán của mối hàn đối đầu khi chịu nén                              |
| $f_{wt}$ | cường độ tính toán của mối hàn đối đầu khi chịu kéo                              |

|                               |                                                                                        |
|-------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| $f_{wu}$                      | 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                        |
| $G$                           | môđun trượt                                                                            |
| $\sigma$                      | ứng suất pháp                                                                          |
| $\sigma_{cb}$                 | ứng suất pháp cục bộ                                                                   |
| $\sigma_x, \sigma_y$          | các ứng suất pháp song song với các trục tương ứng x-x, y-y                            |
| $\sigma_{cr}, \sigma_{cb,cr}$ | các ứng suất pháp tới hạn và ứng suất cục bộ tới hạn                                   |
| $\tau$                        | ứng suất tiếp                                                                          |
| $\tau_{cr}$                   | ứng suất tiếp tới hạn                                                                  |

#### d) Kí hiệu các thông số

|                        |                                                                                                                                                        |
|------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $C_1, C_x, C_y$        | 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                                                                                                                         |
| $n$                    | thông số để xác định chiều dài tính toán của cột                                                                                                       |
| $n_a$                  | số lượng bulông trên một nửa liên kết                                                                                                                  |
| $n_c$                  | số mũ                                                                                                                                                  |
| $n_Q$                  | chu kỳ tải trọng                                                                                                                                       |
| $n_v$                  | số lượng các mặt cắt tính toán;                                                                                                                        |
| $\beta_f, \beta_s$     | các hệ số để tính toán đường hàn góc theo kim loại đường hàn và ở biên nóng chảy của thép cơ bản                                                       |
| $\gamma_c$             | hệ số điều kiện làm việc của kết cấu                                                                                                                   |
| $\gamma_b$             | hệ số điều kiện làm việc của liên kết bulông                                                                                                           |
| $\gamma_M$             | hệ số độ tin cậy về cường độ                                                                                                                           |
| $\gamma_Q$             | hệ số độ tin cậy về tải trọng                                                                                                                          |
| $\gamma_u$             | hệ số độ tin cậy trong các tính toán theo sức bền tức thời                                                                                             |
| $\eta$                 | hệ số ảnh hưởng hình dạng của tiết diện                                                                                                                |
| $\lambda$              | độ mảnh của cấu kiện ( $\lambda = l_o / i$ )                                                                                                           |
| $\bar{\lambda}$        | độ mảnh quy ước ( $\bar{\lambda} = \lambda \sqrt{f/E}$ )                                                                                               |
| $\lambda_o$            | 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 ( $\bar{\lambda}_w = (h_w / t_w) \sqrt{f/E}$ )                                                                            |
| $\lambda_x, \lambda_y$ | độ mảnh tính toán của cấu kiện đối với các trục tương ứng x-x, y-y                                                                                     |
| $\mu$                  | hệ số chiều dài tính toán của cột                                                                                                                      |
| $\varphi$              | hệ số uốn dọc                                                                                                                                          |
| $\varphi_b$            | hệ số giảm cường độ tính toán khi mất ổn định dạng uốn xoắn                                                                                            |
| $\varphi_e$            | hệ số giảm cường độ tính toán khi nén lệch tâm, nén uốn                                                                                                |
| $\psi$                 | hệ số để xác định hệ số $\varphi_b$ khi tính toán ổn định của dầm                                                                                      |

## Chương mở đầu

# ĐẠI CƯƠNG VỀ KẾT CẤU THÉP

Khái niệm "Kết cấu thép" (KCT) trong sách này dùng để chỉ những kết cấu chịu lực của các công trình xây dựng làm bằng thép hoặc kim loại khác nói chung. Đó là loại kết cấu công trình quan trọng trong nền xây dựng hiện đại, đặc biệt đối với xây dựng công nghiệp. Kết cấu thép được tạo nên bởi những cấu kiện khác nhau: các thanh, các tấm; chúng liên kết với nhau tạo nên những kết cấu và công trình đáp ứng nhiệm vụ sử dụng.

## §1. ƯU ĐIỂM VÀ KHUYẾT ĐIỂM CỦA KẾT CẤU THÉP

Kết cấu thép có những ưu điểm sau khiến nó được sử dụng rộng rãi trong công trình xây dựng.

- 1. Khả năng chịu lực lớn, độ tin cậy cao.** Kết cấu thép có khả năng chịu lực lớn do vật liệu thép có cường độ lớn, lớn nhất trong các vật liệu xây dựng. Độ tin cậy cao là do cấu trúc thuần nhất của vật liệu, sự làm việc đàn hồi và dẻo của vật liệu thép gần sát nhất với các giả thiết tính toán.
- 2. Trọng lượng nhẹ.** Kết cấu thép nhẹ nhất trong số các kết cấu chịu lực: bê tông cốt thép, gạch đá, gỗ. Để đánh giá phẩm chất "nhẹ" của một vật liệu, người ta thường dùng hệ số  $c$  là tỷ số giữa trọng lượng riêng và cường độ tính toán của nó:  $c = \gamma/f$ . Đối với thép  $c = 3,7 \cdot 10^{-4} 1/m$ , nhẹ hơn gỗ  $c = 5,4 \cdot 10^{-4} 1/m$  và nhiều lần nhẹ hơn bê tông  $c = 2,4 \cdot 10^{-3} 1/m$ .
- 3. Tính công nghiệp hóa cao.** Do sự sản xuất vật liệu (thép cán) hoàn toàn trong các nhà máy luyện kim, và sự chế tạo kết cấu thép được làm chủ yếu trong các nhà máy chuyên ngành, hoặc ít ra thì cũng dùng những loại máy móc thiết bị chuyên dụng. Kết cấu thép thích hợp nhất với điều kiện xây dựng công nghiệp hóa.
- 4. Tính cơ động trong vận chuyển, lắp ráp.** Do trọng lượng nhẹ, độ cứng lớn nên việc vận chuyển và lắp ráp kết cấu thép dễ dàng và nhanh chóng. Kết cấu thép dễ sửa chữa, thay thế, tháo dỡ, di chuyển. Điều này đặc biệt quan

trọng khi cần cải tạo các cơ sở sản xuất cho phù hợp với dây chuyền công nghệ mới, các công trình phải di chuyển khi cần thiết, hoặc để khôi phục sửa chữa như cầu, nhà máy... đã bị hư hỏng, xuống cấp.

5. **Tính kín.** Vật liệu và liên kết kết cấu thép có tính kín không thấm nước, không thấm khí, nên thích hợp nhất cho các công trình bể chứa chất lỏng, chất khí; điều này khó thực hiện đối với các vật liệu khác.

Đồng thời, kết cấu thép cũng có những khuyết điểm gây hạn chế việc sử dụng:

1. **Bị ăn mòn.** Trong môi trường không khí ẩm, nhất là trong môi trường xâm thực, thép bị gỉ, từ gỉ bề mặt cho đến phá hoại hoàn toàn, có thể chỉ sau vài ba năm. Bởi vậy, cần bảo vệ chống ăn mòn cho thép, nhất là ở những nơi ẩm ướt, nơi có hàm lượng các chất ăn mòn cao. Tùy mức độ ăn mòn mà sử dụng các lớp bảo vệ khác nhau cho thép: sơn thông thường, sơn tĩnh điện, mạ kẽm, mạ nhôm, mạ crôm... Chi phí bảo dưỡng KCT là khá cao. Nhôm và một số hợp kim nhôm có khả năng chống gỉ cao; gang cũng là vật liệu chống gỉ tốt.
2. **Chịu lửa kém.** Thép không cháy nhưng ở nhiệt độ  $t = 500 \div 600^{\circ}\text{C}$ , thép chuyển sang dẻo, mất khả năng chịu lực, kết cấu bị sụp đổ dễ dàng. Độ chịu lửa của kết cấu thép thậm chí kém cả kết cấu gỗ dán. Bởi vậy, đối với những công trình nguy hiểm về mặt phòng cháy như: kho chất cháy, nhà ở, nhà công cộng, khung thép nhà cao tầng... thép phải được bọc bằng lớp chịu lửa (bê tông, tấm gốm, sơn phòng lửa...).

## §2. PHẠM VI ỨNG DỤNG

Do các đặc điểm nói trên, kết cấu thép thích hợp với những công trình lớn (nhịp rộng, chiều cao lớn, chịu tải trọng nặng), các công trình cần trọng lượng nhẹ, các công trình cần độ kín không thấm nước hoặc khí. Phạm vi ứng dụng của kết cấu thép rất rộng, có thể chia làm các loại công trình sau:

1. **Nhà công nghiệp,** khung nhà công nghiệp là toàn bộ bằng thép khi nhà cao, cầu trục nặng, hoặc có thể là hỗn hợp cột bê tông cốt thép, giàn và dầm thép.
2. **Nhà nhịp lớn,** là những loại nhà do yêu cầu sử dụng phải có nhịp khá lớn trên 30 – 40 m, như nhà biểu diễn ca nhạc, nhà thi đấu thể dục thể thao, nhà triển lãm, nhà chứa máy bay... dùng kết cấu thép là hợp lý nhất. Có



những trường hợp nhịp đặc biệt lớn, ví dụ trên 100 m thì kết cấu thép là duy nhất áp dụng được. Có thể giảm trọng lượng kết cấu chịu lực nhà nhịp lớn nhờ dùng thép cường độ cao hoặc sử dụng ứng suất trước.

3. **Khung nhà nhiều tầng**, đặc biệt các kiểu nhà dạng tháp ở các thành phố. Khi nhà trên 20 ÷ 30 tầng nội lực trong cột sẽ rất lớn, yêu cầu độ cứng cao, dùng khung thép có lợi hơn khung bê tông cốt thép. Với các nhà siêu cao tầng thì kết cấu thép chịu lực chính là biện pháp duy nhất. Hiện nay đối với nhà cao tầng nên dùng kết cấu liên hợp thép – bê tông (cột thép hình bọc hoặc nhồi bê tông cùng chịu lực, sàn liên hợp dầm thép cùng làm việc với bản sàn bê tông), loại kết cấu này có nhiều ưu điểm khi chịu lực và có khả năng chống cháy tốt.
4. **Cầu đường bộ, cầu đường sắt**, làm bằng thép khi nhịp vừa, nhịp lớn, khi cần thi công nhanh. Cầu treo bằng thép có thể vượt được nhịp rất lớn, trên 1000m.
5. **Kết cấu tháp cao**, như các loại cột điện, cột ăngten vô tuyến, tháp trắc đạc, hoặc một số loại kết cấu đặc biệt như tháp khoan dầu. Sử dụng thép ở đây có lợi vì kết cấu nhẹ, dễ vận chuyển, dễ dựng lắp.
6. **Kết cấu bồn**, như các loại bể chứa dầu, bể chứa khí, các thiết bị của lò cao, của nhà máy hóa chất, nhà máy hóa dầu. Đây là phạm vi ứng dụng đặc biệt có lợi, nhiều khi là duy nhất của kết cấu thép, vì tính kín, chống thấm của KCT, vì khả năng làm việc trong những điều kiện bất lợi về nhiệt độ và áp suất.
7. **Các loại kết cấu di động**, như cần trục, cửa van, gương ăngten parabôn... cần trọng lượng nhẹ để có thể di chuyển, nâng cất được dễ dàng.

Ngày nay KCT còn được ứng dụng trong công trình của một số ngành công nghiệp hiện đại như giàn khoan dầu trên biển, kết cấu lò phản ứng hạt nhân v.v...

Nói chung, đối với nhiều nước trên thế giới, thép là vật liệu quý và hiếm, vì thép cần dùng cho mọi ngành của nền kinh tế quốc dân. Do đó trong những trường hợp có thể, người ta vẫn tìm cách thay thế thép bằng những vật liệu khác như bê tông cốt thép, gỗ dán. Ở nước ta, phần lớn thép xây dựng là phải nhập ngoại nên việc sử dụng kết cấu thép hay bằng vật liệu khác lại càng phải cân nhắc, so sánh trong từng trường hợp cụ thể. Xét riêng về mặt giá vật liệu thì kết cấu thép đắt hơn kết cấu bê tông cốt thép khoảng ba lần: một đơn vị thể tích thép đắt hơn một đơn vị thể tích bê tông khoảng 70 lần, trong

khi cường độ thép cao hơn bê tông khoảng hơn 20 lần. Tuy nhiên, nếu xét toàn diện giá thành xây dựng, kể cả hiệu quả kinh tế của việc thi công nhanh thì nhiều trường hợp dùng kết cấu thép có lợi hơn ngay cả với những công trình nhỏ. Các Tiêu chuẩn thiết kế của nước ta chưa có quy định cụ thể về việc sử dụng thép trong kết cấu xây dựng; việc chọn dùng vật liệu nào là do người thiết kế và thi công quyết định trong từng trường hợp trên cơ sở so sánh toàn diện các phương án thiết kế.

### §3. YÊU CẦU ĐỐI VỚI KẾT CẤU THÉP

Khi thiết kế KCT, cũng phải đạt được các yêu cầu sau đây như đối với mọi loại kết cấu khác.

1. *Yêu cầu về sử dụng*, đó là yêu cầu cơ bản nhất đối với người thiết kế.

- Kết cấu thép phải thỏa mãn các yêu cầu chịu lực đề ra do điều kiện sử dụng : phải đảm bảo độ an toàn như kết cấu phải đủ độ bền, độ cứng, đủ sức chịu mọi tải trọng sử dụng.
- Kết cấu phải đảm bảo độ bền lâu thích đáng của công trình. Hình dạng cũng như cấu tạo của kết cấu phải sao cho tiện bảo dưỡng, tiện kiểm tra và sơn bảo vệ.
- Đẹp cũng là một yêu cầu sử dụng, đặc biệt quan trọng đối với nhà công cộng có kết cấu lộ ra ngoài. Kết cấu thép dễ có hình dạng hài hòa, thanh thoát.

2. *Yêu cầu về kinh tế* thể hiện ở các mặt

- Tiết kiệm vật liệu. Thép cần được sử dụng một cách hợp lý, đúng chỗ; thay thế thép bằng vật liệu khác khi có thể được. Việc tiết kiệm vật liệu còn đạt được bằng cách chọn giải pháp kết cấu hợp lý, dùng thép cường độ cao, dùng phương pháp tính toán tiên tiến.
- Tính công nghệ khi chế tạo. Kết cấu được thiết kế sao cho phù hợp với việc chế tạo công xưởng và việc sử dụng những thiết bị chuyên dùng hiện có, do đó làm giảm công chế tạo.
- Lắp ráp nhanh. Kết cấu thép được chế tạo trong nhà máy, sau đó phải dễ dàng vận chuyển đến nơi dựng lắp, bằng cách chia thành từng đơn vị vận chuyển hay để nguyên cả kết cấu. Tại công trường, kết cấu phải có thể được khuếch đại và lắp ráp nhanh chóng với những thiết bị có sẵn; liên kết khi dựng lắp phải dễ dàng thuận tiện.

Một vấn đề quan trọng để đạt các yêu cầu này là điển hình hóa kết cấu thép. Điển hình hóa có nhiều mức độ: điển hình hóa từng cấu kiện như xà gồ, dầm, giàn; điển hình hóa cả kết cấu như cột điện, bể chứa, nhịp cầu, khung nhà v.v... Điển hình hóa có những mặt lợi giống như đối với các kết cấu khác, đó là:

- Về mặt thiết kế, tránh được thiết kế lặp lại; có thể nghiên cứu các dạng kết cấu tối ưu, lợi về các mặt vật liệu và giá thành.
- Về mặt chế tạo : có thể chế tạo hàng loạt lớn những cấu kiện, do đó tạo điều kiện sử dụng những thiết bị chuyên dùng, tăng được năng suất lao động và giảm thời gian chế tạo. Việc dựng lắp cũng nhanh chóng dễ dàng hơn do có thể sử dụng những thiết bị dựng lắp thích hợp cho loại kết cấu được dùng nhiều lần, hoàn thiện được quá trình lắp.

Ở nước ta, đã có nhiều bộ thiết kế điển hình kết cấu thép, áp dụng trong cả nước hoặc trong từng ngành như: vì kèo mái nhà, cột đường dây tải điện, cầu khẩu độ nhỏ, bể chứa dầu v.v...



# 1

## VẬT LIỆU VÀ SỰ LÀM VIỆC CỦA KẾT CẤU THÉP

### §1.1. THÉP XÂY DỰNG

#### 1. Phân loại thép xây dựng

Thép và gang là hợp kim đen của sắt (Fe) và cacbon (C), ngoài ra còn một số các chất khác có tỉ lệ không đáng kể, như oxy (O), photpho (P), silic (Si), v.v...

Từ quặng sắt, thành phần chính là sắt oxit ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) người ta luyện trong lò cao được gang là hợp kim Fe và C, trong đó lượng C chiếm trên 1,7%. Qua lò luyện thép để khử bớt C trong gang, người ta được thép. Có rất nhiều loại thép khác nhau do thành phần hóa học, do phương pháp luyện, phương pháp rót. Dưới đây ta chỉ xét một số phương pháp phân loại chính đối với thép dùng trong xây dựng.

##### a. Theo thành phần hóa học của thép

Thép được chia ra:

- **Thép cacbon**, với lượng cacbon dưới 1,7%, không có các thành phần hợp kim khác. Tùy theo hàm lượng cacbon, lại chia ra: thép cacbon cao, thép cacbon vừa, thép cacbon thấp.

Thép xây dựng là loại thép cacbon thấp, với lượng cacbon dưới 0,22%, đó là loại thép mềm, dẻo, dễ hàn. Thép cacbon vừa và cao là loại thép sử dụng trong các ngành công nghiệp khác.

- **Thép hợp kim**, có thêm các thành phần kim loại khác như crôm (Cr), niken (Ni), mangan (Mn), ... nhằm nâng cao chất lượng thép như tăng độ bền, tăng tính chống gỉ. Thép hợp kim thấp là thép có tỉ lệ của tổng các nguyên tố phụ thêm dưới 2,5%, đây là loại thép được dùng trong xây dựng. Thép hợp kim vừa và hợp kim cao không dùng làm kết cấu xây dựng.



## b. Theo phương pháp luyện thép

Luyện thép từ gang là nhằm khử bớt cacbon và các chất phụ khác trong gang để đưa về hàm lượng yêu cầu đối với thép. Có hai phương pháp luyện chính: bằng lò quay và bằng lò bằng.

- **Luyện bằng lò quay.** Lò quay là một cái bầu, quay xung quanh một trục nằm ngang. Không khí được thổi qua đáy vào nước gang lỏng để oxy hóa các hợp chất cần khử của gang (C, Si, Mn, P). Tùy theo thành phần của quặng làm gang có ít hay nhiều photpho, mà cấu tạo lò quay khác nhau: lò Bessmer – lớp lót lò là gạch silic, có tính axit ; lò Thomas – lớp lót lò là đolômit có tính kiềm, nên có thể dùng vôi để khử photpho của gang.

Luyện thép bằng lò quay có năng suất cao, thời gian luyện mỗi mẻ chỉ chừng 30 phút, nhưng chất lượng thép không tốt vì nitơ của không khí hòa tan trong thép thành những bọt khí, làm thép giòn. Ngoài ra không thể khử hết hoàn toàn photpho là thành phần có hại làm cho thép bị già.

Phương pháp luyện bằng lò quay tiên tiến mới được áp dụng trong mấy chục năm gần đây là lò thổi oxy. Oxy nguyên chất được thổi với áp lực cao từ trên xuống. Ngoài ra có thể trộn thêm bột vôi để khử photpho trong gang. Thép được sản xuất bằng phương pháp này có chất lượng tốt tương đương như thép lò bằng, nhưng rẻ hơn nhiều vì năng suất cao, thời gian luyện nhanh (40 – 50 phút) nên ngày càng được sử dụng nhiều. Thực tế hiện nay, các lò Bessmer và lò Thomas hầu như không được dùng nữa.

- **Luyện bằng lò bằng (lò Martin).** Trong lò bằng, nước gang lỏng được trộn lẫn với thép vụn và được đốt nóng bằng khí đốt (hoặc bằng điện trong lò điện). Các chất của gang được oxy hóa bằng các sắt oxyt trong thép vụn. Thời gian luyện một mẻ từ 8 đến 12 giờ, do lâu như vậy nên năng suất thấp, giá thành thép cao. Nhưng thép có chất lượng tốt cấu trúc thuần nhất và thành phần thép có thể điều chỉnh được trong quá trình luyện. Với các phương pháp sản xuất hiện nay, không cần phân biệt thép lò bằng hay thép lò quay thổi oxy, hai loại thép này coi như có chất lượng tương đương.

### c. Theo mức độ khử oxy

Thép lỏng từ lò luyện được rót vào các khuôn và để nguội cho kết tinh lại. Tùy theo phương pháp để lắng nguội, chia ra:

- **Thép sôi:** thép khi nguội, bốc ra nhiều bọt khí như oxy, cacbon oxyt (nên trông như sôi); các bọt khí tạo thành những chỗ không đồng nhất trong cấu trúc của thép, khiến thép sôi có chất lượng không tốt, dễ bị phá hoại giòn và bị lão hóa.
- **Thép tĩnh (thép lặng):** thép tĩnh trong quá trình nguội không có hơi bốc ra cuộn cuộn như thép sôi, do đã được thêm những chất khử oxy như silic, nhôm, mangan. Những chất này khử hết oxy có hại và những tạp chất phi kim loại khác tạo nên xỉ nổi trên mặt.

Phần xỉ này được loại bỏ đi, thép còn lại trở nên đồng nhất, chịu lực động tốt, khó bị phá hoại giòn. Thép tĩnh đắt hơn thép sôi, được dùng trong những công trình quan trọng hoặc chịu tải trọng động lực.

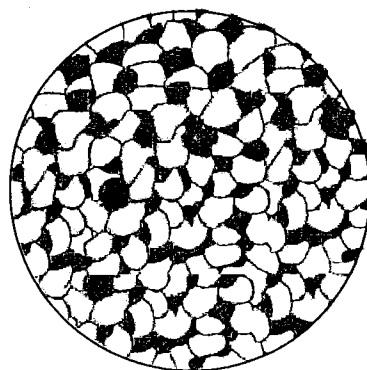
- **Thép nửa tĩnh (nửa lặng):** là trung gian giữa thép tĩnh và thép sôi, trong đó oxy không được khử hoàn toàn. Về chất lượng thép cũng như về giá thành, thép nửa tĩnh là trung gian giữa hai loại thép trên.

## 2. Cấu trúc và thành phần hóa học của thép

### a. Cấu trúc của thép

Thép có cấu trúc tinh thể. Quan sát một mẫu thép mỏng dưới kính hiển vi, ta thấy thép gồm có hai tổ chức chính (hình 1.1):

- 1) Ferit, các hạt màu sáng, chiếm tới 99% thể tích (ferit là sắt nguyên chất), có tính mềm và dẻo;
- 2) Xementit là hợp chất sắt cacbua ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ), rất cứng và giòn.



Hình 1.1. Cấu trúc của thép carbon thấp

Ở thép carbon thấp, xementit hỗn hợp với ferit thành peclit, là lớp mỏng màu thẫm nằm giữa các hạt ferit. Cường độ peclit là trung gian giữa xementit và ferit. Các lớp peclit bao quanh các hạt ferit mềm dẻo như một màng đàn hồi, quyết định sự làm việc dưới tải trọng và các tính chất dẻo của thép. Thép càng nhiều cacbon thì màng peclit càng dày và thép càng cứng, kém dẻo.

## b. Thành phần hóa học của thép

Thép cacbon, ngoài hai thành phần chính là sắt và cacbon, còn có các thành phần phụ khác như mangan, silic, lưu huỳnh, photpho.

- Mangan (Mn), làm tăng cường độ và độ dai của thép, làm giảm ảnh hưởng có hại của lưu huỳnh, nên thường được cho thêm vào thép lỏng, nhất là trong thép hợp kim. Nếu hàm lượng Mn lớn quá 1,5%, thép trở nên giòn.
- Silic (Si) là chất khử oxy nên cũng được cho thêm vào đối với thép tĩnh. Silic làm tăng cường độ của thép nhưng làm giảm tính chống gỉ, tính dễ hàn, cho nên hàm lượng cũng cần hạn chế, ví dụ không quá 0,3% đối với thép cacbon thấp.

Những hợp chất có hại, ảnh hưởng xấu đến chất lượng của thép là:

- Photpho (P), làm giảm tính dẻo và độ dai va đập của thép, đồng thời làm thép trở nên giòn nguội (giòn ở nhiệt độ thấp).
- Lưu huỳnh (S) làm cho thép giòn nóng (giòn ở nhiệt độ cao), nên dễ bị nứt khi hàn và rèn.
- Các khí nitơ (N), oxy ( $O_2$ ), trong không khí hòa vào kim loại lỏng và không được khử hết, làm cho thép bị giòn, làm giảm cường độ thép. Do đó, cần phải khử hết các khí này, và ngăn không cho kim loại lỏng tiếp xúc với không khí (ví dụ khi hàn).

Đối với thép hợp kim người ta cho thêm vào thép cacbon các nguyên tố kim loại như đồng (Cu), niken (Ni), crôm (Cr), titan (Ti), vanadi (V), Molipđen (Mo) v.v... làm tăng tính năng cơ học, tăng độ bền chống gỉ của thép.

## 3. Các mác thép dùng trong xây dựng

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 Tiêu chuẩn Việt Nam.

### 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: 1975, gồm hai loại chính: loại thép cacbon thông thường với hàm lượng cacbon từ  $0,14\% \div 0,22\%$ , là thép sôi hoặc nửa tĩnh và thép cacbon thông thường có thêm hàm lượng mangan  $0,8\% \div 1,1\%$ . 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 đảm bảo 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 đảm bảo độ dai va đập; hạng 6 phải đảm bảo độ dai va đập cần thiết sau khi bị hoá già cơ học, hạng 5 phải đảm bảo 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  $2200 - 2700 \text{ daN/cm}^2$  (giá trị lớn nhất ứng với chiều dày  $t \leq 20\text{mm}$ , khi chiều dày thép càng tăng, các đặc trưng cơ học càng giảm), giới hạn bền biến động từ 3300 đến 5400  $\text{daN/cm}^2$  (đã chuyển đơn vị từ  $\text{N/mm}^2$  sang  $\text{daN/cm}^2$ ).

Bảng 1.1 là các đặc trưng cơ học của thép cacbon thấp.

Các ký hiệu trên mác thép có ý nghĩa như sau: CT có nghĩa là cacbon thường, con số đi sau nhân với 10 chỉ độ bền kéo đứt ( $\text{N/mm}^2$ ), chữ s chỉ thép sôi (hoặc  $n$  là nửa tĩnh, nếu là thép tĩnh thì không ghi gì). Thí dụ CT38nMn là thép cacbon thường, có độ bền kéo đứt là  $380\text{N/mm}^2$ , thép nửa tĩnh, có thêm nguyên tố mangan. Trong mác thép, hạng thép được ghi ở cuối cùng, thí dụ CT38n2.

Thép dùng trong kết cấu thép thuộc nhóm C nên ở đầu mác thép có thêm ký hiệu C, thí dụ: CCT34, CCT38, CCT42. Tiêu chuẩn Việt Nam giành riêng cho thép cacbon thấp dùng cho kết cấu thép có số hiệu TCVN 5709:1993 (bảng I.1. phụ lục I). Tiêu chuẩn này không ghi rõ thép sôi, tĩnh, hay nửa tĩnh nữa mà quy định độ dai va đập cho từng loại.

**Bảng 1.1. Thép cacbon TCVN 1765 : 1975**

| Mác thép    | Độ bền kéo $f_u$ ,<br>N/mm <sup>2</sup> | Giới hạn chảy $f_y$ , N/mm <sup>2</sup> ,<br>cho độ dày $t$ , mm |                  |                   | Độ dẫn dài $\varepsilon_0$ , % ,<br>cho độ dày $t$ , mm |                  |        |
|-------------|-----------------------------------------|------------------------------------------------------------------|------------------|-------------------|---------------------------------------------------------|------------------|--------|
|             |                                         | $\leq 20$                                                        | $20 < t \leq 40$ | $40 < t \leq 100$ | $\leq 20$                                               | $20 < t \leq 40$ | $> 40$ |
|             |                                         | 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     |

**b. Thép cường độ khá cao**

Là thép cacbon thấp mang nhiệt luyện hoặc thép hợp kim thấp. Giới hạn chảy 3100 – 4000 daN/cm<sup>2</sup>, giới hạn bền 4500 – 5400 daN/cm<sup>2</sup>. Các thép hợp kim thấp thông dụng cho kết cấu xây dựng lấy theo TCVN 3104: 1979, 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%. Sử dụng thép cường độ khá cao, có thể tiết kiệm vật liệu 20 – 25%. tuy nhiên giá thành cao hơn so với thép cacbon. Các cường độ giới hạn của thép hợp kim thấp cho trong bảng I.2, phụ lục I.

**c. Thép cường độ cao**

Gồm các loại thép hợp kim có nhiệt luyện, giới hạn chảy cao trên 4400 daN/cm<sup>2</sup> và giới hạn bền trên 5900 daN/cm<sup>2</sup> như các mác 16Mn2NV, 12Mn2SiMoV v.v... Dùng thép cường độ cao, tiếp kiệm được vật liệu tới 25 – 30%.

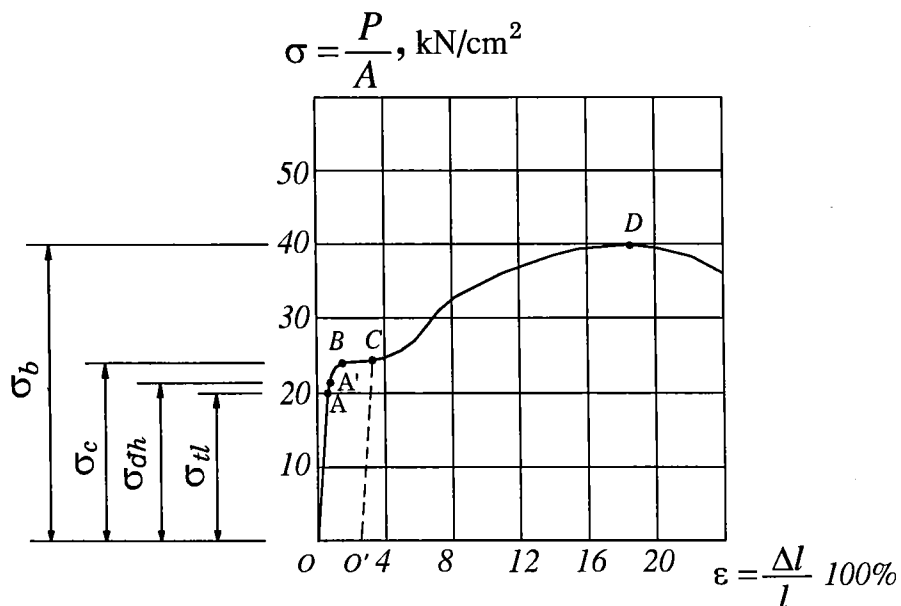
## §1.2. SỰ LÀM VIỆC CỦA THÉP CHỊU TẢI TRỌNG

### 1. Sự làm việc chịu kéo của thép

Sự làm việc chịu kéo là dạng làm việc cơ bản của thép, đặc trưng cho sự chịu lực của thép dưới tải trọng. Qua nghiên cứu sự làm việc chịu kéo của thép, ta có các đặc trưng cơ học chủ yếu của thép như ứng suất giới hạn, biến dạng giới hạn, môđun đàn hồi.

#### a. Biểu đồ ứng suất – biến dạng khi kéo

Kéo một mẫu thép (vuông hoặc tròn) mềm mác CCT38 bằng tải trọng tĩnh tăng dần và vẽ đồ thị quan hệ giữa ứng suất  $\sigma$  và biến dạng tỉ đối  $\varepsilon$ , ta được biểu đồ kéo của thép như trên hình 1.2. Trục tung biểu thị ứng suất  $\sigma = P/A$ ,  $\text{kN/cm}^2$ . Trục hoành biểu thị biến dạng tỉ đối  $\varepsilon = \Delta l/l$ , %, trong đó  $A$ ,  $l$  là diện tích tiết diện ban đầu và chiều dài ban đầu của mẫu ( $l = 5,65\sqrt{A}$ ),  $\Delta l$  là độ dãn dài ứng với từng cấp tải trọng.



Hình 1.2. Biểu đồ kéo của thép cacbon thấp

Đường cong biểu đồ gồm các đoạn sau (hình 1.2):

- Đoạn từ O đến A, tương ứng với ứng suất từ 0 đến khoảng  $2000 \text{ daN/cm}^2$ , là một đường thẳng. Trong giai đoạn này, ứng suất và biến dạng có quan hệ tuyến tính, vật liệu làm việc tuân theo định luật (Hook):  $\sigma = E\varepsilon$ , trong đó môđun đàn hồi  $E$  là hệ số góc của đường thẳng OA. Đối



với thép cacbon thông thường,  $E = 2,06 \cdot 10^6 \text{ daN/cm}^2$ . Giai đoạn này gọi là *giai đoạn tỉ lệ*; ứng suất tương ứng với điểm A gọi là *giới hạn tỉ lệ*  $\sigma_{tl}$ .

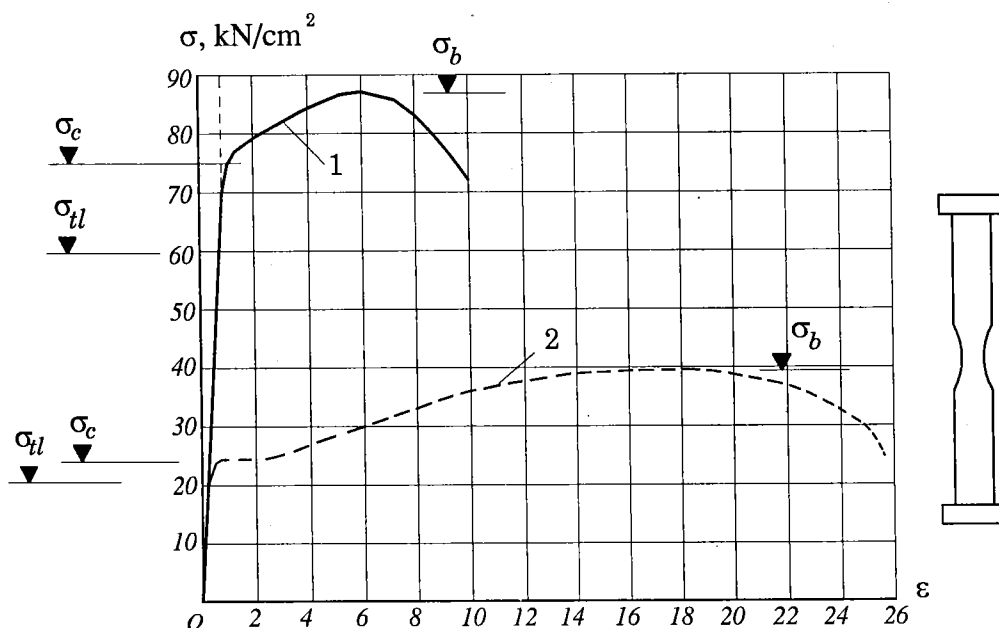
Bên trên điểm A một chút cho tới điểm A', đường thẳng hơi cong đi, không còn giai đoạn tỉ lệ nữa, nhưng thép vẫn làm việc đàn hồi, nghĩa là biến dạng sẽ hoàn toàn mất đi khi không còn tải trọng. Ứng suất tương ứng với điểm A' gọi là *giới hạn đàn hồi*  $\sigma_{dh}$  (ứng với biến dạng dư tương đối khoảng 0,05%), là giới hạn của vùng làm việc đàn hồi của thép. Thực tế,  $\sigma_{dh}$  khác rất ít với  $\sigma_{tl}$ , nên nhiều khi người ta đồng nhất hai giai đoạn làm việc này.

- Đoạn A' – B, là một đường cong rõ rệt. Thép không còn làm việc đàn hồi nữa; môđun đàn hồi  $E$  giảm dần đến bằng 0 ở điểm B, ứng với ứng suất chừng  $2400 \text{ daN/cm}^2$ . Giai đoạn này gọi là *giai đoạn đàn hồi dẻo*.
- Đoạn B – C, hầu như là đoạn nằm ngang, gọi là *giai đoạn chảy dẻo*. Biến dạng vẫn tăng trong khi ứng suất không đổi. Đoạn nằm ngang, ứng với biến dạng từ  $\varepsilon = 0,2\%$  đến  $\varepsilon = 2,5\%$  được gọi là *thêm chảy*. Ứng suất tương ứng với giai đoạn chảy dẻo gọi là *giới hạn chảy*  $\sigma_c$ . Nếu tại điểm C mà ta bỏ tải trọng, biểu đồ giảm tải sẽ đi theo đường CO' song song với đường gia tải đàn hồi, thép có biến dạng dư OO'.
- Đoạn C – D, quá giai đoạn chảy (quá trị số biến dạng  $\varepsilon = 2,5\%$  đối với CCT38), thép không chảy nữa và lại có thể chịu được lực. Thép như được gia cường, nên giai đoạn này gọi là *giai đoạn củng cố*. Quan hệ ứng suất – biến dạng là một đường cong thoải, biến dạng tăng nhanh theo kiểu biến dạng dẻo. Mẫu thép bị thất lại, tiết diện thu nhỏ và bị kéo đứt ứng với ứng suất ở điểm D, khoảng  $4000 \text{ daN/cm}^2$  đối với CCT38. Ứng suất này gọi là *giới hạn bền*. Biến dạng lúc kéo đứt rất lớn,  $\varepsilon_o = 20\% \dots 25\%$ .

Cơ chế làm việc như trên của thép có thể được giải thích bằng cấu trúc hạt của thép và cấu trúc tinh thể của các hạt ferit. Hạt ferit gồm các tinh thể với các mạng nguyên tử đều đặn hoặc có khuyết tật (gọi là các biến vị). Những biến vị này làm cho các phần của tinh thể ferit khi chịu lực dễ bị trượt tương đối với nhau. Thép gồm các hạt ferit với các màng peclit cứng hơn, nên cường độ của thép cao hơn nhiều so với ferit nguyên chất. Trong giai đoạn chịu lực trước giới hạn tỉ lệ, biến dạng của thép chỉ là do biến dạng hồi phục được của các mạng nguyên tử. Sau đó, trong một số hạt ferit có các biến vị, xuất hiện sự trượt; biến dạng tăng nhanh hơn ứng suất (giai đoạn đàn – dẻo). Ứng suất tăng nữa, sự trượt trong các hạt riêng lẻ phát triển thành những đường

trượt, làm thép bị biến dạng lớn với ứng suất không đổi, tạo nên thêm chảy. Sau giai đoạn chảy, màng peclit xung quanh các tinh thể ferit bắt đầu ngăn cản sự biến dạng của các tinh thể này; đường trượt phải cắt qua các màng peclit. Do đó, phải tăng thêm ứng suất, tương ứng với giai đoạn củng cố. Tiết diện bị thót lại, ứng suất tập trung ở chỗ thót, và khi thắng được lực tương tác nguyên tử thì thép đứt.

Hiện tượng thêm chảy chỉ có ở thép có hàm lượng cacbon từ 0,1 đến 0,3%. Nếu ít cacbon, các màng peclit không đủ để giữ các hạt ferit bị trượt. Nếu nhiều cacbon, màng peclit nhiều và dày sẽ luôn luôn ngăn cản không cho các hạt ferit trượt. Biểu đồ  $\sigma - \epsilon$  của thép cacbon cao (hình 1.3) hầu như không có thêm chảy: sau giai đoạn đàn hồi, đường cong chuyển ngay sang giai đoạn củng cố. Ở các loại thép này, giới hạn chảy được quy ước lấy ứng với biến dạng dư là  $\epsilon_{du} = 0,2\%$ .



Hình 1.3. Biểu đồ kéo của thép cacbon cao

1- biểu đồ kéo của thép cacbon cao;  
2- biểu đồ kéo của thép cacbon thấp (CCT38).

## b. Các đặc trưng cơ học chủ yếu của thép

Biểu đồ kéo của thép cho ta các đặc trưng cơ học chủ yếu của thép, được quy định trong tiêu chuẩn đối với mỗi mác thép. Đó là: giới hạn tỉ lệ  $\sigma_{tl}$ , giới hạn chảy  $\sigma_c$ , giới hạn bền  $\sigma_b$ , biến dạng khi đứt  $\epsilon_0$  và môđun đàn hồi.

Quan trọng nhất là *giới hạn chảy*  $\sigma_c$  – đó là ứng suất lớn nhất có thể có trong vật liệu, không được phép vượt qua (ứng với  $\varepsilon_{du} = 0,2\%$ ). Tất nhiên với ứng suất làm việc ở trong giai đoạn củng cố, kết cấu vẫn chưa bị phá hoại nhưng đã bị biến dạng quá mức, không thể sử dụng được nữa.

Ở trạng thái ứng suất làm việc nhỏ dưới giới hạn chảy  $\sigma_c$ , thép làm việc đàn hồi hoặc đàn hồi dẻo, với biến dạng nhỏ nên các giả thuyết của sức bền vật liệu có thể áp dụng được. Tùy thuộc trị số của  $\sigma$ , có thể áp dụng các lý thuyết tính toán:

- khi  $\sigma \leq \sigma_{el}$  – dùng lý thuyết đàn hồi, với  $E = \text{const}$ ;
- khi  $\sigma_{el} < \sigma < \sigma_c$  – dùng lý thuyết đàn hồi dẻo, với  $E \neq \text{const}$ ;
- khi  $\sigma = \sigma_c$  – dùng lý thuyết dẻo. Lý thuyết này xét sự làm việc của vật liệu trong vùng chảy dẻo, với trị số giới hạn của ứng suất là  $\sigma_c$ . Vật liệu thép được tận dụng cao nhất.

*Giới hạn bền*  $\sigma_b$ , còn gọi là cường độ tức thời của thép, xác định một vùng an toàn dự trữ giữa trạng thái làm việc và trạng thái phá hoại. Đối với thép không có giới hạn chảy thì  $\sigma_b$  là trị số giới hạn cho ứng suất làm việc, tuy nhiên là được chia cho một hệ số an toàn tương ứng. Ngay với thép cacbon thấp, có thêm chảy, khi mà kết cấu được phép có biến dạng lớn, người ta có thể lấy ứng suất làm việc vượt quá  $\sigma_c$  và bằng giới hạn bền  $\sigma_b$  chia cho một hệ số an toàn nhất định.

*Biến dạng khi đứt*  $\varepsilon_0$ , đặc trưng cho độ dẻo và độ dai của thép. Đối với thép cacbon thấp,  $\varepsilon_0$  rất lớn, tới 200 lần biến dạng khi làm việc đàn hồi. Kết cấu thép có một lượng dự trữ an toàn lớn như vậy nên có thể nói kết cấu thép không bao giờ bị phá hoại ở trạng thái dẻo. Chỉ có thể có phá hoại kết cấu khi thép đã chuyển thành giòn điều mà ta sẽ xét ở điểm 2 dưới đây.

Ba trị số  $\sigma_c$ ,  $\sigma_b$  (mà trong "TCXDVN 338:2005. Kết cấu thép. Tiêu chuẩn thiết kế" ký hiệu là  $f_y$  và  $f_u$ ), và  $\varepsilon_0$  là ba chỉ tiêu cơ bản mà thép phân nhóm theo tính chất cơ học phải đảm bảo (xem bảng 1.1).

Sự làm việc chịu nén của thép không khác sự làm việc chịu kéo: cùng môđun đàn hồi, cùng giới hạn tỉ lệ, giới hạn đàn hồi và giới hạn chảy. Chỉ có trong giai đoạn củng cố thì không xác định được  $\sigma_b$  ở thép cacbon thấp, mẫu thép bị phình ra và tiếp tục chịu được tải lớn. Do đó, trong giai đoạn làm việc đàn hồi và đàn hồi dẻo, các đặc trưng cơ học tính toán của thép chịu kéo và chịu nén lấy giống nhau.

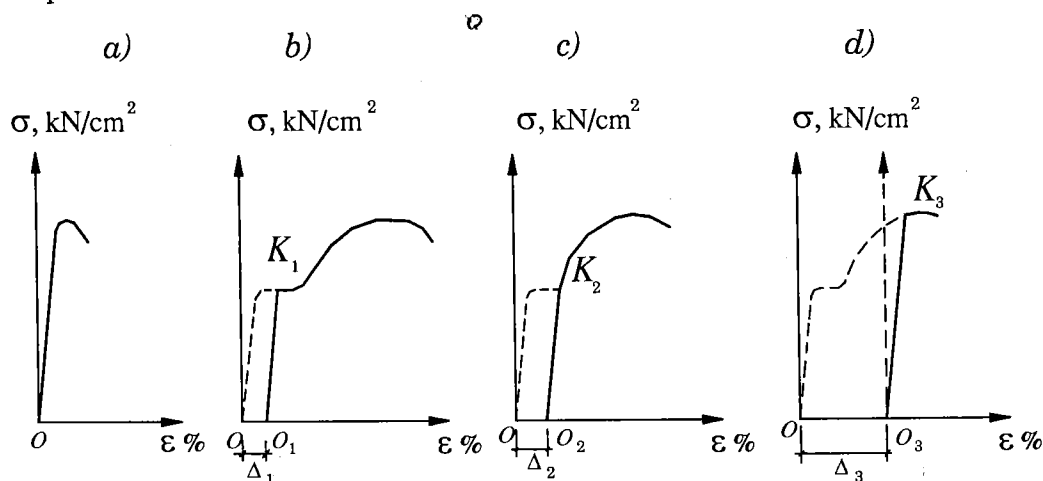
## 2. Sự phá hoại giòn của thép

Sự phá hoại giòn là sự phá hoại ở biến dạng nhỏ, kèm theo vết nứt, vật liệu làm việc trong giai đoạn đàn hồi (hình 1.4,a). Sự phá hoại xảy ra là do bị đứt, lực tương tác giữa các phân tử bị mất đi, các phân tử bị xa rời nhau. Ngược lại, sự phá hoại dẻo là sự phá hoại với biến dạng lớn, vật liệu làm việc trong giai đoạn dẻo, xảy ra do sự trượt giữa các phân tử (hạt tinh thể) khi mà ngoại lực lớn hơn lực chống trượt giữa các phân tử.

Đối với thép, lực chống trượt giữa các phân tử nhỏ hơn lực kéo đứt giữa chúng, nên luôn luôn chỉ có phá hoại dẻo đối với thép. Trong những điều kiện làm việc khác nhau, thép có thể chuyển sang giòn, ví dụ: thép bị hóa già, thép bị biến cứng, thép chịu ứng suất cục bộ, v.v... Trong thực tế, kết cấu thép chỉ có thể bị phá hoại (đứt gãy, sụt đổ...) khi có sự phá hoại giòn của thép. Nếu thép vẫn ở trạng thái làm việc dẻo thì kết cấu thép không thể bị phá hoại được. Kết cấu chỉ có thể mất khả năng chịu lực do có biến dạng dẻo quá lớn mà thôi. Khi thiết kế và chế tạo kết cấu thép, cần tránh những nguyên nhân làm cho thép bị phá hoại giòn. Dưới đây là các nguyên nhân gây phá hoại giòn:

### a. Hiện tượng cứng nguội

Đó là hiện tượng tăng tính giòn của thép sau khi bị biến dạng dẻo ở nhiệt độ thường. Thép sau khi đã bị biến dạng dẻo thì trở nên cứng hơn, giới hạn đàn hồi cao hơn và biến dạng khi phá hoại nhỏ hơn, thực tế đã trở nên một loại thép khác.



Hình 1.4. Sự cứng nguội của thép

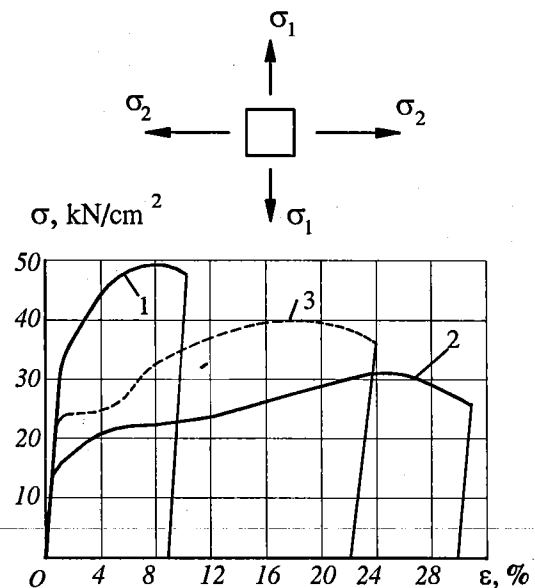
Mang kéo một mẫu thép đến điểm  $K_1$  nằm trong thềm chảy, rồi bỏ tải thì biểu đồ  $\sigma$ - $\epsilon$  sẽ đi xuống theo đường  $K_1O_1$  song song với  $OK$  và có biến dạng

dư  $\Delta_1$  (hình 1.4b). Nếu kéo tiếp đường cong lại đi lên theo  $O_1K_1$ , nhưng thêm chảy bị ngăn lại. Cách làm tương tự nhưng kéo mẫu đến điểm  $K_2$  nằm cuối thêm chảy, cho giảm tải rồi lại tăng tải như lần một thì biểu đồ đi theo đường  $O_2K_2$ , mẫu có biến dạng dư  $\Delta_2 > \Delta_1$ , thêm chảy không còn nữa, tính dẻo của thép đã giảm hẳn (hình 1.4c). Nếu kéo mẫu đến quá biến dạng dẻo, điểm  $K_3$  nằm trong giai đoạn củng cố rồi mới bỏ tải thì thép sau đó làm việc hầu như hoàn toàn trong giai đoạn đàn hồi, với biến dạng phá hoại nhỏ (hình 1.4d), biểu đồ phá hoại giống như phá hoại giòn ở hình 1.4a. *Hiện tượng tăng giới hạn đàn hồi của thép do bị biến dạng dẻo trước gọi là hiện tượng cứng nguội*. Sự cứng nguội tuy làm tăng cường độ của thép nhưng làm cho thép giòn nên coi là bất lợi đối với kết cấu thép (chỉ trong một số trường hợp khi mà việc giảm độ giãn phá hoại không quan trọng lắm, thì có thể sử dụng sự cứng nguội để tăng cường độ thép, ví dụ sợi thép kéo nguội dùng làm cốt của cấu kiện bê tông cốt thép). Sự cứng nguội xảy ra khi gia công nguội các cấu kiện: uốn nguội, cắt bằng máy cắt, đột lỗ. Để tránh hiện tượng trên có những quy định riêng khi gia công nguội kết cấu thép.

#### b. Thép chịu trạng thái ứng suất phức tạp – sự tập trung ứng suất

Ở trạng thái ứng suất phẳng, khi có ứng suất chính theo hai phương ( $\sigma_1 \neq 0$ ,  $\sigma_2 \neq 0$  và cùng dấu) ta thấy giới hạn tỉ lệ tăng cao, không còn thêm chảy, và độ giãn phá hoại giảm đi nhiều (đường cong 1, hình 1.5). Ngược lại, khi  $\sigma_1$  và  $\sigma_2$  khác dấu nhau, thép trở nên dẻo hơn (đường cong 2, hình 1.5). Hiện tượng này có thể giải thích bằng lý thuyết ứng suất tiếp. Ở trạng thái ứng suất phẳng, ứng suất tiếp lớn nhất bằng nửa hiệu số các ứng suất chính.

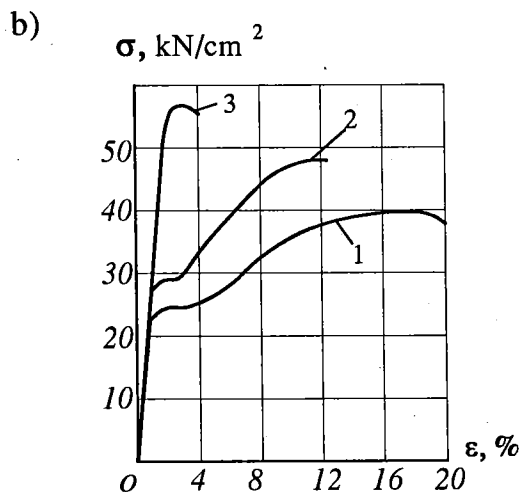
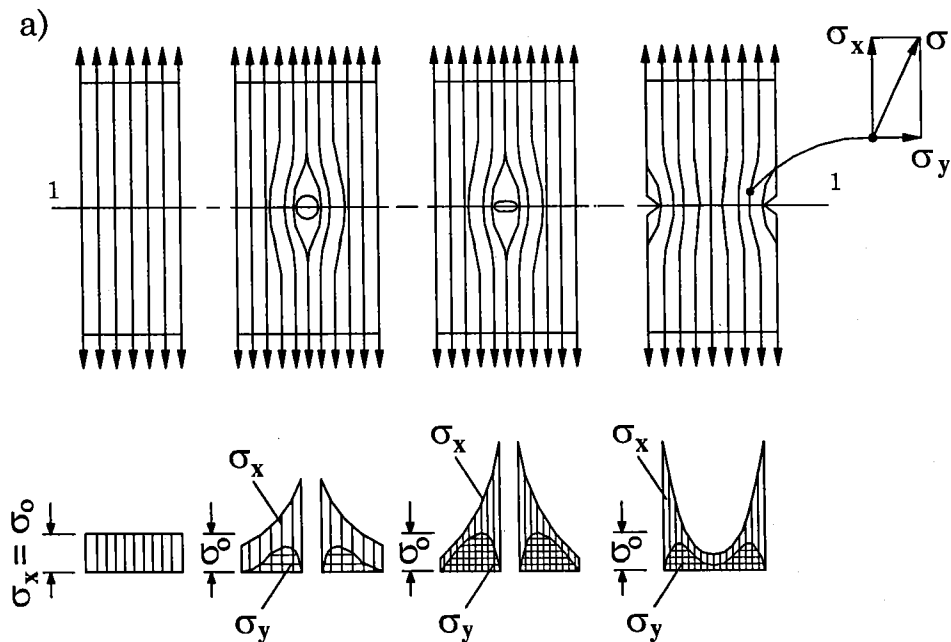
Sự chảy của vật liệu, chủ yếu là do sự trượt dưới tác dụng của ứng suất tiếp. Khi  $\sigma_1$  và  $\sigma_2$  cùng dấu,  $\tau$



Hình 1.5. Biểu đồ chịu lực của thép ở trạng thái ứng suất phức tạp

- 1-  $\sigma_1$  và  $\sigma_2$  cùng dấu; 2-  $\sigma_1$  và  $\sigma_2$  khác dấu;  
3- biểu đồ tiêu chuẩn khi kéo một trục.

có trị số nhỏ, nên sự chảy trở nên khó hơn, giới hạn chảy tăng lên, tính dẻo giảm đi. Khi  $\sigma_1 = \sigma_2$  sẽ có  $\tau = 0$ , sự chảy không xuất hiện, sự phá hoại là dạng đứt giòn.



**Hình 1.6. Sự tập trung ứng suất**

a) Các quỹ đạo ứng suất khi kéo; b) Biểu đồ thay đổi làm việc của thép  
 1- không có sự tập trung ứng suất (làm việc đàn hồi dẻo); 2- có sự tập trung ứng suất;  
 3- có sự tập trung ứng suất do rãnh cắt (làm việc giòn).

Một trường hợp hay gặp của trạng thái ứng suất phức tạp là trường hợp ứng suất cục bộ, gây bởi các biến đổi đột ngột của hình dạng cấu kiện. Nếu cấu kiện có lỗ khoét, rãnh cắt, đường lực (tức là quỹ đạo các ứng suất chính) sẽ



không còn song song đều đặn, mà uốn cong xung quanh chỗ cắt (hình 1.6). Đường lực tập trung chúng tỏ ứng suất chỗ đó tăng cao, còn đường lực uốn cong chúng tỏ có ứng suất hai phương. Ứng suất lớn nhất ở vị trí lỗ cắt có thể nhiều lần lớn hơn ứng suất trung bình tại tiết diện đó. Sự phân bố không đều của ứng suất được thể hiện bằng hệ số tập trung ứng suất:

$$k = \sigma_{\max} / \sigma_0,$$

trong đó:  $\sigma_{\max}$  – ứng suất lớn nhất ở chỗ tập trung ứng suất;

$\sigma_0$  – ứng suất trung bình  $\sigma_0 = P/A_0$ ;

$P$  – lực tác dụng;

$A_0$  – diện tích tiết diện giảm yếu.

Giá trị của  $k$  phụ thuộc mức độ thay đổi đột ngột của giảm yếu, với giảm yếu hình tròn  $k = 1,5 \div 3$ , với thay đổi dạng khác nhọn  $k = 6 \div 9$ .

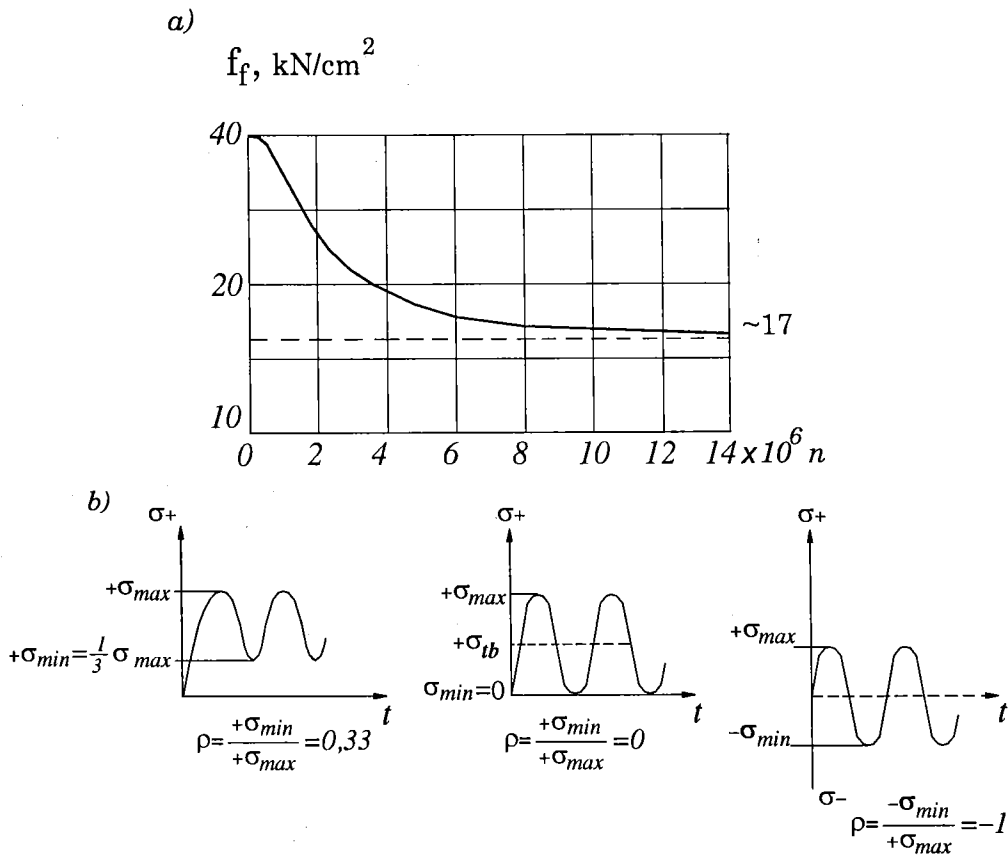
Sự tồn tại trạng thái ứng suất theo hai phương  $\sigma_x$  và  $\sigma_y$  làm cho thép trở nên giòn.

Nói chung, sự tập trung ứng suất không nguy hiểm nếu thép chỉ chịu tải trọng tĩnh. Với biến dạng dẻo, ứng suất cục bộ sẽ được phân đồng đều trên tiết diện, và như vậy không ảnh hưởng đến tải trọng phá hoại. Trong tính toán thường không kể đến hiện tượng ứng suất cục bộ này. Tuy nhiên, với kết cấu chịu tải trọng động lực thì sự tập trung ứng suất là nguy hiểm vì làm cho thép dễ bị phá hoại giòn.

### c. Thép chịu tải trọng lặp

Khi thép chịu tải trọng lặp đi lặp lại nhiều lần (vài triệu lần) nó có thể bị phá hoại ở ứng suất nhỏ hơn giới hạn bền. Người ta gọi đó là sự mỏi của thép. Sự phá hoại về mỏi mang tính chất phá hoại giòn, thường xảy ra đột ngột và kèm theo vết nứt. Ứng suất phá hoại mỏi của thép gọi là cường độ mỏi. Cường độ mỏi  $f_f$  phụ thuộc vào số chu kỳ lặp (thông thường ổn định với số lần lặp khoảng  $6 \times 10^6$  với mẫu trơn nhẵn và  $2 \times 10^6$  với mẫu có dạng phức tạp và tính chất thay đổi của tải trọng, được đặc trưng bởi tỉ số giữa ứng suất nhỏ nhất và lớn nhất cùng với dấu của chúng  $\rho = \sigma_{\min}/\sigma_{\max}$  (hình 1.7). Khi  $\rho$  có giá trị từ 0 đến +1 (ứng suất không đổi dấu)  $f_f$  bằng giới hạn chảy  $\sigma_c$ .

Khi  $\rho = -1$ , tức là chu kỳ biến đổi phản xứng,  $f_f$  chỉ vào khoảng 0,4 giới hạn bền hay 0,75 giới hạn chảy. Giá trị của  $f_f$  cho trong bảng I.3 phụ lục I.



Hình 1.7. Cường độ mỏi

a) quan hệ  $f_f$  và số chu kỳ; b) các đặc trưng biến đổi ứng suất.

Cường độ mỏi còn phụ thuộc vào mức độ tập trung ứng suất, vì vậy tiêu chuẩn thiết kế quy định phải áp dụng những biện pháp cấu tạo làm giảm bớt sự tập trung ứng suất. Khi tính toán kết cấu chịu tải trọng rung động cần đảm bảo  $\sigma_{\max} \leq \alpha f_f \gamma_f$  trong đó  $\alpha$ ,  $\gamma_f$  lần lượt là các hệ số kể đến số chu kỳ tác dụng của tải trọng và trạng thái ứng suất (xem TCXDVN 338:2005).

#### d. Sự hoá già của thép

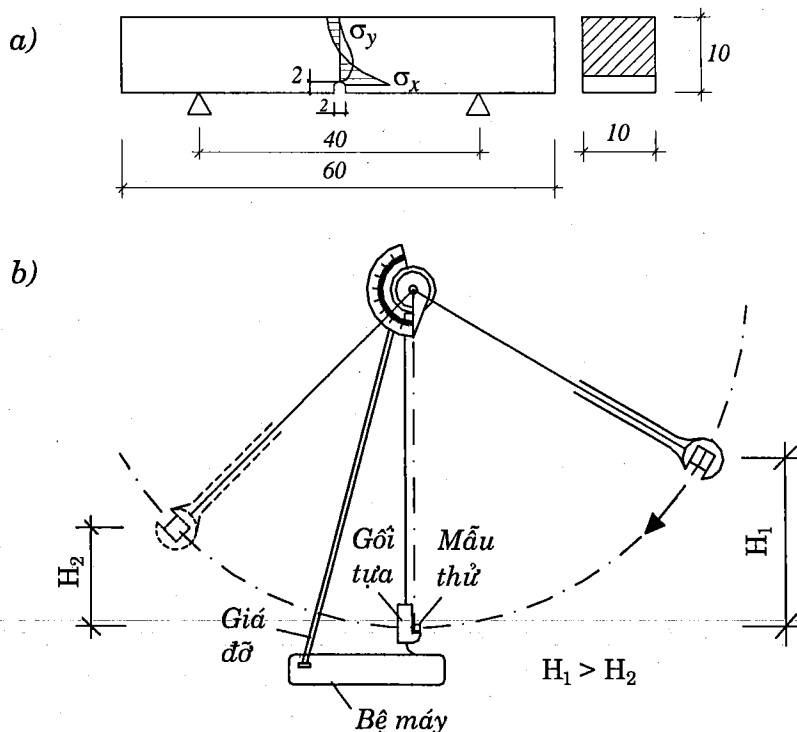
Theo thời gian, tính chất của thép thay đổi dần; giới hạn chảy và giới hạn bền tăng lên, độ giãn và độ dai va đập giảm đi, thép trở nên giòn hơn. Hiện tượng này gọi là sự hoá già của thép. Nguyên nhân là trong các tinh thể ferit vẫn còn các chất C, N hòa tan. Các chất này dần dần tách ra và tạo nên các lớp cứng giữa các hạt ferit. Thép trở nên cứng hơn nhưng kém dẻo hơn. Thép sôi có cấu trúc hạt kém thuần nhất, dễ bị lão hóa hơn cả.

Sự lão hóa tự nhiên dù có làm tăng cường độ thép nhưng không được kể đến trong tính toán vì nó đồng thời làm cho thép kém dẻo, tăng giòn.

### e. Ảnh hưởng của nhiệt độ

- **Nhiệt độ dương:** nhiệt độ  $t = 200 \div 300^\circ\text{C}$  tính chất của thép thay đổi rất ít. Nhiệt độ từ  $300 \div 330^\circ\text{C}$  cấu trúc của thép bắt đầu thay đổi, thép trở nên giòn hơn, trên các mặt đứt gãy có cấu trúc hạt lớn. Ở nhiệt độ này không nên cho thép chịu lực rung động, xung kích. Khi nhiệt độ tăng tiếp, giới hạn chảy và bền giảm rất nhanh, nếu ở  $500^\circ\text{C}$  có  $\sigma_c = 1400 \text{ daN/cm}^2$ ,  $\sigma_b = 2500 \text{ daN/cm}^2$  thì chỉ cần ở nhiệt độ  $600^\circ\text{C}$  các giới hạn trên đã giảm rất nhanh:  $\sigma_c = 400 \text{ daN/cm}^2$ ,  $\sigma_b = 500 \text{ daN/cm}^2$ . Nhiệt độ  $t = 600 \div 650^\circ\text{C}$  được gọi là nhiệt độ dẻo, khi đó  $\sigma_c = 0$ ;  $t = 700^\circ\text{C}$  thép có màu đỏ hồng, gọi là hiện tượng quá nhiệt;  $t > 1500^\circ\text{C}$  thép bắt đầu chuyển sang thể lỏng.
- **Nhiệt độ âm:** khi  $t < 0^\circ\text{C}$ ,  $\sigma_c$  tăng nhưng thép giòn hơn;  $t < -10^\circ\text{C}$  tính dẻo của thép giảm rõ rệt;  $t = -45 \div -60^\circ\text{C}$  thép trở nên rất giòn, dễ nứt.

### 3. Độ dai và đập



Hình 1.8. Mẫu thí nghiệm độ dai và đập.

a) hình mẫu thí nghiệm; b) dạng búa thí nghiệm

Để đánh giá mức độ thép dễ chuyển sang giòn và ảnh hưởng của ứng suất tập trung, người ta thí nghiệm để tìm độ dai và đập của thép. Dùng một mẫu

có cắt khác (hình 1.8a), đặt dưới búa đập dạng con lắc (hình 1.8b), nâng con lắc lên để rơi tự do đập gãy mẫu, hiệu số thế năng trước sau khi đập gãy mẫu chính bằng công phá hoại mẫu. Tại tiết diện cắt khác, ứng suất phân bố không đều; tác dụng va chạm làm tăng khả năng vật liệu thép chuyển sang giòn. *Độ dai va đập có giá trị bằng công phá hoại mẫu chia cho diện tích tiết diện mẫu.* Đối với thép cacbon thấp, độ dai va đập ở trong khoảng 70 – 100 Nm/cm<sup>2</sup> (bảng A.3 phụ lục A, TCXDVN 338:2005); đó là một chỉ tiêu cơ học cần phải đảm bảo theo tiêu chuẩn thiết kế.

### §1.3. QUY CÁCH THÉP CÁN DÙNG TRONG XÂY DỰNG

Kết cấu xây dựng được chế tạo từ các thép tấm, thép hình có nhiều loại kích thước khác nhau. Nước ta đã ban hành tiêu chuẩn quốc gia về thép cán nóng + bao gồm các loại thép góc, thép chữ I, thép chữ L, thép tấm, thép tròn, thép vuông, thép dẹt, thép ray. Các quy cách thép hình trong tài liệu này đều được lấy theo TCVN. Khi sử dụng thép của nước ngoài thì phải lấy theo Tiêu chuẩn tương ứng. Khi thiết kế, để đạt hiệu quả kinh tế – kỹ thuật, việc lựa chọn loại thép phải phù hợp với chức năng của từng loại thép hình. Dưới đây là một số thép hình hay dùng để chế tạo kết cấu thép xây dựng.

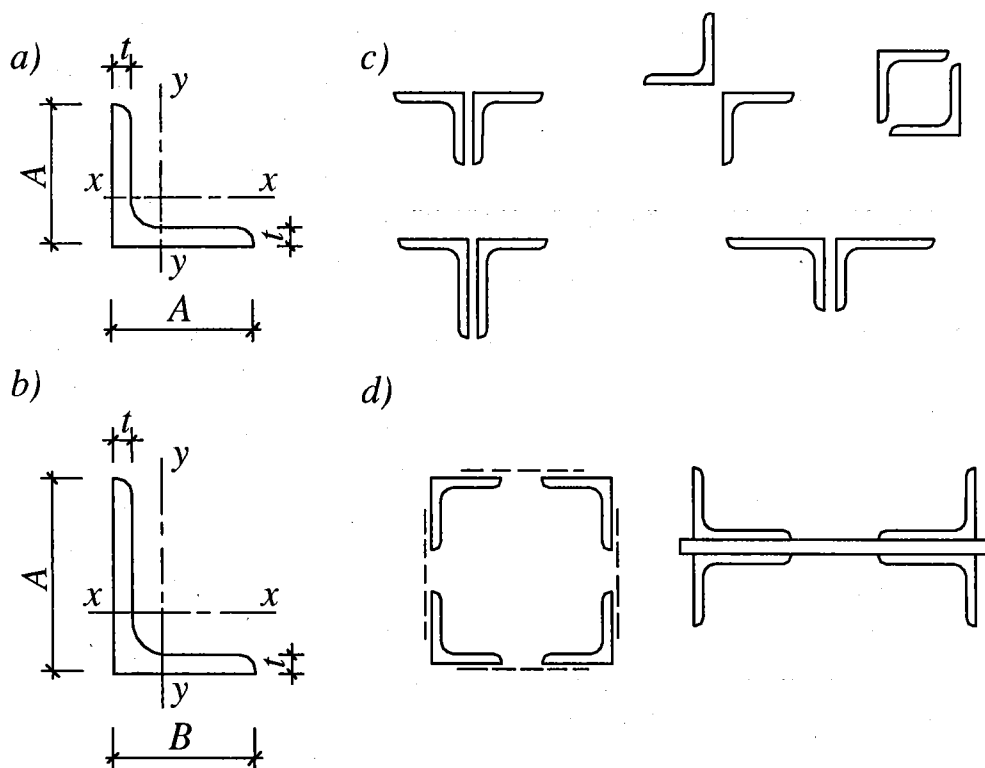
#### 1. Thép hình

##### a. Thép góc

Thép góc có hai loại: *đều cạnh* (hình 1.9a) theo TCVN 1656: 1993 và *không đều cạnh* (hình 1.9b) theo TCVN 1657: 1993, với tỉ lệ hai cạnh khoảng 1:1,5 đến 1:2, trong đó có cả cấp chính xác khi chế tạo (ký hiệu A-cấp chính xác cao; B-cấp chính xác thường). Ký hiệu thép góc như sau, ví dụ:

- Thép góc đều cạnh kích thước 40 × 40 × 4 mm, cấp chính xác B ghi là L 40 × 40 × 4B TCVN 1656–1993 (có thể ghi tắt L40 × 4 khi đã thống nhất chung dùng TCVN và cấp chính xác).
- Thép góc không đều cạnh kích thước 63 × 40 × 4 mm, cấp chính xác B ghi là L 63 × 40 × 4B TCVN 1657–1993; trong đó hai số trên là bề rộng hai cánh, số sau cùng là bề dày cánh, tính bằng mm (có thể ghi tắt L 63 × 40 × 4).

Thép góc đều cạnh gồm 50 loại tiết diện từ nhỏ nhất là  $L20 \times 20 \times 3$  đến lớn nhất là  $L250 \times 250 \times 35$ . Thép góc không đều cạnh gồm 72 loại tiết diện từ nhỏ nhất là  $L30 \times 20 \times 3$  đến lớn nhất là  $L200 \times 150 \times 25$ .



Hình 1.9. Thép góc và ứng dụng

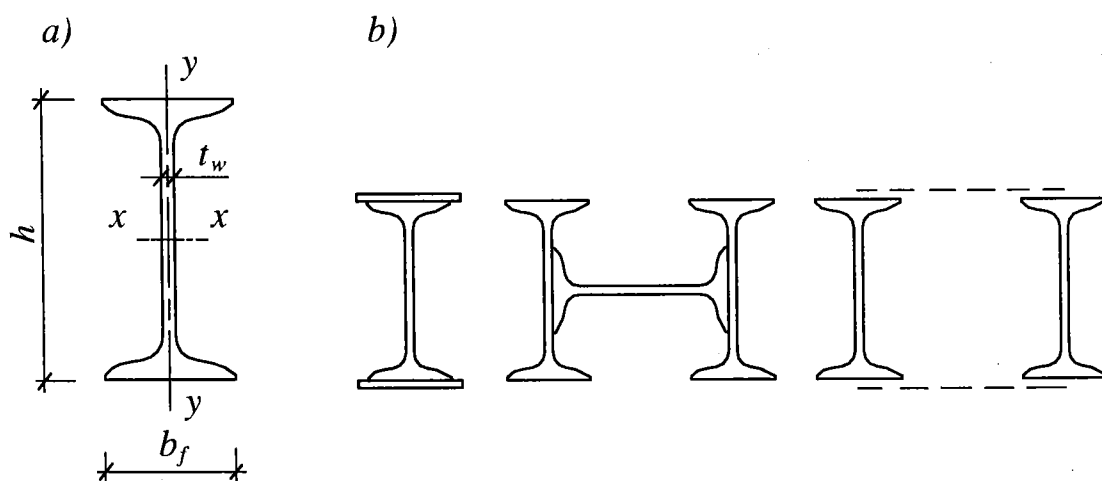
Đặc điểm của tiết diện thép góc là cánh có hai mép song song nhau, tiện cho việc cấu tạo liên kết. Chiều dài thanh thép góc được sản xuất từ 4 đến 13m. Thép góc được dùng làm:

- thanh chịu lực như thanh của giàn: dùng một thép góc hoặc ghép hai thép góc thành tiết diện chữ T, chữ thập (hình 1.9c); các thanh của hệ giằng...;
- liên kết với các loại thép khác để tạo nên các cấu kiện tổ hợp như ghép với các bản thép thành tiết diện cột rỗng, tiết diện dầm chữ I (hình 1.9d).

Thép góc là loại thép cán được dùng nhiều nhất trong kết cấu thép. Quy cách thép góc xem bảng I.4 và I.5 phụ lục I.

## b. Thép chữ I

Theo TCVN 1655–75, gồm có 23 loại tiết diện, chiều cao 100 – 600 mm (hình 1.10a). Kí hiệu: ví dụ I30, con số chỉ số hiệu của thép I, bằng chiều cao của nó tính ra cm. Từ các số hiệu 18 đến 30, còn có thêm tiết diện phụ, cùng chiều cao nhưng cánh rộng và dày hơn, ký hiệu thêm chữ "a", ví dụ I22a. Chiều dài được sản xuất từ 4 đến 13m. Thép chữ I được dùng chủ yếu làm dầm chịu uốn; độ cứng theo phương trục  $x$  rất lớn so với phương trục  $y$ . Cũng có thể dùng thép I làm cột, khi đó nên tăng độ cứng đối với trục  $y$  bằng cách mở rộng thêm cánh, hoặc ghép hai thép I lại (hình 1.10b). Một bất lợi của thép chữ I là bản cánh hẹp và mặt trong vát chéo nên khó liên kết. Quy cách thép I xem bảng I.6 phụ lục I.

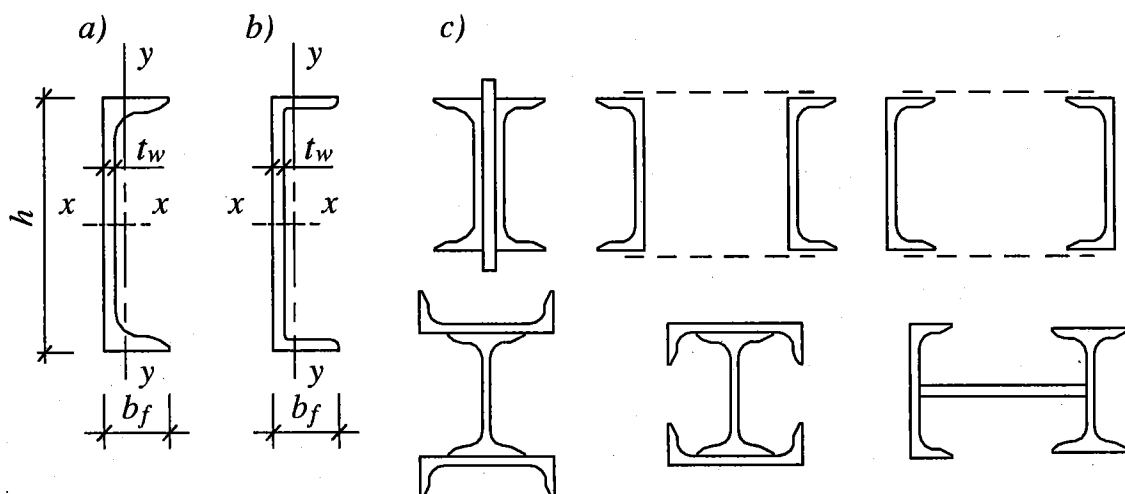


Hình 1.10. Thép chữ I và ứng dụng

## c. Thép chữ [

Theo TCVN 1654–75, gồm có 22 loại tiết diện, từ số hiệu 5 đến 40. Số hiệu chỉ chiều cao tính bằng cm của tiết diện (hình 1.11a), hình 1.11b là loại có mặt trong của bản cánh phẳng. Ký hiệu: chữ [ kèm theo số hiệu, ví dụ [ 22. Từ số hiệu 14 đến 24 cũng có thêm loại tiết diện phụ "a", cánh rộng và dày hơn, ví dụ [ 22a. Chiều dài từ 4 đến 13 m. Thép chữ [ có một mặt bụng phẳng và các cánh vươn rộng nên tiện liên kết với các cấu kiện khác. Thép chữ [ được dùng làm dầm chịu uốn, đặc biệt hay dùng làm xà gồ mái chịu uốn xiên; cũng hay được ghép thành thanh tiết diện đối xứng, dùng làm cột, làm thành giàn cầu (hình 1.11c). Quy cách thép [ xem bảng I.7 phụ lục I.

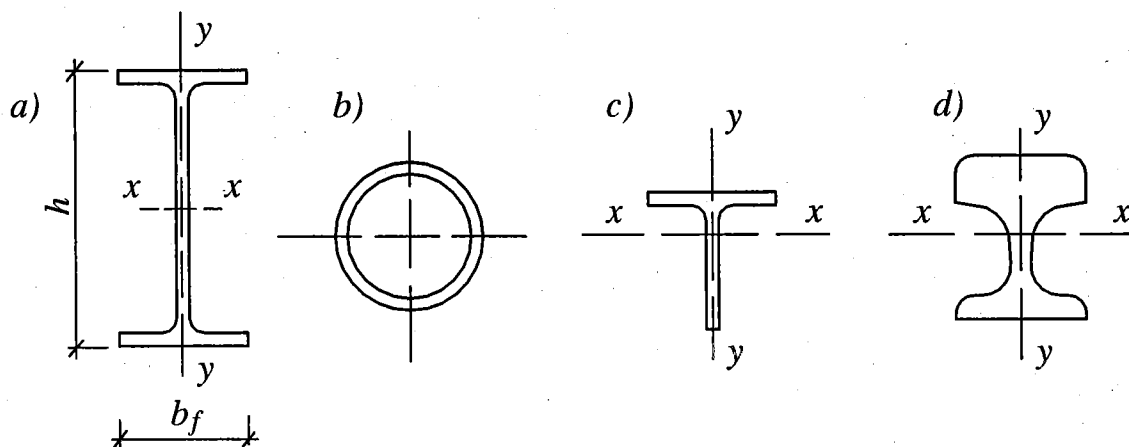




Hình 1.11. Thép chữ [ và ứng dụng

#### d. Các loại thép hình khác

Ngoài ba loại chính vừa nêu, trong thực tế xây dựng, còn dùng nhiều loại tiết diện khác, thích hợp cho từng công dụng riêng, ví dụ:



Hình 1.12. Các loại tiết diện thép hình khác

a) thép chữ I cánh rộng; b) thép ống; c) thép chữ T; d) thép ray.

- Thép I cánh rộng, có tỉ lệ bề rộng cánh trên bề cao  $b:h = 1:1,65 \div 1:1,25$ , chiều cao tiết diện  $h$  có thể tới 1000 mm (hình 1.12a). Cánh có mép song song nên thuận tiện liên kết; cấu kiện dùng làm dầm hay làm cột đều tốt. Giá thành cao vì phải cán trên những máy cán lớn.
- Thép ống (hình 1.12b) có hai loại: không có đường hàn dọc và có đường hàn dọc.

Thép ống có tiết diện đối xứng, vật liệu nằm xa trục trung hòa nên độ cứng tăng, chịu lực khỏe, ngoài ra chống gỉ tốt. Thép ống dùng làm các thanh

giàn, dùng làm kết cấu cột tháp cao, có thể tiết kiệm vật liệu 25 – 30%. Quy cách thép ống xem bảng I.8a, I.8b phụ lục I.

Ngoài ra, còn có những loại khác: thép chữ T, thép ray, thép vuông, thép tròn v.v... (hình 1.12c, d).

## 2. Thép tấm

Thép tấm được dùng rộng rãi vì tính chất vạn năng, có thể tạo ra các loại tiết diện có hình dạng và kích thước bất kì. Đặc biệt trong kết cấu bản thì hầu như toàn bộ là dùng thép tấm. Có các loại sau:

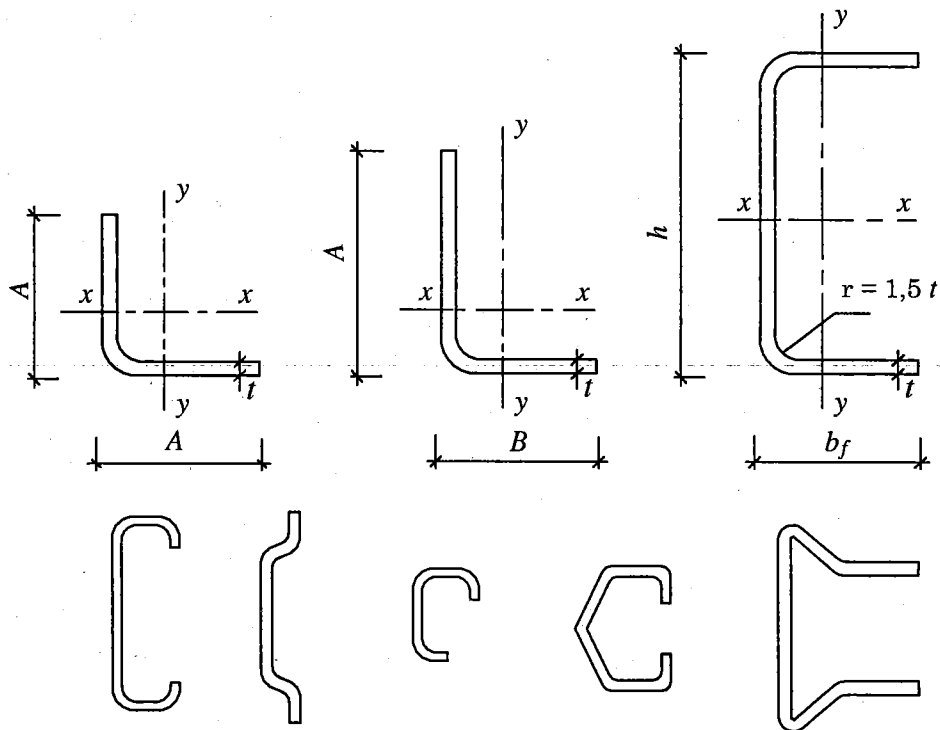
- Thép tấm phổ thông, có bề dày 4 – 60 mm rộng 160 – 1050 mm chiều dài 6 – 12 m. Thép tấm phổ thông có bốn cạnh phẳng nên sử dụng rất thuận tiện.
- Thép tấm dày, có bề dày 4 – 160 mm (môđun chiều dày 0,5; 1 và 2 mm), bề rộng từ 600 đến 3000 mm (cấp 100 mm), dài 4 – 8 m. Thép tấm dày có bề rộng lớn nên hay dùng cho kết cấu bản.
- Thép tấm mỏng, có bề dày 0,2 – 4 mm, rộng 600 – 1400 mm, dài 1,2 – 4 m. Dùng để tạo các thanh thành mỏng bằng cách dập, cán nguội; dùng lợp mái v.v...

Ngoài ra, còn có loại thép tấm khác như: thép giải, rộng dưới 200 mm, thép tấm mặt có vân hình sóng.

## 3. Thép hình dập, cán nguội

Đây là loại thép hình mới so với thép cán. Từ các thép tấm mỏng, thép giải, dày 1 – 8 mm, mang dập, cán nguội mà thành.

Có các loại tiết diện: thép góc đều cạnh, thép góc không đều cạnh, thép chữ L, thép tiết diện hộp v.v... ngoài ra, có thể có những tiết diện rất đa dạng theo yêu cầu riêng (hình 1.13). Thép hình dập, uốn nguội có thành mỏng, nên nhẹ nhàng hơn nhiều so với thép cán nóng. Nó được dùng chủ yếu cho các loại kết cấu thép nhẹ, cho những cấu kiện chịu lực nhỏ nhưng cần có độ cứng lớn. Một khuyết điểm của thép hình dập, uốn nguội là có sự cứng nguội ở những góc bị uốn; chống gỉ kém hơn. Việt Nam hiện nay chưa có các định hình cụ thể cho loại thép hình này. Khi cần có thể tham khảo Tiêu chuẩn nước ngoài như Nga, Anh, Eurocode...



Hình 1.13. Tiết diện thép hình dấp nguội

## §1.4. PHƯƠNG PHÁP TÍNH KẾT CẤU THÉP

### 1. Phương pháp tính kết cấu thép theo trạng thái giới hạn

Kết cấu thép, cũng như các loại kết cấu xây dựng khác, được tính toán theo phương pháp trạng thái giới hạn (TTGH).

Mục đích của việc tính toán kết cấu là đảm bảo 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 kết cấu thôi không thỏa mãn các yêu cầu đề ra đối với công trình khi sử dụng cũng như khi xây lắp. Đối với kết cấu chịu lực, người ta xét các TTGH sau:

- *Nhóm TTGH thứ nhất*: mất khả năng chịu lực hoặc không còn sử dụng được nữa.
- *Nhóm TTGH thứ hai*: không còn sử dụng bình thường được.

Nhóm TTGH thứ nhất gồm các trạng thái sau: phá hoại về bền; mất ổn định; mất cân bằng vị trí; kết cấu bị biến đổi hình dạng. Với các trạng thái này, kết cấu không thể sử dụng được nữa.

Nhóm TTGH thứ hai gồm những trạng thái làm cho kết cấu không sử dụng bình thường được (sử dụng bình thường là sử dụng theo đúng yêu cầu của nhiệm vụ thiết kế mà không gặp khó khăn gì, không cần sửa chữa thêm gì) hoặc làm giảm tuổi thọ công trình như là: bị võng, bị lún, bị rung, bị nứt.

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

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

$$N \leq S,$$

trong đó:  $N$  – nội lực trong cấu kiện đang xét;

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

Nội lực  $N$  có giá trị lớn nhất có thể xảy ra trong suốt thời gian sử dụng. Nội lực  $N$  gây bởi *tải trọng tính toán*, đó là tải trọng lớn nhất có thể có trong thời gian đó. 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  $\gamma_Q$  (xét đến khả năng tải trọng thực tế có thể biến đổi khác với tải trọng tiêu chuẩn theo hướng bất lợi). Ngoài ra, tải trọng tính toán  $P$  còn nhân thêm với hệ số an toàn về sử dụng  $\gamma_n$ , xét đến mức độ quan trọng của công trình.

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

$$N = \sum P_i^c \bar{N}_i \gamma_Q \gamma_n n_c,$$

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 đặc trưng hình học tiết diện  $A$  (diện tích, mômen chống uốn...) với cường độ tính toán  $f$  của vật liệu và với hệ số điều kiện làm việc  $\gamma_c$ . Cường độ tính toán  $f$  bằng cường độ tiêu chuẩn của vật liệu chia cho hệ số độ tin cậy về cường độ  $\gamma_M$ . Cường độ tiêu chuẩn của vật liệu  $f_y$  như sẽ trình bày ở điểm 2 chính là giới hạn chảy  $\sigma_c$  của thép:  $f_y = \sigma_c$ , hoặc trong một số trường hợp mà có thể sử dụng tới giới hạn bền thì ký hiệu là  $f_u$  và lấy bằng  $\sigma_b$ .

$$f = \frac{f_y}{\gamma_M}, \text{ khi tính theo giới hạn chảy;}$$

$$f_t = \frac{f_u}{\gamma_M}, \text{ khi tính theo giới hạn bền.}$$

Như vậy, khả năng chịu lực  $S$  viết là

$$S = Af\gamma_c = \frac{Af_y\gamma_c}{\gamma_M}$$

hoặc trường hợp hai

$$S = \frac{Af_t\gamma_c}{\gamma_u} = \frac{Af_u\gamma_c}{(\gamma_M\gamma_u)},$$

trong đó:  $\gamma_u$  – hệ số an toàn đối với cấu kiện tính theo giới hạn bền  
 $\gamma_u = 1,3$ .

- Đối với nhóm TTGH thứ hai, điều kiện giới hạn phải đảm bảo là  $\Delta \leq \bar{\Delta}$ , trong đó  $\Delta$  – biến dạng hay chuyển vị của kết cấu dưới dạng tác dụng của các tải trọng tiêu chuẩn trong những tổ hợp bất lợi nhất. Nếu  $\delta_i$  là biến dạng gây bởi tải trọng đơn vị thì

$$\Delta = \sum P_i^c n_c \gamma_n \delta_i ;$$

$\bar{\Delta}$  biến dạng lớn nhất cho phép để kết cấu có thể sử dụng bình thường, được quy định trong tiêu chuẩn hay trong nhiệm vụ thiết kế.

Tiêu chuẩn thiết kế kết cấu thép hiện hành ở nước ta là "TCXDVN 338: 2005 Kết cấu thép – Tiêu chuẩn thiết kế".

## 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 loại phế phẩm của 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 loại phế phẩm này).

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  $f_y = \sigma_c$ . 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  $f_u = \sigma_b$ . Các giá trị  $f_y$ ,  $f_u$  là những số khống chế loại phế phẩm của tiêu chuẩn quốc gia về thép, đối với thép cacbon được ghi trong bảng 1.1.

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

Hệ số an toàn vật liệu  $\gamma_M$  xét đến ảnh hưởng của các yếu tố làm giảm thấp 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  $\gamma_M$  được lấy như sau: với thép cường độ thông thường và cường độ cao vừa có  $\sigma_c \leq 3800 \text{ daN/cm}^2$ ,  $\gamma_M = 1,05$ .

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 ghi trong bảng 1.2.

Cường độ tính toán của một số loại thép thông dụng được cho trong bảng I.1 phụ lục I.

Như trên đã nói, để xác định khả năng chịu lực của cấu kiện, phải nhân vào công thức hệ số điều kiện làm việc  $\gamma_c$ . Hệ số này xét đến các yếu tố của quá trình sử dụng như: tải trọng tác dụng dài hạn hoặc lặp lại nhiều lần, sự gần đúng của các giả thiết tính toán, ảnh hưởng của chế độ ẩm – nhiệt hay sự ăn mòn của môi trường. Trị số của  $\gamma_c$  được cho trong bảng I.14 phụ lục I.

Tiêu chuẩn quy định tải trọng hoặc nội lực phải nhân với hệ số an toàn về sử dụng  $\gamma_n$ , phụ thuộc vào mức độ quan trọng, cấp độ bền của công trình. Những công trình đặc biệt quan trọng như nhà máy nhiệt điện lớn, lò cao, tháp truyền hình, cung thể thao, chợ, trường học... có  $\gamma_n = 1$ . Các công trình công nghiệp dân dụng thông thường, có  $\gamma_n = 0,98$ . Các công trình ít quan trọng hơn như nhà kho, nhà tạm, nhà ở một tầng thì  $\gamma_n = 0,9$ .

Như vậy, hệ số  $\gamma_n$  được sử dụng trong mọi tính toán, trong khi hệ số  $\gamma_c$  chỉ áp dụng cho một số cấu kiện có điều kiện sử dụng riêng.

**Bảng 1.2.** Cường độ tính toán của thép cán và thép ống

| Trạng thái làm việc                                          | Ký hiệu      | Cường độ tính toán                             |
|--------------------------------------------------------------|--------------|------------------------------------------------|
| Kéo, nén, uốn<br>– theo giới hạn chảy<br>– theo giới hạn bền | $f$<br>$f_t$ | $f = f_y / \gamma_M$<br>$f_t = f_u / \gamma_M$ |
| 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 khớp trụ khi tiếp xúc chặt                      | $f_{cc}$     | $f_{cc} = 0,5 f_u / \gamma_M$                  |
| Ép mặt theo đường kính của con lăn                           | $f_{cd}$     | $f_{cd} = 0,025 f_u / \gamma_M$                |

### 3. Tải trọng và tác động

Tải trọng và tác động để tính toán kết cấu được lấy theo tiêu chuẩn nhà nước "TCVN 2737–1995 Tải trọng và tác động".

#### a. 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 và ngắn hạn, 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 gian 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 cẩu, 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...

### b. 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. Đó là trị số lớn nhất có thể có của tải trọng trong trường hợp sử dụng bình thường.

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.

Hệ số độ tin cậy về tải trọng  $\gamma_Q$  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  $\gamma_Q$  được xác lập bằng cách thống kê quan trắc những tải trọng thực tế có trong thời gian sử dụng công trình. Tiêu chuẩn tải trọng quy định các trị số  $\gamma_Q$  tùy theo loại tải trọng. Ví dụ trọng lượng vật liệu thép  $\gamma_Q = 1,05$ ; với 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).

Khi tính đến 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.

### c. Tổ hợp tải trọng

Các tải trọng tác dụng đồng thời lên công trình, tạo nên những tổ hợp tải trọng, các tổ hợp tải trọng được chia ra:



- Tổ hợp cơ bản, bao 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 đều với trị số lớn nhất, là ít có xác suất xảy ra hơn là khi chỉ có ít tải trọng. Xét đến thực tế đó, người ta dùng hệ số tổ hợp  $n_c$  để nhân với các trị số tải trọng lớn nhất của tổ hợp. Khi trong tổ hợp cơ bản mà chỉ có một tải trọng ngắn hạn thì giá trị tải trọng ngắn hạn được lấy toàn bộ, tức là  $n_c = 1$ . Còn trong 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 không nhân với  $n_c$ .

## §1.5. TÍNH TOÁN CẤU KIỆN

### 1. Cấu kiện chịu kéo đúng tâm

Sự làm việc của cấu kiện chịu kéo đúng tâm hoàn toàn phù hợp với biểu đồ chịu kéo của thép (xem hình 1.2).

Cấu kiện chịu kéo được kiểm tra bền công thức:

$$\frac{N}{A_n} \leq f \gamma_c, \quad (1.1)$$

trong đó:  $N$  – nội lực dọc do tải trọng tính toán;

$A_n$  – diện tích thực, đã trừ đi các giảm yếu của tiết diện cấu kiện;

$\gamma_c$  – hệ số điều kiện làm việc của cấu kiện chịu kéo, xem bảng I.14 phụ lục I.

Tính theo công thức này đảm bảo ứng suất  $\sigma$  nhỏ hơn giới hạn chảy, vật liệu không bị biến dạng dẻo quá mức và tất nhiên không bị phá hoại. Trong trường hợp cho phép có biến dạng dẻo lớn, hoặc đối với thép cường độ cao không có vùng chảy thì có thể tính theo giới hạn bền, nhưng có thêm hệ số an toàn  $\gamma_u$ , lấy bằng 1,3:

$$\frac{N}{A_n} \leq \frac{f_t \gamma_c}{\gamma_u}. \quad (1.2)$$

## 2. Cấu kiện chịu uốn

### a. Tính cấu kiện chịu uốn trong giai đoạn đàn hồi

Độ bền của cấu kiện chịu uốn trong một mặt phẳng được kiểm tra bền theo TTGH thứ nhất bằng công thức

$$\sigma = \frac{M}{W_n} \leq f \gamma_c; \quad (1.3)$$

$$\tau = \frac{VS}{It} \leq f_v \gamma_c, \quad (1.4)$$

trong đó:  $M$ ,  $V$  – mômen uốn và lực cắt do tải trọng tính toán;

$W_n$  – mômen chống uốn của tiết diện thực;

$I$  – mômen quán tính của tiết diện nguyên;

$S$  – mômen tĩnh (nguyên) của phần tiết diện trượt đối với trục trung hòa;

$t$  – bề dày thành cấu kiện.

### b. Tính cấu kiện chịu uốn có biến dạng dẻo

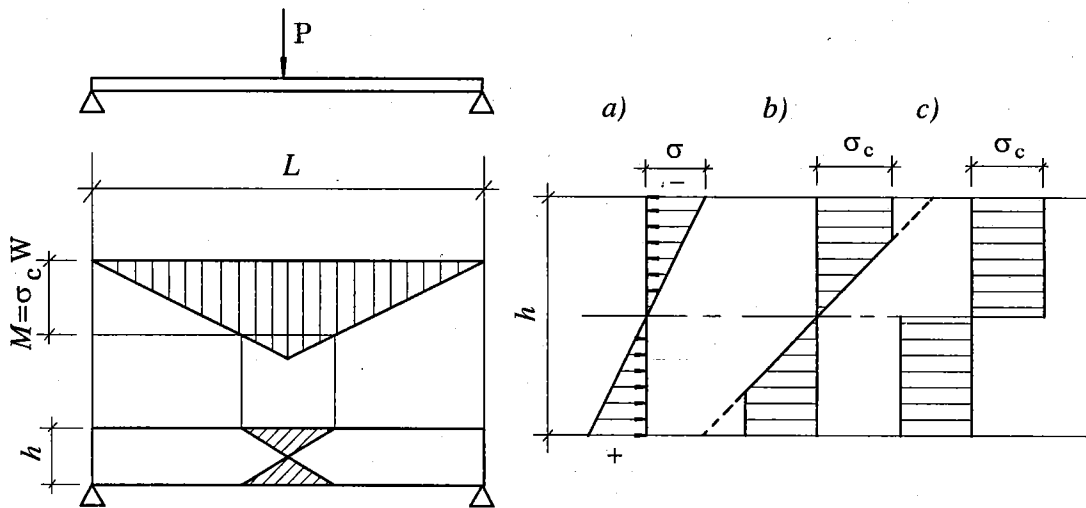
Sau khi ứng suất các thớ biên đạt tới giới hạn chảy (hình 1.14a), giai đoạn đàn hồi kết thúc, các thớ bên trong lần lượt đạt giới hạn chảy, vùng dẻo ăn sâu vào trong tiết diện (hình 1.14b) và lan rộng theo chiều dài dầm. Biểu đồ ứng suất có dạng hình thang, ở giữa là tâm đàn hồi. Nếu  $P$  tiếp tục tăng, mọi thớ theo chiều cao đều đạt  $\sigma_c$ , vùng dẻo phát triển trên toàn bộ tiết diện (hình 1.14c), biểu đồ ứng suất có dạng chữ nhật, xuất hiện "khớp dẻo". Dầm có thể quay xung quanh trục khớp dẻo, biến dạng tăng vô hạn (nếu không kể đến vật liệu làm việc trong giai đoạn củng cố) và dầm coi như bị phá hoại.

Với giả thiết thép là đàn hồi dẻo lý tưởng, biểu đồ ứng suất ở giai đoạn khớp dẻo sẽ có dạng hai hình chữ nhật, mà hoành độ là  $\sigma_c$ . Mômen uốn giới hạn ứng với giai đoạn này là

$$M = \sigma_c \int y dA = \sigma_c 2S,$$

trong đó:  $S$  – mômen tĩnh của nửa tiết diện đối với trục trung hòa (đối với dầm có tiết diện đối xứng);

$y$  – khoảng cách từ trọng tâm vi phân tố diện tích  $dA$  đến trục trung hòa.



Hình 1.14. Sự làm việc của cấu kiện chịu uốn

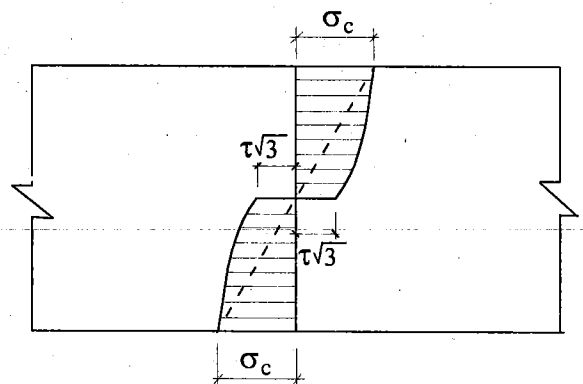
So sánh công thức này với công thức thông thường của giai đoạn đàn hồi  $M = \sigma_c W$ , ta thấy  $2S$  đóng vai trò của mômen chống uốn, nhưng ở giai đoạn dẻo, ta gọi là mômen chống uốn dẻo

$$W_d = 2S.$$

Mômen chống uốn dẻo  $W_d$  lớn hơn mômen chống uốn đàn hồi  $W$ . Đối với tiết diện chữ nhật,  $W_d = 1,5W$ ; tiết diện chữ I,  $W_d = 1,12W$  khi uốn trong mặt phẳng bản bụng. Công thức tính cấu kiện chịu uốn có xét biến dạng dẻo là:

$$\sigma = \frac{M}{W_d} \leq f \gamma_c. \quad (1.5)$$

Tác dụng đồng thời của ứng suất pháp và ứng suất tiếp làm tăng sự biến dạng dẻo. Sự chảy xuất hiện khi ứng suất tương đương  $\sigma_{td} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2}$  đạt giới hạn chảy. Biểu đồ ứng suất tương đương không phải là hình tam giác mà là hình cong (hình 1.15). Sự chảy có thể xuất hiện không chỉ ở các thớ biên, mà thậm chí ngay cả ở trục trung hòa khi mà ứng suất tiếp đạt  $\tau = \frac{\sigma_c}{\sqrt{3}}$ ; trị số này gọi là



Hình 1.15. Biểu đồ ứng suất tương đương

ứng suất chảy khi trượt thuần túy  $\tau_c = \frac{\sigma_c}{\sqrt{3}}.$

Tiêu chuẩn thiết kế cho dùng phương pháp tính gần đúng để tính cấu kiện chịu uốn đồng thời với cắt có xét đến biến dạng dẻo như sau: kiểm tra ứng suất tương đương ở chỗ chuyển tiếp cánh và bụng cấu kiện (tại đó, cả  $\sigma$  và  $\tau$  đều lớn), so sánh với cường độ tính toán được tăng 15%, tức là theo công thức:

$$\sigma_{td} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq 1,15 f_{\gamma_c}. \quad (1.6)$$

### c. Tính cấu kiện theo trạng thái giới hạn thứ hai

Cấu kiện chịu uốn phải được kiểm tra về biến dạng như sau: Độ võng tương đối  $\Delta/L$  gây ra bởi tải trọng tiêu chuẩn không được vượt quá độ võng tương đối cho phép  $[\Delta/L]$ :

$$\frac{\Delta}{L} \leq \left[ \frac{\Delta}{L} \right]. \quad (1.7)$$

Trị số độ võng tương đối cho phép ghi ở bảng I.15, phụ lục I.

## 3. Cấu kiện nén đúng tâm

Cấu kiện chịu nén đúng tâm được tính toán về bền và về ổn định.

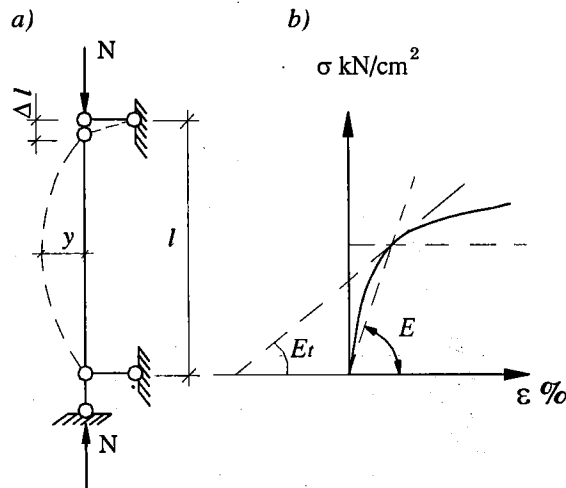
### a. Tính về bền

Tiến hành đối với những thanh ngắn, chiều dài không lớn quá 5 – 6 lần bề rộng tiết diện. Trạng thái giới hạn là khi ứng suất đạt giới hạn chảy, nên công thức tính toán cũng giống như của thanh chịu kéo

$$\sigma = \frac{N}{A_n} \leq f_{\gamma_c}. \quad (1.8)$$

### b. Tính về ổn định

Ta biết rằng thanh chịu nén ở vào trạng thái cân bằng ổn định khi lực nén còn nhỏ hơn lực tới hạn. Khi lực nén đạt tới trị số tới hạn, thanh không còn thẳng nữa, bị uốn cong trong mặt phẳng có độ cứng nhỏ nhất ở trạng thái cân bằng cong (hình 1.16a). Sau đó, dù tải trọng chỉ tăng rất ít, thanh cũng bị cong rất nhanh và mất khả năng chịu lực.



Hình 1.16. Cấu kiện chịu nén đúng tâm  
a) sự uốn dọc; b) biểu đồ kéo và xác định  $E_t$ .

Đối với thanh liên kết khớp hai đầu chịu nén đúng tâm, lực tới hạn xác định bằng công thức Oler (Euler)

$$N_{cr} = \pi^2 \frac{EI_{\min}}{l_o^2}, \quad (1.9)$$

trong đó:  $l_o$  – chiều dài tính toán của thanh,  $l_o = \mu l$ ;

ở đây:  $\mu$  – hệ số chiều dài tính toán, phụ thuộc điều kiện liên kết hai đầu thanh và dạng tải trọng tác dụng (xem bảng 4.1, chương 4).

Ứng suất tới hạn tương ứng

$$\sigma_{cr} = \frac{N_{cr}}{A} = \frac{\pi^2 EI_{\min}}{(l_o^2 A)} = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{l_o}{i_{\min}}\right)^2} = \frac{\pi^2 E}{\lambda_{\max}^2}, \quad (1.10)$$

với:  $\lambda_{\max}$  – độ mảnh lớn nhất của cấu kiện,  $\lambda_{\max} = \frac{l_o}{i_{\min}}$

$i_{\min}$  – bán kính quán tính nhỏ nhất của tiết diện,  $i_{\min} = \sqrt{\frac{I_{\min}}{A}}$

với  $A$  – diện tích tiết diện nguyên, không kể đến các giảm yếu do lỗ đinh, bulông;

Công thức (1.9) cũng như công thức (1.10) chỉ đúng khi môđun đàn hồi  $E$  có giá trị không đổi, tức là chỉ trong phạm vi biến dạng đàn hồi, khi ứng suất  $\sigma$  không vượt quá giới hạn tỉ lệ  $\sigma_{tl}$  ( $\sigma_{tl} = 2000 \text{ daN/cm}^2$  với thép CCT38). Từ đó rút ra độ mảnh nhỏ nhất để vẫn dùng được công thức Oler

$$\lambda \geq \pi \sqrt{\frac{E}{\sigma_{tl}}} = \pi \sqrt{\frac{2100000}{2000}} = 105.$$

Với độ mảnh nhỏ hơn, sự mất ổn định xảy ra khi đã có biến dạng dẻo. Môđun biến dạng biến đổi  $E_t = \frac{d\sigma}{d\varepsilon}$ , bằng hệ số góc của tiếp tuyến với đường cong biểu đồ kéo (hình 1.16b), nên  $E_t$  còn gọi là môđun tiếp tuyến, ứng suất tối hạn lúc này xác định bằng công thức:

$$\sigma_{cr} = \frac{\pi^2 E_t}{\lambda^2}. \quad (1.11)$$

Trong kết cấu thực tế, không thể có sự nén dọc trục hoàn toàn, mà luôn luôn có những nguyên nhân gây thêm sự uốn như độ lệch tâm ngẫu nhiên, độ cong ban đầu. Do đó, cấu kiện chịu nén dọc trục phải được tính toán như nén lệch tâm với độ lệch tâm nhỏ. Việc kiểm tra ổn định của thanh nén dọc trục sẽ là so sánh ứng suất nén do lực tính toán gây ra với ứng suất tối hạn khi nén lệch tâm nhỏ.

$$\sigma = \frac{N}{A} \leq \sigma_{cr}^e. \quad (1.12)$$

Để tiện tính toán, quy phạm đưa vào hệ số uốn dọc  $\varphi = \frac{\sigma_{cr}^e}{f}$ , là tỉ số giữa ứng suất tối hạn về mất ổn định khi nén dọc trục với cường độ tính toán. Công thức kiểm tra ổn định sẽ có dạng:

$$\sigma = \frac{N}{A} \leq \varphi f \gamma_c. \quad (1.13)$$

Hệ số  $\varphi$  phụ thuộc vào độ mảnh của thanh và vào cường độ tính toán của thép. Trị số của  $\varphi$  được cho trong bảng II.1 phụ lục II. Khi tính toán trên máy tính, có thể xác định  $\varphi$  bằng các công thức (xem công thức (4.7), (4.8), (4.9) chương 4).

#### 4. Cấu kiện chịu kéo lệch tâm và nén lệch tâm

Những cấu kiện này vừa chịu lực dọc trục (kéo hay nén) vừa chịu mômen uốn. Trong hầu hết mọi trường hợp, các cấu kiện chịu lực dọc đặt lệch tâm so với trục. Sau đây chúng ta sẽ không phân biệt cấu kiện chịu lực kéo uốn hay nén uốn với cấu kiện chịu kéo lệch tâm hay nén lệch tâm. Quan hệ giữa độ lệch tâm và mômen uốn là  $e = \frac{M}{N}$ ,  $N$  là lực dọc.



### a. Tính cấu kiện kéo lệch tâm và cấu kiện ngắn nén lệch tâm

Cấu kiện kéo lệch tâm và cấu kiện ngắn nén lệch tâm được tính theo độ bền. Kiểm tra độ bền trong giai đoạn làm việc đàn hồi theo công thức:

$$\frac{N}{A_n} + \frac{M}{W_n} \leq f_{yc}. \quad (1.14)$$

Khi cấu kiện làm bằng thép dẻo ( $\sigma_c \leq 5800 \text{ daN/cm}^2$ ) và chỉ chịu tải trọng tĩnh thì trạng thái giới hạn về độ bền có thể xét đến sự phát triển của biến hình dẻo. Ban đầu, các thớ biên đạt giới hạn chảy, sau đó vùng dẻo ăn sâu vào bên trong và cuối cùng xuất hiện khớp dẻo giống như ở cấu kiện chịu uốn, nhưng ở đây, trục trung hòa dịch về một phía. Công thức tính toán có xét đến biến dạng dẻo theo tiêu chuẩn là:

$$\left( \frac{N}{A_n f \gamma_c} \right)^{3/2} + \frac{M}{c W_n \gamma_c f} \leq 1. \quad (1.15)$$

Hệ số  $c$  tùy thuộc dạng tiết diện, cho trong tiêu chuẩn thiết kế kết cấu thép.

### b. Tính về ổn định của thanh nén lệch tâm (nén – uốn)

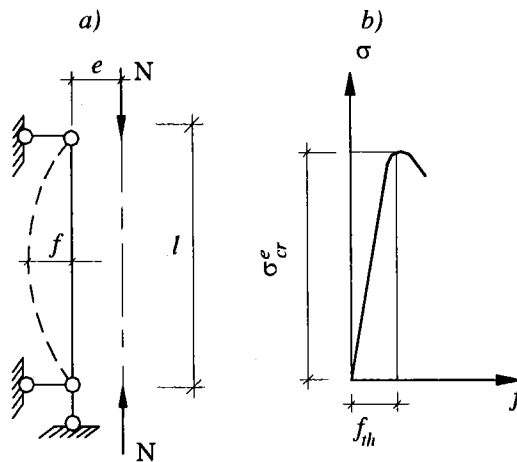
Ngay lúc mới đặt tải trọng, thanh đã bị cong do mômen  $M = Ne$  (hình 1.17a). Khi  $N$  tăng, biến dạng tăng không tuyến tính với  $N$ , do mômen  $M = N(e + f)$  gây nên. Thanh sẽ phải tính theo sơ đồ biến dạng và có thể lập được đường cong quan hệ giữa lực nén  $N$  hoặc ứng suất nén do  $N$  ( $\sigma_o = N/A$ ) với độ võng  $f$  của thanh (hình 1.17b). Khi  $N$  đạt trị số lực tới hạn, biến dạng  $f$  của thanh tăng vọt, thanh bị mất ổn định. Có nhiều cách tính được ứng suất tới hạn trong trạng thái làm việc đàn dẻo  $\sigma_{cr}^e$  của thanh nén lệch tâm.

Ứng suất tới hạn  $\sigma_{cr}^e$  phụ thuộc vào:

- *Độ mảnh  $\lambda$  của thanh.* Để tiện tính toán cho nhiều loại thép khác nhau, tiêu chuẩn thiết kế dùng độ mảnh quy ước  $\bar{\lambda} = \lambda \sqrt{\frac{f}{E}}$  trong các tính toán.
- *Độ lệch tâm  $e$  của lực dọc và đặc trưng hình học của tiết diện thanh.* Trong tính toán, người ta dùng độ lệch tâm tương đối  $m = e/\rho$ , với  $\rho$  là bán kính lõi của tiết diện;  $\rho = W/A$  với  $W$  là mômen chống uốn đối với thớ bị nén nhiều nhất của tiết diện. Ứng suất biên được biểu diễn đơn giản qua  $m$

$$\sigma = \frac{N}{A} + \frac{M}{W} = \frac{N}{A} \left( 1 + \frac{eA}{W} \right) = \sigma_o (1 + m).$$





**Hình 1.17. Cấu kiện nén lệch tâm**  
a) sơ đồ làm việc; b) đường cong  $N - f$ .

- **Hình dạng của tiết diện.** Nhân độ lệch tâm tương đối  $m$  với hệ số hình dạng tiết diện  $\eta$  được độ lệch tâm tương đối tính đối  $m_e = \eta m$ . Hệ số hình dạng tiết diện xét đến mức độ tiết diện bị giảm yếu bởi biến hình dẻo. Với tiết diện chữ I ở hình 1.18a chỉ cần vùng dẻo ăn sâu một ít vào tiết diện đã chuyển một phần diện tích đáng kể sang dẻo, lúc đó, lấy  $\eta > 1$ . Ngược lại, cũng với tiết diện chữ I ở hình 1.18b khi uốn song song với bản cánh thì chỉ một phần nhỏ diện tích chuyển sang dẻo, nên  $\eta < 1$ . Với tiết diện chữ nhật thì  $\eta = 1$ . Công thức của trị số  $\eta$  cho trong bảng II.4 phụ lục II.

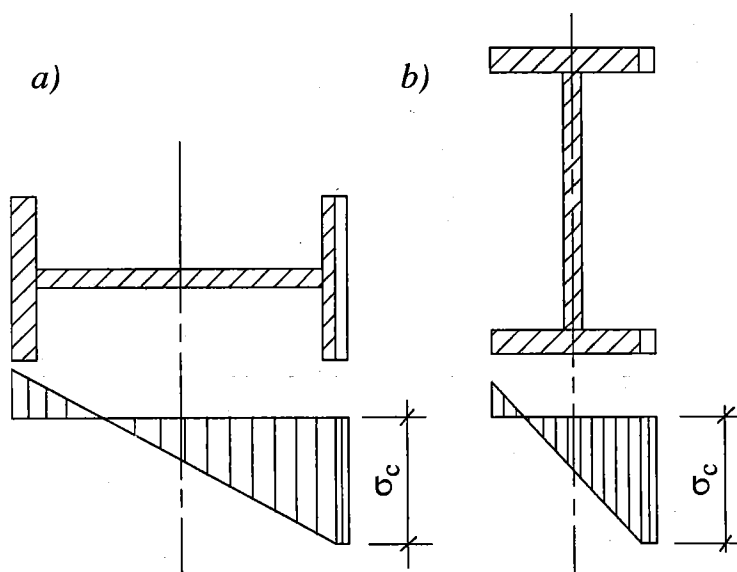
Để tiện tính toán, quy phạm dùng hệ số  $\varphi_e$  là tỉ số giữa  $\sigma_{cr}^e$  và  $f$ :  $\varphi_e = \frac{\sigma_{cr}^e}{f}$ , gọi là hệ số giảm cường độ tính toán khi uốn lệch tâm, nén uốn. Khi đó  $\sigma_{cr}^e = \varphi_e f$ . Việc kiểm tra ổn định trong mặt phẳng uốn được tiến hành bằng cách so sánh ứng suất trung bình  $\sigma_0 = N/A$  với ứng suất tới hạn  $\sigma_{cr}^e$ :

$$\sigma_0 = \frac{N}{A} \leq \sigma_{cr}^e = \varphi_e f \gamma_c.$$

Công thức tính toán:

$$\frac{N}{A} \leq \varphi_e f \gamma_c. \quad (1.16)$$

Hệ số  $\varphi_e$  phụ thuộc độ mảnh quy ước  $\bar{\lambda}$  và độ lệch tâm tương đối tính đối  $m_e$  được cho trong bảng II.2 phụ lục II.



Hình 1.18. Ảnh hưởng của hình dạng tiết diện

Trong mặt phẳng vuông góc với mặt phẳng uốn (không có mômen) cấu kiện cũng phải được kiểm tra về ổn định như thanh nén đúng tâm. Tuy nhiên, do sự phát triển của biến hình dẻo trên tiết diện do tác dụng của mômen, phần tiết diện đàn hồi bị giảm đi và thanh chóng bị mất ổn định hơn. Kiểm tra ổn định thanh trong mặt phẳng vuông góc với mặt phẳng uốn dùng công thức:

$$\frac{N}{(c\varphi_y A)} \leq f_{yc}, \quad (1.17)$$

trong đó:  $\varphi_y$  – hệ số uốn dọc khi nén đúng tâm, xác định theo độ mảnh  $\lambda_y$  đối với trục không có mômen;

$c$  – hệ số nhỏ hơn 1, phụ thuộc hình dạng tiết diện, độ mảnh  $\lambda_y$  và độ lệch tâm tương đối tính đối  $m_1$ .

Trình tự kiểm tra cấu kiện nén lệch tâm cùng các công thức khác có liên quan sẽ được trình bày ở chương 4.

# 2

## LIÊN KẾT

---

Để tạo các cấu kiện ghép từ những thép hình, thép tấm riêng rẽ, người ta phải dùng đến liên kết. Từng cấu kiện này lại được liên kết với nhau để tạo nên một công trình hoàn chỉnh.

Hiện nay, trong kết cấu thép dùng hai phương pháp liên kết chính là *liên kết hàn* và *liên kết bulông*. Liên kết đinh tán (trước đây khá phổ biến) nay gần như không được sử dụng nữa.

Liên kết hàn hiện nay chiếm vai trò chủ yếu trong kết cấu thép. So với liên kết bulông và đinh tán, liên kết hàn có nhiều ưu điểm: giảm công chế tạo và khối lượng kim loại, hình thức cấu tạo liên kết đơn giản, liên kết không chỉ bền mà còn kín. Nhược điểm chủ yếu của liên kết hàn là do ảnh hưởng của nhiệt độ cao trong quá trình hàn gây biến hình hàn và ứng suất hàn trong liên kết làm tăng tính giòn của vật liệu. Do đó, khả năng chịu tải trọng động của liên kết hàn kém hơn so với liên kết bulông và đinh tán. Ngoài ra, khó kiểm tra chất lượng đường hàn.

Liên kết bulông và đinh tán tốn vật liệu và công chế tạo hơn so với liên kết hàn, nhưng chịu được tải trọng động nên được dùng để chế tạo dầm cầu trục nặng, cầu đường bộ, cầu đường sắt...

Liên kết bulông rất thuận tiện khi tháo lắp, không cần máy móc và năng lượng khi thi công nên còn được dùng trong các công trình lắp ráp, công trình tạm, liên kết các chi tiết trên cao...

Ngày nay liên kết bulông cường độ cao đã thay thế cho liên kết đinh tán trong các kết cấu chịu tải trọng nặng và tải trọng động.

## A. LIÊN KẾT HÀN

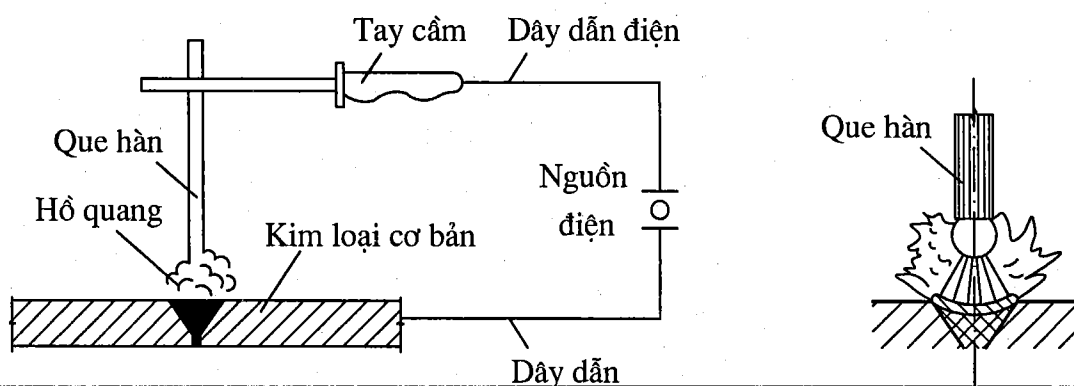
### §2.1. CÁC PHƯƠNG PHÁP HÀN TRONG KẾT CẤU THÉP

Trong kết cấu thép dùng phương pháp hàn chính là hàn hồ quang điện gồm: hàn hồ quang điện bằng tay, hàn hồ quang điện tự động và nửa tự động. Ngoài ra còn dùng hàn hơi khi khối lượng hàn nhỏ.

#### 1. Hàn hồ quang điện bằng tay

##### a. Nguyên lý

Dưới tác dụng của dòng điện, xuất hiện hồ quang điện giữa hai cực là kim loại cần hàn (thép cơ bản) và que hàn. Nhiệt độ cao của ngọn lửa hồ quang (có thể tới trên  $2000^{\circ}\text{C}$ ) làm nóng chảy mép của thép cơ bản (độ sâu nóng chảy  $1,5 \div 2\text{mm}$ ) và que hàn. Kim loại que hàn chảy thành từng giọt rơi xuống rãnh hàn do lực hút của điện trường (vì thế có thể hàn ngược khi rãnh hàn ở trên). Hai kim loại lỏng hòa lẫn với nhau, nguội lại tạo thành đường hàn (hình 2.1). Vậy bản chất của đường hàn là sự liên kết giữa các phân tử của các kim loại bị nóng chảy. Đường hàn có thể chịu lực tương đương như thép cơ bản.



Hình 2.1. Sơ đồ hàn hồ quang điện bằng tay

##### b. Que hàn

Hàn hồ quang điện bằng tay dùng que hàn lõi kim loại có thuốc bọc (thuốc hàn, gồm khoảng 80% là  $\text{CaCO}_3$ ). Đường kính lõi kim loại của que hàn

1,6 ÷ 6mm, chiều dài que hàn 200 ÷ 450mm. Lớp thuốc bọc dày 1 ÷ 1,5mm có các tác dụng sau:

- Khi cháy tạo nên lớp xỉ cách ly không khí xung quanh với kim loại lỏng, ngăn cản oxy và nitơ lọt vào kim loại làm đường hàn trở nên giòn.
- Tăng cường sự ion hóa không khí xung quanh làm hồ quang được ổn định.
- Trong thuốc hàn còn có bột của một số hợp kim làm tăng độ bền của đường hàn.

Que hàn được phân loại theo cường độ tức thời của kim loại đường hàn. Ví dụ theo "TCVN 3223- 1994. Que hàn điện dùng cho thép cacbon và hợp kim thấp" que hàn N42 cho đường hàn có  $\sigma_b = 4100 \text{ daN/cm}^2$ . Que hàn phải chọn phù hợp với các mức thép khác nhau sao cho độ bền kéo tức thời của kim loại que hàn không được nhỏ hơn của thép được hàn. Đồng thời khối lượng thép nóng chảy là ít nhất (để giảm bớt ứng suất hàn và biến hình hàn). Đối với các mức thép cacbon và thép hợp kim thấp loại que hàn lấy theo " TCVN 3223- 1994 " nêu ở bảng 2.1, hoặc theo "TCVN 3223 – 2000. Que hàn điện dùng cho thép cacbon thấp và hợp kim thấp"

**Bảng 2.1. Que hàn dùng ứng với mức thép**

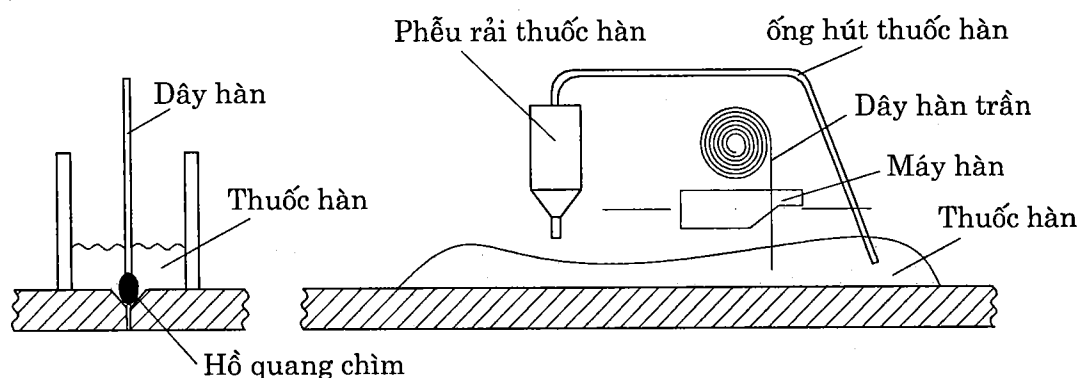
| Mức thép                        | Loại que hàn có thuốc bọc |
|---------------------------------|---------------------------|
|                                 | TCVN 3223 : 1994          |
| CCT34; CCT38; CCT42; CCT52      | N42; N46                  |
| 09Mn2; 14Mn2; 09Mn2Si; 10Mn2Si1 | N46; N50                  |

## 2. Hàn hồ quang điện tự động và nửa tự động dưới lớp thuốc hàn

Về nguyên lý hàn tự động giống hàn tay, chỉ khác là que hàn bọc thuốc được thay bằng cuộn dây hàn trần (đường kính 2÷5 mm) và quá trình hàn được thực hiện bằng máy tự động. Thuốc hàn được rải trước thành lớp dày trên rãnh hàn. Dây hàn được tự động nhả dần từ bó theo tốc độ di chuyển đều của máy hàn. Hình 2.2 là sơ đồ hàn hồ quang điện tự động.

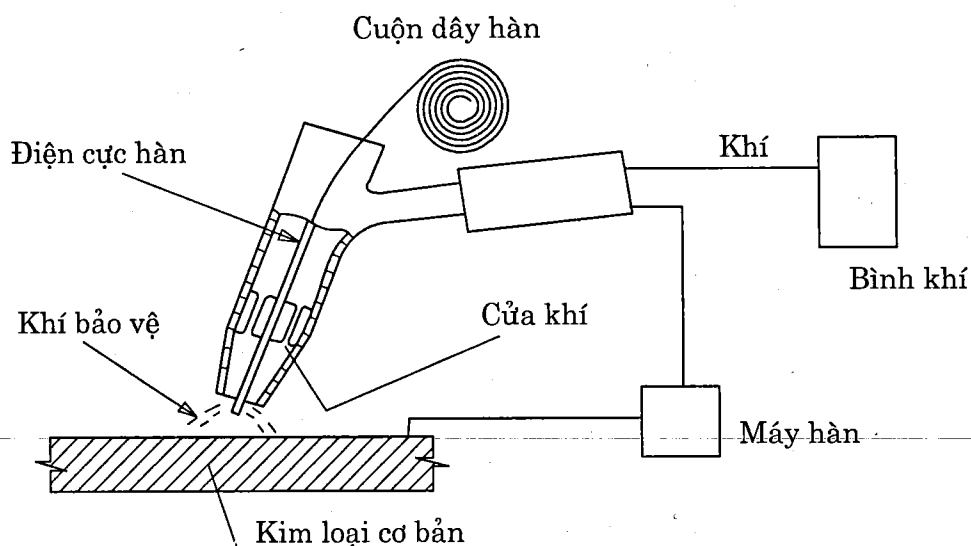
Hàn tự động có nhiều ưu điểm: do cường độ dòng điện lớn (600 ÷ 1200 ampe) nên tốc độ hàn nhanh (gấp 5 ÷ 10 lần hàn tay), rãnh chảy sâu nên chất lượng đường hàn tốt. Kim loại lỏng được phủ lớp thuốc dày nên nguội dần, tạo điều kiện cho bọt khí thoát ra làm đường hàn đặc hơn. Mặt khác hồ quang cháy chìm dưới lớp thuốc nên không hại sức khỏe thợ hàn.

Hàn hồ quang điện tự động có nhược điểm là chỉ hàn được các đường hàn nằm thẳng hoặc tròn (ở thân bể chứa), không dùng được cho các đường hàn đứng và ngược hoặc các đường hàn ở vị trí chật hẹp, trên cao... trong các trường hợp đó dùng phương pháp hàn nửa tự động, máy hàn được di chuyển bằng tay. Hiện nay có phương pháp hàn nửa tự động dùng cuộn dây hàn mềm hình ống (đường kính  $\leq 3$  mm) hoặc dạng dẹt, chiều dày lớp vỏ kim loại  $0,2 \div 0,5$  mm, bên trong nhồi thuốc hàn được sử dụng rộng rãi vì rất tiện lợi.



Hình 2.2. Sơ đồ hàn hồ quang điện tự động

### 3. Hàn hồ quang điện trong lớp khí bảo vệ



Hình 2.3. Hàn hồ quang điện trong khí bảo vệ

Trong thời gian gần đây phương pháp hàn này khá phổ biến. Cuộn dây hàn trần được nhả tự động qua thiết bị hàn dạng khẩu súng. Khí dẫn từ bình phun ra đồng thời khi hàn (hình 2.3). Kim loại lỏng được bảo vệ bởi môi



trường khí, không cho tiếp xúc với không khí. Có hai loại khí được dùng: nếu là khí trơ như argon, helium thì phương pháp hàn này gọi tên là MIG (metal inert gas) nếu dùng khí cacbonic thì gọi là MAG (metal active gas). Khí trơ có thể dùng cho mọi kim loại nhưng giá thành cao. Đối với thép thông thường dùng cacbonic, hoặc hỗn hợp với khí trơ. Phương pháp này cho hồ quang ổn định, vùng chảy sâu, rộng, tốc độ hàn nhanh. Các dây hàn dùng theo quy định riêng.

#### **4. Hàn hơi**

Hàn hơi thường dùng để hàn những tấm kim loại mỏng hoặc để cắt thép. Hỗn hợp cháy là khí oxy và axêtylen. Oxy và axêtylen được nén ở hai bình riêng biệt, dùng ống mềm dẫn chúng đến mỏ hàn. Khi hỗn hợp khí này cháy, nhiệt độ lên tới  $3200^{\circ}\text{C}$  làm nóng chảy kim loại cần hàn và thanh kim loại phụ (thay que hàn để lấp đầy rãnh hàn). Khi kim loại lỏng nguội đi tạo thành đường hàn.

#### **5. Các yêu cầu chính khi hàn và phương pháp kiểm tra chất lượng đường hàn**

##### **a. Các yêu cầu chính khi hàn**

Để đảm bảo chất lượng đường hàn, khi hàn cần thực hiện một số quy định chính sau đây:

- Làm sạch gỉ trên mặt rãnh hàn.
- Cường độ dòng điện phải thích hợp. Nếu dòng điện quá yếu sẽ xảy ra hiện tượng non lửa, nhiệt độ thấp, rãnh hàn không đủ chảy, kim loại lỏng của que hàn nguội riêng rẽ không có liên kết phân tử, chất lượng đường hàn xấu. Ngược lại, nếu cường độ dòng điện quá lớn sẽ gây hiện tượng quá lửa, nhiệt độ quá cao làm oxy trong không khí lọt vào thép tạo nên các oxyt hoặc đốt cháy cacbon, mangan làm giảm độ bền của đường hàn.
- Đảm bảo các quy định về gia công mép bản thép.
- Có các phương pháp phòng ngừa biến hình hàn.
- Chọn que hàn phù hợp.

##### **b. Các phương pháp kiểm tra chất lượng đường hàn**

Đường hàn cần được kiểm tra chất lượng bằng các phương pháp sau:



- Kiểm tra bằng mắt: thông thường chỉ phát hiện được những sai sót bên ngoài như mặt đường hàn không đều, lỗi lõm, nứt rạn...
- Dùng các phương pháp vật lý để kiểm tra như: điện từ, quang tuyến, siêu âm... các phương pháp này cho kết quả chính xác hơn, được áp dụng cho các loại công trình chịu lực đặc biệt như: bể chứa, đường ống cao áp...

## §2.2. CÁC LOẠI ĐƯỜNG HÀN VÀ CƯỜNG ĐỘ TÍNH TOÁN

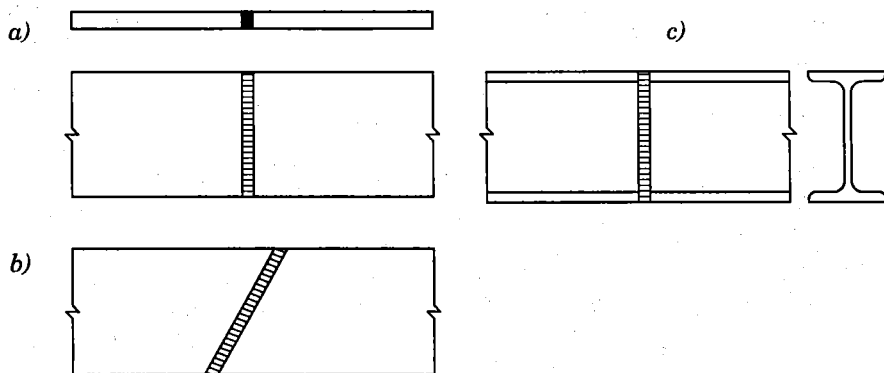
### 1. Các loại đường hàn

Dựa theo cấu tạo, đường hàn chia ra các loại sau:

#### a. Đường hàn đối đầu

1) *Cấu tạo.* Đường hàn đối đầu liên kết trực tiếp hai cấu kiện nằm cùng nằm trong một mặt phẳng. Đường hàn nằm ở khe hở nhỏ giữa hai cấu kiện cần hàn đặt đối đầu nhau (hình 2.4). Khe hở này còn có tác dụng để các chi tiết hàn biến dạng tự do khi hàn, tránh cong vênh.

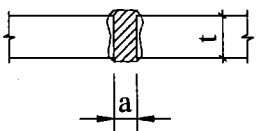
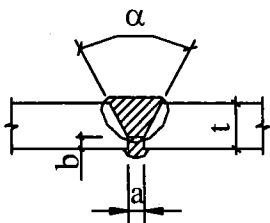
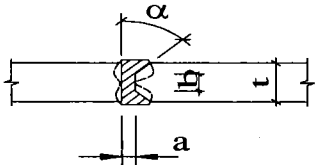
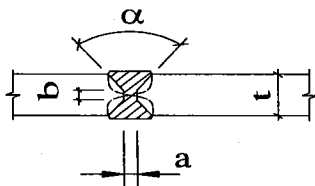
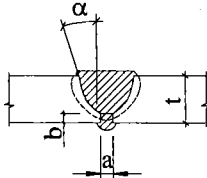
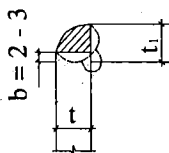
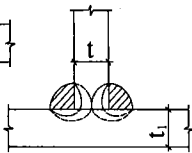
Đường hàn đối đầu có thể thẳng góc (hình 2.4a, c) hoặc xiên góc với trục của cấu kiện (hình 2.4b).

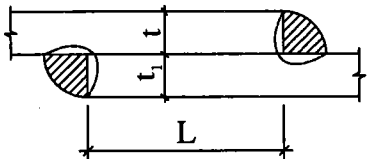
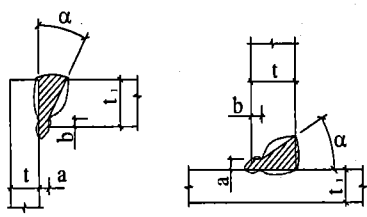
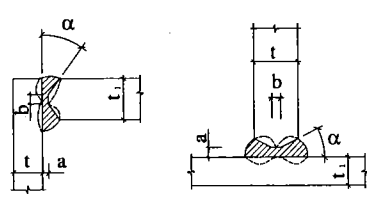


Hình 2.4. Đường hàn đối đầu

Khi hàn các bản thép dày ( $t > 8$  mm, đối với hàn tay), để có thể đưa que hàn xuống sâu, đảm bảo sự nóng chảy trên suốt chiều dày bản thép, cần gia công mép của bản. Hình thức gia công mép và kích thước khe hở phụ thuộc chiều dày bản thép được quy định theo bảng 2.2.

**Bảng 2.2. Các dạng gia công mép bản thép khi hàn**

| Dạng gia công mép                                     | Mặt cắt t, a, b, mm; $\alpha$ , độ                                                                                                                                            | Hàn tay có hàn thêm mặt sau | Hàn tự động có hàn thêm mặt sau   |
|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|
| <b>1) Đường hàn đối đầu</b><br><br>Không gia công mép |                                                                                              | a<br>t                      | 2 – 8<br>0                        |
| Dạng chữ V                                            |                                                                                              | T<br>a<br>b<br>$\alpha$     | 3 – 50<br>0<br>6<br>60            |
| Dạng chữ K                                            |                                                                                              | t<br>a<br>b<br>$\alpha$     | 12 – 60<br>0<br>6<br>45           |
| Dạng chữ X                                            |                                                                                            | t<br>a<br>b<br>$\alpha$     | 12 – 60<br>0<br>6 – 8<br>60       |
| Dạng chữ U                                            |                                                                                            | t<br>a<br>b<br>$\alpha$     | 15 – 100<br>0<br>6 – 8<br>10 – 13 |
| <b>2) Đường hàn góc</b><br><br>Không gia công mép     | a)  b)  | t<br>t <sub>1</sub>         | a) 6 – 14<br>b) 3 – 40            |

| Dạng gia công mép  | Mặt cắt $t, a, b, \text{mm}; \alpha, \text{độ}$                                   |                                        | Hàn tay có hàn thêm mặt sau                    | Hàn tự động có hàn thêm mặt sau          |
|--------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|------------------------------------------------|------------------------------------------|
| Không gia công mép |  | $t$<br>$t_1$<br>$L$                    | $2 - 60$<br>$2 - 60$<br>$\geq 2(t + t_1)$      | $1 - 20$<br>—<br>$20 - 90$               |
| Dạng chữ K         |  | $t$<br>$t_1$<br>$a$<br>$b$<br>$\alpha$ | $4 - 26$<br>$4 - 26$<br>$2$<br>$1 - 2$<br>$50$ | $8 - 20$<br>—<br>$2$<br>$2$<br>$50 - 40$ |
|                    |  | $t$<br>$t_1$<br>$a$<br>$b$<br>$\alpha$ | $12 - 60$<br>$12 - 60$<br>$2$<br>$1$<br>$50$   | $16 - 40$<br>—<br>$0$<br>$4$<br>$50$     |

Rãnh hình chữ X hoặc chữ K được hàn chính thức ở hai phía. Với rãnh hình chữ V hay chữ U cần hàn thêm ở mặt sau để tránh hiện tượng không hàn đầy.

- 2) **Sự làm việc và cường độ tính toán của đường hàn đối đầu.** Đường hàn đối đầu có ưu điểm là truyền lực tốt, đường lực không bị dồn ép uốn cong, nên ứng suất tập trung rất nhỏ. Đường hàn được coi như phần kéo dài của thanh cơ bản nên làm việc giống như thanh cơ bản.

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 theo mục §2.1, 1, b, (bảng 2.1). Khi đó cường độ tính toán của đường hàn đối đầu được lấy như sau:

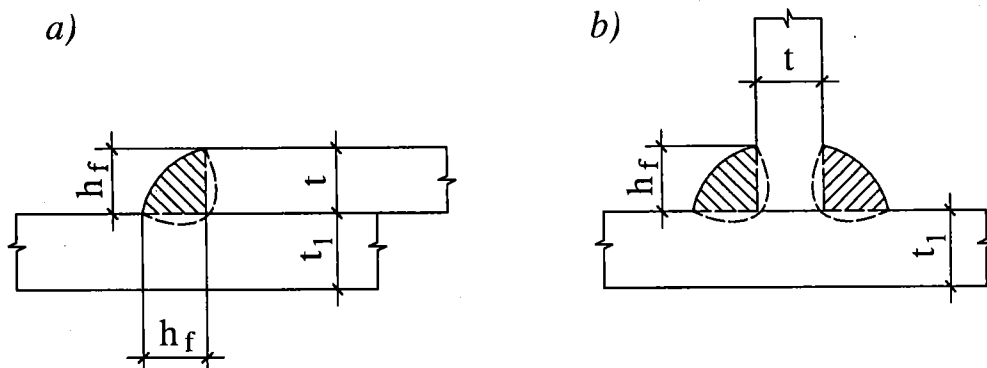
- Khi chịu nén, với phương pháp hàn tự động, nửa tự động hoặc hàn tay, không phụ thuộc vào phương pháp kiểm tra chất lượng đường hàn  $f_{wc} = f$  ( $f$  là cường độ tính toán của thép cơ bản). Ví dụ đối với thép CCT34 có  $f_{wc} = 2100 \text{ daN/cm}^2$ .

- Khi chịu kéo, nếu dùng các phương pháp vật lý kiểm tra chất lượng đường hàn thì  $f_{wt} = f$ . Đối với thép CCT34,  $f_{wt} = 2100 \text{ daN/cm}^2$ ; nếu kiểm tra chất lượng đường hàn bằng các phương pháp thông thường đơn giản  $f_{wt} = 0,85f$ . Với thép CCT34  $f_{wt} = 1800 \text{ daN/cm}^2$ .
- Khi chịu cắt  $f_{wv} = f_v$  ( $f_v$  là cường độ tính toán khi chịu cắt của thép cơ bản) với thép CCT34,  $f_{wv} = 1200 \text{ daN/cm}^2$ .

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

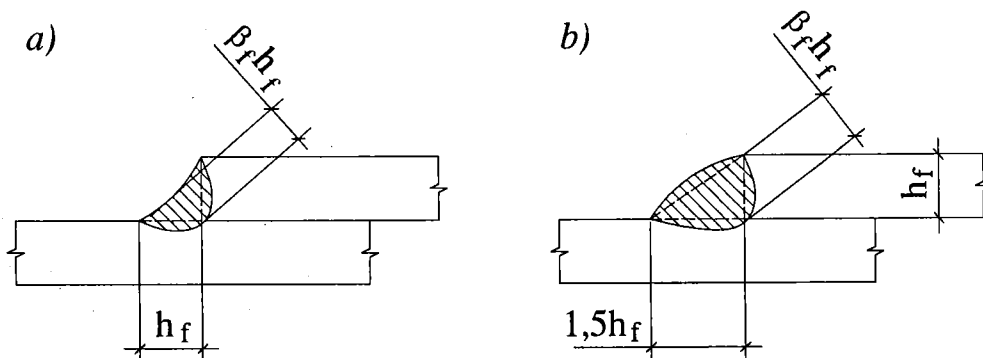
## b. Đường hàn góc

- 1) **Cấu tạo.** Đường hàn góc nằm ở góc vuông tạo bởi hai cấu kiện cần hàn (hình 2.5). Tiết diện đường hàn là một tam giác vuông cân, hơi phồng ở giữa, cạnh của tam giác gọi là chiều cao đường hàn.



Hình 2.5. Đường hàn góc

Khi chịu tải trọng động, để giảm ứng suất tập trung trong đường hàn góc đầu dùng đường hàn lõm (hình 2.6a) hoặc đường hàn thoải với tỷ số giữa hai cạnh của đường hàn là 1 : 1,5 (hình 2.6b), cạnh lớn nằm dọc theo hướng lực tác dụng.



Hình 2.6. Đường hàn lõm và đường hàn thoải

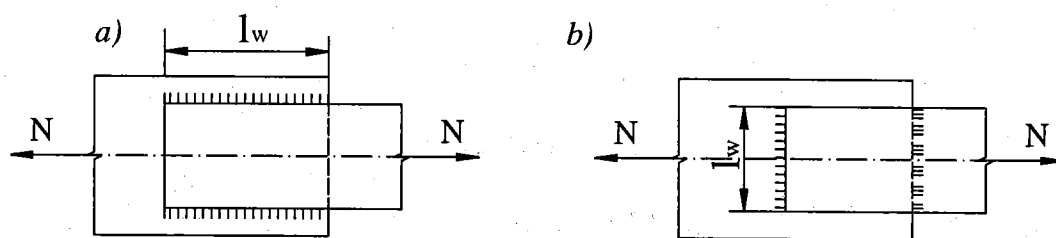
Chiều cao  $h_f$  của đường hàn góc lớn nhất phải tuân theo điều kiện  $h_f \leq 1,2t_{\min}$  trong đó  $t_{\min}$  là chiều dày nhỏ nhất trong số các bản thép được liên kết chồng (hình 2.5, a) hoặc chiều dày bản đứng  $t$  trong liên kết chữ T (hình 2.5, b). Chiều cao  $h_f$  nhỏ nhất không dưới  $h_{f\min}$ , trong đó  $h_{f\min}$  là chiều cao tối thiểu của đường hàn góc cho trong bảng 2.3.

**Bảng 2.3.** Chiều cao nhỏ nhất của đường hàn góc  $h_{f\min}$ , mm

| Phương pháp hàn      | $h_{f\min}$ khi chiều dày của bản thép dày $t_{\max}$ mm |        |         |         |         |         |         |
|----------------------|----------------------------------------------------------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|
|                      | 4 – 6                                                    | 6 – 10 | 11 – 16 | 17 – 22 | 23 – 32 | 33 – 40 | 41 – 80 |
| Tay                  | 4                                                        | 5      | 6       | 7       | 8       | 9       | 10      |
| Tự động, nửa tự động | 3                                                        | 4      | 5       | 6       | 7       | 8       | 9       |

Tùy theo vị trí của đường hàn so với phương của lực tác dụng mà chia ra.

- Đường hàn góc cạnh là đường hàn góc song song với phương của lực tác dụng (hình 2.7, a).
- Đường hàn góc đầu là đường hàn góc vuông góc với phương của lực tác dụng (hình 2.7, b).

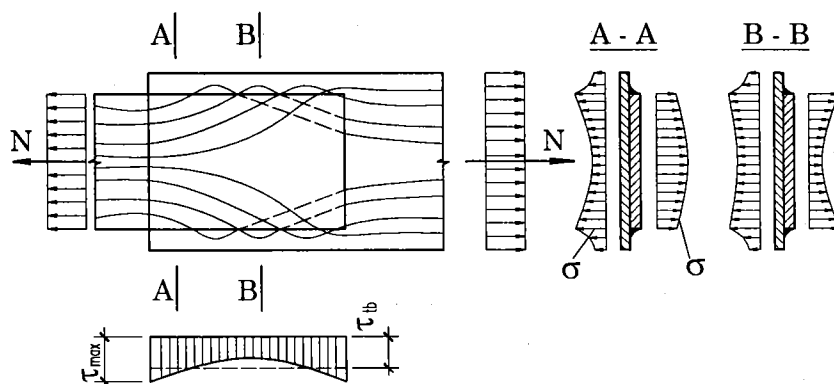


**Hình 2.7.** Các loại đường hàn góc  
a) đường hàn góc cạnh; b) đường hàn góc đầu.

## 2) Sự làm việc của đường hàn góc

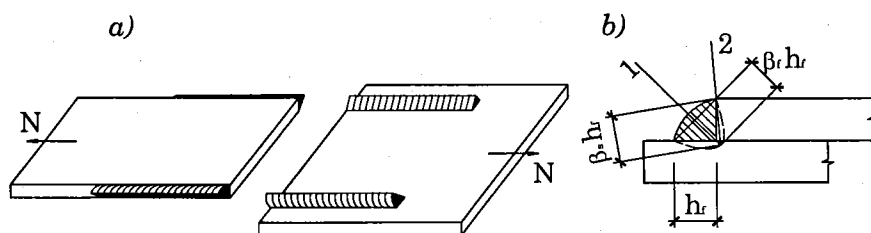
Đường hàn góc cạnh khi truyền lực thì hướng của đường lực trong liên kết thay đổi phức tạp. Ứng suất phân bố không đều theo chiều rộng, chiều dài của bản thép cũng như dọc theo đường hàn (hình 2.8).

Hai mút của đường hàn chịu ứng suất tiếp lớn nhất ( $\tau_{\max}$ ). Để giảm bớt sự phân bố không đều của ứng suất, không được dùng đường hàn quá dài (quy định  $l_w$  xem §2.3.2).



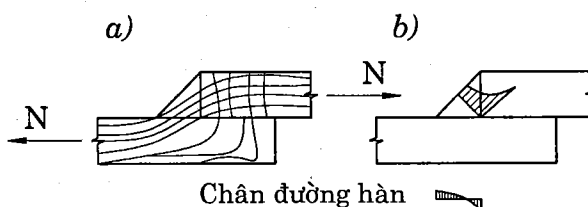
Hình 2.8. Sự phân bố ứng suất trong đường hàn góc cạnh

Thực chất đường hàn góc cạnh chịu đồng thời cả ứng suất cắt và uốn. Trong tính toán coi như chúng chỉ chịu cắt quy ước và phá hoại theo một trong hai tiết diện dọc theo kim loại đường hàn (tiết diện 1, hình 2.9b) hoặc theo biên nóng chảy của thép cơ bản (tiết diện 2, hình 2.9b).



Hình 2.9. 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.

Đường hàn góc đầu (hình 2.10) truyền lực đều theo bề rộng của liên kết nhưng trong đường hàn lực bị uốn cong và dồn ép ở phía chân đường hàn, vì vậy tại đây ứng suất tập trung rất lớn. Khi làm việc, đường hàn góc đầu chịu đồng thời cả cắt, kéo, uốn. Trong tính toán coi như chúng chỉ chịu cắt quy ước và bị phá hoại theo tiết diện 1 hoặc 2 giống đường hàn góc cạnh (hình 2.9, b).



Hình 2.10. Đường lực trong đường hàn góc đầu  
a) đường lực; b) ứng suất tập trung.

- 3) **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  $f_{ws}$ .

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 2.4. Thép cơ bản được chia làm các lớp cường độ khác nhau, que hàn được chọn theo mục §2.1, phần 1.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).

**Bảng 2.4.** Cường độ kéo đứt tiêu chuẩn  $f_{wun}$  và cường độ tính toán  $f_{wf}$  của kim loại hàn trong mối hàn góc

Đơn vị tính : daN/cm<sup>2</sup>

| Loại que hàn<br>theo TCVN 3223 : 1994 | Cường độ kéo đứt tiêu chuẩn $f_{wun}$ | Cường độ tính toán $f_{wf}$ |
|---------------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------|
| N42, N42 – 6B                         | 4100                                  | 1800                        |
| N46, N46 – 6B                         | 4500                                  | 2000                        |
| N50, N50 – 6B                         | 4900                                  | 2150                        |

Ý nghĩa ký hiệu que hàn trong bảng 2.4 như sau: chữ *N* ở đầu chỉ loại que hàn để hàn nối các kết cấu thép cacbon và thép hợp kim thấp. Nhóm hai chữ số sau chỉ độ bền kéo thấp nhất của mối hàn (daN/mm<sup>2</sup>). Sau gạch ngang là chữ số chỉ dòng điện, cực hàn thích hợp, chữ cái cuối cùng chỉ nhóm thuốc bọc (axit, bazơ...)

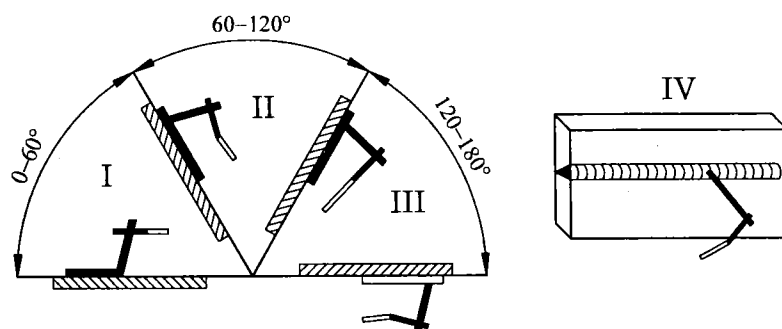
## 2. Các cách phân loại đường hàn khác

- Theo công dụng có đường hàn chịu lực (để truyền lực) và đường hàn không chịu lực (chỉ để cấu tạo).
- Theo vị trí trong không gian khi hàn chia ra: đường hàn nằm, đường hàn đứng, đường hàn ngang và đường hàn ngược (hình 2.11). Đường hàn nằm dễ hàn nhất nên để đảm bảo chất lượng. Đường hàn ngược khó hàn nhất, nên hạn chế dùng.
- Theo địa điểm chế tạo có đường hàn nhà máy và đường hàn công trường.
- Theo tính liên tục của đường hàn có đường hàn liên tục và đường hàn không liên tục. Trong đường hàn không liên tục để đảm bảo sự làm việc

chung của các bộ phận được hàn yêu cầu khoảng cách lớn nhất  $a_{\max}$  giữa hai đường hàn như sau:

$a_{\max} \leq 15 t_{\min}$  đối với các cấu kiện chịu nén;

$a_{\max} \leq 30 t_{\min}$  đối với các cấu kiện chịu kéo hoặc các bộ phận cấu tạo  $t_{\min}$  – chiều dày của bản thép mỏng nhất.

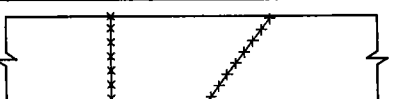
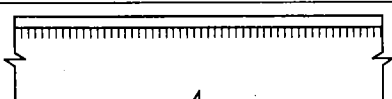
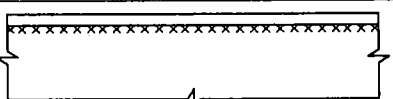
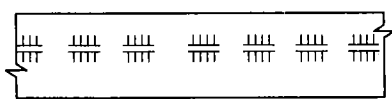
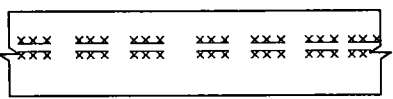
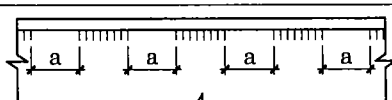
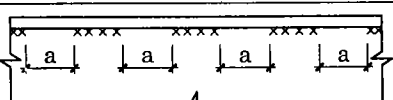


**Hình 2.11.** Vị trí đường hàn trong không gian

I – đường hàn nằm; II – đường hàn đứng; III – đường hàn ngược; IV – đường hàn ngang.

Quy định về ký hiệu các đường hàn trong bản vẽ kỹ thuật được trình bày ở bảng 2.5.

**Bảng 2.5.** Ký 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 |  |  |

## §2.3. CÁC LOẠI LIÊN KẾT HÀN VÀ PHƯƠNG PHÁP TÍNH TOÁN

Tùy theo cách cấu tạo chia ra: liên kết đối đầu, liên kết ghép chồng, liên kết có bản ghép, liên kết hỗn hợp.

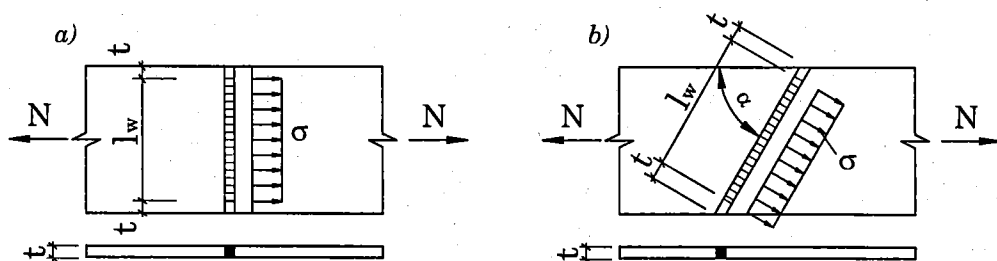
### 1. Liên kết đối đầu

#### a. Cấu tạo

Liên kết đối đầu là liên kết dùng đường hàn đối đầu thẳng hoặc xiên để liên kết trực tiếp hai cấu kiện cùng nằm trong một mặt phẳng (hình 2.12). Liên kết đối đầu thường dùng để nối các bản thép, ít dùng để liên kết các thép hình vì khó gia công mép cấu kiện. Liên kết đối đầu có các ưu điểm của đường hàn đối đầu nên truyền lực tốt, ngoài ra có cấu tạo đơn giản và không tốn thép để làm các chi tiết nối phụ. Nhược điểm của liên kết hàn đối đầu là phải gia công mép các bản thép.

#### b. Tính toán liên kết hàn đối đầu

Khi chịu lực kéo, nén dọc trục (hình 2.12), đường hàn đối đầu được coi như phần kéo dài của thép cơ bản vì vậy tính toán nó như thép cơ bản. Dưới tác dụng của lực dọc trục  $N$  (kéo hoặc nén đúng tâm) ứng suất sẽ phân bố đều trên tiết diện của đường hàn.



Hình 2.12. Liên kết hàn đối đầu chịu lực trục  
a) đường hàn đối đầu thẳng; b) đường hàn đối đầu xiên.

Đối với đường hàn đối đầu thẳng góc (hình 2.12a) công thức kiểm tra bên có dạng

$$\sigma_w = \frac{N}{A_w} = \frac{N}{(tl_w)} \leq f_{wt} \gamma_c, \quad (2.1)$$

trong đó:  $A_w$  – diện tích tính toán của đường hàn đối đầu,  $A = tl_w$ ;

$t$  – bề dày tính toán của đường hàn, bằng bề dày của thép cơ bản.

Khi các cấu kiện được liên kết có các bề dày khác nhau  $t$  lấy bằng bề dày nhỏ nhất trong các bề dày đó;

$l_w$  – chiều dài tính toán của đường hàn,  $l_w = b - 2t$  ( $b$  – chiều dài thực tế của đường hàn, chính là chiều rộng thép cơ bản);

$2t$  – phần đầu và cuối đường hàn mỗi đầu một đoạn  $t$  kể đến chất lượng đường hàn không tốt;

$\gamma_c$  – hệ số điều kiện làm việc;

$f_{wt}$  – cường độ tính toán của đường hàn đối đầu khi chịu kéo (nếu  $N$  là lực nén thì dùng cường độ tính toán khi chịu nén  $f_{wc}$ ). Giá trị của chúng lấy theo §2.2.

Khi cường độ tính toán chịu kéo của đường hàn đối đầu  $f_{wt}$  nhỏ hơn cường độ tính toán của thép cơ bản  $f$ , để đường hàn có khả năng chịu lực như thép cơ bản, ta tăng độ bền của nó bằng cách dùng đường hàn xiên (hình 2.12b) hoặc dùng liên kết hỗn hợp (xem điểm 4 của mục này).

Đường hàn đối đầu xiên chịu lực trục  $N$  được kiểm tra bền theo các ứng suất pháp và tiếp bằng các công thức sau:

$$\sigma_w = \frac{N \sin \alpha}{(t l_w)} \leq f_{wt(wc)} \gamma_c; \quad (2.2)$$

$$\tau_w = \frac{N \cos \alpha}{(t l_w)} \leq f_{wv} \gamma_c; \quad (2.3)$$

trong đó:  $\sigma_w, \tau_w$  – ứng suất pháp và tiếp trong đường hàn;

$\alpha$  – góc nghiêng của đường hàn so với phương của lực trục  $N$ ;

$l_w$  – chiều dài tính toán của đường hàn xiên,  $l_w = \left( \frac{b}{\sin \alpha} \right) - 2t$ .

Khi  $\tan \alpha = 2 : 1$ , đường hàn xiên có độ bền bằng độ bền của thép cơ bản, không cần kiểm tra độ bền của đường hàn nữa.

Liên kết hàn đối đầu chịu tác dụng của mômen uốn  $M$  (hình 2.13a) được kiểm tra bền theo công thức:

$$\sigma_w = \frac{M}{W_w} \leq f_{wt} \gamma_c, \quad (2.4)$$

trong đó:  $W_w$  – mômen kháng của tiết diện đường hàn,  $W_w = \frac{t l_w^2}{6}$ .

Khi liên kết hàn đối đầu chịu tác dụng đồng thời của mômen uốn  $M$  và lực cắt  $V$  (hình 2.13b) độ bền của nó được kiểm tra theo ứng suất tương đương  $\sigma_{td}$ :

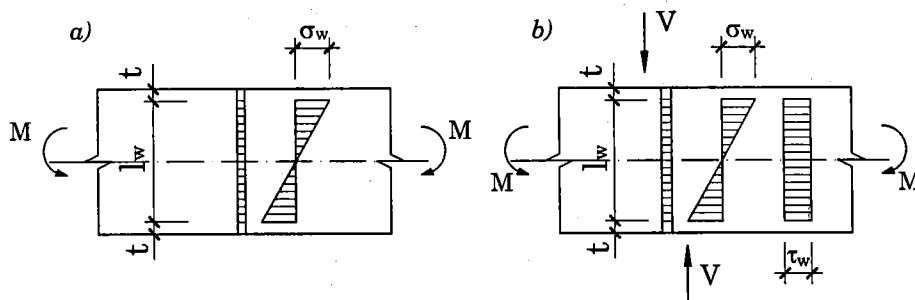
$$\sigma_{td} = \sqrt{\sigma_w^2 + 3\tau_w^2} \leq 1,15 f_{wt} \gamma_c, \quad (2.5)$$

trong đó

$$\sigma_w = \frac{M}{W_w} = \frac{6M}{(t l_w^2)}, \quad (2.6)$$

$$\tau_w = \frac{V}{A_w} = \frac{V}{(l_w \cdot t)}. \quad (2.7)$$

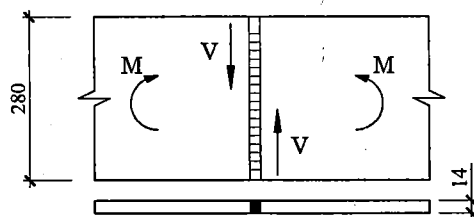
Hệ số 1,15 kể đến sự phát triển của biến dạng dẻo trong đường hàn.



Hình 2.13. Liên kết hàn đối đầu chịu mômen uốn và lực cắt

**Ví dụ 2.1.** Kiểm tra độ bền của đường hàn đối đầu hai bản thép có tiết diện  $280 \times 14$  mm chịu mômen uốn  $M = 25$  kNm, lực cắt  $V = 240$  kN (hình 2.14), hệ số điều kiện làm việc  $\gamma_c = 1$ . Thép có cường độ tính toán  $f = 2100$  daN/cm<sup>2</sup>, que hàn N42, hàn tay, phương pháp kiểm tra thông thường.

Đường hàn chịu tác dụng đồng thời của mômen và lực cắt nên được kiểm tra bền theo (2.5):



Hình 2.14. Hình của ví dụ 2.1

$$\sigma_{td} = \sqrt{\sigma_w^2 + 3\tau_w^2} \leq 1,15 f_{wt} \gamma_c;$$

$$W_w = \frac{t l_w^2}{6} = \frac{1,4(28 - 2.1,4)^2}{6} = 148,18 \text{ cm}^3;$$

$$\sigma_w = \frac{M}{W_w} = \frac{250000}{148,18} = 1687,13 \text{ daN/cm}^2;$$

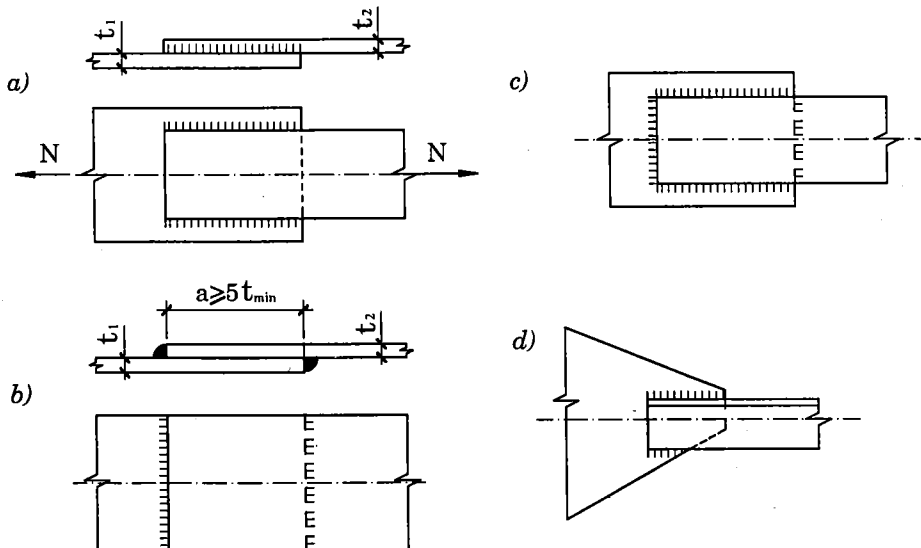
$$\tau_w = \frac{V}{A_w} = \frac{24000}{1,4(28 - 2.1,4)} = 680,27 \text{ daN/cm}^2;$$

$$\sigma_{td} = \sqrt{(1687,13)^2 + 3(680,27)^2} = 2057,8 \text{ daN/cm}^2 < 1,15 \times 1800 = 2070 \text{ daN/cm}^2. \text{ Liên kết đủ bền.}$$

## 2. Liên kết ghép chồng đường hàn góc

### a. Cấu tạo

Hai cấu kiện đặt chồng lên nhau, dùng đường hàn góc liên kết chúng lại. Đoạn chồng lên nhau  $a$  lấy theo yêu cầu bố trí đường hàn,  $a \geq 5t_{\min}$ . Trong liên kết ghép chồng có thể dùng đường hàn góc cạnh (hình 2.15a) hoặc đường hàn góc đầu (hình 2.15b).



Hình 2.15. Liên kết ghép chồng

Vì đường hàn góc có ứng suất hàn và có tập trung ứng suất lớn nên ít dùng đồng thời cả hai loại đường hàn (hình 2.15c) để liên kết khi chịu lực lớn, đặc biệt không nên dùng cho kết cấu chịu tải trọng động.

Liên kết ghép chồng thường dùng để nối các thép bản có chiều dày nhỏ ( $t = 2 \div 5\text{mm}$ ), để liên kết thép hình và thép bản (hình 2.15d).

### b. Tính toán liên kết ghép chồng chịu lực trục

Do tính phức tạp khi làm việc của đường hàn góc nên việc tính toán mang tính quy ước và được kiểm tra bằng thực nghiệm. Đường hàn góc cạnh và góc đầu được tính toán như nhau. Khi chịu lực trục  $N$  (hình 2.15, a) coi như ứng suất phân bố đều dọc theo đường hàn và bị phá hoại do cắt. Độ bền của đường hàn được kiểm tra đồng thời theo hai tiết diện 1 và 2 (hình 2.9b).

- Tiết diện 1 (theo vật liệu đường hàn)

$$\frac{N}{\beta_f h_f \sum l_w} \leq f_{wf} \gamma_c \quad (2.8)$$

– Tiết diện 2 (theo vật liệu của thép cơ bản trên biên nóng chảy)

$$\frac{N}{\beta_s h_f \sum l_w} \leq f_{ws} \gamma_c \quad (2.9)$$

trong đó:  $h_f$  – chiều cao đường hàn góc;

$\sum l_w$  – tổng chiều dài tính toán của các đường hàn,  $l_w$  lấy bằng chiều dài thực tế của đường hàn trừ đi 10 mm kể đến chất lượng không tốt ở đầu và cuối đường hàn;

$\gamma_c$  – hệ số điều kiện làm việc của kết cấu;

$\beta_f, \beta_s$  – các hệ số chiều sâu nóng chảy của đường hàn ứng với các tiết diện 1 và 2 lấy theo bảng 2.6, phụ thuộc vào phương pháp hàn và vị trí của đường hàn trong không gian khi hàn. Khi hàn tay  $\beta_f = 0,7; \beta_s = 1$ ;

$f_{wf}, f_{ws}$  – cường độ tính toán chịu cắt quy ước của thép đường hàn và thép cơ bản trên biên nóng chảy. Giá trị của chúng lấy theo §2.2.

Trong hai điều kiện (2.8) và (2.9) giá trị nhỏ nhất trong hai tích số  $\beta_f f_{wf}$  và  $\beta_s f_{ws}$  tương ứng với tiết diện có khả năng chịu lực yếu hơn (tiết diện phá hoại). Khi hàn tay thường điều kiện 2.8 là quyết định.

Khi thiết kế nên chọn trước chiều cao đường hàn  $h_f$  (dựa theo chiều dày nhỏ nhất của các kết cấu được liên kết  $t_{\min}$ ), từ đó tính ra tổng chiều dài cần thiết của các đường hàn:

$$\sum l_w = \frac{N}{h_f (\beta f_w)_{\min} \gamma_c} \quad (2.10)$$

trong đó:  $(\beta f_w)_{\min}$  – giá trị nhỏ hơn hai giá trị  $\beta_f f_{wf}$  và  $\beta_s f_{ws}$ .

Chiều dài tính toán của đường hàn  $l_w$  cần thỏa mãn các yêu cầu sau:

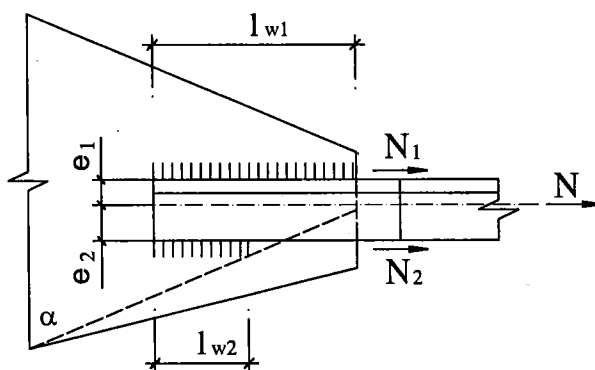
- Chiều dài tối thiểu  $l_w \geq 4 h_f$  và  $l_w \geq 40$  mm.
- Riêng với đường hàn góc cạnh  $l_w \leq 85 \beta_f h_f$ .

Trường hợp liên kết thép hình không đối xứng bằng các đường hàn góc, ví dụ đối với các thép góc (hình 2.16) do lực trục  $N$  không nằm giữa hai đường hàn nên lực tác dụng vào mỗi đường hàn sẽ tỉ lệ nghịch với khoảng cách từ trọng tâm đặt lực đến mỗi đường hàn  $e_1$  và  $e_2$ .

Giá trị của lực  $N_1 = kN$  để tính đường hàn sống, và  $N_2 = (1 - k)N$  để tính đường hàn mép. Có thể lấy  $k$  theo bảng 2.7 phụ thuộc vào loại thép góc và cách bố trí chúng khi liên kết. Tính được  $N_1, N_2$ , theo 2.10 xác định kích thước các đường hàn sống và mép.

**Bảng 2.6.** Hệ số  $\beta_f$  và  $\beta_s$  của đường hàn góc

| Phương pháp hàn và đường kính que hàn $d$ , mm                              | Vị trí của đường hàn trong không gian khi hàn | Hệ số     | Giá trị của $\beta_f$ và $\beta_s$ khi chiều cao của đường hàn $h_b$ mm |        |         |           |
|-----------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|-----------|-------------------------------------------------------------------------|--------|---------|-----------|
|                                                                             |                                               |           | 3 – 8                                                                   | 9 – 12 | 14 – 16 | $\geq 18$ |
| Hàn tự động khi $d = 3 - 5$                                                 | Trong máng (liên kết cánh I với bản bụng)     | $\beta_f$ | 1,1                                                                     |        |         | 0,7       |
|                                                                             |                                               | $\beta_s$ | 1,15                                                                    |        |         | 1,0       |
| Hàn tự động và nửa tự động khi $d = 1,4 - 2$                                | Nằm                                           | $\beta_f$ | 0,9                                                                     | 0,8    | 0,7     |           |
|                                                                             |                                               | $\beta_s$ | 1,05                                                                    | 1,0    |         |           |
| Hàn tay nửa tự động với dây hàn đặc $d = \leq 1,4$ hoặc rỗng nhồi thuốc hàn | Trong máng, nằm, đứng, ngang, ngược           | $\beta_f$ | 0,7                                                                     |        |         |           |
|                                                                             |                                               | $\beta_s$ | 1,0                                                                     |        |         |           |



**Hình 2.16.** Liên kết thép góc với thép bản

**Ví dụ 2.2.** Thiết kế liên kết hàn giữa thanh gồm hai thép góc số hiệu L 100 × 10 với bản thép có  $t = 12\text{mm}$ ;  $N = 700\text{ kN}$  (hình 2.16). Thép mác CT34, có cường độ tính toán  $f = 2100\text{ daN/cm}^2$ , cường độ bền tiêu chuẩn  $f_u = 3450\text{ daN/cm}^2$ . Hệ số điều kiện làm việc của kết cấu  $\gamma_c = 1$ .

Theo bảng 2.1 với thép CT34 dùng que hàn N42 có  $f_{wf} = 1800\text{ daN/cm}^2$ ;  $f_{ws} = 0,45f_u = 1552\text{ daN/cm}^2$ . Dùng phương pháp hàn tay nên  $\beta_f = 0,7$ ;  $\beta_s = 1$ .

Chọn  $h_f = 10\text{ mm}$ . Theo bảng 2.7 có lực tác dụng vào đường hàn sống  $N_1 = 0,7N$  và đường hàn mép  $N_2 = 0,3N$ . Chiều dài cần thiết của các đường hàn sống  $l_{w1}$  và đường hàn mép  $l_{w2}$  được xác định theo (2.10)



$$l_{w1} = \frac{0,7N}{2h_f(\beta f_w)_{\min} \gamma_c};$$

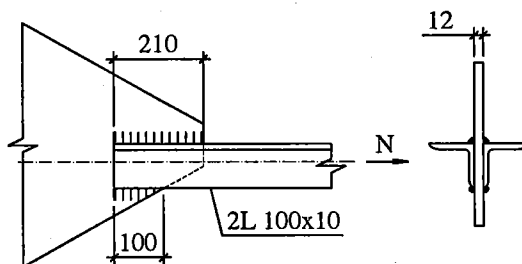
$$l_{w2} = \frac{0,3N}{2h_f(\beta f_w)_{\min} \gamma_c};$$

Trong đó:

$$(\beta f_w)_{\min} = \beta_f f_{wf} = 1260 \text{ daN/cm}^2;$$

$$l_{w1} = \frac{(0,7 \cdot 700000)}{(2 \cdot 1 \cdot 1260)} = 19,4 \text{ cm};$$

$$l_{w2} = \frac{(0,3 \cdot 700000)}{(2 \cdot 1 \cdot 1260)} = 8,3 \text{ cm};$$



Hình 2.17. Hình của ví dụ 2.2

Lấy chiều dài thực của đường hàn sống bằng 21 cm; chiều dài thực của đường hàn mép bằng 10cm. Liên kết như hình (2.17);

Kiểm tra điều kiện  $l_w \leq 85 \beta_f h_f = 85 \cdot 0,7 \cdot 1 = 59,5 \text{ cm}$ . Các đường hàn góc cạnh đều thỏa mãn.

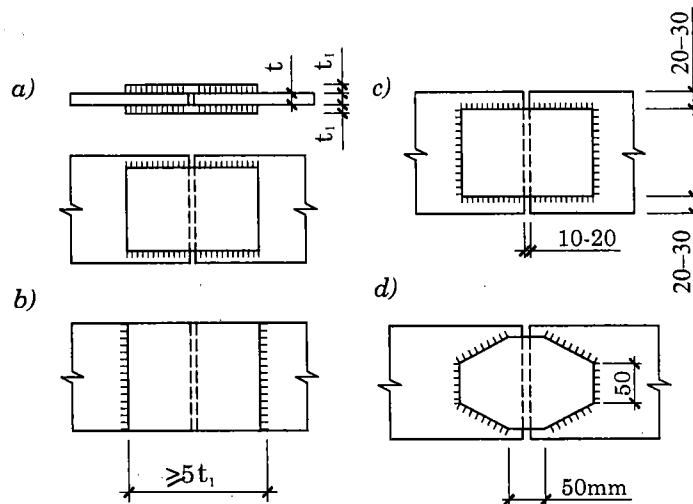
Bảng 2.7. Hệ số phân phối nội lực  $N$  khi liên kết các thép góc với thép bản

| Loại thép góc                     | Cách liên kết | $k$  | $1 - k$ |
|-----------------------------------|---------------|------|---------|
| Đều cạnh                          |               | 0,70 | 0,30    |
| Không đều cạnh hàn theo cạnh ngắn |               | 0,75 | 0,25    |
| Không đều cạnh hàn theo cạnh dài  |               | 0,60 | 0,40    |

### 3. Liên kết có bản ghép

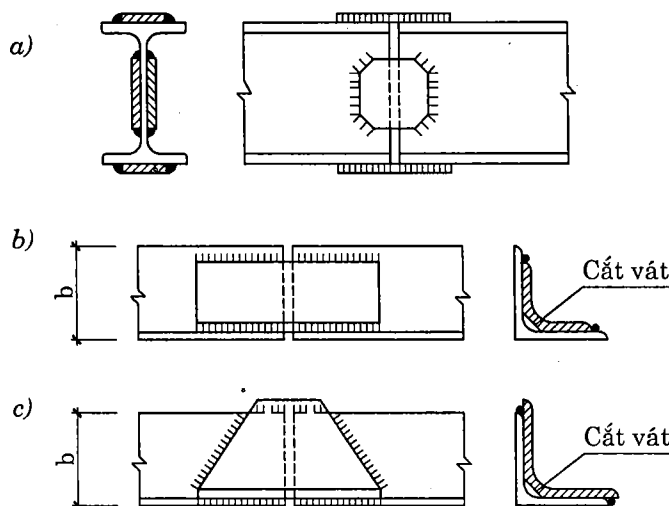
#### a. Cấu tạo

Lực truyền từ cấu kiện này sang cấu kiện kia qua các bản ghép, các bản ghép được liên kết với thép cơ bản bằng các đường hàn góc cạnh (hình 2.18, a), góc đầu (hình 2.18b) hoặc cả hai loại (hình 2.18c).



Hình 2.18. Liên kết có bản ghép đối với thép tấm

Liên kết có bản ghép có ưu điểm là không phải gia công mép cấu kiện nhưng lại tốn thép làm bản ghép. Ngoài ra, trong liên kết có ứng suất tập trung lớn vì vậy không nên dùng để chịu tải trọng động. Để giảm ứng suất tập trung ở các góc vuông người ta cắt vát cạnh của bản ghép (hình 2.18d) và để lại đoạn 50 mm không hàn.



Hình 2.19. Liên kết có bản ghép đối với thép hình

Liên kết có bản ghép có thể dùng cho thép bản (hình 2.18) hay thép hình (hình 2.19). Khi nối thép góc dùng bản ghép là thép góc (hình 2.19b). Nếu bề rộng của cánh thép góc cần nối  $b \geq 130$  mm thép góc nối sẽ được cắt vát để các đường hàn gần trục truyền lực hơn, làm việc tốt hơn (hình 2.19c).

#### b. Tính toán liên kết hàn có bản ghép chịu lực trục

Việc kiểm tra bền của liên kết có bản ghép được tiến hành theo hai điều kiện:

- Kiểm tra độ bền của các bản ghép. Để các bản ghép truyền được lực giữa các cấu kiện cơ bản, yêu cầu

$$\sum A_{bg} \geq A, \quad (2.11)$$

trong đó:  $\sum A_{bg}$  – tổng diện tích tiết diện các bản ghép;

$A$  – diện tích tiết diện cấu kiện cơ bản;

- Kiểm tra độ bền các đường hàn góc theo hai tiết diện 1 và 2 bằng các công thức (2.8), (2.9).

Khi thiết kế, thường chọn trước diện tích bản ghép theo (2.11), sau đó tính chiều dài cần thiết của đường hàn theo (2.10).

### 4. Liên kết hỗn hợp

#### a. Cấu tạo

Liên kết hỗn hợp là liên kết đối đầu có thêm các bản ghép với các đường hàn góc (hình 2.20). Bản ghép dùng tăng cường cho đường hàn đối đầu khi nó không đủ chịu lực. Liên kết hỗn hợp dùng liên kết thép bản (hình 2.20b) hay thép hình (hình 2.20a). Có thể dùng một hoặc hai bản ghép. Liên kết hỗn hợp có ứng suất tập trung lớn, mặt khác phải bảo đảm mặt đường hàn đối đầu mới đặt được bản ghép, tốn công nên ít dùng.

#### b. Tính toán liên kết hỗn hợp chịu lực trục

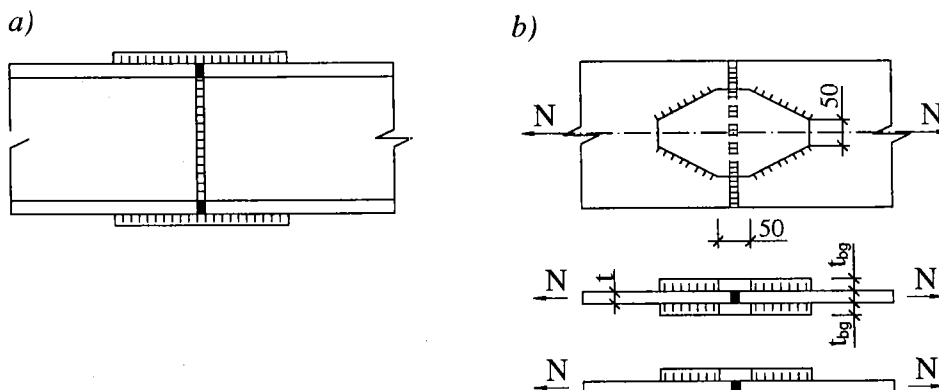
Khi tính toán liên kết hỗn hợp chịu lực trục  $N$  (hình 2.20b) coi như ứng suất trong đường hàn đối đầu bằng ứng suất trong các bản ghép. Điều kiện bền của liên kết được kiểm tra theo công thức

$$\sigma_w = \frac{N}{A + \sum A_{bg}} \leq f_{wt(c)} \gamma_c, \quad (2.12)$$

trong đó:  $A$  – diện tích tiết diện thép cơ bản;

$\sum A_{bg}$  – tổng diện tích tiết diện các bản ghép;

$f_{wt(c)}$  – cường độ tính toán của đường hàn đối đầu khi chịu kéo (hoặc nén).



Hình 2.20. Liên kết hỗn hợp

Khi thiết kế, chọn trước bản ghép có chiều rộng gần bằng chiều rộng thép cơ bản (để truyền lực đều hơn), bố trí đường hàn đối đầu, sau đó tính lực truyền qua bản ghép  $N_{bg} = \sigma_w A_{bg}$ . Tổng chiều dài cần thiết của đường hàn góc để liên kết một bản ghép ở một phía của liên kết:

$$\sum l_w = \frac{N_{bg}}{(\beta f_w)_{\min} h_f \gamma_c}, \quad (2.13)$$

trong đó:  $(\beta f_w)_{\min}$  – trị số nhỏ hơn trong hai tích số  $\beta_f f_{wf}$  và  $\beta_s f_{ws}$ .

## 5. Tính toán liên kết hàn với đường hàn góc chịu mômen và lực cắt

Liên kết chịu lực như hình 2.21. Điều kiện bên của đường hàn được kiểm tra như sau:

- Khi chỉ có mômen uốn  $M$  tác dụng, tính theo vật liệu đường hàn (tiết diện 1)

$$\tau_{1M} = \frac{M}{W_{wf}} \leq f_{wf} \gamma_c \quad (2.14)$$

theo vật liệu của thép cơ bản biên nóng chảy (tiết diện 2)

$$\tau_{2M} = \frac{M}{W_{ws}} \leq f_{ws} \gamma_c; \quad (2.15)$$

trong đó:  $W_{wf} = \beta_f h_f \frac{\sum l_w^2}{6}$  – mômen kháng của đường hàn theo tiết diện 1;

$W_{ws} = \beta_s h_s \frac{\sum l_w^2}{6}$  – mômen kháng của đường hàn theo tiết diện 2.

- Khi chỉ có lực cắt  $V$  tác dụng, tính theo thép đường hàn (tiết diện 1):

$$\tau_{1V} = \frac{V}{A_{wf}} \leq f_{wf} \gamma_c; \quad (2.16)$$

theo vật liệu thép cơ bản trên biên nóng chảy (tiết diện 2):

$$\tau_{2V} = \frac{V}{A_{ws}} \leq f_{ws} \gamma_c; \quad (2.17)$$

trong đó:  $A_{wf}$ ,  $A_{ws}$  – diện tích tính toán của tiết diện đường hàn tương ứng với các tiết diện 1 và 2,  $A_{wf} = \beta_f h_f \sum l_w$ ;

$$A_{ws} = \beta_s h_s \sum l_w.$$

- Khi cả mômen uốn  $M$  và lực cắt  $V$  tác dụng đồng thời. Đường hàn được kiểm tra bền theo ứng suất tổng (cộng hình học các vectơ ứng suất thành phần, khác trạng thái ứng suất phẳng trong đường hàn đối đầu) theo tiết diện 1:

$$\tau_{td} = \sqrt{\left(\frac{M}{W_{wf}}\right)^2 + \left(\frac{V}{A_{wf}}\right)^2} \leq f_{wf} \gamma_c; \quad (2.18)$$

theo tiết diện 2:

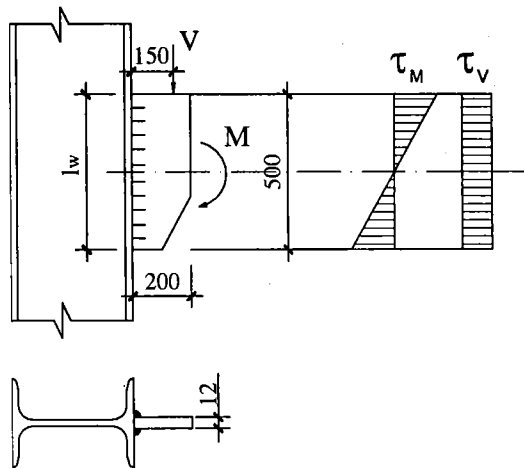
$$\tau_{td} = \sqrt{\left(\frac{M}{W_{ws}}\right)^2 + \left(\frac{V}{A_{ws}}\right)^2} \leq f_{ws} \gamma_c. \quad (2.19)$$

**Ví dụ 2.3.** Tính liên kết côngxon là bản thép vào cột chữ I, bằng các đường hàn góc. Bản thép có tiết diện  $500 \times 12$  mm, chịu lực  $V = 700$  kN đặt lệch tâm so với đường hàn đoạn  $e = 150$  mm (hình 2.21). Thép có cường độ tính toán  $f = 2100$  daN/cm<sup>2</sup>; cường độ tức thời tiêu chuẩn  $f_u = 3450$  daN/cm<sup>2</sup>. Dùng que hàn N42, phương pháp hàn tay. Hệ số điều kiện làm việc của kết cấu  $\gamma_c = 1$ .

Chọn  $h_f = 12$  mm;  $l_w = 50 - 1 = 49$  cm. Với que hàn N42, hàn ta có  $f_{wf} = 1800$  daN/cm<sup>2</sup>;  $f_{ws} = 1550$  daN/cm<sup>2</sup>;  $\beta_f = 0,7$ ;  $\beta_s = 1$ .

Tương tự các ví dụ trước  $(\beta_f)_{\min} = \beta_f f_{wf} = 1260$  daN/cm<sup>2</sup> tức là tiết diện tính toán là tiết diện 1 đi qua đường hàn.

Mômen lệch tâm:  $M = Ve = 70000 \times 15 = 1050000$  daN cm.



Hình 2.21. Hình của ví dụ 2.23

Theo (2.14) xác định ứng suất trong đường hàn do mômen gây nên

$$\tau_{1M} = \frac{M}{W_{wf}} = \frac{6M}{2\beta_f h_f l_w^2};$$

$$\tau_{1M} = \frac{6 \times 10500000}{2 \times 0,7 \times 1,2 \times 49^2} = 1561,8 \text{ daN/cm}^2$$

Theo (2.16) xác định ứng suất do lực cắt gây ra

$$\tau_{1V} = \frac{V}{A_{wf}} = \frac{V}{2\beta_f h_f l_w};$$

$$\tau_{1V} = \frac{70000}{2 \times 0,7 \times 1,2 \times 49} = 850,3 \text{ daN/cm}^2.$$

Độ bền của đường hàn được kiểm tra theo (2.18):

$$\tau_{td} = \sqrt{\tau_{1M}^2 + \tau_{1V}^2} = \sqrt{1561,8^2 + 850,3^2};$$

$$\tau_{td} = 1778 \text{ daN/cm}^2 < f_{wf} = 1800 \text{ daN/cm}^2. \text{ Liên kết đủ bền.}$$

## §2.4. ỨNG SUẤT HÀN VÀ BIẾN HÌNH HÀN

### 1. Sự phát sinh ứng suất hàn và biến hình hàn

Khi hàn xong, do ảnh hưởng của nhiệt độ, cấu kiện thường bị cong vênh, hiện tượng đó gọi là biến hình hàn (hình 2.22). Cùng với hiện tượng trên, trong thép cơ bản và trong đường hàn nảy sinh nội ứng suất (không phải do tải trọng ngoài gây ra) gọi là ứng suất hàn (hay còn gọi là ứng suất nhiệt,

ứng suất co ngót). Tùy theo phương của ứng suất hàn so với đường hàn phân ra ứng suất co ngót ngang (hình 2.22a), và ứng suất co ngót dọc (hình 2.22b).

Để thấy rõ quá trình hình thành ứng suất hàn, ta xét một tấm thép có đường hàn tại mép (hình 2.23).

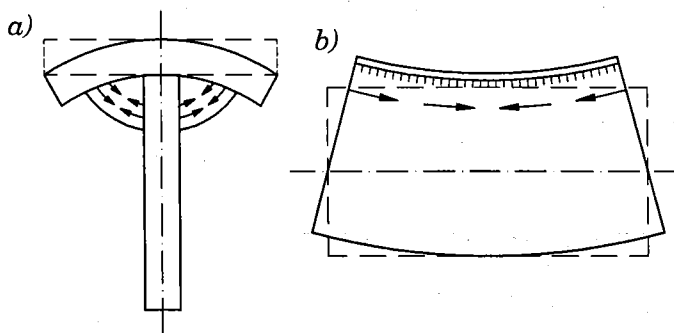
Khi hàn thép bị đốt nóng đến nhiệt độ nóng chảy. Sự phân bố nhiệt độ theo bề ngang tấm thép không đều và có dạng của đường cong  $e - e$  (hình 2.23a). Biến dạng dài của thép do nhiệt độ được tính bằng công thức:

$$\Delta l = \alpha l \Delta t,$$

trong đó:  $\alpha$  – hệ số giãn nở nhiệt của thép;

$l$  – chiều dài ban đầu;

$\Delta t = t_1 - t_2$  – độ biến thiên nhiệt độ.



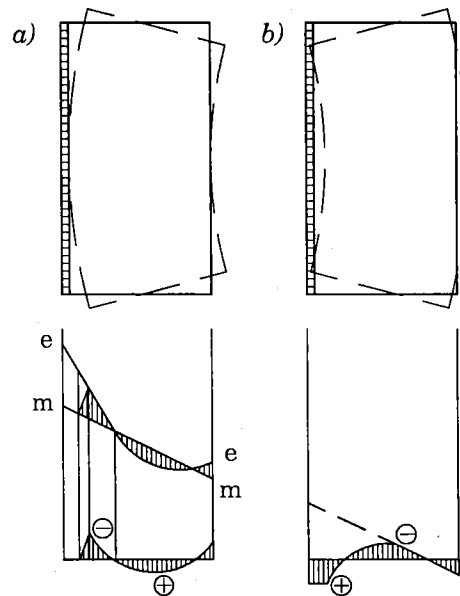
Hình 2.22. Ứng suất hàn và biến hình hàn

Giả sử tấm thép gồm những giải dọc độc lập, không liên kết với nhau thì biến dạng dài của chúng sẽ tỉ lệ với nhiệt độ, tương ứng với đường cong  $e - e$ . Nhưng do tấm thép đặc, các giải dọc gắn chặt nhau nên ngăn cản nhau trong quá trình biến dạng. Theo giả thiết tiết diện phẳng khi uốn, biến dạng thực của các giải sẽ theo đường thẳng  $m - m$ . Hiệu số giữa biến dạng quy ước (đường cong  $e - e$ ) và biến dạng thực (đường  $m - m$ ) chính là biến dạng dư của giải  $\Delta l_i = \Delta l_e - \Delta l_m$ . Các biến dạng này gây nên ứng suất khi hàn ( $\sigma = E\varepsilon = \frac{E\Delta l_i}{l_i}$ ). Nơi có  $t^\circ \geq 600^\circ\text{C}$  thép hóa dẻo, mất tính bền (các giải biến dạng tự

do), ứng suất hàn bằng không (hình 2.23a). Biến dạng uốn của tấm khi hàn theo hình nét đứt (hình 2.23a).

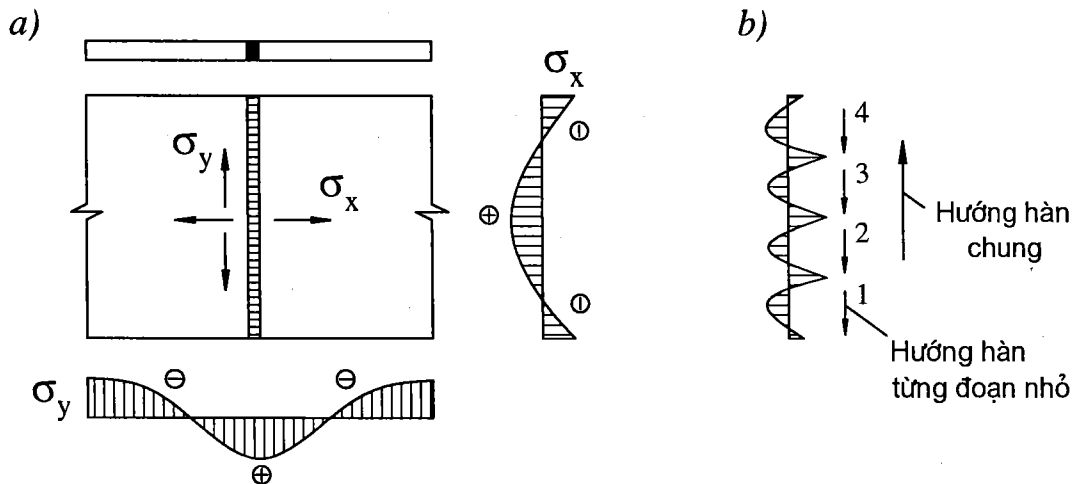
Khi nguội đi, đường cong nhiệt độ  $e - e$  sẽ giảm và san đều dần. Khu thép sát đường hàn (nơi có nhiệt độ cao hơn) co lại nhanh hơn, nhưng bị ngăn cản bởi vùng thép lân cận (nơi có nhiệt độ thấp hơn, cứng hơn), kết quả khu thép sát đường hàn chịu kéo và vùng lân cận chịu nén. Biểu đồ ứng suất hàn và biến dạng của tấm thép như trên hình 2.23b.

Khi hàn đối đầu hai tấm thép, biểu đồ ứng suất co ngót dọc  $\sigma_y$  (hình 2.24a) sẽ là cộng của hai biểu đồ ứng suất trên hình 2.23b. Đồng thời do đường hàn ngăn cản sự biến dạng của hai tấm thép nên phát sinh ứng suất co ngót ngang  $\sigma_x$  (hình 2.24a). Vùng giữa tấm thép, xu hướng uốn cong lõm của tấm thép bị ngăn cản nên phát sinh ứng suất kéo, hai đầu tấm là ứng suất nén.



Hình 2.23

a) biến hình hàn và ứng suất hàn khi hàn;  
b) biến hình và ứng suất hàn



Hình 2.24. Biểu đồ ứng suất hàn trong đường hàn đối đầu

## 2. Các biện pháp làm giảm ứng suất hàn và biến hình hàn

Ứng suất hàn tự cân bằng và trong giai đoạn làm việc dẻo của vật liệu, chúng sẽ bị san đều, vì vậy không ảnh hưởng đến khả năng chịu lực của liên



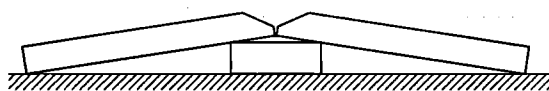
kết. Tuy nhiên, ở trạng thái ứng suất phẳng và ứng suất khối (khi sự phát triển biến dạng dẻo của vật liệu khó hơn) ứng suất hàn làm tăng khả năng phá hoại giòn của kết cấu. Mặt khác, biến hình hàn làm mất công sửa chữa cấu kiện nên cần tìm cách giảm ứng suất hàn và biến hình hàn. Để thực hiện điều đó có thể dùng các biện pháp sau:

- *Biện pháp cấu tạo*

- giảm số lượng đường hàn đến mức tối đa;
- không nên dùng đường hàn quá dày vì biến hình hàn tỉ lệ thuận với khối lượng thép nóng chảy;
- tránh tập trung đường hàn vào một chỗ, tránh đường hàn kín hoặc cắt nhau làm cản trở biến dạng tự do của vật liệu khi hàn.

- *Biện pháp thi công*

- chọn trình tự hàn thích hợp. Ví dụ khi đường hàn đối đầu quá dài không nên hàn một lượt cả chiều dài mà chia thành các đoạn nhỏ và hàn theo thứ tự 1,2,3,4 (hình 2.24b). Như vậy biểu đồ ứng suất co ngót ngang sẽ bị chia nhỏ và giá trị giảm đi;
- tạo biến dạng ngược trước khi hàn: ví dụ đặt hai tấm thép nghiêng trước khi hàn (hình 2.25), hàn xong, do co ngót ngang gây biến hình thành ra thẳng;
- dùng khuôn cố định không cho kết cấu biến dạng khi hàn.



Hình 2.25. Tạo biến dạng ngược khi hàn

## B. LIÊN KẾT BULÔNG

### §2.5. CÁC LOẠI BULÔNG DÙNG TRONG KẾT CẤU THÉP

#### 1. Cấu tạo chung của bulông

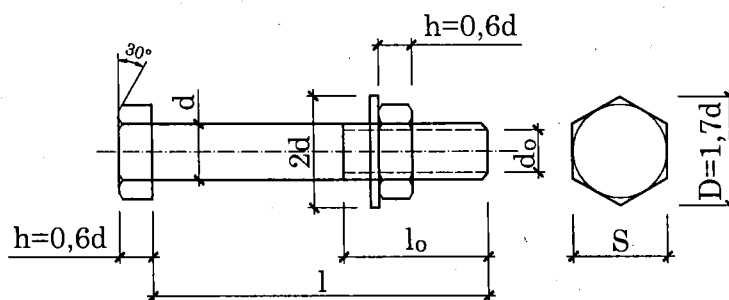
Hình dáng và ký hiệu các kích thước chính của bulông cho trên hình 2.26.

Thân bulông là đoạn thép tròn, đường kính bulông thường  $d = 12 \div 48$  mm, với bulông neo  $d$  tới 100mm. Đường kính trong của phần bị ren là  $d_o$ , chiều dài của phần thân không ren nhỏ hơn chiều dày tập bản thép liên kết

khoảng 2÷3 mm. Chiều dài của phần ren  $l_o \approx 2,5d$ . Chiều dài bulông  $l = 35 \div 300$  mm tùy theo yêu cầu sử dụng.

Mũ, êcu (đai ốc) của bulông thường có dạng hình lục giác, kích thước như nhau. Long đen (đệm) hình tròn dùng để phân phối áp lực của êcu lên mặt thép cơ bản.

Tùy theo cách sản xuất, vật liệu và tính chất làm việc của bulông có các loại sau: bulông thô, bulông độ chính xác bình thường (bulông thường), bulông độ chính xác cao (bulông tinh, bulông chính xác), bulông cường độ cao, bulông neo.



Hình 2.26. Cấu tạo của bulông

Tùy theo vật liệu bulông được chia thành các lớp độ bền khác nhau ký hiệu 4.6 ÷ 10.9 (bảng 1.10 phụ lục I). Chữ số đầu nhân với 10 cho biết cường độ tức thời của vật liệu bulông  $f_u$  (daN/mm<sup>2</sup>), tích của số đầu và số thứ hai là giới hạn chảy  $f_y$  (daN/mm<sup>2</sup>). Bulông cho các công trình thông thường nên dùng lớp độ bền 4.6; 4.8; hoặc 5.6.

## 2. 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 ÷ 3 mm.

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 ÷ 3 mm 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).

Loại bulông này 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  $f_y > 3800 \text{ daN/cm}^2$ . Chỉ nên dùng bulông thô và bulông thường khi chúng làm việc chịu kéo hoặc để định vị các cấu kiện khi lắp ghép.

### 3. 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  $2 \div 3 \text{ mm}$ , 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 gõ nhẹ) nên loại bulông này ít dùng.

Bulông tinh có các lớp độ bền tương tự bulông thô và bulông thường.

### 4. Bulông cường độ cao

Bulông cường độ cao được làm từ thép hợp kim (40Cr; 38CrSi; 40CrVA; 30Cr3MoV), sau đó cho gia công nhiệt.

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 hành 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.

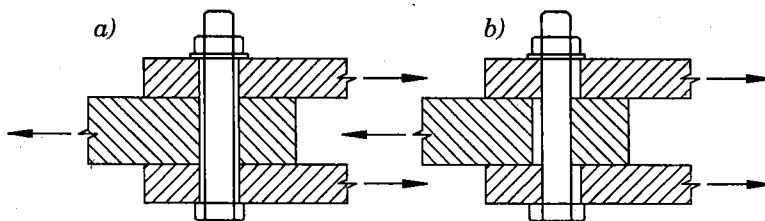
## §2.6. SỰ LÀM VIỆC CỦA LIÊN KẾT BULÔNG VÀ KHẢ NĂNG CHỊU LỰC CỦA BULÔNG

### 1. Sự làm việc chịu trượt của liên kết bulông thô, bulông thường và bulông tinh

#### a. Các giai đoạn chịu lực

Do vận êcu nên bulông chịu kéo và các bản thép bị xiết chặt, giữa mặt tiếp xúc của các bản thép hình thành lực ma sát. Tuy nhiên, lực ma sát này không đủ lớn để tiếp nhận hoàn toàn lực trượt do tải trọng ngoài gây nên. Khi chịu lực trượt sự làm việc của các loại bulông này chia làm bốn giai đoạn.

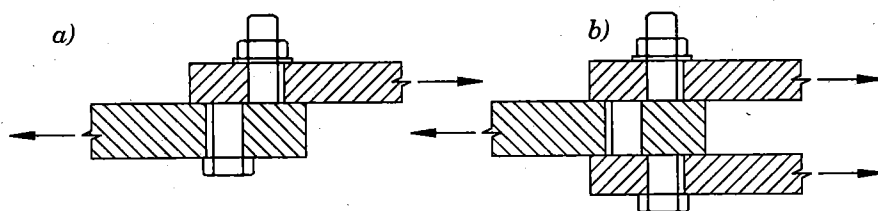
- *Giai đoạn 1:* lực trượt do ngoại lực gây ra còn nhỏ hơn lực ma sát, các bản thép chưa bị trượt, bulông chưa chịu tải ngoài lực kéo ban đầu (hình 2.27a).
- *Giai đoạn 2:* tăng tải trọng ngoài, lực trượt bắt đầu lớn hơn lực ma sát, các bản thép trượt tương đối với nhau, thân bulông tì sát vào thành lỗ (hình 2.27b).
- *Giai đoạn 3:* trong giai đoạn này lực trượt truyền qua liên kết chủ yếu bằng sự ép của thân bulông lên thành lỗ. Thân bulông chịu cắt, uốn và kéo (do mũ bulông ngăn cản sự uốn tự do của thân).
- *Giai đoạn 4:* lực trượt tăng tiếp, độ chặt của liên kết giảm dần, lực ma sát yếu đi, liên kết chuyển sang làm việc trong giai đoạn dẻo. Liên kết có thể bị phá hoại do cắt ngang thân đinh (hình 2.28) hoặc đứt bản thép giữa hai lỗ bulông hoặc từ lỗ bulông đến mép bản thép do áp lực ép mặt trên thành lỗ gây ra (hình 2.29).



Hình 2.27. Sự làm việc của liên kết bulông

#### b. Khả năng làm việc chịu cắt của bulông

Khi đường kính bulông nhỏ, bản thép dày, bulông có thể bị phá hoại do cắt ngang thân (hình 2.28).



Hình 2.28. Sự phá hoại do cắt của bulông

Khả năng chịu cắt của một bulông được tính theo công thức

$$[N]_{vb} = f_{vb} \gamma_b A n_v, \quad (2.20)$$

trong đó:  $f_{vb}$  – cường độ tính toán chịu cắt của vật liệu bulông, lấy theo bảng 1.10 phụ lục I;

$\gamma_b$  – hệ số điều kiện làm việc của liên kết bulông, giá trị của  $\gamma_b$  lấy theo bảng 2.8.

$A$  – diện tích tiết diện ngang của thân bulông (phần không bị ren),

$A = \frac{\pi d^2}{4}$  lấy theo bảng 2.9;

$d$  – đường kính thân bulông;

$n_v$  – số lượng mặt cắt tính toán của bulông. Giá trị  $n_v$  phụ thuộc vào số lượng cấu kiện chịu lực được liên kết. Ví dụ, khi có hai cấu kiện (hình 2.28a)  $n_v = 1$ , khi có ba cấu kiện (hình 2.28b)  $n_v = 2, \dots$

### c. Khả năng làm việc chịu ép mặt của bulông

Nếu khoảng cách giữa các lỗ bulông hoặc từ lỗ bulông đến mép bản thép quá ngắn hoặc bản thép mỏng ( $t < 0,6d$ ), thì bản thép có thể bị phá hoại trượt (bị xé rách theo đường trượt  $l$ , nối giữa điểm 3 với điểm 4 và nghiêng góc khoảng  $35^\circ$  so với phương dọc bản thép, xem hình 2.29) do tác dụng ép mặt của bulông lên thành lỗ. Chiều dài ép mặt và mức độ phân bố không đều của ứng suất ép mặt cục bộ phụ thuộc vào độ sai khác giữa đường kính bulông và đường kính lỗ (thông thường góc mở khi ép mặt khoảng  $120^\circ$ ). Tại điểm 1 có  $\sigma_{cbmax}$ , tại điểm 2 có  $\sigma_{cb} = 0$ . Đồng thời trong bản thép tồn tại các ứng suất  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$  cũng phân bố không đều, ở mép lỗ có sự tập trung ứng suất  $\sigma_x$  lớn nhất. Các thí nghiệm cho thấy sự phân bố ứng suất trong bản thép rất phức tạp, vì vậy việc tính toán được thực hiện theo cách gần đúng.

Khả năng chịu trượt của bản thép khi coi chiều dài trượt  $l = a$ .

$$S = 2atf_v, \quad (2.21)$$

trong đó:  $a$  – khoảng cách từ trọng tâm lỗ bulông đến mép bản thép;  
 $t$  – chiều dày bản thép;  
 $f_v$  – cường độ tính toán chịu cắt của thép liên kết.

Theo thuyết bền thứ III có  $f_v = \frac{f}{2}$  và khi lấy khoảng cách tối thiểu  $a = 2d$ , từ (2.21) có:

$$S = dt2f,$$

trong đó:  $dt$  – diện tích ép mặt quy ước của thân bulông lên thành lỗ.

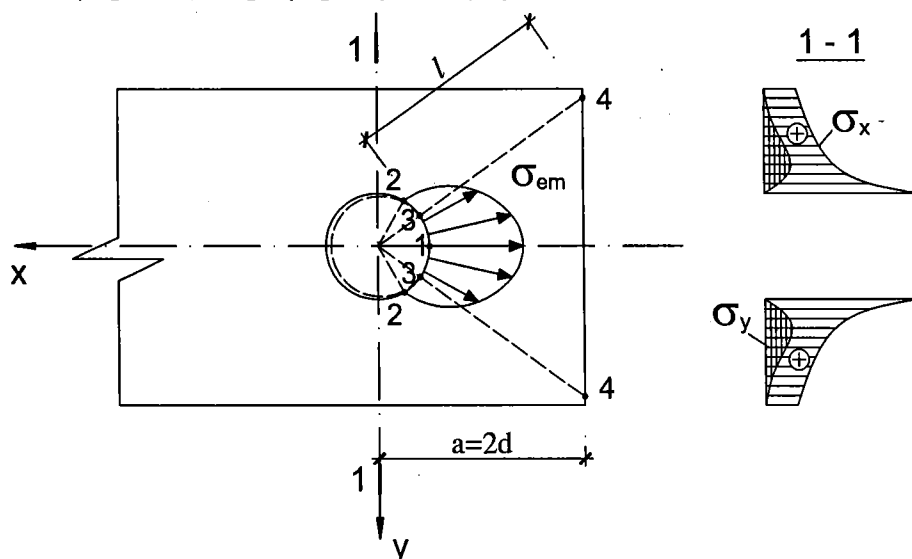
Gọi  $2f$  là cường độ tính toán ép mặt quy ước  $f_{cb}$  của bulông, khả năng chịu ép mặt của một bulông khi kể cả hệ số điều kiện làm việc là:

$$[N]_{cb} = S \gamma_b = dt f_{cb} \gamma_b.$$

Trường hợp tổng quát khi liên kết có nhiều bản thép

$$[N]_{cb} = d \left( \sum t \right)_{\min} f_{cb} \gamma_b, \quad (2.22)$$

trong đó:  $\left( \sum t \right)_{\min}$  – tổng chiều dày nhỏ nhất của các bản thép cùng trượt về một phía (cùng bị ép mặt ở một phía).



Hình 2.29. Sự làm việc ép mặt của bulông

Cường độ ép mặt tính toán  $f_{cb}$  của bulông phụ thuộc vào vật liệu thép liên kết và phương pháp tạo lỗ bulông. Lỗ bulông thô và bulông thường (lỗ loại C) do đột tạo thành nên chất lượng kém hơn lỗ bulông tinh (lỗ loại B) do khoan tạo thành. Giá trị của  $f_{cb}$  lấy theo bảng 1.11 phụ lục I.

Khi chịu lực, sự tập trung ứng suất quanh lỗ bulông thô và bulông thường lớn hơn, vì vậy  $f_{cb}$  của chúng bé hơn của bulông tinh. Thí dụ với mác thép CT34,  $f_{cb} = 3950 \text{ daN/cm}^2$  đối với bulông thô và thường;  $f_{cb} = 4350 \text{ daN/cm}^2$  đối với bulông tinh.

Gọi khả năng chịu ép mặt của bulông chỉ mang tính quy ước vì thực chất là xác định khả năng chịu trượt của bản thép.

**Bảng 2.8.** Hệ số điều kiện làm việc  $\gamma_b$

| Đặc điểm của liên kết                                                                                                                                                                                                         | Giá trị $\gamma_b$ |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| 1. Liên kết nhiều bulông khi tính toán chịu cắt và ép mặt:<br>– Đối với bulông tinh (độ chính xác nâng cao)<br>– Bulông thô và bulông độ chính xác bình thường, bulông cường độ cao không điều chỉnh lực xiết đai ốc.         | 1,0<br>0,9         |
| 2. Liên kết có một hoặc nhiều bulông, được tính toán chịu ép mặt khi $a = 1,5d$ và $b = 2d$ , thép được liên kết có giới hạn chảy:<br>– $f_y \leq 285 \text{ N/mm}^2$<br>– $f_y > 285 \text{ N/mm}^2$                         | 0,8<br>0,75        |
| GHI CHÚ: Các hệ số điều kiện làm việc ở mục 1 và 2 được lấy đồng thời;<br>a – khoảng cách dọc theo lực, từ mép cấu kiện đến trọng tâm của lỗ gần nhất;<br>b – khoảng cách giữa trọng tâm các lỗ.<br>d – đường kính lỗ bulông. |                    |

**Bảng 2.9.** Diện tích tiết diện của bulông  $A, A_{bn} - \text{cm}^2$

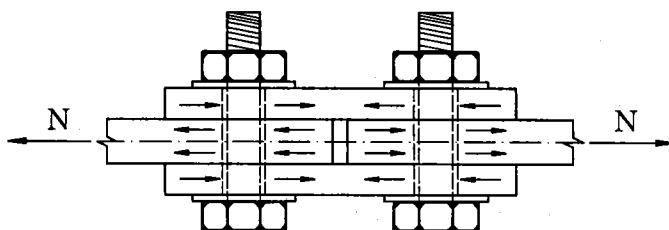
| TCVN 1916 :<br>1995; d, mm | 16   | 18   | 20   | 22   | 24   | 27   | 30   | 36    | 42    | 48    |
|----------------------------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|
| Bước ren p, mm             | 2    | 2,5  | 2,5  | 2,5  | 3    | 3    | 3,5  | 4     | 4,5   | 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 |

## 2. Sự làm việc chịu trượt của liên kết bulông cường độ cao

Trong liên kết bulông cường độ cao, lực ma sát giữa các bản thép hoàn toàn tiếp nhận lực trượt do ngoại lực gây nên (hình 2.30). Bulông chỉ chịu kéo do sự xiết chặt êcu tạo nên.

Độ lớn của lực ma sát phụ thuộc vào lực kéo  $P$  của thân bulông do xiết chặt êcu (chính là lực ép lên mặt bản thép)

$$P = f_{hb} A_{bn} \quad (2.23)$$



Hình 2.30. Sự làm việc chịu trượt của bulông cường độ cao

Khả năng chịu trượt của một bulông cường độ cao được xác định bằng công thức:

$$[N]_b = f_{hb} A_{bn} \gamma_{b1} \left( \frac{\mu}{\gamma_{b2}} \right) n_f, \quad (2.24)$$

trong đó:  $f_{hb}$  – cường độ chịu kéo tính toán của vật liệu bulông,  $f_{hb} = 0,7f_{ub}$ , với  $f_{ub}$  là cường độ tức thời tiêu chuẩn của vật liệu bulông lấy theo bảng 1.12 phụ lục I;

$A_{bn}$  – diện tích thực của tiết diện thân bulông (đã trừ giảm yếu do ren) lấy theo bảng 2.9;

Bảng 2.10. Hệ số ma sát  $\mu$  và hệ số độ tin cậy  $\gamma_{b2}$

| Phương pháp làm sạch mặt phẳng của các cấu kiện được liên kết | Phương pháp điều chỉnh lực xiết bulông | Hệ số ma sát $\mu$ | Hệ số $\gamma_{b2}$ khi tải trọng và độ dung sai giữa đường kính bulông và lỗ $\delta$ , 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 $\alpha$                          | 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 $\alpha$                          | 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 $\alpha$                          | 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 $\alpha$                          | 0,35               | 1,25                                                                                        | 1,06                                               |
| 5. Không gia công bề mặt                                      | Theo $M$                               | 0,25               | 1,7                                                                                         | 1,3                                                |
|                                                               | Theo $\alpha$                          | 0,25               | 1,5                                                                                         | 1,2                                                |

GHI CHÚ: Phương pháp điều chỉnh theo  $M$  tức là theo mômen xoắn; theo  $\alpha$  tức là theo góc quay của êcu.



$\gamma_{b1}$  – hệ số điều kiện làm việc của liên kết bulông, giá trị phụ thuộc số lượng bulông chịu lực  $n_a$  trong liên kết lấy như sau:

$$\gamma_{b1} = 0,8 \text{ nếu } n_a < 5;$$

$$\gamma_{b1} = 0,9 \text{ nếu } 5 \leq n_a < 10;$$

$$\gamma_{b1} = 1,0 \text{ nếu } n_a \geq 10.$$

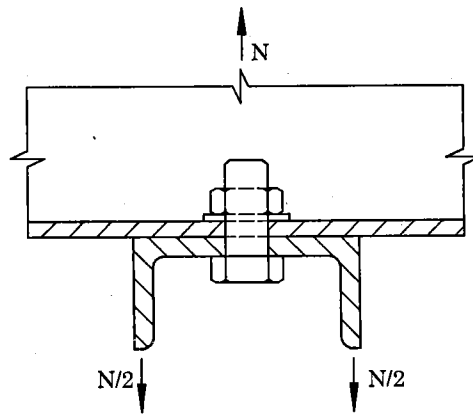
$\mu$  – hệ số ma sát lấy theo bảng 2.10;

$\gamma_{b2}$  – hệ số độ tin cậy của liên kết lấy theo bảng 2.10;

$n_f$  – số lượng mặt phẳng ma sát tính toán,  $n_f$  phụ thuộc số lượng cấu kiện chịu lực trong liên kết: khi liên kết có hai bản chịu lực (hình 2.28a)  $n_f = 1$ ; khi liên kết có ba bản chịu lực (hình 2.28b)  $n_f = 2, \dots$

### 3. Sự làm việc của bulông khi chịu kéo

Khi ngoại lực có phương song song với thân bulông, tác dụng lên liên kết làm tách rời các phân tử của liên kết, gây cho bulông chịu kéo (hình 2.31).



Hình 2.31. Sự làm việc chịu kéo của bulông

Chất lượng của lỗ và bề mặt thân bulông không ảnh hưởng đến khả năng chịu kéo của bulông.

Lực kéo ban đầu ( $N_o$ ) trong thân bulông do xiết êcu cũng không làm giảm khả năng chịu ngoại lực kéo của bulông, bởi lẽ  $N_o$  luôn tự cân bằng với lực ép lên các bản thép. Khi tác dụng vào liên kết ngoại lực kéo  $N$ , làm cho lực ép giữa các bản thép giảm xuống chỉ còn  $N'_o = N_o - N$  (khi  $N < N_o$ ), đây cũng chính là lực kéo tác dụng lên thân bulông (do tính tự cân bằng giữa lực kéo trong thân bulông và lực ép lên các bản thép). Và tổng lực kéo trong bulông lúc này là  $N_{bl} = N + N'_o = N + N_o - N = N_o$ . Có nghĩa là, khi  $N \leq N_o$  thì lực

kéo trong thân bulông không đổi và bằng  $N_o$ . Khi ngoại lực kéo  $N$  bằng lực kéo ban đầu ( $N = N_o$ ) có  $N'_o = 0$  nên  $N_{bl} = N$ . Vậy chỉ khi  $N \geq N_o$  bulông mới chịu kéo với tải trọng ngoài.

Bulông bị phá hoại khi ứng suất trong thân bulông đạt đến cường độ tính toán chịu kéo của vật liệu làm thân bulông.

Khả năng chịu kéo của một bulông được tính bằng công thức

$$[N]_{tb} = A_{bn} f_{tb}, \quad (2.25)$$

trong đó:  $A_{bn}$  – diện tích thực của tiết diện thân bulông (trừ giảm yếu do ren) lấy theo bảng 2.9;

$f_{tb}$  – cường độ tính toán của vật liệu bulông khi làm việc chịu kéo, lấy theo bảng 1.10 phụ lục I.

## §2.7. CẤU TẠO CỦA LIÊN KẾT BULÔNG

### 1. Các hình thức cấu tạo của liên kết bulông

Tùy theo hình thức cấu tạo có liên kết đối đầu có bản ghép hoặc liên kết chồng.

#### a. Đối với thép tấm

Có thể dùng liên kết đối đầu có hai bản ghép (hình 2.32a) hay có một bản ghép (hình 2.32b) hoặc dùng liên kết chồng (hình 2.32c).

Liên kết có hai bản ghép đối xứng nên truyền lực tốt. Liên kết có một bản ghép và liên kết chồng có độ lệch tâm  $e$  nên chịu mômen uốn phụ, vì vậy số bulông cần tăng 10% so với tính toán.

Khi nối đối đầu hai bản thép có chiều dày khác nhau cần dùng thêm bản đệm (hình 2.32d), số bulông phía có bản đệm cần tăng 10% so với tính toán.

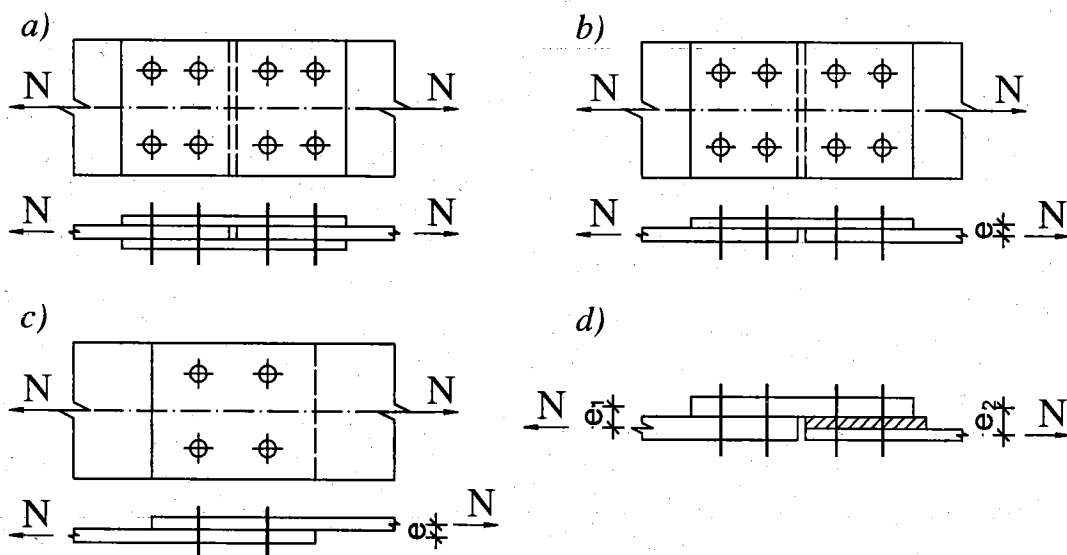
#### b. Đối với thép hình

Khi liên kết đối đầu, các thép hình được nối bằng các bản ghép (hình 2.33b,c,d) và có thể nối bằng thép góc (hình 2.33a).

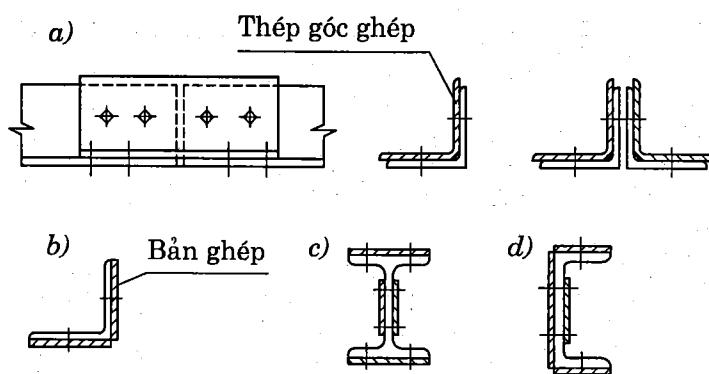
Do thép hình cứng nên khi dùng một bản ghép không cần tăng số bulông vì độ lệch tâm ảnh hưởng ít đến sự làm việc của liên kết.

Liên kết chồng có cấu tạo đối xứng làm việc tốt hơn (hình 2.34a). Khi thép hình liên kết không đối xứng với cấu kiện mềm (hình 2.34b) cần tăng số bulông lên 10% so với tính toán để kể đến sự lệch tâm.

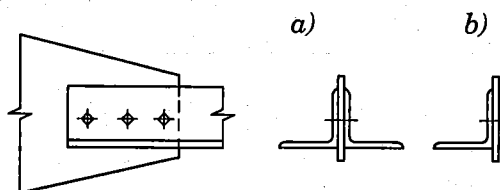
Đối với liên kết bulông cường độ cao chịu tải trọng động hoặc rung động, để tránh hiện tượng lỏng dần êcu phải dùng êcu phụ để hãm hoặc hàn chấm hay làm bết một số ren.



Hình 2.32. Các hình thức liên kết thép bản bằng bulông



Hình 2.33. Nối thép hình bằng bulông

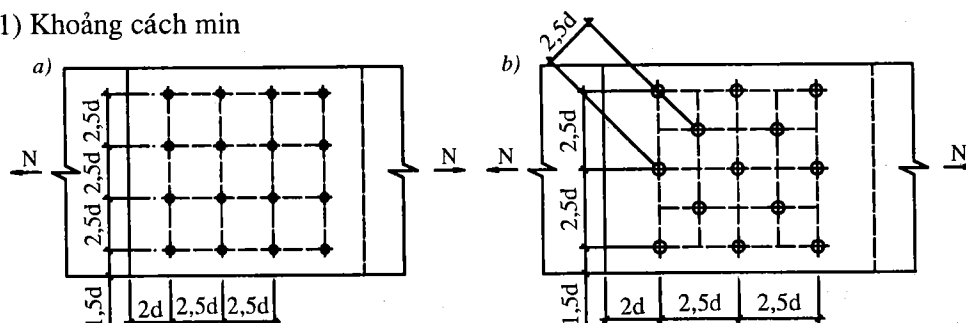


Hình 2.34. Liên kết thép hình với thép bản

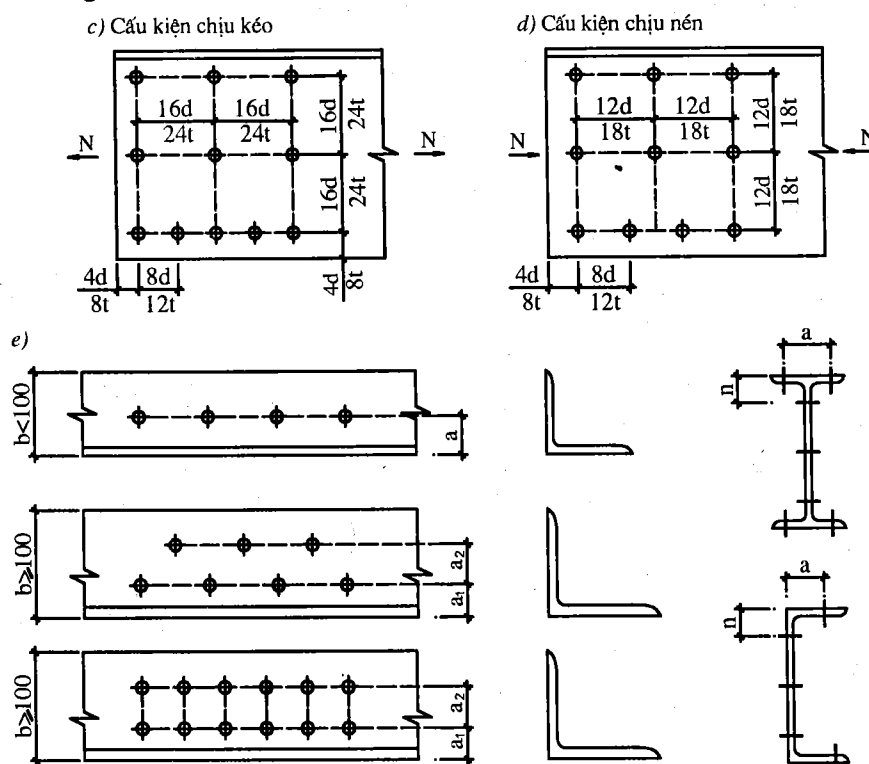
## 2. Bố trí bulông

Việc bố trí bulông phải đảm bảo yêu cầu truyền lực tốt, cấu tạo đơn giản và dễ chế tạo.

### 1) Khoảng cách min



### 2) Khoảng cách max



Hình 2.35. Bố trí bulông

Có hai cách bố trí bulông: bố trí song song (hình 2.35a) và bố trí so le (hình 2.35b). Tùy theo kích thước bản thép và số lượng bulông mà chọn một trong hai cách trên sao cho hợp lý.

Quy ước như sau: các bulông nằm trên một đường thẳng gọi là đường đinh. Các đường đinh nằm song song với phương của lực tác dụng là dãy đinh và

vuông góc với phương của lực gọi là *hàng đỉnh*. Khoảng cách giữa hai bulông cạnh nhau trên đường đỉnh gọi là *bước đỉnh*.

Các khoảng cách quy định để bố trí bulông và đỉnh tán trên cấu kiện cho ở bảng 2.11.

**Bảng 2.11.** Quy định bố trí bulông và đỉnh tán

|                                                                                                                          |              |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| <b>Khoảng cách giữa trọng tâm của hai bulông hay đỉnh tán theo phương bất kỳ:</b>                                        |              |
| a) nhỏ nhất                                                                                                              |              |
| – đối với bulông                                                                                                         | 2,5d         |
| – đối với đỉnh tán                                                                                                       | 3d           |
| b) lớn nhất: trong các đường đỉnh ở biên khi không có thép góc viền đối với các cấu kiện chịu nén và kéo (hình 2.35a, b) | 8d hay 12 t  |
| c) lớn nhất: trong các đường đỉnh ở giữa và ở biên khi có thép góc viền                                                  |              |
| – cấu kiện chịu kéo (hình 2.35c)                                                                                         | 16d hay 24 t |
| – cấu kiện chịu nén (hình 2.35d)                                                                                         | 12d hay 18t  |
| <b>Khoảng cách từ trọng tâm bulông hay đỉnh tán đến biên của cấu kiện</b>                                                |              |
| a) nhỏ nhất dọc theo lực                                                                                                 | 2d           |
| b) nhỏ nhất vuông góc với lực:                                                                                           |              |
| – khi mép bản thép bị cắt                                                                                                | 1,5d         |
| – khi mép bản thép được cán                                                                                              | 1,2d         |
| c) lớn nhất                                                                                                              | 4d hay 8t    |
| d) nhỏ nhất: đối với bulông cường độ cao khi mép bất kỳ trong hướng bất kỳ                                               | 1,3d         |
| <i>Chú thích: d – đường kính lỗ bulông<br/>t – chiều dày bản mỏng nhất ở ngoài</i>                                       |              |

Các khoảng cách nhỏ nhất nhằm đảm bảo độ bền của bản thép và không gian tối thiểu để vận êcu (hoặc để tán đỉnh). Các khoảng cách lớn nhất để đảm bảo ổn định của phần bản thép giữa hai bulông (đối với cấu kiện chịu nén) và độ chặt của liên kết, tránh không cho nước, hơi, bụi bắn lọt vào trong liên kết gây ăn mòn thép.

Đối với các liên kết chịu lực nên bố trí bulông theo khoảng cách nhỏ nhất để liên kết gọn và đỡ tốn thép.

Đối với thép hình, vị trí của các dãy bulông (các khoảng cách  $a$ ,  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $n$ ) được quy định sẵn theo kích thước tương ứng của từng loại thép hình (hình 2.35e). Đối với thép góc có bề rộng cánh  $b < 100$  mm chỉ bố trí một dãy bulông trên cánh, khi  $b \geq 100$  mm bố trí hai dãy.

### 3. Phương pháp xiết bulông thường và bulông cường độ cao

a) **Bulông thường** được xiết đủ chặt để đảm bảo có sự tiếp xúc tốt giữa các bề mặt, không cần khống chế lực xiết. *Đủ chặt* là do một công nhân dùng clê cán dài thông thường (khoảng 300mm), hoặc khi dùng máy xoay đập thì là khi máy bắt đầu đập.

b) **Bulông cường độ cao (bulông lực xiết khống chế)**: cần xiết với toàn bộ lực căng  $P$  quy định. Các phương pháp khống chế lực xiết là:

- **Phương pháp dùng clê đo lực** (clê mômen), có đồng hồ cho biết mômen xoắn, từ đó có các bảng để tra ra lực căng của bulông. Bảng số dựa trên cơ sở công thức hoặc trên cơ sở định chuẩn qua thực nghiệm.

Giá trị của mômen xoắn cần thiết có thể được tính theo công thức:

$$M = kPd,$$

trong đó:  $M$  – mômen xoắn, Nm;

$P$  – lực căng trong bulông, kN;

$d$  – đường kính bulông, mm;

$k$  – hệ số xác định bằng thí nghiệm, vào khoảng 0,2.

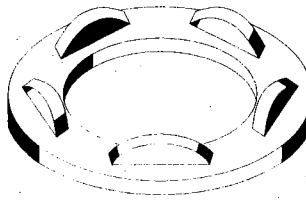
Nói chung, phương pháp này nhanh và rẻ nhưng không chính xác vì có nhiều nguyên nhân ảnh hưởng đến ngẫu lực xoắn chứ không chỉ do lực xiết: chất lượng và độ chính xác của ren, chất lượng của êcu, mức độ bôi trơn, sự ma sát giữa êcu và mặt bản thép, tính đàn hồi của tay đòn clê đo lực... Clê phải được định chuẩn hàng ngày bằng kích thủy lực, hoặc mỗi khi dùng với bulông đường kính khác.

- **Phương pháp quay thêm êcu**. Mỗi đầu dùng clê lực xiết đến mômen xoắn khoảng 40; 60 hoặc 70% lực kéo cần thiết  $P$  của bulông. Sau đó tăng lực kéo bằng cách vặn tiếp êcu một góc tương ứng  $120^\circ$ ;  $90^\circ$  hoặc  $60^\circ$  so với vị trí ban đầu. Khi vặn cần đánh dấu vị trí ban đầu và vị trí sau khi vặn thêm của êcu.

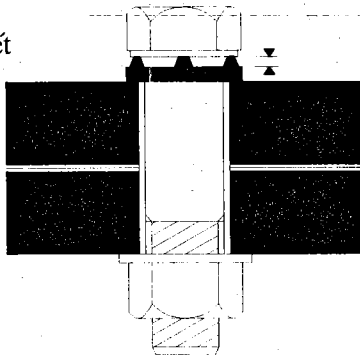
Phương pháp này cho độ chính xác cao hơn so với phương pháp chỉ dùng clê đo lực, đảm bảo lực căng đều hơn giữa các bulông.

- **Phương pháp đo trực tiếp**: dùng vòng đệm cứng, hình dạng đặc biệt, có các mấu lồi (hình 2.36), đặt vòng đệm này dưới mũ bulông, khi xiết êcu thì mấu bẹt ra và làm giảm khoảng cách giữa mũ bulông và vòng đệm; đo khoảng cách này, sẽ biết được lực căng. Khi sử dụng phương pháp này, phải tuân thủ rất kỹ quy trình lắp đặt của hãng chế tạo.

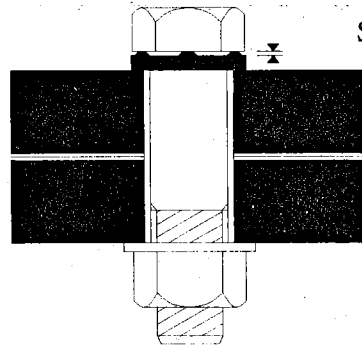
Vòng đệm có mẫu lỗ



Trước khi xiết



Sau khi xiết



Hình 2.36. Vòng đệm có mẫu lỗ và nguyên tắc xiết bulông

## §2.8. TÍNH TOÁN LIÊN KẾT BULÔNG

### 1. Tính liên kết bulông khi chịu lực trực

#### a. Chọn đường kính bulông và kích thước các bản ghép

Cấu tạo liên kết như hình 2.37. Các liên kết trong cùng một cấu kiện chỉ nên dùng một loại đường kính bulông. Trong phạm vi toàn công trình để đỡ phức tạp nên hạn chế tối đa bulông có đường kính khác nhau. Trong các công trình thông thường nên dùng bulông đường kính  $d = 20 \div 24$  mm. Trong các công trình nặng dùng bulông có  $d = 24 \div 30$  mm.

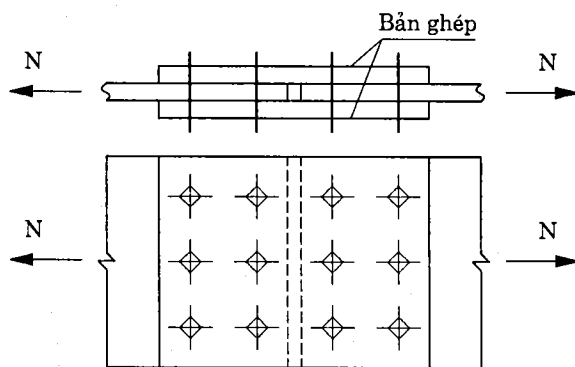
Kích thước bản ghép chọn sao cho:

$$\sum A_{bg} \geq A, \quad (2.26)$$

trong đó:  $\sum A_{bg}$  – tổng diện tích tiết diện ngang của các bản ghép;

$A$  – diện tích tiết diện của cấu kiện được liên kết.

Chiều rộng và dài của các bản ghép lấy theo điều kiện bố trí đủ số bulông cần thiết. Nên bố trí số bulông theo hàng tối đa để truyền lực đều theo chiều ngang cấu kiện (vuông góc với phương của lực).



Hình 2.37. Liên kết bulông chịu lực trực

### b. Tính toán số lượng bulông theo chịu cắt và ép mặt

Đối với bulông thô, bulông thường và bulông tinh, số lượng bulông cần thiết được tính theo công thức:

$$n \geq \frac{N}{[N]_{\min b} \gamma_c}, \quad (2.27)$$

trong đó:  $[N]_{\min b}$  – giá trị nhỏ hơn trong hai giá trị  $[N]_{vb}$  xác định theo (2.20) và  $[N]_{cb}$  xác định theo (2.22);

$\gamma_c$  – hệ số điều kiện làm việc của kết cấu.

Ngược lại với bài toán thiết kế, trong bài toán kiểm tra bên, số bulông  $n$  đã biết nên công thức kiểm tra bên của liên kết có dạng:

$$\frac{N}{n} \leq [N]_{\min b} \gamma_c. \quad (2.28)$$

Sau khi đã có số bulông cần thiết  $n$  theo (2.27) sẽ bố trí chúng theo các yêu cầu cấu tạo ở mục §2.7.

Cấu kiện cơ bản bị giảm yếu do lỗ bulông, nên cần kiểm tra bên các bản thép theo công thức:

$$\frac{N}{A_n} \leq f \gamma_{bl} \gamma_c, \quad (2.29)$$

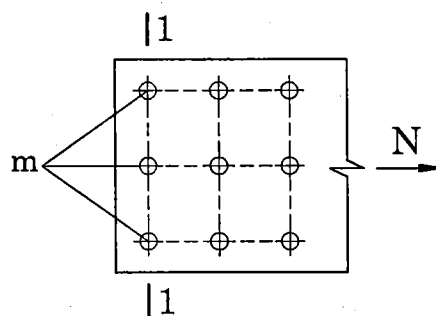
trong đó:  $\gamma_{bl}$  – hệ số điều kiện làm việc, cho phép kể đến sự làm việc dẻo của liên kết lấy như sau: đối với dầm đặc, cột và các bản nối  $\gamma_{bl} = 1,1$ ; đối với kết cấu thanh của mái và sàn  $\gamma_{bl} = 1,05$  (hệ số  $\gamma_{bl}$  phải kể đồng thời với hệ số điều kiện làm việc của kết cấu).

$A_n$  – diện tích tiết diện thực của bản thép được lấy như sau:

- Đối với bulông thô, bulông thường và bulông tinh:



+ Khi bulông bố trí song song (hình 2.38), tiết diện kiểm tra là tiết diện 1-1:  $A_n = A - A_1$ , trong đó  $A_1 = mtd_1$  là diện tích giảm yếu do các lỗ bulông gây ra, với  $m$  là số lượng lỗ trên 1 hàng bulông;  $t$  – chiều dày cấu kiện mỏng nhất;  $d_1$  – đường kính lỗ bulông.



Hình 2.38. Kiểm tra bền bản thép

+ Khi bố trí bulông dạng so le thì diện tích giảm yếu lấy trị số lớn hơn trong hai trị số sau (hình 2.39a):

Giảm yếu do các lỗ xếp trên đường thẳng 1-5.

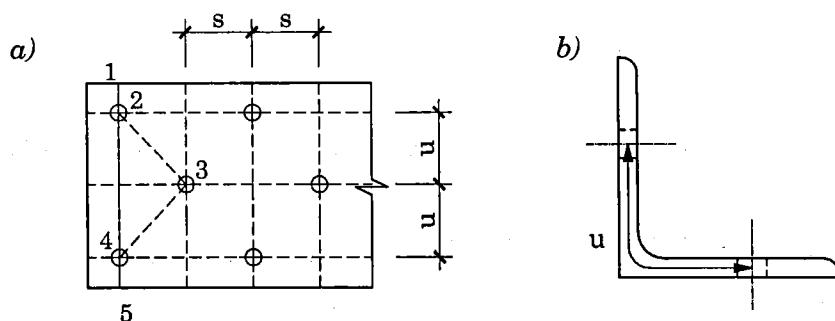
Tổng diện tích ngang của các lỗ nằm trên đường chữ chi 1-2-3-4-5 trừ đi lượng  $s^2t/(4u)$  cho mỗi đoạn đường chéo giữa các lỗ; trong đó:

$s$  – 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;

$t$  – bề dày thanh thép có lỗ;

$u$  – 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 2.39b).



Hình 2.39. Cách xác định diện tích thực

– Đối với bulông cường độ cao số lượng bulông cần thiết được tính theo công thức:

$$n_a \geq \frac{N}{[N]_b \gamma_c}, \quad (2.30)$$

trong đó:  $[N]_b$  – khả năng chịu lực trượt của một bulông tính theo (2.24).

Kiểm tra bền bản thép bị giảm yếu do các lỗ bulông cũng được tiến hành theo (2.29) nhưng do một phần của lực trượt được tiếp nhận bằng lực ma sát nên cách lấy diện tích tính toán  $A_n$  có khác đi:

- + Khi chịu tải trọng tĩnh:  $A_n = A$  nếu  $A_n \geq 0,85A$ ; Khi  $A_n < 0,85A$  tính theo diện tích quy ước  $A_c = 1,18A_n$ .
- + Khi chịu tải trọng động: dùng  $A_n$  để tính toán.
- + Khi tính lấy  $\gamma_{bl} = 1$  vì liên kết bulông cường độ cao không làm việc đàn dẻo.

## 2. Tính toán liên kết bulông chịu kéo

Khi liên kết bulông làm việc chịu kéo (hình 2.31) số lượng bulông cần thiết  $n$  được tính theo công thức:

$$n \geq \frac{N}{[N]_{tb} \gamma_c}, \quad (2.31)$$

trong đó:  $N$  – lực kéo tác dụng vào liên kết;

$[N]_{tb}$  – khả năng chịu kéo của một bulông tính theo (2.25);

$\gamma_c$  – hệ số điều kiện làm việc của kết cấu.

Trong bài toán kiểm tra bền, số lượng bulông  $n$  đã biết nên công thức kiểm tra có dạng:

$$\frac{N}{n} \leq [N]_{tb} \gamma_c. \quad (2.32)$$

Khi bulông chịu cả cắt và kéo đồng thời, độ bền của chúng được kiểm tra riêng rẽ theo các công thức (2.28) và (2.32).

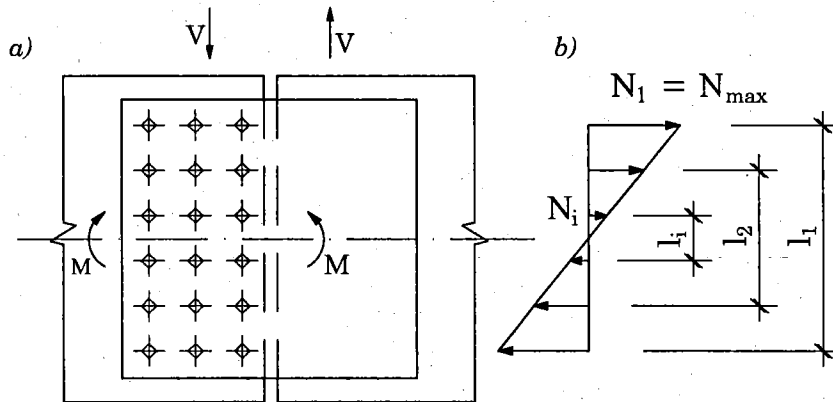
## 3. Tính toán liên kết bulông chịu mômen và lực cắt

Các mối liên kết bulông chịu mômen thông thường có cấu tạo bề cao vùng liên kết (khoảng cách hai dãy bulông ngoài cùng) lớn hơn nhiều so với bề rộng vùng liên kết (khoảng cách hai hàng bulông ngoài cùng) (hình 2.40a). Với cấu tạo như vậy, gần đúng trong tính toán coi như mômen cân bằng với tổng các cặp ngẫu lực tác dụng lên những dãy đinh nằm đối xứng nhau qua trục của liên kết (hình 2.40b).

$$M = \sum N_i l_i = N_1 l_1 + N_2 l_2 + \dots + N_i l_i + \dots, \quad (2.33)$$

trong đó:  $N_i$  – lực tác dụng lên dây đỉnh thứ  $i$ ;

$l_i$  – cánh tay đòn của các cặp ngẫu lực  $N_i$ .



Hình 2.40. Liên kết bulông chịu mômen và lực cắt

Các lực  $N_i$  có thể được tính qua  $N_1$  là lực tác dụng lên dây đỉnh ngoài cùng

$$N_i = \frac{N_1 l_i}{l_1}.$$

Thay giá trị  $N_i$  vào (2.33) ta có:

$$M = \frac{N_1}{l_1} (l_1^2 + l_2^2 + \dots + l_i^2 + \dots)$$

Từ đó xác định được lực lớn nhất  $N_1$ :

$$N_1 = N_{\max} = \frac{M l_{\max}}{\sum l_i^2}, \quad (2.34)$$

trong đó:  $l_{\max}$  – khoảng cách giữa hai dây bulông ngoài cùng,  $l_{\max} = l_1$ .

Gọi số lượng bulông trên một dây ở một phía của liên kết là  $m$ , ta có lực lớn nhất tác dụng lên một bulông do  $M$  gây ra:

$$N_{blM} = \frac{N_{\max}}{m} = \frac{M l_{\max}}{m \sum l_i^2}. \quad (2.35)$$

Điều kiện bền:

$$N_{blM} = \frac{M l_{\max}}{m \sum l_i^2} \leq [N]_{\min b} \gamma_c, \quad (2.36)$$

trong đó:  $[N]_{\min b}$  – giá trị nhỏ nhất trong hai khả năng chịu cắt và ép mặt của một bulông tính theo (2.20) và (2.22). Đối với bulông cường độ cao  $[N]_{\min b} = [N]_b$  tính theo công thức (2.24).

Khi liên kết bulông chịu đồng thời cả mômen uốn  $M$  và lực cắt  $V$  (hình 2.40), trong tính toán coi như lực cắt tác dụng đều lên các bulông với giá trị:

$$N_{blV} = \frac{V}{n}, \quad (2.37)$$

trong đó:  $n$  – số lượng bulông trên một nửa liên kết như hình 2.40.

Công thức kiểm tra bền của bulông do tác dụng đồng thời cả  $M$  và  $V$  có dạng

$$N_{bl} = \sqrt{N_{blM}^2 + N_{blV}^2} \leq [N]_{\min} b \gamma_c. \quad (2.38)$$

Khi thiết kế nên bố trí trước số bulông theo phương bề rộng của cấu kiện (theo số lượng tối đa có thể) để xác định được các khoảng cách  $l_i$ . Từ đó tính được giá trị  $N_{\max}$  tìm sơ bộ số bulông cần thiết trên một dãy

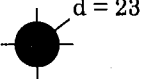
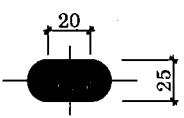
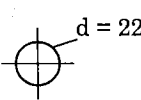
$$m = \frac{N_{\max}}{[N]_{\min} b \gamma_c}. \quad (2.40)$$

Khi có lực cắt  $V$  tác dụng đồng thời với  $M$  nên chọn trước số bulông dư ra để dự trữ cho phần tác dụng của  $V$ .

#### 4. Ký hiệu bulông, đinh tán trên bản vẽ

Quy định về ký hiệu của lỗ, của bulông và đinh tán trên bản vẽ nêu trong bảng 2.12.

**Bảng 2.12.** Ký hiệu bulông, đinh tán

| Dạng lỗ bulông,<br>đinh tán | Ký hiệu                                                                             | Dạng bulông,<br>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                |  |

Để đơn giản hình vẽ, khi trên kết cấu có nhiều lỗ hoặc bulông cùng loại thì đường kính của chúng được ghi chung ở phần chú thích.

**Ví dụ 2.4.** Thiết kế đầu nối hai bản thép có tiết diện  $260 \times 14$  mm, chịu lực kéo dọc trục  $N = 500$  kN, dùng bulông thô nhóm 4.6, có đường kính  $d = 20$  mm. Thép cơ bản CCT34.

Chọn hai bản ghép, mỗi bản dày  $t_{bg} = 8\text{mm}$ .

Diện tích hai bản ghép:

$$2A_{bg} = 2.26 \times 0,8 = 41,6 \text{ cm}^2.$$

Diện tích tiết diện thép cơ bản:

$$A = 26 \times 1,4 = 36,4 \text{ cm}^2.$$

$$2A_{bg} = 41,6 \text{ cm}^2 > A = 36,4 \text{ cm}^2, \text{ bản ghép đủ bền.}$$

Xác định khả năng chịu cắt của một bulông theo (2.20):

$$[N]_{vb} = f_{vb} \gamma_b A n_v.$$

Với bulông nhóm 4.6, tra bảng 1.10 phụ lục I có  $f_{vb} = 150 \text{ N/mm}^2 = 1500 \text{ daN/cm}^2$ ;  $\gamma_b = 0,9$ ;  $A = 3,14 \text{ cm}^2$ ;  $n_v = 2$ , thay vào công thức trên có:

$$[N]_{vb} = 1500 \times 0,9 \times 3,14 \times 2 = 8478 \text{ daN}.$$

Xác định khả năng chịu ép mặt của một bulông theo (2.22):

$$[N]_{cb} = d (\Sigma t)_{\min} f_{cb} \gamma_b = 2 \times 1,4 \times 3950 \times 0,9;$$

$$[N]_{cb} = 9954 \text{ daN},$$

trong đó  $f_{cb} = 395 \text{ N/mm}^2 = 3950 \text{ daN/cm}^2$  (tra bảng 1.11 phụ lục I ứng với thép CCT34 có  $f_u = 3400 \text{ daN/cm}^2$ ).

Số lượng bulông cần thiết tính theo công thức (2.27):

$$n = \frac{N}{[N]_{\min b} \gamma_c},$$

trong đó:  $[N]_{\min b} = [N]_{vb}$ ;  $\gamma_c = 1$  có:

$$n = \frac{50000}{8478} = 5,9 \text{ bulông.}$$

Lấy  $n = 6$  bulông.

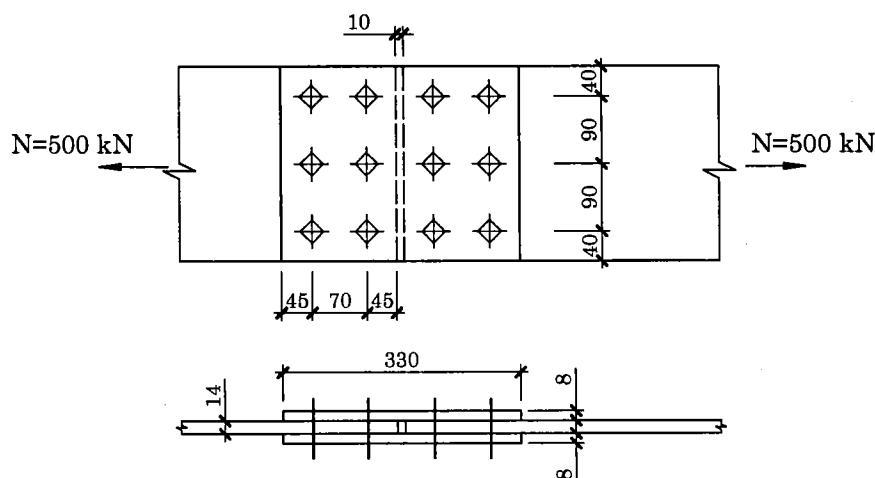
Bulông được bố trí như trên hình 2.41, thỏa mãn các yêu cầu cấu tạo nêu ở hình 2.35.

Kiểm tra bền bản thép giảm yếu theo công thức (2.29):

$$\frac{N}{A_n} \leq f \gamma_{bl} \gamma_c,$$

Do bulông bố trí song song nên:  $A_n = A - A_l = (26 - 3 \times 2,2) \times 1,4 = 27,16 \text{ cm}^2$  (lấy đường kính lỗ bulông bằng 2,2 cm);  $\gamma_{bl} = 1,1$ , thay vào công thức kiểm tra:

$$\frac{50000}{27,16} = 1840,9 \text{ daN} < 2100 \times 1,1 = 2310 \text{ daN} - \text{Bản thép đủ bền.}$$



Hình 2.41. Hình của ví dụ 2.4

**Ví dụ 2.5.** Thiết kế liên kết hai bản thép giống như ở ví dụ 2.4 nhưng dùng bulông cường độ cao  $d = 20\text{mm}$ , đường kính lỗ  $d_1 = 23\text{mm}$  (dung sai giữa đường kính thân bulông và lỗ  $\delta = 3\text{mm}$ ) 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  $M$ ).

Chọn kích thước các bản ghép giống như ví dụ 2.4.

Xác định khả năng chịu lực của một bulông cường độ cao theo công thức (2.24)

$$[N]_b = f_{hb} A_{bn} \gamma_{b1} \left( \frac{\mu}{\gamma_{b2}} \right) n_f \dots$$

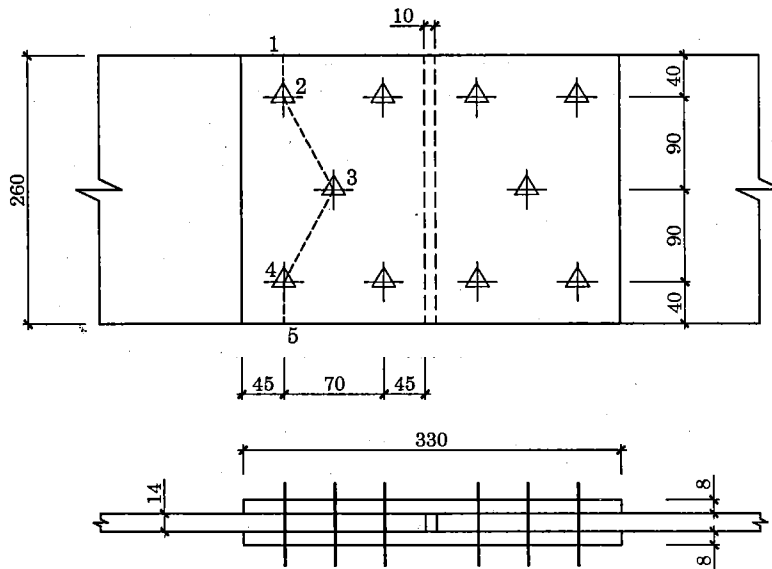
Với  $d = 20\text{mm}$ , tra bảng 2.9 có diện tích thực của bulông  $A_{bn} = 2,45 \text{ cm}^2$ . Tra bảng 2.10, bằng cách làm sạch mặt bản thép như trên có hệ số ma sát  $\mu = 0,35$ ; dung sai giữa đường kính thân bulông và lỗ  $\delta = 3\text{mm}$  có hệ số độ tin cậy  $\gamma_{b2} = 1,17$ . Với thép 40Cr tra bảng 1.12 phụ lục I có  $f_{ub} = 11000 \text{ daN/cm}^2$ , vậy  $f_{hb} = 0,7 f_{ub} = 0,7 \cdot 11000 = 7700 \text{ daN/cm}^2$ . Khi tính toán giả thiết số lượng bulông  $n_a \geq 5$  nhưng  $n_a < 10$  ta có  $\gamma_{b1} = 0,9$ . Thay các đại lượng trên vào công thức có:

$$[N]_b = 7700 \times 2,45 \times 0,9 \left( \frac{0,35}{1,17} \right) 2 = 10158 \text{ daN}.$$

Trong công thức trên, số lượng mặt phẳng ma sát  $n_f = 2$ . Số lượng bulông cần thiết tính ở một bên của liên kết theo công thức (2.30):

$$n_a \geq \frac{N}{[N]_b \gamma_c} = \frac{50000}{10158} = 4,92.$$

Lấy  $n_a = 5$  bulông, bố trí bulông như trên hình 2.42.



Hình 2.42. Bố trí bulông cường độ cao theo ví dụ 2.5

Kiểm tra bền bản thép theo công thức (2.29)

$$\frac{N}{A_n} \leq f_{yb} \gamma_c.$$

Trong đó diện tích thực của bản thép  $A_n$  là giá trị nhỏ hơn trong hai tiết diện 1-5 và 1-2-3-4-5 (hình 2.42). Theo tiết diện 1-5 có:

$$A_n = (26 - 2 \times 2,3) \times 1,4 = 29,96 \text{ cm}^2.$$

Theo tiết diện 1-2-3-4-5 có:

$$A_n = A - A_1$$

$$A = \left( 4 + 2\sqrt{3,5^2 + 9^2} + 4 \right) \times 1,4 = 38,24 \text{ cm}^2$$

Diện tích giảm yếu do các lỗ nằm trên đường 1-2-3-4-5:

$$A_1 = 3dt - 2s^2t/(4u) = 3 \times 2,3 \times 1,4 - 2 \times 3,5^2 \times 1,4 / (4 \times 9) = 8,71 \text{ cm}^2$$

$$A_n = 38,24 - 8,71 = 29,53 \text{ cm}^2$$

Như vậy tính theo tiết diện 1-2-3-4-5 nguy hiểm hơn và ta lấy  $A_n = 29,53 \text{ cm}^2$  để tính toán. So sánh giữa diện tích thực của bản thép với diện tích nguyên:

$$A_n = 29,53 \text{ cm}^2 < 0,85 A = 0,85 \times 38,24 = 32,5 \text{ cm}^2$$

Tính toán được tiến hành theo diện tích quy ước:

$$A_c = 1,18 A_n = 1,18 \times 29,53 = 34,85 \text{ cm}^2$$

Thay vào công thức kiểm tra, vì bulông cường độ cao nên  $\gamma_{bl} = 1$ , có:

$$\frac{N}{A_c} = \frac{50000}{34,85} = 1434,7 \text{ daN/cm}^2 < f_{yl} \gamma_c = 2100 \times 1 = 2100 \text{ daN/cm}^2$$

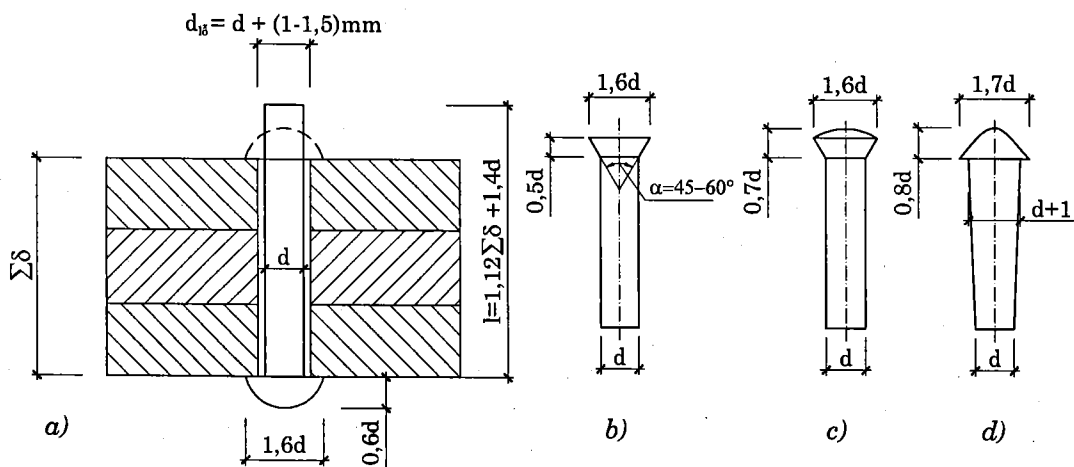
Bản thép đủ bền.

## C. LIÊN KẾT ĐÌNH TÁN

### §2.9. ĐẠI CƯƠNG VỀ LIÊN KẾT ĐÌNH TÁN

#### 1. Cấu tạo của đinh tán và liên kết đinh tán

Đinh tán là một đoạn thép tròn, một đầu được tạo mũ sẵn, đầu kia được tán thành mũ khi đã lắp đinh vào liên kết (hình 2.43).



Hình 2.43. Các loại đinh tán

Vật liệu làm đinh là các loại thép dẻo như CT2, CT3 (để dễ tán và khỏi hỏng thép cơ bản) hoặc thép hợp kim thấp 09 Mn2 (khi thép cơ bản là hợp kim thấp).

Đường kính đinh nhỏ hơn đường kính lỗ  $1 \div 1,5 \text{ mm}$ . Đường kính gọi tên là đường kính của lỗ và cũng chính là đường kính tính toán  $d$ . Thường dùng đinh tán có đường kính  $d$  bằng 17; 19; 21; 23; 25 và 28,5 mm.

Đinh tán được phân loại theo hình dạng của mũ đinh. Đinh có mũ dạng bán cầu (hình 2.43a) được dùng nhiều hơn cả. Đinh đầu chìm (hình 2.43b) và nửa chìm (hình 2.43c) dùng khi không gian chỗ liên kết chật hẹp, mũ đinh nằm chìm cả hoặc một phần trong bản thép (có lỗ hình nón cụt).

Đinh đầu cao (hình 2.43d) dùng khi tổng chiều dày các bản thép  $\sum t \geq 5d$ .



## 2. Phương pháp tạo lỗ đinh tán

Cách tạo lỗ đinh tán trong thép cơ bản giống như đối với lỗ bulông. Đinh tán nhóm C là đinh có lỗ được tạo bằng cách đột hoặc khoan không có khuôn mẫu. Đinh tán nhóm B có lỗ khoan hoặc đột trước, rồi khoan tiếp đến đường kính thiết kế theo khuôn mẫu.

Cường độ tính toán chịu cắt và ép mặt của đinh tán nhóm B cao hơn nhóm C vì chất lượng lỗ tốt hơn (bảng 2.13).

**Bảng 2.13. Cường độ tính toán của đinh tán**

| Trạng thái ứng suất và loại lỗ đinh | Ký hiệu  | Cường độ tính toán, daN/cm <sup>2</sup> |       |                                               |       |       |       |
|-------------------------------------|----------|-----------------------------------------|-------|-----------------------------------------------|-------|-------|-------|
|                                     |          | Cắt và kéo đinh tán từ loại thép        |       | Ép mặt của cấu kiện liên kết làm từ loại thép |       |       |       |
|                                     |          | CT2; CT3                                | 09Mn2 | CCT34                                         | CCT38 | CCT42 | CCT52 |
| Cắt, B                              | $f_{vd}$ | 1800                                    | 2200  | —                                             | —     | —     | —     |
| Cắt, C                              |          | 1600                                    | —     | —                                             | —     | —     | —     |
| Ép mặt, B                           | $f_{cd}$ | —                                       | —     | 4200                                          | 5200  | 5800  | 6800  |
| Ép mặt, C                           |          | —                                       | —     | 3800                                          | —     | —     | —     |
| Kéo (giọt đứt đầu đinh)             | $f_{td}$ | 1200                                    | 1500  | —                                             | —     | —     | —     |

Khi tán, nung nóng đinh đến nhiệt độ khoảng  $700 \div 800^{\circ}\text{C}$ , cho đinh vào lỗ, thì chặt đầu có mũ sẵn còn đầu kia dùng búa tán thành mũ. Quá trình tán nóng tạo nên một số đặc điểm sau:

- Khi tán, thân đinh phình ra lấp kín lỗ. Khi nguội, đinh co lại làm thành khe hở nhỏ so với thành lỗ khoảng  $0,05 \div 0,2 \text{ mm}$ . Khe càng nhỏ liên kết càng chặt. Khi liên kết quá dày  $\sum t > 5d$  dùng đinh đầu cao để tán cả hai phía, vật liệu dồn từ hai đầu đinh vào giữa nên lỗ được lấp kín hơn.
- Khi nguội thân đinh co lại nhưng bị các bản thép giữ nên thân đinh chịu kéo, ngược lại các bản thép bị xiết chặt làm tăng lực ma sát giữa chúng, liên kết chặt hơn (khác với liên kết bulông, lực xiết tập bản thép do quá trình vặn êcu tạo nên).
- Đinh tán được nung nóng và nguội dần giống quá trình gia công nhiệt nên tính dẻo của vật liệu tăng lên, liên kết có độ dai lớn.

Tính chặt và dai của liên kết đinh tán làm chúng có khả năng chịu đựng tốt tải trọng nặng, tải trọng động hoặc rung động.

Phương pháp tán nguội (không nung nóng đỉnh) chỉ dùng cho các loại đỉnh có đường kính nhỏ. Đỉnh tán lắp kín lỗ (do không bị co lại) nhưng lực xiết ban đầu rất nhỏ. Phương pháp này thường dùng trong cơ khí, đối với đỉnh bằng hợp kim nhôm.

### 3. Các hình thức liên kết đỉnh tán

Liên kết đỉnh tán có các hình thức cấu tạo giống liên kết bulông: liên kết ghép chồng và liên kết đối đầu có bản ghép. Các quy định về cấu tạo giống phần §2.7 của liên kết bulông.

Quy định về bố trí đỉnh tán trên bản thép cơ bản xem bảng 2.11.

## §2.10. SỰ LÀM VIỆC VÀ CÁCH TÍNH LIÊN KẾT ĐỈNH TÁN

### 1. Sự làm việc của đỉnh tán khi chịu cắt và ép mặt

Khi chịu tác dụng của lực trục (hình 2.37) liên kết đỉnh tán làm việc giống liên kết bulông, khi ngoại lực đủ thắng lực ma sát giữa các bản thép sẽ có sự trượt tương đối giữa chúng. Thân đỉnh tì sát vào thành lỗ (hình 2.27b). Liên kết có thể bị phá hoại do cắt ngang thân đỉnh (hình 2.28) hoặc ép mặt (bản thép bị trượt, hình 2.29).

Khả năng chịu cắt của một đỉnh tán được tính theo công thức:

$$[N]_{vd} = n_v \left( \frac{\pi d^2}{4} \right) f_{vd}, \quad (2.41)$$

Khả năng chịu ép mặt (quy ước) của một đỉnh tán:

$$[N]_{cd} = d(\sum t)_{\min} f_{cd}, \quad (2.42)$$

trong đó:  $d$  – đường kính đỉnh;

$f_{vd}$ ,  $f_{cd}$  – cường độ tính toán chịu cắt và ép mặt của đỉnh tán lấy theo bảng 2.13 phụ thuộc vật liệu làm đỉnh, vật liệu thép cơ bản và cách gia công lỗ;

$n_v$  – số mặt cắt tính toán của đỉnh tán phụ thuộc số lượng bản thép được liên kết (giống như đối với liên kết bulông);

$(\sum t)_{\min}$  – tổng chiều dày nhỏ nhất của các bản thép cùng trượt về một phía.

Khi thiết kế, số lượng đỉnh tán cần thiết  $n$  được tính theo công thức:

$$n \geq \frac{N}{[N]_{\min d} \gamma_c}, \quad (2.43)$$

trong đó:  $[N]_{\min d}$  – khả năng chịu lực nhỏ hơn trong hai giá trị  $[N]_{vd}$  và  $[N]_{cd}$ ;

$N$  – nội lực trong liên kết;

$\gamma_c$  – hệ số điều kiện làm việc của kết cấu.

Kiểm tra bền liên kết đỉnh tán giống của bulông theo các công thức (2.28), (2.29).

Khi kiểm tra bền bản thép bị giảm yếu lấy  $\gamma_{dt} = 1$ .

## 2. Sự làm việc của liên kết đỉnh tán khi chịu kéo

Đỉnh tán làm việc chịu kéo khi lực tác dụng song song với thân đỉnh (hình 2.31). Đỉnh bị phá hoại khi ứng suất trong thân đỉnh bằng cường độ tính toán chịu kéo của vật liệu làm đỉnh (hiện tượng giứt đứt đầu đỉnh).

Khả năng chịu kéo của một đỉnh tán được tính theo công thức:

$$[N]_{td} = \left( \frac{\pi d^2}{4} \right) f_{td}, \quad (2.44)$$

trong đó:  $f_{td}$  – cường độ chịu kéo của vật liệu đỉnh tán lấy theo bảng 2.13.

## 3. Liên kết đỉnh tán chịu mômen và lực cắt

Cách tính liên kết đỉnh tán chịu tác dụng của mômen và lực cắt giống liên kết bulông. Trong các công thức tính toán 2.36 và 2.38 thay  $[N]_{\min b}$  bằng  $[N]_{\min d}$ .

## §3.1. ĐẠI CƯƠNG VỀ DẪM VÀ HỆ DẪM

### 1. Phân loại dầm

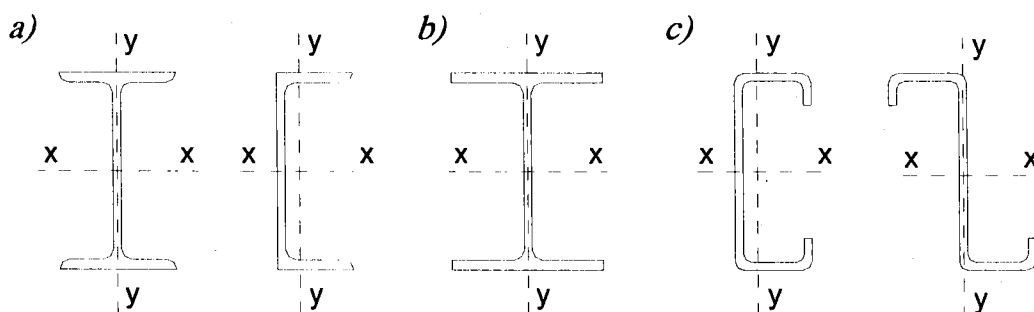
Dầm là một loại cấu kiện cơ bản, chịu uốn là chủ yếu. Nội lực chính trong dầm là mômen uốn  $M$  và lực cắt  $V$ .

Dầm có cấu tạo đơn giản (do có rất ít phân tố tạo thành), chi phí cho gia công chế tạo không lớn nên được sử dụng khá phổ biến trong các kết cấu công trình xây dựng: dầm dùng làm dầm đỡ sàn công tác, dầm cầu chạy, dầm đỡ mái, dầm tường, xà gỗ, dầm cầu, dầm đỡ cửa van...

Theo đặc điểm cấu tạo tiết diện, chia dầm thép làm hai loại: *dầm hình* và *dầm tổ hợp*.

#### a. Dầm hình

Là dầm được làm từ một thép hình, thường có tiết diện dạng chữ I, chữ L, chữ Z (cán nóng hoặc cán nguội, dập nguội). Dầm hình chữ I có tiết diện đối xứng theo cả hai trục, lại có mômen kháng uốn  $W_x$  khá lớn, nên sử dụng khá thích hợp cho những dầm chịu uốn phẳng như dầm sàn nhà, dầm đỡ sàn công tác, dầm cầu...



**Hình 3.1. Tiết diện dầm hình**

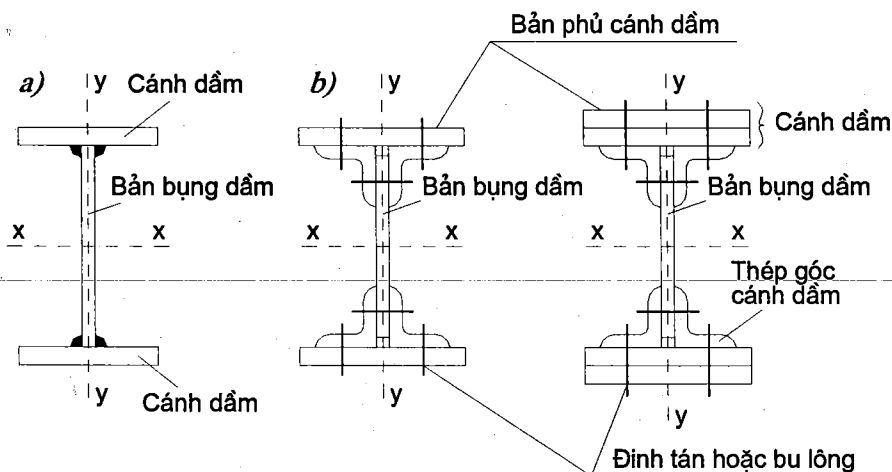
a) thép cán phổ thông; b) thép cán chữ I cánh rộng; c) thép hình thành mỏng dập.

Dầm hình chữ  $\text{[}$ , có tiết diện không đối xứng theo phương trục đứng  $y-y$ . Khi dầm chịu uốn phẳng, sử dụng loại này là không phù hợp, bởi vì sẽ có thêm hiện tượng xoắn. Nhưng khi dầm chịu uốn xiên thì sử dụng thép hình  $\text{[}$  là khá hợp lý. Với cùng chiều cao thì bề rộng cánh của dầm hình  $\text{[}$  lớn hơn của dầm hình  $\text{I}$ ; lại có một cạnh ngoài phẳng, dễ dàng liên kết với các kết cấu đỡ nên thường được dùng làm xà gồ mái nhà, dầm tường, hoặc dầm sàn khi nhịp và tải trọng bé.

Do hạn chế về công nghệ cán, các thép hình cán nóng thường có bề dày bản bụng khá lớn và tốn thêm kim loại tại chỗ lượn chuyển tiếp từ bụng sang cánh. Vì vậy việc dùng dầm thép hình cán nóng tuy tiết kiệm được công chế tạo nhưng vẫn còn nặng nề, chưa tiết kiệm được kim loại, đặc biệt là với các dầm vượt nhịp lớn, chịu tải trọng bé. Khắc phục nhược điểm này, áp dụng sự tiến bộ của công nghệ cán, hiện nay kết cấu dầm đã ứng dụng nhiều loại tiết diện mới là thép hình cán nóng hình  $\text{I}$  cánh rộng,  $\text{I}$  cao thành hoặc tiết diện cán nguội, dập nguội từ các thép bản mỏng tạo thành tiết diện dạng chữ  $\text{[}$ , chữ  $\text{Z}$ .

### b. Dầm tổ hợp

Dầm tổ hợp là dầm mà tiết diện được tạo thành từ các thép bản, thép hình hoặc hỗn hợp cả thép bản và thép hình. Nếu dùng liên kết hàn để liên kết các phần tử tạo thành tiết diện dầm, thì dầm gọi là dầm tổ hợp hàn (dầm hàn). Tương tự như vậy, nếu dùng bulông (hoặc đinh tán) để liên kết các phần tử tạo thành thì gọi là dầm tổ hợp bulông (hoặc dầm tổ hợp đinh tán).



**Hình 3.2. Tiết diện dầm tổ hợp**  
a) dầm hàn; b) dầm đinh tán hoặc bulông

Thông thường, dầm tổ hợp hàn tiết diện chữ I gồm ba bản thép: hai bản nằm ngang gọi là bản cánh dầm, bản đặt thẳng đứng gọi là bản bụng dầm.

Dầm tổ hợp bulông (hoặc đinh tán) tiết diện chữ I cũng gồm một bản thép đặt thẳng đứng làm bản bụng, còn mỗi bản cánh dầm gồm hai thép góc (thép chữ L) gọi là hai thép góc cánh dầm và có thể thêm một, hai đến ba bản thép đặt nằm ngang gọi là bản phủ cánh dầm.

So với dầm đinh tán thì dầm hàn tốn ít vật liệu hơn, nhẹ hơn, chi phí cho chế tạo ít hơn nên được sử dụng phổ biến hơn. Dầm đinh tán chịu chấn động và tải trọng động tốt hơn dầm hàn nên thường được sử dụng để làm dầm cầu, dầm cầu chạy... Tuy nhiên, do quy trình và công nghệ chế tạo rất phức tạp và tốn kém nên chỉ được áp dụng với những dầm có nhịp và tải trọng khá lớn. Trong các trường hợp còn lại, dầm tổ hợp đinh tán được thay thế bằng dầm tổ hợp bulông cường độ cao.

## 2. Hệ dầm thép

Việc bố trí, sắp đặt các dầm theo một trật tự, quy luật nào đó tạo thành hệ dầm để chịu và truyền tải trọng và các tác dụng khác. Hệ dầm mái trực tiếp đỡ mái, hệ dầm sàn trực tiếp đỡ bản sàn, hệ dầm cầu trực tiếp đỡ mặt cầu...; tùy theo mặt bằng sàn và cách sắp xếp, tổ hợp các dầm trong hệ, người ta chia hệ dầm làm ba loại: *hệ dầm đơn giản*, *hệ dầm phổ thông*, *hệ dầm phức tạp*.

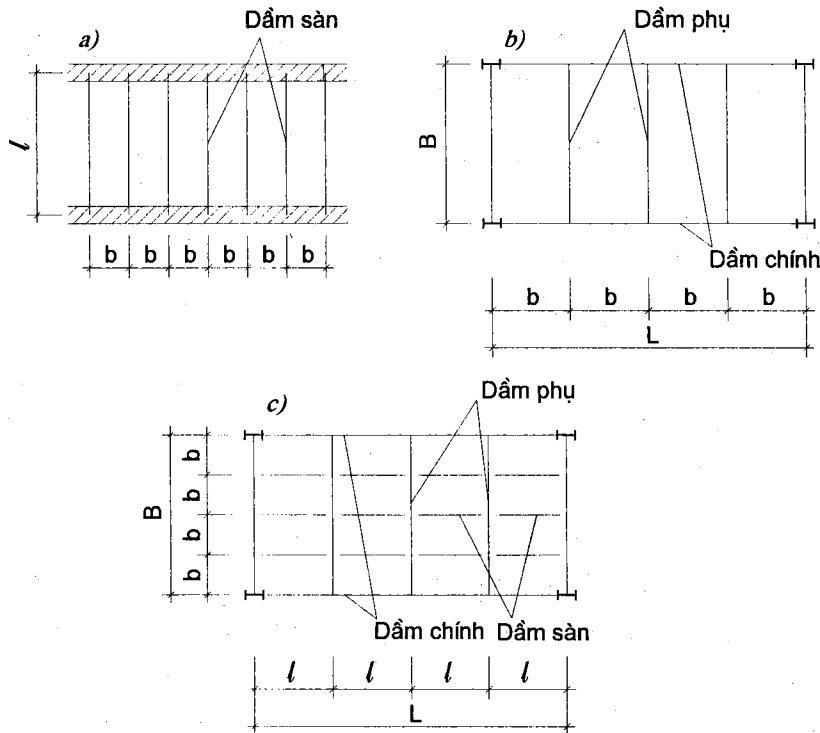
### a. Hệ dầm đơn giản

Hệ dầm đơn giản là hệ chỉ có một hệ thống các dầm bố trí song song với cạnh ngắn của ô sàn. Các dầm này gọi là dầm sàn, trực tiếp đỡ bản sàn, chịu mọi tác dụng truyền tới từ bản sàn và truyền tiếp các tác dụng này đến tường đỡ hoặc các kết cấu bên dưới. Bản sàn làm việc như bản kê hai cạnh (là các dầm sàn) nên độ cứng và khả năng chịu lực của hệ không lớn. Hệ dầm đơn giản chỉ thích hợp với sàn chịu tải trọng bé và cạnh ngắn của sàn không lớn.

### b. Hệ dầm phổ thông

Hệ dầm phổ thông là hệ gồm hai hệ thống dầm đặt vuông góc với nhau và song song với hai cạnh của ô sàn. Các dầm đặt song song với cạnh lớn, tựa lên cột hoặc lên các kết cấu tựa khác gọi là dầm chính. Các dầm đặt song song với cạnh bé của ô sàn, tựa lên dầm chính và truyền tải trọng từ sàn lên dầm chính gọi là dầm phụ. Bản sàn liên kết với dầm thép trên suốt chu vi và

làm việc như bản kê bốn cạnh. Khi sàn có kích thước không quá lớn ( $L \times B \leq 36 \times 12\text{m}$ ) hoặc khi sàn chịu tải trọng không lớn ( $q \leq 3000\text{daN/m}^2$ ) thì sử dụng hệ dầm phổ thông là khá phù hợp, đạt được hiệu quả kinh tế hơn so với các loại hệ dầm khác (lượng thép làm hệ dầm và bản sàn ít hơn, cấu tạo đơn giản hơn).



**Hình 3.3. Các loại hệ dầm**  
a) hệ dầm đơn giản; b) hệ dầm phổ thông; c) hệ dầm phức tạp

### c. Hệ dầm phức tạp

Hệ dầm phức tạp là hệ gồm ba hệ thống dầm: dầm chính đặt song song với cạnh dài của ô bản, dầm phụ đặt song song với cạnh ngắn của ô, dầm sàn đặt vuông góc với dầm phụ (song song với dầm chính). So với hai hệ *a* và *b* trên đây thì hệ dầm này có cấu tạo phức tạp, tốn công chế tạo hơn nhiều; vì vậy chỉ thích hợp khi tải trọng lên sàn lớn ( $q > 3000\text{daN/m}^2$ ).

Các dầm trong hệ dầm được liên kết với nhau theo một trong ba cách: *liên kết chồng*, *liên kết bằng mặt* hoặc *liên kết thấp*.

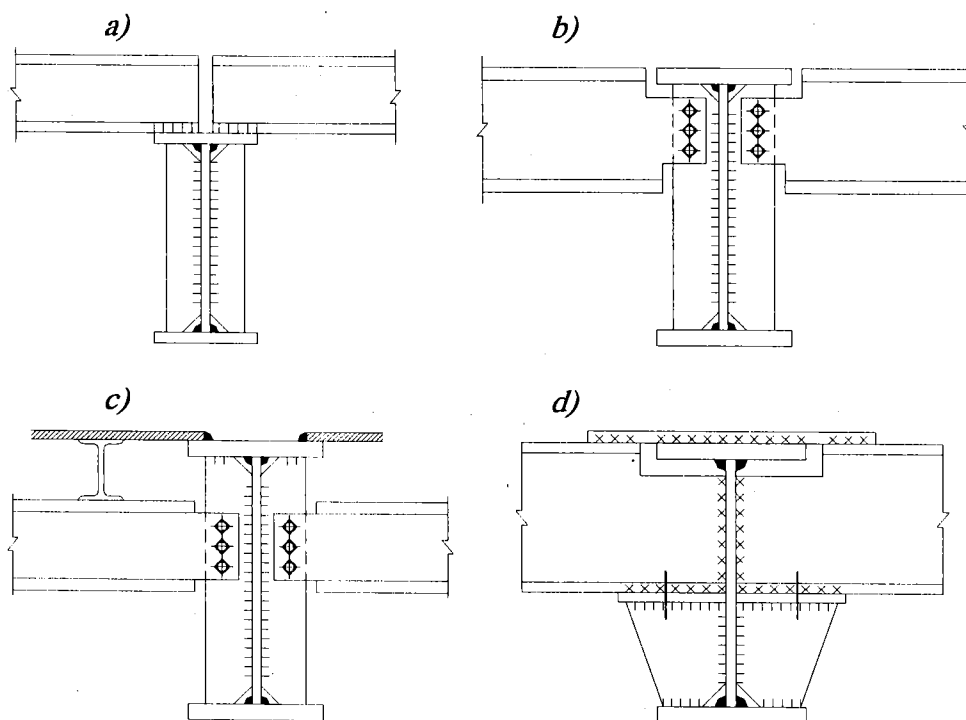
Liên kết chồng là cách cho dầm nọ đặt trực tiếp lên cánh trên của dầm kia. Về cấu tạo thì liên kết này đơn giản, thuận lợi cho lắp ghép hệ, nhưng làm tăng chiều cao kiến trúc của hệ sàn, bản sàn chỉ được gối lên hai cạnh nên độ

cứng và khả năng chịu lực của sàn không cao; vì vậy chỉ nên dùng với những sàn nhỏ.

Liên kết bằng mặt là cách cấu tạo để cánh trên của các dầm đều cùng nằm trên một cao độ. Về mặt cấu tạo thì giải pháp này phức tạp hơn liên kết chồng; nhưng việc sử dụng nó có thể giảm được chiều cao kiến trúc của hệ sàn hoặc có thể tăng được chiều cao của dầm (chính hoặc phụ). Bản sàn được kê trên cả bốn cạnh nên độ cứng và khả năng chịu lực đều tăng.

Liên kết chồng và liên kết bằng mặt thường được sử dụng trong hệ sàn phổ thông.

Liên kết thấp là liên kết mà mặt trên của dầm phụ đặt thấp hơn dầm chính, còn dầm sàn và dầm chính bằng mặt với nhau. Kiểu này thường dùng trong hệ dầm phức tạp. Liên kết thấp cũng có những ưu điểm tương tự như liên kết bằng mặt, nhưng bản sàn cũng chỉ được kê trên hai cạnh nên độ cứng thấp hơn, đặc biệt là cấu tạo thì phức tạp hơn nhiều.



**Hình 3.4.** Liên kết giữa các dầm

- a) liên kết chồng; b) liên kết bằng mặt; c) liên kết thấp  
d) cách cấu tạo liên kết cứng (ngàm) giữa các dầm.

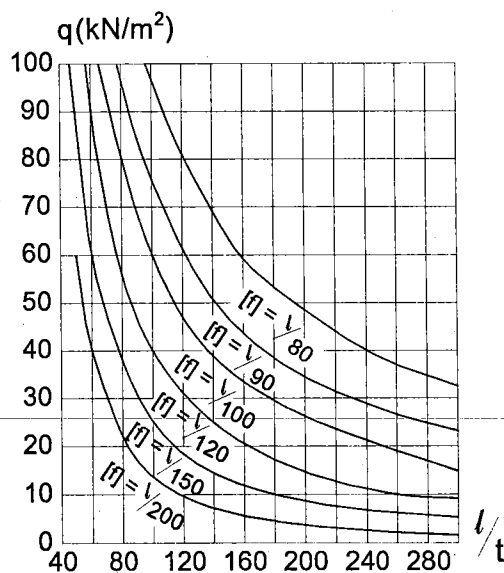


Tùy thuộc vào giải pháp cấu tạo, mà nút nối dầm–dầm tại đầu dầm có thể là liên kết khớp hoặc liên kết cứng. Khi sử dụng liên kết chồng, liên kết thấp hoặc bằng mặt giữa các dầm để tạo thành mối nối khớp (bằng bulông hoặc hàn), tại đó không có mômen nên bulông hoặc đường hàn chỉ chịu lực cắt  $V$ . Khi cần thiết phải tạo liên kết cứng giữa các dầm thì cần cấu tạo liên kết bằng mặt. Mối liên kết này phải đủ lớn để chịu đồng thời cả mômen uốn  $M$  và lực cắt  $V$ .

### 3. Cấu tạo và tính toán bản sàn thép

Sàn thép tạo thành từ các thép bản, được gối trên một trong ba kiểu hệ dầm nêu trên. Bản sàn thép được hàn với cánh của dầm bằng các đường hàn góc, có thể trên hai cạnh đối diện hoặc trên cả chu vi. Khoảng cách các dầm trong hệ và chiều dày bản sàn thép quyết định độ cứng và khả năng chịu lực của bản sàn, chúng có quan hệ chặt chẽ với nhau. Nếu khoảng cách các dầm lớn (số lượng dầm ít) thì bản sàn phải dày và ngược lại. Tính toán bản sàn thép là xác định các kích thước của sàn gồm chiều dày thép bản làm bản sàn  $t$ , nhịp bản sàn  $l$  (là khoảng cách giữa các dầm để gối bản sàn), tính toán thiết kế các dầm đỡ bản sàn. Sau đó tiến hành tính toán tổng lượng thép dùng để làm sàn (gồm cho bản và cho hệ dầm). Phương án hợp lý được chọn là phương án có tổng lượng thép ít hơn mà cấu tạo kết cấu sàn không phức tạp.

Kinh nghiệm thiết kế cho thấy rằng dùng giải pháp nhiều dầm để nhịp bản nhỏ, chiều dày bản sàn mỏng sẽ cho tổng lượng thép của kết cấu sàn ít hơn. Với một kiểu hệ dầm xác định, để chọn được kích thước hợp lý của sàn (gồm nhịp và chiều dày bản sàn theo tiêu chí tổng lượng thép bé và cấu tạo sàn không quá phức tạp) thì có thể căn cứ vào giá trị tải trọng tác dụng trên sàn



Hình 3.5. Quan hệ giữa tải trọng và độ võng

và đồ thị quan hệ giữa tải trọng  $q$ , với  $l/t$  (tương ứng với độ võng tương đối cho phép  $[\Delta/l]$ ) trên hình 3.5 để xác định tỷ số  $l/t$ . Cũng có thể dựa vào biểu thức (3.1) để xác định trước tỷ số  $l/t$ . Sau đó dựa vào hướng dẫn ở bảng 3.1. để chọn ra chiều dày  $t$  của bản sàn, nhằm phù hợp với quy cách thép bản, phù hợp với việc chia ô lưới dầm và thỏa mãn tỷ số  $l/t$  vừa xác định được trên đây.

**Bảng 3.1.** Quan hệ giữa tải trọng tác dụng trên sàn và chiều dày bản sàn thép

| Tải trọng tác dụng trên sàn $q$ , $\text{kN/m}^2$ | Chiều dày bản sàn thép $t$ , $\text{mm}$ |
|---------------------------------------------------|------------------------------------------|
| $\leq 10$                                         | 6 – 8                                    |
| $\leq 20$                                         | 8 – 10                                   |
| $\leq 30$                                         | 10 – 12                                  |
| $> 30$                                            | 12 – 14                                  |

Biểu thức gần đúng giá trị giữa nhịp lớn nhất  $l$  và chiều dày  $t$  của bản sàn :

$$l/t = \frac{4n_o}{15} \left( 1 + \frac{72E_1}{n_o^4 q^c} \right), \quad (3.1)$$

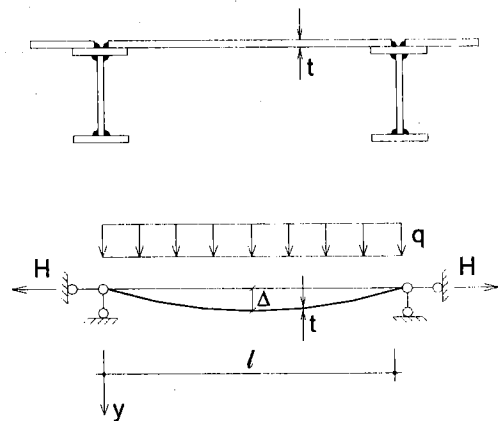
trong đó:  $n_o$  – nghịch đảo của độ võng tương đối cho phép,  $n_o = [l/\Delta]$ , tra bảng theo quy định cụ thể cho từng loại sàn, dầm.

$$E_1 = \frac{E}{1 - \nu^2};$$

$E$  – môđun đàn hồi;

$\nu$  – hệ số Poátxông của thép bản sàn. Với thép  $\nu = 0,3$ .

Bản sàn thép được hàn với bản cánh các dầm. Khi chịu tải trọng, bản chịu uốn và bị võng. Các đường hàn liên kết bản sàn với cánh dầm ngăn cản không cho bản sàn tự do biến dạng võng, cản trở biến dạng xoay tại gối (tại chỗ liên kết). Vì vậy tại gối bản sẽ xuất hiện lực kéo  $H$  và mômen âm. Lực kéo và mômen này làm giảm mômen nhịp và độ võng cho bản. Thông thường, mômen âm khá bé; trong tính toán thiên về an toàn, bỏ qua ảnh hưởng của mômen âm, chỉ xét ảnh hưởng của lực kéo  $H$ .



Hình 3.6. Sơ đồ tính toán bản sàn thép

Cắt một dải bản rộng 1 đơn vị chiều dài (1cm, 1m), sơ đồ tính toán bản là dầm có hai gối cố định chịu tải trọng tính toán phân bố đều  $q$  (hình 3.6). Mômen uốn lớn nhất ở giữa nhịp bản được xác định theo công thức:

$$M_{\max} = \frac{ql^2}{8} - H\Delta \quad (3.2a)$$

$$\text{hoặc } M_{\max} = M_o \frac{1}{1+\alpha}, \quad (3.2b)$$

trong đó:  $l$  – nhịp tính toán của bản;

$\Delta$  – độ võng ở giữa nhịp bản do tải trọng tiêu chuẩn  $q^C$  và lực kéo  $H$  gây ra.

$$\Delta = \Delta_o \frac{1}{1+\alpha}, \quad (3.3)$$

ở đây  $\Delta_o$  – độ võng ở giữa nhịp bản do riêng tải trọng tiêu chuẩn gây ra

$$\Delta_o = \frac{5}{384} \cdot \frac{q^C l^4}{E_1 I_X}; \quad (3.4)$$

$\alpha$  – tỷ số giữa lực kéo  $H$  và lực tối hạn Ole  $N_{cr}$ , xác định theo phương trình:

$$\alpha(1+\alpha)^2 = 3\left(\frac{\Delta_o}{t}\right)^2 \quad (3.5)$$

$H$  – lực kéo tác dụng tại gối tựa bản

$$H = \frac{\pi^2 EI}{l^2} \alpha \quad (3.6a)$$

$$\text{hoặc } H = \gamma_Q \frac{\pi^2}{4} \left[ \frac{\Delta}{l} \right]^2 E_1 t \quad (3.6b)$$

ở đây:  $\gamma_Q$  – hệ số độ tin cậy của tải trọng (hệ số vượt tải)

Như vậy, trình tự tính toán và kiểm tra là: xác định  $\Delta_o$  theo (3.4), xác định  $\alpha$  theo (3.5), xác định  $\Delta$  theo (3.3), xác định  $H$  theo (3.6b) hoặc (3.6a), xác định  $M_{\max}$  theo (3.2b) hoặc (3.2a). Từ các số liệu tính được này, kiểm tra độ võng và độ bền của cấu kiện chịu kéo uốn đồng thời theo điều kiện :

$$\Delta = \Delta_o \cdot \frac{1}{1+\alpha} \leq [\Delta]; \quad (3.7)$$

$$\sigma = \frac{H}{A} + \frac{M_{\max}}{W_x} \leq f\gamma_c, \quad (3.8)$$

trong đó:  $A$ ,  $W_x$  – diện tích, mômen kháng uốn đối với trục ngang  $x-x$  của dải bản dày  $t$ , rộng 1 đơn vị (1cm hoặc 1m).

$[\Delta]$  – độ võng giới hạn cho phép của sàn, dầm thép, xác định theo tỉ số  $[\Delta/l]$  cho ở bảng I.15 phụ lục.

$f$  – cường độ tính toán chịu kéo của thép làm bản sàn, cho trong bảng (I.1 và I.2) phụ lục.

Đường hàn góc có chiều dài 1 đơn vị, chiều cao  $h_f$  phải đủ chịu lực kéo  $H$ .  
Tính được chiều cao đường hàn cần thiết theo :

$$h_f = \frac{H}{(\beta f_w)_{\min} \gamma_c}, \quad (3.9)$$

Với  $(\beta f_w)_{\min} = \min [(\beta_f f_{wf}); (\beta_s f_{ws})];$

$\beta_f, f_{wf}, \beta_s, f_{ws}$  – các hệ số và cường độ tính toán của đường hàn góc, xem chương 2.

**Ví dụ 3.1.** Một sàn công tác bố trí các dầm theo kiểu hệ đơn giản. Sàn chịu tải trọng tiêu chuẩn phân bố đều  $q^C = 20\text{kN/m}^2$  (kể cả trọng lượng bản thân), hệ số độ tin cậy của tải trọng  $\gamma_Q = 1,2$ . Cho biết: bản sàn làm từ thép CCT38, dùng que hàn N42, hàn tay để liên kết bản sàn với dầm; tỷ số độ võng giới hạn cho phép  $[\Delta/l] = 1/150$ . Yêu cầu xác định các kích thước (chiều dày  $t$  và nhịp  $l$ ) của bản sàn; tính liên kết của bản sàn với dầm.

– Tính  $E_1$  và xác định tỷ số các kích thước của sàn theo công thức gần đúng (3.1):

$$E_1 = \frac{E}{1 - \nu^2} = \frac{2,06 \times 10^6}{1 - 0,3^2} = 2,26 \cdot 10^6 \text{ daN/cm}^2;$$

$$\frac{l}{t} = \frac{4 \times 150}{15} \left( 1 + \frac{72 \times 2,26 \times 10^6}{150^4 \times 2,0} \right) = 150.$$

– Dùng đồ thị hình (3.5), dựa vào tải trọng tiêu chuẩn  $q^C = 20\text{kN/m}^2$  tương ứng với đường cong tỷ số độ võng giới hạn cho phép  $[\Delta/l] = 1/150$ , dóng xuống trục hoành, nhận được tỷ số  $l/t = 108$ .

Theo hướng dẫn ở bảng 3.1, tương ứng với tải trọng tác dụng  $q^C = 20\text{kN/m}^2$ , chiều dày bản sàn nên chọn  $t = 8 \div 10\text{mm}$ .

Như vậy, nếu chọn  $t = 8\text{mm}$  và tỷ số  $l/t = 108$ ; thì nhịp của bản sàn là:

$$l = 108 \times 0,8\text{cm} = 86\text{cm}.$$

– Kiểm tra độ võng của bản sàn:

$$\Delta_o = \frac{5}{384} \times \frac{q^C l^4}{E_1 I_x} = \frac{5}{384} \times \frac{2 \times 86^4}{2,26} \times \frac{12}{0,8^3} = 0,15\text{cm}.$$

Lập và giải phương trình (3.5):  $\alpha(1+\alpha)^2 = 3\left(\frac{\Delta_o}{\delta}\right)^2 \Rightarrow \alpha(1+\alpha)^2 = 3\left(\frac{0,15}{0,8}\right)^2$ .

Tìm được  $\alpha = 0,091$ .

Kiểm tra độ võng theo công thức (3.7):

$$\Delta = \Delta_o \cdot \frac{1}{1+\alpha} \leq [\Delta]$$

$$\Rightarrow \Delta = 0,15 \cdot \frac{1}{1+0,091} = 0,137\text{cm} < [\Delta] = \frac{86}{150} = 0,57\text{cm}.$$

– Kiểm tra điều kiện bền của bản sàn:

Tính  $H$  theo (3.6b):

$$H = \gamma_Q \frac{\pi^2}{4} \left[ \frac{\Delta}{l} \right]^2 E_t t = 1,2 \frac{\pi^2}{4} \left[ \frac{1}{150} \right]^2 \times 2,26 \times 10^6 \times 0,8 = 237\text{daN}.$$

Tính  $M_{\max}$  theo (3.2b):

$$M_{\max} = M_o \frac{1}{1+\alpha} = \frac{1,2 \times 0,02 \times 86^2}{8} \cdot \frac{1}{1+0,091} = 20,3\text{daNcm/cm}.$$

Kiểm tra điều kiện bền của bản sàn theo công thức (3.8):

$$\sigma = \frac{H}{A} + \frac{M_{\max}}{W_x} = \frac{237}{1 \times 0,8} + \frac{6 \times 20,3}{1 \times 0,8^2} = 486\text{daN/cm}^2 < f_{\gamma_c} = 2250 \times 1\text{daN/cm}^2$$

– Tính toán liên kết hàn bản sàn vào cánh dầm:

Tra bảng, xác định

$$(\beta f_w)_{\min} = \min[(\beta_f f_{wf}); (\beta_s f_{ws})] = (\beta_f f_{wf}) = 0,7 \times 1800 = 1260\text{daN/cm}^2$$

Chiều cao cần thiết của đường hàn góc, xác định theo (3.9):

$$h_f = \frac{H}{(\beta f_w)_{\min} \gamma_c} = 237/1260 = 0,17\text{cm}. \text{ Theo yêu cầu cấu tạo, lấy } h_f = h_{f_{\min}} = 5\text{mm}.$$

## §3.2. CÁC KÍCH THƯỚC CHÍNH CỦA DẦM

Trước khi thiết kế cụ thể dầm, cần xác định được hai kích thước cơ bản là chiều dài dầm và chiều cao của tiết diện dầm.

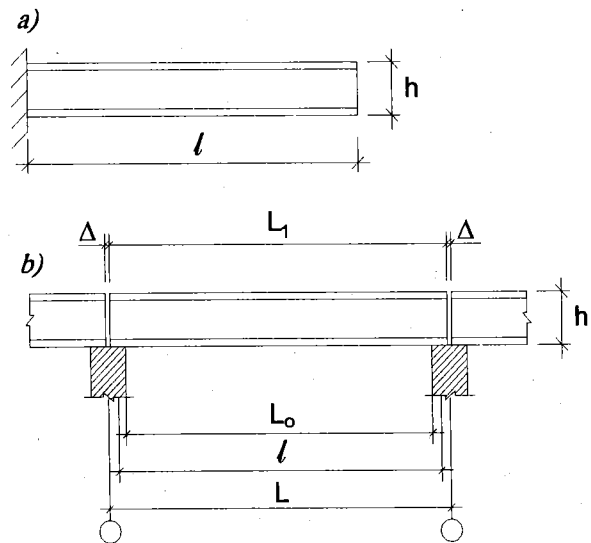
### 1. Chiều dài dầm, nhịp dầm

Dầm được tựa trên các cấu kiện khác (có thể là tường, cột hoặc dầm khác), gọi chung các bộ phận tựa ấy là gối tựa. Dầm đơn giản tựa trên hai gối khớp ở hai đầu; dầm liên tục tựa trên nhiều gối; nếu dầm chỉ liên kết với gối tại một đầu, đầu kia không tựa thì gọi là dầm côngxôn.

Với các dầm côngxôn, nhịp  $l$  là khoảng cách từ mép không tựa đến mép ngoài của kết cấu tựa (h.3.7a).

Với các dầm đơn giản khoảng cách định vị  $L$  giữa hai gối tựa gọi là nhịp danh nghĩa (khoảng vượt); khoảng cách gần nhất giữa hai gối tựa  $L_o$  gọi là khoảng thông thủy (hình 3.7b).

Chiều dài chế tạo  $L_1$  của dầm xác định theo điều kiện:  $L_1 = L - \Delta$ ; trong đó  $\Delta$  là sai số chế tạo, cần thiết cho lắp dựng, phụ thuộc vào vật liệu dầm và điều kiện chế tạo. Với các dầm thép thông thường,  $\Delta = (5 \div 10)\text{mm}$ .



Hình 3.7. Kích thước chính của dầm

Nhịp tính toán  $l$  phụ thuộc vào cách tựa dầm lên gối và tỷ lệ độ cứng của dầm và gối tựa. Khi dầm tựa lên cột thông qua sườn đầu dầm thì nhịp tính toán  $l$  là khoảng cách giữa hai sườn, gần trùng với chiều dài chế tạo  $L_1$  của dầm.

Dầm thép không có sườn, đầu dầm đặt trực tiếp lên gối tựa là đỉnh tường hoặc đầu cột, thì nhịp tính toán phụ thuộc rất nhiều vào độ cứng của gối tựa. Nếu gối tựa là tường gạch  $l = L_1$ . Khi gối tựa là cột bê tông, giằng bê tông cốt thép của tường gạch hoặc bản thép phủ của đỉnh cột thép, có thể lấy  $l = L_o + (L_1 - L_o)/2$ .

Trong các trường hợp trên, nhịp tính toán  $l$  đều là những con số khá lẻ và thường nhỏ hơn nhịp danh nghĩa  $L$ . Để thuận lợi và thiên về an toàn, thường lấy  $l = L$  để đưa vào tính toán, nghĩa là lấy nhịp tính toán bằng khoảng cách giữa tâm các gối tựa.

Việc chọn giá trị nhịp  $l$  là yếu tố quan trọng để so sánh giải pháp kết cấu. Với các sàn thông thường trong công trình xây dựng, nhịp thường chọn là  $l \leq 18\text{m}$ . Khi nhịp có giá trị bé, có thể dùng thép hình để làm dầm; với các giá trị lớn hơn, có thể phải làm dầm tổ hợp.

## 2. Chiều cao của tiết diện dầm

Chiều cao tiết diện là thông số cơ bản khi thiết kế dầm. Chiều cao tiết diện vừa phải đảm bảo yêu cầu sử dụng: dầm phải đủ cứng để không võng quá độ võng giới hạn, nhưng cao độ mặt trên, mặt dưới sàn lại bị khống chế bởi yêu cầu công nghệ, đồng thời phải thỏa mãn yêu cầu kinh tế. Gọi  $h$  là chiều cao của tiết diện dầm, cần chọn  $h$  thỏa mãn điều kiện sau:

$$h_{\min} \leq h \leq h_{\max}; \text{ và } h \text{ càng gần } h_{kt} \text{ càng tốt,}$$

trong đó:  $h_{\min}$  – chiều cao đảm bảo cho dầm đủ cứng trong suốt quá trình sử dụng, nghĩa là độ võng của dầm không vượt quá độ võng giới hạn;

$h_{\max}$  – chiều cao lớn nhất có thể của dầm, được quy định trong nhiệm vụ thiết kế, chính là khoảng cách cho phép đủ để bố trí hệ dầm và bản sàn;

$h_{kt}$  – chiều cao của tiết diện dầm tương ứng với lượng thép làm dầm ít nhất.

- Chiều cao  $h_{\min}$  được xác định từ công thức tính toán độ võng của dầm. Với dầm đơn giản chịu tải trọng phân bố đều, độ võng lớn nhất tại giữa dầm là:

$$\Delta = \frac{5}{384} (g^c + p^c) \frac{l^4}{EI}, \quad (3.10)$$

trong đó:  $g^c, p^c$  – tĩnh tải và hoạt tải tiêu chuẩn tác dụng trên một đơn vị chiều dài dầm;  $l$  – nhịp dầm;

$EI$  – độ cứng chống uốn của tiết diện dầm.

Thay thế mômen uốn tính toán dầm:  $M = (g^c \gamma_g + p^c \gamma_p) \frac{l^2}{8}$  vào (3.10)

ta có:

$$\Delta = \frac{5 M l^2 (g^c + p^c)}{48 E I (g^c \gamma_g + p^c \gamma_p)}. \quad (3.11)$$

Lại có quan hệ  $M = f W$ ;  $I = W h / 2$ . Thay thế vào (3.11), ta được biểu thức xác định độ võng của dầm:

$$\Delta = \frac{5}{24} \frac{f l^2}{E h \gamma_{tb}}, \quad (3.12)$$

trong đó:  $\gamma_{tb}$  – hệ số vượt tải trung bình, xác định theo biểu thức:

$$\frac{1}{\gamma_{tb}} = \frac{g^c + p^c}{g^c \gamma_g + p^c \gamma_p},$$

Cho độ võng của dầm bằng độ võng giới hạn ( $\Delta = [\Delta]$ ), từ (3.12) ta có biểu thức xác định chiều cao nhỏ nhất của dầm:

$$h_{\min} = \frac{5}{24} \frac{f}{E} \left[ \frac{l}{\Delta} \right] \frac{l}{\gamma_{tb}}. \quad (3.13)$$

- Chiều cao lớn nhất  $h_{\max}$  được xác định từ yêu cầu sử dụng, được quy định trong nhiệm vụ thiết kế. Quy định này không cho phép chiều cao dầm vượt quá một giá trị nào đó, để không làm ảnh hưởng đến không gian sử dụng bên dưới sàn.
- Chiều cao kinh tế  $h_{kt}$  là chiều cao tiết diện, tương ứng với lượng thép làm dầm bé nhất, có thể xác định như sau:

Trọng lượng một mét dài dầm:

$$g_d = g_w + 2g_f, \quad (3.14)$$

trong đó:  $g_d$ ,  $g_w$ ,  $g_f$  – trọng lượng một mét dài của dầm, của bụng dầm, của một cánh dầm.

Có thể xác định được:

$$g_w = A_w \psi_w \rho \text{ và } g_f = A_f \psi_f \rho,$$

trong đó:  $A_w$ ,  $A_f$  – diện tích tiết diện bụng, tiết diện một cánh dầm;  
 $\psi_w$ ,  $\psi_f$  – hệ số xét đến các chi tiết cấu tạo của bụng, của cánh dầm;  
 $\rho$  – trọng lượng riêng của thép làm dầm.

Lại có 
$$A_f = \frac{N_f}{f} = \frac{CM}{fh_{fk}},$$

trong đó:  $N_f$  – lực dọc mà bản cánh phải chịu;  
 $CM$  – phần mômen phân phối cho bản cánh;  
 $h_{fk}$  – khoảng cách tâm tiết diện hai bản cánh dầm.

Gọi  $h_w$ ,  $t_w$  là chiều cao, chiều dày của bản bụng dầm. Có thể viết lại (3.14) như sau:

$$g_d = h_w t_w \psi_w \rho + 2 \frac{CM}{h_{fk} f} \psi_f \rho. \quad (3.15)$$

Nhận thấy rằng, khi chiều cao dầm tăng lên thì trọng lượng bụng tăng lên, còn trọng lượng cánh dầm thì giảm xuống; quan hệ đó được biểu thị trên hình 3.8.

Gần đúng trong biểu thức (3.15) cho  $h_w = h_{fk} = h$  và đạo hàm theo biến số chiều cao  $h$  rồi cho bằng không đạo hàm này để tìm cực trị, ta có:

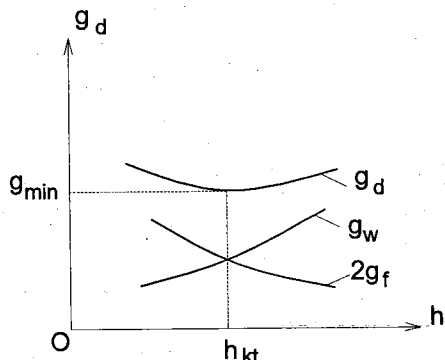


$$t_w \psi_w \rho - \frac{2CM}{fh^2} \psi_f \rho = 0. \quad (3.16)$$

Thay  $M/f = W$  vào (3.16), coi  $h$  là  $h_{kt}$  (vì tại đó hàm trọng lượng đạt cực tiểu), ta có:

$$h_{kt} = \sqrt{\frac{2C\psi_f W}{\psi_w t_w}} \quad (3.17)$$

$$\text{hoặc } h_{kt} = k \sqrt{\frac{W}{t_w}} \quad (3.18)$$



Hình 3.8. Đồ thị quan hệ giữa trọng lượng

trong đó:  $k$  – hệ số phụ thuộc vào cấu tạo tiết diện dầm (dầm hàn hay dầm bulông, đỉnh tán, tiết diện dầm thay đổi hay không thay đổi),

$k = \sqrt{\frac{2C\psi_f}{\psi_w}}$ . Trong thiết kế có thể lấy như sau: với dầm tổ hợp hàn

$k = 1,20 \div 1,15$ ; với dầm tổ hợp đỉnh tán (hoặc bulông)  $k = 1,25 \div 1,20$ .

Chiều cao  $h_{kt}$  theo biểu thức (3.18) chưa xét đến ảnh hưởng của sự thay đổi tỷ số chiều cao và chiều dày bản bụng dầm. Nếu xét đến sự thay đổi tỷ số  $h_w/t_w$ , ta có công thức sau:

$$h_{kt} = \sqrt[3]{\frac{3\lambda_w W}{2}}, \quad (3.19)$$

trong đó:  $\lambda_w = \frac{h_w}{t_w}$  gọi là độ mảnh của bản bụng dầm.

Bản bụng càng cao, càng mỏng thì dầm càng nhẹ. Tuy nhiên, khi thiết kế tiết diện, độ mảnh của bản bụng cần được khống chế để thỏa mãn các điều kiện ổn định cục bộ. Vì vậy, có thể lấy các giá trị cho trong bảng 3.2. Với các lớp tiết diện mảnh hơn, cần tham khảo tiêu chuẩn thiết kế kết cấu thép.

Bảng 3.2. Tỷ số chiều cao và chiều dày bản bụng dầm thép

| $h, m$      | 1,0       | 1,5       | 2,0       | 3,0       | 4,0       | 5,0       |
|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| $t_w, mm$   | 8 – 10    | 10 – 12   | 12 – 14   | 16 – 18   | 20 – 22   | 22 – 24   |
| $h_w / t_w$ | 100 – 125 | 125 – 150 | 145 – 165 | 165 – 185 | 185 – 200 | 210 – 230 |

Từ đồ thị hình 3.8 thấy rằng, khi chiều cao dầm lấy bằng chiều cao  $h_{kt}$  thì trọng lượng bụng dầm gần bằng trọng lượng hai cánh dầm; mặt khác trọng lượng dầm thay đổi rất ít quanh chiều cao  $h_{kt}$ . Vì vậy, khi thiết kế có thể lấy

chiều cao dầm  $h$  sai khác so với chiều cao tính được theo (3.18) hoặc (3.19) khoảng 20% thì vẫn đảm bảo yêu cầu kinh tế trong thiết kế dầm.

Thiết kế dầm là tập hợp các công việc nhằm tìm ra một cấu kiện chịu uốn mà mọi tiết diện của nó đều thỏa mãn các điều kiện sử dụng như sau:

- Thỏa mãn điều kiện bền tại các tiết diện nguy hiểm: chịu mômen uốn lớn nhất và lực cắt kèm theo hoặc chịu lực cắt lớn nhất và mômen uốn kèm theo.
- Bản bụng, bản cánh phải thỏa mãn điều kiện ổn định cục bộ và chịu lực tập trung.
- Độ võng lớn nhất của dầm trong suốt quá trình sử dụng, không vượt quá độ võng giới hạn cho phép.
- Dầm phải thỏa mãn điều kiện ổn định tổng thể, chống oằn do xoắn.
- Thỏa mãn các điều kiện cấu tạo và tính khả thi cho thi công chế tạo và lắp dựng.

### §3.3. THIẾT KẾ DẦM THÉP HÌNH

Dầm hình thường được sử dụng khi vượt nhịp nhỏ hoặc chịu tải trọng bé. Thiết kế dầm hình bao gồm các công việc: chọn tiết diện dầm (chọn loại thép hình làm dầm), kiểm tra tiết diện đã chọn về độ bền, kiểm tra ổn định tổng thể, cấu tạo và tính toán các chi tiết của dầm.

#### 1. Chọn tiết diện dầm hình

- Theo sơ đồ kết cấu của dầm và tải trọng tác dụng lên dầm, xác định mômen uốn  $M$ , lực cắt  $V$  (cả về giá trị và cách phân bố). Từ điều kiện bền của cấu kiện uốn, tương ứng với dạng tiết diện và vị trí các trục  $x, y$  trên hình vẽ 3.1, tính mômen kháng uốn cần thiết của tiết diện theo công thức:

$$W_{xct} = \frac{M_{x\max}}{f_{\gamma_c}}. \quad (3.20a)$$

Khi thỏa mãn các điều kiện để có thể kể đến sự làm việc trong giai đoạn dẻo của thép thì mômen kháng uốn cần thiết của tiết diện được xác định theo công thức:

$$W_{xct} = \frac{M_{x\max}}{c_1 f_{\gamma_c}}. \quad (3.20b)$$

Hệ số  $c_1$  trong công thức (3.20b) là kể đến sự phát triển của biến dạng dẻo của thép, cho phép tăng khả năng chịu  $M$  của dầm. Các điều kiện để có thể áp dụng là: tải trọng tác dụng lên dầm là tĩnh; thép làm dầm có giới hạn chảy  $f_y \leq 53kN/cm^2$ ; dầm có tiết diện không đổi; điều kiện ổn định tổng thể được đảm bảo; ứng suất tiếp  $\tau$  tại tiết diện có đồng thời tác dụng của  $M$  và  $V$  do tổ hợp nội lực bất lợi nhất, thỏa mãn điều kiện  $\tau \leq 0,9 f_v$ . Với dầm thép thông thường, tiết diện không đổi dạng chữ I, chịu tải trọng tĩnh phân bố đều có thể lấy  $c_1 = 1,12$ ; với các dầm khác, cần căn cứ theo quy định của TCVN 338: 2005.

- Căn cứ vào yêu cầu về hình dạng tiết diện và giá trị tính được theo các công thức (3.20a) hoặc (3.20b) trên đây, tra cứu bảng quy cách thép cán, chọn ra hình dạng và số hiệu của thép hình để làm dầm, thỏa mãn điều kiện:

$$W_x \geq W_{xct}. \quad (3.21)$$

## 2. Kiểm tra tiết diện dầm đã chọn theo điều kiện cường độ

### a. Kiểm tra điều kiện bền chịu mômen (điều kiện bền về uốn)

- Nếu thép hình đã chọn để làm dầm thỏa mãn điều kiện bền theo công thức (3.21) và khi tính mômen uốn  $M_{\max}$  đã kể đến trọng lượng bản thân dầm, khi cấu tạo không gây ra các giảm yếu cho dầm thì không cần kiểm tra điều kiện bền về uốn.
- Trong các trường hợp còn lại, cần kiểm tra bền về uốn, ứng suất pháp lớn nhất trên tiết diện được kiểm tra theo công thức:

$$\sigma = \frac{M}{W_{nx}} \leq f_{yc}, \quad (3.22a)$$

hoặc khi thỏa mãn các điều kiện để có thể kể đến sự làm việc trong giai đoạn dẻo của thép thì:

$$\sigma = \frac{M}{C_1 W_{nx}} \leq f_{yc} \quad (3.22b)$$

trong đó:  $M$  – mômen uốn tại tiết diện kiểm tra (do cả tải trọng ngoài và trọng lượng bản thân của dầm gây ra);

$W_{nx}$  – mômen kháng uốn đối với trục uốn  $x-x$ , của tiết diện kiểm tra (lấy với tiết diện thực).

### b. Kiểm tra điều kiện bền chịu cắt

Kiểm tra điều kiện bền chịu cắt của tiết diện dầm, ứng suất tiếp lớn nhất (tại thớ trục trung hòa của tiết diện) cần thỏa mãn công thức:

$$\tau = \frac{VS}{I_x t_w} \leq f_v \gamma_c, \quad (3.23)$$

trong đó:  $V$  – lực cắt tại tiết diện kiểm tra, ở tiết diện nguy hiểm về cắt, lấy  $V = V_{max}$ ;

$S$  – mômen tĩnh của phần tiết diện nguyên bên trên thớ cần tính ứng suất cắt với trục trung hòa  $x-x$ . Với tiết diện chữ I đối xứng,  $S$  là mômen tĩnh của một nửa tiết diện;

$I_x$  – mômen quán tính của tiết diện nguyên lấy đối với trục uốn  $x-x$ ;

$t_w$  – chiều dày bản bụng của thép hình đã chọn;

$f_v$  – cường độ tính toán về cắt của thép làm dầm.

Nếu tại tiết diện kiểm tra, bản bụng bị giảm yếu (do khoét lỗ đỉnh tán, lỗ bulông hoặc do các nguyên nhân khác) thì giá trị ứng suất tiếp trong vế trái của công thức (3.23) cần nhân thêm hệ số  $\alpha$ :

$$\alpha = \frac{A_w}{A_{wn}} = \frac{A_w}{A_w - A_l}$$

trong đó:  $A_w$  – diện tích (nguyên) của tiết diện bản bụng;

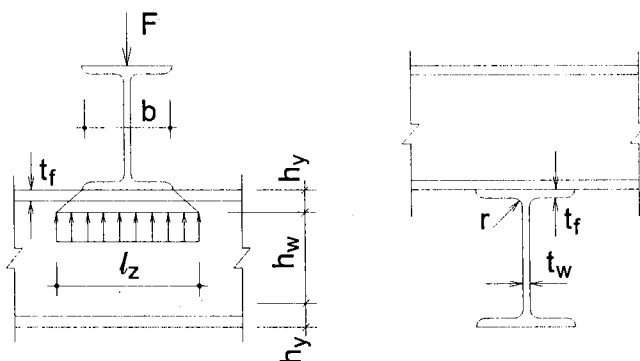
$A_{wn}$  – diện tích thực của tiết diện bản bụng;

$A_l$  – diện tích các giảm yếu của tiết diện bản bụng;

Khi trên tiết diện kiểm tra có các lỗ bu lông đường kính  $d_1$ , cách đều bước  $a$  thì  $\alpha = a/(a - d_1)$ .

### c. Kiểm tra bản bụng dầm chịu ứng suất cục bộ

Khi bên trên cánh dầm có tải trọng tập trung tác dụng trong mặt phẳng bản bụng, mà tại đó bản bụng không có sườn cứng gia cường (hình 3.9) thì cần kiểm tra điều kiện bền của bản bụng, theo ứng suất cục bộ  $\sigma_{cb}$



Hình 3.9. Sơ đồ xác định chiều dài quy ước chịu tải cục bộ của bản bụng dầm

vuông góc với trục dầm, kiểm tra theo công thức:

$$\sigma_{cb} = \frac{F}{t_w l_z} \leq f_{yc}, \quad (3.24)$$

trong đó:  $F$  – giá trị của tải trọng tập trung, phân bố trực tiếp trên chiều rộng  $b$ ;  
 $l_z$  – chiều dài phân bố quy đổi của tải trọng tập trung dọc theo mép trên của bản bụng (tại thớ trên của chiều cao tính toán bản bụng  $h_w$ ), cách thớ trên của dầm đoạn  $h_y$  (hình 3.9).

Khi dầm khảo sát là dầm thép hình

$$l_z = b + 2h_y = b + 2(t_f + r),$$

trong đó:  $t_f$  – chiều dày cánh dầm;

$r$  – bán kính cong chuyển tiếp từ bụng sang cánh của tiết diện thép hình làm dầm (tra bảng theo số hiệu thép hình đã chọn).

#### d. Kiểm tra tiết diện dầm chịu đồng thời ứng suất pháp, ứng suất tiếp, ứng suất cục bộ

Tại tiết diện kiểm tra, có thể tồn tại cả mômen uốn  $M$ , lực cắt  $V$ , lực tập trung  $F$ , cần kiểm tra điều kiện chịu lực của tiết diện tại thớ trên của chiều cao tính toán bản bụng dầm. Xác định ứng suất tương đương và kiểm tra bền theo công thức:

$$\sigma_{td} = \sqrt{\sigma^2 + \sigma_{cb}^2 - \sigma\sigma_{cb} + 3\tau^2} \leq 1,15 f_{yc}, \quad (3.25a)$$

trong đó:  $\sigma$ ,  $\tau$ ,  $\sigma_{cb}$  – ứng suất pháp, ứng suất tiếp, ứng suất cục bộ ở cùng một điểm ứng với thớ trên của chiều cao tính toán bụng dầm.  
 $\sigma_{cb}$  tính theo (3.24). Còn  $\sigma$  và  $\tau$  tính theo công thức sau:

$$\sigma = \frac{M}{I_{nx}} y; \quad (3.25b)$$

$$\tau = \frac{VS_f}{I_x t_w}; \quad (3.25c)$$

trong đó:  $I_{nx}$  – mômen quán tính của tiết diện thực của dầm;

$S_f$  – mômen tĩnh của phần tiết diện cánh dầm (có tải trọng tập trung) lấy với trục trung hoà. Ở đây, tiết diện cánh dầm được kể đến hết góc chuyển tiếp từ cánh sang bụng dầm.

$y$  – khoảng cách từ trục trung hoà đến thớ trên của chiều cao tính toán của bụng dầm đến thớ bị bất lợi do ứng suất cục bộ.

Khi tính theo công thức (3.25a)  $\sigma$ ,  $\sigma_{cb}$  lấy dấu dương nếu là kéo, dấu âm nếu là nén.

Trường hợp trên tiết diện kiểm tra không có lực tập trung  $F$ , khi kiểm tra theo (3.25a) lấy  $\sigma_{cb} = 0$ .

### 3. Kiểm tra độ cứng (độ võng) của dầm

Dầm cần được thiết kế đủ cứng để trong suốt quá trình sử dụng, dầm không bị võng quá độ võng giới hạn. Độ cứng của dầm được kiểm tra theo công thức:

$$\frac{\Delta}{l} \leq \left[ \frac{\Delta}{l} \right], \quad (3.26)$$

trong đó:  $\frac{\Delta}{l}$  – giá trị độ võng tương đối của dầm, do tổ hợp bất lợi nhất của các tải trọng tiêu chuẩn gây ra. Ví dụ với dầm đơn giản nhịp  $l$ , chịu tải trọng tiêu chuẩn phân bố đều  $q^c$  thì :

$$\frac{\Delta}{l} = \frac{5}{384} \frac{q^c l^3}{EI}; \quad (3.27)$$

$\left[ \frac{\Delta}{l} \right]$  – tỷ số giữa độ võng giới hạn và nhịp dầm, được quy định trong tiêu chuẩn thiết kế phụ thuộc cụ thể từng dầm, tương ứng với loại công trình, tra bảng I.15 phụ lục.

Khi kiểm tra theo các điều kiện (3.22a) hoặc (3.22b), (3.23), (3.24), (3.25a), (3.26) mà một trong các điều kiện trên không thỏa mãn thì cần chọn loại thép hình có số hiệu (tiết diện) lớn hơn để làm dầm và tiến hành tính toán kiểm tra lại.

### 4. Kiểm tra ổn định tổng thể của dầm hình

Mômen quán tính của tiết diện dầm dạng chữ I đối với trục ngang  $x-x$  thường lớn hơn đối với trục đứng  $y-y$  (còn có cách gọi  $x-x$  là trục khỏe,  $y-y$  là trục yếu).

Khi sử dụng dầm hình cán nóng tiết diện chữ I, nếu không thỏa mãn các điều kiện khống chế về oằn (sẽ nói kỹ ở phần sau), phải kiểm tra ổn định tổng thể dầm theo công thức:

$$\frac{M}{\varphi_b W_c} \leq f_{\gamma_c}, \quad (3.28)$$

trong đó:  $W_c$  – mômen kháng uốn của tiết diện nguyên, tương ứng với thó biên cánh nén;

$\gamma_c$  – hệ số điều kiện làm việc của dầm, khi kiểm tra ổn định tổng thể dầm  $\gamma_c = 0,95$ ;

$\varphi_b$  – hệ số kể đến sự giảm khả năng chịu uốn của dầm khi xét đến điều kiện ổn định tổng thể. Giá trị của  $\varphi_b$  phụ thuộc tham số  $\varphi_1$  xác định theo công thức:

$$\varphi_1 = \psi \frac{I_y}{I_x} \left[ \frac{h}{l_o} \right]^2 \frac{E}{f}, \quad (3.29a)$$

$\psi$  – hệ số (tra bảng 3.3) phụ thuộc vào sự kiềm chế của cánh nén, dạng tải trọng, cánh chất tải, và hệ số  $\alpha$ .

**Bảng 3.3.** Hệ số  $\psi$  đối với dầm tiết diện chữ I có 2 trục đối xứng

| Số lượng điểm cố kết cánh nén trong nhịp                                            | Dạng tải trọng       | Cánh được chất tải | Công thức tính $\psi$ , tương ứng khi $\alpha$ |                                                        |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|--------------------|------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
|                                                                                     |                      |                    | $0,1 < \alpha < 40$                            | $40 < \alpha < 400$                                    |
| 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 hoặc 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 nhịp                                                                    | 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          | $\psi = 1,6\psi_1$                             | $\psi = 1,6\psi_1$                                     |
|                                                                                     | 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: $\psi_1$ lấy bằng $\psi$ khi cánh nén được cố kết bằng hai hoặc nhiều điểm |                      |                    |                                                |                                                        |

Với thép hình I cán nóng:

$$\alpha = 1,54 \frac{I_t}{I_y} \left[ \frac{l_o}{h} \right]^2, \quad (3.29b)$$

trong đó:  $h$  – chiều cao của tiết diện dầm;

$I_t$  – mômen quán tính khi xoắn của tiết diện dầm;

$l_o$  – chiều dài tính toán ngoài mặt phẳng dầm của cánh nén (chính là khoảng cách giữa hai điểm cố kết ngăn cản không cho dầm chuyển vị theo phương ngang).

Giá trị hệ số  $\varphi_b$  trong công thức (3.28) lấy như sau:

Nếu  $\varphi_1 \leq 0,85$  lấy  $\varphi_b = \varphi_1$ .

Nếu  $\varphi_1 > 0,85$  thì  $\varphi_b = 0,68 + 0,21\varphi_1$ , (3.30)

nhưng không lớn hơn 1,0.

Khi điều kiện (3.28) không thỏa mãn, cần tìm cách tăng cường ổn định tổng thể cho dầm (xem §3.5).

Phân cấu tạo và tính toán các chi tiết của dầm thép hình như nối dầm, sườn gối dầm sẽ trình bày ở §3.7.

### §3.4. THIẾT KẾ DẦM TỔ HỢP

Dầm tổ hợp được sử dụng khi yêu cầu chịu lực vượt quá khả năng của dầm thép cán nóng lớn nhất. Những công trình chịu tải trọng lớn ( $q > 20\text{kN/m}$ ) hoặc vượt nhịp lớn ( $l > 12\text{m}$ ) như sàn nhà luyện tập thể thao, giảng đường, cầu... thì giải pháp kết cấu được lựa chọn thường là dầm tổ hợp. Cũng như đối với dầm hình, việc thiết kế dầm tổ hợp cần đáp ứng được các tiêu chí đã nêu trong §3.3. Việc lựa chọn hình dạng tiết diện, kích thước các bản thép, cấu tạo chi tiết... cần lưu ý đến tính khả thi và hiệu quả kinh tế ngay từ giai đoạn thiết kế.

Thiết kế dầm tổ hợp bao gồm các công việc: chọn tiết diện dầm; thay đổi tiết diện theo chiều dài dầm; kiểm tra các tiết diện và kiểm tra dầm theo các điều kiện về bền, biến dạng, ổn định; cấu tạo và tính toán các chi tiết của dầm.



## 1. Chọn tiết diện dầm

Chọn tiết diện dầm tổ hợp là xác định các kích thước chính của tiết diện. Với tiết diện dạng chữ I, kích thước chính bao gồm: chiều cao tiết diện, chiều dày bản bụng, chiều dày và chiều rộng cánh dầm.

### a. Xác định chiều cao $h$ của dầm

Chiều cao  $h$  là kích thước quan trọng, phụ thuộc chặt chẽ với các kích thước khác và quyết định hiệu quả kinh tế của phương án chọn. Để chọn  $h$  phải xác định trước các thông số  $h_{min}$ ,  $h_{max}$ ,  $h_{kt}$ . Cách thức, trình tự xác định và ý nghĩa của chúng đã được giới thiệu chi tiết trong §3.2. Chiều cao được chọn  $h$  của dầm cần thỏa mãn điều kiện:

$$h_{min} \leq h \leq h_{max} \text{ và } h \text{ càng gần } h_{kt} \text{ càng tốt.}$$

### b. Xác định chiều dày bản bụng dầm

Nhằm tăng cường độ cứng và khả năng chịu uốn thì giải pháp hữu hiệu là tăng chiều cao dầm. Với những dầm có chiều cao lớn, chiều dày bản bụng càng bé, dầm càng nhẹ, hiệu quả kinh tế càng lớn.

- Chiều dày nhỏ nhất của bản bụng được xác định theo điều kiện: bản bụng đủ chịu lực cắt lớn nhất. Từ điều kiện (3.23), khi gần đúng coi là chỉ có bản bụng chịu tác dụng của lực cắt  $V_{max}$  (vì giá trị ứng suất tiếp ở cánh dầm rất bé), thì ứng suất tiếp tại thớ giữa đạt đến cường độ tính toán về cắt  $f_v$ , ta có:

$$\tau = \frac{V_{max} S_w}{I_x t_w} = f_v \gamma_c, \quad (3.31a)$$

trong đó:  $t_w$ ,  $h_w$  – chiều dày, chiều cao của bản bụng dầm;

$S_w$  – mômen tĩnh của một nửa tiết diện bản bụng (tiết diện chữ nhật  $t_w \cdot h_w$ ) lấy với trục trung hòa,

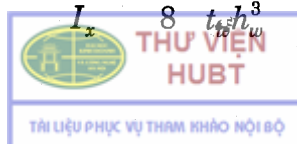
$$S_w = t_w \frac{h_w}{2} \frac{h_w}{4} = t_w \frac{h_w^2}{8};$$

$I_x$  – mômen quán tính đối với trục  $x$  của tiết diện chữ nhật bản bụng,

$$I_x = \frac{t_w h_w^3}{12}.$$

Tính được tỷ số

$$\frac{S_w}{I_x} = \frac{t_w h_w^2}{8} \frac{12}{t_w h_w^3} = \frac{3}{2 h_w}.$$



Thay vào (3.31a) 
$$\frac{V_{\max}}{t_w} \frac{3}{2h_w} = f_v \gamma_c$$

Tính được 
$$t_w = \frac{3}{2} \frac{V_{\max}}{h_w f_v \gamma_c} \quad (3.31b)$$

Gần đúng coi  $h_w \approx h$  hoặc  $h_w \approx h - (30 \div 40)\text{mm}$ ; thay vào (3.31b), tính được chiều dày bé nhất của bản bụng.

- Thực tế thiết kế thấy rằng, với những dầm có chiều cao  $h$  từ 1 đến 2m, chịu tải trọng thông thường, có thể chọn chiều dày bản bụng theo công thức kinh nghiệm:

$$t_w = 7 + \frac{3h}{1000} \quad (3.32)$$

Trong đó giá trị của  $t_w$  và  $h$  đều tính bằng mm.

- Về phương diện ổn định bản mỏng, nếu không dùng sườn để gia cường bản bụng dầm thì cần chọn chiều dày bản bụng  $t_w$  thỏa mãn điều kiện:

$$t_w \geq \frac{h_w}{5,5} \sqrt{\frac{f}{E}} \quad (3.33)$$

Chọn theo (3.33) sẽ có bề dày bản bụng lớn, lượng thép cho tiết diện dầm lớn. Bù lại sẽ không tốn thép cho sườn, không tốn công thi công sườn, dễ dàng cho áp dụng tự động hóa trong chế tạo, nhờ đó có thể hạ thấp được tổng kinh phí đầu tư.

Ngược lại, khi chọn bề dày bé hơn, cần phải làm các đôi sườn ngang, đặt dọc dầm theo khoảng cách quy định. Lượng thép cho tiết diện dầm bé, nhưng tốn thép làm sườn, tốn công chế tạo, chỉ có thể chế tạo thủ công nên thi công lâu và tổng kinh phí xây dựng có thể lớn.

Tiêu chuẩn thiết kế kết cấu thép của Anh, Mỹ, Châu Âu căn cứ vào tỷ số  $h_w/t_w$  để phân chia tiết diện làm nhiều cấp, tương ứng với mỗi cấp có cách kiểm tra riêng. Các tiêu chuẩn này khuyến khích dùng giải pháp dầm không sườn.

Bề dày bản bụng  $t_w$  được chọn để đưa vào cấu tạo tiết diện dầm dựa trên cơ sở của các giá trị tính được theo công thức (3.31b), (3.32), (3.33), nhưng cần lưu ý đến chiều dày của thép cán theo quy cách và bề dày tối thiểu đảm bảo yêu cầu chống gỉ.

### c. Xác định các kích thước của tiết diện cánh dầm

- Xác định tiết diện cánh dầm hàn: Thông thường cánh dầm hàn chỉ dùng một bản thép; vì vậy xác định tiết diện cánh dầm hàn là xác định chiều dày  $t_f$  và chiều rộng  $b_f$  của bản thép cánh dầm.

Sau khi đã chọn được chiều cao dầm  $h$  và chiều dày bản bụng  $t_w$ ; từ điều kiện bền về uốn của tiết diện chịu  $M_{max}$ , xác định được diện tích yêu cầu của cánh dầm. Tiến hành như sau:

Từ điều kiện chịu uốn, xác định mômen quán tính cần thiết của tiết diện cánh dầm đối với trục trung hòa  $x-x$ :

$$I_f = I_x - I_w = W_x \cdot \frac{h}{2} - \frac{t_w h_w^3}{12} = \frac{M_{max}}{f \gamma_c} \cdot \frac{h}{2} - \frac{t_w h_w^3}{12} \quad (3.34)$$

Mặt khác, tiết diện dầm dạng chữ I, có thể xác định  $I_f$  theo nguyên lý sức bền vật liệu:

$$I_f \approx 2 A_f \frac{h_{fk}^2}{4} = 2 b_f t_f \frac{h_{fk}^2}{4} = b_f t_f \frac{h_{fk}^2}{2} \quad (3.35)$$

Đồng nhất (3.34) và (3.35), ta được:

$$\begin{aligned} \frac{M_{max}}{f \gamma_c} \cdot \frac{h}{2} - \frac{t_w h_w^3}{12} &= b_f t_f \frac{h_{fk}^2}{2} \\ \Rightarrow b_f t_f &= \left( \frac{M_{max}}{f \gamma_c} \cdot \frac{h}{2} - \frac{t_w h_w^3}{12} \right) \frac{2}{h_{fk}^2} \end{aligned} \quad (3.36)$$

Theo (3.36) tính được tích của chiều rộng và chiều dày yêu cầu (chính là diện tích) của bản cánh dầm. Cần căn cứ vào các yêu cầu cấu tạo để chọn trước một kích thước, rồi căn cứ vào (3.36) để chọn kích thước còn lại. Các yêu cầu cấu tạo là :

- + Để tiết diện làm việc hiệu quả theo hướng đưa vật liệu ra xa trọng tâm, chiều dày bản cánh  $t_f$  nên chọn lớn hơn chiều dày  $t_w$  của bản bụng. Với các dầm thông thường, nên chọn  $t_f = 12 \div 24 \text{ mm}$ .
- + Không nên chọn thép bản có bề dày lớn hơn 30mm để làm cánh dầm; bởi vì sẽ phát sinh ứng suất phụ và sẽ rất khó hàn khi hàn bản cánh với bản bụng dầm; mặt khác với cùng một mức thép thì khi bề dày càng lớn, cường độ tính toán càng bé.

- + Để thỏa mãn điều kiện ổn định cục bộ của bản cánh chịu nén, tỷ số chiều rộng và chiều dày bản cánh cần thỏa mãn điều kiện:

$$\frac{b_f}{t_f} \leq \sqrt{\frac{E}{f}}. \quad (3.37a)$$

- + Để ứng suất pháp phân bố đều trên chiều rộng bản cánh chịu kéo và đảm bảo ổn định cục bộ cho bản cánh chịu nén, nên chọn

$$b_f \leq 30t_f. \quad (3.37b)$$

- + Nhằm đảm bảo điều kiện ổn định tổng thể của dầm, đồng thời dễ liên kết dầm với các cấu kiện khác (với dầm ngang bên trên, với tấm sàn...) thì bề rộng cánh dầm không nên quá bé, thường chọn như sau:

$$b_f = (1/2 \div 1/5)h; b_f \geq 180\text{mm}; b_f \geq h/10. \quad (3.38)$$

- Xác định tiết diện cánh dầm đỉnh tán (hoặc bulông). Mỗi cánh dầm đỉnh tán (hoặc bulông) gồm có hai thép góc (gọi là thép góc cánh) và có thể có thêm một, hai hoặc ba thép bản (gọi là bản phủ hoặc bản đáy cánh dầm).

Khi thiết kế, chọn trước thép góc cánh dầm (nên chọn thép góc đều cạnh), có chiều rộng và bề dày như sau:

$$b_g = (1/9 \div 1/12)h; \\ t_g = t_w; t_g = (1/10 \div 1/11)b_g. \quad (3.39)$$

Sau đó, xác định tiết diện bản đáy theo quan hệ:

$$I_d = I - I_w - I_g = W_x h / 2 - t_w h_w^3 / 12 - 4(I_{og} + a_g^2 A_g), \quad (3.40a)$$

trong đó:  $I_g$  – mômen quán tính của tiết diện một thép góc, đối với trục trung hòa  $x-x$  của dầm;

$I_{og}$  – mômen quán tính của tiết diện một thép góc đối với trục trọng tâm của chính nó, tra bảng theo số hiệu thép góc đã chọn;

$a_g$  – khoảng cách từ trục trọng tâm thép góc đến trục trung hòa  $x-x$ ;

$A_g$  – diện tích tiết diện của thép góc đã chọn;

$I_d$  – mômen quán tính của tiết diện các bản đáy hai cánh dầm, đối với trục trung hòa  $x-x$ . Hoàn toàn tính được  $I_d$  từ (3.40a), bởi vì vế phải của nó bao gồm các đại lượng đã biết, đã chọn.

Mặt khác, có thể xác định  $I_d$  theo công thức của Sức bền vật liệu:

$$I_d = 2n_1 b_d t_d h_d^2 / 4, \quad (3.40b)$$

với:  $b_d, t_d$  – chiều rộng và bề dày của bản dầy cánh dầm;  
 $h_d$  – khoảng cách trọng tâm các bản dầy ở hai cánh dầm, ban đầu có thể lấy  $h_d = h - (12 + 24)\text{mm}$ ;  
 $n_1$  – số lượng bản dầy ở mỗi cánh dầm (chỉ nên chọn một hoặc hai bản).

Đồng nhất kết quả của (3.40a) và (3.40b), xác định được  $b_d t_d$  là diện tích cần thiết của tiết diện bản dầy cho mỗi cánh dầm.

Chiều rộng cần thiết của bản dầy:  $b_d \geq 2b_g + t_w$ .

Phần đua ra của bản dầy, tính từ tâm đỉnh tán (hoặc bulông) ngoài cùng đến mép bản  $a_1 \leq 15t_d$  (khi cánh dầm dùng một bản dầy), hoặc  $a_1 \leq 8t_d$  (khi mỗi cánh dầm dùng hai bản dầy). Chọn  $b_d$  trước, rồi từ đó tính được  $t_d$ .

## 2. Kiểm tra độ bền, độ võng và ổn định của dầm tổ hợp

### a. Kiểm tra độ bền

- Kiểm tra dầm theo điều kiện bền chịu uốn: ở những tiết diện nguy hiểm về uốn chỉ có mômen  $M$  tác dụng, còn lực cắt  $V = 0$ , theo điều kiện (3.22a).
- Kiểm tra dầm theo điều kiện bền chịu cắt: ở những tiết diện nguy hiểm về cắt chỉ có lực cắt  $V$  tác dụng, còn mômen uốn  $M = 0$ , theo điều kiện (3.23).
- Kiểm tra điều kiện bền ở những tiết diện chịu tác dụng đồng thời của mômen uốn  $M$  và lực cắt  $V$ , theo điều kiện ứng suất tương đương:

$$\sigma_{td} = \sqrt{\sigma_1^2 + 3\tau_1^2} \leq 1,15f_{yc}, \quad (3.41)$$

với: 
$$\sigma_1 = \frac{M}{W} \cdot \frac{h_o}{h}; \quad \tau_1 = \frac{VS_f}{I_x t_w},$$

trong đó:  $M, V$  – mômen uốn và lực cắt tại tiết diện kiểm tra;

$I_x, W_x$  – mômen quán tính và mômen kháng uốn của toàn bộ tiết diện kiểm tra;

$h, t_w$  – chiều cao dầm, bề dày bản bụng dầm tại tiết diện kiểm tra;

$h_o$  – chiều cao tính toán của bản bụng; với dầm hàn  $h_o = h_w$ , với dầm đỉnh tán (hoặc bulông)  $h_o$  là khoảng cách tâm giữa hai đỉnh gần nhất để liên kết bản bụng với hai thép góc ở hai cánh dầm;

$S_f$  – mômen tĩnh lấy với trục trung hòa của một cánh dầm, với dầm hàn  $S_f$  là của riêng một bản cánh; với dầm đỉnh tán hoặc

bulông  $S_f$  là của hai thép góc cánh và các bản dầy trên một cánh dầm.

– Kiểm tra bền chịu ứng suất cục bộ của bụng dầm

Khi bên trên cánh dầm có tải trọng tập trung tác dụng trong mặt phẳng bản bụng, mà tại đó bản bụng không có sườn cứng gia cường, cần kiểm tra điều kiện bền của bản bụng, ứng suất cục bộ  $\sigma_{cb}$  vuông góc với trục dầm theo công thức (3.24).

Lưu ý thứ kiểm tra là thứ trên bản bụng, giống như điều kiện kiểm tra với ứng suất cắt; chiều dài phân bố quy đổi của lực tập trung  $l_z$  xác định như sau:

- + Khi dầm khảo sát là dầm tổ hợp hàn  $l_z = b + 2t_f$ ; với  $b$  là chiều rộng phân bố lực tập trung  $F$ ;  $t_f$  là chiều dày cánh dầm;
- + Khi dầm đỉnh tán (hoặc dầm bulông)  $l_z = b + 2h_y$ ;  $b$  là chiều rộng phân bố lực tập trung  $F$ ;  $h_y$  là khoảng cách từ mặt trên của dầm đến biên trên của chiều cao tính toán bản bụng,  $h_y = t_d + b_g$ .

– Kiểm tra tiết diện dầm chịu đồng thời của ứng suất uốn, ứng suất tiếp, ứng suất cục bộ

Tại tiết diện kiểm tra, có thể tồn tại cả mômen uốn  $M$ , lực cắt  $V$ , lực tập trung  $F$ , cần kiểm tra điều kiện chịu lực của tiết diện ở thứ trên của chiều cao tính toán bản bụng dầm. Xác định ứng suất tương đương và kiểm tra theo công thức (3.25a).

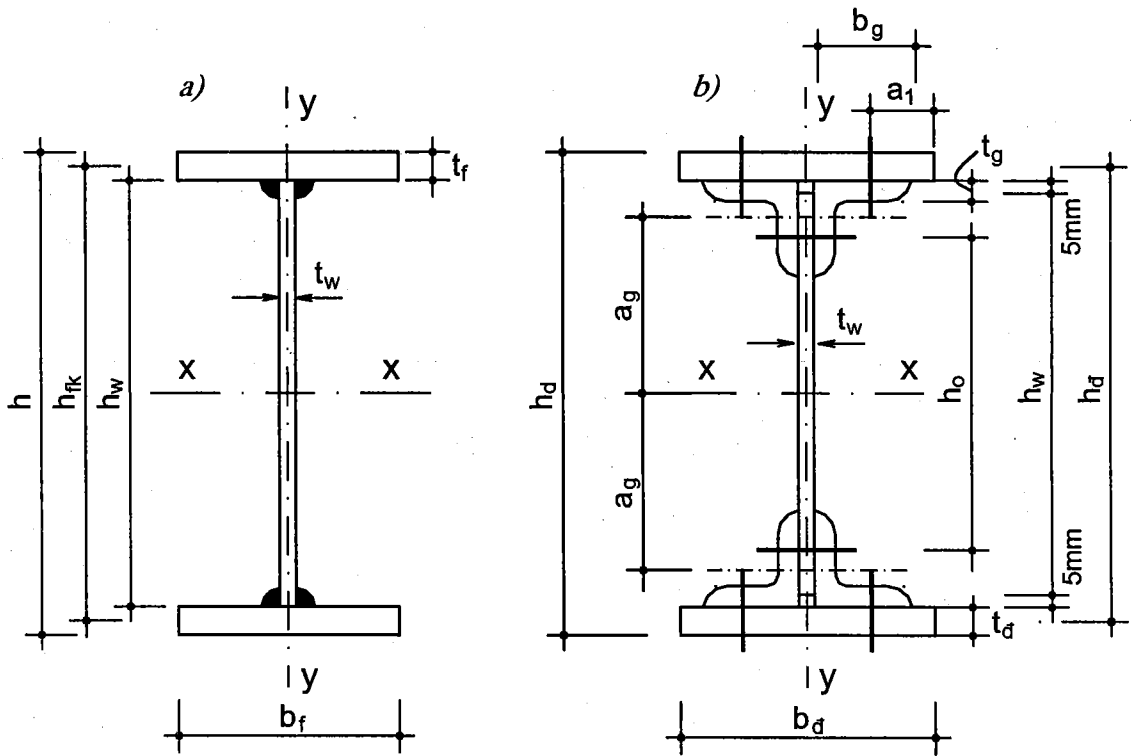
**b. Kiểm tra độ cứng (độ võng) của dầm**

Nếu chiều cao dầm chọn  $h \geq h_{\min}$  thì không cần kiểm tra độ võng của dầm. Trong trường hợp ngược lại cần kiểm tra độ võng của dầm, thỏa mãn công thức (3.26).

**c. Kiểm tra ổn định dầm tổ hợp.**

Bao gồm kiểm tra ổn định tổng thể dầm và ổn định cục bộ của các bản thép làm dầm, được trình bày cụ thể trong §3.5 và §3.6.

Khi kiểm tra, nếu một trong các điều kiện trên không thỏa mãn thì cần chọn lại tiết diện dầm và tiến hành tính toán kiểm tra theo trình tự nêu trên.



**Hình 3.10. Tiết diện dầm tổ hợp**  
a) dầm hàn; b) dầm đinh tán hoặc bulông

**Ví dụ 3.2.** Cho dầm đơn giản bằng thép tiết diện dạng I tổ hợp hàn, nhịp  $l = 12\text{m}$ , chịu tải trọng phân bố đều  $p^c = 125\text{kN/m}$ , hệ số độ tin cậy của tải trọng  $\gamma_p = 1,2$ . Hệ số điều kiện làm việc của dầm  $\gamma_c = 1$ . Độ võng tương đối cho phép  $[\Delta/l] = 1/400$ . Không hạn chế chiều cao  $h_{\max}$ . Dầm được chế tạo bằng thép bản CCT38 (TCVN 5709:1993). Hãy chọn và kiểm tra tiết diện dầm theo điều kiện cường độ và độ võng.

### 1. Chọn tiết diện dầm

#### a) Xác định chiều cao tiết diện dầm $h$

– Tính chiều cao  $h_{\min}$  theo (3.13), giả thiết rằng hệ số vượt tải trung bình  $\gamma_{tb} = 1,2$

$$h_{\min} = \frac{5}{24} \frac{f}{E} \left[ \frac{l}{\Delta} \right] \frac{l}{\gamma_{tb}} = \frac{5}{24} \cdot \frac{2,1 \times 10^3}{2,1 \times 10^6} \cdot 400 \cdot \frac{1200}{1,2} = 83,3\text{cm}.$$

– Tính chiều cao  $h_{kt}$  theo (3.18):

Với  $h \sim h_{\min}$ , sử dụng công thức kinh nghiệm (3.32) để xác định chiều dày bản bụng dầm

$$t_w = 7 + \frac{3h_{\min}}{1000} = 7 + \frac{3 \times 833}{1000} = 9,5\text{mm}$$

$\Rightarrow$  để tính  $h_{kt}$ , sơ bộ chọn  $t_w = 10\text{mm}$ ; dầm hàn, chọn hệ số cấu tạo  $k = 1,15$ .

Mômen lớn nhất tại tiết diện giữa dầm:

$$M_{\max} = \frac{p^c \gamma_p l^2}{8} = \frac{125 \times 1,2 \times 12^2}{8} = 2,7 \times 10^3 \text{ kNm} = 270 \times 10^5 \text{ daNm}.$$

Mômen kháng uốn cần thiết :

$$W_{xct} = \frac{M_{max}}{f\gamma_c} = \frac{270 \cdot 10^5}{2,3 \cdot 10^3 \times 1} = 117,39 \cdot 10^2 \text{ cm}^3.$$

Từ các số liệu trên, thay vào (3.18), tính được chiều cao kinh tế:

$$h_{kt} = k \sqrt{\frac{W_{xct}}{t_w}} = 1,15 \sqrt{\frac{11739}{1}} = 124,6 \text{ cm}.$$

– Theo điều kiện đầu bài,  $h_{max}$  không bị khống chế. Chọn chiều cao tiết diện dầm  $h \leq h_{min}$  và càng gần  $h_{kt}$  càng tốt: vì vậy chọn  $h = 120 \text{ cm}$ .

b) *Chọn chiều dày bản bụng*: Gần đúng coi rằng, tại tiết diện đầu dầm, chỉ có riêng bản bụng chịu lực cắt  $V_{max}$ .

Xác định lực cắt lớn nhất tại tiết diện đầu dầm:

$$V_{max} = \frac{p^c \gamma_p l}{2} = \frac{125 \times 1,2 \times 12}{2} = 900 \text{ kN} = 9 \times 10^4 \text{ daN}.$$

Cường độ chịu cắt  $f_v = 0,58 f_y / \gamma_M = 0,58 \times 2400 / 1,05 = 1325,7 \text{ daN/cm}^2$ ; giả thiết chiều dày cánh dầm  $t_f = 2,0 \text{ cm}$ ,  $h_w = h - 2t_f = 120 - 2 \times 2,0 = 116 \text{ cm}$ .

Từ đó, xác định được chiều dày cần thiết của bản bụng dầm, theo công thức (3.31b) :

$$t_w = \frac{3}{2} \frac{V_{max}}{h_w f_v \gamma_c} = \frac{3}{2} \cdot \frac{9 \cdot 10^4}{116 \times 1325,7 \times 1} = 0,88 \text{ cm}.$$

Chọn chiều dày bản bụng  $t_w = 1,0 \text{ cm}$ .

c) *Xác định kích thước tiết diện cánh dầm* theo công thức (3.36):

$$b_f t_f = \left( \frac{M_{max}}{f\gamma_c} \frac{h}{2} - \frac{t_w h_w^3}{12} \right) \frac{2}{h_f^2} \\ = \left( \frac{270 \times 10^5}{2,3 \times 10^3} \times \frac{120}{2} - \frac{1,0 \times 116^3}{12} \right) \frac{2}{118^2} = 82,48 \text{ cm}^2$$

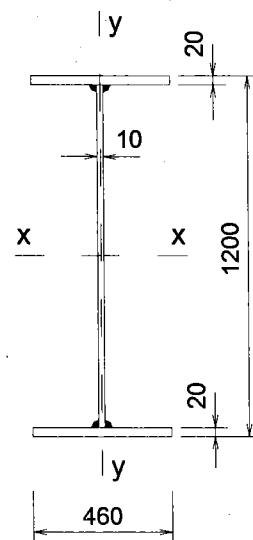
Chiều dày bản cánh đã chọn  $t_f = 2,0 \text{ cm}$ , tính được chiều rộng bản cánh  $b_f = 82,48 / 2,0 = 41,24 \text{ cm}$ .

Lưu ý rằng, tải trọng uốn dùng để tính ra tiết diện yêu cầu trên đây chưa kể đến trọng lượng bản thân dầm; nếu kể đến tiết diện dầm sẽ lớn hơn. Vì vậy chọn chiều rộng cánh dầm  $b_f = 46 \text{ cm} > 41,24 \text{ cm}$ .

Tỷ số  $b_f / t_f = 46 / 2 = 23 < 30$ , điều kiện ổn định cục bộ bản cánh sẽ dễ dàng thỏa mãn.

Tiết diện dầm đã chọn với các kích thước cụ thể ghi trên hình vẽ 3.11.

**2. Kiểm tra tiết diện dầm đã chọn theo điều kiện cường độ**



Hình 3.11. Tiết diện dầm ví dụ 3.2.



– Tính toán lại chính xác các đặc trưng hình học của tiết diện dầm

Diện tích tiết diện dầm :  $A = A_w + A_f = 1,0 \times 116 + 2 \times 2,0 \times 46 = 195 \text{cm}^2 = 0,0195 \text{m}^2$

Mômen quán tính và mômen kháng uốn của tiết diện đối với trục trung hòa  $x-x$  :

$$\begin{aligned} I_x &= I_w + I_f = t_w h_w^3 / 12 + 2(b_f t_f^3 / 12 + b_f t_f h_{fk}^2 / 4) \\ &= 1 \times \frac{116^3}{12} + 2 \left( 46 \times \frac{2^3}{12} + 46 \times 2 \times \frac{118^2}{4} \right) = 770640 \text{cm}^4; \end{aligned}$$

$$W_x = \frac{2I_x}{h} = \frac{2 \times 770640}{120} = 12844 \text{cm}^3.$$

Mômen tĩnh của một nửa tiết diện dầm đối với trục trung hòa  $x-x$  :

$$S_x = S_w + S_f = t_w \frac{h_w^2}{8} + b_f t_f \frac{h_{fk}}{2} = 1 \times \frac{116^2}{8} + 46 \times 2 \times \frac{118}{2} = 7110 \text{cm}^3.$$

Kiểm tra điều kiện cường độ

Tải trọng uốn tính toán, kể cả trọng lượng bản thân dầm :

$$q = p^c \gamma_p + A p \gamma_g = 12500 \times 1,2 + 0,0195 \times 7850 \times 1,1 = 15168,4 \text{daN/m}$$

Tiết diện giữa dầm có

$$M_{\max} = \frac{q l^2}{8} = \frac{15168,4 \times 12^2}{8} = 273 \times 10^3 \text{daNm} = 273 \times 10^5 \text{daNm}.$$

Ứng suất pháp lớn nhất tại thớ ngoài cùng của tiết diện này :

$$\sigma_x = \frac{M_{\max}}{W_x} = \frac{273 \times 10^5}{12844} = 2125 \text{daN/cm}^2 < f \gamma_c = 2200 \times 1 = 2200 \text{daN/cm}^2.$$

Tiết diện đầu dầm có  $V = V_{\max} = qL/2 = 15168,4 \times 12/2 = 9,1 \times 10^4 \text{daN}$ .

Ứng suất tiếp lớn nhất đạt được tại thớ giữa bụng (mức trục  $x-x$ ) của tiết diện này:

$$\tau = \frac{V_{\max} S_x}{I_x t_w} = \frac{9,1 \cdot 10^4 \times 7110}{77,06 \cdot 10^4 \times 1} = 839,6 \text{daN/cm}^2 < f_v \gamma_c = 1325,7 \times 1 = 1325,7 \text{daN/cm}^2.$$

### 3. Kiểm tra độ võng của dầm với tiết diện đã chọn

Khi thiết kế ta đã chọn chiều cao dầm  $h = 120 \text{cm}$  lớn hơn rất nhiều so với chiều cao bé nhất của dầm  $h_{\min} = 83,3 \text{cm}$ . Vì vậy, không cần kiểm tra độ võng của dầm, điều kiện này chắc chắn là thỏa mãn. Nhưng trong ví dụ này, tiến hành tính thử để minh họa.

Dầm chịu tải trọng phân bố đều tiêu chuẩn, kể cả trọng lượng bản thân:

$$q^c = p^c + g^c = p^c + A p = 12500 + 0,0195 \times 7850 = 12653 \text{daN/m} = 126,53 \text{daN/cm}.$$

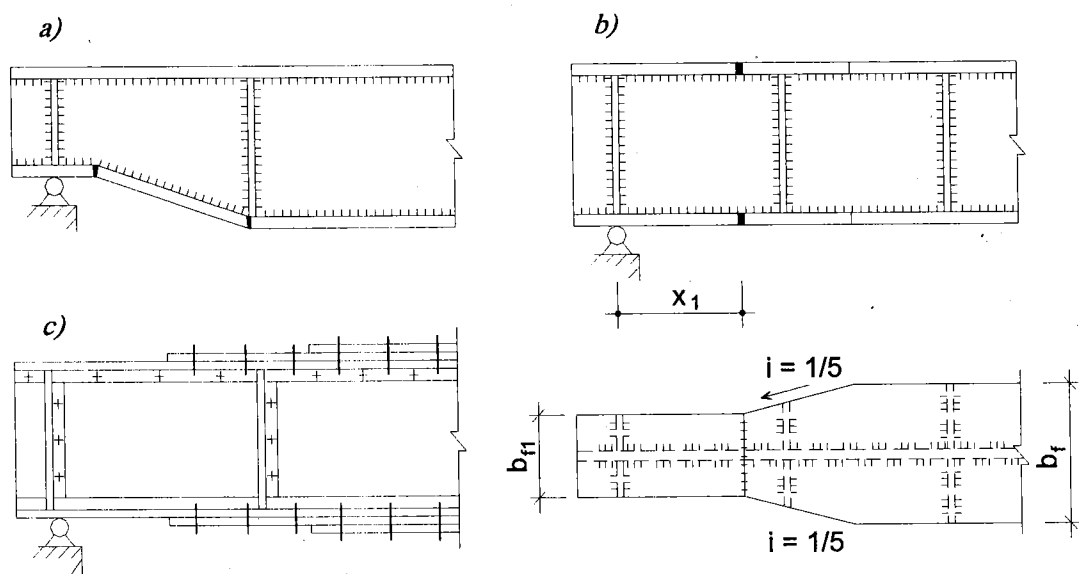
Tính toán và kiểm tra độ võng tương đối lớn nhất, tại giữa nhịp theo điều kiện:

$$\frac{\Delta}{l} = \frac{5}{384} \frac{q^c l^3}{EI_x} = \frac{5}{384} \times \frac{126,53 \times 1200^3}{2,1 \times 10^6 \times 77,064 \times 10^4} = \frac{109 \times 10^{10}}{62144,4 \times 10^{10}} = \frac{1}{570}.$$

Giá trị này rất nhỏ hơn so với độ võng tương đối cho phép  $\left[ \frac{\Delta}{l} \right] = \frac{1}{400}$ .

### 3. Thay đổi tiết diện dầm theo chiều dài dầm

Tiết diện chọn ở §3.4, mục 1 trên đây là tiết diện lớn nhất của dầm, bởi vì nó được chọn theo giá trị mômen uốn lớn nhất. Trong mỗi dầm chỉ có một hoặc một số ít các tiết diện có  $M_{max}$ ; nếu giữ nguyên các kích thước này để chế tạo cho mọi tiết diện trên toàn chiều dài dầm thì sẽ quá lãng phí. Vì vậy, nhằm tiết kiệm vật liệu thép thì nên giảm tiết diện tại chỗ có giá trị mômen bé hơn; công việc ấy gọi là thay đổi tiết diện dầm theo nguyên tắc mômen kháng uốn phù hợp với dạng của biểu đồ mômen. Việc thay đổi tiết diện dầm tiết kiệm được kim loại nhưng sẽ làm tăng chi phí chế tạo dầm, nên chỉ có hiệu quả kinh tế với những dầm lớn, có nhịp  $l \geq 10m$ .



**Hình 3.12. Các cách thay đổi tiết diện dầm**

- a) giảm chiều cao dầm; b) giảm bề rộng cánh dầm hàn  
c) giảm số lượng bản phủ cánh dầm đinh tán hoặc bulông.

Để đánh giá mỗi giải pháp thay đổi tiết diện dầm, cần căn cứ vào các tiêu chí sau:

- Đảm bảo tính khả thi, đơn giản cho chế tạo và lắp dựng. Theo đó thì số lượng, số chủng loại chi tiết của dầm càng ít và càng đơn giản càng tốt.
- Cánh trên dầm cần phẳng và không quá bé để thuận lợi cho việc liên kết với các kết cấu khác, đặc biệt là với sàn và các dầm phụ.

Có thể thay đổi tiết diện dầm bằng các cách sau:

- Giảm chiều cao bụng dầm: khi sử dụng cách này mặt trên của dầm vẫn phẳng nhưng cấu tạo dầm phức tạp (chúng loại và số lượng chi tiết nhiều), trong nhiều trường hợp bản bụng không đủ chịu cắt. Vì vậy chỉ dùng giảm chiều cao bản bụng ở đầu dầm đơn giản (ví dụ như ở dầm cầu chạy).
- Giảm chiều dày cánh dầm: với dầm hàn là thay đổi chiều dày bản cánh, với dầm đinh tán (hoặc dầm bulông) là thay đổi số lượng hoặc bỏ hẳn bản phủ. Sử dụng cách này thì mặt trên của dầm không phẳng; khi gổì lên nó, các dầm phụ khác ở trên muốn phẳng mặt thì phải dùng thêm bản đệm gổì, lại tốn kém và phức tạp thêm. Vì vậy chỉ nên áp dụng ở những dầm đinh tán (hoặc dầm bulông) loại lớn.
- Giảm chiều rộng cánh dầm: thường áp dụng với dầm hàn vì cấu tạo đơn giản, mặt dầm vẫn phẳng trên suốt chiều dài dầm. Về nguyên tắc, có thể giảm liên tục chiều rộng bản cánh hoặc giảm ở nhiều vị trí trên chiều dài dầm; nhưng làm như vậy thì cấu tạo dầm thêm phức tạp, khó chế tạo mà lượng thép chênh giữa hai lần giảm không nhiều. Vì vậy, với những dầm đơn giản thông thường, nhịp  $l \leq 30m$  chỉ nên đổi tiết diện một lần (nghĩa là trên chiều dài dầm, có hai tiết diện thay đổi). Có thể thực hiện theo một trong hai cách sau:

a) *Cách thứ nhất*: Dự tính trước vị trí giảm bề rộng cánh (với dầm đơn giản chịu tải trọng phân bố đều thì vị trí cách gối tựa đoạn  $x_1 = l/6$  là hiệu quả kinh tế nhất). Xác định mômen tại vị trí đổi tiết diện (tại  $x_1 = l/6$ ).

$$M_{x1} = \frac{qx_1(l - x_1)}{2}. \quad (3.42)$$

Từ điều kiện chịu uốn của tiết diện  $x_1$ , xác định mômen kháng uốn cần thiết cho tiết diện này:

+ Khi mỗi nối cánh kéo dùng đường hàn đối đầu xiên góc:

$$W_{x1} = \frac{M_{x1}}{f\gamma_c}. \quad (3.43a)$$

+ Khi mỗi nối cánh kéo dùng đường hàn đối đầu thẳng góc:

$$W_{x1} = \frac{M_{x1}}{f_{wt}\gamma_c}. \quad (3.43b)$$

Từ đó, chọn lại chiều rộng cánh dầm là  $b_{f1}$  theo  $W_{x1}$ . Các kích thước khác của tiết diện như  $h_w$ ,  $t_w$ ,  $t_f$  không đổi. Đồng thời, dựa theo các yêu cầu cấu

tạo sau đây để quyết định chiều rộng mới  $b_{f1}$  của bản cánh. Các yêu cầu cấu tạo đó là:

$b_{f1} \geq 180$ ; để dầm liên kết với các dầm phụ bên trên dễ dàng.

$b_{f1} \geq \frac{b_f}{2}$ ; để các đặc trưng chịu lực của tiết diện trước và sau khi đổi không bị chênh nhau nhiều quá.

$b_{f1} \geq \frac{h}{10}$ ; để không làm giảm nhiều  $I_y$ ,  $I_t$  và khả năng chống oằn bên của dầm.

Sau khi cấu tạo tiết diện mới, cần kiểm tra tiết diện dầm tại vị trí đổi tiết diện theo chỉ dẫn ở §3.4 mục 2 và ở §3.7.

b) *Cách thứ hai*: Dựa theo các hướng dẫn về cấu tạo đã nêu ở cách thứ nhất, chọn trước chiều rộng cánh  $b_{f1}$ . Sau đó xác định khả năng chịu uốn của tiết diện có chiều rộng cánh mới  $b_{f1}$ ; các kích thước khác của tiết diện như  $h_w$ ,  $t_w$ ,  $t_f$  không đổi; cụ thể là:

+ Trường hợp tại vị trí đổi tiết diện, bản cánh kéo được nối đối đầu xiên góc  $\alpha \leq 60^\circ$  so với trục dầm:

$$M_{x1} = W_{x1} f \gamma_c. \quad (3.44a)$$

+ Trường hợp tại vị trí đổi tiết diện, bản cánh kéo được nối đối đầu thẳng góc (trục đường hàn vuông góc với trục dầm):

$$M_{x1} = W_{x1} f_{wt} \gamma_c, \quad (3.44b)$$

trong đó:  $f$ ,  $f_{wt}$  – cường độ tính toán về kéo của thép cơ bản làm dầm và của đường hàn đối đầu nối cánh dầm;

$W_{x1}$ ;  $I_{x1}$  – mômen kháng uốn, mômen quán tính của tiết diện sau khi đã thay đổi (tương ứng với chiều rộng cánh  $b_1$ ),

$$W_{x1} = \frac{2I_{x1}}{h}; \quad I_{x1} = \frac{t_w h_w^3}{12} + 2b_{f1} t_f \left( \frac{h_w + t_f}{2} \right)^2.$$

Cân bằng (3.44a) hoặc (3.44b) với (3.42) sẽ tìm được khoảng cách  $x_1$  là vị trí cần đổi tiết diện dầm.

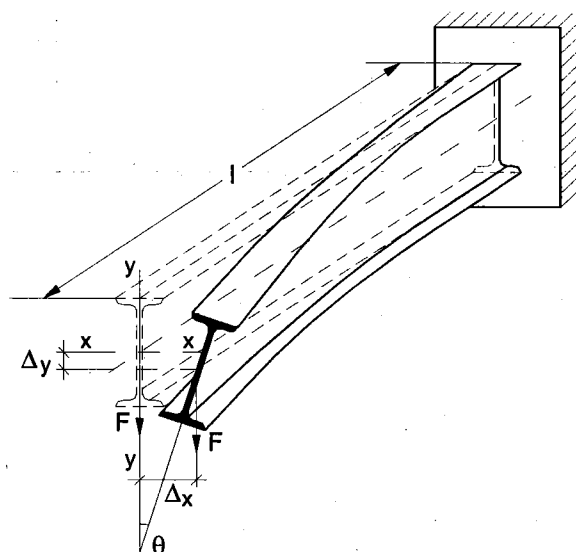
### §3.5. ỔN ĐỊNH TỔNG THỂ CỦA DẦM THÉP

#### 1. Hiện tượng và nguyên nhân

Trong thiết kế dầm, nhằm thỏa mãn điều kiện cường độ khi uốn quanh trục  $x-x$  nên chiều cao  $h$  của dầm thường được chọn khá lớn hơn so với chiều rộng  $b_f$  của bản cánh dầm. Với các dầm như vậy, khi tải trọng tác dụng còn bé, dầm chỉ chịu uốn và phát sinh biến dạng võng trong mặt phẳng uốn ( $\Delta Y \neq 0$ ).

Nhưng khi tải trọng đạt đến một giá trị nào đó thì ngoài biến dạng võng trong mặt phẳng uốn

( $\Delta Y \neq 0$ ), còn phát sinh biến dạng ở ngoài mặt phẳng uốn ( $\Delta X \neq 0$ ). Hình dạng tiết diện dầm không đổi, nhưng các tiết diện bị xoay tương đối với nhau, và xoay góc  $\theta \neq 0$  so với vị trí ban đầu. Dầm vừa chịu uốn vừa chịu xoắn; trục dầm bị võng trong mặt phẳng uốn, oằn ngang, vênh ra khỏi mặt phẳng uốn và nhanh chóng mất khả năng chịu lực. Hiện tượng như vậy gọi là sự mất ổn định tổng thể hoặc là sự oằn ngang do xoắn (gọi tắt là oằn ngang) của dầm.



Hình 3.13. Mất ổn định tổng thể của dầm

#### 2. Tính toán dầm theo điều kiện ổn định tổng thể (chống oằn ngang)

Mômen uốn ứng với lúc bắt đầu xuất hiện oằn ngang là mômen tối hạn. Nguyên nhân làm dầm mất ổn định tổng thể là mômen uốn do ngoại lực  $M$  lớn hơn mômen tối hạn  $M_{cr}$ , được cho theo kết quả giải bài toán ổn định của Timôsenko:

$$M_{cr} = \frac{\eta c}{l_0} \sqrt{G I_t E I_y} \sqrt{1 + \pi^2 / \alpha} , \quad (3.45a)$$

trong đó:  $\eta$  – hệ số xét đến dạng biểu đồ mômen, phụ thuộc vào cách đặt tải theo chiều dài dầm;

$c$  – hệ số xét đến liên kết của dầm trên gối tựa và cách đặt tải lên cánh trên hay cánh dưới của dầm;

$E, G$  – môđun đàn hồi về uốn và về cắt của vật liệu:

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)};$$

ở đây:  $\nu$  – hệ số Poátxông, với thép  $\nu = 0,3$ ;

$I_y$  – mômen quán tính của tiết diện dầm đối với trục  $y$  (trục nằm trong mặt phẳng uốn của dầm)

$I_t$  – mômen xoắn của tiết diện dầm, với tiết diện chữ I tổ hợp hàn từ ba thép bản, lấy theo phụ lục E của TCXDVN 338 :2005;

$$I_t = \frac{1,25(2b_f t_f^3 + h_w t_w^3)}{3}.$$

$$\alpha - \text{hệ số}, \quad \alpha = 4 \frac{G}{E} \frac{I_t}{I_y} \left( \frac{l_0}{h} \right)^2$$

với dầm tổ hợp hàn dạng chữ I:

$$\alpha = 8 \left( \frac{l_0 t_w}{h_{fk} b_f} \right)^2 \left( 1 + \frac{a t_w^3}{b_f t_f} \right) \quad (3.45b)$$

ở đây:  $h_{fk}$  – khoảng cách trọng tâm hai cánh dầm;

$$a = 0,5 h_{fk}$$

$l_0$  – chiều dài tính toán ngoài mặt phẳng dầm của cánh chịu nén (khoảng cách các kiểm chế ngang).

$$\text{Ứng suất tối hạn } \sigma = \frac{M_{cr}}{W_x} = B \frac{I_y}{I_x} \left( \frac{h}{l_0} \right)^2,$$

$$\text{với: } B = \frac{\eta c}{2} \sqrt{I_t / I_y} \cdot \sqrt{EG} \cdot \frac{l_0}{h} \cdot \sqrt{1 + \pi^2 / \alpha}.$$

Kiểm tra ổn định tổng thể của dầm tổ hợp theo công thức:

$$\sigma = \frac{M}{W_x} \leq \sigma_{cr}. \quad (3.46a)$$

Viết lại vế phải:  $\sigma_{cr} = \frac{\sigma_{cr}}{f} f = \varphi_b f$ ; với  $\varphi_b = \frac{\sigma_{cr}}{f}$ ;

kể thêm điều kiện làm việc của kết cấu  $\gamma_c$  vào bài toán ổn định, ta được:

$$\frac{M}{\varphi_b W_x} \leq f_{\gamma_c} \quad (3.46b)$$

Kiểm tra ổn định tổng thể dầm theo công thức (3.46b). Để xác định hệ số  $\varphi_b$  cần tiến hành theo trình tự: tính  $\alpha$  theo (3.45b); tra bảng (3.3) để tính  $\psi$ ; tính  $\varphi_1$  theo công thức (3.29a); tính  $\varphi_b$  theo (3.30).

Các hệ số và công thức để tính ra  $M_{cr}$  và kiểm tra ổn định trên đây chỉ tương ứng với dầm đơn giản, tiết diện chữ I đối xứng, tổ hợp hàn. Những trường hợp khác, ví dụ dầm côngxôn hoặc dầm chữ T, dầm chữ I có hai cánh không bằng nhau... cần căn cứ vào tiêu chuẩn thiết kế hiện hành để kiểm tra.

Nhận thấy rằng, giá trị mômen tới hạn  $M_{cr}$  phụ thuộc vào hình dạng, đặc trưng hình học của tiết diện dầm, vào vị trí tải trọng tác dụng lên dầm, vào cách liên kết dầm với gối tựa, vào cách bố trí các liên kết ngăn cản chuyển vị ngang của cánh nén (cách bố trí các kiểm chế ngang). Vì vậy, khi dầm có một trong các điều kiện sau đây thì không cần kiểm tra ổn định tổng thể:

- Có bản sàn bê tông cốt thép hoặc bản sàn thép đủ cứng liên kết một cách chắc chắn với cánh nén của dầm.
- Khi tỷ số nhíp tính toán với chiều rộng bản cánh nén  $l_o/b_f$  thỏa mãn biểu thức:

$$\frac{l_o}{b_f} \leq \left[ 0,41 + 0,0032 \frac{b_f}{t_f} + \left( 0,73 - 0,016 \frac{b_f}{t_f} \right) \frac{b_f}{h_{fk}} \right] \sqrt{\frac{E}{f}} \quad (3.46c)$$

(nếu tỷ số  $\frac{b_f}{t_f} < 15$ , dùng  $\frac{b_f}{t_f} = 15$  để tính)

Kinh nghiệm thiết kế cho thấy rằng, hiện tượng oằn ngang thường không xảy ra khi uốn quanh trục yếu các dầm chữ I, chữ nhật; hoặc khi uốn các dầm mà tiết diện của nó có độ cứng chống xoắn lớn (như dầm ống tròn, dầm ống vuông...). Với các dầm loại này, điều kiện cường độ thường quyết định độ lớn của tiết diện.

#### • Biện pháp tăng cường ổn định tổng thể

Sự oằn ngang của dầm là lớn hay bé phụ thuộc chủ yếu vào mức độ kiểm chế ngang, cản trở oằn của cánh nén, cản trở sự xoay của tiết diện. Những dầm cao, cánh hẹp, tải trọng tác dụng ở cánh nén, lại không bố trí đủ các kiểm chế

ngang thì dễ bị oằn ngang; còn khi được kiểm chế ngang hoàn toàn bởi tấm sàn đủ cứng, dầm sẽ không bị oằn.

Để tăng cường ổn định tổng thể, chống oằn ngang, cần tiến hành theo các giải pháp sau:

- Xem xét việc sử dụng bản sàn: nên dùng bản sàn bê tông cốt thép hoặc bản sàn thép có cốt kết chặt bản sàn vào cánh nén của dầm.
- Điều chỉnh các tỷ số  $b_f/t_f$ ,  $b_f/h_{fk}$  để biểu thức nêu trên thỏa mãn. Theo đó thì việc tăng bề rộng cánh  $b_f$ , giảm chiều dày cánh  $t_f$ , giảm khoảng cách hai bản cánh  $h_{fk}$  có thể sẽ đạt hiệu quả. Nhưng sẽ phải chọn lại tiết diện dầm.
- Trong hệ dầm sàn, khi bản sàn không đủ cứng, cần giảm nhịp tính toán ngoài mặt phẳng (giảm  $l_o$ ) cho cánh nén dầm, bằng cách bố trí thêm hệ giằng, thanh chống ngang.

### §3.6. ỔN ĐỊNH CỤC BỘ CỦA BẢN CÁNH, BẢN BỤNG DẦM TỔ HỢP

Cánh và bụng dầm tổ hợp là những bản thép mỏng mà trong mặt phẳng của nó chịu tác dụng của tổ hợp các loại ứng suất. Bản cánh nén chịu tác dụng của ứng suất nén; vùng bản bụng ở đầu dầm chịu tác dụng của ứng suất cắt; vùng bản bụng ở giữa dầm chịu nén bởi ứng suất uốn. Dưới tác dụng của các ứng suất đó, cánh nén hoặc bản bụng của dầm có thể bị vênh oằn từng phần ra ngoài mặt phẳng của nó. Hiện tượng như vậy gọi là sự mất ổn định cục bộ của dầm.

Khác với hiện tượng mất ổn định tổng thể làm hình dạng chung của dầm thay đổi, hình dạng tiết diện không đổi; còn sự mất ổn định cục bộ không làm thay đổi hình dạng chung của dầm, nhưng hình dạng các tiết diện thì bị thay đổi khác nhau và bị biến dạng khác đi so với hình dạng ban đầu. Biến dạng này làm thay đổi, thu nhỏ các đặc trưng chịu lực của tiết diện như mômen kháng uốn  $W$ , mômen quán tính  $I$ ; làm tiết diện mất tính đối xứng, tâm uốn bị thay đổi, cuối cùng là đẩy nhanh tốc độ để dầm sớm bị mất khả năng chịu lực. Vì vậy, cần tìm giải pháp cấu tạo tiết diện, cấu tạo dầm, sao cho sự mất ổn định cục bộ không xảy ra.



Khả năng chịu lực của các ô bản khác nhau, tùy thuộc vào từng trường hợp tác dụng, vào kích thước tiết diện, vào đặc điểm cấu tạo và liên kết của chúng. Ứng suất tối đa mà bản mỏng có thể chịu được trong các điều kiện làm việc cụ thể gọi là ứng suất tối hạn của bản  $\sigma_{cr}$  hoặc  $\tau_{cr}$ . Lời giải đàn hồi của bài toán ổn định bản mỏng đã tìm được kết quả tổng quát ứng suất tối hạn của bản là:

$$\sigma_{cr} = \frac{C\pi^2 E}{12(1-\nu^2)} \left(\frac{t}{a}\right)^2 = k \left(\frac{t}{a}\right)^2, \quad (3.47)$$

trong đó:  $t, a$  – tiết diện của bản, (chiều dày và chiều rộng);

$C$  (hoặc  $k$ ) – hệ số phụ thuộc vào loại ô bản, các kích thước của ô bản và dạng ứng suất tác dụng lên bản.

$\nu$  – hệ số Poát xông (tỷ lệ giữa biến dạng ngang và biến dạng dọc của vật liệu), với thép  $\nu = 0,3$ .

Khi ứng suất trên tiết diện bản chưa vượt quá giá trị ứng suất tối hạn, ô bản ổn định; trong trường hợp ngược lại, bản sẽ bị mất ổn định nghĩa là bị oằn ra ngoài mặt phẳng.

Dựa trên cơ sở của (3.47), ta xét cụ thể các điều kiện ổn định của bản cánh, bản bụng dầm tổ hợp trong các trường hợp sau.

## 1. Ổn định cục bộ của bản cánh nén

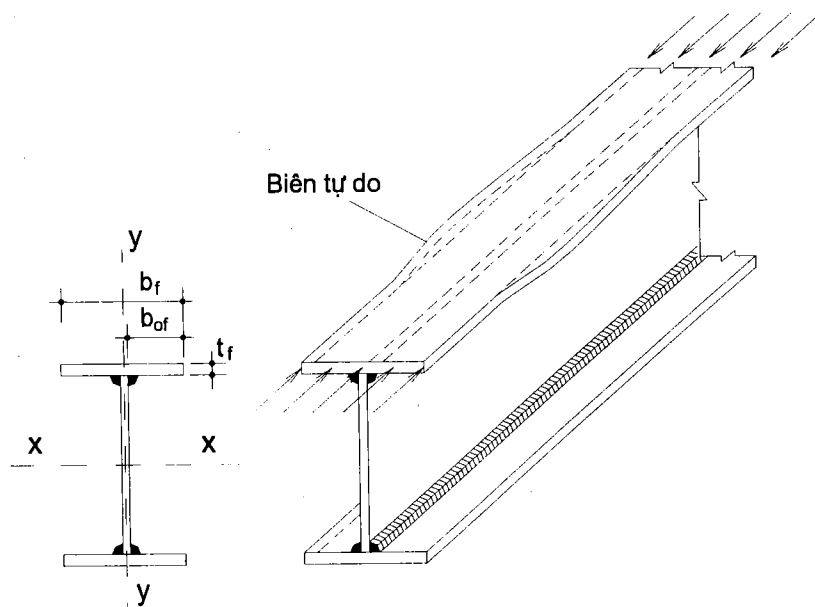
Cánh nén của dầm được xem như một bản chữ nhật rất dài, tựa trên một cạnh dài là bản bụng dầm, cạnh đối diện tự do; chịu ứng suất nén đều trên tiết diện ngang vuông góc với cạnh dài của bản. Liên kết giữa cánh với bụng dầm được xem là khớp; bởi vì bản bụng khá mỏng, không ngăn cản được sự quay tự do của bản cánh dày hơn. Đồng thời khi chịu lực, có thể có một phần bản bụng bị oằn ngang làm bản cánh bị oằn theo phương đứng; trong khi dọc theo biên tự do thì các tiết diện của bản cánh được võng không có sự kiểm chế. Khi sự mất ổn định xảy ra, giữa các tiết diện và trên mỗi tiết diện của bản cánh, độ võng đứng khác nhau, vì vậy gọi là sự oằn đứng.

Sau khi đưa vào các hệ số ứng với sự làm việc đàn hồi của cánh dầm, tương ứng với điều kiện tựa biên của bản dài vô cùng, tựa khớp trên một cạnh dọc, tự do trên cạnh dọc kia; ta được biểu thức ứng suất tối hạn cho cánh chịu nén của dầm:

$$\sigma_{cr} = 0,25E \left( \frac{t_f}{b_{of}} \right)^2, \quad (3.48)$$

trong đó:  $t_f$  – chiều dày bản cánh nén của dầm.

$b_{of}$  – chiều rộng tính toán của bản cánh dầm (chính là phần đưa ra khỏi bản bụng của bản cánh)  $b_{of} = (b_f - t_w) / 2$ .



Hình 3.14. Mất ổn định cục bộ của cánh dầm

Quan niệm rằng sự mất ổn định xảy ra đồng thời với mất cường độ bền,  $\sigma_0 = \sigma_{cr} = f$ , thay vào (3.48), ta có công thức biểu thị điều kiện bền của bản cánh nén dầm :

$$\frac{b_{of}}{t_f} \leq 0,5 \sqrt{\frac{E}{f}}. \quad (3.49)$$

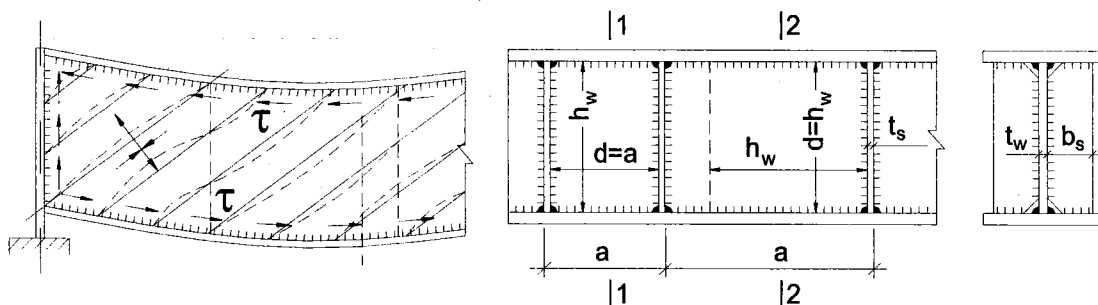
Trong các bài toán thiết kế và kiểm tra thực tế, để đảm bảo điều kiện ổn định cục bộ, bản cánh nén của dầm phải thỏa mãn điều kiện (3.49).

## 2. Mất ổn định cục bộ của bản bụng dầm

Bụng dầm tổ hợp là bản mỏng dài chịu tác dụng của ứng suất pháp, ứng suất tiếp; vì vậy bản bụng dầm có thể bị mất ổn định do tác dụng riêng rẽ của ứng suất tiếp, của ứng suất pháp hay do tác dụng đồng thời của cả hai loại ứng suất này.

### a. Mất ổn định cục bộ do tác dụng của ứng suất tiếp

Đầu dầm chủ yếu chịu tác dụng của lực cắt. Lực cắt gây ra ứng suất tiếp. Dưới tác dụng của ứng suất tiếp (do lực cắt sinh ra) bản bụng mỏng có thể bị phồng ra ngoài mặt phẳng, tạo thành các sóng nghiêng  $45^\circ$ . Hiện tượng này gọi là sự mất ổn định cục bộ của bản bụng dầm do tác dụng của ứng suất tiếp (hình 3.15).



Hình 3.15. Mất ổn định cục bộ của bản bụng dầm do ứng suất tiếp

Ứng suất tới hạn (trong trường hợp này là ứng suất tiếp), xác định theo công thức (3.47) có dạng:

$$\tau_{cr} = \frac{k_v \pi^2 E}{12(1 - \nu^2)} \left( \frac{t_w}{h_w} \right)^2, \quad (3.50a)$$

trong đó:  $k_v$  – hệ số phụ thuộc tỷ số cạnh ngắn trên cạnh dài của ô bản, phụ thuộc vào loại tải trọng tác dụng lên dầm.

Bản bụng dầm coi là bản dài vô hạn, ngàm đàn hồi với hai cánh dầm.

Xét đến sự ngàm đàn hồi của hai cạnh dài đối diện, bản chịu ứng suất tiếp do tải trọng tĩnh, công thức (3.50a) có dạng:

$$\tau_{cr} = 10,3 \frac{f_v}{\bar{\lambda}_w^2}, \quad (3.50b)$$

trong đó:  $\bar{\lambda}_w$  – độ mảnh quy ước của bản bụng,

$$\bar{\lambda}_w = \frac{h_w}{t_w} \sqrt{\frac{f}{E}}. \quad (3.51)$$

Từ điều kiện chịu lực hợp lý là sự mất ổn định cục bộ của bản bụng dầm dưới tác dụng của ứng suất tiếp, xảy ra đồng thời với sự mất khả năng chịu lực về

bền do tác dụng của lực cắt; tức là trong công thức (3.50b) cho  $\tau_{cr} = f_v$ ; và tìm được giới hạn độ mảnh quy ước:

$$[\bar{\lambda}_w] = \sqrt{10,3} = 3,2. \quad (3.52)$$

Trường hợp dầm chịu tải trọng động, hệ số  $k_v$  trong công thức (3.50a) sẽ có giá trị khác; với cách làm tương tự, tìm được giới hạn của độ mảnh quy ước là:

$$[\bar{\lambda}_w] = 2,2. \quad (3.53)$$

Nếu dầm thiết kế thỏa mãn điều kiện  $\bar{\lambda}_w \leq [\bar{\lambda}_w]$  thì bản bụng dầm không bị mất ổn định do ứng suất tiếp trước khi dầm mất khả năng chịu lực về bền và cũng không phải làm sườn ngang để gia cường bụng dầm.

Trong trường hợp ngược lại  $\bar{\lambda}_w > [\bar{\lambda}_w]$  thì cần phải gia cường bản bụng dầm bằng các đôi sườn ngang (vuông góc với trục dầm). Mục đích của công việc này là giảm tỷ số cạnh dài / cạnh ngắn của ô bản (thay đổi điều kiện tựa, thay đổi loại ô bản), nhằm nâng cao ứng suất tới hạn  $\tau_{cr}$ .

$$\text{Khoảng cách giữa hai sườn ngang } a \leq 2h_w \text{ khi } \bar{\lambda}_w > 3,2 \quad (3.54)$$

$$\text{và } a \leq 2,5h_w \text{ khi } \bar{\lambda}_w \leq 3,2 \quad (3.55)$$

chiều rộng sườn  $b_s \geq \frac{h_w}{30} + 40 \text{ mm}$ ; chiều dày sườn  $t_s \geq 2b_s \sqrt{\frac{f}{E}}$ , chiều cao sườn

bằng chiều cao bản bụng dầm. Chiều cao đường hàn góc liên kết sườn với cánh hoặc bụng dầm có  $h_f \geq 5 \text{ mm}$ .

Khi được gia cường bằng các đôi sườn, độ ổn định của bản bụng dầm được tăng lên nhờ việc thay đổi loại ô (từ bản dài tựa hai cạnh thành bản ngắn hơn tựa trên chu vi) và thay đổi tỷ lệ các kích thước của ô bản; giá trị ứng suất tới hạn được tăng lên. Trong trường hợp này  $\tau_{cr}$  xác định theo công thức:

$$\tau_{cr} = 10,3 \left( 1 + \frac{0,76}{\mu^2} \right) \frac{f_v}{\bar{\lambda}_{ow}^2}, \quad (3.56)$$

trong đó:  $\mu$  – tỷ số giữa cạnh dài / cạnh ngắn của ô bản ( $a/h_w$  hoặc  $h_w/a$ )

$\bar{\lambda}_{ow}$  – độ mảnh quy ước của ô bản,  $\bar{\lambda}_{ow} = \frac{d}{t_w} \sqrt{f/E}$ ;

ở đây:  $d$  – cạnh ngắn hơn trong số hai cạnh của ô (là  $a$  hoặc  $h_w$ ).

Nếu bố trí các đôi sườn ngang với khoảng cách lớn nhất  $a = 2h_w$ ; tức là  $\mu = a/h_w = 2$  và khi đó  $\bar{\lambda}_{ow} = \bar{\lambda}_w$ , thì :

$$\tau_{cr} = 12,26f_v / \bar{\lambda}_{ow}^2. \quad (3.57)$$

Tương tự như trên, từ trong công thức (3.57) cho  $\tau_{cr} = f_v$ ; ta được giới hạn độ mảnh quy ước của bụng dầm khi dầm không chịu tải trọng tập trung là:

$$[\bar{\lambda}_{ow}] = 3,5. \quad (3.58)$$

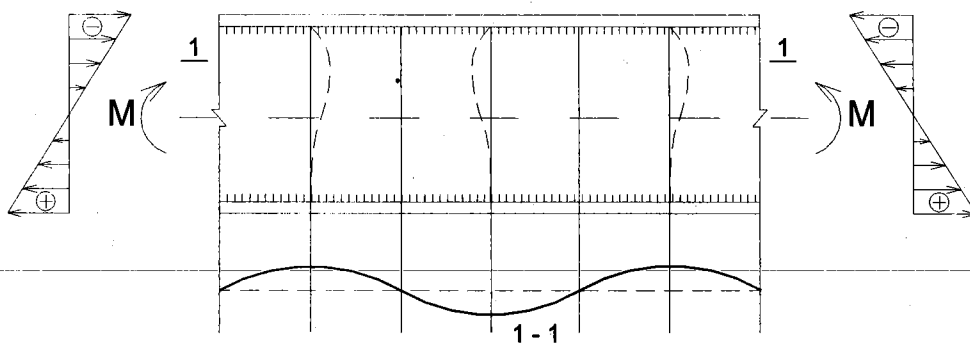
Còn khi có lực tập trung đặt trên cánh nén dầm thì:

$$[\bar{\lambda}_{ow}] = 2,5. \quad (3.59)$$

Như vậy, khi dầm có bố trí các cặp sườn ngang theo quy định ở (3.54) hoặc (3.55) và ô bụng dầm có  $\bar{\lambda}_{ow} \leq [\bar{\lambda}_{ow}]$  thì ô bụng dầm đảm bảo yêu cầu ổn định, không cần kiểm tra ổn định cục bộ của bản bụng dầm. Trường hợp ngược lại, phải tiến hành các phép tính kiểm tra theo tiêu chuẩn thiết kế kết cấu thép.

#### b. Mất ổn định cục bộ của bản bụng dầm dưới tác dụng của ứng suất pháp

Ở những vùng dầm chủ yếu chịu mômen uốn (ví dụ như vùng giữa nhịp của dầm đơn giản chịu tải trọng phân bố đều), dưới tác dụng của ứng suất pháp, phần chịu nén của bản bụng mỏng bị phồng lên tạo thành các sóng vuông góc với mặt phẳng chịu uốn của dầm. Đó là hiện tượng mất ổn định cục bộ của bản bụng dầm do tác dụng của ứng suất pháp (hình 3.15).



Hình 3.16. Mất ổn định cục bộ của bụng dầm do ứng suất pháp

Giá trị tới hạn của ứng suất pháp  $\sigma_{cr}$  phụ thuộc vào sự phân bố của ứng suất pháp trên tiết diện bản bụng và vào mức độ ngàm đàn hồi của bụng vào cánh

dầm. Đưa vào công thức (3.47) các thông số quan hệ phụ thuộc, ta được biểu thức ứng suất pháp tối hạn của bản bụng dầm:

$$\sigma_{cr} = C_{cr} f / \bar{\lambda}_w^2, \quad (3.60a)$$

trong đó:  $C_{cr}$  lấy theo bảng 3.4, phụ thuộc vào hệ số

$$\delta = \beta \frac{b_f}{h_w} \left( \frac{t_f}{t_w} \right)^3, \quad (3.60b)$$

hệ số  $\beta$  xác định theo bảng 3.5.

**Bảng 3.4.** Hệ số  $C_{cr}$  đối với dầm tổ hợp hàn

| Hệ số $\delta$ | $\leq 0,8$ | 1,0  | 2,0  | 4,0  | 6,0  | 10,0 | $\geq 30$ |
|----------------|------------|------|------|------|------|------|-----------|
| $C_{cr}$       | 30,0       | 31,5 | 33,3 | 34,6 | 34,8 | 35,1 | 35,5      |

Với dầm bulông cường độ cao  $C_{cr} = 35,2$

**Bảng 3.5.** Giá trị của hệ số  $\beta$

| Loại dầm                                                                           | Điều kiện làm việc của cánh nén             | Hệ số $\beta$ |
|------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|---------------|
| Dầm cầu chạy                                                                       | Ray cầu chạy không hàn với cánh nén         | 2             |
|                                                                                    | Ray cầu chạy được hàn chắc với cánh nén     | $\infty$      |
| Các loại dầm khác                                                                  | Cánh nén liên kết liên tục với bản sàn cứng | $\infty$      |
|                                                                                    | Các trường hợp khác                         | 0,8           |
| GHI CHÚ: Với dầm cầu trực, khi có lực tập trung ở cánh chịu kéo, lấy $\beta = 0,8$ |                                             |               |

Giá trị bé nhất của  $C_{cr} = 30$ , coi sự mất ổn định cục bộ đồng thời với mất khả năng chịu lực về bên  $\sigma_{cr} = f$ , từ (3.60a) ta có:

$$f = 30f / [\bar{\lambda}_w^2] \Rightarrow [\bar{\lambda}_w] = 5,5.$$

Thay  $[\bar{\lambda}_w] = 5,5$  vào (3.51), ta có:

$$[\bar{\lambda}_w] = \left[ \frac{h_w}{t_w} \sqrt{\frac{f}{E}} \right] = 5,5$$

$$\text{Suy ra} \quad \Rightarrow \left[ \frac{h_w}{t_w} \right] = 5,5\sqrt{E/f}. \quad (3.61)$$

Khi tỷ số  $h_w/t_w$  vượt quá giá trị trên đây, bản bụng dầm bị mất ổn định dưới tác dụng của riêng ứng suất pháp. Trong những trường hợp như vậy, để đảm bảo ổn định cho bản bụng thì ngoài việc cần đặt các đôi sườn ngang (để điều kiện (3.52) thỏa mãn), cần đặt thêm một cặp sườn dọc kẹp hai bên vùng nén của bản bụng và phải kiểm tra từng ô bản bụng. Cách kiểm tra cụ thể từng ô, cần xem tiêu chuẩn thiết kế hiện hành.

### c. Ổn định của bản bụng dầm dưới tác dụng đồng thời của ứng suất pháp và ứng suất tiếp

Trạng thái chịu lực phổ biến của bản bụng dầm là chịu tác dụng đồng thời của cả ứng suất pháp và ứng suất tiếp. Sự tác dụng đồng thời này có thể làm bản bụng bị mất ổn định cục bộ sớm hơn so với khi chỉ có một loại ứng suất tác dụng. Nghĩa là trong trường hợp này, giá trị ứng suất tối hạn của bản bụng dầm sẽ bé hơn.

Phần lớn các dầm được sử dụng trong thực tế là dầm chỉ có sườn ngang, không có sườn dọc. Phần dưới đây trình bày cách kiểm tra ổn định cục bộ bản bụng cho các dầm loại này. Với các dầm có cấu tạo thêm sườn dọc, cần xem cụ thể trong tiêu chuẩn thiết kế hiện hành.

- *Trường hợp thứ nhất:* khi không có lực tập trung tác dụng cục bộ ở cánh nén dầm ( $\sigma_{cb} = 0$ ), và độ mảnh quy đổi của bản bụng thỏa mãn điều kiện:  $\bar{\lambda}_w \leq 6$ , thì kiểm tra ổn định bản bụng theo công thức:

$$\sqrt{\left(\frac{\sigma}{\sigma_{cr}}\right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau_{cr}}\right)^2} \leq \gamma_c, \quad (3.62)$$

trong đó:  $\sigma_{cr}, \tau_{cr}$  – ứng suất pháp, ứng suất tiếp tối hạn của bản bụng dầm, tính theo (3.60a), (3.56):

$$\sigma_{cr} = C_{cr} f / \bar{\lambda}_w^2; \quad \tau_{cr} = 10,3 \left( 1 + \frac{0,76}{\mu^2} \right) \frac{f_v}{\bar{\lambda}_{ow}^2},$$

ở đây:  $\sigma, \tau$  – giá trị ứng suất pháp, ứng suất tiếp của thớ mép bản bụng tại tiết diện kiểm tra:

$$\sigma = \frac{M}{W} \cdot \frac{h_w}{h} \leq \sigma_{cr}; \quad \tau = \frac{V}{h_w t_w} \leq \tau_{cr}.$$

$M, V$  – giá trị trung bình của mômen uốn và lực cắt  $V$  trong ô kiểm tra. Khi chiều dài ô bản  $a \leq h_w$  thì lấy giá trị  $M, V$  tại tiết diện giữa ô (tiết diện 1-1 hình 3.15). Khi  $a > h_w$  thì lấy giá trị  $M, V$  tại giữa ô hình vuông cạnh  $h_w$  kể từ phía có nội lực lớn (hình 3.15). Nếu trong phạm vi ô kiểm tra mà mômen hoặc lực cắt đổi dấu thì giá trị trung bình lấy trên phần ô có trị tuyệt đối lớn hơn.

- *Trường hợp thứ hai:* Khi có tải trọng tập trung cục bộ tác dụng ở cánh nén của dầm và  $2,5 < \bar{\lambda}_w < 6$  thì kiểm tra ổn định cục bộ của bản bụng dầm theo công thức:

$$\sqrt{\left(\frac{\sigma}{\sigma_{cr}} + \frac{\sigma_{cb}}{\sigma_{cb,cr}}\right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau_{cr}}\right)^2} \leq \gamma_c, \quad (3.63)$$

trong đó:  $\sigma, \tau, \tau_{cr}$  xác định theo quy định ở (3.62);

$\sigma_{cb}$  – ứng suất cục bộ xác định theo (3.24);

$\sigma_{cr}, \sigma_{cb,cr}$  – ứng suất pháp tới hạn và ứng suất pháp cục bộ tới hạn phụ thuộc nhiều vào khoảng cách các sườn và tỷ số của chúng (phụ thuộc vào chính tỷ số  $\sigma_{cr}/\sigma_{cb,cr}$ ). Vì vậy, phân chia

cách xác định chúng thành các trường hợp sau:

- a) khi  $a/h_w \leq 0,8$ ;  $\sigma_{cr}$  tính theo công thức (3.60a):

$$\sigma_{cb,cr} = \frac{C_1 f}{\bar{\lambda}_a^2}, \quad (3.64)$$

trong đó:  $\bar{\lambda}_a = \frac{a}{t_w} \sqrt{f/E}$ ;

$C_1$  – hệ số, với dầm hàn lấy theo bảng 3.6; phụ thuộc vào tỷ số  $a/h_w$  và hệ số  $\delta$  xác định theo (3.60b).

- b) khi  $a/h_w > 0,8$  và tỷ số  $\sigma_{cb}/\sigma$  lớn hơn các giá trị cho trong bảng 3.7. thì:

$$\sigma_{cr} = C_2 f / \bar{\lambda}_w^2, \quad (3.65)$$

trong đó:  $C_2$  – hệ số lấy theo bảng (3.8);

$\sigma_{cb,cr}$  – tính theo công thức (3.64), nếu  $a/h_w > 2$  thì lấy  $a = 2h_w$  để tính.



**Bảng 3.6.** Giá trị hệ số  $C_1$  đối với dầm hàn

| $\delta$  | Hệ số $c_1$ đối với dầm hàn, khi tỷ số $a/h_w$ bằng |      |      |      |      |      |      |      |            |
|-----------|-----------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------------|
|           | $\leq 0,5$                                          | 0,6  | 0,8  | 1,0  | 1,2  | 1,4  | 1,6  | 1,8  | $\geq 2,0$ |
| $\leq 1$  | 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       |
| $\geq 30$ | 12,5                                                | 13,7 | 17,0 | 22,9 | 31,0 | 41,6 | 53,8 | 68,2 | 83,6       |

**Bảng 3.7.** Giá trị giới hạn của tỷ số  $\sigma_{cb}/\sigma$ 

| Loại dầm            | $\delta$  | Giá trị giới hạn của tỷ số $\sigma_{cb}/\sigma$ , khi $a/h_w$ bằng |       |       |       |       |       |       |          |
|---------------------|-----------|--------------------------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|
|                     |           | 0,8                                                                | 0,9   | 1,0   | 1,2   | 1,4   | 1,6   | 1,8   | $\geq 2$ |
| Hàn                 | $\leq 1$  | 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    |
|                     | $\geq 30$ | 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 3.8.** Giá trị hệ số  $C_2$ 

| $a/h_w$ | $\leq 0,8$                      | 0,9  | 1,0  | 1,2  | 1,4  | 1,6  | 1,8  | $\geq 2$ |
|---------|---------------------------------|------|------|------|------|------|------|----------|
| $C_2$   | Theo bảng 27;<br>$c_2 = c_{cr}$ | 37,0 | 39,2 | 45,2 | 52,8 | 62,0 | 72,6 | 84,7     |

c) khi  $a/h_w > 0,8$  và tỷ số  $\sigma_{cb}/\sigma$  không lớn hơn các giá trị cho trong bảng 3.7 thì  $\sigma_{cr}$  tính theo công thức (3.60a);

$\sigma_{cb}$  – ứng suất pháp cục bộ, tính theo công thức (3.24);

$\sigma_{cb,cr}$  – tính theo công thức (3.64), nhưng đặt  $a/2$  thay cho  $a$ , cả khi tính  $\bar{\lambda}_a$  và khi dùng bảng 3.6 để tính hệ số  $C_1$ . Sự thay thế này được giải thích như sau: khi khoảng cách các sườn ngang là lớn và tỉ số  $\sigma_{cb}/\sigma$  không lớn thì bản

bụng dầm có thể mất ổn định theo dạng oằn hai nửa sóng (hai trường hợp a) và b) trên đây thì bản bụng oằn theo dạng một nửa bước sóng).

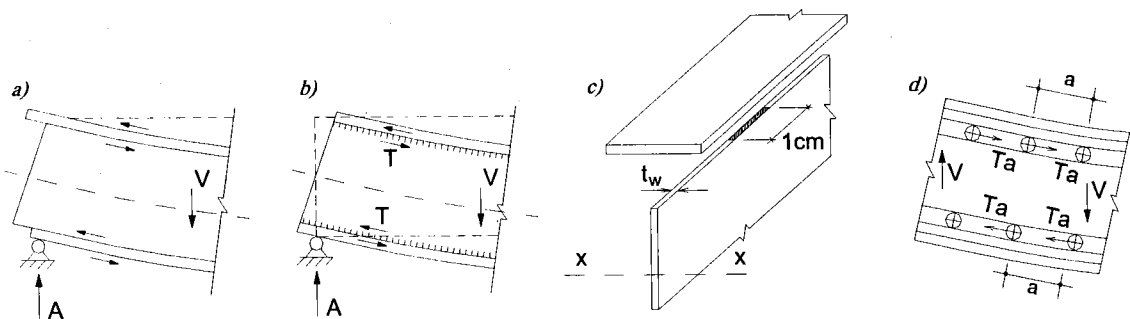
Trong mọi trường hợp,  $\tau_{cr}$  đều được tính theo kích thước thực của ô bản.

Quy trình và các công thức nêu trên là dùng để kiểm tra ổn định cục bộ của bản bụng dầm không sườn hoặc bản bụng có gia cường bằng các đôi sườn ngang khi tải trọng đặt tại cánh nén của dầm. Với các dầm bulông, (dầm đỉnh tán); dầm hàn có cả sườn ngang và sườn dọc để gia cường bản bụng dầm hoặc khi tải trọng đặt ở cánh kéo của dầm thì việc kiểm tra ổn định bản bụng cần theo quy định riêng của Tiêu chuẩn thiết kế hiện hành.

### §3.7. CẤU TẠO VÀ TÍNH TOÁN CÁC CHI TIẾT CỦA DẪM

#### 1. Liên kết cánh dầm với bản bụng

Trong dầm tổ hợp hàn, mỗi bản cánh được liên kết với bản bụng bằng các đường hàn góc, nằm ở góc tạo thành giữa bản cánh với bản bụng (thông thường là hai đường hàn ở hai phía). Còn trong dầm đỉnh tán (hoặc dầm bulông) thì liên kết giữa bản cánh và bản bụng được thực hiện bằng các đinh (hình 3.17). Khi dầm chịu uốn, bản cánh có xu hướng trượt tương đối so với bản bụng (h.3.17a), đường hàn (hoặc đỉnh tán, bulông) liên kết cánh với bụng dầm phải chịu được lực trượt đó, không cho chúng trượt tương đối với nhau (hình 3.17b,c).



Hình 3.17. Sự làm việc của liên kết cánh với bụng dầm tổ hợp

Gọi  $T$  là lực trượt trên một đơn vị chiều dài dầm thì:

$$T = \tau \cdot t_w = \frac{VS_f}{I_x t_w} \cdot t_w = \frac{VS_f}{I_x}, \quad (3.66)$$

trong đó:  $V$  – lực cắt tính toán, để đơn giản cho thi công và thiên về an toàn lấy  $V = V_{max}$  để tính toán;

$I_x$  – mômen quán tính của tiết diện đối với trục trung hòa  $x-x$ ;

$S_f$  – mômen tĩnh đối với trục trung hòa của phần tiết diện bị trượt; với dầm hàn là của tiết diện một bản cánh; (với dầm đỉnh tán hoặc bulông sẽ định nghĩa sau).

Với dầm tổ hợp hàn, liên kết bản cánh với bản bụng bằng đường hàn, thì lực trượt  $T$  do các đường hàn góc chịu. Khả năng của các đường hàn này (chiều dài mỗi đường 1 đơn vị dài) cần phải không bé hơn lực trượt  $T$  xác định theo công thức trên đây. Từ điều kiện đó, ta có:

$$2h_f (\beta f_w)_{\min} \gamma_c \geq T, \quad (3.67)$$

trong đó:  $h_f$  – chiều cao đường hàn góc, đang cần xác định;

$$(\beta f_w)_{\min} = \min[(\beta_f f_{wf}); (\beta_s f_{ws})];$$

$\beta_f, f_{wf}; \beta_s, f_{ws}$  – hệ số, cường độ tính toán của đường hàn góc tương ứng với tiết diện kim loại đường hàn và tiết diện thép trên biên nóng chảy.

Xác định được chiều cao cần thiết của đường hàn:

$$h_f \geq \frac{VS_f}{2(\beta f_w)_{\min} I_x \gamma_c}. \quad (3.68)$$

Khi trên cánh dầm hàn có tác dụng cục bộ của lực tập trung  $F$ , mà tại đó dầm không có sườn gia cường, thì đường hàn liên kết cánh và bụng dầm phải chịu thêm phần ứng suất cục bộ do lực tập trung gây ra. Cần kiểm tra điều kiện bền của đường hàn do tác dụng đồng thời của cả lực cắt  $V$  và lực tập trung  $F$ ; từ đó xác định được chiều cao cần thiết của đường hàn:

$$h_f \geq \frac{\sqrt{(VS_f / I_x)^2 + (F / l_z)^2}}{2(\beta f_w)_{\min} \gamma_c}. \quad (3.69)$$

Với  $F, l_z$  là giá trị và chiều dài phân bố của lực tập trung, xác định theo chỉ dẫn của công thức (3.24); đối với dầm hàn  $h_y = t_f; l_z = b + 2t_f$ .

Chiều cao đường hàn xác định theo (3.68) (hoặc 3.69) được tính từ lực cắt lớn nhất  $V_{max}$ . Thực tế, đường hàn liên kết cánh và bụng dầm được chọn vừa phải theo các quy định cấu tạo đã nêu trong chương II, vừa phải hàn liên tục trên suốt chiều dài dầm với chiều cao được xác định theo các công thức này.

Với dầm tổ hợp đỉnh tán (hoặc bulông), lực trượt sẽ do các đỉnh chịu. Gọi  $a$  là bước đỉnh tán (hoặc bước bulông) thì lực trượt mỗi đỉnh phải chịu là:

$$T_b = Ta = V \frac{S_f}{I_x} a. \quad (3.70)$$

Từ điều kiện bền của liên kết cánh và bụng dầm, khả năng chịu lực của một đỉnh tán (hoặc bulông) phải không nhỏ hơn lực trượt  $T_b$  trên đây, ta có:

$$T_b = V \frac{S_f}{I_x} a \leq [N]_{minb} \gamma_c \Rightarrow a \leq \frac{[N]_{minb} I_x \gamma_c}{VS_f}, \quad (3.71)$$

Trong đó:  $[N]_{minb}$  – khả năng chịu lực bé nhất của một đỉnh tán (hoặc bulông) trong liên kết, xác định theo chỉ dẫn ở chương 2;

$S_f$  – mômen tĩnh của một cánh dầm lấy với trục trung hoà. Cánh dầm bao gồm cả hai thép góc và các bản phủ (một hoặc hai bản).

Bước đỉnh  $a$  tính theo (3.71) là bước các đỉnh liên kết hai thép góc cánh với bụng dầm ( $S_f$  lấy với cả hai thép góc và các bản phủ); các đỉnh liên kết bản phủ với hai thép góc sẽ có bước  $a_1$  lớn hơn  $a$  (vì  $S_f$  chỉ lấy với các bản phủ). Để an toàn và đơn giản cho thi công, giá trị được chọn lấy thống nhất theo (3.71), tức là lấy giá trị  $a$  bé hơn.

**Ví dụ 3.3.** Tính đường hàn liên kết cánh và bụng dầm của dầm cho trong ví dụ 3.2.

Dùng phương pháp hàn tay, que hàn Việt Nam N42, có

$$\beta_f = 0,7, \beta_s = 1,0, f_{wf} = 1800 \text{ daN/cm}^2, f_{ws} = 0,45 f_u = 0,45 \times 3400 = 1530 \text{ daN/cm}^2.$$

Tính được  $\beta_f f_{wf} = 0,7 \times 1800 = 1260 \text{ daN/cm}^2,$

$$\beta_s f_{ws} = 1,0 \times 1530 = 1530 \text{ daN/cm}^2$$

$$\Rightarrow (\beta f_w)_{\min} = \beta_f f_{wf} = 1260 \text{ daN/cm}^2.$$

Xác định chiều cao đường hàn theo công thức (3.68)

$$h_f \geq \frac{VS_f}{2(\beta f_w)_{\min} I_x \gamma_c} = \frac{9,1 \cdot 10^4 \times 50428}{2 \times 1260 \times 77,064 \cdot 10^4} = 0,26 \text{ cm}.$$

trong đó:  $S_f$  – mômen tĩnh của một bản cánh dầm đối với trục  $x-x$ ;

$$S_f = 46 \times 2 \times 118/2 = 5428 \text{ cm}^3; I_x = 77,064 \times 10^4 \text{ cm}^4 \text{ (đã tính ở ví dụ 3.2).}$$

Chiều dày đường hàn cần thiết theo tính toán khá bé, bằng 0,26cm; nhưng bản thép liên kết dày nhất  $t_{\max} = t_f = 20 \text{ mm}$ ; vì vậy chọn chiều cao đường hàn góc theo điều kiện cấu tạo  $h_f = 7 \text{ mm}$  và hàn suốt chiều dài dầm.

## 2. Cấu tạo và tính toán mối nối dầm

Phải nối dầm là do:

- Thép dùng để làm dầm không đủ dài. Mối nối loại này gọi là mối nối nhà máy (mối nối công xưởng).
- Dầm có trọng lượng hoặc chiều dài vượt quá khả năng của các phương tiện vận chuyển, phương tiện cầu lắp; khi chế tạo cần phải chia ra làm nhiều đoạn (có trọng lượng hoặc chiều dài xấp xỉ nhau), để có thể vận chuyển hoặc cầu lắp được; sau đó nối các đoạn lại với nhau thành dầm hoàn chỉnh. Mối nối loại này gọi là mối nối lắp ghép (mối nối công trường).

Cấu tạo mối nối của dầm thép hình và dầm tổ hợp có những điểm khác nhau; phần dưới đây sẽ trình bày cụ thể cho từng loại.

### a. Cấu tạo và tính toán mối nối dầm thép hình

Mối nối dầm hình, cả ở nhà máy và lắp ghép ngoài công trường thường dùng liên kết hàn. Hình 3.18 giới thiệu một số giải pháp nối dầm hình I và [.

Giải pháp đơn giản nhất là hàn đối đầu nối các đoạn dầm với nhau (hình 3.18a,b). Để giảm ứng suất và biến hình hàn, cần hàn đường hàn nối bụng dầm trước (đường hàn số 1), sau đó mới hàn các đường hàn số 2 để nối các bản cánh dầm. Khi hàn tay và dùng các biện pháp thông thường để kiểm tra chất lượng đường hàn thì độ bền chịu kéo của đường hàn đối đầu chỉ lấy bằng 85% độ bền chịu kéo của thép làm dầm; vì vậy giải pháp như trên hình 3.18a,b chỉ có thể nối dầm ở những tiết diện có  $M \leq 0,85M_{max}$ .

Với những dầm mà tiết diện đã tận dụng hết khả năng chịu lực của vật liệu mà muốn nối dầm ở vị trí có  $M \geq 0,85M_{max}$  thì phải dùng giải pháp như ở hình 3.18c,d. Theo giải pháp như ở hình 3.18c thì ngoài việc tiến hành tất cả các đường hàn đối đầu nối bụng và cánh dầm, còn phải có thêm một bản nối cho mỗi cánh dầm, bản nối này được hàn với cánh bằng các đường hàn góc dọc. Các đường hàn đối đầu và bản nối phải chịu toàn bộ mômen uốn tại tiết diện nối. Cách tính toán như sau:

$$M_{bn} + M_w = M, \quad (3.72)$$

trong đó:  $M_w$  – phần mômen do tiết diện đường hàn đối đầu nối cánh và bụng dầm có thể chịu được,  $M_w = W_{wf} \gamma_c$ ;

$W_w$  – mômen kháng uốn của tiết diện đường hàn đối đầu (bằng mômen kháng uốn của tiết diện dầm);



$f_{wt}$  – cường độ chịu kéo của đường hàn đối đầu;

$M_{bn}$  – phần mômen uốn mà bản nối cánh dầm phải chịu:

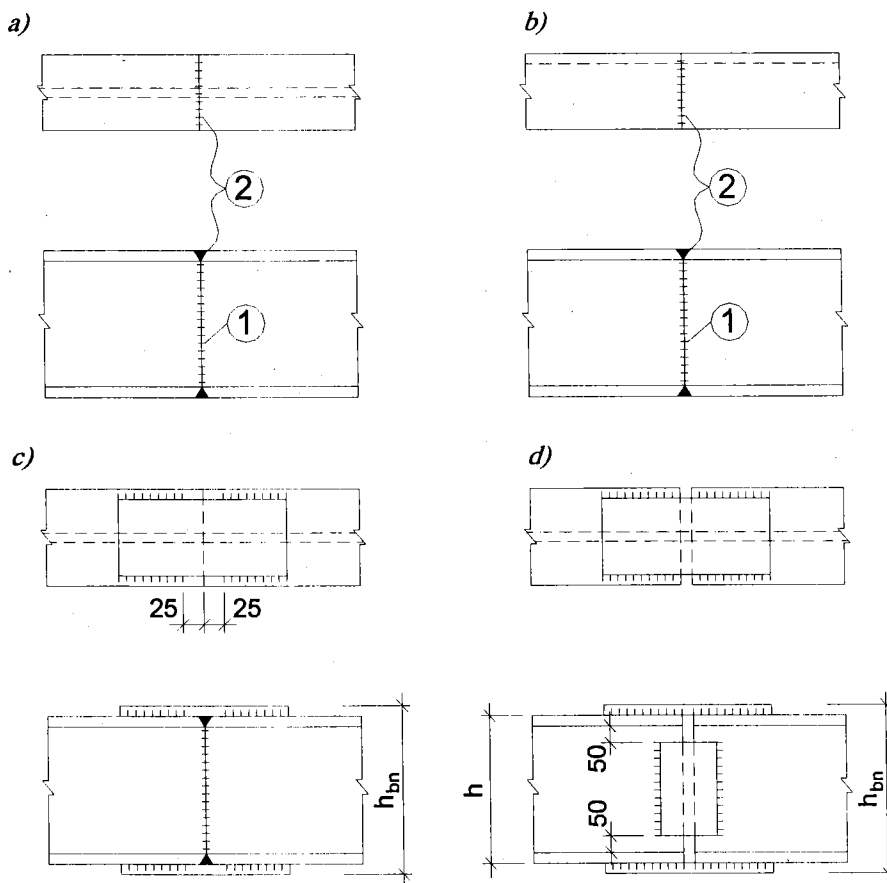
$$M_{bn} = M - M_w = M - W_w f_{wt} \gamma_c; \quad (3.73)$$

$M_{bn}$  được phân thành ngẫu lực tác dụng vào các bản nối; diện tích tiết diện bản nối xác định theo công thức:

$$A_{bn} = \frac{N_{bn}}{f \gamma_c} = \frac{M_{bn}}{h_{bn} f \gamma_c}, \quad (3.74)$$

với  $h_{bn}$  – khoảng cách trọng tâm hai bản nối hai cánh, có thể lấy

$$h_{bn} = h + (12 \div 20) \text{ mm}.$$



Hình 3.18. Nối dầm hình

Chọn chiều rộng bản nối  $b_{bn} = b_f - (16 \div 20) \text{ mm}$ ; xác định được bề dày bản nối  $t_{bn} = A_{bn} / b_{bn}$ .

Đường hàn góc liên kết bản nối với cánh dầm phải đủ chịu lực truyền qua bản nối  $N_{bn} = M_{bn}/h_{bn}$ . Từ đó, tính được tổng chiều dài đường hàn liên kết một nửa bản nối với cánh dầm:

$$\sum l_w = \frac{N_{bn}}{(\beta f_w)_{min} \gamma_c h_f}, \quad (3.75)$$

$h_f$  – chiều cao đường hàn góc nối bản nối với cánh dầm, nên chọn trước  $h_f \leq t_{bn}$ .

Nhằm giảm ứng suất hàn, mỗi phía của mỗi nối (kể từ trục tiết diện hàn đối đầu) cần để ra một đoạn 25mm không hàn bản nối với cánh dầm.

Sử dụng giải pháp nối dầm như ở hình 3.18c tốn khá nhiều công gia công mép (đầu nối) để có thể hàn được đường hàn đối đầu, sau đó lại phải mài phẳng đường hàn đối đầu ở mặt cánh dầm thì mới áp phẳng được bản nối vào cánh. Dùng giải pháp như ở hình 3.18d (không dùng đường hàn đối đầu, dùng bản nối cánh, bản nối bụng và các đường hàn góc) khắc phục được những khó khăn trên đây. Tuy nhiên, tại tiết diện nối lại tồn tại ứng suất tập trung lớn nên chỉ dùng với những dầm chịu tải trọng tĩnh và nhiệt độ bình thường.

Sự truyền lực tại mỗi nối có thể quan niệm như sau: toàn bộ mômen tác dụng tại tiết diện nối do các bản nối cánh dầm chịu; lực cắt tại tiết diện nối do các bản nối bụng dầm và các đường hàn góc chịu. Từ đó, cách tính toán liên kết nối loại này như sau:

Mômen  $M$  tác dụng ở mỗi nối dầm được phân thành một ngẫu lực tác dụng vào bản nối cánh dầm:

$$N_{bn} = \frac{M}{h_{bn}}. \quad (3.76)$$

Diện tích cần thiết của tiết diện bản nối cánh xác định theo:

$$A_{bn} = \frac{N_{bn}}{f \gamma_c}. \quad (3.77)$$

Chiều rộng và bề dày bản nối xác định như đã hướng dẫn ở giải pháp hình 3.18c.

Chiều dài đường hàn liên kết một nửa bản nối cánh với cánh dầm xác định theo (3.75), trong đó lực trục  $N_{bn}$  xác định theo (3.76).

Lực cắt  $V$  tác dụng tại mỗi nối được truyền qua các đường hàn góc liên kết các bản nối bụng với bản bụng dầm.

Thường chọn trước kích thước bản nối bụng dầm như sau: chiều rộng bản nối  $b_{bn} = 100 + 180\text{mm}$ ; chiều dày bản nối  $t_{bn}$  lấy bằng hoặc xấp xỉ bề dày bản bụng dầm  $t_w$ ; Chiều cao bản nối  $h_{bn}$  lấy bằng đoạn thẳng của chiều cao bản bụng (không kể đoạn cong chuyển tiếp bụng – cánh của tiết diện dầm); chiều dài đường hàn góc  $l_w$  lấy bằng chiều cao bản nối; chiều cao đường hàn lấy xấp xỉ bằng chiều dày bản nối.

Các đường hàn góc liên kết bản nối bụng với bản bụng dầm phải đủ chịu lực cắt  $V$  và được kiểm tra theo các công thức:

Ứng suất trên đường hàn:

$$\tau_{wf} = \frac{V}{2\beta_f h_f l_w} \leq f_{wf} \gamma_c. \quad (3.78a)$$

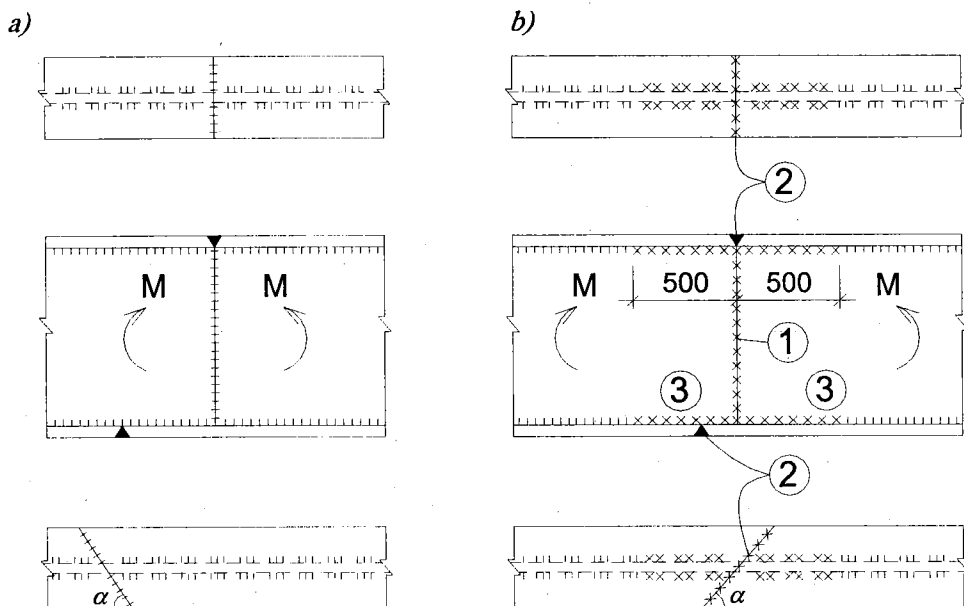
Ứng suất trên biên thép nóng chảy:

$$\tau_{ws} = \frac{V}{2\beta_s h_f l_w} \leq f_{ws} \gamma_c. \quad (3.78b)$$

### b. Cấu tạo và tính toán mối nối dầm tổ hợp hàn bằng liên kết hàn

Mối nối nhà máy của dầm tổ hợp hàn, thực chất là mối nối các thép bản. Thông dụng nhất là dùng đường hàn đối đầu để nối bản bụng và nối các cánh dầm (hình 3.19a). Để tránh ứng suất phụ phát sinh khi hàn, mối nối bụng dầm, nối cánh kéo, nối cánh nén được bố trí ở các tiết diện khác nhau. Vì độ bền chịu nén của đường hàn đối đầu không nhỏ hơn của thép làm dầm nên đường hàn nối bản cánh nén và đường hàn nối bản bụng có thể dùng đường hàn thẳng góc và được nối trên một tiết diện. Độ bền chịu kéo của đường hàn đối đầu bằng vào khoảng 85% độ bền chịu kéo của thép làm dầm nên chỉ có thể dùng đường hàn đối đầu thẳng góc để nối cánh chịu kéo ở những tiết diện có  $M \leq 0,85M_{max}$ . Trong các trường hợp còn lại, cần dùng đường hàn đối đầu xiên góc  $\alpha = (45^\circ + 60^\circ)$  để nối cánh chịu kéo của dầm.





Hình 3.19. Nối dầm tổ hợp hàn

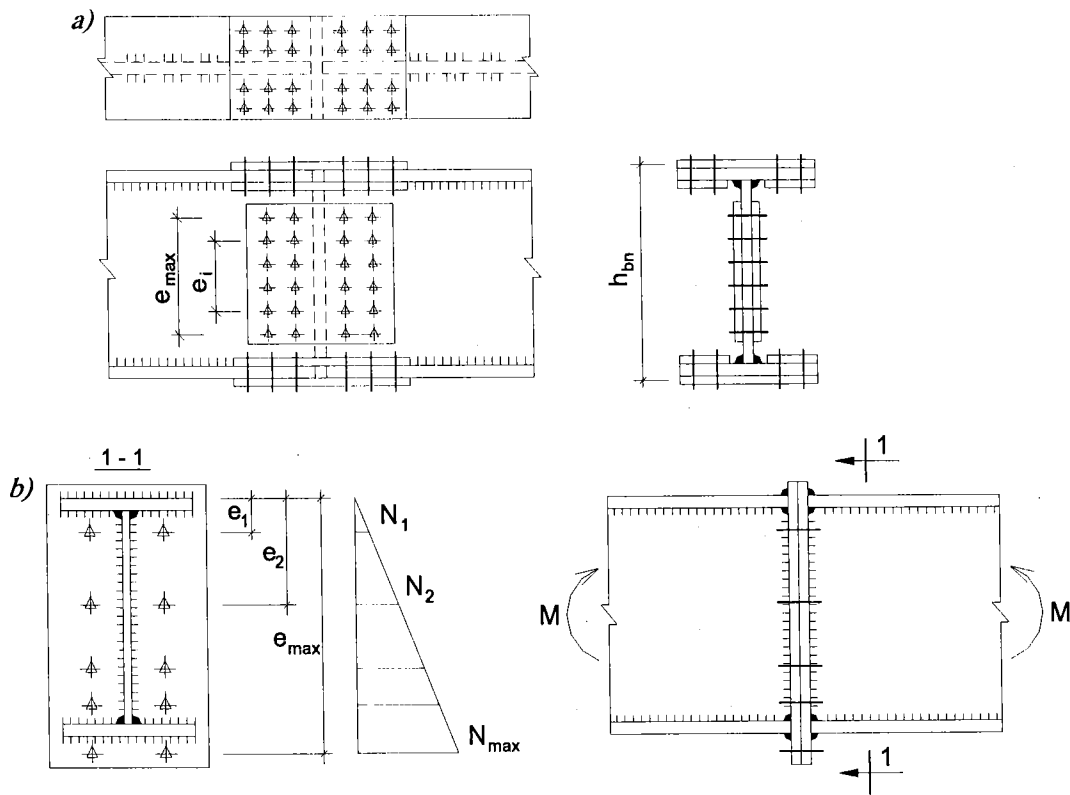
Trong các thiết kế thực tế, nếu tuân theo các điều kiện trên đây và các điều kiện cấu tạo của liên kết nêu trong chương 2, thì không cần tính toán, kiểm tra lại mối nối dầm. Trường hợp ngược lại, phải tính toán kiểm tra thì theo nguyên lý và các công thức của liên kết hàn đối đầu các bản thép đã nêu trong chương 2.

Mỗi nối lắp ghép của dầm tổ hợp hàn được thực hiện trên cùng một tiết diện dầm. Giải pháp này tránh được các cong vênh do bản thép nhô quá dài hoặc nhằm có được các đầu đoạn dầm tại chỗ nối phẳng, gọn, đơn giản cho đóng gói, chuyên chở. Dùng đường hàn đối đầu để nối cánh nén và nối bản bụng; dùng đường hàn đối đầu xiên góc  $\alpha \leq 60^\circ$  để nối bản cánh chịu kéo của dầm nhằm tăng khả năng chịu lực cho mỗi nối (hình 3.19b). Để giảm biến hình và ứng suất hàn, khi hàn đường hàn góc liên kết cánh và bụng dầm, ở đầu đoạn dầm chỗ gần mỗi nối cần để lại một đoạn dài 500mm không hàn, sẽ hàn bổ sung sau. Khi thực hiện các đường hàn lắp ghép cần hàn theo thứ tự: hàn đường hàn nối bản bụng dầm trước (đường hàn 1); tiếp theo là các đường hàn nối các bản cánh dầm (đường hàn 2) vì các đường hàn này có tiết diện và độ co ngót ngang lớn; cuối cùng là hàn bổ sung các đường hàn 3 liên kết bụng với các bản cánh dầm. Các đường hàn 3 có co ngót dọc không lớn nên không gây ứng suất phụ và biến dạng phụ cho mỗi nối. Ngoài các yêu cầu nêu trên,

mối nối dầm hàn là mối nối các bản thép, vì vậy chúng cũng cần phải tuân theo các yêu cầu cấu tạo đã nêu trong chương liên kết.

### c. Cấu tạo và tính toán mối nối lắp ghép dầm tổ hợp hàn, dùng bulông

Việc tiến hành các mối nối lắp ghép khuyếch đại dầm ở công trường bằng liên kết hàn gặp nhiều khó khăn và khó đảm bảo chất lượng. Hiện nay giải pháp dùng bulông cường độ cao cho các mối nối lắp ghép dầm đang được sử dụng khá phổ biến.



Hình 3.20. Mối nối dầm tổ hợp hàn bằng bulông

Cấu tạo của mối nối dầm tổ hợp hàn dùng bulông cường độ cao (hình 3.20a) gồm: mối nối mỗi cánh dầm dùng ba bản nối (một bản phủ ngoài và hai bản phủ trong), mối nối bản bụng dầm dùng hai bản nối ốp hai bên. Diện tích tiết diện bản nối được xác định từ điều kiện tổng diện tích tiết diện bản nối ở một vị trí nối (ở cánh hoặc ở bụng dầm) không nhỏ hơn diện tích tiết diện của bộ phận được nối (diện tích tiết diện bản cánh hoặc bản bụng dầm). Trường hợp bản nối cánh khi diện tích các giảm yếu do khoét lỗ bulông chiếm  $\geq 15\%$  diện tích tiết diện bản thì cần thiết phải xét đến ảnh hưởng của giảm yếu này bằng cách: chỉ lấy diện tích tính toán là diện tích thực (đã trừ lỗ), nếu dầm

chịu tải trọng động; hoặc lấy bằng 1,18 lần diện tích thực, nếu dầm chịu tải trọng tĩnh.

Mômen uốn  $M$  tác dụng tại mỗi nối dầm, được phân phối cho mỗi nối cánh và mỗi nối bụng dầm theo tỷ lệ thuận với độ cứng tiết diện của chúng. Từ đó ta có:

Mômen do mỗi nối cánh phải chịu

$$M_f = M \frac{I_f}{I_x}. \quad (3.79)$$

Mômen do mỗi nối bụng phải chịu

$$M_w = M \frac{I_w}{I_x}. \quad (3.80)$$

Lực cắt  $V$  tác dụng tại mỗi nối dầm (nếu có) thì hoàn toàn do mỗi nối bụng dầm chịu và được coi là phân bố đều cho các bulông trên mỗi nối bụng.

Với quan niệm như vậy, việc tính toán cụ thể theo trình tự sau:

Tham khảo các thiết kế tương tự và dựa vào kinh nghiệm, chọn trước đường kính bulông  $d$  giống nhau cho cả mỗi nối cánh và bụng dầm; chọn trước các kích thước tiết diện bản ghép theo yêu cầu đã hướng dẫn trên đây.

– *Tính toán, kiểm tra mỗi nối bụng dầm:* chọn trước số lượng đinh  $n_w$  cho mỗi phía của mỗi nối bụng (cho một nửa liên kết bụng); bố trí bulông theo yêu cầu cấu tạo liên kết, nên chọn khoảng cách min để kích thước bản ghép bé, để có liên kết gọn. Sau khi cấu tạo, kiểm tra điều kiện bền của mỗi nối theo công thức:

+ Trường hợp tại tiết diện nối dầm chỉ có tác dụng của mômen uốn  $M$ , nghĩa là mỗi nối bụng chịu tác dụng của phần mômen  $M_w$  phân phối cho bản bụng (xác định theo công thức 3.80), kiểm tra theo công thức:

$$N_{max} \leq [N]_b \gamma_c, \quad (3.81)$$

trong đó:  $N_{max}$  – thành phần nội lực theo phương ngang trong mỗi bulông hàng ngoài cùng do mômen uốn tác dụng lên mỗi nối bụng dầm gây ra (các bulông hàng trong có  $N$  bé hơn, không cần kiểm tra), xác định theo

$$N_{\max} = \frac{M_w}{m \sum e_i^2} \cdot e_{\max}, \quad (3.82)$$

ở đây:  $m$  – số cột bulông ở một nửa liên kết;

$e_i$  – khoảng cách giữa hai hàng bulông đối xứng nhau qua trục dầm (xem hình 3.20a).

+ Trường hợp tại tiết diện nối có tác dụng đồng thời của mômen uốn  $M$  và lực cắt  $V$ :

Quan niệm rằng mỗi nối bụng dầm chịu hoàn toàn lực cắt  $V$ ; lực cắt này phân bố đều cho các bulông (ở một nửa liên kết), mỗi bulông chịu phần nội lực theo phương đứng  $V_1$  là:

$$V_1 = \frac{V}{n_w}. \quad (3.83)$$

Mômen uốn của bản bụng  $M_w$  phân bố thành lực ngang không đều cho các bulông, lớn nhất là cho những bulông hàng ngoài  $N_{\max}$ , xác định theo (3.82).

Bulông hàng ngoài chịu lực nặng nề nhất, cần thỏa mãn điều kiện bền theo công thức:

$$\sqrt{N_{\max}^2 + V_1^2} \leq [N]_b \gamma_c. \quad (3.84)$$

– *Tính toán kiểm tra mối nối cánh dầm*: số lượng bulông cần thiết cho một phía mối nối ở mỗi cánh dầm được xác định theo công thức:

$$n_f = \frac{N_f}{[N]_b \gamma_c}, \quad (3.85)$$

trong đó:  $[N]_b$  – khả năng chịu lực của một bulông cường độ cao trong liên kết chịu lực vuông góc với trục dầm, xác định theo hướng dẫn ở chương 2;

$N_f$  – lực dọc tác dụng lên mối nối cánh dầm, do  $M_f$  gây ra:

$$N_f = \frac{M_f}{h_{bn}}, \quad (3.86)$$

ở đây:  $h_{bn}$  – khoảng cách trọng tâm tiết diện các bản nối ở hai cánh dầm.

#### d. Cấu tạo và tính toán mối nối dầm tổ hợp hàn, dùng mặt bích với bulông cường độ cao

Mối nối dầm tổ hợp hàn dùng bulông và các bản nối như đã giới thiệu ở mục c tuy đơn giản hơn mối nối dùng hàn, nhưng vẫn còn cồng kềnh, khó khăn cho thi công, vì phải dùng quá nhiều bản ghép (8 bản cho một mối nối). Mối nối dùng mặt bích với các bulông cường độ cao nhằm khắc phục hạn chế này (hình 3.20b).

Ngoài các bulông cường độ cao, mối nối mặt bích không có các chi tiết phụ. Đầu các đoạn dầm được hàn sẵn các bản thép ngang, gọi là mặt bích. Nhằm tăng khả năng chịu mômen cho mối nối, mặt bích thường được kéo dài về phía thõng khỏi mômen, vượt qua cánh chịu kéo một đoạn đủ để bố trí thêm một hàng bulông ra phía ngoài. Sau khi liên kết bằng cách xiết chặt các bulông, hai mặt bích ở đầu hai đoạn nối tỳ sát vào nhau. Lực xiết bulông càng lớn, độ chặt của liên kết càng lớn. Khoảng cách giữa các bulông trong mỗi hàng có thể bố trí đều hoặc không đều nhau. Thường bố trí không đều với khoảng cách min theo điều kiện cấu tạo ở phía cánh kéo và thưa hơn ở phía cánh nén.

Quan niệm rằng nhờ lực xiết chặt của các bulông và độ cứng của mặt bích, tâm xoay của liên kết nằm trên trục tiết diện cánh nén. Khi liên kết chịu tác dụng của mômen uốn  $M$  thì lực tác dụng lớn nhất là lực kéo dọc trục lên những bulông xa cánh nén nhất  $N_{max}$  (hình 3.20b). Các bulông này cần được kiểm tra điều kiện chịu lực theo công thức :

$$N_{max} = \frac{Me_{max}}{\sum_{i=1}^m n_i e_i^2} \leq [N]_{tb} \gamma_c, \quad (3.87)$$

trong đó :  $e_i$ ,  $e_{max}$  – khoảng cách từ tâm tiết diện cánh nén đến hàng bulông thứ  $i$  hoặc đến bulông xa nhất (hình 3.20b);

$m$  – số cột đinh trong liên kết;

$n_i$  – số bulông ở hàng thứ  $i$ ;

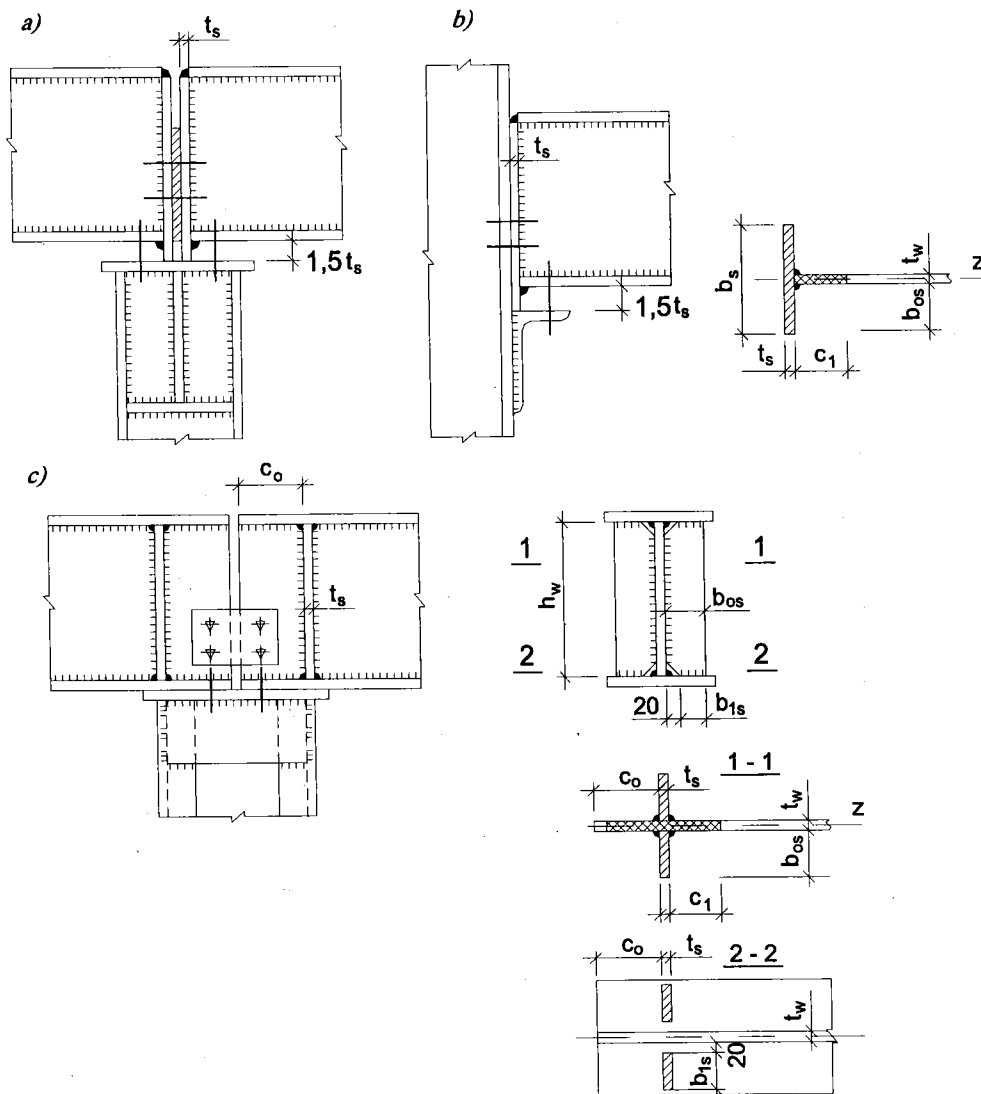
$[N]_{tb}$  – khả năng chịu kéo dọc trục của một bulông cường độ cao trong liên kết.

### 3. Cấu tạo và tính toán phần đầu dầm, gối dầm

Giải pháp cấu tạo phần đầu dầm phụ thuộc vào vật liệu làm gối tựa (bằng thép, bê tông, gạch, đá...), vào kiểu tựa dầm lên gối (tựa bên cạnh hay tựa ở mặt trên, liên kết là khớp hay là cứng) và vào độ lớn của phản lực gối. Thông

thường, dầm thép gối lên cột (thép hoặc bê tông) hoặc gối lên tường (bê tông hoặc tường gạch). Dưới đây giới thiệu một số giải pháp thông dụng.

### a. Dầm thép tựa lên cột thép



Hình 3.21. Đầu dầm tựa vào cột thép

Có hai kiểu tựa là gối lên đầu cột (hình 3.21a) hoặc liên kết vào bên cạnh cột (hình 3.21b). Hình thức dầm liên kết với cột có thể là liên kết cứng hoặc liên kết khớp. Liên kết cứng dầm với cột áp dụng hợp lý cho nút khung thép nhà cao tầng (sẽ được giới thiệu trong chuyên đề riêng); hình 3.21 giới thiệu một số giải pháp liên kết khớp dầm với cột. Thông thường, ở đầu các dầm tổ hợp phản lực gối có giá trị lớn, cần có thêm sườn gối để cùng với bản bụng dầm

chịu và truyền phản lực đến gối tựa. Sườn gối có thể đặt ngay đầu dầm (hình 3.21a,b) hoặc gần đầu dầm (hình 3.21c) với mục đích là sao cho phản lực gối được truyền đúng trọng tâm gối tựa. Sườn gối được hàn với bụng dầm trên suốt chiều cao bản bụng, đầu dưới của sườn cần được bào phẳng, gọt nhẵn và áp sát với mặt trên của cánh dưới dầm (hình 3.21c) hoặc nhô ra khỏi cánh dưới dầm một đoạn  $a \leq 1,5t_s$  (hình 3.21 a,b), thường lấy  $a = 10 \div 20\text{mm}$ . Việc bào nhẵn, áp sát hoặc nhô ra của sườn nhằm phân biệt rõ ràng diện tích đầu sườn phải đủ chịu ép mặt do phản lực gối.

Bề dày sườn gối  $t_s$  thường được chọn trước  $t_s \geq t_w$ .

Chiều rộng sườn  $b_s$  chọn theo điều kiện đảm bảo ổn định cục bộ của nó; chiều rộng phần nhô ra khỏi bản bụng  $b_{os}$  cần thỏa mãn điều kiện

$$\frac{b_{os}}{t_s} \leq 0,5\sqrt{\frac{E}{f}}. \quad (3.88)$$

Từ đó chọn được  $b_{os}$  và xác định diện tích ép mặt  $A_{se}$  tại mút dưới của sườn đầu dầm.

Tương ứng với giải pháp ở hình 3.21a,b thì  $A_{se} = b_s t_s = (2b_{os} + t_w) t_s$ ; còn trong giải pháp ở hình 3.21c thì  $A_{se} = 2b_{1s} t_s = 2(b_{os} - 20) t_s$ .

Tiết diện sườn gối được kiểm tra theo điều kiện ép mặt ở mút dưới của sườn, theo công thức

$$\frac{F}{A_{se}} \leq f_c \gamma_c, \quad (3.89)$$

trong đó:  $F$  – phản lực ở gối tựa dầm;

$f_c$  – cường độ tính toán ép mặt tỷ đầu của thép.

Ngoài ra, sườn gối cần được kiểm tra điều kiện bền về ổn định ra ngoài mặt phẳng của bản bụng dầm như một thanh quy ước chịu nén đúng tâm. Lực nén chính là phản lực gối tựa của dầm. Thanh quy ước hai đầu khớp có chiều dài bằng chiều cao  $h_w$  của bản bụng dầm. Tiết diện thanh quy ước gồm tiết diện của sườn gối và một phần bản bụng dầm rộng nhất là  $c_1$  (hình 3.20).

$$c_1 = 0,65t_w \sqrt{E/f}. \quad (3.90)$$

Kiểm tra theo công thức:

$$\frac{F}{\varphi A} \leq f \gamma_c, \quad (3.91)$$



trong đó:  $\varphi$  – hệ số uốn dọc, phụ thuộc vào độ mảnh  $\lambda = \frac{h_w}{i_z}$ ;

$i_z$  – bán kính quán tính của tiết diện quy ước đối với trục z, trùng với trục dọc của bản bụng dầm. Có thể tính  $\varphi$  theo các công thức nêu trong chương 4, hoặc tra bảng II.1 phụ lục;

A – diện tích tiết diện của thanh quy ước (hình 3.21).

$$A = A_s + A_{w1},$$

với:  $A_s$  – diện tích tiết diện chịu nén của sườn đầu dầm,

– khi sườn bố trí ở ngay đầu dầm  $A_s = t_s b_s$ ;

– khi sườn là một đôi sườn kẹp bố trí ở gần đầu dầm  $A_s = 2 t_s b_{os}$ ;

$A_{w1}$  – phần diện tích bản bụng cùng tham gia chịu nén với sườn đầu dầm (tiết diện quy ước – hình 3.21).

– khi sườn bố trí ngay đầu dầm  $A_{w1} = 0,65 t_w^2 \sqrt{E/f}$ ;

– khi sườn bố trí gần đầu dầm  $A_{w1}$  được lấy như sau:

$$+ \text{ Khi } c_o \geq c_1 \quad A_{w1} = (2c_1 + t_s) t_w$$

$$+ \text{ Khi } c_o < c_1 \quad A_{w1} = (c_o + c_1 + t_s) t_w$$

$c_1$  – xác định theo công thức (3.90);

$c_o, t_w, t_s$  – xem hình vẽ 3.21.

### b. Dầm thép tựa lên tường, cột bằng bê tông hoặc gạch đá

Vì độ bền chịu ép của vật liệu gối tựa bằng bê tông hoặc gạch đá bé hơn của thép làm dầm, nên trên đỉnh cột hoặc tường tại chỗ tựa của dầm cần đặt một bản gối bằng thép đúc hoặc thép tấm dày, có diện tích lớn hơn phần tiếp xúc của đầu dầm với cột hoặc tường. Mục đích của bản gối này là để phân bố đều và mở rộng phạm vi truyền phản lực gối của dầm lên cột hoặc tường. Diện tích bề mặt của bản gối (chiều dài  $\times$  chiều rộng) xác định từ điều kiện vật liệu gối (tường, cột gạch hoặc bê tông) đủ chịu ép cục bộ do phản lực đầu dầm gây ra (hình 3.22).

$$A_{bg} = a_{bg} b_{bg} \geq \frac{F}{R_{b.loc} \gamma_c}, \quad (3.92)$$

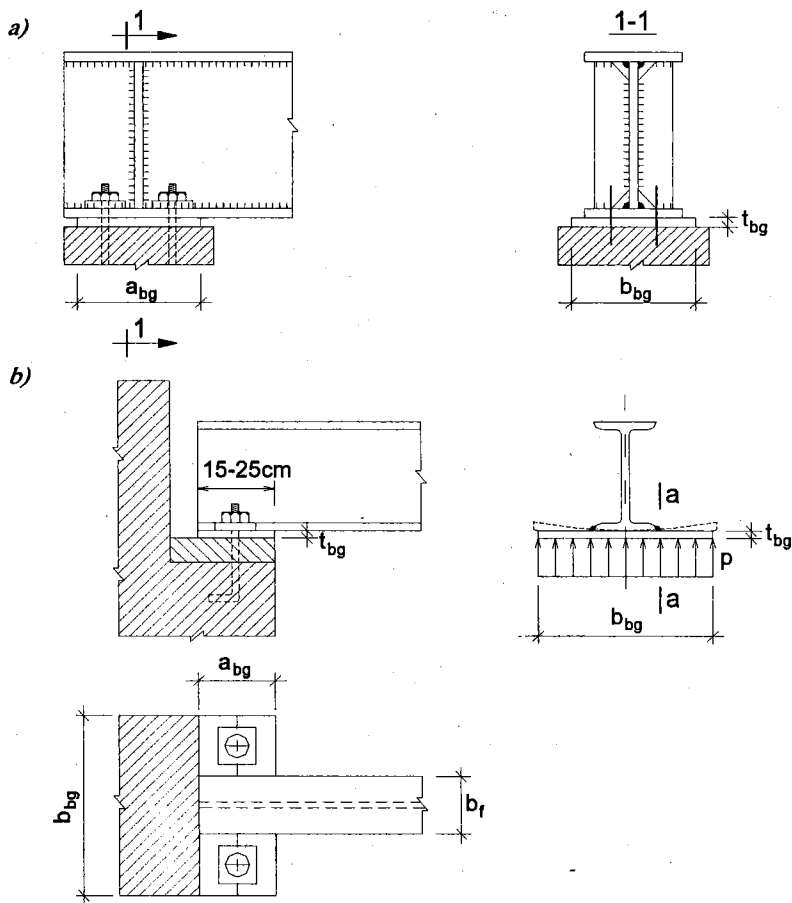
trong đó:  $a_{bg}, b_{bg}$  – chiều dài, chiều rộng bề mặt bản gối (xem hình 3.22);

$F$  – giá trị của phản lực đầu dầm;

$\psi$  – hệ số phụ thuộc vào đặc điểm phân phối tải trọng trên diện tích ép cục bộ; khi tải trọng phân phối đều  $\psi = 1$ , khi phân phối không đều  $\psi = 0,75$ .



$R_{b.loc}$  – cường độ chịu ép mặt cục bộ của vật liệu gối tựa (của bê tông hoặc gạch, đá – xem TCXDVN 356: 2005 hoặc chương 4 sách này).



**Hình 3.22. Dầm tựa lên cột, tường bằng bê tông hoặc gạch đá**

a) gối dầm tổ hợp; b) gối dầm thép hình.

Chiều dày bản gối xác định từ điều kiện chịu uốn ở tiết diện nguy hiểm nhất của bản gối do phản lực đầu dầm gây ra. Coi rằng bản gối đủ cứng để phân bố đều được phản lực  $F$  trên bề mặt tựa; tính được giá trị áp lực phân bố đều:

$$p = \frac{F}{a_{bg} b_{bg}}. \quad (3.93)$$

Tiết diện nguy hiểm nhất là tiết diện bản gối tại chỗ tiếp xúc với mép dọc của cánh dầm (a – a). Mômen uốn tại tiết diện nguy hiểm:

$$M_a = \frac{1}{2} p a_{bg} \left( \frac{b_{bg} - b_f}{2} \right)^2. \quad (3.94)$$

Mômen kháng uốn của tiết diện a-a:

$$W_a = \frac{a_{bg} t_{bg}^2}{6} \geq \frac{M_a}{f \gamma_c} \quad (3.95)$$

Từ đó xác định được bề dày bản gối:

$$t_{bg} \geq \sqrt{\frac{6M_a}{a_{bg} f \gamma_c}} \quad (3.96)$$

trong đó:  $f$  – cường độ tính toán về uốn của vật liệu làm bản gối (thường dùng là thép).

Khi dầm thép tựa trên tường, cột bằng gạch hoặc bê tông ngoài các tính toán về bên trên đây, cần tính toán kiểm tra ổn định của sườn đầu dầm với tiết diện quy đổi (như đã trình bày ở phần a). Trong cấu tạo đầu dầm, cần bảo đảm để dầm có thể tự do xoay tại gối, có thể tự do biến dạng dọc khi có sự thay đổi nhiệt độ.

**Ví dụ 3.4.** Cấu tạo và tính toán sườn gối dầm của dầm cho trong ví dụ 3.2.

Dùng giải pháp sườn gối đặt tại đầu dầm, dầm gối lên đỉnh cột thép.

*1) Chọn kích thước tiết diện sườn gối*

Chọn sườn đầu dầm có chiều rộng bằng chiều rộng cánh dầm, cấu tạo sườn gối như ở hình 3.23, ta có:

$$b_{os} = \frac{(b_f - t_w)}{2} = \frac{46 - 1}{2} = 22,5 \text{ cm.}$$

Từ điều kiện ổn định cục bộ của bản thép làm sườn  $\frac{b_{os}}{t_s} \leq 0,5 \sqrt{\frac{E}{f}}$ , ta có

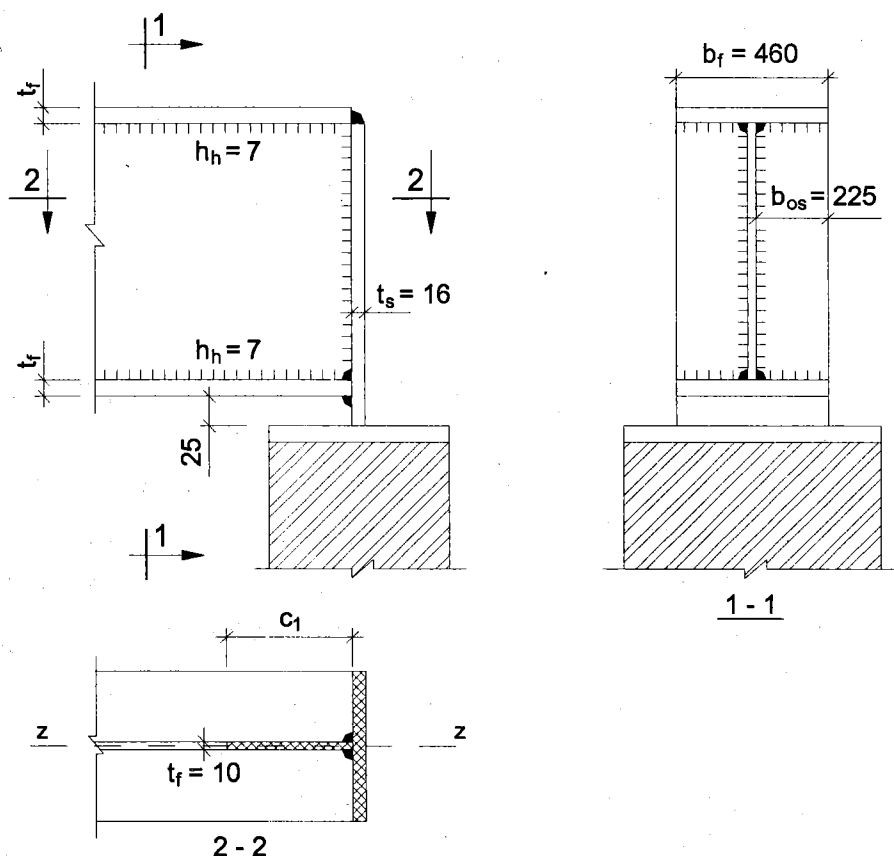
$$t_s \geq \frac{b_{os}}{0,5 \sqrt{\frac{E}{f}}} = \frac{22,5}{0,5 \sqrt{\frac{2,1 \times 10^6}{2,1 \times 10^3}}} = \frac{22,5}{15,8} = 1,42 \text{ cm.}$$

Theo quy cách thép bản, chọn chiều dày sườn đầu dầm  $t_s = 16\text{mm}$

Như vậy sườn đầu dầm có tiết diện  $b_s t_s = (46 \times 1,6) \text{ cm.}$

*2) Kiểm tra sườn gối dầm đã chọn*

- Không cần kiểm tra điều kiện ổn định cục bộ bản thép sườn gối, vì đã chọn theo điều kiện này.
- Kiểm tra điều kiện ép mặt tại mút dưới sườn.



Hình 3.23. Cấu tạo sườn gối dầm trong ví dụ 3.4

Xác định cường độ chịu ép mặt tỳ đầu của thép CCT38, theo cường độ bền  $f_u$  tính được :

$$f_c = \frac{f_u}{\gamma_M} = \frac{3800}{1,05} = 3619 \text{ daN/cm}^2.$$

Diện tích ép mặt tại nút sườn gối (cần được bào phẳng, gọt nhẵn)

$$A_{se} = b_s t_s = 46 \times 1,6 = 73,6 \text{ cm}^2.$$

Kiểm tra điều kiện ép mặt

$$\frac{F}{A_{se}} = \frac{9,1 \cdot 10^4}{73,6} = 1236,4 \text{ daN/cm}^2 < f_c \gamma_c = 3619 \times 1 = 3619 \text{ daN/cm}^2$$

– Kiểm tra điều kiện bên có xét đến ổn định ngoài mặt phẳng dầm của sườn gối dầm

Diện tích bản bụng cùng tham gia chịu lực với sườn đầu dầm

$$c_1 = 0,65 t_w \sqrt{\frac{E}{f}} = 0,65 \times 1,0 \times \sqrt{\frac{2,1 \cdot 10^6}{2,3 \cdot 10^3}} = 19,6 \text{ cm}.$$

$$A_1 = t_w c_1 = 1,0 \cdot 19,6 = 19,6 \text{ cm}^2.$$

Xác định các đặc trưng hình học của tiết diện quy ước tham gia chịu nén (hình 3.23):

$$A = A_s + A_{w1} = 73,6 + 19,6 = 93,2 \text{ cm}^2$$

$$I_z = 1,6 \times \frac{46^3}{12} + 19,6 \times \frac{1,0^3}{12} = 12979,7 \text{ cm}^4$$

$$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}} = \sqrt{\frac{12979,7}{93,2}} = 11,8 \text{ cm}$$

Độ mảnh của thanh quy ước:

$$\lambda_z = \frac{h_w}{i_z} = \frac{116}{11,8} = 9,83.$$

Tra bảng II.1 phụ lục, tương ứng với  $\lambda = 9,83$ ; có hệ số uốn dọc  $\varphi = 0,988$ .

Kiểm tra điều kiện bền về ổn định

$$\frac{F}{\varphi A} = \frac{9,1 \cdot 10^4}{0,988 \times 93,2} = 988,2 \text{ daN/cm}^2 < f_{\gamma_c} = 2300 \text{ daN/cm}^2.$$

### §3.8. DẪM KHOẾT LỖ TRÊN BẢN BỤNG

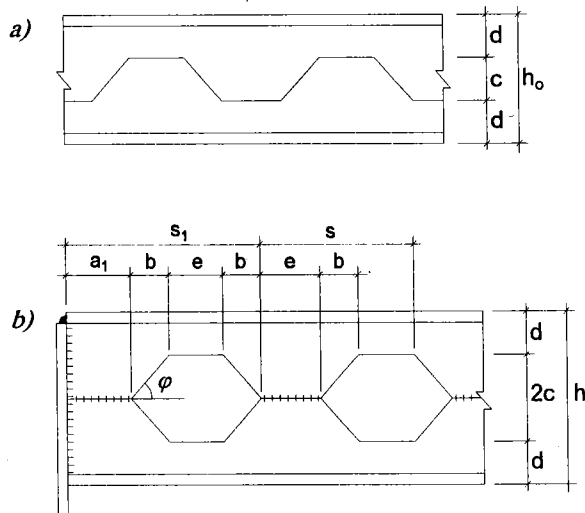
#### 1. Khái niệm chung, đặc điểm làm việc

Cắt bản bụng của một dầm chữ I bụng đặc theo một đường zíc zắc (hình 3.24a), sau đó chồng hai nửa lên nhau rồi hàn nối bằng đường hàn đối đầu dọc dầm, sẽ tạo nên một dầm mới, có lỗ trên bản bụng (gọi tắt là dầm khoét lỗ) với chiều cao tiết diện lớn hơn, vào khoảng 1,5 lần chiều cao tiết diện dầm bụng đặc ban đầu (hình 3.24b)

Các giải pháp khác nhau của việc cắt và ghép bản

bụng (dạng của đường zíc zắc) tạo thành các dạng khác nhau của lỗ khoét và của dầm khoét lỗ (hình 3.25).

Đơn giản và phổ biến nhất là dầm có lỗ phân bố đều, tiết diện và dạng lỗ đối xứng nhưng đôi khi để đơn giản cho chế tạo, cũng có thể dùng thép hình chữ



Hình 3.24. Một đoạn dầm khoét lỗ

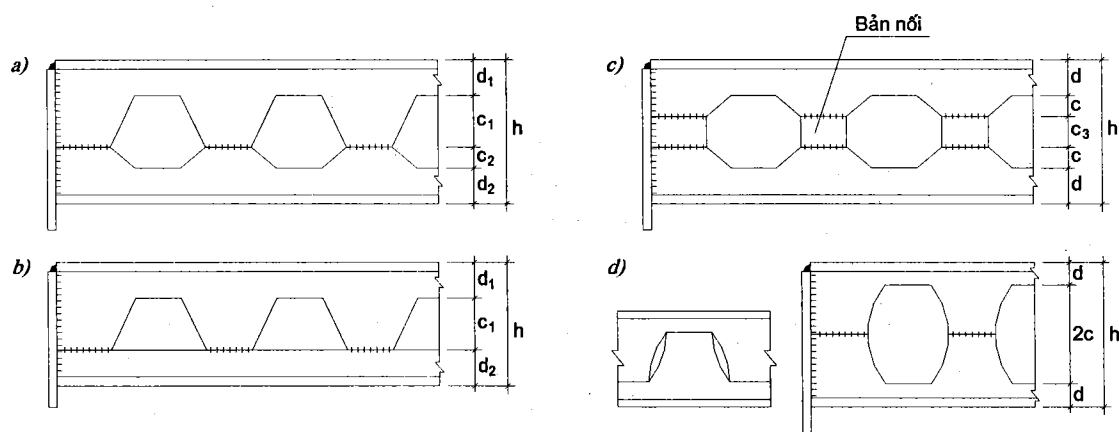
a) sơ đồ đường cắt zíc zắc;

b) dầm khoét lỗ tạo thành.

T cho cánh dưới (hình 3.25b); hoặc khi chế tạo hàng loạt dầm, có thể dùng hai dầm I ban đầu có chiều cao khác nhau để tạo thành hai dầm khoét lỗ (hình 3.25a); cũng có thể dùng thêm bản nối bụng để tạo thành một dầm khoét lỗ có chiều cao lớn hơn (hình 3.25c) hoặc đường cắt có dạng đường cong, bỏ bớt đi một phần bản bụng để sau khi ghép, dầm tạo thành có dạng lỗ cong tròn trịa hơn (hình 3.25d).

Hình dạng, tiết diện các phân tố tạo thành trên cơ sở đường cắt zíc zắc của dầm I bụng đặc ban đầu trình bày cụ thể trên hình 3.24.

$$h = h_0 + c; s = 2(b + e); b = \frac{c}{\operatorname{tg} \varphi}; \operatorname{tg} \varphi = \frac{c}{b}; d = \frac{(h_0 - c)}{2}.$$

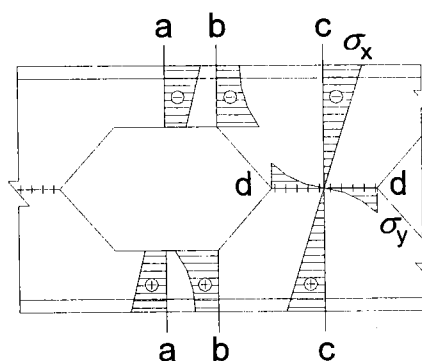


inh 3.25. Một số giải pháp tạo thành dầm khoét lỗ

Với chiều cao mới, tiết diện của dầm khoét lỗ có các đặc trưng kháng uốn mômen quán tính  $I$ , mômen kháng uốn  $W$ , bán kính quán tính của tiết diện  $i \dots$  lớn hơn nhiều so với của tiết diện dầm đặc ban đầu. Vì vậy với cùng một chi phí vật liệu, khi sử dụng dầm khoét lỗ có thể tăng khả năng chịu lực, giảm chuyển vị vào khoảng 20 – 30%. Dầm khoét lỗ được sử dụng thích hợp khi nhịp uốn lớn, tải trọng uốn nhỏ.

Sự tồn tại của các lỗ trên thành bụng làm thay đổi sự phân bố ứng suất trên các tiết diện của dầm khi chịu uốn (hình 3.26). Trên phần cánh còn lại sau khi khoét lỗ, ứng suất uốn phân bố không đều: ở tiết diện đi qua giữa lỗ, ứng suất phân bố theo luật bậc nhất tại tiết diện giữa, giá trị lớn ở thớ biên của tiết diện, giá trị bé ở thớ mép lỗ; ở tiết diện ngang qua góc lỗ, ứng suất phân bố theo luật đường cong, giá trị bé ở thớ biên tiết diện, giá trị lớn ở mép lỗ.

Tại tiết diện nối hai lỗ (dọc đường hàn đối đầu), xuất hiện ứng suất pháp  $\sigma_y$ . Vùng gần lỗ (đặc biệt là góc lỗ) sự phân bố ứng suất khá phức tạp, xuất hiện sự tập trung ứng suất. Vì vậy, khi dầm chịu tải trọng động có thể sẽ xuất hiện vết nứt tại vùng góc lỗ.

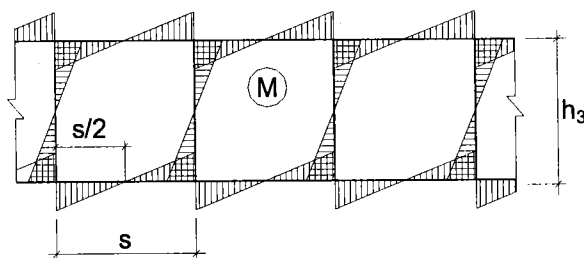


Hình 3.26. Biểu đồ ứng suất pháp trên các tiết diện đặc trưng của dầm khoét lỗ

Tại vùng khoét lỗ, tiết diện làm việc của dầm là hai cánh chữ T, tạo thành bởi bản cánh và một phần bản bụng ngay sát cánh. Ngoài tác dụng của mômen uốn tổng thể, tiết diện dầm tại vùng này còn chịu uốn bởi mômen phụ do lực cắt gây ra. Nhánh cánh tiết diện chữ T đạt đến giới hạn khi biến dạng dẻo xuất hiện tại tiết diện góc lỗ. Phần bản bụng giữa hai lỗ làm việc chủ yếu là chịu cắt.

## 2. Tính toán dầm khoét lỗ

Phương pháp tính toán giới thiệu sau đây sử dụng cho các bài toán thiết kế với các dầm chịu tải trọng tĩnh. Dầm khoét lỗ làm việc như hệ khung không có thanh xiên, tạo thành từ hai phân tố chính là hai cánh ngang, tiết diện chữ T và các phân tố đứng là phần bản bụng nằm giữa hai lỗ.



Hình 3.27. Biểu đồ mômen uốn phụ thêm của dầm khoét lỗ

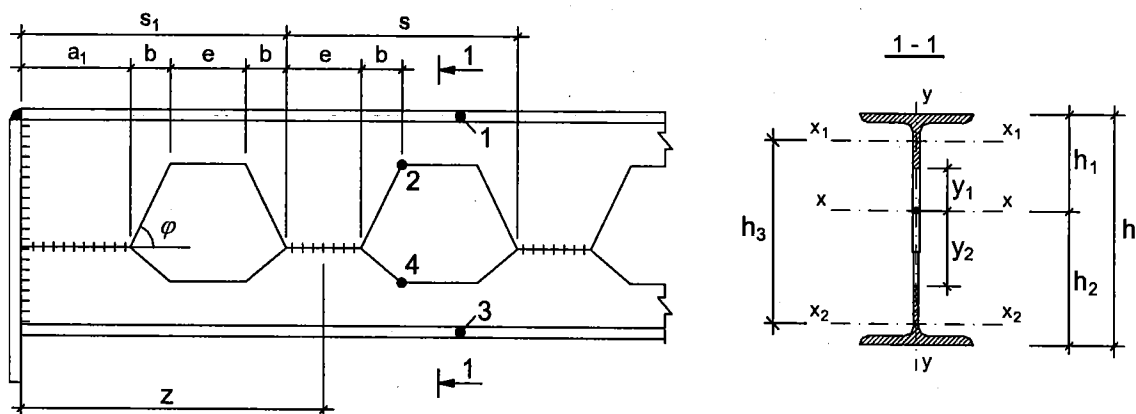
Với sơ đồ này, khi chịu tải trọng, tại điểm giữa các phân tố (thanh) đứng và ngang, mômen uốn bằng không, biểu đồ mômen uốn có dạng như hình 3.27.

### • Tính toán bản cánh vùng lỗ

Cánh dầm vùng lỗ có tiết diện chữ T, ngoài ứng suất pháp do uốn tổng thể, còn phải kể đến ứng suất uốn do lực cắt gây ra cho thanh ngang (hình 3.27). Giá trị mômen uốn cực bộ tại tiết diện cánh sát góc lỗ xác định theo chiều

dài  $e$ . Với tiết diện hai nhánh đối xứng, coi lực cắt trên tiết diện dầm chia đều cho mỗi cánh. Mômen do lực cắt gây ra cho mỗi cánh xác định theo công thức:

$$M_f = \left(\frac{V}{2}\right)\left(\frac{e}{2}\right) = \frac{Ve}{4}. \quad (3.97)$$



Hình 3.28. Sơ đồ một đoạn dầm có lỗ

Trường hợp tổng quát, dầm có tiết diện không đối xứng, chịu tác dụng đồng thời của mômen uốn  $M$ , lực cắt  $V$  (hình 3.29), việc kiểm tra tiến hành riêng biệt cho các điểm đặc trưng của cánh chữ T như sau:

Đối với cánh trên, điểm 1 và 2 :

$$\sigma_1 = M \frac{h_1}{I_x} + V_1 \frac{e}{2W_{f1\max}} \leq f_1 \gamma_c; \quad (3.98)$$

$$\sigma_2 = M \frac{y_1}{I_x} + V_1 \frac{e}{2W_{f1\min}} \leq \frac{f_{u1}}{\gamma_u} \gamma_c. \quad (3.99)$$

Tương tự như vậy, việc kiểm tra cho các điểm 3 và 4 ở cánh dưới dầm

$$\sigma_3 = M \frac{h_2}{I_x} + V_2 \frac{e}{2W_{f2\max}} \leq f_2 \gamma_c; \quad (3.100)$$

$$\sigma_4 = M \frac{y_2}{I_x} + V_2 \frac{e}{2W_{f2\min}} \leq \frac{f_{u2}}{\gamma_u} \gamma_c, \quad (3.101)$$

trong đó:  $I_x$  – mômen quán tính của tiết diện có lỗ, lấy với trục  $x-x$ ;

$V_1, V_2$  – lực cắt tương ứng với tiết diện chữ T của cánh trên và dưới,

có thể xác định theo tỷ lệ với mômen quán tính,

$$V_1 = \frac{VI_1}{(I_1 + I_2)} ; V_2 = \frac{VI_2}{(I_1 + I_2)} ; \quad (3.102)$$

$I_1, I_2$  – mômen quán tính của phần tiết diện cánh trên, cánh dưới lấy với trục bản thân của nó (trục song song với bản cánh).

$Wf_{1max}, Wf_{1min}, Wf_{2max}, Wf_{2min}$  – mômen kháng uốn của hai thớ tiết diện chữ T cánh trên, cánh dưới, lấy với trục trọng tâm  $x-x$ .

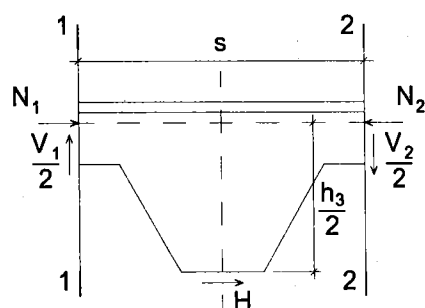
$f_1, f_{u1}, f_2, f_{u2}$  – cường độ tính toán về uốn và về bền tức thời tương ứng với tiết diện chữ T cánh trên và cánh dưới.

Tại các điểm góc lỗ (điểm 2 và 4) ứng suất được kiểm tra theo điều kiện cường độ bền tức thời  $f_u$  với hệ số độ tin cậy  $\gamma_u$  là do tại những điểm này có sự tập trung ứng suất vùng góc lỗ. Lưu ý rằng, trong dầm lực dọc trục không lớn, tính toán với dầm thông thường có thể bỏ qua; nhưng với các kết cấu kiểu dầm kết hợp với giằng thì cần phải kể đến nó. Khi đó, trong các biểu thức về trái của (3.98), (3.99), (3.100) và (3.101) phải bổ sung thêm thành phần ứng suất do lực dọc sinh ra.

### • Lực trượt dọc giữa hai nửa dầm

Tách ra một phần dầm nằm giữa hai lỗ, có hình dạng tiết diện và lỗ đối xứng (hình 3.29) xét sự cân bằng của nó trong hệ không có thanh xiên (hình 3.27).

Giả thiết rằng trên mỗi cánh chữ T không có mômen uốn cục bộ, chỉ có lực cắt  $V$  và lực dọc do mômen uốn gây ra.



Hình 3.29. Mô hình để xác định lực trượt dọc bụng dầm

Thiết lập phương trình cân bằng của

phần tách ra để có được quan hệ giữa lực trượt dọc  $H$  với nội lực ở tiết diện 1-1 và 2-2 như sau:

$$\sum X = 0; H = N_2 - N_1 = \frac{(M_2 - M_1)}{h_3} \quad (3.103)$$

$$\sum M = 0;$$

$$\frac{Hh_3}{2} = \frac{s}{2} \left( \frac{V_1}{2} + \frac{V_2}{2} \right) = \frac{s}{4} (V_1 + V_2); \Rightarrow H = \frac{s}{h_3} \frac{(V_1 + V_2)}{2} = \frac{sV_{TB}}{h_3}. \quad (3.104)$$



Lực cắt  $V$  thường lớn nhất tại gối tựa, vì vậy khoảng bản bụng giữa hai lỗ gân đầu dầm sẽ chịu lực lớn nhất. Tiết diện nguy hiểm nhất cách gối tựa đoạn  $z = a_1 + s - 0,5e = s_1 + 0,5e$ . Đường hàn đối đầu dọc nối nửa trên với nửa dưới của dầm phải đủ chịu lực trượt này. Kiểm tra điều kiện trượt dọc của bản này theo công thức:

$$\tau = \frac{H}{t_w e} = \frac{s V_3}{h_3 t_w e} \leq f_{vw} \gamma_c = f_v \gamma_c, \quad (3.105)$$

trong đó:  $s, e, s_1, a_1$  – các kích thước xác định theo hình 3.28;

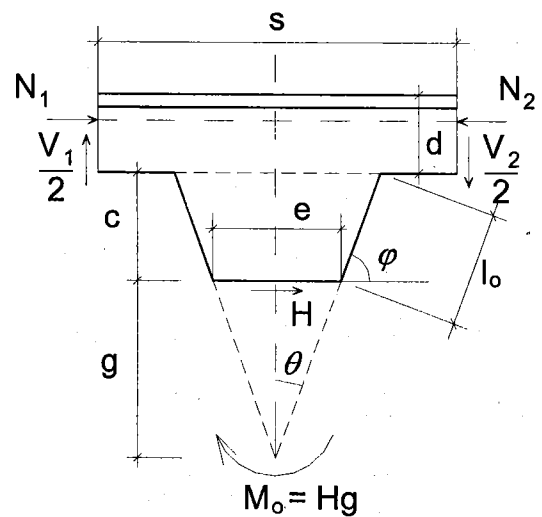
$h_3$  – khoảng cách trọng tâm tiết diện hai cánh chữ T của dầm (hình 3.28);

$t_w$  – chiều dày bản bụng dầm;

$V_3$  – lực cắt ở tiết diện giữa của phần bụng đặc, cách gối tựa đoạn bằng  $z$  (hình 3.28);

• **Kiểm tra ổn định cục bộ của bản bụng dầm**

Khi kiểm tra ổn định cục bộ của bản bụng dầm tại chỗ không khoét lỗ, coi mỗi nửa bản bụng làm việc như một côngxôn, ngàm với phần cánh chữ T của dầm ở mức mép lỗ; chịu tác dụng của lực trượt dọc dầm  $H$  ở đầu tự do (hình 3.30). Dưới tác dụng của lực trượt dọc  $H$ , thớ mép chịu nén côngxôn hình thang có thể bị mất ổn định theo chiều dài nghiêng  $l_o = c / \sin \varphi$  (hình 3.30).



Hình 3.30. Mô hình bài toán ổn định cục bộ bản bụng

Xét dải có chiều rộng 1 đơn vị, dày  $t_w$ ; diện tích  $A = (1 \cdot t_w)$ ; mômen quán tính đối với trục nằm trong mặt phẳng bản bụng  $I = (1 \cdot t_w^3)/12$ ; bán kính quán tính  $i$  xác định theo công thức:

$$i = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{1 \times t_w^3}{12} \cdot \frac{1}{1 \times t_w}} = 0,289 t_w. \quad (3.106)$$

Theo các công trình nghiên cứu thì việc kiểm tra ổn định vùng nén của phần bản bụng giữa hai lỗ theo công thức:

$$\sigma_p = \frac{3Htg\theta}{4t_w e\theta^2} \leq \varphi f \gamma_c, \quad (3.107)$$

trong đó:  $\varphi$  – hệ số uốn dọc, xác định theo độ mảnh

$$\lambda_o = \frac{l_o}{i} = \frac{c}{0,289t_w \sin \varphi}.$$

Trong công thức (3.107), vế trái là giá trị ứng suất uốn của biên chịu nén của côngxon hình thang; vế phải là ứng suất cho phép khi coi dải biên dài  $l_o$  như một cột chịu nén. Từ công thức (3.105), suy ra lực trượt  $H = \tau e t_w$ ; thay vào (3.107) và gọi ứng suất tiếp tới hạn là giá trị ứng suất tiếp tương ứng với thời điểm xuất hiện ứng suất pháp tới hạn để bản bụng không bị mất ổn định:

$$\begin{aligned} \text{ta có} \quad \sigma &= \frac{3\tau e t_w t g \theta}{4t_w e \theta^2} = \frac{3\tau t g \theta}{4\theta^2} \\ \Rightarrow \quad \tau_{cr} &= \frac{4\theta^2 \sigma_{cr}}{3t g \theta} \leq f_v \gamma_c. \end{aligned} \quad (3.108)$$

Nhận thấy rằng, ứng suất tiếp tương ứng với thời điểm xuất hiện ứng suất pháp tới hạn, được xác định theo góc nghiêng  $\theta$  (hoặc  $\varphi$ ); có thể xác định  $\tau_{cr}$  theo bảng 3.9.

**Bảng 3.9.** Quan hệ giữa ứng suất tiếp và ứng suất pháp tới hạn của bản bụng dầm khoét lỗ

| $\varphi$ | $\theta$ | $\tau_{cr}$          | $\varphi$ | $\theta$ | $\tau_{cr}$          |
|-----------|----------|----------------------|-----------|----------|----------------------|
| 45°       | 45°      | 0,8225 $\sigma_{cr}$ | 55°       | 35°      | 0,7106 $\sigma_{cr}$ |
| 50°       | 40°      | 0,7745 $\sigma_{cr}$ | 60°       | 30°      | 0,6332 $\sigma_{cr}$ |

Nếu ứng suất tiếp không vượt quá giá trị trong bảng thì không phải kiểm tra ổn định cục bộ của phần bản bụng giữa hai lỗ và cũng không cần gia cường xung quanh lỗ. Khi không muốn gia cường mà điều kiện của công thức (3.108) vẫn phải thỏa mãn thì phải tăng chiều dài  $e$ .

Khi tỷ số giữa chiều cao và chiều dày bản bụng  $\frac{h_w}{t_w} > 2,5 \sqrt{\frac{E}{f}}$  thì cần đặt thêm các sườn cứng ngang như đối với dầm thông thường có tiết diện dạng

chữ I bụng đặc. Nếu có tải trọng tập trung thì chỉ được đặt tải trọng tập trung tại các tiết diện không có lỗ giảm yếu.

Với dầm tiết diện chữ I chịu uốn nén đồng thời, khi độ mảnh tương đối  $\bar{\lambda}$  nằm trong khoảng từ 0,8 đến 4 và khi  $l \leq \frac{b_f}{h_w} \leq 2$  thì tỷ số  $\frac{h_w}{t_w}$  không được vượt quá giá trị tính theo công thức:

$$\frac{h_w}{t_w} = (0,40 + 0,07\bar{\lambda}) \left( 1 + 0,25 \sqrt{2 - \frac{b_f}{h_w}} \right) \sqrt{\frac{E}{f}}; \text{ với dầm khoét lỗ, lấy } \bar{\lambda} = 1,4.$$

### • Ổn định tổng thể của dầm khoét lỗ

Hiện tượng, nguyên nhân, bản chất ổn định tổng thể của dầm khoét lỗ giống như với dầm bụng đặc thông thường. Vì vậy các điều kiện để dầm không bị mất ổn định, công thức kiểm tra và các biện pháp tăng cường ổn định tổng thể cho dầm khoét lỗ giống như của dầm bụng đặc; nhưng trong các công thức kiểm tra thì đặc trưng hình học được tính đối với tiết diện có khoét lỗ.

### • Kiểm tra dầm khoét lỗ theo điều kiện biến dạng (độ võng)

Việc tính toán độ võng, quy định và công thức kiểm tra tương tự như đối với dầm bụng đặc thông thường; nhưng dùng mômen quán tính của tiết diện giảm yếu tại chỗ khoét lỗ để tính độ võng.

Khi tỷ số giữa nhịp và chiều cao bản bụng  $\frac{l}{h_w} \geq 12$  thì độ võng thực tế của

dầm sẽ bị tăng lên do biến dạng trượt của phần bụng nằm giữa hai lỗ và do uốn riêng rẽ hai cánh tại vùng có lỗ. Trong trường hợp như vậy, khi tính độ võng, mômen quán tính của tiết diện dầm (tại chỗ khoét lỗ) phải được nhân với hệ số 0,95.

# 4

## CỘT THÉP

### §4.1. KHÁI QUÁT CHUNG

#### 1. Đặc điểm chung

Cột là kết cấu thẳng đứng làm nhiệm vụ đỡ các kết cấu khác như dầm, giàn và truyền tải trọng nhận từ các kết cấu đó xuống móng.

Cột (hay thanh nén) được sử dụng rộng rãi trong kết cấu thép.

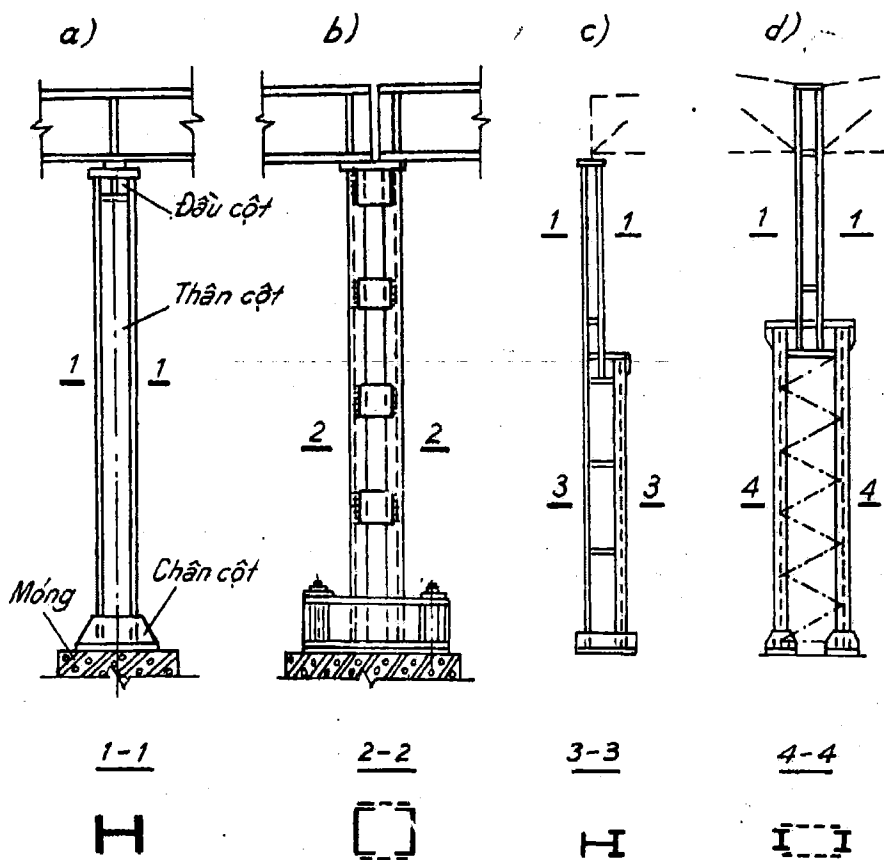
Cột có ba bộ phận chính: đầu cột, thân cột và chân cột (hình 4.1).

- *Đầu cột* là bộ phận đỡ các kết cấu bên trên và phân phối tải trọng cho tiết diện thân cột.
- *Thân cột* là bộ phận chịu lực cơ bản, truyền tải trọng từ trên xuống dưới.
- *Chân cột* là bộ phận liên kết cột vào móng, phân phối tải trọng từ cột xuống móng.

#### 2. Các loại cột

Cột thép có nhiều loại khác nhau tùy theo sự phân loại.

- *Theo sử dụng* có cột nhà công nghiệp, cột nhà khung nhiều tầng, cột đỡ sàn công tác, cột đỡ đường ống, cột đường dây tải điện,...
- *Theo cấu tạo* có cột đặc (hình 4.1a,c), cột rỗng (hình 4.1b), cột tiết diện không đổi (hình 4.1a,b), cột tiết diện thay đổi như: cột bậc (hình 4.1c,d), cột có chiều cao tiết diện thay đổi theo luật bậc nhất,.... Cột bậc hay sử dụng trong nhà công nghiệp có cầu trục, khi dầm đỡ cầu trục tựa vào thân cột.
- *Theo sơ đồ chịu lực* có cột nén đúng tâm – khi lực dọc trục đặt đúng trọng tâm tiết diện, cột nén lệch tâm – khi lực dọc trục đặt ngoài trọng tâm tiết diện, cột nén uốn – khi cột vừa chịu lực dọc trục vừa chịu lực vuông góc với trục. Trong thực tế thường gặp cột nén lệch tâm hay cột nén uốn.



Hình 4.1. Cột thép

a) cột đặc tiết diện không đối; b) cột rỗng tiết diện không đối;  
c) cột bậc tiết diện đặc; d) cột bậc đoạn trên đặc đoạn dưới rỗng.

### 3. Sơ đồ tính, chiều dài tính toán và độ mảnh của cột

#### a. Sơ đồ tính – Liên kết đầu cột và chân cột

- *Sơ đồ tính của cột* là trục dọc của cột có các liên kết ở chân cột và đầu cột theo các phương (thường là theo hai phương trục chính  $x, y$  của tiết diện cột). Các liên kết này có thể là khớp cố định, ngàm, ngàm trượt, ngàm đàn hồi, đầu tự do, v.v... tùy thuộc vào điều kiện và cấu tạo cụ thể của liên kết giữa cột với móng, giữa cột với các xà ngang (dầm, giàn). Ví dụ đầu cột theo phương  $x$  không có chuyển vị ngang, cột liên kết khớp với dầm nên ta có sơ đồ liên kết theo phương  $x$  ở đầu cột là khớp cố định, còn theo phương  $y$  đầu cột tự do chuyển vị ngang nhưng không xoay được vì nó liên kết cứng với xà ngang có  $EI \approx \infty$  nên theo phương  $y$  ta có sơ đồ liên kết ở đầu cột là ngàm trượt.

- *Liên kết ở chân cột.* Với giả thiết móng là một khối cứng và không có chuyển vị khi chịu tải trọng từ cột truyền vào nó (điều này phù hợp khi móng chịu tải trọng có biến dạng của nền dưới đáy móng được xem là nhỏ không đáng kể), ta có sơ đồ liên kết cột với móng là khớp cố định hoặc là ngàm tùy theo cấu tạo cụ thể của liên kết. Chân cột khớp thường dùng cho cột nén đúng tâm; đối với cột nén lệch tâm (nén uốn) nó được sử dụng khi yêu cầu thiết kế không có mômen ở chân cột ví dụ khi nền đất yếu. Liên kết ngàm dùng cho cột nén lệch tâm (nén uốn) và cho cả cột nén đúng tâm, nó làm tăng độ ổn định cho cột.
- *Liên kết ở đầu cột.* Đầu cột liên kết với các xà ngang có thể là liên kết khớp hoặc liên kết cứng (liên kết cứng giữa cột và xà ngang là liên kết chịu được mômen và tại đó góc hợp bởi trục cột và trục xà ngang không bị thay đổi). Đối với cột hệ khung, thường dùng liên kết cứng; cột nén đúng tâm thường dùng liên kết khớp.

## b. Chiều dài tính toán

Chiều dài tính toán của cột  $l_0$  phụ thuộc vào sơ đồ tính và nội lực dọc trong cột, đối với cột tiết diện không đổi hoặc của các đoạn cột bậc  $l_0$  là:

$$l_0 = \mu l, \quad (4.1)$$

trong đó:  $l$  – chiều dài hình học của cột, của đoạn cột đối với cột bậc, của chiều cao tầng (theo sơ đồ tính khung) đối với cột khung;  
 $\mu$  – hệ số chiều dài tính toán,  $\mu$  phụ thuộc vào đặc điểm của nội lực nén dọc trong cột và sơ đồ liên kết ở đầu cột và chân cột. Với cột tiết diện không đổi có sơ đồ liên kết đầu cột được xác định rõ ràng (khớp cố định, đầu tự do, ngàm, ngàm trượt) hệ số  $\mu$  lấy theo bảng 4.1. Các trường hợp khác như cột bậc, cột trong hệ khung ... xác định theo tiêu chuẩn thiết kế kết cấu thép và các sổ tay, tài liệu chuyên ngành về kết cấu thép.

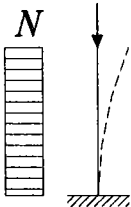
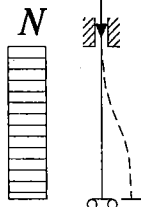
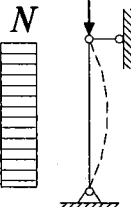
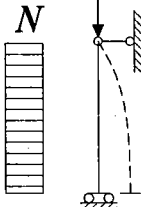
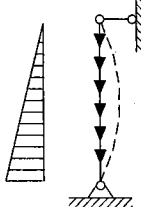
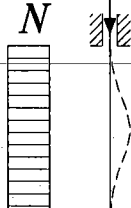
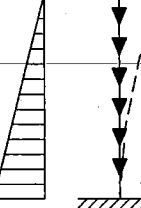
Chiều dài tính toán của cột có tiết diện thay đổi (bề cao, bề rộng tiết diện thay đổi theo luật bậc nhất, như các sơ đồ trong bảng 4.2) ngoài hệ số  $\mu$  như cột tiết diện không đổi, còn xét đến sự thay đổi tiết diện của cột qua hệ số  $\mu_j$  (gọi là hệ số chiều dài tính toán bổ sung). Giá trị của chiều dài tính toán của cột này là:

$$l_0 = \mu_j \mu l, \quad (4.2)$$

trong đó: hệ số  $\mu_j$  lấy theo bảng 4.2.

Như đã nêu ở trên theo các phương  $x$  và  $y$  liên kết ở đầu cột cũng như chân cột có thể khác nhau, do vậy chiều dài tính toán của cột cũng có thể khác nhau theo các phương này. Khi tính toán cần phải xác định chiều tính toán ( $l_x, l_y$ ) theo hai trục chính ( $x - x; y - y$ ) của tiết diện cột để xác định độ mảnh của cột ( $\lambda_x, \lambda_y$ ) theo hai trục này.  $l_x$  là chiều dài tính toán của cột khi cột bị uốn dọc (bị cong trong mặt phẳng chứa 2 trục  $yz$ ,  $z$  là trục dọc của cột) tiết diện cột xoay quanh trục  $x$  (gọi tắt là chiều dài tính toán của cột theo phương  $x$ ),  $l_y$  tương tự.

**Bảng 4.1.** Hệ số chiều dài tính toán  $\mu$  của cột tiết diện không đổi

| Số TT | Sơ đồ kết cấu, tải trọng và nội lực $N$                                             | $\mu$ | Số TT | Sơ đồ kết cấu, tải trọng và nội lực $N$                                              | $\mu$ |
|-------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------|-------|--------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| 1     |    | 2     | 5     |    | 1     |
| 2     |   | 1     | 6     |   | 2     |
| 3     |  | 0,7   | 7     |  | 0,725 |
| 4     |  | 0,5   | 8     |  | 1,12  |

### c. Độ mảnh của cột

Theo hai trục chính ( $x, y$ ) của tiết diện cột ta có các độ mảnh  $\lambda_x, \lambda_y$  của cột theo hai trục này là :

$$\lambda_x = \frac{l_x}{i_x}; \quad \lambda_y = \frac{l_y}{i_y}, \quad (4.3)$$

trong đó:  $i_x, i_y$  – bán kính quán tính của tiết diện cột tính theo trục  $x$  và  $y$ .

Thông thường các cột có  $\lambda_x \neq \lambda_y$ . Khả năng chịu nén đúng tâm của cột được quyết định bởi độ mảnh lớn nhất ( $\lambda_{\max}$ ) trong hai độ mảnh  $\lambda_x, \lambda_y$ .

**Bảng 4.2.** Hệ số chiều dài tính toán bổ sung  $\mu_l$  của cột tiết diện thay đổi

| Sơ đồ hình dạng cột | $l_1/l$ | $\mu_l$ khi tỉ số $l_{\min}/l_{\max}$ 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 |
|                     | 0,0     | 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 | –    |

Một cột nén đúng tâm được xem là hợp lý về khả năng chịu lực khi đảm bảo điều kiện đồng ổn định theo hai phương trục chính của tiết diện theo công thức (4.4). Khi thiết kế cột nén đúng tâm nên cố gắng đạt được điều kiện này.

$$\lambda_x = \lambda_y. \quad (4.4)$$

Để cột làm việc bình thường trong quá trình sử dụng, độ mảnh lớn nhất  $\lambda_{\max}$  của cột không được vượt quá giới hạn  $[\lambda]$  cho ở bảng 25 trong tiêu chuẩn thiết kế kết cấu thép TCXDVN 338–2005 hoặc bảng I.16 phụ lục I.

$$\lambda_{\max} \leq [\lambda]. \quad (4.5)$$



## §4.2. CỘT ĐẶC CHỊU NÉN ĐÚNG TÂM

### 1. Hình thức tiết diện

Cột đặc có các hình thức tiết diện hở và tiết diện kín. Hình thức tiết diện hở chủ yếu có hai dạng là dạng tiết diện chữ H và dạng tiết diện chữ thập, dạng tiết diện chữ H là dạng thông dụng hơn cả.

#### a. Tiết diện dạng chữ H

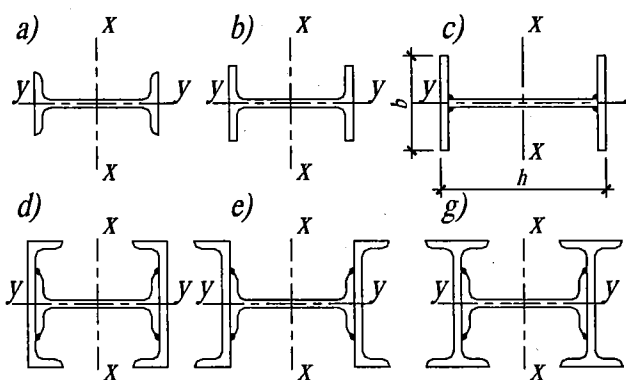
Cột tiết diện dạng chữ H có ưu điểm dễ liên kết với các kết cấu, dễ thỏa mãn các yêu cầu về kiến trúc của công trình, hình thức đơn giản, dễ chế tạo (hình 4.2).

Cột bằng thép hình I phổ thông (hình 4.2a) có cấu tạo đơn giản nhưng có  $i_x$  lớn hơn  $i_y$  quá nhiều, nên với cột nén đúng tâm chỉ dùng hợp lý khi cột có  $l_x$  rất lớn so với  $l_y$  để có thể thỏa mãn hoặc gần thỏa mãn điều kiện theo công thức (4.4).

Cột bằng thép hình I cánh rộng (hình 4.2b) hợp lý hơn thép hình I phổ thông, vì sự chênh lệch giữa  $i_x$  và  $i_y$  của nó không lớn như thép hình I phổ thông.

Khi tải trọng lớn thì dùng cột tiết diện chữ H ghép từ ba bản thép (hình 4.2c).

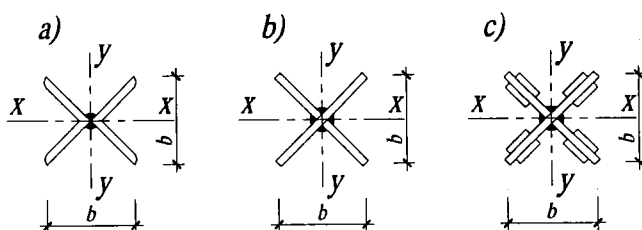
Ngoài ra, tùy trường hợp có thể dùng cột có tiết diện chữ H ghép từ thép hình (hình 4.2d, e, g). Loại cột này thường nặng hơn cột tổ hợp từ ba bản thép.



Hình 4.2. Các dạng tiết diện chữ H của cột đặc

#### b. Tiết diện dạng chữ thập

Cột đặc tiết diện dạng chữ thập (hình 4.3) có cấu tạo đơn giản, có  $i_x = i_y$ , sử dụng hợp lý khi cột nén đúng tâm có  $l_x = l_y$  vì nó thỏa mãn điều kiện ổn định theo hai phương như nhau.



Hình 4.3. Các dạng tiết diện chữ thập của cột đặc

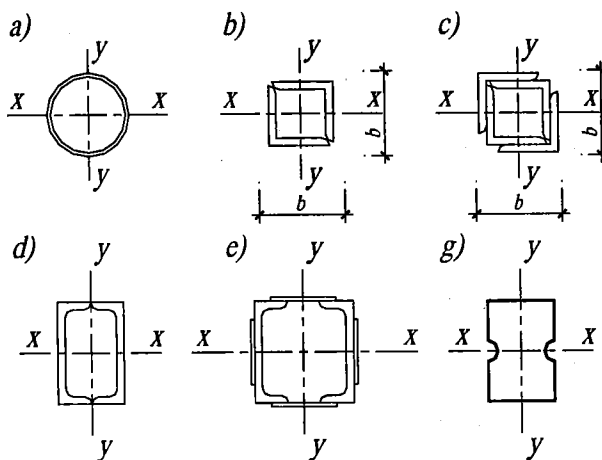
Cột tiết diện chữ thập liên kết với các kết cấu không tiện bằng cột tiết diện chữ H và việc đáp ứng các yêu cầu về kiến trúc của công trình khó hơn cột tiết diện chữ H.

Dạng tiết diện chữ thập ghép từ hai thép góc (hình 4.3a) dùng cho các cột có tải trọng không lớn. Dạng tiết diện chữ thập mỗi cánh được ghép từ ba hay nhiều bản thép (hình 4.3b, c) dùng cho cột nặng (có tải trọng rất lớn).

### c. Tiết diện kín

Các dạng tiết diện kín của cột (hình 4.4) có bán kính quán tính lớn hơn tiết diện hở cùng diện tích, nên chịu lực tốt hơn.

Cột thép ống (hình 4.4a) là hợp lý nhất về trọng lượng và khả năng chịu nén đúng tâm. Khuyết điểm của nó là khó liên kết với kết cấu khác. Ngoài thép ống, cột tiết diện kín có thể tạo nên từ hai thép góc (hình 4.4b), bốn thép góc (hình 4.4c), từ hai thép chữ [ (hình 4.4d). Khi tải trọng lớn dùng hai thép [ và tăng cường thêm bằng thép bản (hình 4.4e). Cột thép hình dấp thành mỏng (hình 4.4g), có trọng lượng nhẹ dùng với tải trọng nhỏ.



Hình 4.4. Các dạng tiết diện kín của cột đặc

Ưu việt của cột tiết diện kín là có thể đáp ứng được điều kiện đồng ổn định theo công thức (4.4) đồng thời có hình thức gọn và đẹp. Nhược điểm của nó là không bảo dưỡng được mặt bên trong, do vậy ngay từ khi thiết kế và chế tạo cần phải có giải pháp bảo vệ mặt bên trong cột.

## 2. Tính toán cột đặc chịu nén đúng tâm

### a. Tính toán về bền

Các cột đặc chịu nén đúng tâm khi trên thân của chúng có giảm yếu tiết diện (như có lỗ khoét để bắt bulông liên kết với các chi tiết hoặc các kết cấu khác,...) được kiểm tra về bền theo công thức (4.6):

$$\sigma = \frac{N}{A_n} \leq f\gamma_c, \quad (4.6)$$

trong đó:  $N$  – lực dọc tính toán;

$A_n$  – diện tích tiết diện thực (đã trừ phần giảm yếu);

$f$  – cường độ tính toán của vật liệu;

$\gamma_c$  – hệ số điều kiện làm việc của cột.

### b. Tính toán về ổn định tổng thể

Các cột đặc chịu nén đúng tâm thường mất khả năng chịu lực do mất ổn định tổng thể. Chúng được kiểm tra về ổn định tổng thể theo công thức (4.7), đồng thời phải đảm bảo yêu cầu về độ mảnh theo công thức (4.5):

$$\frac{N}{\varphi_{\min} A} \leq f\gamma_c, \quad (4.7)$$

trong đó:  $N, f, \gamma_c$  – như trong công thức (4.6);

$A$  – diện tích tiết diện nguyên (chưa trừ phần giảm yếu);

$\varphi_{\min}$  – hệ số uốn dọc nhỏ nhất, lấy theo  $\lambda_{\max}$  của cột.

Hệ số uốn dọc  $\varphi_{\min}$  được xác định theo các công thức (4.8), (4.9), (4.10), cũng có thể tra bảng D.8 phụ lục D – tiêu chuẩn thiết kế kết cấu thép TCXDVN 338–2005 hoặc bảng II.1 phụ lục II theo độ mảnh  $\lambda$  và cường độ tính toán  $f$  của thép.

– Khi  $0 < \bar{\lambda} \leq 2,5$

$$\varphi = 1 - \left( 0,073 - 5,53 \frac{f}{E} \right) \bar{\lambda} \sqrt{\bar{\lambda}}; \quad (4.8)$$

– Khi  $2,5 < \bar{\lambda} \leq 4,5$

$$\varphi = 1,47 - 13 \frac{f}{E} - \left( 0,371 - 27,3 \frac{f}{E} \right) \bar{\lambda} + \left( 0,0275 - 5,53 \frac{f}{E} \right) \bar{\lambda}^2; \quad (4.9)$$

– Khi  $\bar{\lambda} > 4,5$

$$\varphi = \frac{332}{\bar{\lambda}^2 (51 - \bar{\lambda})}, \quad (4.10)$$

trong đó :  $\bar{\lambda}$  – độ mảnh quy ước,  $\bar{\lambda} = \lambda \sqrt{\frac{f}{E}}$ . (4.11)

### c. Tính toán về ổn định cục bộ

Các cột đặc được ghép từ các thép bản hoặc bằng các thép hình dẹt nguội, khi cột làm việc, trong các bản thép này có ứng suất pháp nén. Tại một vị trí nào đó trên các bản thép này ứng suất pháp nén gây cho nó bị biến dạng (bị cong vênh) ra ngoài mặt phẳng của bản, như vậy gọi là cột bị mất ổn định cục bộ. Ứng suất tối đa mà bản thép chịu được không gây cho nó từ phẳng sang cong vênh ra ngoài mặt phẳng bản gọi là ứng suất tối hạn của bản. Tại chỗ bị mất ổn định cục bộ, bản thép xem như mất khả năng làm việc, dẫn đến làm giảm khả năng chịu lực của cột, cũng như làm cho cột sớm bị phá hoại.

Để khả năng chịu lực của cột không bị hạn chế bởi điều kiện ổn định cục bộ, ứng suất giới hạn về ổn định cục bộ (ứng suất giới hạn của bản) phải lớn hơn hoặc hợp lý nhất là bằng ứng suất giới hạn về ổn định tổng thể. Từ điều kiện này có được độ mảnh giới hạn của bản đảm bảo cho nó không bị mất ổn định cục bộ trước khi cột mất ổn định tổng thể.

• *Điều kiện ổn định cục bộ của bản bụng*

$$\frac{h_w}{t_w} \leq \left[ \frac{h_w}{t_w} \right], \quad (4.12)$$

trong đó :  $h_w$  – chiều cao tính toán của bản bụng, xác định như bản bụng của dầm;

$t_w$  – chiều dày bản bụng;

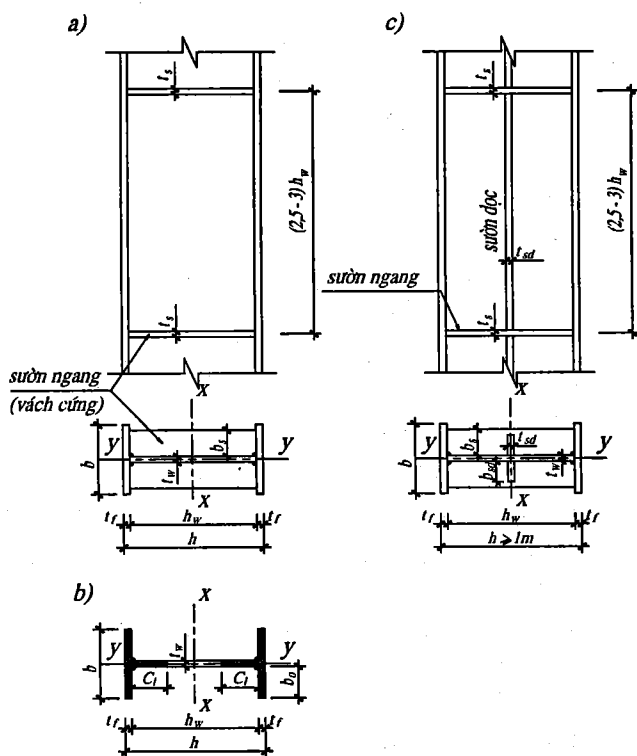
$\left[ \frac{h_w}{t_w} \right]$  – độ mảnh giới hạn của bản bụng, lấy theo bảng 4.3.

Khi  $\frac{h_w}{t_w} > \left[ \frac{h_w}{t_w} \right]$  không quá hai lần có thể không cần sửa đổi kích thước

bản bụng, nếu cột đảm bảo điều kiện ổn định tổng thể theo công thức (4.7) với diện tích  $A$  chỉ kể đến hai phần bản bụng giáp hai cánh, mỗi phần rộng

là  $C_1 = 0,5t_w \left[ \frac{h_w}{t_w} \right]$ , gọi là phần bản bụng hữu dụng.

Khi cột có chiều cao tiết diện lớn (khoảng 1m trở lên) mà điều kiện ổn định cục bộ của bản bụng theo công thức (4.12) không đảm bảo, để bản bụng không quá dày hoặc tỷ lệ phần diện tích tiết diện hữu dụng của bản bụng trên diện tích tiết diện bản bụng nhỏ, ta có thể gia cường bụng cột bằng một cặp sườn dọc đặt vào giữa bản bụng (hình 4.5c). Tuy nhiên, việc gia cường bụng cột bằng sườn dọc lại làm tăng công chế tạo, cấu tạo và chế tạo khó



Hình 4.5. Sườn gia cường bản bụng cột

khẩn phức tạp hơn. Trường hợp này sườn dọc phải có kích thước  $b_{sd} \geq 10t_w$ ;  $t_{sd} \geq 0,75t_w$  và  $\frac{b_{sd}}{t_{sd}} \leq \left[ \frac{b_o}{t} \right]$ ,  $\left[ \frac{b_o}{t} \right]$  xác định theo bảng 4.4, tiết diện của

sườn này được kể vào tiết diện tính toán của cột. Khi đó giá trị độ mảnh giới hạn của bản bụng bằng giá trị ở bảng 4.3 nhân với hệ số  $\beta$  có giá trị như sau:

Khi  $I_{sd} \leq 6h_w t_w^3$ :

$$\beta = 1 + \frac{0,4 I_{sd}}{h_w t_w^3} \left( 1 - \frac{0,1 I_{sd}^3}{h_w t_w^3} \right)$$

Khi  $I_{sd} > 6h_w t_w^3$ :

$$\beta = 1,$$

trong đó:  $I_{sd}$  – mômen quán tính của sườn dọc đối trục ở bụng cột vuông góc với cạnh  $b_{sd}$ ;

$h_w$  – chiều cao tính toán của bụng cột khi chưa đặt sườn dọc.

**Bảng 4.3.** Độ mảnh giới hạn  $\left[ \frac{h_w}{t_w} \right]$  của bản bụng cột đặc nén đúng tâm

| Loại tiết diện cột    | Giá trị $\bar{\lambda}$  | Công thức tính $\left[ \frac{h_w}{t_w} \right]$                                 |
|-----------------------|--------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| Chữ I                 | $\bar{\lambda} < 2,0$    | $(1,3 + 0,15 \bar{\lambda}^2) \sqrt{E/f}$                                       |
|                       | $\bar{\lambda} \geq 2,0$ | $(1,2 + 0,35 \bar{\lambda}) \sqrt{E/f}$ ; nhưng không lớn hơn $2,3 \sqrt{E/f}$  |
| Hình hộp và Chữ [ cán | $\bar{\lambda} < 1,0$    | $1,2 \sqrt{E/f}$                                                                |
|                       | $\bar{\lambda} \geq 1,0$ | $(1,0 + 0,2 \bar{\lambda}) \sqrt{E/f}$ ; nhưng không lớn hơn $1,6 \sqrt{E/f}$   |
| Chữ [ tổ hợp          | $\bar{\lambda} < 0,8$    | $\sqrt{E/f}$                                                                    |
|                       | $\bar{\lambda} \geq 0,8$ | $(0,85 + 0,19 \bar{\lambda}) \sqrt{E/f}$ ; nhưng không lớn hơn $1,6 \sqrt{E/f}$ |

Ngoài ra khi  $\frac{h_w}{t_w} \geq 2,3 \sqrt{\frac{E}{f}}$  phải đặt các sườn cứng ngang cách nhau  $a = (2,5 \div 3)h_w$  để gia cường cho bụng cột không bị mất ổn định cục bộ dưới tác dụng của ứng suất tiếp. Trong mọi trường hợp ít nhất trên mỗi đoạn chuyên chở phải đặt hai sườn ngang. Kích thước của sườn ngang phải là:

$$t_s \geq 2b_s \sqrt{\frac{f}{E}};$$

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

$$b_s \geq \frac{h_w}{24} + 50 \text{ mm : khi bố trí sườn một bên.}$$

- Điều kiện ổn định cục bộ của bản cánh

$$\frac{b_o}{t_f} \leq \left[ \frac{b_o}{t} \right], \quad (4.13)$$

trong đó:  $b_o$  – chiều rộng tính toán của phần bản cánh nhô ra (hình 4.5b) xác định như đối với cánh dầm;  
 $t_f$  – chiều dày bản cánh;  
 $\left[ \frac{b_o}{t} \right]$  – độ mảnh giới hạn của phần bản nhô ra lấy theo bảng 4.4.

**Bảng 4.4.** Độ mảnh giới hạn  $[b_0/t]$  của phần bản cánh nhô ra của cột

| Hình thức tiết diện                                                                                    | $[b_0/t]$ khi $0,8 \leq \bar{\lambda} \leq 4$ |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| Chữ I và chữ T, cánh không viền mép                                                                    | $(0,36 + 0,1\bar{\lambda})\sqrt{E/f}$         |
| Thép góc đều cạnh và thép định hình cong không viền bằng sườn (trừ tiết diện dạng chữ I)               | $(0,40 + 0,07\bar{\lambda})\sqrt{E/f}$        |
| Thép định hình cong (thép hình dẹt nguội) có sườn viền                                                 | $(0,50 + 0,18\bar{\lambda})\sqrt{E/f}$        |
| Cánh thép hình chữ I và cánh lớn thép góc không đều cạnh                                               | $(0,43 + 0,08\bar{\lambda})\sqrt{E/f}$        |
| Khi $\bar{\lambda} < 0,8$ lấy $\bar{\lambda} = 0,8$ và khi $\bar{\lambda} > 4$ lấy $\bar{\lambda} = 4$ |                                               |

**d. Khả năng chịu nén đúng tâm  $[N]$  của cột đặc**

- *Khả năng theo điều kiện bền*

Từ công thức (4.6) có khả năng chịu nén đúng tâm của cột đặc  $[N]_b$  là:

$$[N]_b = A_n f_{yc}. \quad (4.14)$$

- *Khả năng theo điều kiện ổn định tổng thể*

Từ công thức (4.7) có khả năng chịu nén đúng tâm của cột đặc  $[N]_\phi$  là:

$$[N]_\phi = \phi_{\min} A f_{yc}. \quad (4.15)$$

- *Khả năng chịu nén đúng tâm của cột*

$$[N] = \min\{[N]_b; [N]_\phi\}. \quad (4.16)$$

Có thể xác định khả năng chịu nén đúng tâm của cột theo công thức sau:

$$[N] = A_{tt} f_{yc}, \quad (4.17)$$

trong đó:  $A_{tt} = \min\{A_n; \phi_{\min} A\}$ .

### 3. Xác định tiết diện cột đặc chịu nén đúng tâm

Giả thiết rằng đã có nội lực dọc  $N$  và các chiều dài tính toán  $l_x, l_y$  của cột, ta tiến hành việc tính toán thiết kế thân cột như sau:

#### a. Chọn tiết diện cột

- *Chọn dạng tiết diện*

Tùy theo điều kiện cụ thể, chiều dài và nội lực dọc  $N$  của cột mà chọn dạng tiết diện như thế nào cho phù hợp. Có thể tham khảo các dạng tiết diện nêu ở mục 1. Các bước chọn tiết diện cột tiếp theo sau đây được trình bày cho tiết diện cột dạng chữ H tổ hợp từ 3 bản thép, các dạng khác cũng được tiến hành tương tự.

- *Xác định diện tích cần thiết của tiết diện cột*

Từ công thức (4.7) có diện tích cần thiết của tiết diện cột:

$$A_{ct} = \frac{N}{\varphi f \gamma_c}, \quad (4.18)$$

trong đó hệ số uốn dọc  $\varphi$  được giả thiết trước hoặc được xác định theo độ mảnh giả thiết ( $\lambda_{gt}$ ):

$\lambda_{gt} \leq [\lambda]$ ; cột dài 5 ÷ 6 m có thể lấy

$$\lambda_{gt} = 100 \div 120 \text{ khi } N \text{ nhỏ, } N \leq 1500 \text{ kN};$$

$$\lambda_{gt} = 70 \div 100 \text{ khi } N = 1500 \div 3000 \text{ kN};$$

$$\lambda_{gt} = 50 \div 70 \text{ khi cột có } N = 3000 \div 4000 \text{ kN};$$

$$\lambda_{gt} = 40 \div 50 \text{ khi } N \text{ rất lớn, } N \geq 4000 \text{ kN}.$$

- *Xác định kích thước tiết diện bản cánh và bản bụng ( $b, h, t_f$  và  $t_w$ )*

Từ  $\lambda_{gt}$  tính được bề rộng  $b$  và bề cao  $h$  cần thiết của tiết diện

$$b_{ct} = \frac{l_y}{\alpha_y \lambda_{gt}}; \quad h_{ct} = \frac{l_x}{\alpha_x \lambda_{gt}}, \quad (4.19)$$

trong đó:  $\alpha_x, \alpha_y$  – các hệ số để xác định gần đúng các bán kính quán tính của tiết diện ( $i_x = \alpha_x h, i_y = \alpha_y b$ ) lấy theo bảng 4.5.

Theo yêu cầu cấu tạo có:  $h \geq b$ , thường lấy  $h = (1 \div 1,15) b$ ;

$$t_f = 8 \div 40 \text{ mm và } t_w = 6 \div 16 \text{ mm}.$$

Từ các yêu cầu nêu trên kết hợp với  $A_{ct}$  chọn ra kích thước cụ thể của các bản cánh và bản bụng cột.



## b. Kiểm tra tiết diện cột

Sau khi lựa chọn tiết diện cột, cột cần được kiểm tra về bền khi trên thân cột có sự giảm yếu tiết diện theo công thức (4.6), kiểm tra về ổn định tổng thể theo công thức (4.7), kiểm tra về ổn định cục bộ các bản cánh bản bụng khi cột tổ hợp từ các bản thép theo các điều kiện bởi công thức (4.12), (4.13) và kiểm tra yêu cầu về độ mảnh theo công thức (4.5).

**Bảng 4.5.** Giá trị  $\alpha_x, \alpha_y$   
(để xác định gần đúng bán kính quán tính  $i_x = \alpha_x h, i_y = \alpha_y b$ )

|                          |              |              |              |              |
|--------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Tiết diện                |              |              |              |              |
| $\alpha_x$<br>$\alpha_y$ | 0,42<br>0,24 | 0,49<br>0,32 | 0,40<br>0,32 | 0,58<br>0,32 |
| Tiết diện                |              |              |              |              |
| $\alpha_x$<br>$\alpha_y$ | 0,44<br>0,38 | 0,60<br>0,38 | 0,52<br>0,41 | 0,43<br>0,43 |

Thông thường, cột đặc chịu nén đúng tâm tiết diện chữ H có  $h \geq b$ , khi  $l_y \geq l_x$  (hoặc khi  $l_y \geq 0,7l_x$  đối với cột là một thép hình I phổ thông) chỉ cần tính toán kiểm tra ổn định tổng thể theo trục  $y - y$  (trục vuông góc với cạnh  $b$  – bề rộng cánh) của tiết diện cột, vì theo phương này có  $\lambda_y = \lambda_{max}$ .

## c. Xác định tiết diện cột theo độ mảnh

Với cột có lực dọc  $N$  quá nhỏ, hay cột có chiều dài lớn mà lực  $N$  nhỏ, tiết diện được chọn theo độ mảnh giới hạn  $[\lambda]$  (nếu chọn tiết diện theo lực dọc  $N$  như trên, thì khi kiểm tra cột về độ mảnh theo công thức (4.5) sẽ không thỏa mãn). Việc xác định tiết diện của cột trong trường hợp này được tiến hành như sau:

Xác định diện tích tiết diện cần thiết  $A_{ct}$  và các kích thước  $b_{ct}$ ,  $h_{ct}$  vẫn dùng các công thức (4.18), (4.19), nhưng cho  $\lambda_{gt} = [\lambda]$ .

Từ  $A_{ct}$ ,  $b_{ct}$ ,  $h_{ct}$  và các điều kiện ổn định cục bộ, các yêu cầu về cấu tạo (như đã nêu ở mục a) chọn ra kích thước  $b$ ,  $h$  và bề dày tối thiểu cho các bản cánh, bản bụng của cột.

Kích thước tiết diện chọn được phải có  $A \geq A_{ct}$ ,  $i_x \geq i_{xct}$ , và  $i_y \geq i_{yct}$  trong đó  $i_{xct} = \frac{l_x}{[\lambda]}$ ,  $i_{yct} = \frac{l_y}{[\lambda]}$ .

#### d. Liên kết cánh và bụng cột

Liên kết cánh và bụng cột tổ hợp (hình 4.2 c, d, e, g) chịu lực cắt  $V$  của cột sinh ra do uốn dọc hay các tác dụng ngẫu nhiên gây uốn. Nhưng lực cắt này nhỏ không đáng kể. Do vậy liên kết cánh và bụng cột chịu nén đúng tâm được lấy theo cấu tạo: với cột hàn, đường hàn dài suốt chiều dài cột và lấy  $h_f = 6 \div 8$  mm.

**Ví dụ 4.1:** Xác định thân cột đặc chịu nén đúng tâm  $N = 2900$  kN. Cột cao 7,2 m. Liên kết ở chân cột là ngàm trong mặt phẳng vuông góc với trục  $x$  và là khớp cố định trong mặt phẳng vuông góc với trục  $y$ . Liên kết ở đỉnh cột là khớp theo các phương. Thép làm cột là thép tấm mác CCT34, que hàn N42. Hệ số điều kiện làm việc của cột  $\gamma_c = 1$ .

##### 1) Xác định tiết diện

- Chọn dạng tiết diện và chủng loại thép:

Chọn tiết diện đối xứng dạng chữ H tổ hợp như hình 4.6.

Dùng thép tấm với  $t \leq 20$  mm, mác CCT34 có  $f = 21,0$  kN/cm<sup>2</sup>.

- Xác định chiều dài tính toán và sơ bộ chọn độ mảnh của cột:

Chiều dài tính toán của cột:  $l_y = 0,7 \times 720 = 504$  cm,  $l_x = 720$  cm.

Giả thiết độ mảnh của cột là  $\lambda_{gt} = 50$ .

Từ  $\lambda_{gt}$  và  $f$  tra bảng hệ số  $\varphi$  ở phần phụ lục (nội suy tuyến tính theo độ mảnh và cường độ) có  $\varphi = 0,8648$ .

- Diện tích cần thiết của tiết diện cột

Theo công thức (4.18) có

$$A_{ct} = \frac{2900}{0,8648 \cdot 21} = 159,7 \text{ cm}^2.$$

- Xác định kích thước các bản cánh và bản bụng:

Bề rộng cần thiết của tiết diện cột:

$$b_{ct} = \frac{l_y}{\alpha_y \lambda_{gt}} = \frac{504}{0,24 \cdot 50} = 42 \text{ cm},$$

trong đó  $\alpha_y = 0,24$  tra ở bảng 4.5.

Chọn  $b = 40 \text{ cm}$  và  $h_w = 40 \text{ cm}$ , phù hợp với  $h = (1 + 1,15) b$ .

Chọn  $t_w, t_f$ :  $6 \text{ mm} < t_w = 8 \text{ mm} < 16 \text{ mm}$ ,  $8 \text{ mm} < t_f = 16 \text{ mm} < 40 \text{ mm}$

Vậy có tiết diện cột là:

$$\text{Bản cánh} \quad 2 \times (40 \times 1,6) = 128 \text{ cm}^2$$

$$\text{Bản bụng} \quad 40 \times 0,8 = 32 \text{ cm}^2$$

$$A = 128 \text{ cm}^2 + 32 \text{ cm}^2 = 160 \text{ cm}^2.$$

## 2) Kiểm tra tiết diện cột

– Xác định các đặc trưng tiết diện:

$$I_x = \frac{40 \times 43,2^3 - 39,2 \times 40^3}{12} = 59672 \text{ cm}^4, \quad I_y = \frac{2 \times 1,6 \times 40^3 + 40 \times 0,8^3}{12} = 17068 \text{ cm}^4;$$

$$i_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}} = \sqrt{\frac{59672}{160}} = 19,3 \text{ cm}, \quad i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{17068}{160}} = 10,3 \text{ cm};$$

– Tính toán và kiểm tra yêu cầu về độ mảnh:

$$\lambda_x = \frac{720}{19,3} = 37; \quad \lambda_y = \frac{504}{10,3} = 49 = \lambda_{\max} < [\lambda] = 120;$$

đảm bảo yêu cầu về độ mảnh.

– Kiểm tra ổn định tổng thể:

Từ  $\lambda_{\max} = 49$  và  $f = 21 \text{ kN/cm}^2$  tra bảng hệ số  $\varphi$

ở phần phụ lục có  $\varphi = \varphi_{\min} = 0,8686$ ,

$$\frac{N}{\varphi_{\min} A} = \frac{2900}{0,8686 \times 160} =$$

$$= 20,87 \text{ kN/cm}^2 < f_{yc} = 21,0 \text{ kN/cm}^2,$$

vậy cột đảm bảo điều kiện ổn định tổng thể.

– Kiểm tra ổn định cục bộ:

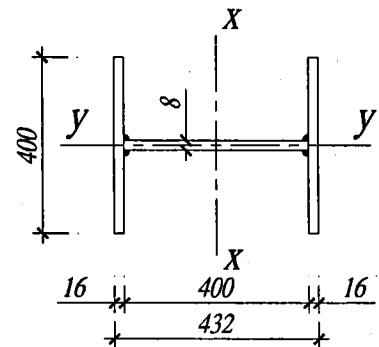
$$\text{Độ mảnh quy ước của cột } \bar{\lambda} = 49 \sqrt{\frac{21}{2,1 \times 10^4}} = 1,55.$$

Độ mảnh giới hạn của bản bụng, theo bảng 4.3 có

$$\left[ \frac{h_w}{t_w} \right] = (1,3 + 0,15 \bar{\lambda}^2) \sqrt{\frac{E}{f}} = (1,3 + 0,15 \times 1,55^2) \sqrt{\frac{2,1 \times 10^4}{21}} = 52,5.$$

có  $\frac{h_w}{t_w} = \frac{40}{0,8} = 50 < 52,5$  – bản bụng đảm bảo điều kiện ổn định cục bộ.

$\frac{h_w}{t_w} = 50 < 2,3 \sqrt{\frac{2,1 \times 10^4}{21}} = 72,7$  – bản bụng không phải đặt sườn ngang.



Hình 4.6. Tiết diện cột của ví dụ 4.1

Độ mảnh giới hạn của bản cánh, theo bảng 4.4 có

$$\left[ \frac{b_o}{t} \right] = (0,36 + 0,1\bar{\lambda}) \sqrt{\frac{E}{f}} = (0,36 + 0,11,55) \sqrt{\frac{E}{f}} = 16,3$$

có  $\frac{b_o}{t_f} = \frac{40 - 0,8}{2.1,6} = 12,25 < 16,3$  – bản cánh đảm bảo điều kiện ổn định cục bộ.

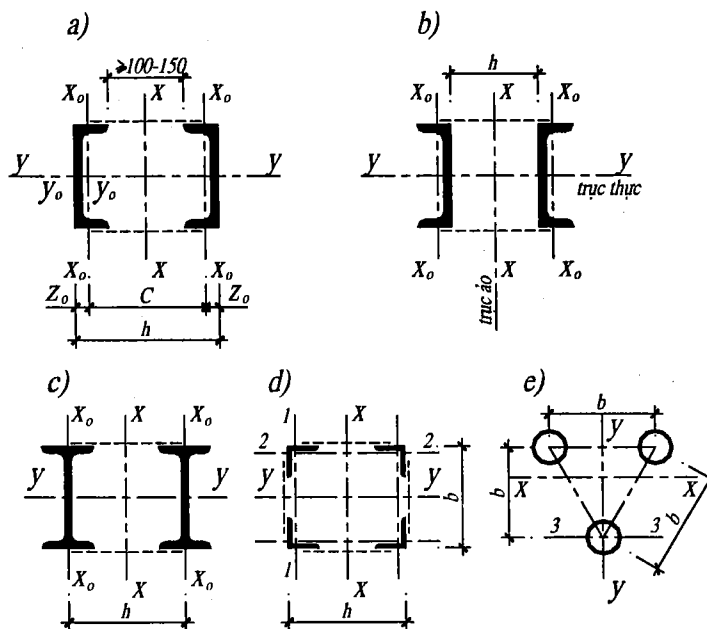
- Liên kết hàn bản cánh với bản bụng: lấy theo cấu tạo  $h_f = 6$  mm, hàn cả hai bên bản bụng.

Lưu ý: Thân cột ở ví dụ này không bị giảm yếu tiết diện nên không phải kiểm tra bền.

### §4.3. CỘT RỒNG CHỊU NÉN ĐÚNG TÂM

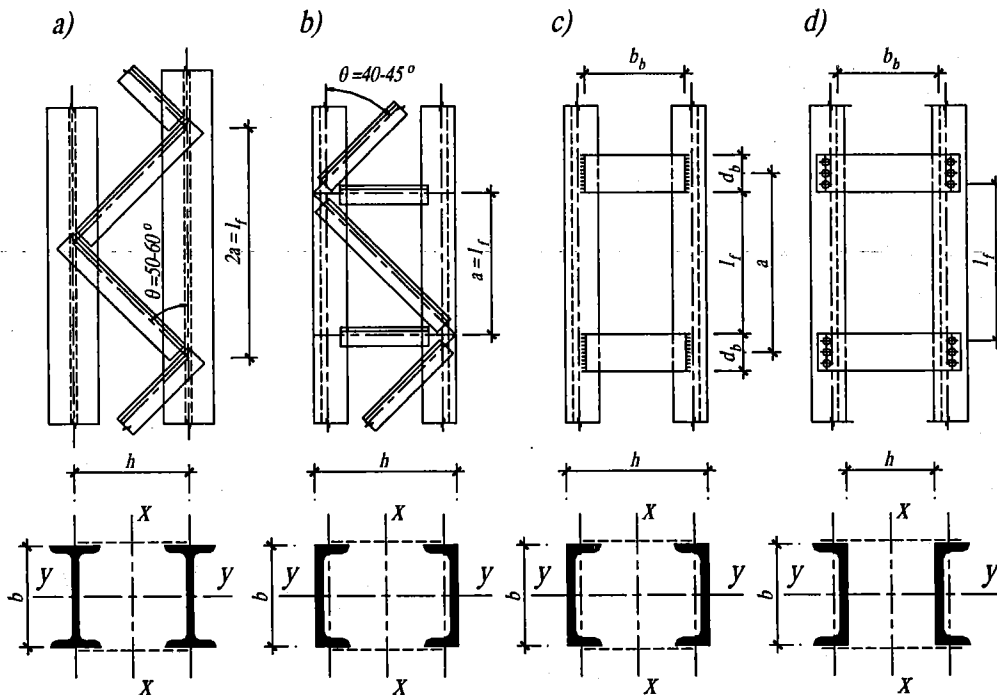
#### 1. Cấu tạo thân cột

Thân cột rồng cấu tạo bởi các nhánh đặt cách xa nhau, liên kết lại với nhau bởi những hệ bụng rồng là các thanh thép hình (thường là thép góc) gọi là thanh bụng (hay thanh giằng, thanh nối) hoặc các bản thép gọi là bản giằng (hay bản nối). Các nhánh của cột được làm bằng thép hình chữ [, I, thép góc, thép ống. Cột rồng có các loại: hai nhánh (hình 4.7 a, b, c), ba nhánh (hình 4.7 e) và bốn nhánh (hình 4.7 d).



Hình 4.7. Các dạng tiết diện cột rồng

Cột rỗng có hệ thanh bụng (thanh giằng) gọi là cột rỗng thanh giằng, cột rỗng có các bản giằng gọi là cột rỗng bản giằng.



**Hình 4.8. Các dạng hệ bụng rỗng của cột**  
a, b) hệ thanh bụng bằng một thép góc; c, d) hệ bản giằng.

Cột rỗng hai nhánh có các nhánh là thép hình chữ [ thường dùng cho cột nén đúng tâm có tải trọng đến 3500 kN, khi tải trọng nén đúng tâm lớn (không thể dùng thép hình chữ [ ) dùng nhánh là thép hình chữ I, tải trọng tối đa của cột loại này có thể đến 6000 kN. Tiết diện như hình 4.7d dùng cho cột rỗng đỉnh tán.

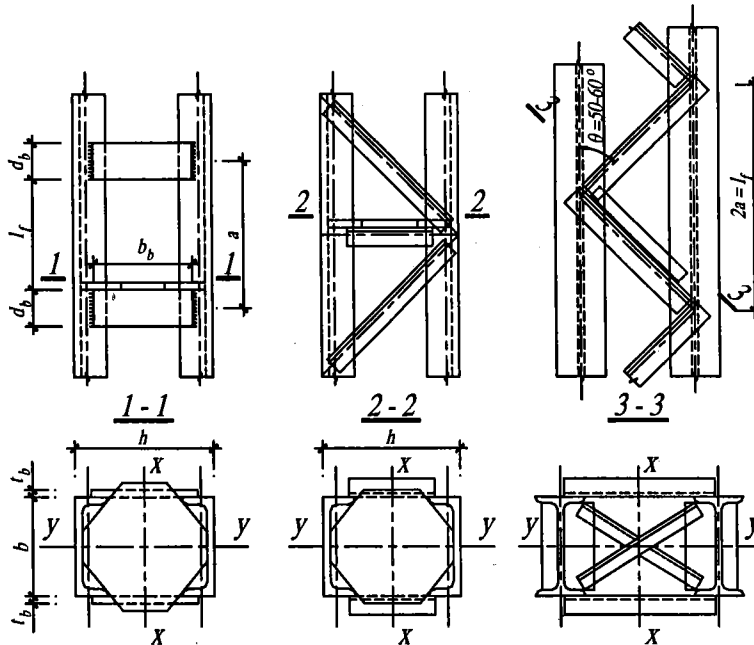
Cột rỗng ba nhánh, cột rỗng bốn nhánh có các nhánh bằng thép góc hoặc thép ống; chúng thường được dùng khi tiết diện của cột được quyết định bởi yêu cầu về độ mảnh, thường là cột có tải trọng không lớn mà chiều dài lại lớn.

Để dễ dàng bảo dưỡng mặt trong, khe hở giữa các nhánh của cột rỗng không được bé hơn 100 ÷ 150 mm.

Cột rỗng thanh giằng có độ cứng lớn hơn và khả năng chống xoắn tốt hơn cột rỗng bản giằng. Cột rỗng bản giằng chế tạo đơn giản hơn và gọn đẹp hơn cột rỗng thanh giằng.

Cột rỗng bản giằng chỉ nên dùng khi khoảng cách các nhánh không lớn hơn 0,8 – 1 m, vì với khoảng cách lớn bản giằng của cột sẽ nặng, tốn nhiều vật liệu mà độ cứng lại kém cột rỗng thanh giằng.

Thanh bụng của cột rỗng thường là một thép góc, cỡ nhỏ nhất là L40×5. Đối với cột nặng, thanh bụng có thể là một thép hình chữ [ cỡ nhỏ.



Hình 4.9. Vách cứng trong cột rỗng

Hệ thanh bụng của cột rỗng thường bố trí theo sơ đồ tam giác có hoặc không có thanh ngang (hình 4.8a, b), khi khoảng cách các nhánh lớn có thể dùng sơ đồ chữ thập, sơ đồ hình thoi. Góc  $\theta$  giữa trục thanh bụng xiên và trục của nhánh cột lựa chọn sao cho dễ cấu tạo nút liên kết và tiết kiệm vật liệu, thường lấy:

$\theta = 40^\circ \div 45^\circ$  khi hệ thanh bụng có thanh ngang;

$\theta = 50^\circ \div 60^\circ$  khi hệ thanh bụng không có thanh ngang.

Để liên kết hệ thanh bụng vào nhánh không cần bản mã, cho phép trục các thanh bụng hội tụ ở mép ngoài của nhánh, thậm chí ở phía ngoài mép này một chút.

Kích thước tiết diện (bề dày  $t_b$ , bề rộng  $d_b$ ) của bản giằng trong cột rỗng có thể sơ bộ cấu tạo như sau:

$$t_b = 6 \div 12 \text{ mm}; \quad t_b = \left( \frac{1}{10} \div \frac{1}{30} \right) d_b;$$

$$t_b \geq \frac{1}{50} b_b; \quad d_b = (0,5 \div 0,8) h,$$

trong đó:  $h$  – bề rộng mặt rộng của cột;

$b_b$  – chiều dài của bản giằng.

Chiều dài  $b_b$  của bản giằng phải đủ để trùm lên nhánh cột  $40 \div 50$  mm khi dùng liên kết hàn; khi dùng liên kết đinh tán phải đảm bảo được yêu cầu của liên kết đinh tán.

Để chống xoắn và giữ cho kích thước tiết diện cột không bị thay đổi, dọc theo chiều dài cột đặt các vách cứng cách nhau  $3 \div 4$  m và ít nhất mỗi cột hoặc mỗi đoạn cột chuyên chở phải có hai vách cứng, các vách cứng này có cấu tạo như hình 4.9.

## 2. Sự làm việc của cột rỗng

Sự làm việc và khả năng ổn định tổng thể của cột rỗng cũng như cột đặt được xác định theo phương có  $\lambda_{max}$ . Tùy thuộc vào cấu tạo cụ thể mà cột có  $\lambda_{max}$  đối với trục chính  $x - x$  hay  $y - y$  (hình 4.7) của tiết diện. Ở cột rỗng hai nhánh (hình 4.7a, b, c) trục chính  $y - y$  xuyên qua bụng của hai nhánh gọi là trục thực, trục  $x - x$  nằm ở phần rỗng giữa hai nhánh gọi là trục ảo.

Sau đây ta chỉ xét sự làm việc của cột rỗng hai nhánh, các cột rỗng ba nhánh bốn nhánh cũng đã được nghiên cứu tương tự và có các kết quả về độ mảnh theo trục ảo được chấp nhận trong các mục sau.

### a. Sự làm việc của cột rỗng đối với trục thực ( $y - y$ )

Khi cột bị uốn dọc (bị cong do mất ổn định tổng thể) trong mặt phẳng chứa hai trục  $xz$ , tiết diện cột bị xoay quanh trục thực (gọi tắt là cột bị uốn dọc quanh trục thực), trong các nhánh có nội lực uốn và cắt còn trong các thanh bụng hoặc bản giằng hầu như không xuất hiện nội lực và biến dạng. Như vậy, các bản giằng và các thanh bụng trong cột rỗng được xem như không tham gia vào sự làm việc của cột đối với trục thực và cột làm việc như cột đặc.

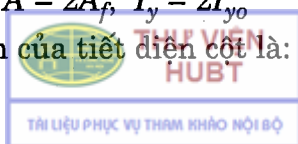
Độ mảnh của cột đối với trục thực  $y - y$  là:

$$\lambda_y = \frac{l_y}{i_y}.$$

Với hai nhánh như nhau có diện tích  $A$  và mômen quán tính đối với trục  $y$  (hình 4.7a) của toàn tiết diện cột là:

$$A = 2A_f, \quad I_y = 2I_{y0} \quad (4.20)$$

nên có bán kính quán tính của tiết diện cột là:



$$i_y = \sqrt{\frac{2I_{y0}}{2A_f}} = \sqrt{\frac{I_{y0}}{A_f}} = i_{y0}. \quad (4.21)$$

Vậy khi cột rỗng có hai nhánh như nhau độ mảnh theo trục thực là:

$$\lambda_y = \frac{l_y}{i_{y0}}, \quad (4.22)$$

trong đó:  $A_f$ ,  $i_{y0}$ ,  $I_{y0}$  – diện tích tiết diện nhánh, bán kính quán tính và mômen quán tính của tiết diện nhánh đối với trục  $y_0$  của nó (hình 4.7a), trục  $y_0$  trùng với trục  $y$ .

#### b. Sự làm việc của cột rỗng đối với trục ảo ( $x - x$ )

Khi cột bị uốn dọc (bị cong do mất ổn định tổng thể) trong mặt phẳng chứa hai trục  $yz$ , tiết diện cột bị xoay quanh trục ảo (gọi tắt là cột bị uốn dọc quanh trục ảo), phát sinh nội lực cắt làm cho các nhánh bị trượt so với nhau. Các thanh bụng hay các bản giằng chống lại sự trượt này, trong chúng xuất hiện nội lực và biến dạng. Đồng thời với biến dạng của các thanh bụng hay các bản giằng, các nhánh bị trượt giữa chúng và dịch lại gần nhau hơn so với khoảng cách ban đầu ( $C$ ) như trên hình 4.10 và hình 4.11, trong đó  $C_t$  là khoảng cách thực tế của hai nhánh khi cột bị uốn dọc quanh trục ảo. Do  $C_t < C$ , nên mômen quán tính khi cột bị uốn dọc ( $I_x$ ) nhỏ hơn mômen quán tính ban đầu ( $I_x$ ) và lực nén tới hạn  $N_{cr}$  thực tế nhỏ hơn một lượng đáng kể so với tính toán không kể đến biến dạng của hệ bụng rỗng (tính theo  $I_x$ ). Do vậy, đối với cột rỗng không thể bỏ qua ảnh hưởng của lực cắt khi xác định  $N_{cr}$  của cột theo phương trục ảo.

Lực nén tới hạn  $N_{cr}$  của cột rỗng theo phương trục ảo  $x - x$  kể đến ảnh hưởng của lực cắt xác định như sau:

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 EI_x}{l_x^2} \cdot \frac{1}{1 + \gamma_1 \frac{\pi^2 EI_x}{l_x^2}},$$

thay  $I_x = i_x^2 A$ ,  $l_x = \lambda_x i_x$  vào công thức  $N_{cr}$  trên ta có:

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 EA}{\lambda_x^2} \cdot \frac{1}{1 + \gamma_1 \frac{\pi^2 EA}{\lambda_x^2}},$$



trong đó:  $\lambda_x$  – độ mảnh ban đầu của cột rỗng đối với trục ảo  $x - x$ ,  $\lambda_x = \frac{l_x}{i_x}$  ;

$\gamma_1$  – góc trượt của tiết diện cột do lực cắt bằng 1 gây ra,

$$\text{Đặt} \quad \mu_t = \sqrt{1 + \frac{\gamma_1 \pi^2 EA}{\lambda_x^2}}, \quad (4.23)$$

$\mu_t$  – hệ số kể đến ảnh hưởng biến dạng của hệ bụng rỗng do lực cắt đến  $N_{cr}$  và độ mảnh của cột rỗng,  $\mu_t > 1$ , thay  $\mu_t$  vào công thức  $N_{cr}$

$$\text{trên ta có} \quad N_{cr} = \frac{\pi^2 EA}{\mu_t^2 \lambda_x^2}.$$

$$\text{Đặt} \quad \lambda_0 = \mu_t \lambda_x, \quad (4.24)$$

$\lambda_0$  là độ mảnh thực của cột rỗng khi bị uốn dọc theo trục ảo ( $x - x$ ), gọi là *độ mảnh tương đương*, thay  $\lambda_0$  vào công thức  $N_{cr}$  trên ta được lực nén tới hạn và ứng suất pháp tới hạn của cột có dạng như công thức Ole (Euler)

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 EA}{\lambda_0^2} ; \quad \sigma_{cr} = \frac{\pi^2 E}{\lambda_0^2}.$$

Nhờ có các thanh bụng hay bản giằng liên kết các nhánh với nhau tạo nên một thể thống nhất, các nhánh cùng nhau làm việc đối với trục ảo  $x - x$  và khi này cột có độ cứng lớn hơn nhiều so với khi không có các thanh bụng hay bản giằng. Ta có thể dễ dàng nhận biết điều này, xét cột rỗng hai nhánh như nhau (hình 4.7a, b, c) độ cứng của cột theo phương vuông góc với trục thực như sau: Khi cột không có thanh bụng hoặc bản giằng, độ cứng của toàn cột đối với phương này chỉ là  $E \sum I_{x_0} = 2EI_{x_0}$  ( $I_{x_0}$  là mômen quán tính của mỗi nhánh đối với trục  $x_0$ ), còn khi cột có thanh bụng hoặc bản giằng, độ cứng của toàn cột đối với phương này là  $EI_{xt} = 2E \left( I_{x_0} + \frac{C_t^2 A_f}{4} \right) > 2EI_{x_0}$ . Qua đó cho thấy ưu điểm

nổi bật của cột rỗng là: tiết kiệm vật liệu, tăng độ cứng, độ ổn định và khả năng chịu lực cho cột, có thể cấu tạo được cột có khả năng làm việc theo hai phương như nhau.

### c. Độ mảnh tương đương $\lambda_0$ của cột rỗng bản giằng

Khi cột rỗng bản giằng bị uốn dọc đối với phương trục ảo, sự biến dạng của cột do lực cắt được mô tả trên hình 4.10. Để đơn giản cho việc xác định nội lực và biến dạng của bản giằng và các nhánh cột do lực cắt gây ra, xem như

điểm giữa chiều dài các đoạn nhánh và bản giằng có mômen bằng không và coi là khớp.

Biến dạng của cột do lực cắt cũng như  $\lambda_0$  của cột rỗng bản giằng phụ thuộc vào tỉ số độ cứng đơn vị  $n$  của các đoạn nhánh cột và bản giằng :

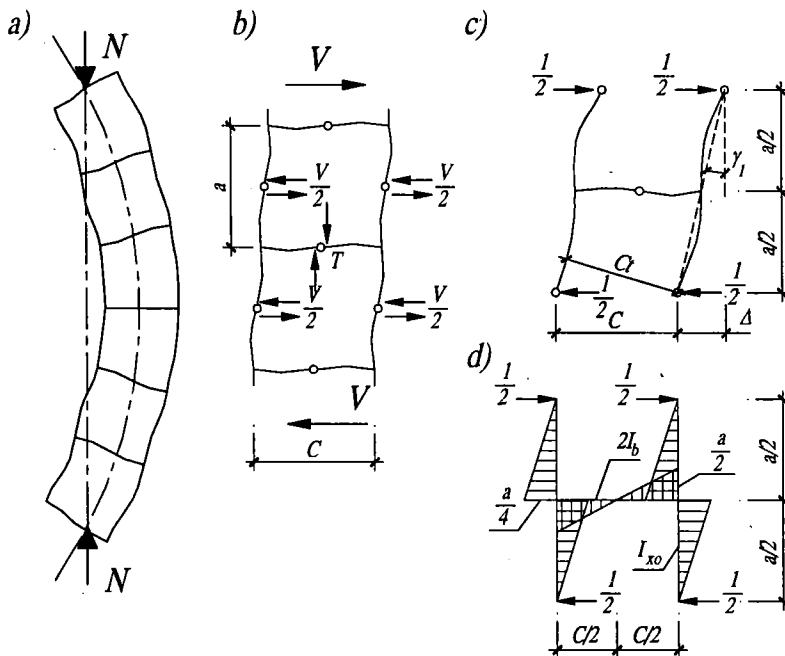
$$n = \frac{I_{xo}C}{I_b a}, \quad (4.25)$$

trong đó:  $I_{xo}$  – mômen quán tính của tiết diện nhánh đối với trục  $x_0 - x_0$  của nó song song với trục ảo  $x - x$ ;

$I_b$  – mômen quán tính của bản giằng,  $I_b = \frac{t_b d_b^3}{12}$ ;

$C$  – khoảng cách trọng tâm hai nhánh cột;

$a$  – khoảng cách tâm của các bản giằng.



Hình 4.10. Biến dạng của cột rỗng bản giằng khi uốn dọc

a) biến dạng chung; b) biến dạng do lực cắt.

Góc trượt  $\gamma_1$  do lực cắt bằng đơn vị ( $V = 1$ ) được xác định theo sơ đồ tính ở hình 4.10c,d.

$$\Delta = 4 \frac{1}{2} \frac{a}{4} \frac{a}{2} \frac{2}{3} \frac{a}{4} \frac{1}{EI_{xo}} + 2 \frac{1}{2} \frac{a}{2} \frac{C}{2} \frac{2}{3} \frac{a}{2} \frac{1}{2EI_b} = \frac{a^3}{24EI_{xo}} \left(1 + \frac{I_{xo}C}{I_b a}\right) = \frac{a^3}{24EI_b} (1+n)$$

$$\gamma_1 \approx \frac{\Delta}{a} = \frac{1}{a} \frac{a^3 (1+n)}{24EI_{xo}} = \frac{a^2 (1+n)}{24i_{xo}^2 EA_f} = \frac{\lambda_1^2 (1+n)}{12EA}$$



THƯ VIỆN  
HUBT

TÀI LIỆU PHỤC VỤ THAM KHẢO NỘI BỘ

trong đó:  $A = 2A_\beta$ ,  $\lambda_1 \approx \frac{a}{i_{x_0}}$ ,  $a$  – xác định theo hình 4.8;

$i_{x_0}$  – bán kính quán tính của tiết diện nhánh tính với trục  $x_0$  của nhánh song song với trục ảo ( $x - x$ ).

Thay  $\gamma_1$  vào công thức (4.23) ta có:

$$\begin{aligned}\mu_t &= \sqrt{1 + \frac{\lambda_1^2(1+n)}{12EA} \times \frac{\pi^2 EA}{\lambda_x^2}} = \sqrt{1 + \frac{\lambda_1^2(1+n)}{12} \times \frac{\pi^2}{\lambda_x^2}}; \\ \mu_t &= \sqrt{1 + \frac{\pi^2(1+n)}{12} \frac{\lambda_1^2}{\lambda_x^2}} \approx \sqrt{1 + 0,82(1+n) \frac{\lambda_1^2}{\lambda_x^2}}.\end{aligned}\quad (4.26)$$

Thay (4.26) vào (4.24) được

$$\lambda_0 = \sqrt{\lambda_x^2 + 0,82 \lambda_1^2(1+n)}, \quad (4.27)$$

trong đó:  $\lambda_1$  – độ mảnh của nhánh đối với trục  $x_0$ , với chiều dài tính toán là  $a$ ;

$n$  – tỷ lệ độ cứng đơn vị, xác định theo công thức 4.25.

Trường hợp cột rỗng bản giằng bốn nhánh (hình 4.7d), độ mảnh tương đương theo phương mảnh nhất được xác định theo công thức sau:

$$\lambda_0 = \sqrt{\lambda_{\max}^2 + 0,82 \left[ \lambda_1^2(1+n_1) + \lambda_2^2(1+n_2) \right]}. \quad (4.28)$$

Trường hợp cột rỗng bản giằng ba nhánh (tiết diện cột là tam giác đều) độ mảnh tương đương theo phương mảnh nhất là:

$$\lambda_0 = \sqrt{\lambda_{\max}^2 + 0,82 \lambda_3^2(1+3n_3)}, \quad (4.29)$$

trong các công thức (4.28) và (4.29):

$\lambda_{\max}$  – độ mảnh ban đầu lớn nhất trong hai độ mảnh  $\lambda_x, \lambda_y$ ;

$\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$  – độ mảnh của nhánh đối với trục 1, trục 2, trục 3 (xem hình 4.7), với chiều dài tính toán là  $a$ ;

$n_1, n_2, n_3$  – xác định theo công thức (4.25), với việc thay  $I_{x_0}$  của công thức này bằng  $I_1, I_2, I_3$  là các mômen quán tính của tiết diện nhánh tính với trục 1, trục 2, trục 3 (các trục này xem trên hình 4.7).

Khi  $n \leq \frac{1}{5}$ , biến dạng của bản giằng dưới tác dụng của lực cắt rất nhỏ so với biến dạng của nhánh cột, ta xem bản giằng cứng vô cùng so với nhánh cột và gần đúng xem  $\frac{\pi^2(1+n)}{12} = 1$ , vậy trong trường hợp này độ mảnh tương đương của cột rỗng bản giằng được xác định theo công thức sau:

Với cột hai nhánh

$$\lambda_o = \sqrt{\lambda_x^2 + \lambda_1^2}, \quad (4.30)$$

Với cột rỗng bốn nhánh (theo phương mảnh nhất)

$$\lambda_o = \sqrt{\lambda_{\max}^2 + \lambda_1^2 + \lambda_2^2}, \quad (4.31)$$

Với cột rỗng ba mặt như nhau (theo phương mảnh nhất)

$$\lambda_o = \sqrt{\lambda_{\max}^2 + 1,3 \lambda_3^2}, \quad (4.32)$$

trong các công thức (4.30), (4.31) và (4.32) :

$\lambda_x, \lambda_{\max}$  – như trong các công thức (4.27), (4.28) và (4.29);

$\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$  – độ mảnh của nhánh, xác định với chiều dài tính toán của nhánh là  $l_f$  (xem hình 4.8, hình 4.9).

#### d. Độ mảnh tương đương $\lambda_o$ của cột rỗng thanh giằng

Khi bị uốn dọc, cột rỗng thanh giằng làm việc được xem như giàn phẳng có các mắt khớp, biến dạng chung của cột như trên hình 4.11a. Biến dạng do lực cắt của cột như trên hình 4.11b.

Như trên hình (4.11c) góc trượt  $\gamma_1$  do lực cắt bằng đơn vị ( $V = 1$ ) gây ra là:

$$\gamma_1 \approx \frac{\Delta}{a} = \frac{\delta}{l_d \cos \theta \sin \theta},$$

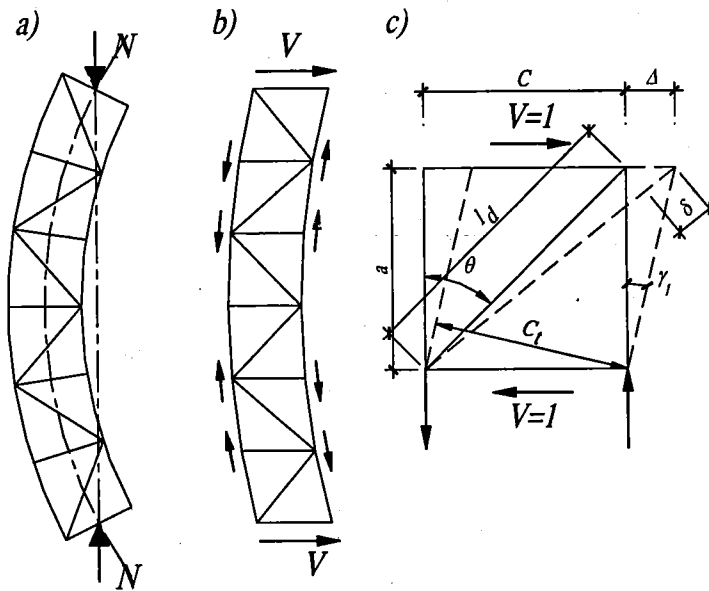
trong đó:  $\delta$  – biến dạng dọc trục của thanh bụng xiên do lực cắt bằng 1 gây ra cho cả hai mặt rỗng,

$$\delta = \frac{N_b l_d}{EA_{d1}},$$

ở đây:  $N_b$  – tổng lực dọc của các thanh bụng xiên ở hai mặt rỗng trên cùng một tiết diện cột do lực cắt bằng 1 gây ra,

$$N_b = \frac{1}{\sin \theta}.$$

Vậy ta có: 
$$\gamma_1 = \frac{1}{EA_{d1} \sin^2 \theta \cos \theta}.$$



Hình 4.11. Biến dạng của cột rỗng thanh bụng khi bị uốn dọc

Thay  $\gamma_1$  vào công thức (4.23) ta được:

$$\mu_t = \sqrt{1 + \frac{\pi^2 A}{\lambda_x^2 A_{d1} \sin^2 \theta \cos \theta}},$$

đặt  $\alpha_1 = \frac{\pi^2}{\sin^2 \theta \cos \theta}$  ta có:

$$\mu_t = \sqrt{1 + \alpha_1 \cdot \frac{A}{A_{d1} \lambda_x^2}}, \quad (4.33)$$

trong đó:  $A_{d1}$  – tổng diện tích tiết diện của các thanh bụng xiên ở hai mặt rỗng của cột trên cùng một tiết diện cột;

$A_{d1} = 2A_t$  (với hệ thanh bụng tam giác);

$A_t$  – diện tích tiết diện của một thanh bụng xiên;

$\theta$  – góc nghiêng của trục thanh bụng xiên với trục nhánh cột (xem hình 4.8).

Thay  $\sin \theta = \frac{C}{l_d}$ ,  $\cos \theta = \frac{a}{l_d}$  vào công thức xác định  $\alpha_1$  ở trên được:

$$\alpha_1 = \frac{\pi^2}{\sin^2 \theta \cos \theta} = \frac{\pi^2 l_d^3}{C^2 a} \approx \frac{10 l_d^3}{C^2 a}, \quad (4.34)$$

trong đó:  $l_d$  – chiều dài trục thanh bụng xiên (hình 4.11c);

$C, a$  – xác định theo hình 4.11c.

Hệ số  $\alpha_1$  có thể xác định theo bảng 4.6 phụ thuộc vào góc nghiêng  $\theta$  của thanh bụng xiên với nhánh cột.

**Bảng 4.6.** Hệ số  $\alpha_1, \alpha_2$  để tính  $\lambda_0$

| Góc $\theta$               | 30° | 35° | 40° | 45° | 50° – 60° |
|----------------------------|-----|-----|-----|-----|-----------|
| $\alpha_1$ hoặc $\alpha_2$ | 45  | 37  | 31  | 28  | 26        |

Thay (4.33) vào (4.24) có độ mảnh tương đương của cột rỗng hai nhánh là

$$\lambda_0 = \sqrt{\lambda_x^2 + \frac{\alpha_1 A}{A_{d1}}} \quad (4.35)$$

Với cột rỗng bốn mặt  $\lambda_0$  xác định theo công thức (4.36),

$$\lambda_0 = \sqrt{\lambda_{\max}^2 + \left( \frac{\alpha_1}{A_{d1}} + \frac{\alpha_2}{A_{d2}} \right) A}, \quad (4.36)$$

trong đó:  $\lambda_{\max}$  – độ mảnh ban đầu lớn nhất trong hai độ mảnh ban đầu  $\lambda_x, \lambda_y$ ;

$A_{d1}$  – tổng diện tích tiết diện của các thanh bụng xiên trên cùng một tiết diện cột, nằm trong các mặt cột vuông góc với trục 1 – 1 (xem hình 4.7);

$A_{d2}$  – như  $A_{d1}$  nhưng vuông góc với trục 2 – 2 (xem hình 4.7);

$\alpha_1, \alpha_2$  – xác định theo (4.33) hay bảng 4.6, trong đó  $\alpha_1$  và  $\alpha_2$  tương ứng với các mặt vuông góc với trục 1 – 1 và 2 – 2 (xem hình 4.7).

Với cột rỗng ba mặt đều nhau  $\lambda_0$  xác định theo công thức (4.37):

$$\lambda_0 = \sqrt{\lambda_{\max}^2 + \frac{2\alpha_1 A}{3A_d}}, \quad (4.37)$$

trong đó:  $\lambda_{\max}$  – độ mảnh ban đầu lớn nhất trong hai độ mảnh ban đầu  $\lambda_x, \lambda_y$ ;

$\alpha_1$  – xác định theo công thức (4.34) hay bảng 4.6, tương ứng với một mặt cột;

$A_d = A_t$  với hệ thanh bụng tam giác;

$A_d = 2A_t$  với hệ thanh bụng chữ thập;

$A_t$  – diện tích tiết diện của một thanh bụng xiên.

### 3. Tính toán cột rỗng chịu nén đúng tâm

#### a. Tính toán về bền

Cũng như cột đặc, khi trên các nhánh của cột rỗng chịu nén đúng tâm có giảm yếu tiết diện, cột được tính toán kiểm tra về bền theo công thức (4.6):

$$\sigma = \frac{N}{A_n} \leq f_{yc},$$

với cột có hai nhánh như nhau  $A_n = 2A_{f,n}$ ,  $A_{f,n}$  là diện tích tiết diện thực của nhánh cột (đã trừ đi các phần giảm yếu).

#### b. Tính toán về ổn định tổng thể

Về ổn định tổng thể, cột rỗng cũng tính toán kiểm tra theo công thức (4.7):

$$\frac{N}{\varphi_{\min} A} \leq f_{yc},$$

trong đó:  $\varphi_{\min}$  xác định theo  $\lambda_{\max} = \max\{\lambda_o; \lambda_y\}$ .

#### c. Tính toán về ổn định cục bộ

Khi các nhánh cột được tổ hợp từ các thép bản hoặc làm bằng thép hình dẹt nguội thì chúng cần được kiểm tra ổn định cục bộ như cột đặc chịu nén đúng tâm theo các công thức (4.12) và (4.13).

#### d. Các yêu cầu về độ mảnh của cột rỗng

Về độ mảnh, cột rỗng chịu nén đúng tâm cũng phải tuân theo công thức (4.5):  $\lambda_{\max} \leq [\lambda]$  trong đó độ mảnh  $\lambda_{\max} = \max\{\lambda_o; \lambda_y\}$ .

Để khả năng ổn định của cột rỗng không bị hạn chế bởi khả năng ổn định của từng nhánh theo trục bản thân  $x_o - x_o$  của nó (trục song song với trục ảo của tiết diện cột), độ mảnh của các nhánh cột ( $\lambda_1$ ) cần phải đảm bảo các điều kiện như sau:

$$- \text{Với cột rỗng bản giằng } \lambda_1 \leq 40 \text{ và } \lambda_1 < \lambda_y; \quad (4.38)$$

$$- \text{Với cột rỗng thanh giằng } \lambda_1 \leq 80 \text{ và } \lambda_1 \leq \lambda_y. \quad (4.39)$$

#### đ. Khả năng chịu nén đúng tâm của cột rỗng

Khả năng chịu nén đúng tâm của cột rỗng cũng được xác định theo các công thức từ (4.14) đến (4.17), trong đó:  $A_n = 2A_{f,n}$  (với cột rỗng hai nhánh như nhau),  $\varphi_{\min}$  xác định theo  $\lambda_{\max} = \max\{\lambda_o; \lambda_y\}$ .

#### 4. Xác định thân cột rỗng chịu nén đúng tâm

Xem như đã có nội lực dọc  $N$  và các chiều dài tính toán  $l_x, l_y$  của cột, ta tiến hành việc tính toán thiết kế thân cột như sau

##### a. Chọn tiết diện cột

Cột rỗng hai nhánh là loại được sử dụng phổ thông hơn cả, thường chọn hai nhánh như nhau. Việc chọn tiết diện loại này (hình 4.7a,b,c) được tiến hành như sau:

- *Xác định diện tích tiết diện của nhánh cột*

Theo trục thực ( $y - y$ ) cột làm việc giống như cột đặc, xác định được diện tích tiết diện nhánh cột

$$A_{fct} = \frac{N}{2\varphi_y f \gamma_c}, \quad (4.40)$$

trong đó:  $\varphi_y$  được xác định theo độ mảnh giả thiết  $\lambda_{ygt}$  (hoặc giả thiết trước  $\varphi_y$ ); có thể chọn  $\lambda_{ygt} = 40 \div 90, \lambda_{ygt} \leq [\lambda]$ .

- *Xác định bán kính quán tính cần thiết đối với trục thực*

Bán kính quán tính cần thiết đối với trục thực ( $y - y$ ) của tiết diện cột xác định theo công thức sau:

$$i_{yct} = \frac{l_y}{\lambda_{ygt}}. \quad (4.41)$$

- *Chọn nhánh cột và kiểm tra cột theo trục thực*

Căn cứ vào  $A_{fct}, i_{yct}$  và bảng thép hình chọn ra thép hình làm nhánh cột sao cho thỏa mãn điều kiện:

$$\frac{N}{\varphi_y A} \leq f \gamma_c; \quad \lambda_y = \frac{l_y}{i_y} \leq [\lambda],$$

trong đó:  $A = 2A_f$ ,  $A_f$  – diện tích tiết diện của nhánh cột đã chọn;

$\varphi_y$  – xác định theo  $\lambda_y$ , tính theo tiết diện đã chọn;

$i_y = i_{y0}$ ,  $i_{y0}$  – bán kính quán tính của tiết diện nhánh đã chọn theo trục  $y_0$  của nó, trùng với trục  $y$  của tiết diện cột, xem hình 4.7a.

- *Xác định khoảng cách hai nhánh (C)*

Căn cứ vào sự làm việc đối với trục ảo  $x - x$  và điều kiện hợp lý (theo công thức 4.4)  $\lambda_0 = \lambda_y$  ta có  $\lambda_{xct}$  của cột:



- Đối với cột rỗng bản giằng, sơ bộ coi  $n \leq \frac{1}{5}$  nên có  $\lambda_o$  theo công thức 4.30, và có:

$$\lambda_o = \sqrt{\lambda_x^2 + \lambda_1^2} = \lambda_y,$$

vậy độ mảnh cần thiết ban đầu của cột đối với trục ảo là

$$\lambda_{xct} = \sqrt{\lambda_y^2 - \lambda_1^2}, \quad (4.42)$$

trong đó giá trị  $\lambda_1$  sơ bộ chọn trước theo điều kiện bởi công thức (4.38)

- Đối với cột rỗng thanh giằng ta có:

$$\lambda_o = \sqrt{\lambda_x^2 + \frac{\alpha_1 A}{A_{d1}}} = \lambda_y,$$

suy ra 
$$\lambda_{xct} = \sqrt{\lambda_y^2 - \frac{\alpha_1 A}{A_{d1}}}. \quad (4.43)$$

Để có  $\alpha_1$  và  $A_{d1}$  phải sơ bộ chọn trước thép góc làm thanh bụng xiên và bố trí trước sơ đồ hệ thanh bụng theo cấu tạo như ở §4.3 mục 1.

Từ  $\lambda_{xct}$  xác định theo (4.41) hoặc (4.42) có bán kính quán tính cần thiết theo trục ảo là:

$$i_{xct} = \frac{l_x}{\lambda_{xct}},$$

vậy khoảng cách cần thiết của hai nhánh là:

$$C_{ct} = 2\sqrt{i_{xct}^2 - i_{x0}^2}, \quad (4.44)$$

trong đó:  $i_{x0}$  – bán kính quán tính của nhánh đối với trục bản thân ( $x_0 - x_0$ ) song song với trục ảo ( $x - x$ ).

Cũng có thể xác định vị trí hai nhánh là kích thước  $h$  của tiết diện (hình 4.7a)

$$h_{ct} = \frac{i_{xct}}{\alpha_x},$$

hệ số  $\alpha_x$  lấy theo bảng 4.5.

Căn cứ vào  $C_{ct}$  (hoặc  $h_{ct}$ ) và các yêu cầu cấu tạo như khe hở giữa hai nhánh, chọn ra được khoảng cách hai nhánh.

Sau khi chọn được nhánh và khoảng cách hai nhánh, tiến hành xác định hệ bản giằng hoặc hệ thanh bụng của cột theo mục b sau đây.

Khi đã có đầy đủ cấu tạo thân cột (tiết diện nhánh, khoảng cách hai nhánh, kích thước bản giằng và khoảng cách các bản giằng hoặc tiết diện thanh bụng và sơ đồ bố trí hệ thanh bụng) cần phải kiểm tra lại cột đã chọn theo §4.3 mục 3. Với cột rỗng bản giằng cần lưu ý việc xác định  $\lambda_0$  phụ thuộc vào  $n \leq \frac{1}{5}$  hay  $n > \frac{1}{5}$ .

### b. Tính toán bản giằng và thanh bụng

Hệ thanh bụng và bản giằng của cột rỗng được tính toán với lực cắt sinh ra khi cột bị uốn dọc quanh trục ảo. Lực cắt này xem như không đổi trên chiều dài cột, gọi là lực cắt quy ước  $V_f$ , được xác định theo công thức

$$V_f = 7,15 \times \left( 2330 - \frac{E}{f} \right) \times \frac{N}{\varphi} \times 10^{-6}, \quad (4.45)$$

trong đó:  $N$  – lực dọc tính toán của cột;

$\varphi$  – hệ số uốn dọc của cột xác định theo  $\lambda_0$ .

Khi tính toán sơ bộ, lực cắt quy ước có thể lấy theo công thức:

$$V_f = \overline{V}_f \cdot A, \quad (4.46)$$

trong đó:  $V_f$  – tính bằng daN;

$A$  – diện tích tiết diện nguyên của cột tính bằng  $\text{cm}^2$ ;

$\overline{V}_f$  – lấy theo bảng 4.7.

**Bảng 4.7.** Giá trị  $\overline{V}_f$  để tính  $V_f$

| Thép có $f_y/f_y$ , kN/cm <sup>2</sup> | 38/22 | 44/29 | 46/33 52/40 | 60/45 | 70/60 | 85/75 |
|----------------------------------------|-------|-------|-------------|-------|-------|-------|
| $\overline{V}_f$ daN/cm <sup>2</sup>   | 20    | 30    | 40          | 50    | 60    | 70    |

Lực cắt quy ước tác dụng trên một mặt rỗng của cột là  $V_s$

$$V_s = n_r V_f, \quad (4.47)$$

trong đó:  $n_r = 0,5$  với cột rỗng hai nhánh và bốn nhánh;

$n_r = 0,8$  với cột ba mặt rỗng như nhau.

Các bản giằng hoặc thanh bụng trên một mặt rỗng của cột chịu lực cắt  $V_s$ .

#### • Tính toán bản giằng

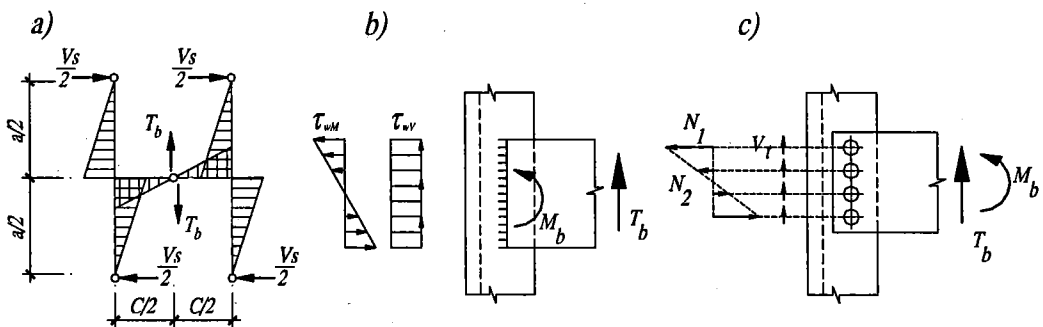
- Chọn bản giằng và khoảng cách các bản giằng

Từ các yêu cầu cấu tạo bản giằng ở §4.3 mục 1 chọn ra kích thước tiết diện của bản giằng  $d_b$ ,  $t_b$ .

Dựa vào chiều dài cột và các yêu cầu về độ mảnh của nhánh theo công thức (4.38) chọn ra khoảng cách tâm các bản giằng  $a$  và chiều dài tính toán của nhánh  $l_f$  (hình 4.8c, d).

– Tính nội lực trong bản giằng

Để xác định nội lực trong các bản giằng, xem các bản giằng và hai nhánh cột như một khung nhiều tầng 1 nhịp chịu tác dụng trượt do lực cắt quy ước  $V_f$  gây ra.



Hình 4.12. Sơ đồ tính toán bản giằng

Biểu đồ mômen uốn trên các thanh của khung trong trường hợp này là đường bậc nhất, điểm  $M = 0$  được coi là các điểm giữa của các thanh, do vậy trên sơ đồ tính xem các điểm giữa các thanh là khớp, xem hình 4.10b,c. Trên một mặt rộng nội lực trong các bản giằng do lực cắt  $V_s$  gây ra được xác định theo sơ đồ ở hình 4.12a. Từ các điều kiện cân bằng nội lực ta có:

Mômen uốn lớn nhất trong bản giằng

$$M_b = \frac{2V_s}{2} \cdot \frac{a}{2} = \frac{V_s a}{2}. \quad (4.48)$$

Lực cắt trong bản giằng

$$T_b = \frac{M_b}{C/2} = \frac{V_s a}{2} \cdot \frac{2}{C} = \frac{V_s a}{C}. \quad (4.49)$$

– Tính toán kiểm tra bản giằng và liên kết bản giằng với nhánh cột.

Bản giằng được kiểm tra bền với  $M_b$ ,  $T_b$  như cấu kiện chịu uốn với kích thước tiết diện  $d_b$ ,  $t_b$ .

Liên kết giữa bản giằng và nhánh cột (đường hàn góc hay đinh tán hoặc bulông) được tính toán với tác dụng đồng thời của  $M_b$ ,  $T_b$  theo các công thức tương ứng ở chương 2.

• *Tính toán thanh bụng*

– Chọn sơ đồ hệ thanh bụng

Tùy thuộc vào chiều dài cột, khoảng cách  $C$  đã tính của các nhánh cột, mà chọn sơ đồ hệ thanh bụng của cột như đã nêu ở §4.3 mục 1 sao cho có góc nghiêng  $\theta$  giữa thanh bụng xiên với nhánh cột hợp lý và thỏa mãn các điều kiện theo công thức (4.39).

– Tính nội lực trong thanh bụng

Dưới tác dụng của lực cắt quy ước  $V_s$  ở trên một mặt rộng, nội lực dọc ( $N_{tx}$ ) trong thanh bụng xiên (đối với hệ thanh bụng tam giác xác định theo hình 4.13c và đối với hệ thanh bụng hình thoi xác định theo hình 4.13b nhưng không có thanh ngang) là:

$$N_{tx} = \frac{V_s}{n_t \cdot \sin \theta}, \quad (4.50)$$

trong đó:  $n_t = 1$  với hệ thanh bụng tam giác;

$n_t = 2$  với hệ thanh bụng hình thoi.

Trường hợp hệ thanh bụng chữ thập có thanh ngang, sơ đồ tính theo hình 4.3a,b. Ở đây lực dọc trong thanh xiên không chỉ theo (4.50) mà còn thêm một lượng lực dọc phụ  $N_d$  do nó cùng chịu nén với nhánh,

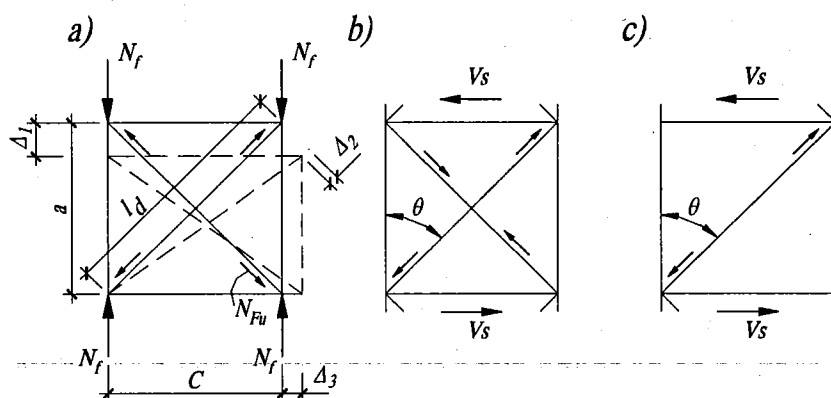
$N_d = \frac{\alpha_d N_f A_t}{A_f}$ , vậy toàn bộ lực dọc trong thanh xiên này là:

$$N_{tx} = \frac{V_s}{2 \sin \theta} + \frac{\alpha_d N_f A_t}{A_f}, \quad (4.51)$$

trong đó:  $N_f$  – lực dọc trong một nhánh cột;

$$\alpha_d = \frac{l_d a^2}{l_d^3 + 2C^3},$$

Các kích thước  $a$ ,  $C$ ,  $l_d$  xem hình 4.11c và hình 4.13.



Hình 4.13. Sơ đồ tính toán thanh bụng xiên

– Chọn tiết diện thanh bụng

Giả thiết trước  $\lambda_{\max}$  của thanh bụng là  $\lambda_{gt} \leq 150$ , với  $\lambda_{gt}$  xác định được  $\varphi_{\min}$  và có  $i_{\min}$  của thanh bụng là:

$$i_{ct} = i_{\min} = \frac{l_d}{\lambda_{gt}}.$$

Xác định diện tích tiết diện cần thiết của thanh bụng xiên

$$A_{tct} = \frac{N_{tx}}{\varphi_{\min} f_{\gamma c}}. \quad (4.52)$$

Căn cứ vào  $A_{tct}$  và  $i_{ct}$  đã tính tra bảng thép góc chọn thép làm thanh bụng.

Các thanh bụng ngang dùng làm giảm chiều dài tính toán của nhánh cột trong cột rỗng chịu nén đúng tâm thường lấy như thanh bụng xiên.

– Tính toán kiểm tra thanh bụng

Thanh bụng xiên được tính toán như cấu kiện chịu nén đúng tâm

$$\frac{N_{tx}}{\varphi_{\min} A_t} \leq f_{\gamma c}, \quad (4.53)$$

trong đó:  $\varphi_{\min}$  xác định theo  $\lambda_{\max} = \frac{l_d}{i_{\min}}$  của thanh bụng xiên;

$\gamma_c$  – hệ số điều kiện làm việc (tính đến sự lệch tâm giữa trục thanh xiên và mặt liên kết) của thanh xiên bằng một thép góc liên kết vào nhánh cột ở một cánh, (đối với thép góc không đều cánh liên kết ở cánh bé),  $\gamma_c = 0,75$ .

– Liên kết thanh xiên vào nhánh

Thanh xiên liên kết vào nhánh cột bằng đường hàn góc, đinh tán hoặc bulông. Các liên kết này tính với  $N_{tx}$  theo các công thức tương ứng ở chương 2.

**Ví dụ 4.2.** Xác định thân cột rỗng bản giằng hai nhánh chịu nén đúng tâm  $N = 1500$  kN. Cột cao 6,8 m. Liên kết ở chân cột là ngàm trong mặt phẳng vuông góc với trục  $x$  (trục ảo), là khớp cố định trong mặt phẳng vuông góc với trục  $y$  (trục thực). Liên kết ở đỉnh cột là ngàm trượt trong mặt phẳng vuông góc với trục  $x$ , là khớp trong mặt phẳng vuông góc với trục  $y$ . Vật liệu sử dụng: thép hình cán mát CT38s, thép bản mát CT34s, que hàn N42. Hàn thủ công. Hệ số điều kiện làm việc của cột  $\gamma_c = 1$ .

1) Xác định nhánh

- Chọn hình dạng tiết diện và loại thép hình làm nhánh:

Chọn dạng cột hai nhánh như nhau, bằng thép hình chữ I. Dạng tiết diện như hình 4.14.

Thép hình cán mát CT38s có cường độ tính toán

$$f = \frac{f_y}{\gamma_M} = \frac{24}{1,05} = 23 \text{ kN/cm}^2 \text{ (với } t \leq 20 \text{ mm),}$$

thép bản mát CT34s có cường độ tính toán là

$$f = \frac{f_y}{\gamma_M} = \frac{22}{1,05} = 21 \text{ kN/cm}^2 \text{ và } f_v = \frac{0,58f_y}{\gamma_M} = \frac{0,58 \cdot 22}{1,05}$$

$$= 12 \text{ kN/cm}^2 \text{ (với bản thép có } t \leq 20 \text{ mm).}$$

- Xác định chiều dài tính toán và sơ bộ chọn độ mảnh theo trục thực:

Theo đề cho, tra bảng 4.1 có hệ số chiều dài tính toán theo hai phương như nhau  $\mu = 1$ , vậy có  $l_x = l_y = l = 680$  cm, giả thiết độ mảnh theo phương trục thực là  $\lambda_{ygt} = 60$ .

Tra bảng hệ số  $\varphi$  ở phần phụ lục theo  $\lambda_{ygt} = 60$  và  $f = 23 \text{ kN/cm}^2$  được

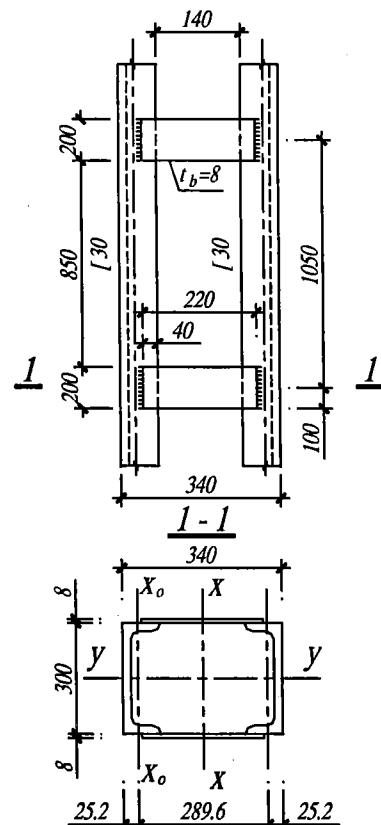
$$\varphi_y = 0,8105.$$

- Xác định nhánh cột :

Theo công thức (4.40) và (4.41) có

$$A_{fct} = \frac{1500}{2 \times 0,8105 \times 23} = 40,23 \text{ cm}^2,$$

$$i_{yct} = i_{yoc} = \frac{l_y}{\lambda_{ygt}} = \frac{680}{60} = 11,33 \text{ cm},$$



Hình 4.14. Thân cột của ví dụ 4.2

Chọn nhánh là thép hình [30 có

$$A_f = 40,5 \text{ cm}^2, I_{x0} = 327 \text{ cm}^4, i_{y0} = 12 \text{ cm};$$

$$i_{x0} = 2,84 \text{ cm}; Z_o = 2,52 \text{ cm}.$$

2) Kiểm tra nhánh đã chọn theo thực thực

– Kiểm tra về độ mảnh:

$$\lambda_y = \frac{l_y}{i_y} = \frac{l_y}{i_{y0}} = \frac{680}{12} = 56,7 < [\lambda] = 120,$$

cột đảm bảo yêu cầu về độ mảnh theo trục thực  $y - y$ .

– Kiểm tra khả năng chịu lực:

Vì nhánh cột không có giảm yếu tiết diện, nên không phải kiểm tra về độ bền. Kiểm tra ổn định tổng thể theo trục thực của tiết diện cột đã chọn như sau:

Cũng như trên, từ  $\lambda_y = 56,7$  và  $f = 23 \text{ kN/cm}^2$  tra bảng được  $\varphi_y = 0,8256$  và có

$$\frac{N}{\varphi_y A} = \frac{1500}{0,8256 \cdot 2 \cdot 40,5} = 22,43 \text{ kN/cm}^2 < \gamma_c R = 23 \text{ kN/cm}^2$$

cột đảm bảo ổn định tổng thể theo phương trục  $y$ .

3) Xác định khoảng cách hai nhánh

– Chọn bản giằng và khoảng cách các bản giằng:

Theo điều kiện cấu tạo chọn tiết diện bản giằng là:  $t_b = 8 \text{ mm}$ ;  $d_b = 200 \text{ mm}$ . Từ điều

kiện theo công thức (4.38) có  $\lambda_1 = \frac{l_f}{i_{x0}} \leq 40$  tức  $l_f \leq 40 i_{x0} = 40 \times 2,84 = 113,6 \text{ cm}$ , chọn

$l_f = 85 \text{ cm}$ . Khoảng cách tâm hai bản giằng là

$$a = l_f + d_g = 85 + 20 = 105 \text{ cm}.$$

Xác định tỷ số độ cứng đơn vị, theo công thức (4.25) có

$$n = \frac{I_{x0} C}{I_b a} = \frac{I_{x0} C 12}{a t_b d_b^3} = \frac{327 \times 28,96 \times 12}{105 \times 0,8 \times 20^3} = 0,169 < \frac{1}{5} = 0,2.$$

– Xác định khoảng cách hai nhánh ( $C$ ) và bề cao  $h$  của tiết diện cột:

Độ mảnh của nhánh theo trục  $x_0$  là

$$\lambda_1 = \frac{l_f}{i_{x0}} = \frac{85}{2,84} = 29,93.$$

Giả thiết tỷ số  $n < 0,2$ , theo công thức (4.42) và (4.44) có

$$\lambda_{xct} = \sqrt{56,7^2 - 29,93^2} = 48,16;$$

$$i_{xct} = \frac{l_x}{\lambda_{xct}} = \frac{680}{48,16} = 14,1 \text{ cm};$$

$$C_{ct} = 2 \sqrt{14,1^2 - 2,84^2} = 27,62 \text{ cm}.$$

Bề cao cần thiết của tiết diện cột  $h_{ct} = 27,62 + 2 \cdot 2,52 = 32,66 \text{ cm}$ .

Chọn :  $h = 34 \text{ cm}$ ,

$$C = h - 2Z_o = 34 - 2 \times 2,52 = 28,96 \text{ cm.}$$

- Kiểm tra giả thiết tỷ số  $n$ : Theo công thức (4.25) có

$$n = \frac{I_{xo} C}{I_b a} = \frac{I_{xo} C 12}{a t_b d_b^3} = \frac{327 \times 28,96 \times 12}{105 \times 0,8 \times 20^3} = 0,169 < \frac{1}{5} = 0,2.$$

Giả thiết  $n$  ở trên phù hợp, không phải tính toán lại  $C$ .

4) Kiểm tra tiết diện cột đã chọn theo trục ảo

- Xác định độ mảnh tương đương ( $\lambda_o$ ):

$$I_x = 2 \left( I_{xo} + C^2 \frac{A_f}{4} \right) = 2 \left( 327 + 27,96^2 \frac{40,5}{4} \right) = 16484,7 \text{ cm}^4,$$

$$i_x = \sqrt{\frac{16484,7}{2 \times 40,5}} = 14,27 \text{ cm}, \lambda_x = \frac{680}{14,27} = 47,65,$$

có  $n = 0,169 < 0,2$  vậy  $\lambda_o$  xác định theo công thức 4.27

$$\lambda_o = \sqrt{\lambda_x^2 + \lambda_f^2} = \sqrt{47,65^2 + 29,93^2} = 56,3.$$

- Kiểm tra cột theo trục ảo:

Cột có  $\lambda_o = 56,3 < \lambda_y = 56,7 = \lambda_{\max}$ , vậy không cần kiểm tra tiếp, cột đã chọn đảm bảo yêu cầu về ổn định và độ mảnh.

5) Tính toán bản giằng và liên kết bản giằng vào nhánh cột

- Xác định khoảng cách hai nhánh (C) và bề cao  $h$  của tiết diện cột:

Độ mảnh của nhánh theo trục  $x_o$  là

$$\lambda_1 = \frac{l_f}{i_{xo}} = \frac{85}{2,84} = 29,93.$$

Theo công thức (4.42) và (4.44) có

$$\lambda_{xct} = \sqrt{56,7^2 - 29,93^2} = 48,16;$$

$$i_{xct} = \frac{l_x}{\lambda_{xct}} = \frac{680}{48,16} = 14,1 \text{ cm};$$

$$C_{ct} = 2 \sqrt{14,1^2 - 2,84^2} = 27,62 \text{ cm.}$$

Bề cao tiết diện cột  $h = 27,62 + 2 \times 2,52 = 32,66 \text{ cm}$ , chọn  $h = 33 \text{ cm}$ .

4) Kiểm tra tiết diện cột đã chọn theo trục ảo

- Xác định độ mảnh tương đương ( $\lambda_o$ ):

$$C = h - 2Z_o = 33 - 2 \times 2,52 = 27,96 \text{ cm,}$$

$$I_x = 2 \left( I_{xo} + C^2 \frac{A_f}{4} \right) = 2 \left( 327 + 27,96^2 \frac{40,5}{4} \right) = 16484,7 \text{ cm}^4,$$

$$i_x = \sqrt{\frac{16484,7}{2 \times 40,5}} = 14,27 \text{ cm}, \lambda_x = \frac{680}{14,27} = 47,65,$$



$$h_f \geq \frac{1}{l_w (\beta f_w)_{\min}} \sqrt{T_b^2 + \left( \frac{6 M_b}{l_w} \right)^2};$$

$$h_f \geq \frac{1}{19 \times 12,6} \sqrt{3,5^2 + \left( \frac{6 \times 483}{19} \right)^2} = 0,65 \text{ cm.}$$

Vậy lấy  $h_f = 8 \text{ mm}$ .

**Ví dụ 4.3.** Như ví dụ 4.2, thay hệ bụng bản giằng thành hệ thanh bụng.

**1) Xác định nhánh**

Xem ví dụ 4.2 và hình 4.15

**2) Kiểm tra nhánh theo trục thực**

Xem ví dụ 4.2

**3) Xác định khoảng cách hai nhánh**

- Chọn thanh bụng và sơ đồ bố trí hệ thanh bụng:

Chọn hệ thanh bụng tam giác không có thanh ngang, góc nghiêng của thanh bụng với nhánh là  $\theta = 45^\circ$ , có  $\alpha_1 = 28$  (tra ở bảng 4.6).

Chọn thanh bụng là một thép góc L40×5 có  $A_t = 3,79 \text{ cm}^2$ ,  $i_{\min} = 0,79 \text{ cm}$ .

- Xác định khoảng cách  $C$  và bề cao  $h$  của tiết diện cột:

Theo công thức (4.43) và (4.44) có

$$\lambda_{xct} = \sqrt{\lambda_y^2 - \alpha_1 \frac{A}{A_d}} = \sqrt{\lambda_y^2 - \alpha_1 \frac{A_f}{A_t}};$$

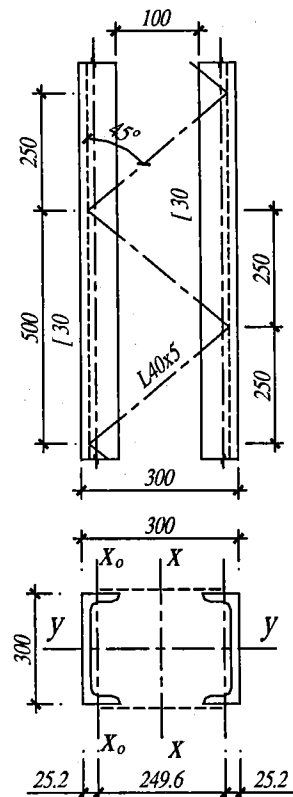
$$\lambda_{xct} = \sqrt{56,7^2 - \frac{28 \cdot 40,5}{3,79}} = 54;$$

$$i_{xct} = \frac{l_x}{\lambda_{xct}} = \frac{680}{54} = 12,6 \text{ cm};$$

$$C_{ct} = 2 \sqrt{12,6^2 - 2,84^2} = 24,55 \text{ cm};$$

$$h_{ct} = 24,55 + 2 \times 2,52 = 29,59 \text{ cm},$$

lấy  $h = 30 \text{ cm}$ ,  $C = 30 - 2 \times 2,52 = 24,96 \text{ cm}$ .



**Hình 4.15**  
Thân cột của ví dụ 4.3

- 4) Kiểm tra cột đã chọn theo trục ảo và nhánh cột theo trục  $x_0 - x_0$ .

- Kiểm tra nhánh cột theo trục  $x_0 - x_0$ :

Theo sơ đồ hệ thanh bụng đã chọn (xem hình 4.15) với  $C = 24,96 \text{ cm} \approx 25 \text{ cm}$ , nên có

$l_f = 50 \text{ cm}$ ,  $\lambda_1 = \frac{50}{2,84} = 17,6 < \lambda_y = 56,7$ , đảm bảo yêu cầu theo công thức (4.39) đối với

nhánh và không phải kiểm tra nhánh theo  $\lambda_1$ .

- Kiểm tra cột theo trục ảo:

$$I_x = 2 \left( 327 + 40,5 \times \frac{24,96^2}{4} \right) = 13270 \text{ cm}^4;$$

$$i_x = \sqrt{\frac{13270}{2 \times 40,5}} = 12,8 \text{ cm};$$

$$\lambda_x = \frac{680}{12,8} = 53,1;$$

$$\lambda_o = \sqrt{53,1^2 + 28 \times \frac{40,5}{3,79}} = 55,9,$$

$\lambda_o = 55,9 < \lambda_y = 56,7$ , vậy không cần kiểm tra tiếp, cột đã chọn đảm bảo yêu cầu về ổn định tổng thể và độ mảnh.

5) Tính toán thanh bụng

– Kiểm tra thanh bụng:

Chiều dài thanh bụng

$$l_d = \frac{l_f}{2 \cos \theta} = \frac{50}{2 \times 0,707} = 35,4 \text{ cm}.$$

Theo công thức (4.45) có

$$V_f = 7,15 \times \left( 2330 - \frac{2,1 \cdot 10^4}{23} \right) \frac{1500}{0,8293} 10^{-6} = 18,32 \text{ kN},$$

trong đó:  $\varphi = 0,8293$  tra ở bảng hệ số  $\varphi$  ở phần phụ lục theo  $\lambda_o = 55,9$  và  $f = 23 \text{ kN/cm}^2$ .

$$V_s = 0,5 \times 18,32 = 9,16 \text{ kN}.$$

Lực dọc trong thanh bụng xác định theo công thức 4.50 (trong đó  $n_t = 1$ )

$$N_{tx} = \frac{V_s}{\sin \theta} = \frac{9,16}{0,707} = 12,96 \text{ kN}.$$

Độ mảnh lớn nhất của thanh bụng là

$$\lambda_{dmax} = \frac{l_d}{i_{min}} = \frac{35,4}{0,79} = 44,8 < [\lambda] = 150,$$

tra bảng hệ số  $\varphi$  ở phần phụ lục theo độ mảnh  $\lambda_{dmax} = 44,8$  và cường độ tính toán  $f = 23 \text{ kN/cm}^2$  ta được  $\varphi_{min} = 0,8774$ .

Theo công thức (4.53) với hệ số điều kiện làm việc  $\gamma_c = 0,75$  có

$$\frac{12,96}{0,8774 \times 3,79 \times 0,75} = 5,2 \text{ kN/cm}^2 < f = 23 \text{ kN/cm}^2.$$

– Xác định đường hàn liên kết thanh bụng vào nhánh:

Chọn chiều cao đường hàn cả sống và mép là  $h_f = 4 \text{ mm}$ . Với que hàn N42, hàn thủ công, thép CT38s có  $(\beta f_w)_{min} = 0,7 \times 18 = 12,6 \text{ kN/cm}^2$ ,

$$\sum l_w = l_{w1} + l_{w2} = \frac{N_{tx}}{(\beta f_w)_{min} h_f \gamma_c} = \frac{12,96}{12,6 \times 0,4 \times 0,75} = 3,4 \text{ cm}$$

lấy theo cấu tạo  $l_{w1} = 4 \text{ cm}$ ,  $l_{w2} = 4 \text{ cm}$ .

## §4.4. CỘT CHỊU NÉN LỆCH TÂM, NÉN UỐN

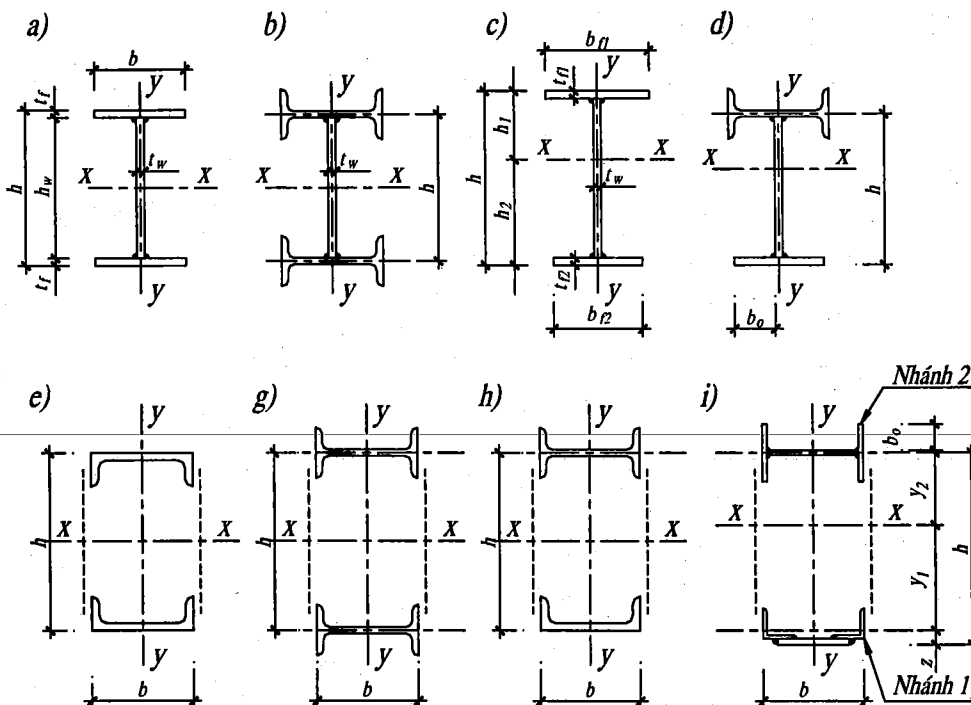
### 1. Cấu tạo

Cột thép chịu nén lệch tâm, nén uốn cũng có cột đặc và cột rỗng. Hình thức tiết diện của nó thường có các dạng như hình 4.16, có trục  $y$  là trục đối xứng của tiết diện.

Cột nén lệch tâm thường cấu tạo chỉ đặt lực nén lệch tâm theo một phương, đó là lệch ra ngoài trục  $x$  gây ra mômen uốn  $M_x$ . Mômen  $M_x$  nằm trong mặt phẳng đối xứng của tiết diện chứa trục  $y$  và vuông góc với trục  $x$ .

Dạng tiết diện đối xứng như ở hình 4.16a, b, e, g (có trục  $x$  trục  $y$  là hai trục đối xứng) dùng khi cột có mômen uốn không lớn hay khi cột có các cặp nội lực nguy hiểm  $N_1, M_1$  và  $N_2, M_2$  ( $M_1$  ngược dấu  $M_2$ , xem hình 4.18) đối xứng hoặc gần đối xứng qua trục  $x$  (hoặc trục  $y$ ). Để đơn giản cho việc chế tạo cũng có thể dùng tiết diện đối xứng, khi đó cần quan tâm đến yêu cầu kinh tế của cấu kiện.

Khi cột có mômen uốn không đối dấu với giá trị lớn hoặc khi có các cặp nội lực nguy hiểm ( $N_1, M_1$  và  $N_2, M_2$ ;  $M_1$  ngược dấu  $M_2$ , xem hình 4.18) chênh nhau nhiều, dùng tiết diện không đối xứng (hình 4.16c, d, h, i).



Hình 4.16. Các dạng tiết diện cột nén lệch tâm

Do cột chịu  $M_x$  và để đảm bảo độ cứng trong mặt phẳng uốn nên chiều cao  $h$  của tiết diện (cạnh song song với mặt phẳng uốn) thường được chọn dựa theo chiều dài cột ( $l_c$ ) như sau:

$$h = \left( \frac{1}{8} + \frac{1}{14} \right) l_c \text{ với cột rỗng,}$$

$$h = \left( \frac{1}{10} + \frac{1}{15} \right) l_c \text{ với cột đặc.}$$

Để đảm bảo độ cứng cho cột theo phương vuông góc với mặt phẳng uốn, bề rộng  $b$  của tiết diện lấy là  $b = (0,3 \div 0,5)h$  và  $b = \left( \frac{1}{20} + \frac{1}{30} \right) l_c$ .

Khi cột tồn tại sự lệch tâm của lực dọc ở cả 2 phương, cột chịu uốn ở hai mặt phẳng chứa 2 trục chính của tiết diện cột với các mômen  $M_x, M_y$ . Trường hợp này, thường tiết diện cột được bố trí sao cho mômen uốn lớn hơn ( $M_x$ ) ở mặt phẳng vuông góc với trục  $x$  (uốn quanh trục  $x$ , trục vuông góc với bề cao  $h$  của tiết diện) và mômen uốn nhỏ hơn ( $M_y$ ) ở mặt phẳng vuông góc với trục  $y$  (uốn quanh trục  $y$ , trục vuông góc với bề rộng  $b$  của tiết diện).

Nhìn chung cột nén lệch tâm, nén uốn có lực cắt lớn nên bụng của cột rỗng thường dùng là hệ thanh bụng có các sơ đồ và cấu tạo như cột nén đúng tâm. Trường hợp bản giằng chỉ dùng khi cột có lực cắt thực tế nhỏ hơn lực cắt quy ước  $V_f$ . Bản giằng cũng cấu tạo như cột nén đúng tâm, bản giằng có thể làm bằng thép hình chữ  $[$  khi nội lực uốn  $M_b$  của nó lớn.

Dọc theo chiều dài cột cũng đặt các vách cứng như cột nén đúng tâm.

## 2. Tính toán cột đặc chịu nén lệch tâm, nén uốn

### a. Tính toán về bền

Trong thực tế, việc mất khả năng chịu lực của cột về bền có thể xảy ra khi tiết diện nguy hiểm của cột có sự giảm yếu lớn hoặc khi độ lệch tâm tính đối  $m_e > 20$  bất kể cột có bị giảm yếu tiết diện hay không.

$$m_e = \eta m, \quad (4.54)$$

trong đó:  $m$  – độ lệch tâm tương đối,

$$m = \frac{e}{\rho} = \left( \frac{M}{N} \right) \left( \frac{A}{W_c} \right); \quad (4.55)$$

$\eta$  – hệ số kể đến ảnh hưởng của hình dạng tiết diện đến sự phát triển biến dạng dẻo (so với tiết diện chữ nhật,  $\eta = 1$ ) lấy theo bảng II.4 phụ lục II;

$W_c$  – xác định với thớ chịu nén lớn nhất của tiết diện.

Điều kiện bền của cột là:

$$\frac{N}{A_n} \pm \frac{M_x}{I_{nx}} y \pm \frac{M_y}{I_{ny}} x \leq f_{yc}, \quad (4.56)$$

trong đó:  $N, M_x, M_y$  – trị số của lực dọc và các mômen uốn tính toán của cột trong cùng một tổ hợp tải trọng;

$M_x$  – mômen uốn trong mặt phẳng vuông góc với trục  $x$ ;

$M_y$  – mômen uốn trong mặt phẳng vuông góc với trục  $y$ ;

$y, x$  – tọa độ điểm kiểm tra trên tiết diện cột đối với các trục chính của nó. Các điểm kiểm tra ứng suất pháp thường nằm trên các biên của tiết diện;

$A_n, I_{nx}, I_{ny}$  – diện tích thu hẹp của tiết diện và các mômen quán tính đối với trục  $x$ , trục  $y$  của tiết diện thu hẹp.

Khi cột không chịu trực tiếp tải trọng động, có  $\tau \leq 0,5f_v$  và thép làm cột có giới hạn chảy  $f_y \leq 5300 \text{ daN/cm}^2$  và  $N/(A_n f) > 0,1$  cho phép kể đến sự phát triển biến dạng dẻo theo điều kiện bền sau:

$$\left( \frac{N}{A_n f} \right)^{n_c} + \frac{M_x}{c_x f \gamma_c W_{nx \min}} + \frac{M_y}{c_y f W_{ny \min} \gamma_c} \leq 1, \quad (4.57)$$

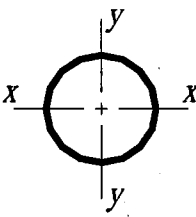
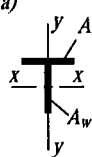
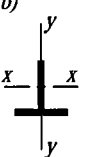
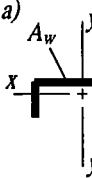
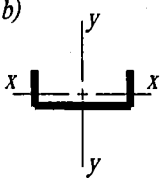
trong đó:  $W_{nx \min}, W_{ny \min}$  – mômen chống uốn nhỏ nhất của tiết diện thu hẹp đối với trục  $x$ , trục  $y$ ;

$n_c, c_x, c_y$  – các hệ số phụ thuộc vào hình dạng của tiết diện, lấy theo bảng 4.8.

Khi  $\frac{N}{A_n f} \leq 0,1$  thì công thức 4.56 chỉ được dùng khi bản cánh đảm bảo điều kiện ổn định cục bộ như bản cánh nén của dầm (xem chương 3 hoặc theo bảng 34 tiêu chuẩn thiết kế kết cấu thép TCXDVN 338:2005).

Bảng 4.8. Hệ số  $n_x$ ,  $c_x$ ,  $c_y$  trong công thức 4.57

| Loại tiết diện | Hình dạng tiết diện | $A/A_w$ | $c_x (c_y)$ | $c_y$ | $n_c$ khi |              |
|----------------|---------------------|---------|-------------|-------|-----------|--------------|
|                |                     |         |             |       | $M_y = 0$ | $M_y \neq 0$ |
| 1              |                     | 0,25    | 1,19        | 1,47  | 1,5       | 1,5          |
|                |                     | 0,5     | 1,12        |       |           |              |
|                |                     | 1,0     | 1,07        |       |           |              |
|                |                     | 2,0     | 1,04        |       |           |              |
| 2              |                     | 0,5     | 1,40        | 1,47  | 2         | 1,5          |
|                |                     | 1,0     | 1,28        |       |           |              |
|                |                     | 2,0     | 1,18        |       |           |              |
| 3              |                     | 0,25    | 1,19        | 1,07  | 1,5       | 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       | 1,5          |
|                |                     | 1,0     | 1,28        | 1,20  |           |              |
|                |                     | 2,0     | 1,18        | 1,31  |           |              |
| 5              | a)                  | -       | 1,47        | 1,47  | a) 2,0    | a) 2,0       |
|                | b)                  |         |             |       | b) 3,0    | b) 3,0       |
| 6              |                     | 0,25    | 1,47        | 1,04  | 3,0       | 1,5          |
|                |                     | 0,5     |             | 1,07  |           |              |
|                |                     | 1,0     |             | 1,12  |           |              |
|                |                     | 2,0     |             | 1,19  |           |              |

| Loại tiết diện                                                             | Hình dạng tiết diện                                                                                                                                                                                                                                                                        | $A/A_w$           | $c_1 (c_x)$ | $c_y$                | $n_c$ khi        |              |
|----------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|-------------|----------------------|------------------|--------------|
|                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                   |             |                      | $M_y = 0$        | $M_y \neq 0$ |
| 7                                                                          |                                                                                                                                                                                                           | –                 | 1,26        | 1,26                 | 1,5              | 1,5          |
| 8                                                                          | <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div>           a)  </div> <div>           b)  </div> </div> | –                 | 1,60        | 1,47                 | a) 3,0<br>b) 1,0 | 1,5          |
| 9                                                                          | <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div>           a)  </div> <div>           b)  </div> </div> | 0,5<br>1,0<br>2,0 | 1,60        | 1,07<br>1,12<br>1,19 | a) 3,0<br>b) 1,0 | 1,5          |
| Chú thích: Khi $A_f/A_w$ có giá trị trung gian cho phép nội suy tuyến tính |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                   |             |                      |                  |              |

## b. Tính toán về ổn định tổng thể

Khác với cột nén đúng tâm, ổn định tổng thể của cột nén lệch tâm, nén uốn, ngoài ảnh hưởng về độ mảnh của cột, còn chịu ảnh hưởng của mômen uốn và hình dạng của tiết diện cột. Ổn định tổng thể của cột nén lệch tâm, nén uốn được tính toán theo cả hai mặt phẳng chứa hai trục chính của tiết diện, trong đó ở một hoặc cả hai mặt phẳng này chứa mômen uốn của cột ( $M_x$  hoặc  $M_y$ ). Các trường hợp này được tính toán như sau:

- Trường hợp cột chịu  $N$  và  $M_x$  nằm trong mặt phẳng đối xứng của tiết diện cột:

Ổn định tổng thể của cột trong mặt phẳng uốn (tính toán đối với trục  $x$ ) được kiểm tra theo thanh nén lệch tâm như đã nêu ở chương 1 theo công thức sau:

$$\frac{N}{\varphi_e A} \leq f_{yc}, \quad (4.58)$$

trong đó:  $\varphi_e$  – xác định theo bảng II.2 phụ lục II, phụ thuộc vào độ mảnh quy ước  $\bar{\lambda}_x$  và độ lệch tâm tính đối  $m_e$  của cột,

$$\bar{\lambda}_x = \lambda_x \sqrt{\frac{f}{E}}. \quad (4.59)$$

$m_e$  xác định theo công thức (4.54) trong đó  $m$  xác định theo công thức (4.55) với việc thay  $M, W_c$  là  $M_x, W_{xc}$ .

Giá trị  $M_x$  để xác định  $m_e$  phải cùng tổ hợp tải trọng với  $N$  và lấy như sau:

- + với cột dạng côngxôn là giá trị mômen ở ngàm nhưng không nhỏ hơn mômen ở tiết diện cách ngàm một phần ba chiều dài cột;
- + với cột tiết diện không đổi của khung, là mômen lớn nhất trên chiều dài cột;
- + với cột bậc, là mômen lớn nhất trên đoạn cột có tiết diện không đổi.
- + các trường hợp khác xem tiêu chuẩn thiết kế kết cấu thép hiện hành TCXDVN 338:2005.

Ổn định tổng thể của cột trong mặt phẳng vuông góc với mặt phẳng uốn (tính toán đối với trục  $y$ ) được kiểm tra tương tự như thanh nén đúng tâm, có kể đến ảnh hưởng của mômen uốn (xem chương 1) theo công thức sau:

$$\frac{N}{\varphi_y A} \leq f_{yc}, \quad (4.60)$$

trong đó:  $\varphi_y$  – hệ số uốn dọc đối với trục  $y$  của tiết diện cột, xác định theo (4.8), (4.9), (4.10) hoặc tra bảng phụ thuộc vào  $\lambda_y = \frac{l_y}{i_y}$  và  $f$ ;

$c$  – hệ số kể đến ảnh hưởng của mômen uốn ( $M_x$ ) và hình dạng tiết diện đối với độ ổn định của cột theo phương vuông góc với mặt phẳng uốn, xác định như sau:

$$+ \text{ khi } m_x \leq 5, c = \frac{\beta}{1 + \alpha m_x}, \quad (4.61)$$

$\alpha$  và  $\beta$  là các hệ số xác định theo bảng 4.9

$$+ \text{ khi } m_x \geq 10, c = \frac{1}{1 + \frac{m_x \varphi_y}{\varphi_b}}, \quad (4.62)$$



$\varphi_b$  lấy như đối với dầm (xem chương 3), với cánh nén có từ hai điểm cố kết trở lên. Trường hợp tiết diện kín  $\varphi_b = 1,0$ .

+ khi  $5 < m_x < 10$ :

$$c = c_5(2 - 0,2m_x) + c_{10}(0,2m_x - 1); \quad (4.63)$$

$c_5$  xác định theo (4.61) với  $m_x = 5$ ;

$c_{10}$  xác định theo (4.62) với  $m_x = 10$ .

Độ lệch tâm tương đối  $m_x$  xác định theo công thức (4.55) với giá trị mômen uốn  $M_x$  cùng tổ hợp tải trọng với mômen tính toán trong các công thức (4.56), (4.58) lấy như sau:

+ Với cột chân và đầu liên kết không cho chuyển vị vuông góc với mặt phẳng uốn,  $M_x$  là mômen lớn nhất trong đoạn một phần ba giữa của chiều dài cột, nhưng không nhỏ hơn một nửa mômen lớn nhất trên cột.

+ Với cột dạng côngxon,  $M_x$  là mômen ở ngàm nhưng không nhỏ hơn mômen tại tiết diện cách ngàm một phần ba chiều dài cột.

Khi  $\lambda_y > \lambda_c = 3,14 \sqrt{\frac{E}{f}}$  ( $\lambda_c$  là độ mảnh nhỏ nhất mà cột nén đúng tâm khi mất ổn định có ứng suất trong giai đoạn đàn hồi) hệ số  $c$  lấy như sau:

✦ Với cột tiết diện kín:  $c = 1$

+ Với cột tiết diện chữ I có hai trục đối xứng:  $c \leq c_{max}$

$$c_{max} = \frac{2}{1 + \delta + \sqrt{(1 - \delta)^2 + \frac{16}{\mu} \left( \frac{M_x}{Nh_c} \right)^2}},$$

trong đó:  $\delta = \frac{4\rho}{\mu}$ ,  $\mu = 2 + 0,156 \frac{I_t}{Ah_c^2} \lambda_y^2$ ,

$$\rho = \frac{I_x + I_y}{Ah_c^2}, \quad I_t = 0,433 \sum b_i t_i^3,$$

$b_i$  và  $t_i$  – bề rộng và bề dày các bản (cánh, bụng) của tiết diện;

$h_c$  – khoảng cách của tâm tiết diện 2 bản cánh.

+ Với tiết diện chữ T và chữ I có một trục đối xứng hệ số  $c$  lấy không vượt quá  $c_{max}$  theo công thức D.9 phụ lục D trong tiêu chuẩn thiết kế kết cấu thép TCXDVN 338:2005.

Đối với các cột có  $I_x > I_y$  nhưng trục  $y$  không là trục đối xứng của tiết diện, giá trị tính toán của  $m_x$  được tăng lên 25%.

- Trường hợp cột chịu  $N$  và  $M_y$  nằm trong mặt phẳng vuông góc với trục  $y$  có độ cứng chống uốn nhỏ ( $I_y < I_x$ ), việc tính toán ổn định tổng thể của cột trong mặt phẳng uốn (tính theo trục  $y$ ) vẫn theo công thức (4.58) trong đó thay việc tính toán theo trục  $x$  trong công thức thành trục  $y$ . Còn việc tính toán theo phương vuông góc với mặt phẳng uốn (tính toán theo trục  $x$ ) chỉ phải thực hiện khi  $\lambda_x > \lambda_y$ , lúc này cột được tính như thanh chịu nén đúng tâm bỏ qua ảnh hưởng của  $M_y$ .

$$\frac{N}{\varphi_x A} \leq f_{yc}, \quad (4.64)$$

trong đó:  $\varphi_x$  – hệ số uốn dọc tra bảng theo  $\lambda_x$  hoặc tính theo (4.7), (4.8), (4.9).

- Trường hợp cột đặc chịu nén uốn trong hai mặt phẳng chính ( $N, M_x, M_y$ ), khi mặt phẳng đối xứng là mặt phẳng có độ cứng lớn nhất ( $I_x > I_y$ ), thì cột được kiểm tra ổn định theo công thức

$$\frac{N}{\varphi_{e.xy} A} \leq f_{yc}, \quad (4.65)$$

trong đó:  $\varphi_{e.xy} = \varphi_{e.y} \left( 0,6\sqrt[3]{c} + 0,4\sqrt[4]{c} \right)$ ,

$$(4.66)$$

$\varphi_{e.y}$  xác định như  $\varphi_e$  trong đó thay  $m$  và  $\bar{\lambda}_x$  tương ứng bằng

$$m_y = \frac{M_y A}{N W_y} \quad \text{và} \quad \bar{\lambda}_y = \lambda_y \sqrt{\frac{f}{E}},$$

$c$  xác định theo công thức như đã nêu khi tính công thức 4.60.

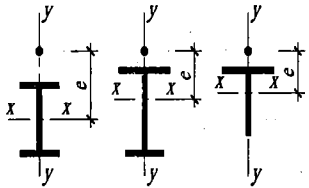
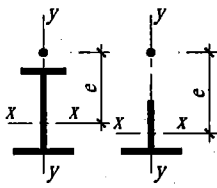
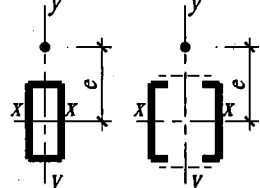
Khi tính độ lệch tâm tính đối  $m_{e,y} = \eta m_y$  đối với tiết diện chữ I có hai cánh không giống nhau, hệ số  $\eta$  lấy như đối với tiết diện loại 8 trong bảng II.4 phụ lục II.

Nếu  $m_{e,y} < m_x$  thì ngoài việc kiểm tra theo công thức 4.65 còn phải kiểm tra theo các công thức 4.58 và 4.60 xem như  $e_y = 0$ .



Nếu  $\lambda_x > \lambda_y$  thì ngoài việc kiểm tra theo công thức 4.65 cần phải kiểm tra thêm theo công thức 4.58 xem như  $e_y = 0$ .

**Bảng 4.9.** Hệ số  $\alpha$  và  $\beta$  trong công thức (4.61)

| Hệ số $\alpha, \beta$ khi |                            | Tiết diện hở dạng chữ I và chữ T                                                  |                                                                                              | Tiết diện kín                                                                       |
|---------------------------|----------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|                           |                            |  |             |  |
| $\alpha$                  | $m_x \leq 1$               | 0,7                                                                               | $1 - 0,3 I_2/I_1$                                                                            | 0,6                                                                                 |
|                           | $1 < m_x \leq 5$           | $0,65 + 0,05 m_x$                                                                 | $1 - (0,35 - 0,05 m_x) I_2/I_1$                                                              | $0,55 + 0,05 m_x$                                                                   |
| $\beta$                   | $\lambda_y \leq \lambda_c$ | 1                                                                                 | 1                                                                                            | 1                                                                                   |
|                           | $\lambda_y > \lambda_c$    | $\sqrt{\varphi_c / \varphi_y}$                                                    | $1 - (1 - \sqrt{\varphi_c / \varphi_y}) (2I_2/I_1 - 1)$<br>khi $I_2/I_1 < 0,5$ ; $\beta = 1$ | $\sqrt{\varphi_c / \varphi_y}$                                                      |

*Chú thích:* Các ký hiệu  $I_1, I_2$  là các mômen quán tính của cánh lớn và nhỏ đối với trục đối xứng của tiết diện ( $y - y$ ).  $\varphi_c$  là giá trị của  $\varphi_y$  khi  $\lambda_y = \lambda_c = 3,14 \sqrt{E/I}$ .

Các giá trị  $\alpha, \beta$  của cột rỗng có các thanh bụng hoặc bản giằng được lấy như tiết diện kín nếu trên chiều dài cột có không ít hơn hai vách cứng trung gian. Trường hợp ngược lại dùng các hệ số quy định đối với tiết diện hở chữ I.

### c. Tính toán về ổn định cục bộ

Như dầm và cột đặc chịu nén đúng tâm, cột đặc chịu nén lệch tâm, nén – uốn được tạo nên từ các bản thép hoặc từ thép hình dẹt nguội, các bản thép này có thể bị mất ổn định cục bộ khi cột chịu tải trọng. Cùng quan điểm như dầm và cột nén đúng tâm, các bản thép ở đây phải có cấu tạo sao cho không bị mất ổn định cục bộ trước khi mất khả năng chịu lực về ổn định tổng thể hay về bên. Với nguyên tắc như vậy, xác lập được các điều kiện ổn định cục bộ của cột đặc chịu nén lệch tâm, nén uốn như sau:

#### • Các điều kiện ổn định cục bộ của bản cánh

Bản cánh phải đảm bảo điều kiện ổn định cục bộ theo công thức (4.13), với độ mảnh giới hạn của bản cánh  $[b_o/t]$  xác định như sau:

- Đối với cột có tiết diện không là hình hộp,  $[b_o/t]$  phụ thuộc vào  $\bar{\lambda}$  và xác định như cột nén đúng tâm theo bảng 4.4.
- Đối với cột có tiết diện hình hộp,  $[b_o/t]$  ngoài  $\bar{\lambda}$  còn phụ thuộc vào độ lệch tâm tương đối  $m$ , được xác định xác định cụ thể là:

+ Khi  $m \leq 0,3$  giá trị của  $[b_o/t]$  lấy như là bản bụng của tiết diện hình hộp, theo bảng 4.4;

+ Khi  $m \geq 1,0$  và  $\bar{\lambda} \leq 2 + 0,04m$  :

$$\left[ \frac{b_o}{t} \right] = \sqrt{\frac{E}{f}},$$

+ Khi  $m \geq 1,0$  và  $\bar{\lambda} > 2 + 0,04m$  :

$$\left[ \frac{b_o}{t} \right] = (0,4 + 0,3\bar{\lambda})(1 - 0,01m) \sqrt{\frac{E}{f}},$$

+ Khi  $0,3 < m < 1,0$  giá trị của  $[b_o/t]$  được nội suy tuyến tính theo các giá trị tương ứng với  $m = 0,3$  và  $m = 1$ .

- Đối với cột được chọn tiết diện theo độ mảnh giới hạn, thì giá trị độ mảnh giới hạn của bản cánh  $[b_o/t]$  được nhân với hệ số  $\sqrt{f\varphi_m/\sigma}$  nhưng không lớn hơn 1,25, trong đó:  $\sigma = N/A$  và  $\varphi_m$  là giá trị nhỏ nhất trong các giá trị của  $\varphi_c$ ,  $\varphi_{e,xy}$ ,  $c\varphi$  (các hệ số  $\varphi_c$ ,  $c\varphi$ ,  $\varphi_{e,xy}$  xem trong các công thức (4.58), (4.60) và (4.65)).

• *Các điều kiện ổn định cục bộ của bản bụng*

Bản bụng được kiểm tra ổn định cục bộ theo công thức (4.12), với độ mảnh giới hạn của bản bụng  $[h_w/t_w]$  là:

- Đối với cột tiết diện chữ H hay hình hộp có mômen  $M_x$  (trục x vuông góc với bản bụng tiết diện chữ H) và khả năng chịu lực của cột được quyết định bởi điều kiện ổn định tổng thể trong mặt phẳng uốn theo công thức 4.58 (hoặc 4.65), độ mảnh giới hạn của bản bụng  $[h_w/t_w]$  lấy theo bảng 4.10 phụ thuộc vào  $m$  và  $\lambda$ .

$$\alpha = \frac{\sigma - \sigma_1}{\sigma}, \quad (4.67)$$

- Đối với cột tiết diện chữ H hay hình hộp có mômen  $M_x$  (trục x vuông góc với bản bụng tiết diện chữ H) và khả năng chịu lực của cột được quyết định bởi điều kiện ổn định tổng thể ngoài mặt phẳng uốn theo công thức 4.60, độ mảnh giới hạn của bản bụng  $[h_w/t_w]$  ngoài sự phụ thuộc vào độ mảnh, vật liệu, hình dáng tiết diện như cột nén đúng tâm và độ lệch tâm tương đối  $m$ , còn phụ thuộc vào thông số  $\alpha$  và  $\beta$  kể đến trạng thái ứng suất pháp trên bản bụng không đều do mômen uốn ( $M_x$ ) và ứng suất tiếp do lực cắt ( $V$ ),

trong đó:  $\sigma = \frac{N}{A} + \frac{M_x}{I_x} y$ ;  $\sigma_1 = \frac{N}{A} - \frac{M_x}{I_x} y_1$ ,

$y$  – khoảng cách từ trục  $x$  đến thớ chịu nén nhiều nhất của bản bụng;

$y_1$  – khoảng cách từ trục  $x$  đến thớ xa nhất của bản bụng chịu kéo do  $M_x$ .

Trường hợp này  $[h_w/t_w]$  được xác định theo  $\alpha$  như sau:

+ với  $\alpha \leq 0,5$  lấy  $\left[ \frac{h_w}{t_w} \right]$  theo bảng 4.10;

+ với  $\alpha \geq 1$

$$\left[ \frac{h_w}{t_w} \right] = 4,35 \sqrt{\frac{(2\alpha - 1)E}{\sigma(2 - \alpha + \sqrt{\alpha^2 + 4\beta^2})}} \leq 3,8 \sqrt{\frac{E}{f}}, \quad (4.68)$$

trong đó:  $\beta = 1,4(2\alpha - 1) \frac{\tau}{\sigma}$ ;  $\tau = \frac{V}{h_w t_w}$  (ứng suất tiếp trung bình ở tiết diện

đang khảo sát);

$V$  – lực cắt;

$\sigma$  – ứng suất pháp trong công thức (4.68).

+ Với  $0,5 < \alpha < 1$  xác định  $\left[ \frac{h_w}{t_w} \right]$  bằng cách nội suy tuyến tính giữa các giá trị tính được khi  $\alpha = 0,5$  và  $\alpha = 1$ .

**Bảng 4.10.** Độ mảnh giới hạn của bản bụng cột chịu nén lệch tâm

| Độ lệch tâm tương đối | Loại tiết diện cột | Giá trị $\bar{\lambda}_1$ | Giá trị giới hạn $\left[ \frac{h_w}{t_w} \right]$ của bản bụng                   |
|-----------------------|--------------------|---------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|
| $m = 0$               |                    |                           | Lấy theo bảng 4.3                                                                |
| $m \geq 1$            | Chữ I,<br>Hình hộp | $\bar{\lambda}_1 < 2$     | $(1,3 + 0,15 \bar{\lambda}_1^2) \sqrt{E/f}$                                      |
|                       |                    | $\bar{\lambda}_1 \geq 2$  | $(1,2 + 0,35 \bar{\lambda}_1) \sqrt{E/f}$ , nhưng không lớn hơn $3,1 \sqrt{E/f}$ |

Ghi chú: –  $\bar{\lambda}_1$  là độ mảnh quy ước khi tính toán ổn định trong mặt phẳng tác dụng của mômen;

– Tiết diện 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;

– Khi  $0 < m < 1$  giá trị của  $[h_w/t_w]$  được nội suy tuyến tính theo các giá trị ứng với  $m = 0$  và  $m = 1$ .

- Đối với cột được chọn tiết diện theo độ mảnh giới hạn  $[\lambda]$  giá trị của  $\left[ \frac{h_w}{t_w} \right]$  cho phép tăng lên  $\sqrt{\varphi_m \frac{fA}{N}}$  lần, nhưng không quá 1,25 lần, trong đó  $\varphi_m = \varphi_e$ .

Khi cột có khả năng chịu lực được xác định do điều kiện ổn định tổng thể trong mặt phẳng uốn theo các công thức (4.58) và (4.65), cho phép lấy tỉ số  $\frac{h_w}{t_w}$  lớn hơn giá trị ở bảng 4.10 và trong tính toán cột theo (4.58), (4.60) và (4.65) diện tích tiết diện  $A$  chỉ lấy như sau:

$$A = \sum A_f + 2C_1 t_w, \quad C_1 = 0,85 t_w \left[ \frac{h_w}{t_w} \right],$$

trong đó:  $\sum A_f$  – tổng diện tích tiết diện nguyên của hai cánh;

$C_1$  – bề rộng của phần bản bụng giáp với bản cánh được đưa vào tính toán (hình 4.5b). Độ mảnh  $\lambda$  của cột vẫn xác định với toàn bộ tiết diện cột.

Khi  $\frac{h_w}{t_w} \geq 2,3 \sqrt{\frac{E}{f}}$ , bụng cột cần gia cường bằng các sườn ngang như bụng cột đặc chịu nén đúng tâm.

### 3. Xác định tiết diện cột đặc chịu nén lệch tâm, nén uốn

#### a. Chọn dạng tiết diện cột

Dạng tiết diện cột thường được chọn là dạng chữ H đối xứng hoặc không đối xứng như ở §4.4 mục 1.

Chọn dạng đối xứng (như hình 4.16 a,b) khi cột có  $M$  nhỏ hoặc khi cột chịu các mômen đối dấu có trị số chênh nhau không lớn. Dạng tiết diện đối xứng cho việc gia công chế tạo có phần đơn giản hơn.

Chọn dạng không đối xứng (như hình 4.16c,d) khi dọc theo chiều dài cột luôn chịu mômen uốn về một phía hoặc khi cột chịu các mômen đối dấu có trị số chênh lệch lớn.

#### b. Xác định tiết diện cột

Xét cho dạng tiết diện chữ H đối xứng và cột chỉ chịu uốn trọng một mặt phẳng có độ cứng chống uốn lớn ( $M_x$ ). Xem như đã có  $l_x$ ,  $l_y$  và cặp nội nguy hiểm nhất cho cột là  $N$  và  $M_x$ .

- *Chọn bề cao (h) và bề rộng (b) tiết diện*

Để đảm bảo yêu cầu về độ cứng của cột, như đã nêu ở §4.4 mục 1 bề cao (h) và bề rộng (b) của tiết diện cột được sơ bộ chọn theo chiều dài cột  $l_c$  là:

$$h = \left( \frac{1}{10} + \frac{1}{15} \right) l_c,$$

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

- *Xác định diện tích tiết diện cột*

– Từ công thức 4.58 ta có diện tích tiết diện cần thiết của cột là

$$A_{ct} = \frac{N}{\varphi_e f_{\gamma_c}}, \quad (4.69)$$

trong đó:  $\varphi_e$  xác định theo  $\lambda_x = \frac{l_x}{i_x}$  và  $m_x = \eta \frac{e_x}{\rho_x} = \eta \frac{M_x}{\rho_x N}$ ;

$i_x = \alpha_x h$ ,  $\alpha_x$  lấy theo bảng 4.5; sơ bộ lấy  $\eta$  và  $\rho_x$  gần đúng như sau:  $\eta = 1,25$  và  $\rho_x = (0,35 \div 0,45) h$ .

– Theo công thức tính gần đúng của Iasinky (Ясинкый):

$\frac{N}{\varphi A} + \frac{M_x}{W_x} \leq f_{\gamma_c}$ , có diện tích tiết diện yêu cầu của cột là:

$$A_{ct} = \frac{N}{f_{\gamma_c}} \left( \frac{1}{\varphi} + \frac{M_x A}{N W_x} \right) = \frac{N}{f_{\gamma_c}} \left( \frac{1}{\varphi} + \frac{M_x}{\rho_x N} \right),$$

sơ bộ lấy  $\varphi = 0,8$  và  $\rho_x$  như trên, ta có:

$$A_{ct} = \frac{N}{f_{\gamma_c}} \left( 1,25 + (2,2 \div 2,8) \frac{M_x}{hN} \right). \quad (4.70)$$

- *Chọn các bề dày bản cánh ( $t_f$ ), bản bụng ( $t_w$ )*

Từ các yêu cầu cấu tạo sơ bộ chọn bề dày bản bụng và bản cánh theo các yêu cầu sau:

$$t_f = \left( \frac{1}{28} + \frac{1}{35} \right) \frac{f}{21} b, \text{ trong đó đơn vị của } f \text{ là kN/cm}^2;$$

$$t_w = \left( \frac{1}{60} + \frac{1}{120} \right) h, t_f \geq t_w, t_f \leq 60 \text{ mm}, t_w \geq 8 \text{ mm}.$$

Với  $A_{ct}$  xác định theo công thức 4.69 hoặc 4.70 và các yêu cầu về  $h$ ,  $b$ ,  $t_w$ ,  $t_f$ , nêu trên chọn ra các kích thước hợp lý cho tiết diện cột.

Tiết diện cột đã chọn phải kiểm tra lại theo các điều kiện chịu lực về bền, về ổn định tổng thể, ổn định cục bộ, như đã trình bày ở §4.4 mục 2. Cột đã chọn phải đảm bảo điều kiện giới hạn về độ mảnh theo công thức 4.5.

**Ví dụ 4.4 :** Xác định cột đặc có tiết diện đối xứng chịu nén uốn  $N = 100 \times 10^3 \text{ daN}$ ,  $M = 37 \times 10^3 \text{ daNm}$  và  $V = 15 \times 10^3 \text{ daN}$ . Cột chịu uốn quanh trục  $x$  của tiết diện. Cột dài 7,5 m. Chiều dài tính toán của cột đã được xác định là:  $l_x = 1500 \text{ cm}$ ,  $l_y = 525 \text{ cm}$  (Chân cột liên kết ngàm theo cả phương  $x$  và  $y$ , đỉnh cột liên kết khớp cố định theo phương  $x$  và tự do dịch chuyển ngang theo phương  $y$ ). Vật liệu làm cột là thép CT34s. Hệ số điều kiện làm việc của cột  $\gamma_c = 1$ .

#### 1) Dạng tiết diện và chiều cao $h$ của tiết diện

Chọn tiết diện cột dạng chữ H đối xứng (xem hình 4.17).

Dựa theo yêu cầu  $\frac{1}{15} \leq \frac{h}{l} \leq \frac{1}{10}$ , có  $l = 750 \text{ cm}$ , chọn  $h = 56 \text{ cm}$ .

#### 2) Độ lệch tâm và diện tích cần thiết

Độ lệch tâm:  $e = \frac{M}{N} = \frac{37 \times 10^3}{100 \times 10^3} = 0,37 \text{ m} = 37 \text{ cm}$ .

Cường độ tính toán của thép bản mác CT34s là

$$f = \frac{f_y}{\gamma_M} = \frac{22}{1,05} = 21 \text{ kN/cm}^2 = 2100 \text{ daN/cm}^2 \text{ (với bản thép có } t \leq 20 \text{ mm)}.$$

Diện tích tiết diện cột xác định sơ bộ theo công thức gần đúng (4.70):

$$A_{ct} = \frac{100 \cdot 10^3}{2 \cdot 10 \cdot 10^3} \left( 1,25 + 2,8 \frac{37}{56} \right) = 147,6 \text{ cm}^2.$$

#### 3) Chiều rộng tiết diện $b$ và bề dày của các bản $t_p$ , $t_w$

Dựa theo yêu cầu  $\frac{1}{30} \leq \frac{b}{l} \leq \frac{1}{20}$ , có  $l = 750 \text{ cm}$ , chọn  $b = 36 \text{ cm}$ .

Dựa vào  $A_{ct} = 147,6 \text{ cm}^2$  và các yêu cầu  $\frac{h}{t_w} = (60 \div 120)$ ,  $\frac{b}{t_f} = (28 \div 35) \frac{21}{f}$ ,

( $f = 21 \text{ kN/cm}^2$ ), chọn  $t_w = 0,9 \text{ cm}$  và  $t_f = 1,4 \text{ cm}$ .

Vậy diện tích tiết diện đã chọn là (hình 4.17)

$$\begin{aligned} \text{bản bụng} & \quad 53 \times 0,9 & = 47,7 \text{ cm}^2; \\ \text{bản cánh} & \quad 2(36 \times 1,4) & = 100,8 \text{ cm}^2; \\ & & \underline{A = 148,5 \text{ cm}^2}. \end{aligned}$$

#### 4) Kiểm tra tiết diện đã chọn

– Các đặc trưng hình học của tiết diện:

$$I_x = \frac{36 \times 55,8^3}{12} - \frac{(36 - 0,9) 53^3}{12} = 85758,1 \text{ cm}^4;$$



$$I_y = 2 \frac{1,4 \times 36^3}{12} + \frac{53 \times 0,9^3}{12} = 10889,6 \text{ cm}^4;$$

$$i_x = \sqrt{\frac{85758,1}{148,5}} = 24,03 \text{ cm}; i_y = \sqrt{\frac{10889,6}{148,5}} = 8,56 \text{ cm};$$

$$W_x = \frac{2I_x}{h} = \frac{2 \times 85758,1}{55,8} = 3073,8 \text{ cm}^3.$$

– Độ mảnh và độ mảnh quy ước của cột:

$$\lambda_y = \frac{l_y}{i_y} = \frac{525}{8,56} = 61,33;$$

$$\bar{\lambda}_y = \lambda_y \sqrt{\frac{f}{E}} = 61,33 \sqrt{\frac{2100}{2,1 \times 10^6}} = 1,94;$$

$$\lambda_x = \frac{l_x}{i_x} = \frac{1500}{24,03} = 62,42 = \lambda_{\max} < [\lambda] = 120;$$

$$\bar{\lambda}_x = 62,42 \sqrt{\frac{2100}{2,1 \times 10^6}} = 1,97.$$

– Độ lệch tâm tương đối  $m$  và độ lệch tâm tính đối  $m_1$ :

$$m = \frac{eA}{W_x} = \frac{37 \times 148,5}{3073,8} = 1,7875.$$

Với  $\bar{\lambda}_x < 5$ ,  $m < 5$  và  $\frac{A_f}{A_w} = \frac{50,4}{47,7} > 1$ , tra bảng II.4 phụ lục II có hệ số  $\eta$  là

$$\eta = (1,9 - 0,1m) - 0,02(6 - m)\bar{\lambda} =$$

$$= (1,9 - 0,1 \times 1,7875) - 0,02(6 - 1,7875)1,97 = 1,555$$

$$m_e = \eta m = 1,555 \times 1,7875 = 2,78.$$

– Cột có  $A_n = A$  và  $m_e < 20$  – không cần kiểm tra về bền.

– Kiểm tra ổn định tổng thể trong mặt phẳng uốn:

Với  $\bar{\lambda}_x = 1,97$  và  $m_e = 2,78$  tra bảng II.2 phụ lục II được hệ số  $\varphi_e = 0,333$ . Theo (4.58) có

$$\frac{N}{\varphi_e A} = \frac{100000}{0,333 \times 148,5} = 2022 \text{ daN/cm}^2 < f_{yc} = 2100 \text{ daN/cm}^2.$$

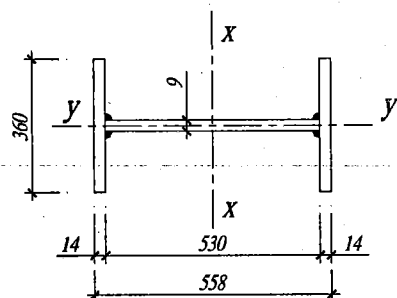
– Kiểm tra ổn định tổng thể ngoài mặt phẳng uốn:

Theo phương uốn cột có sơ đồ là thanh côngxôn, nên có  $m_x = m = 1,7875 < 5$  vậy  $c$  xác định theo công thức (4.61), trong đó  $\beta$  và  $\alpha$  theo bảng 4.9.

$$\text{Với } m_x < 5 \text{ và } \lambda_y = 61,33 < \lambda_c = 3,14 \sqrt{\frac{E}{f}} = 99,3 \text{ có}$$

$$\beta = 1 \text{ và } \alpha = 0,65 + 0,05 m_x = 0,65 + 0,05 \times 1,7875 = 0,7394;$$

$$c = \frac{\beta}{1 + \alpha m_x} = \frac{1}{1 + 0,7394 \times 1,7875} = 0,4307.$$



Hình 4.17. Tiết diện cột của ví dụ 4.4

Với  $\bar{\lambda}_y = 1,94 < 2,5$  theo (4.8) có

$$\varphi_y = 1 - \left( 0,073 - 5,53 \frac{2100}{2,1 \times 10^6} \right) 1,94 \sqrt{1,94} = 0,8177.$$

Theo (4.51) có

$$\frac{N}{c \varphi_y A} = \frac{100000}{0,4307 \times 0,8177 \times 148,5} = 1912 \text{ daN/cm}^2 < f_{yc} = 2100 \text{ daN/cm}^2.$$

– Kiểm tra ổn định cục bộ:

Với bản cánh được kiểm tra theo công thức (4.13). Theo bảng 4.4 có

$$\left[ \frac{b_o}{t} \right] = (0,36 + 0,1\bar{\lambda}) \sqrt{\frac{E}{f}}; \bar{\lambda} = \bar{\lambda}_x = 1,97;$$

$$\left[ \frac{b_o}{t} \right] = (0,36 + 0,1 \cdot 1,97) \sqrt{\frac{2,1 \cdot 10^6}{2100}} = 17,6.$$

Vậy có  $\frac{b_o}{t_f} = \frac{36 - 0,9}{2,1,4} = 12,5 < \left[ \frac{b_o}{t} \right] = 17,6$  đảm bảo ổn định cục bộ.

Với bản bụng được kiểm tra theo công thức (4.12). Do khả năng chịu lực của cột được xác định theo ổn định tổng thể trong mặt phẳng uốn (công thức 4.58) nên độ mảnh giới

hạn  $\left[ \frac{h_w}{t_w} \right]$  của bản bụng được xác định theo bảng 4.10

với  $m = 1,7875 > 1$ ,  $\bar{\lambda} = 1,97 < 2$  có  $\left[ \frac{h_w}{t_w} \right]$  là

$$\left[ \frac{h_w}{t_w} \right] = (1,3 + 0,15\bar{\lambda}^2) \sqrt{\frac{E}{f}} = (1,3 + 0,15 \cdot 1,97^2) \sqrt{\frac{2,1 \cdot 10^6}{2100}} = 59,5.$$

Vậy có  $\frac{h_w}{t_w} = \frac{53}{0,9} = 58,9 < \left[ \frac{h_w}{t_w} \right] = 59,5$  đảm bảo ổn định cục bộ.

Đồng thời  $\frac{h_w}{t_w} = \frac{53}{0,9} = 58,9 < 2,3 \sqrt{\frac{E}{f}} = 72,7$  không phải đặt sườn ngang.

#### 4. Tính toán cột rỗng chịu nén lệch tâm, nén uốn

Trong mục này chỉ xét cột (và các đoạn cột bậc) rỗng hai nhánh có tiết diện không đổi, chịu uốn quanh trục ảo ( $x - x$ ). Các trường hợp khác có thể tiến hành tương tự với các đặc thù riêng của cột.

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 giàn cánh song song.

Trường hợp cột chỉ chịu  $M_x$  và  $N$ , nội lực dọc trong các nhánh cột xác định theo công thức 4.71

$$N_f = \frac{Ny}{C} \pm \frac{M_x}{C}, \quad (4.71)$$

trong đó:  $C$  – 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 4.16);

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:

$$N_{f1} = \frac{N_1 y_2}{C} + \frac{M_1}{C}; \quad (4.72)$$

$$N_{f2} = \frac{N_2 y_1}{C} + \frac{M_2}{C}, \quad (4.73)$$

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 4.16i).

Đối với cột rỗng bản giằng, 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:

$$M_f = \frac{V}{4} a, \quad (4.74)$$

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 .

$$M_{f1} = \frac{VA_{f1}}{2A} a, \quad M_{f2} = \frac{VA_{f2}}{2A} a, \quad (4.75)$$

trong đó:  $a$  – khoảng cách tâm các bản giằng;

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



### a. Tính toán về bền

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 về bền như một cột đặc chịu nén đúng tâm theo công thức (4.6) 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 (4.56) hoặc (4.57) với nội lực  $N_f$ ,  $M_f$  hoặc  $N_{f1}$ ,  $M_{f1}$  và  $N_{f2}$ ,  $M_{f2}$ .

### b. Tính toán về ổn định tổng thể

#### • Tính toán đối với trục ảo ( $x-x$ )

Khi cột chịu nén lệch tâm, uốn quanh trục ảo, có độ lệch tâm tương đối  $m \leq 20$  được kiểm tra về ổn định tổng thể trong mặt phẳng uốn theo công thức (4.58) với cặp nội lực nguy hiểm ( $N$ ,  $M_x$  hoặc  $M_1$ ,  $N_1$  và  $M_2$ ,  $N_2$ ). Trong đó  $\varphi_e$  tra bảng II.3 phụ lục II theo  $m$  và  $\bar{\lambda} = \bar{\lambda}_0 = \lambda_0 \sqrt{\frac{f}{E}}$ ,  $\lambda_0$  xác định như cột rỗng chịu nén đúng tâm,  $m$  xác định theo công thức sau:

$$m = \frac{M_x A y_n}{N I_x}, \quad (4.76)$$

trong đó:  $M_x$  – lấy như khi xác định  $m_1$  ở cột đặc chịu nén lệch tâm;

$y_n$  – khoảng cách từ trục ảo đến trục của nhánh bị nén nhiều nhất nhưng không nhỏ hơn khoảng cách đến trục bản bụng của nhánh đó.

#### • Tính toán đối với trục thực ( $y-y$ ) và trục của nhánh ( $x_0 - x_0$ )

Đối với trục thực ( $y-y$ ) xem như các nhánh cột làm việc độc lập bởi vì các thanh bụng hoặc bản giằng và các vách cứng trung gian không đủ độ cứng đảm bảo cho các nhánh cột cùng nhau làm việc quanh trục thực như một khối thống nhất. Vậy các nhánh cột được kiểm tra ổn định như một cột đặc chịu nén đúng tâm hay nén lệch tâm theo hai trục tiết diện của nó là ( $x_0 - x_0$ ) song song với trục ảo ( $x-x$ ) và ( $y_0 - y_0$ ) trùng với trục thực ( $y-y$ ). Chiều dài tính toán của nhánh đối với trục ( $x_0 - x_0$ ) là  $l_f$ , riêng với cột rỗng bản giằng khi  $n > 0,2$  là khoảng cách  $a$  (như hình 4.8), đối với trục ( $y-y$ ) là  $l_y$ .

Đối với cột rỗng thanh giằng, các nhánh được kiểm tra ổn định tổng thể như một cột đặc chịu nén đúng tâm theo công thức (4.7) với lực dọc  $N_f$  hoặc  $N_{f1}$ ,  $N_{f2}$ .

Đối với cột rỗng bản giằng có mômen uốn quanh trục ảo ( $x-x$ ), các nhánh được kiểm tra ổn định tổng thể như một cột đặc nén lệch tâm theo công thức (4.58) và (4.60) với nội lực  $N_f$ ,  $M_f$  hoặc  $N_{f1}$ ,  $M_{f1}$  và  $N_{f2}$ ,  $M_{f2}$ .

### c. Tính toán về ổn định cục bộ

Cột rỗng chịu nén lệch tâm có các nhánh được làm bằng các thép hình dẹt nguội hay tổ hợp từ các bản thép, thì các nhánh này cần phải tính toán về ổn định cục bộ như sau:

- Với cột rỗng thanh giằng, tính toán như cột đặc chịu nén đúng tâm theo các công thức 4.12 và 4.13.
- Với cột rỗng bản giằng có mômen uốn quanh trục ảo, tính toán như cột đặc chịu nén lệch tâm (xem §4.4 mục 2c).

## 5. Xác định thân cột rỗng chịu nén lệch tâm, nén uốn

### a. Chọn dạng và kích thước chính $h$ , $b$ của tiết diện

Dạng tiết diện của cột có thể chọn là dạng đối xứng hay không đối xứng tùy theo các điều kiện cụ thể, như đã phân tích ở §4.4 mục 1.

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 nguy hiểm nhất cho cột là  $N_1$ ,  $M_1$  và  $N_2$ ,  $M_2$  ( $M_1$  ngược dấu với  $M_2$ ).

Để đảm bảo yêu cầu về độ cứng của cột, như đã nêu ở §4.4 mục 1 bề cao ( $h$ ) và bề rộng ( $b$ ) của tiết diện cột được sơ bộ chọn theo chiều dài cột  $l_c$  là:

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

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

### b. Chọn tiết diện nhánh

Nội lực dọc  $N_{f1}$ ,  $N_{f2}$  trong các nhánh xác định theo các công thức (4.72) và (4.73), 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:

$$y_1 = (0,4 - 0,6) C; y_2 = C - y_1; \quad (4.77)$$

hoặc

$$y_1^2 - \left( \frac{M_1 + M_2}{N_1 - N_2} + C \right) y_1 + \frac{M_2 C}{N_1 - N_2} = 0, \quad (4.78)$$

nếu  $N_1 = N_2$  thì xác định  $y_1$  theo công thức sau:

$$y_1 = \frac{M_2}{M_1 + M_2} C, \quad (4.79)$$

ở đây gần đúng lấy  $C \approx h$ .

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.

### c. 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 (4.45) 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 4.5.** Chọn tiết diện cột rỗng thanh giằng hai nhánh có các tổ hợp nội lực nguy hiểm cho cột và cho nhánh 1 là  $M_1 = 710$  kNm,  $N_1 = 950$  kN; cho nhánh 2 là  $M_2 = 766,5$  kNm,  $N_2 = 1095$  kN và lực cắt  $V = 105$  kN ( $M_1$  ngược dấu với  $M_2$  xem hình 4.18). Cột dài 10,8 m. Chiều dài tính toán của cột đã được xác định:  $l_x = 2160$  cm,  $l_y = 540$  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  $\gamma_c = 1$ , 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 4.18, theo yêu cầu độ cứng  $\left( \frac{1}{14} \leq \frac{h}{l} \leq \frac{1}{8} \right)$  chọn

$h = 100$  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:

Gần đúng lấy  $C \approx h = 1 \text{ m}$ , theo công thức (4.78) có

$$y_1^2 - \left( \frac{766,5 + 710}{950 - 1095} + 1 \right) y_1 + \frac{766,5}{950 - 1095} \times 1 = 0;$$

$$y_1^2 + 9,183 y_1 + 5,286 = 0.$$

Giải phương trình trên ta được  $y_1 = 0,54 \text{ m}$  và

$$y_2 = 1 - 0,54 = 0,46 \text{ m}.$$

Theo các công thức (4.73) và (4.74) ta có

$$N_{f1} = \frac{950}{1} \times 0,46 + \frac{710}{1} = 1147 \text{ kN};$$

$$N_{f2} = \frac{1095}{1} \times 0,54 + \frac{766,5}{1} = 1358 \text{ kN}$$

Theo công thức (4.18) có diện tích yêu cầu các nhánh như sau, trong đó sơ bộ lấy  $\varphi = 0,88$  (có thể giả thiết độ mảnh max của nhánh để tìm ra  $\varphi$  như ở phần cột đặc chịu nén đúng tâm), thép cán mức CT38s có  $f = 23 \text{ kN/cm}^2$

$$A_{f1} = \frac{1147}{0,88 \times 23} = 56,67 \text{ cm}^2;$$

$$A_{f2} = \frac{1358}{0,88 \times 23} = 67,09 \text{ cm}^2,$$

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

$b = 40 \text{ cm}$ , và chọn các nhánh như sau:

– Nhánh 1 là [ 40 có  $A_{f1} = 61,5 \text{ cm}^2$ ;  $I_{y0} = 15220 \text{ cm}^4$ ;  $i_{y0} = 15,7 \text{ cm}$ ;  $I_{x0} = 642 \text{ cm}^4$ ;  $i_{x0} = 3,23 \text{ cm}$ ;  $Z_0 = 2,75 \text{ cm}$ .

– Nhánh 2 là I 40 có  $A_{f2} = 72,7 \text{ cm}^2$ ;  $I_{y0} = 19062 \text{ cm}^4$ ;  $i_{y0} = 16,2 \text{ cm}$ ;  $I_{x0} = 667 \text{ cm}^4$ ;  $i_{x0} = 3,03 \text{ cm}$ .

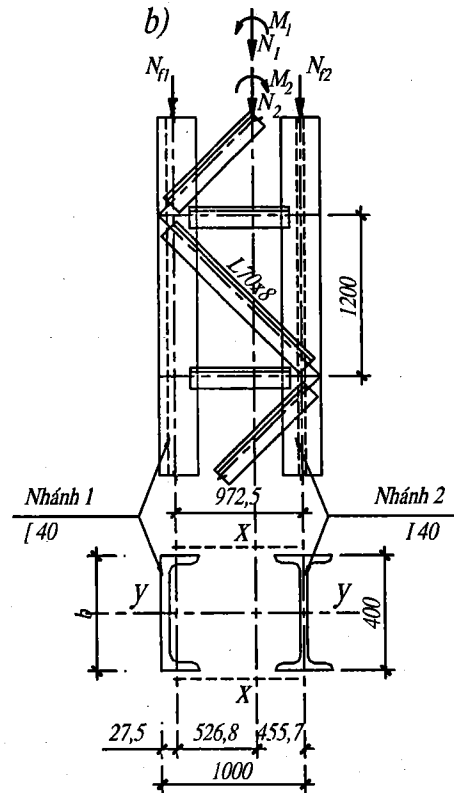
### 3) Xác định $C$ , $y_1$ , $y_2$ , $I_x$ và $i_x$

$$C = 100 - 2,75 = 97,25 \text{ cm}; A = 61,5 + 72,7 = 134,2 \text{ cm}^2;$$

$$y_1 = \frac{A_{nh2}}{A} C = \frac{72,7}{134,2} 97,25 = 52,68 \text{ cm};$$

$$y_2 = C - y_1 = 97,25 - 52,68 = 45,57 \text{ cm};$$

$$I_x = \sum_{i=1}^2 I_{x0,i} + \sum_{i=1}^2 y_i^2 \cdot A_{f,i} =$$



Hình 4.18. Thân cột của ví dụ 4.5

$$= 642 + 667 + 52,68^2 \times 61,5 + 45,57^2 \times 72,7 = 322953 \text{ cm}^4$$

$$i_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}} = \sqrt{\frac{322953}{134,2}} = 49 \text{ cm.}$$

#### 4) Xác định hệ thanh bụng

– Bố trí hệ thanh bụng như hình 4.18, khoảng cách nút  $a = 120 \text{ cm}$ , chiều dài thanh xiên

$$l_d = \sqrt{a^2 + C^2} = 154,5 \text{ cm.}$$

– Chọn thanh bụng xiên là một thép góc L70×8 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  $V$

$$N_{tx} = \frac{V}{2\sin\theta} = \frac{105 \times 154,5}{2 \times 97,25} = 83,4 \text{ kN.}$$

– 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  $\varphi$  ở phần phụ lục theo  $\lambda_{\max} = 113$  và  $f = 230 \text{ N/mm}^2$  được  $\varphi_{\min} = 0,475$ , vậy có

$$\frac{N_{tx}}{\gamma_c \cdot \varphi_{\min} A_t} = \frac{83,4}{0,75 \cdot 0,475 \cdot 10,7} = 21,9 < f = 23 \text{ kN/cm}^2.$$

#### 5) Xác định độ mảnh của cột theo trục ảo và kiểm tra lực cắt quy ước

– Xác định  $\lambda_0$  và  $\bar{\lambda}_0$ :

$$\lambda_x = \frac{l_x}{i_x} = \frac{2160}{49} = 44$$

$$\alpha_1 = \frac{\pi^2 l_d^3}{C^2 a} = \frac{3,14^2 \times 154,5^3}{97,25^2 \times 120} = 31,9$$

$$\lambda_0 = \sqrt{\lambda_x^2 + \alpha_1 \frac{A}{A_d}} = \sqrt{44^2 + 31,9 \frac{134,2}{2 \times 10,7}} = 46,22 < [\lambda] = 120$$

$$\bar{\lambda}_0 = \lambda_0 \cdot \sqrt{\frac{f}{E}} = 46,22 \times \sqrt{\frac{23}{2,1 \cdot 10^4}} = 1,53.$$

– Kiểm tra lực cắt quy ước:

Từ  $\lambda_0 = 46,22$  và  $f = 230 \text{ N/mm}^2$  tra bảng hệ số  $\varphi$  ở phần phụ lục có  $\varphi = 0,872$  và theo (4.45) có lực cắt quy ước của cột là

$$V_f = 7,15 \times \left( 2330 - \frac{2,1 \cdot 10^4}{23} \right) \frac{1095}{0,872} 10^{-6} = 12,72 \text{ kN} < V = 105 \text{ kN,}$$

vậy không phải tính lại thanh bụng xiên và độ mảnh tương đương  $\lambda_0$ .



6) Kiểm tra tiết diện cột đã chọn (hình 4.18):

a – Kiểm tra nhánh

– Nhánh 1:  $N_{f1} = \left( \frac{950}{97,25} \right) 45,57 + \frac{71000}{97,25} = 1175,23 \text{ kN};$

$$\lambda_{y0} = \frac{540}{15,7} = 34,4; \lambda_{x0} = \frac{l_f}{i_{x0}} = \frac{120}{3,23} = 37,2;$$

$$\lambda_{\max} = 37,2 < [\lambda] = 120.$$

Tra bảng hệ số  $\varphi$  ở phần phụ lục theo  $\lambda_{\max} = 37,2$  và  $f = 230 \text{ N/mm}^2$  được  $\varphi_{\min} = 0,907$  vậy có

$$\frac{N_{f1}}{\varphi_{\min} A_{f1}} = \frac{1175,23}{0,907 \times 61,5} = 21,07 \text{ kN/cm}^2 < \gamma_c f = 23 \text{ kN/cm}^2.$$

– Nhánh 2:  $N_{f2} = \left( \frac{1095}{97,25} \right) \times 52,68 + \left( \frac{76650}{97,25} \right) = 1381,33 \text{ kN};$

$$\lambda_{y0} = \frac{l_y}{i_{y0}} = \frac{540}{16,2} = 33,33; \lambda_{x0} = \frac{120}{3,03} = 39,6;$$

$$\lambda_{\max} = 39,6 < [\lambda] = 120.$$

Tương tự trên, tra bảng được  $\varphi_{\min} = 0,898$  vậy có

$$\frac{N_{f2}}{\varphi_{\min} A_{f2}} = \frac{1381,33}{0,898 \times 72,7} = 21,16 \text{ kN/cm}^2 < \gamma_f f = 23 \text{ kN/cm}^2.$$

b – Kiểm tra toàn cột theo trục ảo (x – x):

• – Với cặp 1:  $e_1 = \frac{71000}{950} = 74,74 \text{ cm};$

$$m = e_1 \frac{A_y}{I_x} = 74,74 \frac{134,2 \cdot 255,03}{322953} = 1,71,$$

với  $m = 1,71$  và  $\bar{\lambda}_0 = 1,53$  tra bảng hệ số  $\varphi_e$  của cột rỗng ở phần phụ lục có  $\varphi_e = 0,3399$ . Vậy có:

$$\frac{N_1}{\varphi_e A} = \frac{950}{0,3399 \times 134,2} = 20,83 \text{ kN/cm}^2 < \gamma_f f = 23 \text{ kN/cm}^2.$$

– Với cặp 2:  $e_2 = \frac{76650}{1095} = 70 \text{ cm};$

$$m = 70 \frac{134,2 \times 45,57}{322953} = 1,33$$

với  $m = 1,33$  và  $\bar{\lambda}_0 = 1,53$  tra bảng hệ số  $\varphi_e$  của cột rỗng ở phần phụ lục có  $\varphi_e = 0,393$ .

Vậy có

$$\frac{N_2}{\varphi_e A} = \frac{1095}{0,393 \times 143,2} = 20,76 \text{ kN/cm}^2 < \gamma_f f = 23 \text{ kN/cm}^2.$$

c – Kết luận : Cột đã chọn đảm bảo khả năng chịu lực.

## §4.5. CẤU TẠO VÀ TÍNH TOÁN CÁC CHI TIẾT CỦA CỘT

### 1. Đầu cột và liên kết xà ngang vào cột

Liên kết cột với xà ngang (dầm, giàn) cần được thực hiện đảm bảo sơ đồ tính là liên kết cứng hoặc khớp. Có hai hình thức liên kết là xà ngang đặt trên đỉnh cột (hình 4.19) và xà ngang liên kết vào bên cạnh cột (hình 4.20).

#### a. Xà ngang đặt trên đỉnh cột

Hình thức liên kết này dùng cho sơ đồ liên kết khớp và thường có cấu tạo như hình 4.19. Cấu tạo này thực hiện sự truyền tải từ sườn gối tựa của xà ngang xuyên qua bản mũ cột xuống thẳng các bản thép của thân cột ngay dưới sườn đầu dầm, không gây cho bản mũ cột bị uốn (hình 4.19c, g).

Bề dày của các bản bụng ( $t_w$ ), bản cánh ( $t_f$ ), sườn gia cường ( $t_s$ ) ở đầu cột nằm dưới các sườn gối tựa của xà ngang được lấy theo điều kiện ép mặt:

$$t \geq \frac{N}{Zf_c}, \quad (4.80)$$

trong đó:  $t$  – bề dày bản bụng ( $t_w$ ), bản cánh ( $t_f$ ), sườn gia cường ( $t_s$ );

$N$  – lực nén tính toán từ xà ngang truyền vào;

$Z$  – bề rộng diện tích ép mặt,  $Z = b + 2t_2$ ;

$b$  – bề rộng sườn gối tựa của xà ngang;

$t_2$  – bề dày bản mũ cột.

Khi sườn gối tựa của các xà ngang truyền tải xuống bụng cột (bụng nhánh cột) mà bề dày bản bụng  $t_w$  không đảm bảo điều kiện theo công thức (4.80) thì tăng  $t_w$  của một phần bản bụng trên cùng dài  $l_b \approx 0,6 h_w$  (hình 4.19b), hoặc tăng cường bằng các bản ốp 1 (hình 4.19a) rộng bằng  $Z$ , dài  $l_1 \geq 0,6h_w$ ,  $h_w$  là chiều cao tiết diện bản bụng. Bề dày của bản ốp này lấy sao cho tổng chiều dày của chúng và bản bụng thỏa mãn điều kiện theo công thức (4.80) và sao cho bản ốp không bị mất ổn định. Chiều cao  $h_f$  của đường hàn góc liên kết các bản ốp với bản bụng được tính toán với lực:

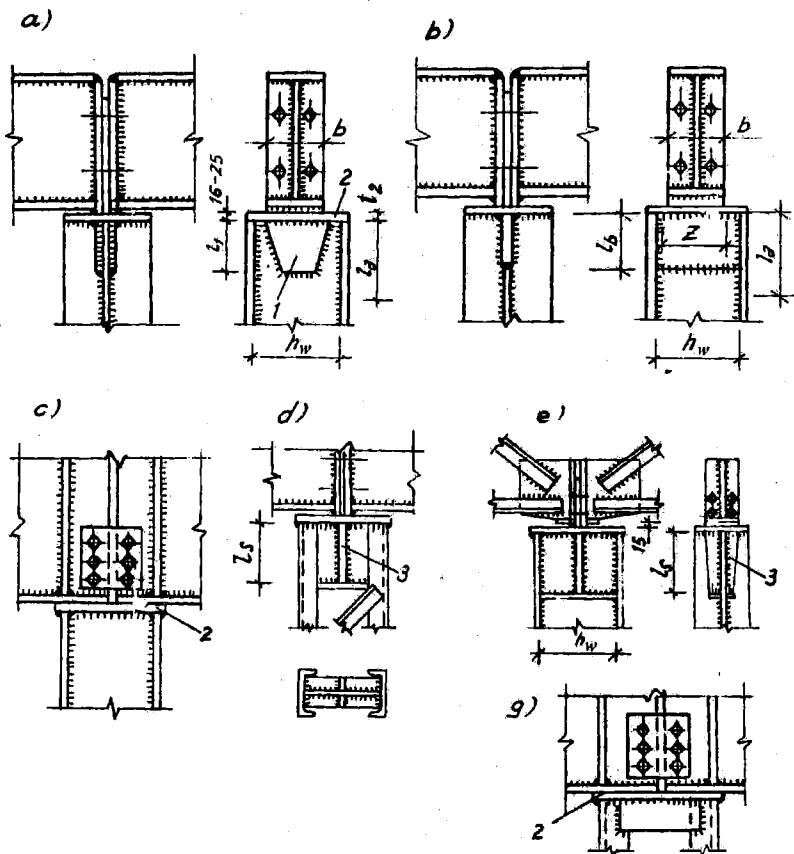
$$N_1 = \frac{2N A_{em1}}{2A_{em1} + A_{emb}}, \quad (4.81)$$

trong đó:  $A_{emb}$  – diện tích chịu ép mặt của bản bụng,  $A_{emb} = Zt_w$ ;

$A_{em1}$  – diện tích ép mặt của bản ốp,  $A_{em1} = Zt_1$ ;

$t_1, t_w$  – bề dày của bản ốp, bản bụng.

Bề rộng của các sườn gia cường 3 (hình 4.19d, e) nằm dưới sườn gối tựa của xà ngang lấy không nhỏ hơn bề rộng sườn gối tựa của xà ngang. Chiều dài  $l_s$  của các sườn này được xác định từ liên kết hàn góc giữa sườn với cột chịu uốn  $M_s = \frac{NZ}{8}$  và cắt  $V_s = \frac{N}{2}$  và  $l_s \geq 0,6 h_w$ ,  $h_w$  là bề cao tiết diện bản bụng liên kết với sườn, đồng thời  $l_s \leq 85\beta_f h_f$ ,  $h_f$  là chiều cao tiết diện đường hàn góc liên kết sườn vào bản bụng. Bề dày  $t_s$  của sườn xác định theo (4.80) và điều kiện  $t_s \geq 2b_s \sqrt{\frac{f}{E}}$ ,  $b_s$  là bề rộng của sườn. Bề dày sườn thường là  $t_s = 14 \div 20$  mm.



Hình 4.19. Đầu cột

Khi bản bụng có bề dày nhỏ mà các sườn gia cường lại chịu phản lực xà ngang lớn thì bản bụng có thể bị phá hoại về cắt trên hai mặt liên kết các sườn gia cường. Do vậy bản bụng cột (bụng nhánh cột) ở đây cần kiểm tra theo công thức:

$$\tau = \frac{N}{2l_s t_w} \leq f_v, \quad (4.82)$$

trong đó: 2 – số mặt cắt;

$t_w$  – bề dày bản bụng;

$l_s$  – chiều dài mặt cắt, bằng chiều dài sườn gia cường.

Trong các cột tiết diện chữ H tổ hợp, các đường hàn góc liên kết cánh với bụng cột ở đoạn giáp với mũ cột dài  $l_a \leq 85\beta_f h_f$  được kiểm tra, xem như chúng chịu nội lực  $N$  của cột. Với các cột có liên kết cánh với bụng chỉ hàn một phía thì ở đoạn này phải hàn cả hai phía.

Các vách cứng đầu cột rộng như hình 4.19d được cấu tạo và tính toán như một dầm tiết diện chữ I. Chiều cao dầm lấy không nhỏ hơn chiều dài sườn gia cường đỡ xà ngang  $l_s$ . Liên kết hàn góc giữa bụng dầm với nhánh cột được tính theo nội lực cắt của dầm do  $N$  gây ra.

Cấu tạo truyền lực qua ép mặt giữa mũ cột và thân cột hay sườn đứng gia cường đầu cột được sử dụng rộng rãi. Ở đây phải đảm bảo tiếp xúc toàn diện giữa mũ cột với thân cột và sườn đứng gia cường đầu cột, chủ yếu là diện truyền tải ép mặt từ mũ cột vào thân cột hay sườn đứng gia cường, bề rộng của diện truyền tải này là  $Z = b + 2t_2$ . Bề mặt tiếp xúc phải được bào nhẵn và phẳng. Khi này các đường hàn góc liên kết mũ cột với thân cột và sườn gia cường có chiều cao lấy theo cấu tạo

$h_{fmin}$ .

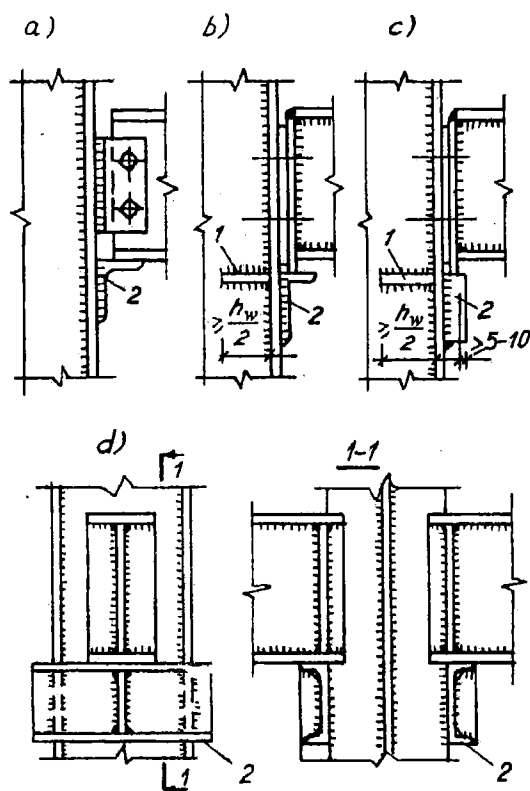
Khi mặt tiếp xúc giữa mũ cột với thân cột và sườn gia cường không được gia công, sự truyền lực ở đây nhờ vào các đường hàn góc liên kết mũ cột với thân cột và sườn gia cường ở ngay dưới sườn gối của xà ngang

$l_n = Z$  được tính toán với lực  $N$ .

Khi tại tiết diện đầu cột có nội lực cắt thì các đường hàn liên kết mũ cột với thân cột phải được kiểm tra cả với lực cắt này.

#### b. Xà ngang liên kết khớp ở bên cạnh cột

Hình thức liên kết này có cấu tạo như hình 4.20, gối đỡ 2 liên kết cánh cột bằng hai đường hàn dọc hai bên và có thể cả đường hàn ngang bên dưới (hình 4.20c). Các đường hàn này được tính toán chịu cắt với lực  $P = 1,5V$  ( $V$  là phản lực gối tựa của xà



Hình 4.20. Xà ngang liên kết khớp ở bên cạnh cột

ngang; 1,5 là hệ số tính đến sự truyền phản lực  $V$  lệch, không đều có thể xảy ra do chế tạo và lắp ráp).

Sườn 1 gia cường bụng cột trong hình 4.20b,c cần phải có khi bản cánh cột mỏng ( $t_f < 0,7t_{sg}$ ,  $t_f$  là bề dày cánh cột,  $t_{sg}$  là bề dày sườn gối tựa của xà ngang). Bề dài sườn 1 là  $h_s \geq \frac{h_w}{2}$ , lấy  $h_s = h_w$  khi cả hai cánh cột đều liên kết với dầm hoặc khi kết hợp làm vách cứng, làm sườn giữ ổn định cục bộ cho bụng cột.

Các bulông liên kết xà ngang với cột ở đây chủ yếu làm nhiệm vụ định vị, dùng bulông thường hoặc bulông thô. Nhờ có đường kính lỗ lớn hơn thân bulông 3 ÷ 5 mm nên đảm bảo được sự truyền lực  $V$  vào gối đỡ không gây ra treo dầm trên các bulông do sai lệch khi chế tạo. Khi trong dầm có nội lực kéo dọc trục, các bulông liên kết sườn đầu dầm với cánh cột chịu lực kéo này và đồng thời sinh ra uốn cục bộ cho bản cánh cột và sườn đầu dầm.

## 2. Chân cột

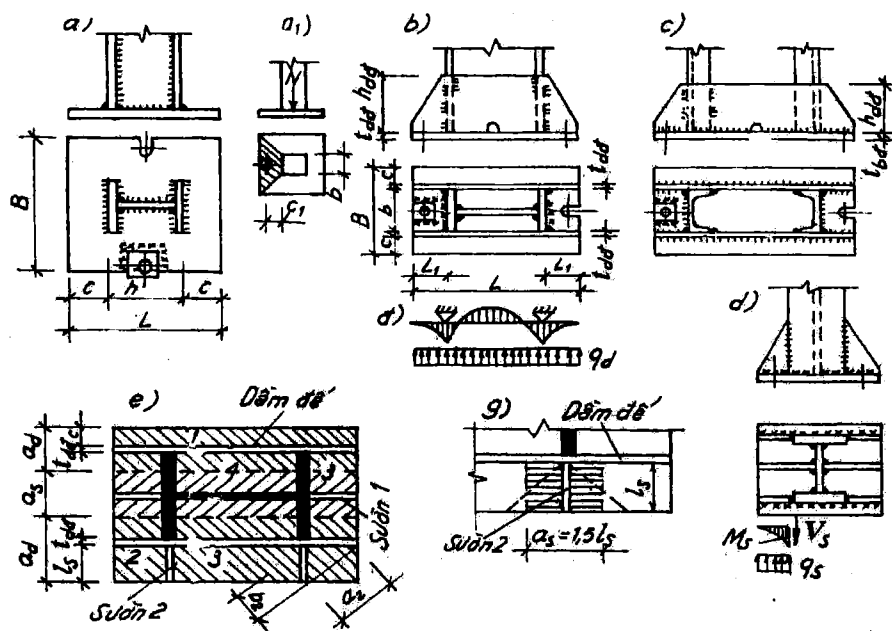
### a. Cấu tạo

Cấu tạo chân cột phải đảm bảo được nhiệm vụ truyền đều tải trọng từ cột lên móng, phù hợp với sơ đồ tính là ngàm hoặc khớp và thuận tiện cho việc lắp dựng.

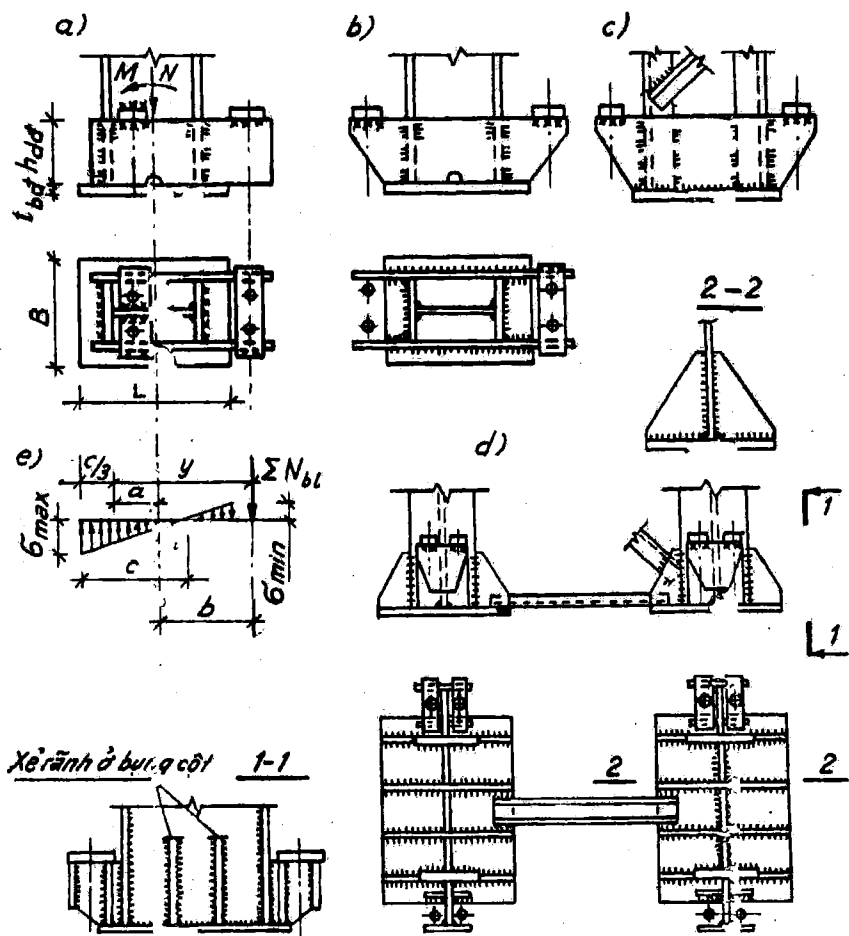
Chân cột chỉ có bản đế (hình 4.21a) là loại đơn giản nhất. Loại này chỉ dùng cho chân cột khớp với móng. Với cột nặng cấu tạo lực truyền qua diện ép mặt giữa thân cột tì lên bản đế. Đầu mút thân cột và mặt bản đế phải gia công phay, đảm bảo sự truyền lực đều khắp qua mặt mút thân cột. Đường hàn liên kết bản đế với thân cột ở đây được tính toán với  $(0,15 - 0,2) N$  của cột. Với cột nhẹ, cấu tạo lực truyền qua các đường hàn liên kết thân cột với bản đế.

Chân cột thông dụng là loại cấu tạo gồm các bộ phận: bản đế, dầm đế và các sườn như hình 4.21b,c,d dùng cho chân cột khớp với móng và hình 4.22a,b,c,d dùng cho thân cột ngàm với móng. Các dầm đế và sườn phân phối tải trọng từ thân cột ra bản đế, đồng thời là gối đỡ cho bản đế chịu uốn do phản lực từ móng lên và làm tăng độ cứng cho bản đế cũng như toàn chân cột. Nhờ có các dầm đế và sườn mà bản đế làm việc nhẹ nhàng hơn, mỏng hơn và tải trọng phân bố lên móng được đều đặn hơn so với khi chỉ có bản đế. Các dầm đế và sườn được hàn vào thân cột. Bản đế được hàn vào dầm đế, sườn và thân cột.

Khi cột nặng có thể cho thân cột, dầm đế và sườn tì trực tiếp vào bản đế với các mặt tiếp xúc được gia công phay, đường hàn liên kết bản đế với cột ở trường hợp này được tính với lực cắt ở chân cột khi cột nén lệch tâm, còn đối với cột nén đúng tâm tính với  $(0,15 - 0,2) M_{\text{MẸN}}$



Hình 4.21. Chân cột liên kết khớp



Hình 4.22. Chân cột liên kết ngàm vào móng

THƯ VIỆN  
HUBT

TÀI LIỆU PHỤC VỤ THAM KHẢO NỘI BỘ

Trong một số trường hợp liên kết cột ngầm với móng có lực kéo trong bulông neo không lớn, có thể cấu tạo cho bulông neo liên kết trực tiếp vào bản đế của chân cột. Khi này bản đế cần có bề dày  $t_{bd}$  lớn, các bulông neo được đặt sát với các bản cánh, bản bụng cột chỉ để khe hở đủ để bắt bulông.

Đối với những cột rỗng có khoảng cách các nhánh lớn, chân cột thường cấu tạo riêng rẽ cho mỗi nhánh (hình 4.22d) như cấu tạo ở chân cột đặc.

Bản đế của chân cột dù có hay không có các dầm đế và sườn, do yêu cầu cấu tạo lấy chiều dày không nhỏ hơn 20 mm và không quá dày, khi có sườn và dầm đế không nên lấy bản đế dày hơn 40 mm, khi chỉ có bản đế không được lấy nó dày quá 60 – 80 mm.

### b. Tính toán

Đối với chân cột nén đúng tâm, diện tích bản đế  $A_{bd}$  của cột nén đúng tâm được xác định theo cường độ tính toán về nén cục bộ của bê tông móng.

$$A_{bd} \geq \frac{N}{\psi R_{b,loc}} = \frac{N}{\alpha \psi \varphi_b R_b}, \quad (4.83)$$

trong đó:  $N$  – lực dọc tính toán của cột;

$\alpha$  – hệ số phụ thuộc vào cấp bê tông, với bê tông cấp B25 và lớn hơn  $\alpha = 13,5R_{bt}/R_b$ ;

$R_b$  – cường độ chịu nén tính toán của bê tông;

$R_{bt}$  – cường độ chịu kéo tính toán của bê tông;

$\psi$  – hệ số phụ thuộc vào đặc điểm phân phối tải trọng cục bộ trên diện tích bị ép mặt,  $\psi = 1$  khi nén đều,  $\psi = 0,75$  khi tải nén phân bố không đều;

$\varphi_b = \sqrt[3]{\frac{A_m}{A_{bd}}}$  và lấy không lớn hơn 1,5;

$A_m$  – diện tích mặt móng.

Dựa vào  $A_{bd}$  và hình dáng tiết diện cột định ra các kích thước  $L, B$  sao cho áp lực (ứng suất) dưới đế cột đảm bảo điều kiện sau:

$$\sigma = \frac{N}{LB} \leq \alpha \psi \varphi_b R_b, \quad (4.84)$$

trong đó các hệ số  $\alpha, \psi, \varphi_b$  xác định như trong công thức (4.83) và trong tiêu chuẩn thiết kế kết cấu bê tông và bê tông cốt thép TCXDVN 356:2005.

Với chân cột nén đúng tâm chỉ có bản đế thường lấy  $L = B = \sqrt{A_{bd}}$ . Ở loại chân cột này việc tính toán chính xác bản đế khá phức tạp. Để đơn giản và



thiên về an toàn ta có thể tính toán như một côngxon có tiết diện rộng là  $b$ , (hình 4.21a1) cao là  $t_{bd}$ , mômen uốn của nó là:

$$M = \sigma A_1 C_1, \quad (4.85)$$

trong đó:  $A_1$  – diện tích truyền tải  $\sigma$  vào côngxon (phần hình thang gạch chéo trên hình 4.21a1);

$C_1$  – khoảng cách từ trọng tâm của diện truyền tải hình thang đến tiết diện tính toán của côngxon (mép biên cột).

Chiều dày bản đế được xác định theo công thức:

$$t_{bd} = \sqrt{\frac{6M}{bf\gamma_c}}. \quad (4.86)$$

Nếu  $t_{bd} > 80$  mm thì sử dụng chân cột có dầm đế và sườn, hoặc trong điều kiện có thể tăng mức bê tông móng để giảm  $A_{bd}$  và  $C_1$  làm cho  $t_{bd} \leq 80$  mm.

Với chân cột có dầm đế và sườn:

$$L = \frac{A_{bd}}{B} \text{ và lấy } B = b \text{ (hoặc } h) + 2t_{dd} + 2C, \quad (4.87)$$

ở đây:  $b, h$  – kích thước cột;

$t_{dd}$  – bề dày dầm đế, có thể lấy sơ bộ bằng  $8 \div 10$  mm;

$C$  – độ nhô côngxon của bản đế, lấy  $C \leq 100$  mm.

Thân cột, dầm đế và sườn chia bản đế thành những ô bản có các điều kiện biên khác nhau (hình 4.21e), ô 1 là bản côngxon, ô 2 tựa trên hai cạnh kề nhau, ô 3 tựa trên ba cạnh, ô 4 tựa trên bốn cạnh. Mỗi ô bản này được tính toán về uốn dưới tác dụng của phản lực như bản tựa khớp ở các cạnh liên kết trừ ô 1. Mômen uốn lớn nhất của mỗi ô bản này tính cho dải rộng một đơn vị dài là:

$$M = \alpha_b \sigma d^2, \quad (4.88)$$

trong đó:  $d$  – nhịp tính toán của ô bản;

$\alpha_b$  – hệ số phụ thuộc vào tỉ số giữa các cạnh và loại ô bản. Với ô 1:

$d = c$ ,  $\alpha_b = \frac{1}{2}$ ; ô 4:  $d = a_1$ ,  $\alpha_b$  tra bảng 4.11 theo tỉ số  $\frac{b_1}{a_1}$  ( $a_1$  là cạnh

ngắn của ô bản); ô 3:  $d = a_2$ ,  $\alpha_b$  tra bảng 4.12 theo tỉ số  $\frac{b_2}{a_2}$  ( $a_2$  là

chiều dài biên tự do,  $b_2$  là chiều dài cạnh được liên kết vuông góc với



cạnh tự do) khi  $\frac{b_2}{a_2} < 0,5$  tính như côngxôn với  $d = b_2$ ,  $\alpha_b = \frac{1}{2}$ ; ô 2 có thể tính như ô 3 với các kích thước  $a_2$ ,  $b_2$  lấy theo hình 4.21e như vậy thiên về an toàn.

Chiều dày bản đế  $t_{bd}$  được tính toán với mômen lớn nhất  $M_{\max}$  trong các mômen  $M$  của các ô bản đế.

$$t_{bd} = \sqrt{\frac{6M_{\max}}{f\gamma_c}} \quad (4.89)$$

**Bảng 4.11.** Hệ số  $\alpha_b$  để xác định mômen lớn nhất của bản kê bốn cạnh

| $b_1/a_1$  | 1     | 1,1   | 1,2   | 1,3   | 1,4   | 1,5   | 1,6   | 1,7   | 1,8   | 1,9   | 2     | > 2   |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $\alpha_b$ | 0,048 | 0,055 | 0,063 | 0,069 | 0,075 | 0,081 | 0,086 | 0,091 | 0,094 | 0,098 | 0,100 | 0,125 |

**Bảng 4.12.** hệ số  $\alpha_b$  để xác định mômen lớn nhất của bản kê ba cạnh (hoặc hai cạnh kề nhau)

| $b_2/a_2$  | 0,5   | 0,6   | 0,7   | 0,8   | 0,9   | 1     | 1,2   | 1,4   | 2     | > 2   |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $\alpha_b$ | 0,060 | 0,074 | 0,088 | 0,097 | 0,107 | 0,112 | 0,120 | 0,126 | 0,132 | 0,133 |

Để bản đế có  $t_{bd}$  hợp lý cần bố trí dầm để, sườn cũng như tương quan  $B$  và  $L$  sao cho giá trị các  $M$  của các ô bản đế chênh lệch nhau càng ít càng tốt.

Dầm để tính toán như dầm đơn giản có mút thừa chịu tải trọng phân bố đều  $q_d = \sigma a_d$  ( $a_d$  là bề rộng của diện truyền phản lực vào dầm để, xem hình 4.21e, d). Chiều cao dầm để ( $h_{dd}$ ) được xác định từ điều kiện chịu lực của các đường hàn góc liên kết nó với thân cột. Xem như lực dọc  $N$  của cột phân đều cho các đường hàn liên kết các dầm để với thân cột.

Các sườn thường là côngxon, ngàm tại chỗ liên kết hàn giữa nó với cột hoặc dầm để, chịu tải trọng phân bố đều  $q_s = \sigma a_s$  ( $a_s$  là bề rộng diện truyền phản lực  $\sigma$  vào sườn, xem hình 4.21d, e.g. Chiều cao sườn ( $h_s$ ) được xác định từ điều kiện chịu mômen  $M_s = \frac{1}{2} q_s l_s^2$  và lực cắt  $V_s = q_s l_s$  ( $l_s$  – chiều dài tính toán của sườn) của các đường hàn liên kết sườn với thân cột hoặc dầm để.

Đối với chân cột đặc và chân cột rỗng có bản đế và dầm để liên, chịu nén lệch tâm (nén uốn): kích thước  $B$ ,  $L$  của bản đế cũng được xác định bởi điều kiện chịu ép cục bộ của bê tông móng. Dưới tác dụng của tổ hợp nội lực  $M$ ,  $N$  nguy hiểm ở chân cột ứng suất bê tông móng dưới bản đế là

$$\sigma_{\max} = \frac{N}{BL} + \frac{6M}{BL^2} \leq \alpha\psi\varphi_b R_b; \sigma_{\min} = \frac{N}{BL} - \frac{6M}{BL^2} \quad (4.90)$$

trong đó: các hệ số  $\alpha$ ,  $\psi$ ,  $\varphi_b$  xác định như trong công thức (4.83).

Bề dày bản đế ( $t_{bd}$ ) xác định theo (4.89), mômen uốn của mỗi ô bản đế xác định theo (4.88) với tải trọng xem như phân bố đều có trị số bằng trị số áp lực (ứng suất) lớn nhất ở mặt móng bê tông dưới từng ô bản đế.

Việc tính toán các dầm đế và sườn tương tự như chân cột nén đúng tâm với tải trọng xác định theo áp lực ở dưới bản đế và diện truyền tải từ bản đế vào nó.

Đối với cột rỗng chịu nén lệch tâm cấu tạo chân riêng rẽ cho từng nhánh: chân của mỗi nhánh được tính toán như chân cột nén đúng tâm với lực nén lớn nhất của nhánh tại chân cột.

Trong cột nén lệch tâm (nén uốn) các dầm đế và sườn đỡ các bulông neo, cũng như các đường hàn liên kết chúng với cột cần phải kiểm tra với các nội lực do lực kéo lớn nhất của các bulông neo gây ra.

### c. Liên kết chân cột vào móng

Chân cột liên kết vào móng bằng bulông neo. Với chân cột liên kết khớp với móng, bulông neo được bắt trực tiếp vào bản đế (hình 4.21a, b, c, d). Nhờ có tính dễ uốn của bản đế mà đảm bảo được tính khớp cần thiết của liên kết (phù hợp với chân cột có góc xoay tính toán nhỏ). Bulông neo đặt theo cấu tạo, 2 hoặc 4 cái, đường kính 20 ÷ 25 mm. Để dễ lắp ghép, lỗ bulông trên bản đế có đường kính bằng 1,5 ÷ 2 lần đường kính bulông neo. Lỗ này được phủ kín bằng bản thép đệm êcu dày 16 ÷ 20 mm và khoét lỗ rộng hơn đường kính bulông 3 mm. Sau khi điều chỉnh cột đúng vị trí thiết kế, xiết chặt êcu rồi hàn miếng đệm với bản đế.

Với chân cột ngàm vào móng, bulông neo được bắt chặt vào các chi tiết đỡ trên các dầm đế hoặc sườn (hình 4.22a, b, c, d). Biến dạng uốn của chi tiết đỡ, dầm đế hoặc sườn rất bé và các bulông neo được chọn có ứng suất kéo lớn nhất luôn luôn nhỏ hơn cường độ tính toán của nó nên góc xoay của chân cột được xem là không có, đáp ứng được tính ngàm giữa cột với móng.

Liên kết ngàm dùng ít nhất là bốn bulông neo có  $d = 20 \div 36$  mm cho chân cột nén đúng tâm và chân cột nén lệch tâm không có tổ hợp nội lực ( $M$ ,  $N$ ) gây kéo cho bulông neo. Còn trường hợp cột nén lệch tâm sinh ra lực kéo trong các bulông neo, thì các bulông này được xác định theo lực kéo lớn nhất sinh ra trong nó, và đường kính của chúng không nên chọn nhỏ hơn 24 mm.

Với tổ hợp nội lực có ứng suất kéo lớn nhất giữa bản đế và móng (tổ hợp có  $M$  lớn nhất và  $N$  nhỏ nhất, tải trọng thường xuyên có hệ số độ tin cậy về tải trọng là 0,9) sẽ gây ra nội lực kéo lớn nhất cho các bulông neo. Giả thiết các bulông neo tiếp thu toàn bộ vùng kéo của biểu đồ ứng suất dưới đế cột (hình 4.22e).

Lập phương trình cân bằng mômen với trọng tâm vùng nén xác định được tổng nội lực kéo  $\sum N_{bl}$  của các bulông neo là

$$\sum N_{bl} = \frac{M - Na}{y}. \quad (4.91)$$

Tổng diện tích yêu cầu của bulông neo chịu kéo xác định theo công thức

$$\sum A_{bl} = \frac{\sum N_{bl}}{f_{ba}}, \quad (4.92)$$

trong đó:  $f_{ba}$  – cường độ chịu kéo của bulông neo.

Từ  $\sum A_{bl}$  dựa vào bảng cấu tạo của bulông neo, chọn ra đường kính và số lượng bulông cho một phía chịu kéo của cột.

Đối với các cột rỗng có cấu tạo chân riêng rẽ cho từng nhánh, lực kéo của các bulông neo chính là lực kéo lớn nhất của nhánh tại tiết diện chân cột

$$\sum N_{bl} = \frac{M - Ny}{C}, \quad (4.93)$$

trong đó:  $C$  – khoảng cách trọng tâm hai nhánh cột;

$y$  – khoảng cách từ trọng tâm toàn tiết diện cột đến trọng tâm nhánh tính bulông neo.

Bulông neo không chịu lực cắt tại chân cột, lực này do lực ma sát giữa bản đế và bê tông móng chịu; Khi lực cắt lớn nên đặt các chốt chịu cắt riêng.

## §5.1. ĐẠI CƯƠNG VỀ GIÀN THÉP

Giàn thép là một kết cấu rỗng bao gồm các thanh quy tụ và liên kết với nhau tại nút (mắt) giàn thông qua một bản thép gọi là bản mã. Liên kết trong giàn thường dùng liên kết hàn, bulông hoặc đinh tán (liên kết hàn dùng phổ biến hơn cả).

Giàn gồm các thanh biên trên (gọi là thanh cánh trên) và thanh biên dưới (gọi là thanh cánh dưới). Các thanh còn lại nằm trong phạm vi thanh cánh trên và thanh cánh dưới là thanh bụng. Giàn thép làm việc cũng như dầm, có nghĩa là giàn phủ qua nhịp chịu uốn, nhận tải trọng và truyền xuống kết cấu đỡ nó. Nội lực trong các thanh giàn chủ yếu là lực trục (kéo hoặc nén) do vậy tiết kiệm vật liệu, nhẹ và cứng hơn dầm rất nhiều, tuy nhiên tốn công chế tạo hơn. Hình dạng của giàn dễ cấu tạo để phù hợp với yêu cầu của thiết kế kiến trúc.

### 1. Phân loại giàn

#### a. Theo công dụng

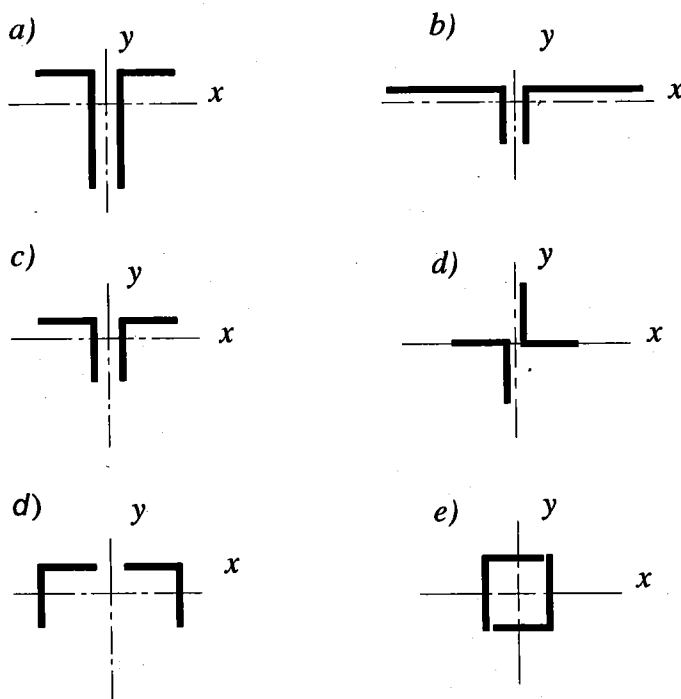
Giàn có tên gọi theo công dụng như: Giàn được làm kết cấu đỡ mái của nhà công nghiệp và dân dụng (thường được gọi là vì kèo), giàn cầu, giàn cầu trục, giàn tháp trụ, giàn cột điện, giàn tháp khoan v.v...

#### b. Theo cấu tạo của các thanh giàn

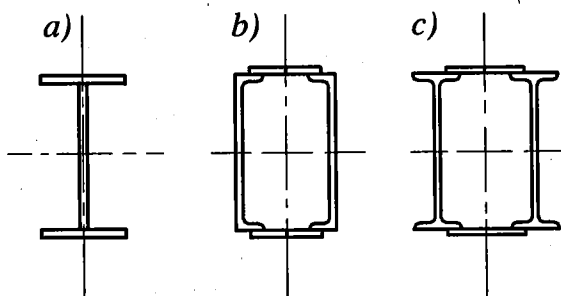
Chia ra:

- *Giàn nhẹ*: là giàn có nội lực trong các thanh là nhỏ, các thanh giàn được cấu tạo từ một thép góc hoặc thép tròn.
- *Giàn thường*: là loại phổ biến, dùng làm vì kèo mái lợp bằng tấm panen bê tông cốt thép hoặc cho các loại giàn có nội lực lớn nhất trong các

thanh cánh dưới 5000 kN. Các thanh giàn được ghép bởi hai thép góc, tiết diện ngang dạng chữ T (hình 5.1).



Hình 5.1. Các tiết diện thanh giàn hai thép góc



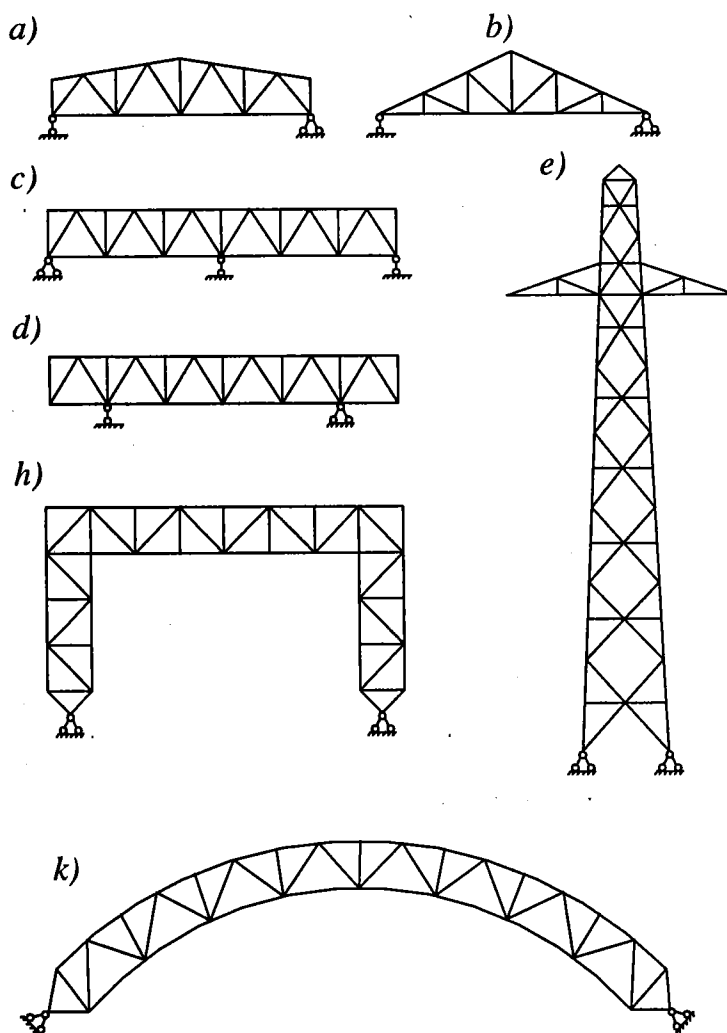
Hình 5.2. Tiết diện thanh giàn nặng

- **Giàn nặng:** dùng cho các công trình chịu tải trọng nặng như giàn cầu, giàn cầu chạy v.v... có nội lực lớn nhất trong các thanh cánh thường không dưới 5000 kN. Tiết diện thanh giàn dạng tổ hợp (hình 5.2).

Ở chương này chủ yếu trình bày phương pháp tính toán và cấu tạo giàn phổ biến nhất (giàn thường).

### c. Theo sơ đồ kết cấu giàn có các loại

- *Giàn kiểu dầm*, có sơ đồ đơn giản (hình 5.3a, b) là loại tựa khớp hai đầu. Cấu tạo loại này đơn giản dễ dựng lắp, ít chịu ảnh hưởng của nhiệt độ và không chịu ảnh hưởng của độ lún gối tựa.
- *Giàn liên tục* (hình 5.3c) là loại siêu tĩnh nên cứng hơn so với giàn có sơ đồ đơn giản, do vậy giàn có chiều cao nhỏ hơn, tiết kiệm thép nhưng lại chịu ảnh hưởng của nhiệt độ và độ lún các gối tựa, việc chế tạo và dựng lắp cũng phức tạp hơn.
- *Giàn mút thừa* (hình 5.3d) là giàn có phần mút thừa, các thanh cánh phần mút thừa có nội lực ngược dấu với thanh cánh ở phần trong nhịp.



Hình 5.3. Các loại giàn theo sơ đồ kết cấu

- *Giàn kiểu tháp trụ* (hình 5.3e) dùng cho công trình tháp, trụ ăngten, cột điện vượt sông v.v... Mỗi mặt kết cấu là một giàn phẳng.
- *Giàn kiểu khung* (hình 5.3h) dùng làm khung chịu lực chính trong nhà có nhịp lớn.
- *Giàn kiểu vòm* (hình 5.3k) vượt được nhịp rất lớn (trên 60m) thường được dùng làm kết cấu chịu lực trong nhà triển lãm, công trình thể thao v.v...

## 2. Hình dạng giàn

Hình dạng giàn rất đa dạng, khi lựa chọn hình dạng giàn cần thỏa mãn các yêu cầu sau:

- Phù hợp với yêu cầu sử dụng.
- Thỏa mãn các yêu cầu của thiết kế kiến trúc và việc thoát nước mái.
- Kích thước và cách bố trí cửa trời (cửa mái).
- Cách liên kết giàn với cột và phải tạo được kết cấu mái và công trình có đủ độ cứng cần thiết.
- Thỏa mãn về yêu cầu kinh tế (tiết kiệm vật liệu, dễ gia công chế tạo và dựng lắp).

Giàn thường dùng các dạng sau

### a. Dạng tam giác (hình 5.4a, b)

Giàn có hình dáng tam giác, đầu giàn nhọn nên chỉ có thể liên kết khớp với cột, độ cứng ngoài mặt phẳng không lớn. Về mặt chịu lực giàn tam giác không phù hợp với biểu đồ mômen uốn do tải trọng trên giàn gây ra, nội lực các thanh chênh lệch nhiều, có một số thanh bụng chịu nén nhỏ mà chiều dài lớn nên tiết diện phải chọn theo độ mảnh giới hạn gây ra lãng phí vật liệu. Tuy nhiên, giàn tam giác vẫn được sử dụng hợp lý cho các công trình yêu cầu mái có độ dốc lớn (mái lợp ngói, phibêrô ximăng, tôn).

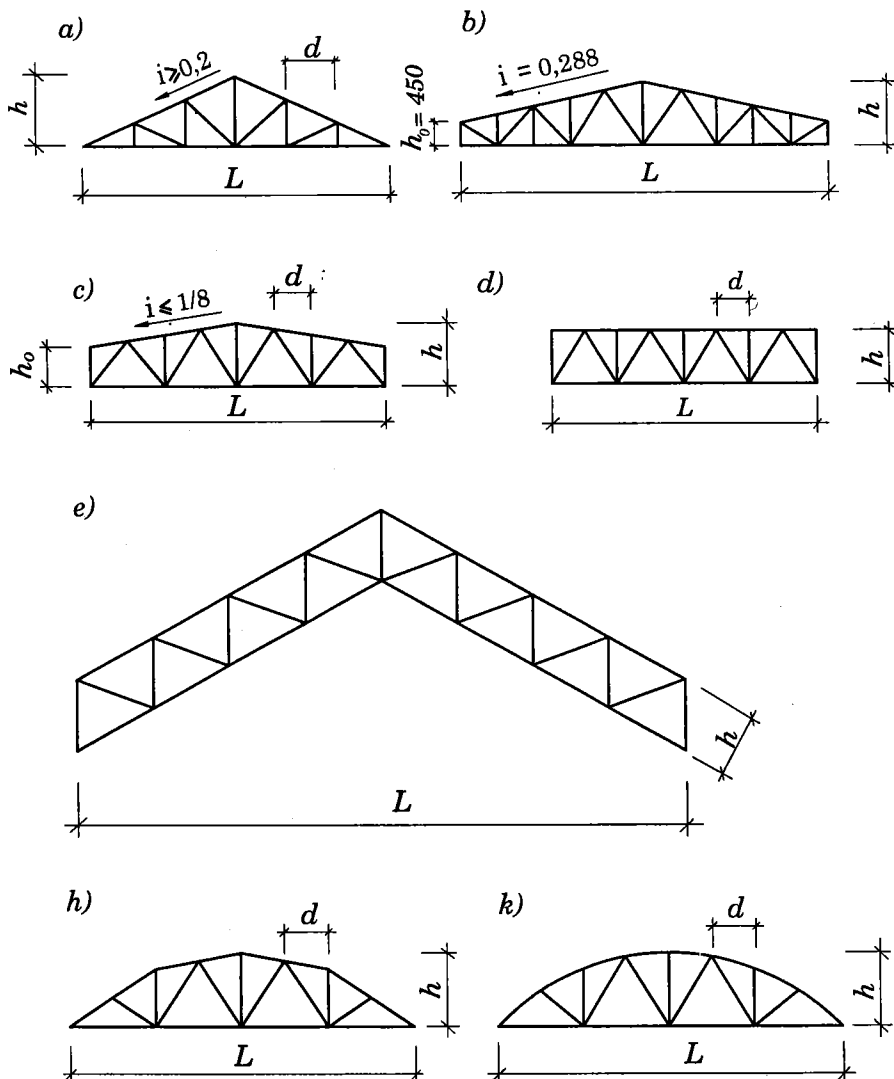
### b. Giàn hình thang (hình 5.4c)

Giàn hình thang dùng làm vì kèo trong các công trình có yêu cầu độ dốc của mái nhỏ (tấm lợp là panen bê tông cốt thép). Giàn hình thang khá phù hợp với biểu đồ mômen uốn, có nhiều ưu điểm về mặt cấu tạo, góc giữa các thanh không quá nhỏ, chiều dài các thanh không quá lớn. Mặt khác, chiều cao đầu giàn lớn nên dễ liên kết cứng với cột để tăng độ cứng cho công trình, nội lực các thanh trong giàn hình thang hợp lý hơn giàn tam giác.

### c. Giàn cánh song song (hình 5.4d, e)

Loại giàn này có nhiều ưu điểm về mặt cấu tạo: các thanh cùng loại có chiều dài bằng nhau, rất nhiều nút giống nhau nên dễ thống nhất hóa về mặt cấu tạo. Giàn cánh song song thường làm giàn đỡ kèo, giàn cầu, tháp, trụ hoặc cần cầu v.v...

### d. Giàn đa giác (hình 5.4h) và giàn cánh cung (hình 5.4k)



Hình 5.4. Các dạng giàn

Giàn kiểu này rất phù hợp với biểu đồ mômen uốn, sự phân bố nội lực trong các thanh hợp lý, không chênh lệch nhiều nên số loại thanh ít, tiết kiệm vật liệu. Tuy nhiên, giàn đa giác hoặc cánh cung có nhược điểm là cánh trên bị

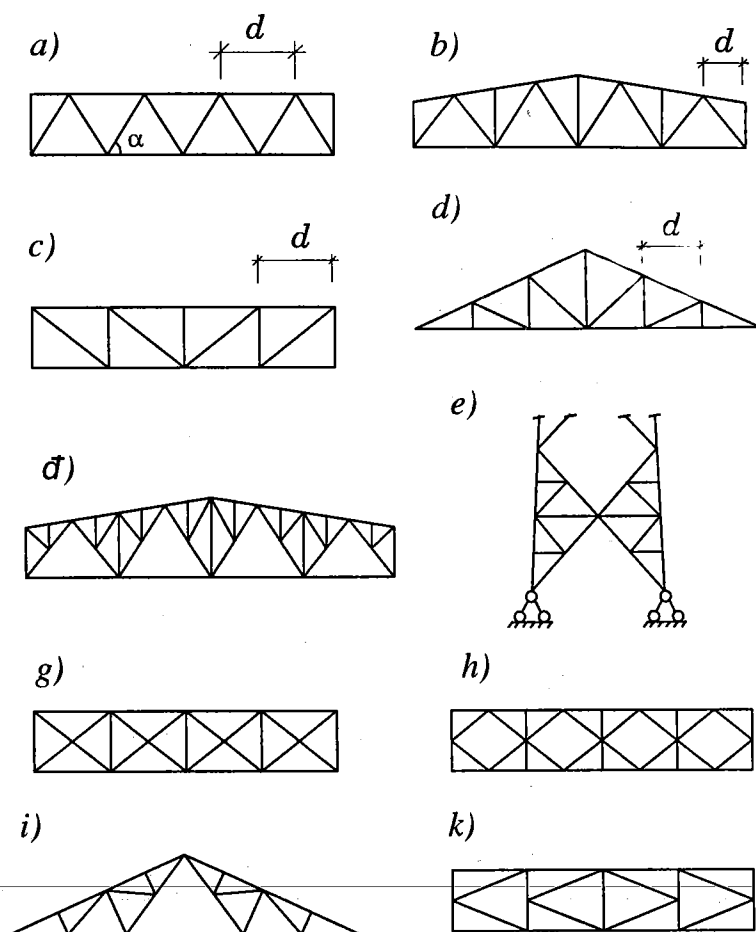


gãy khúc hoặc phải uốn cong nên việc chế tạo phức tạp do vậy chỉ dùng cho giàn có nhịp khá lớn.

### 3. Hệ thanh bụng của giàn

Việc bố trí hệ thanh bụng cần thỏa mãn các yếu tố: cấu tạo nút đơn giản và có nhiều nút giống nhau, tổng chiều dài thanh bụng nhỏ, góc giữa thanh bụng và thanh cánh không quá nhỏ và không nên để thanh cánh bị uốn cục bộ bởi tải trọng đặt ngoài nút.

#### a. Hệ thanh bụng tam giác (hình 5.5a)



Hình 5.5. Các hình thức bố trí thanh bụng

Các thanh bụng xiên về hai phía (một thanh đi lên thì thanh tiếp đi xuống). Với hệ này số nút ít, tổng chiều dài các thanh bụng là ngắn nhất. Khi mái có xà gồ mà khoảng cách xà gồ nhỏ hơn khoảng cách nút thì cấu tạo thêm thanh đứng (hình 5.5b) để tránh uốn cục bộ cho cánh trên và giảm được

chiều dài tính toán của thanh cánh trên. Góc hợp lý giữa thanh bụng và thanh cánh từ  $45^\circ$  đến  $55^\circ$ , khi tại nút không có thanh đứng, với nút có thanh đứng và thanh xiên thì góc này từ  $35^\circ$  đến  $45^\circ$ . Nhược điểm của hệ thanh bụng tam giác là có một số thanh bị nén mà chiều dài lớn.

#### b. Hệ thanh bụng xiên (hình 5.5c, d)

Các thanh xiên ở một nửa giàn cùng xiên về một phía và kết hợp với thanh đứng; hệ thanh bụng này có ưu điểm là các thanh cùng loại thì cùng một loại nội lực. Chiều của thanh xiên chọn sao cho thanh xiên dài chịu kéo còn thanh đứng ngắn chịu nén như ở hình 5.5c đối với giàn hình thang và cánh song song. Với giàn tam giác dùng hệ thanh bụng xiên như hình 5.5d, về mặt chịu lực là không lợi vì các thanh xiên dài lại chịu nén, nhưng cấu tạo nút hợp lý (góc giữa các thanh không quá nhỏ) nên hay được dùng. Góc hợp lý giữa thanh xiên và thanh cánh từ  $35^\circ$  đến  $45^\circ$ . Hệ thanh bụng xiên có nhược điểm là tổng chiều dài thanh bụng lớn, nhiều nút, tốn công chế tạo.

#### c. Hệ thanh bụng phân nhỏ (hình 5.5đ)

Dùng hệ này trong trường hợp tránh uốn cục bộ cho cánh trên vì kéo, đồng thời làm giảm chiều dài tính toán trong mặt phẳng giàn của cánh trên. Trong các kết cấu khác như tháp trụ (hình 5.5e), hệ thanh bụng phân nhỏ có tác dụng làm giảm chiều dài tính toán của thanh cánh, mặc dù làm phức tạp về mặt cấu tạo nhưng thực tế trong một số trường hợp nó làm giảm trọng lượng của toàn cấu kiện.

#### d. Các dạng hệ thanh bụng khác

Ngoài các hệ thanh bụng cơ bản nêu trên còn có các hệ thanh bụng sau:

Hệ thanh bụng chữ thập (hình 5.5g) hệ này gồm các thanh xiên chéo nhau kết hợp thanh đứng tạo nên hệ siêu tĩnh rất cứng, thường dùng khi giàn chịu lực hai chiều, hay gặp trong giàn cầu hoặc hệ giằng mái. Ở kết cấu tháp trụ, còn gặp loại các thanh xiên tạo với nhau thành hình thoi (hình 5.5h) để tiện cho việc nối thanh cánh.

Hệ thanh bụng còn có loại cấu tạo dạng chữ K (hình 5.5k), loại này làm tăng độ cứng cho giàn và giảm chiều dài tính toán trong mặt phẳng giàn cho thanh bụng đứng. Hệ thanh bụng chữ K thường gặp trong giàn chịu lực cắt lớn như giàn cầu, tháp trụ v.v... Đối với giàn dạng tam giác có góc dốc  $\alpha = 35^\circ \div 45^\circ$  cũng như nhịp lớn ( $L = 20 \div 24 \text{ m}$ ) có thể sử dụng hệ thanh bụng như hình 5.5i, thường tiết kiệm vật liệu hơn các dạng khác.

## 4. Kích thước chính của giàn

### a. Nhịp giàn

Nhịp tính toán của giàn được xác định dựa trên cơ sở của phương án kiến trúc, phù hợp với mục đích sử dụng và giải pháp bố trí kết cấu công trình.

Nếu giàn liên kết khớp với cột (giàn kê lên đầu cột) thì nhịp giàn là khoảng cách hai tâm gối tựa ở hai đầu giàn. Nếu liên kết cạnh bên với cột thì nhịp tính toán là khoảng cách mép trong giữa hai cột ở hai đầu giàn.

Trong nhà công nghiệp, để thống nhất môđun, nhịp giàn được lấy theo môđun 6 m. Thường nhịp giàn có  $L$  bằng 18; 24; 30; 36m ngoài ra ở Việt Nam còn có thêm các loại nhịp 21; 27; 33m. Với giàn thường (tiết diện thanh là hai thép góc) nhịp hợp lý từ 18 đến 36 m.

### b. Chiều cao giàn

Với giàn cánh song song và giàn hình thang, chiều cao giữa giàn hợp lý trong khoảng  $1/5 \div 1/6 L$  ( $L$  là nhịp giàn). Chiều cao này thường khó thỏa mãn điều kiện vận chuyển nên thường lấy nhỏ hơn bằng  $(1/7 \div 1/9) L$ . Với giàn tam giác chiều cao giàn phụ thuộc chủ yếu vào độ dốc của cánh trên. Khi mái dốc từ  $22^\circ$  đến  $40^\circ$  thì chiều cao giàn thường lấy trong khoảng  $(1/4 \div 1/3)L$ , nếu mái lợp có yêu cầu độ dốc nhỏ hơn (lợp tôn) thì làm giàn tam giác có chiều cao đầu giàn là 450 mm (hình 5.4, b).

### c. Khoảng cách nút giàn

Khoảng cách nút giàn là khoảng cách giữa các tâm nút trên thanh cánh, khoảng cách này được xác định sau khi đã lựa chọn được hệ thanh bụng. Riêng trường hợp mái có xà gồ thì khoảng cách nút giàn ở cánh trên nên chọn bằng khoảng cách xà gồ để tránh uốn cục cho cánh trên, và thường lấy từ 1,5 đến 3,0 m. Nếu tấm lợp là panen bê tông cốt thép rộng 1,5 m hoặc 3 m liên kết trực tiếp trên cánh giàn thì lấy bằng bề rộng panen. Khoảng cách nút giàn cánh dưới của giàn tam giác thường là 3 đến 6 m, với giàn hình thang thường là 6 m.

Có thể tham khảo một số thiết kế mẫu chọn kích thước chính của giàn hình thang như sau: độ dốc cánh trên  $i = 12\%$ ; khoảng cách nút giàn cánh trên là 3 m hoặc 1,5 m; khoảng cách nút giàn cánh dưới là 6 m; chiều cao đầu giàn là 2,2m (với giàn có nhịp từ 18 đến 36 m).

Với mái lợp tôn và phibrôximăng dùng giàn hình tam giác có độ dốc  $i = 0,29$  có chiều cao đầu giàn là 450 mm.

#### d. Bước giàn

Bước giàn là khoảng cách giữa các giàn trong một công trình, bước giàn được xác định từ yêu cầu kiến trúc và dây chuyền công nghệ, phù hợp với môđun thống nhất các cấu kiện lắp ghép như tấm tường, tấm mái v.v... và thỏa mãn yêu cầu kinh tế. Với giàn thép bước hợp lý là 6 m.

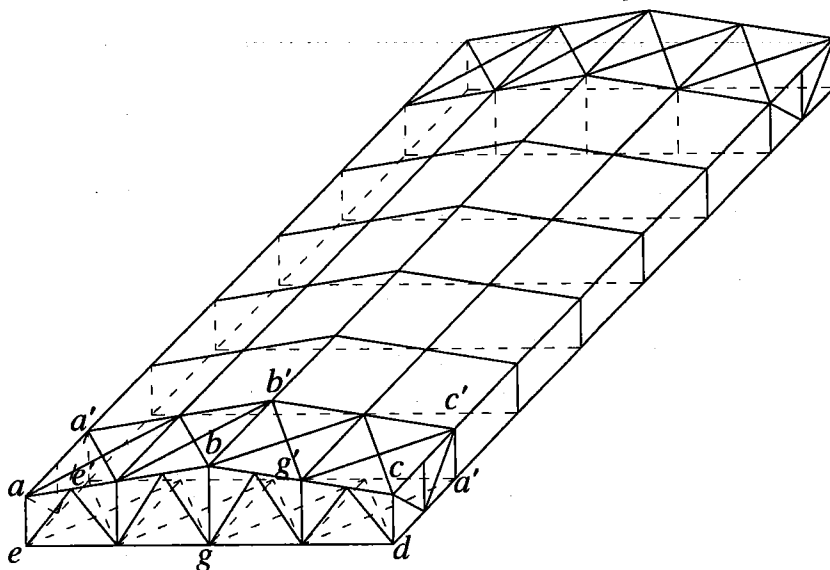
### 5. Hệ giằng không gian

Giàn là kết cấu mảnh theo phương ngoài mặt phẳng cho nên dễ mất ổn định theo phương ngoài mặt phẳng của nó (phương dọc nhà). Chính vì vậy giữa các giàn trong công trình cần phải được giằng lại với nhau tạo nên một khối không gian ổn định. Hệ giằng của giàn gồm ba hệ (hình 5.6):

- *Hệ giằng cánh trên*, bố trí trong mặt phẳng cánh trên (mặt  $a a' b b'$  và  $b b' c' c$ ). Sơ đồ của hệ giằng cánh trên gồm các thanh chéo chữ thập và thanh chống ngang. Tác dụng chính là đảm bảo ổn định cho cánh trên (chịu nén) của giàn, tạo nên được những điểm cố kết không chuyển vị theo phương ngoài mặt phẳng của giàn. Các thanh giằng chữ thập được bố trí ở hai gian đầu hồi (khoảng giữa hai giàn gọi là một gian) của nhà hoặc của một đoạn nhiệt độ và các gian ở phía trong sao cho đảm bảo khoảng cách các gian được bố trí giằng chữ thập không quá 60m.
- *Hệ giằng cánh dưới*, được bố trí trong mặt phẳng cánh dưới của giàn (mặt  $e e' d' d$ ) tại gian có hệ giằng cánh trên và có sơ đồ như hệ giằng cánh trên. Giằng cánh dưới cùng với giằng cánh trên tạo nên các khối cứng bất biến hình và cũng tạo được những điểm cố kết không chuyển vị theo phương ngoài mặt phẳng giàn.
- *Hệ giằng đứng* được bố trí trong các mặt phẳng thanh đứng giữa giàn và hai đầu giàn, cùng gian với giằng cánh trên và giằng cánh dưới (mặt  $a a' e' e$ ;  $b b' g' g$  và  $c c' d' d$ ). Dọc theo nhịp giàn (phương ngang nhà) các hệ giằng đứng đặt cách nhau không quá 15 m. Có tác dụng cùng với giằng cánh trên và giằng cánh dưới tạo nên khối cứng không gian bất biến hình, ngoài ra giằng đứng còn có tác dụng cố định, giữ ổn định khi dựng lắp giàn. Các gian không bố trí giằng được thay bằng thanh chống dọc.

Những thanh chống dọc này có tác dụng tăng cường ổn định cho thanh cánh trong quá trình sử dụng cũng như dựng lắp giàn.

Hệ giằng của giàn ngoài việc tạo độ cứng không gian cho phạm vi mái, còn có tác dụng làm giảm chiều dài tính toán theo phương ngoài mặt phẳng giàn cho thanh cánh, vì tại vị trí liên kết giằng với giàn là những điểm được cố kết ngăn cản chuyển vị theo phương dọc nhà.



Hình 5.6. Hệ giằng không gian của giàn

## §5.2. TÍNH TOÁN GIÀN

### 1. Các giả thiết khi tính giàn

- Trục các thanh đồng quy tại tim nút giàn, lực tập trung đặt trực tiếp vào nút giàn.
- Xem nút giàn là khớp (giả thiết này là gần đúng).

Với những giả thiết trên nên nội lực trong thanh giàn là lực dọc (kéo hoặc nén). Khi cấu tạo giàn cần phải thỏa mãn các yêu cầu: trục các thanh phải được đồng quy tại tim nút, tiết diện ngang các thanh phải đối xứng qua mặt phẳng giàn.

### 2. Tải trọng tác dụng lên giàn

Bao gồm hai loại tải trọng chính:

- *Tải trọng thường xuyên* gồm trọng lượng của các kết cấu trong phạm vi mái, như tấm lợp, tấm chống thấm, lớp cách nhiệt, xà gỗ, bản thân giàn giằng, cửa mái, trần (nếu có) v.v...
- *Tải trọng tạm thời* gồm trọng lượng người và thiết bị sửa chữa mái (hoạt tải mái), tải trọng gió, cần trục treo (nếu có) v.v...

Tải trọng thường xuyên và tạm thời tác dụng lên giàn tính trên đơn vị diện tích mặt bằng ( $\text{daN/m}^2$ ), các tải trọng này được quy đổi thành lực tập trung đặt vào nút giàn, lực tập trung đặt ở nút giàn tính theo công thức:

$$P_i = \frac{d_t + d_f}{2} q_{tc} B \gamma_Q, \quad (5.1)$$

trong đó:  $P_i$  – lực tập trung đặt ở nút thứ  $i$ ;

$d_t, d_f$  – khoảng cách nút giàn bên trái và bên phải nút  $i$  (tính theo phương nhịp giàn, như kích thước  $d$  trên hình 5.5 và hình 5.7);  
 $q_{tc}$  – tải trọng tiêu chuẩn phân bố trên đơn vị diện tích mặt bằng (nếu phân bố trên đơn vị diện tích mái dốc thì phải chia cho  $\cos \alpha$ ;  $\alpha$  là góc nghiêng của mái);

$B$  – bước giàn;

$\gamma_Q$  – hệ số độ tin cậy về tải trọng ứng với  $q_{tc}$ .

Khi xác định  $P_i$  cần phải tính riêng rẽ cho tải trọng thường xuyên và các tải trọng tạm thời như sửa chữa mái, gió (khi gió gây nguy hiểm cho giàn) v.v...

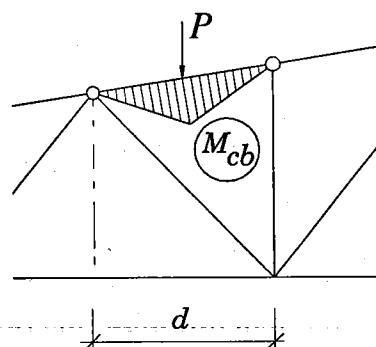
### 3. Nội lực

Dùng các phương pháp của cơ học kết cấu để xác định nội lực giàn. Tiến hành tính toán trong từng trường hợp riêng rẽ, sau đó tổ hợp nội lực để tìm nội lực nguy hiểm nhất. Với giàn vì kèo cần tính toán cho các tải trọng sau:

- Tải trọng thường xuyên đặt cả giàn.
- Tải trọng sửa chữa mái đặt  $\frac{1}{2}$  giàn và cả giàn.
- Tải trọng gió
- Nếu có cầu trục treo, thì phải xác định tải trọng lớn nhất tại vị trí cầu trục liên kết với nút giàn bằng lý thuyết đường ảnh hưởng phản lực gối tựa.

Có thể dùng các phương pháp chính xác hoặc gần đúng để xác định nội lực thanh giàn, phương pháp gần đúng hiện nay hay được dùng là giản đồ Crêmona (Phương pháp họa đồ).

Cần chú ý rằng trong trường hợp có tải trọng tập trung đặt ngoài nút (thường ở cánh trên) thì ngoài nội lực dọc trục, thanh giàn còn chịu uốn cục bộ. Mômen uốn cục bộ được xác định gần đúng theo sơ đồ đơn giản, gối tựa là nút giàn, nhịp là khoảng cách ngang của hai nút (hình 5.7).



Hình 5.7. Mômen cục bộ thanh giàn

Giá trị mômen cục bộ  $M_{cb}$  được xác định theo công thức:

$$M_{cb} = \frac{\psi P d}{4}, \quad (5.2)$$

trong đó:  $\psi$  – hệ số kể đến tính liên tục của cánh trên,  $\psi = 1$  cho khoang đầu;

$\psi = 0,9$  cho các khoang bên trong;

$P$  – lực tập trung đặt ngoài nút;

$d$  – khoảng cách ngang giữa hai nút;

Các kết quả tính toán nên đưa vào bảng để dễ tổ hợp.

#### 4. Chiều dài tính toán các thanh giàn

Các thanh giàn nói chung làm việc theo hai phương chính: phương trong mặt phẳng và phương ngoài mặt phẳng giàn. 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 do trọng lượng bản thân, do chuyên chở dựng lắp.

Như vậy, chiều dài tính toán sẽ được tính toán theo hai phương: phương trong mặt phẳng, ký hiệu là  $l_x$ ; phương ngoài mặt phẳng, ký hiệu  $l_y$ .

##### a. Chiều dài tính toán trong mặt phẳng

Trong thực tế, nút giàn có độ cứng nhất định nên không phải là khớp lý tưởng như đã giả thiết. 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 quy tụ tại nút cong theo. Các thanh kéo liên kết tại nút này có xu hướng bị kéo dài ra

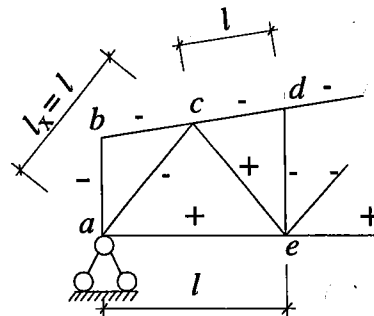


nên sẽ chống lại sự xoay này. Nút càng có nhiều thanh kéo liên kết thì sự chống xoay càng lớn (tức là nút có độ cứng lớn). Do vậy có quy ước: nút có nhiều thanh nén hơn thanh kéo thì nút dễ xoay và được xem là khớp và ngược lại nút có nhiều thanh kéo hơn thanh nén thì nút khó xoay và được xem là nút ngàm đàn hồi.

Khi chịu lực, dấu nội lực các thanh được ghi trên hình vẽ (nén mang dấu  $-$ , kéo mang dấu  $+$ ). Ví dụ trên hình 5.8, chiều dài tính toán  $l_x$  của thanh  $ac$  như sau:

- Tại nút  $a$ : số thanh nén lớn hơn các thanh kéo nên xem nút  $a$  là khớp.
- Tại nút  $c$ : số thanh nén lớn hơn thanh kéo nên cũng xem nút  $c$  là khớp.

Vậy chiều dài tính toán trong mặt phẳng giàn của thanh  $ac$  là  $l_x = \mu l = l$  (ở đây  $\mu = 1$  vì hai đầu thanh  $ac$  là khớp),  $l$  là khoảng cách hai tim nút ở hai đầu thanh còn được gọi là chiều dài hình học của thanh. Tương tự xác định  $l_x$  của thanh  $ce$ , xét tại nút  $e$ : số thanh kéo lớn hơn số thanh nén xem nút  $e$  là ngàm đàn hồi, nút  $c$  là khớp (như đã xét ở trên) như vậy thanh  $ce$  có một đầu là liên kết khớp, một đầu là liên kết ngàm đàn hồi, hệ số  $\mu = 0,8$  vậy  $l_x = \mu l = 0,8l$ .



Hình 5.8. Sơ đồ xác định chiều dài tính toán thanh dàn

Dựa vào kết quả phân tích trên, chiều dài tính toán trong mặt phẳng giàn của các thanh được lấy như sau:

- thanh cánh trên  $l_x = l$ ;
- thanh cánh dưới  $l_x = l$ ;
- thanh xiên đầu giàn  $l_x = l$ ;
- các thanh bụng còn lại  $l_x = 0,8l$ .

Nếu giàn có thanh bụng phân nhỏ, chiều dài tính toán trong mặt phẳng giàn của các thanh bụng có nút giàn phân nhỏ được lấy bằng khoảng cách nút giàn ở thanh khảo sát đó.



### b. Chiều dài tính toán ngoài mặt phẳng

Độ cứng của bản mã theo phương ngoài mặt phẳng giàn rất bé nên có thể bỏ qua, do vậy chiều dài tính toán ngoài mặt phẳng giàn của các thanh bụng sẽ là  $l_y = l$ . Đối với giàn có hệ thanh bụng phân nhỏ, các thanh bụng nén (có chứa nút giàn phân nhỏ) có hai trị số nội lực  $N_1$  và  $N_2$ , ( $N_1 > N_2$ ) thì:

$$l_y = \left( 0,75 + 0,25 \frac{N_2}{N_1} \right) l. \quad (5.3)$$

Chiều dài tính toán ngoài mặt phẳng giàn của thanh cánh lấy bằng khoảng cách giữa hai điểm cố kết ngăn cản thanh cánh chuyển vị khỏi mặt phẳng giàn (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

$$l_y = \left( 0,75 + 0,25 \frac{N_2}{N_1} \right) l_1, \quad (5.4)$$

trong đó:  $l_1$  – khoảng cách giữa hai điểm cố kết.

### c. Độ mảnh giới hạn các thanh giàn

Độ mảnh ( $\lambda$ ) có ảnh hưởng lớn đến sự làm việc của thanh. Với thanh nén, nếu độ mảnh quá lớn thì khả năng chịu lực sẽ rất nhỏ, còn với thanh kéo khi độ mảnh quá lớn thì dễ bị cong do vận chuyển, do trọng lượng bản thân hoặc do chấn động v.v... Vì vậy, độ mảnh của thanh giàn không được vượt quá trị số giới hạn ở bảng I.16 phụ lục I. Độ mảnh giới hạn ký hiệu là  $[\lambda]$ .

## 5. Tiết diện hợp lý của các thanh giàn

Với giàn thường, tiết diện thanh là hai thép góc ghép lại. Thép góc có thể là đều cạnh hoặc không đều cạnh. Vì các thanh giàn là những cấu kiện kéo hoặc nén đúng tâm nên hợp lý nhất là sự làm việc theo hai phương (phương trong và ngoài mặt phẳng giàn) bằng hoặc xấp xỉ nhau ( $\lambda_x \approx \lambda_y$ ). Tiết diện được ghép mà có độ mảnh thỏa mãn điều kiện trên gọi là tiết diện hợp lý, tiết diện hợp lý thường có diện tích nhỏ nhất. Tiết diện thanh giàn thường dùng các dạng sau

- Dạng hai thép góc không đều cạnh, ghép cạnh lớn với nhau (hình 5.1a). Với dạng này có bán kính quán tính ( $i$ ) theo hai phương xấp xỉ nhau  $i_x \approx$

$i_y$ . Như vậy dạng này dùng hợp lý cho các thanh giàn có  $l_x = l_y$  vì  $\lambda_x = \frac{l_x}{i_x}$ ;  $\lambda_y = \frac{l_y}{i_y}$ .

- Dạng hai thép góc không đều cạnh ghép cạnh bé với nhau (hình 5.1b). Dạng này có  $i_x \approx 0,5i_y$ , dùng hợp lý cho những thanh có  $l_y = 2l_x$ . Thanh cánh trên của giàn cũng thường dùng dạng này vì bề rộng vươn ra của cánh thép góc lớn, tăng cứng cho giàn thép phương ngoài mặt phẳng, mặt khác đủ kích thước để đặt chân panen mái vào cánh giàn.
- Dạng hai thép góc đều cạnh ghép lại (hình 5.1c). Dạng này có  $i_x \approx 0,75i_y$ , và được dùng hợp lý cho các thanh có  $l_x = 0,8l_y$  (tức là thanh bụng).
- Dạng hai thép góc đều cạnh ghép lại dạng chữ thập (hình 5.1d). Dạng này thường được dùng cho thanh đứng tại vị trí khuếch đại giàn, mỗi một thép góc thuộc về một đoạn vận chuyển, như vậy từng đoạn giàn sẽ được đảm bảo cứng khi cầu lắp hoặc vận chuyển.

## 6. Chọn và kiểm tra tiết diện thanh giàn

### a. Nguyên tắc chọn tiết diện

Khi tiến hành tính toán chọn tiết diện thanh giàn trên cơ sở đã biết nội lực, chiều dài tính toán và dạng hợp lý, cần theo nguyên tắc sau :

- Tiết diện thanh giàn nhỏ nhất là  $L50 \times 5$ .
- Trong một giàn  $L \leq 36 m$  nên chọn không quá 6 đến 8 loại thép.
- Với nhịp giàn  $L$  nhỏ hơn hoặc bằng 24m thì không cần thay đổi tiết diện thanh cánh. Khi  $L > 24 m$  thì phải thay đổi tiết diện để tiết kiệm vật liệu và dùng không quá hai loại tiết diện với  $L \leq 36 m$ .
- Bề dày bản mã được chọn dựa vào lực lớn nhất ở thanh xiên đầu giàn, lấy theo bảng 5.1.

**Bảng 5.1. Bề dày bản mã giàn**

|                                       |            |             |             |             |              |               |               |               |               |               |
|---------------------------------------|------------|-------------|-------------|-------------|--------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Nội lực lớn nhất trong thanh bụng, kN | $\leq 150$ | 151 đến 250 | 251 đến 400 | 401 đến 600 | 601 đến 1000 | 1001 đến 1400 | 1401 đến 1800 | 1801 đến 2200 | 2201 đến 2600 | 2601 đến 3000 |
| Chiều dày bản mã, mm                  | 6          | 8           | 10          | 12          | 14           | 16            | 18            | 20            | 22            | 25            |

## b. Chọn và kiểm tra tiết diện thanh chịu nén

Tiến hành tính toán như cấu kiện nén đúng tâm. Diện tích cần thiết ( $A_{ct}$ ) của tiết diện thanh được xác định theo công thức

$$A_{ct} \geq \frac{N}{\varphi \gamma_c f}, \quad (5.5)$$

trong đó:  $N$  – lực nén trong thanh tính bằng daN;

$\gamma_c$  – hệ số điều kiện làm việc, lấy theo bảng I.14 – Phụ lục I;

$f$  – cường độ tính toán của thép tính bằng daN/cm<sup>2</sup>;

$\varphi$  – hệ số uốn dọc lấy theo bảng II.1 phụ lục II, phụ thuộc độ mảnh  $\lambda$  và cường độ tính toán  $f$ .

Khi chọn tiết diện, giả thiết  $\lambda = 60 \div 80$  với thanh cánh;  $\lambda = 100 \div 120$  với thanh bụng. Có  $A_{ct}$ , dựa vào các bảng thép góc, xác định được số hiệu thép góc cần dùng (chú ý rằng  $A_{ct}$  là diện tích cần thiết của hai thép góc), tra được các đặc trưng hình học của tiết diện  $i_x, i_y, A_g$  ( $i_x$  và  $i_y$  là bán kính quán tính của tiết diện theo trục  $x$  và  $y$  ký hiệu trên hình 5.1a, b, c).

Kiểm tra lại tiết diện đã chọn theo công thức:

$$\sigma = \frac{N}{\varphi_{\min} A} \leq \gamma_c f, \quad (5.6)$$

trong đó:  $A$  – diện tích tiết diện,  $A = 2A_g$ ;

$\varphi_{\min}$  – hệ số, tra bảng phụ thuộc độ mảnh  $\lambda_{\max}$  là trị số lớn hơn từ

$$\lambda_x = \frac{l_x}{i_x} \quad (5.7)$$

$$\text{và} \quad \lambda_y = \frac{l_y}{i_y}. \quad (5.8)$$

Chú ý rằng độ mảnh lớn nhất ( $\lambda_{\max}$ ) phải thỏa mãn điều kiện  $\lambda_{\max} \leq [\lambda]$ ;

$[\lambda]$  – độ mảnh giới hạn lấy theo bảng I.16 phụ lục I.

Nếu không thỏa mãn (5.6) thì phải tiến hành chọn lại tiết diện.

Trong trường hợp thanh cánh có uốn cục bộ thì phải tiến hành tính toán theo cấu kiện nén lệch tâm.

### c. Chọn và kiểm tra tiết diện thanh chịu kéo

Diện tích cần thiết của tiết diện thanh được xác định theo công thức:

$$A_{ct} \geq \frac{N}{\gamma_c f}. \quad (5.9)$$

Dựa vào dạng tiết diện hợp lý và các bảng thép góc xác định được số hiệu thép góc, tra ra các đặc trưng hình học của tiết diện  $A_g$ ,  $i_x$ ,  $i_y$ .

Tiến hành kiểm tra lại diện tích thiết diện theo công thức:

$$\sigma = \frac{N}{A_n} \leq \gamma_c f; \quad (5.10)$$

$$\text{và } \lambda_{\max} \leq [\lambda], \quad (5.11)$$

trong công thức (5.9); (5.10) và (5.11) :

$A_{ct}$  – diện tích cần thiết của tiết diện thanh, tính bằng  $\text{cm}^2$ ;

$\gamma_c$  – hệ số điều kiện làm việc, lấy theo (5.5);

$N$  – lực kéo tính bằng daN;

$A_n$  – diện tích thực tế của tiết diện lấy như sau: khi tiết diện không giảm yếu  $A_n = A = 2A_g$ ; khi có độ giảm yếu tiết diện  $A_n = A - A_{lỗ}$ ;

$\lambda_{\max}$  – độ mảnh được lấy trị số lớn từ  $\lambda_x$  tính theo (5.7) và  $\lambda_y$  tính theo (5.8);

$[\lambda]$  – độ mảnh giới hạn lấy theo bảng I.16 phụ lục I.

### d. Chọn tiết diện thanh theo độ mảnh giới hạn

Với một số thanh có nội lực nhỏ, nếu tiết diện theo (5.6) khi nén hoặc (5.9) khi kéo thì sẽ có độ mảnh quá lớn, vượt quá độ mảnh giới hạn, trong trường hợp này cần chọn tiết diện theo độ mảnh giới hạn, lần lượt tính

$$i_{xct} = \frac{l_x}{[\lambda]}; \quad (5.12)$$

$$\text{và } i_{yct} = \frac{l_y}{[\lambda]}. \quad (5.13)$$

Dựa vào hai đặc trưng hình học  $i_x$  và  $i_y$  trong các bảng thép góc, xác định được số hiệu thép góc làm tiết diện thanh.

### §5.3. CẤU TẠO VÀ TÍNH TOÁN NÚT GIÀN

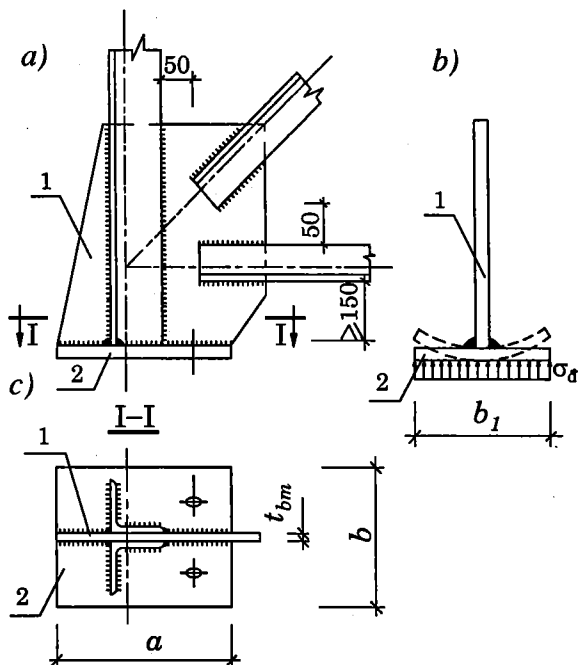
#### 1. Nguyên tắc chung

- Trục các thanh giàn được đồng quy tại tim nút giàn, tim nút nằm trên trục của thanh cánh, nếu thanh cánh có thay đổi tiết diện, cho hội tụ tại trục trung bình hoặc trục của thanh lớn. Nếu khoảng cách giữa hai trục không lớn quá 1,5% chiều cao của tiết diện thanh cánh thì thanh cánh này được phép không tính đến độ lệch trục. Để dễ chế tạo khoảng cách giữa trục và sống thép góc nên lấy chẵn.

Các thanh giàn được liên kết hàn với bản mã bằng các đường hàn góc cạnh, chiều cao đường hàn không nhỏ hơn 4 mm. Chiều dài một đường hàn không nhỏ hơn 50 mm.

Khoảng cách đầu thanh bụng với thanh cánh không nhỏ hơn  $6t_{bm}$  – 20mm hoặc 50mm và không lớn hơn 80mm.

- Bản mã nên chọn hình dáng đơn giản (nên có hai cạnh song song) để dễ chế tạo tốt nhất là hình chữ nhật hoặc hình thang và phải thỏa mãn yêu cầu góc hợp bởi cạnh bản mã và trục thanh bụng không nhỏ hơn  $15^\circ$  để đảm bảo sự truyền lực từ thanh vào bản mã.
- Khi có thay đổi tiết diện thanh cánh, thanh cánh được nối tại nút giàn. Khoảng cách hở giữa hai đầu thanh bằng 50 mm. Có thể dùng thép góc hoặc thép bản để nối thanh như cấu tạo trình bày ở mục 6.



Hình 5.9. Nút gối của giàn

1- bản mã; 2- bản đế

#### 2. Nút gối

##### a. Cấu tạo

Tùy theo liên kết giàn với cột mà cấu tạo nút gối cho phù hợp. Trên hình 5.9a,b, giới thiệu một hình thức nút gối khi giàn liên kết khớp với cột.

Bản mã 1 được liên kết với bản đế 2, bản đế có tác dụng làm giảm áp lực tại mặt tiếp xúc giàn với đầu cột do phản lực đầu giàn. Bố trí bản đế sao cho điểm đặt phản lực đầu giàn trùng với tâm của bản đế. Đương nhiên các thanh giàn phải được liên kết với bản mã, nên để thanh đứng đầu giàn phủ hết chiều cao bản mã để tăng cứng cho nút giàn theo phương ngoài mặt phẳng giàn.

Khoảng cách giữa mặt dưới của thanh cánh dưới và bản gối lấy lớn hơn hoặc bằng 150 mm để dễ cấu tạo.

## b. Tính toán

Bản đế được tiến hành tính toán như bản đế ở chân cột nén đúng tâm, chú ý rằng bề dày bản đế không lớn hơn 30 mm, nếu lớn hơn phải gia cường bằng đôi sườn số 3 (hình 5.10), lúc đó bản đế được chia thành các ô có kích thước nhỏ và rõ ràng mômen trong các ô sẽ nhỏ đi dẫn đến bề dày bản đế sẽ nhỏ đi.

Đường hàn liên kết bản mã, thanh đứng (hoặc sườn gia cường) vào bản đế tính chịu phản lực đầu giàn  $F$ . Tổng chiều dài đường hàn này được xác định theo công thức sau:

$$\sum l_w \geq \frac{F}{\gamma_c \cdot h_f (\beta f_w)_{\min}}, \quad (5.14)$$

trong đó:  $l_w$  – chiều dài tính toán một đường hàn (chiều dài thực tế  $l = l_w + 1$  cm);

$h_f$  – chiều cao đường hàn góc;

$(\beta f_w)_{\min}$  là trị số bé hơn của  $\beta_f f_{wf}$  và  $\beta_s f_{ws}$ .

Đường hàn liên kết các thanh vào bản mã được tính chịu nội lực của thanh đó. Mỗi thanh có hai đường hàn sống và hai đường hàn mép, chiều dài hai đường hàn sống được xác định theo công thức:

$$\sum l_{w1} \geq \frac{k \cdot N}{\gamma_c \cdot h_{f1} (\beta \cdot f_w)_{\min}} \quad (5.15)$$

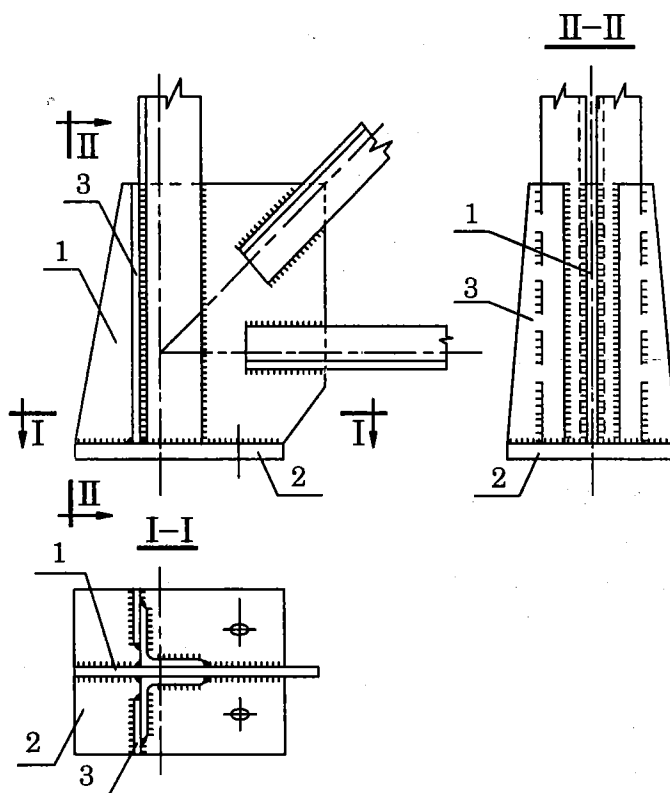
với đường hàn mép, chiều dài được xác định theo công thức:

$$\sum l_{w2} \geq \frac{(1 - k) N}{\gamma_c \cdot h_{f2} (\beta \cdot f_w)_{\min}}, \quad (5.16)$$

trong đó:  $N$  – nội lực thanh;

$k$  – hệ số gần đúng lấy theo bảng 2.7;

$\gamma_c$  – hệ số điều kiện làm việc lấy bằng 1.



Hình 5.10. Nút gối có sườn gia cường

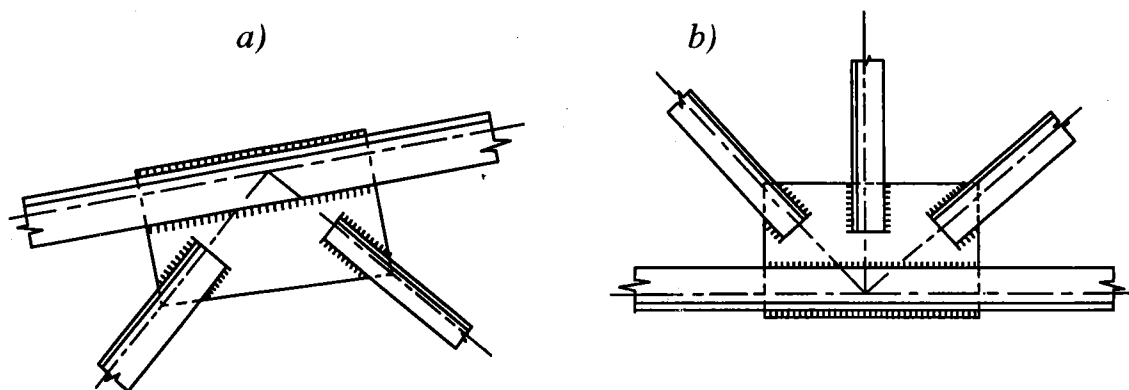
1– bản mã; 2– bản đế; 3– sườn gia cường

### 3. Nút trùng gian

Về mặt cấu tạo, tất cả các nút trùng gian thuộc cánh trên (hình 5.11a) và cánh dưới (hình 5.11b) đều phải thỏa mãn các nguyên tắc chung đã nêu ở điểm 1.

Về tính toán: đường hàn liên kết thanh bụng nào vào bản mã được tính chịu nội lực của thanh đó, chiều dài đường hàn sống tính theo công thức (5.15), đường hàn mép tính theo công thức (5.16).

Đường hàn liên kết thanh cánh vào bản mã tính chịu hiệu số nội lực  $\Delta N = N_2 - N_1$  giữa hai thanh; ( $N_2, N_1$  là nội lực của hai thanh cánh), nếu  $\Delta N = 0$  thì lấy 10% trị số nội lực của thanh để tính,  $\Delta N$  phân phối về đường hàn sống và mép theo tỷ lệ  $k$  và  $(1 - k)$ .

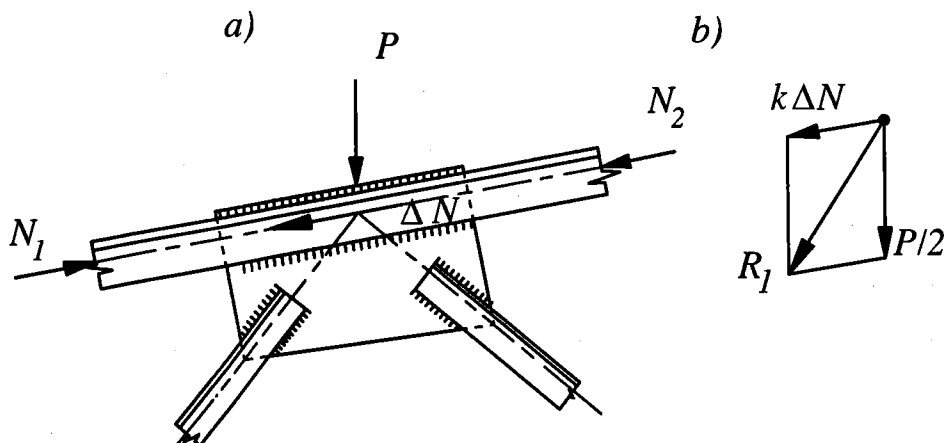


Hình 5.11. Nút trung gian

Như vậy các đường hàn sống tính chịu lực  $k\Delta N$ , đường hàn mép tính chịu  $(1 - k)\Delta N$ .

Thực tế, do cấu tạo nút, các đường hàn sống và mép liên kết thanh cánh vào bản mã sẽ dài hơn nhiều so với tính toán, để tiết kiệm que hàn, có thể hàn đứt quãng nhưng chiều dài mỗi đoạn đường hàn không nhỏ hơn 50 mm.

Trường hợp tại nút có lực tập trung (thường ở nút cánh trên, do tải trọng truyền qua chân panen mái hoặc xà gồ đặt vào nút (hình 5.12a) thì phải kể đến tác động của lực tập trung này (ký hiệu lực tập trung là  $P$ ).



Hình 5.12. Nút trung gian có lực tập trung

Lực  $\Delta N$  phân cho các đường hàn sống và mép theo  $k$  và  $(1 - k)$ . Lực  $P$  chia đều cho đường hàn sống và mép. Như vậy đường hàn sống chịu  $R_1$  là hợp lực của  $k\Delta N$  và  $\frac{P}{2}$  (hình 5.12b). Tương tự đường hàn mép chịu  $R_2$  là hợp lực của  $(1 - k)\Delta N$  và  $\frac{P}{2}$ .



Trường hợp độ dốc thanh cánh nhỏ hơn hoặc bằng  $\frac{1}{10}$  thì có thể xem  $\Delta N$  vuông góc với  $P$  và hợp lực  $R_1, R_2$  sẽ là:

$$R_1 = \sqrt{(k\Delta N)^2 + \left(\frac{P}{2}\right)^2}; \quad (5.17)$$

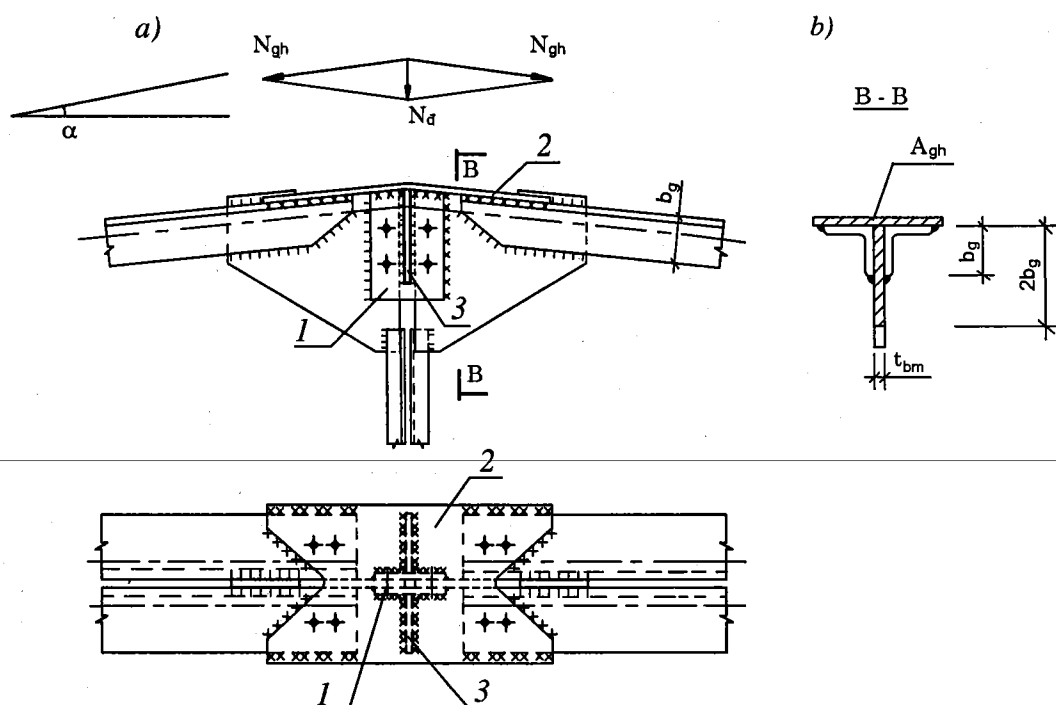
$$R_2 = \sqrt{[(1-k)\Delta N]^2 + \left(\frac{P}{2}\right)^2}. \quad (5.18)$$

Dùng  $R_1$  để tính các đường hàn sống và  $R_2$  để tính các đường hàn mép.

## 4. Nút đỉnh

### a. Cấu tạo

Trong thực tế, giàn được chế tạo thành từng đoạn để phù hợp với điều kiện vận chuyển, việc nối giàn (khuyết đại) được tiến hành ở hiện trường, khi giàn được chế tạo với hai nửa giàn thì nút đỉnh sẽ là nút khuyết đại (hình 5.13). Để phù hợp, bản mã được tách làm đôi cho hai nửa giàn, sau được nối lại với nhau nhờ hai bản nối số 1. Cứ mỗi bản nối được hàn trước với một nửa bản mã.



Hình 5.13. Nút đỉnh giàn

1- bản nối; 2- bản ghép; 3- sườn gia cố.

Thanh cánh trên được nối với nhau qua bản ghép số 2 uốn gãy theo độ dốc thanh cánh, các đường hàn liên kết bản ghép với thanh cánh cũng như bản mã được thực hiện ở hiện trường. Hai sườn số 3 gia cố cho bản ghép và bản nối, đồng thời có tác dụng là vị trí liên kết với thanh chống dọc nhà ở đỉnh giàn. Còn lại các cấu tạo khác của nút đều phải thỏa mãn các nguyên tắc chung.

### b. Tính toán

Khi tính toán nút có khuyết đại và nối thanh cánh bằng bản ghép, lực dùng để tính toán ( $N_t$ ) lấy bằng 1,2 lần nội lực thanh cánh. Diện tích chịu lực  $N_t$  gồm diện tích của bản ghép và một phần bản mã với bề rộng được quy ước bằng hai lần bề rộng bản cánh hàn với bản mã của thép góc cánh. Như vậy diện tích chịu lực quy ước là

$$A_{qu} = A_{gh} + 2b_g \cdot t_{bm}, \quad (5.19)$$

trong đó:  $A_{qu}$  – diện tích quy ước;

$A_{gh}$  – diện tích tiết diện ngang của bản ghép;

$b_g$  – bề rộng cánh thép góc (phần cánh liên kết với bản mã);

$t_{bm}$  – bề dày bản mã.

Diện tích quy ước là phần gạch chéo ở hình 5.13b. Nếu nội lực trong thanh cánh là  $N$ , thì lực tính toán là  $N_t = 1,2N$  và có:

$$\sigma_t = \frac{N_t}{A_{qu}} \leq \gamma_c f, \quad (5.20)$$

trong đó:  $\sigma_t$  – ứng suất ở diện tích quy ước (xem  $N_t$  đặt ở trọng tâm diện tích quy ước);

$\gamma_c$  – hệ số làm việc, lấy bằng 1;

Các đường hàn liên kết bản ghép vào thanh cánh tính chịu lực thực tế truyền qua bản ghép

$$N_{gh} = \sigma_t A_{gh}, \quad (5.21)$$

Chiều dài các đường hàn trên xác định theo công thức:

$$\sum l_w \geq \frac{N_{gh}}{\gamma_c \cdot h_f (\beta \cdot f_w)_{\min}}. \quad (5.22)$$

Các đường hàn liên kết thanh cánh vào bản mã tính chịu lực còn lại  $N_c = N_t - N_{gh}$  nhưng không nhỏ hơn một nửa lực  $N_t$ , có nghĩa là:

$$N_c = N_t - N_{gh} \geq \frac{N_t}{2}, \quad (5.23)$$

trong đó:  $N_{gh}$  – lực thực tế truyền qua bản ghép;

$h_f$  – chiều cao đường hàn góc

$(\beta f_w)_{\min}$  – tương tự như công thức (5.14)

khi tính chịu lực  $N_c$ , các đường hàn sống và mép cùng chịu lực như nhau.

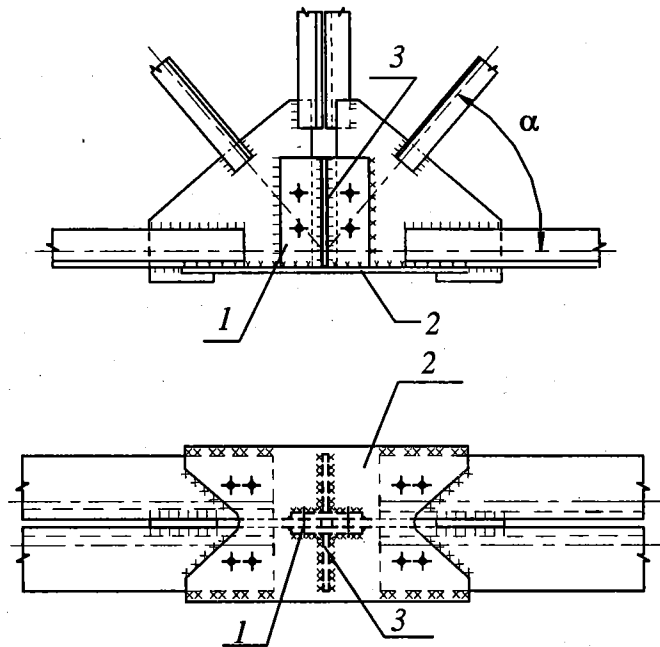
Hai đường hàn liên kết bản nối với nửa bản mã tính chịu  $N_c$ .

Bốn đường hàn nằm ngang liên kết sườn với bản ghép tính chịu lực:

$$N_d = 2N_{gh} \sin \alpha, \quad (5.24)$$

trong đó:  $N_d$  – hợp lực của  $N_{gh}$  ở hai phía điểm gãy (hình 5.13).

Các đường hàn liên kết thanh bụng vào nút tính chịu nội lực của thanh đó.



Hình 5.14. Nút giữa giàn

1 – bản nối; 2 – bản ghép; 3 – sườn gia cố

## 5. Nút giữa giàn cánh dưới

Cũng là nút khuyết đại, về cấu tạo tương tự như nút đỉnh: bản mã chia đôi cho mỗi nửa giàn, nối chúng dùng hai bản nối, nối thanh cách dùng bản ghép, bố trí hai sườn gia cố cho bản ghép và bản nối (hình 5.14). Trình tự tính toán được tiến hành như nút đỉnh, chỉ khác là khi có thanh xiên liên kết vào nút thì hai đường hàn liên kết bản nối với nửa bản mã tính chịu lực còn lại trừ đi thành phần ngang của nội lực thanh xiên (nội lực thanh xiên được tăng 1,2 lần).

Gọi nội lực trong bản nối  $N_{bn}$ :

$$N_{bn} = N_c - 1,2N \cos \alpha, \quad (5.25)$$

trong đó:  $N$  – nội lực trong thanh xiên.

Nội lực  $N_{bn}$  là kéo, do khoan lỗ bắt bulông lắp tạm trước khi hàn, nên phải kiểm tra sự làm việc chịu kéo của tiết diện bản nối bằng công thức sau:

$$N_{bn} \leq (A_{bn} - A_{lỗ}) \gamma_c f, \quad (5.26)$$

trong đó:  $A_{bn}$  – diện tích tiết diện (nguyên) của hai bản nối;

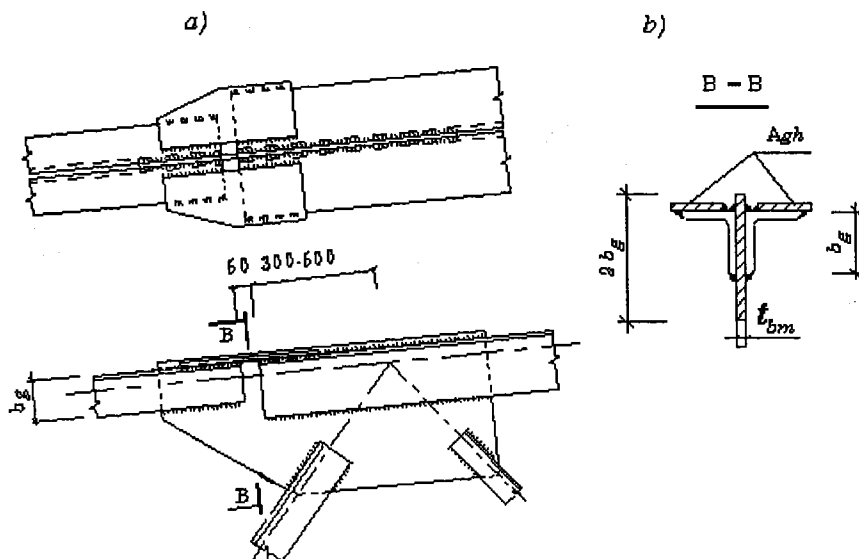
$A_{lỗ}$  – diện tích phần bị khoét lỗ;

$\gamma_c$  – hệ số điều kiện làm việc, lấy bằng 0,8.

## 6. Nút có nối thanh cánh

### a. Cấu tạo

Đầu thanh lớn vượt quá tim nút một đoạn từ 300 mm đến 500 mm (hình 5.15). Điểm hội tụ (tim) của các trục thanh tại nút thuộc về trục thanh lớn nếu khoảng cách giữa hai trục thanh (lớn và nhỏ) nhỏ hơn hoặc bằng 1,5% bề rộng cánh thép góc lớn, nếu không thỏa mãn thì cho hội tụ tại trục trung bình giữa hai trục. Dùng hai bản ghép để nối thanh cánh, tiết diện các bản ghép chọn sao cho thỏa mãn (5.28) và phải lớn hơn hoặc bằng diện tích cánh thép góc (phần cánh có liên kết với bản ghép). Khoảng cách giữa hai đầu thanh lấy bằng 50 mm (hình 5.15).



Hình 5.15. Nút nối thanh cánh

### b. Tính toán

Lực tính toán  $N_t = 1,2N_1$  ( $N_1$  là nội lực thanh nhỏ), diện tích chịu lực quy ước được xác định tương tự như ở công thức nút khuyết đại và được tính theo công thức:

$$A_{qu} = \sum A_{gh} + 2b_g t_{bm}, \quad (5.27)$$

trong đó:  $\sum A_{gh}$  – tổng diện tích tiết diện ngang của hai bản thép;

$b_g$  – bề dày cánh thép góc nhỏ;

$t_{bm}$  – bề dày bản mã.

Ứng suất ở diện tích quy ước được tính theo công thức:

$$\sigma_t = \frac{N_t}{A_{qu}} \leq \gamma_c f, \quad (5.28)$$

trong đó:  $\gamma_c$  – hệ số điều kiện làm việc lấy bằng 1;

$f$  – cường độ tính toán của thép.

Các đường hàn liên kết bản ghép với thanh cánh tính chịu lực thực tế truyền qua bản ghép đó:

$$N_{gh} = \sigma_t A_{gh} \quad (5.29)$$

Các đường hàn liên kết thanh nhỏ vào bản mã tính chịu lực còn lại:

$$N_{c.1} = 1,2N - 2N_{gh} \geq \frac{1,2N_1}{2} \quad (5.30)$$

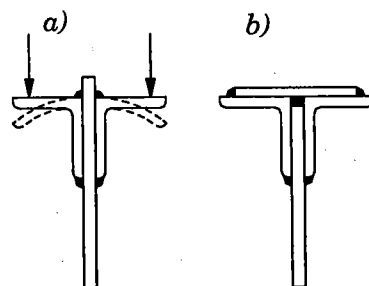
Các đường hàn liên kết thanh lớn vào bản mã tính chịu lực:

$$N_{c.2} = 1,2N_2 - 2N_{gh} \geq \frac{1,2N_2}{2} \quad (N_2 \text{ là nội lực thanh lớn}). \quad (5.31)$$

Các đường hàn liên kết thanh bụng vào bản mã tính chịu nội lực của thanh đó.

Nếu là nút ở cánh trên, vì có lực tập trung nên khi tính đường hàn liên kết thanh lớn vào bản mã phải kể đến lực tập trung đặt tại nút này.

Cách tính tương tự như tính nút trung gian cánh trên.



Hình 5.16. Gia cường cánh trên tại điểm có lực tập trung

## 7. Các cấu tạo khác của giàn

Khi bề dày cánh thép góc của cánh trên mỏng, dưới tác dụng của lực tập trung (tải trọng truyền qua sườn panen mái hoặc xà gồ) tại vị trí nút giàn cánh thép góc dễ bị uốn cong (hình 5.16a). Do vậy quy định khi  $t_g$  (bề dày cánh thép góc) nhỏ hơn 10 mm thì tại nút giàn phải được gia cường thêm một

bản thép (hình 5.16b). Kích thước của bản thép phải thỏa mãn điều kiện liên kết với chân panen mái hoặc xà gồ. Lúc này bản mã của nút phải đặt hệt xuống để tạo phẳng khi đặt bản thép gia cường.

Đối với thanh giàn làm từ hai thép góc, cần thiết đặt các bản thép đệm (tấm đệm) giữa hai thép góc (hình 5.17) với mục đích để hai thép góc của thanh giàn cùng làm việc trong mọi trường hợp, đặc biệt là tăng cường ổn định theo phương ngoài mặt phẳng giàn cho một thép góc. Bề dày tấm đệm lấy bằng bề dày bản mã, chiều rộng lấy trong khoảng 50 mm đến 100 mm, chiều dài lấy vượt ra khỏi bề rộng thanh giàn mỗi đầu từ 10 mm đến 15 mm để đủ chỗ hàn, khoảng cách  $a$  giữa các tấm đệm được lấy như sau:

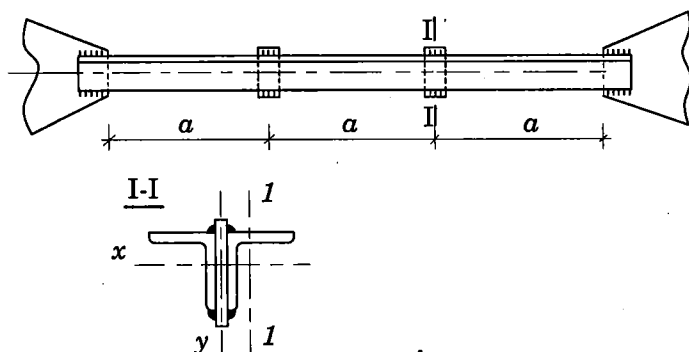
– Với thanh nén

$$a \leq 40i_1;$$

– Với thanh kéo  $a \leq 80i_1$ ,

$i_1$  – bán kính quán tính của một thép góc, lấy đối với trục riêng (trục 1 – 1) song song với mặt phẳng giàn.

Trong mỗi thanh giàn đặt không ít hơn hai tấm đệm.



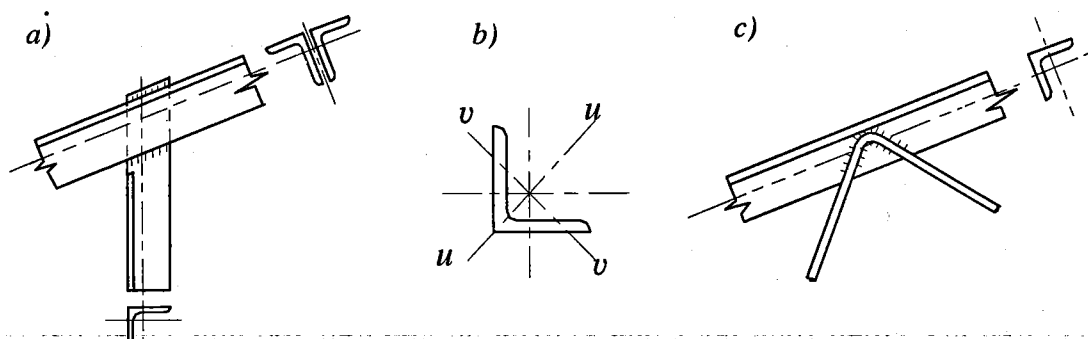
Hình 5.17. Tấm thép đệm trong thanh dàn

## §5.4. CÁC LOẠI GIÀN KHÁC

Ở §5.1 điểm 1 giới thiệu khái niệm về các loại giàn, ngoài giàn thông dụng (giàn hai thép góc) còn có một số loại giàn khác cũng được dùng tương đối phổ biến, sau đây là một số giàn tiêu biểu.

### 1. Giàn nhẹ

Giàn nhẹ được dùng khi nhịp nhỏ, tải trọng nhỏ. Tiết diện thanh là một thép góc, riêng cánh trên dùng hai thép góc để tăng ổn định cho giàn. Các thanh liên kết hàn trực tiếp mà không cần dùng bản mã. Để thanh bụng liên kết được với cánh trên, trong đoạn liên kết, cắt bớt một cánh thép góc của thanh bụng (hình 5.18a).



Hình 5.18. Nút giàn nhẹ

Về tính toán, chú ý rằng các thanh bụng (hình 5.18a) và thanh cánh (hình 5.18c) chịu nén sẽ mất ổn định theo trục  $v - v$  (hình 5.18b). Do cấu tạo của giàn một thép góc, trục của các thanh không cùng nằm trong một mặt phẳng, nên dùng hệ số điều kiện làm việc  $\gamma_c = 0,75$ .

Với giàn nhịp quá nhỏ, có thể dùng thanh bụng giàn là thép tròn có đường kính từ 12 đến 24 mm, thanh thép tròn được uốn gãy khúc và được hàn trực tiếp với thanh cánh (hình 5.18c)

## 2. Giàn nặng

Giàn nặng dùng cho công trình có nhịp lớn, cầu v.v... Thanh giàn nặng là cấu kiện tổ hợp đặc hoặc rỗng, tiết diện có nhiều dạng (xem hình 5.2). Các thanh giàn nặng liên kết với nhau thông qua hai bản mã. Do thanh giàn là cấu kiện lớn nên việc dựng lắp giàn thường được thực hiện từng thanh. Liên kết các thanh và bản mã hợp lý nhất là dùng bulông cường độ cao.

Trong tính toán phải kể đến trọng lượng bản thân của thanh giàn và tải trọng gió tác dụng vào thanh gây uốn cho thanh giàn. Như vậy các thanh giàn nặng sẽ là cấu kiện kéo uốn hoặc nén uốn.

## 3. Giàn thép ống

Các thanh giàn đều được dùng thép ống; đặc điểm của loại giàn này là trọng lượng nhẹ, thường được làm kết cấu đỡ mái trong nhà nhịp khá lớn như triển lãm, cung thể thao, sân vận động có mái che v.v... Tiết diện thanh có bán kính quán tính lớn vì vậy rất cứng và độ ổn định cao, chúng chịu nén tốt.

Để đảm bảo ổn định cục bộ của thành ống, tỉ số giữa đường kính ống  $D$  và chiều dày thành ống  $t$  ( $D/t$ ) không vượt quá 30 đối với thanh cánh; 90 đối với thanh bụng.

Việc liên kết các thanh bụng và thanh cánh có thể tiến hành liên kết hàn trực tiếp không cần bản mã (hình 5.19a), và để tránh hiện tượng ép lõm thanh cánh, đường kính thanh bụng  $d$  phải lớn hơn 30% đường kính của thanh cánh  $D$  ( $d > 30\%D$ ).

Khi thanh cánh có chiều dày bé, có thể gia cường bằng bản ốp cong (hình 5.19b). Chiều dày bản ốp này không nhỏ hơn bề dày thành ống thanh cánh và không lớn hơn hai lần chiều dày thành ống thanh cánh.

Trường hợp chiều dài ống làm thanh cánh không đủ dài có thể tiến hành nối ống theo hình thức hàn đối đầu có ống lót (hình 5.19c). Đường hàn liên kết (kể cả chịu kéo và chịu nén) phải thỏa mãn điều kiện:

$$N \leq t \pi D_{tb} (\beta f_w)_{\min} \gamma_c, \quad (5.32)$$

trong đó :  $N$  – nội lực lớn nhất trong thanh;

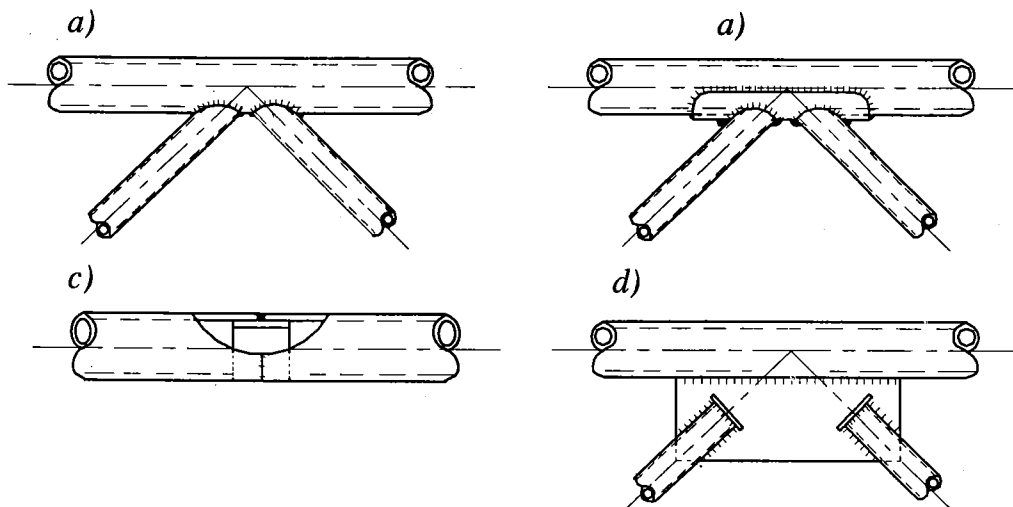
$t$  – chiều dày thành ống thanh cánh;

$D_{tb}$  – đường kính trung bình của ống thép;

$(\beta f_w)_{\min}$  – tương tự như công thức (5.14);

$\gamma_c$  – hệ số điều kiện làm việc.

Khi tải trọng lớn bắt buộc phải dùng bản mã để liên kết các thanh (hình 5.19d). Bản mã hàn vào thanh cánh (theo trục thanh nằm trong mặt phẳng giàn) các thanh bụng được xẻ rãnh luồn vào bản mã, liên kết bằng bốn đường hàn. Việc tính toán và cấu tạo vẫn được tiến hành theo nguyên tắc thông thường.





**Ví dụ 5.1.** Chọn tiết diện xiên đầu giàn (hình 5.20a) chịu lực nén tính toán  $X = 53000$  daN. Thép CCT34 bề dày bản mã  $t_{bm} = 12$  mm.

Xác định chiều dài tính toán

$$l_x = 0,5l = 0,5 \times 340 = 170 \text{ cm}; l_y \text{ xác định theo (5.3)}$$

$$l_y = \left( 0,75 + 0,25 \frac{N_2}{N_1} \right) l = \left( 0,75 + 0,25 \frac{53000}{53000} \right) \times 340 = 340 \text{ cm}.$$

Diện tích tiết diện cần thiết tính theo (5.5)

$$A_{ct} \geq \frac{X}{\varphi \gamma_c f}.$$

Giả thiết  $\varphi = 0,7$  (ứng với  $\lambda = 85$ )

$$A_{ct} \geq \frac{53000}{0,7 \times 1 \times 2100} = 36,05 \text{ cm}^2.$$

Theo bảng I.5, Phụ lục I

Chọn 2L 100 × 90 × 10 ghép cạnh nhỏ có

$$i_x = 3,08 \text{ cm}$$

$$i_y = 4,71 \text{ cm}$$

$$A = 2 A_g = 2 \times 18,1 = 36,2 \text{ cm}^2$$

Kiểm tra tiết diện đã chọn

Tính  $\lambda_x$  và  $\lambda_y$  theo (5.7) và (5.8)

$$\lambda_x = \frac{l_x}{i_x} = \frac{170}{3,08} = 55; \lambda_y = \frac{l_y}{i_y} = \frac{340}{4,71} = 72,2$$

$$\lambda_{\max} = \lambda_x = 72,2.$$

Dùng  $\lambda_{\max} = 72,2$ , tra bảng II.1 phụ lục II được  $\varphi_{\min} = 0,77$ . Ứng suất tính theo (5.6)

$$\sigma = \frac{X}{\varphi_{\min} A} = \frac{53000}{0,77 \times 36,2} = 1901,5 \text{ daN/cm}^2 = 190,15 \text{ MPa} < \gamma_c f = 1 \times 210 \text{ MPa} = 2100 \text{ daN/cm}^2.$$

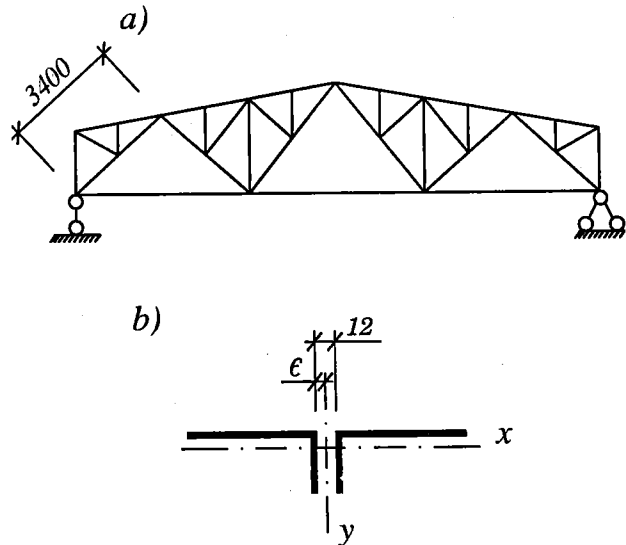
Về độ mảnh  $\lambda_{\max} = 72,2 < [\lambda] = 180 - 60\alpha = 125,7$  với  $\alpha = X/(\varphi_{\min} A \gamma_c f) = 53000/(0,77 \times 36,2 \times 1 \times 2100) = 0,9054$ .

**Ví dụ 5.2.** Thiết kế nút gối giàn liên kết khớp với cột bê tông cốt thép (hình 5.20a). Thép CCT34, que hàn N42, hàn tay, bê tông cấp B15(M200),  $t_{bm} = 12$  mm. Phản lực đầu giàn do tải trọng thường xuyên là 38640 daN, do tạm thời là 11340 daN. Nội lực thanh xiên đầu giàn (nén)  $X = 49746$  daN, nội lực thanh cánh dưới (kéo)  $D_1 = 44992$  daN.

Nút gối được cấu tạo như hình 5.21.

Tính đường hàn liên kết thanh xiên vào bản mã, lấy  $k = 0,75$  (bảng 2.7).

Hai đường hàn sống, tính theo (5.15), chọn  $h_D = 8$  mm,  $\beta_f = 0,7$ ;  $\beta_s = 1$ ; (bảng 2.6)  $\gamma_c = 1$



Hình 5.20. Hình cho ví dụ 5.1.

$$\sum l_{w1} = \frac{k X}{\gamma_c h_{f1} (\beta f_w)_{\min}} = \frac{0,75 \cdot 49746}{1,0 \cdot 8,0 \cdot 7,1800} = 37 \text{ cm},$$

ở đây:  $(\beta f_w)_{\min} = \beta_f f_{wf} = 0,7 \times 1800$ .

Tương tự, hai đường hàn mép tính theo (5.16):

$$\sum l_{w2} = \frac{(1-k) X}{\gamma_c h_{f2} (\beta f_w)_{\min}} = \frac{0,25 \times 49746}{1 \times 0,8 \times 0,7 \times 1800} = 12,4 \text{ cm}.$$

Chiều dài thực tế của các đường hàn:

Phía sống  $\frac{37}{2} + 1 \text{ cm} = 19,5 \text{ cm}.$

Phía mép  $\frac{12,4}{2} + 1 = 8,4 \text{ cm}.$

Tính toán liên kết thanh cánh dưới vào bản mã: lấy  $k = 0,7$  (bảng 2.7). Đường hàn sống và mép tính tương tự như trên, có:

Đường hàn phía sống  $14,5 + 1 = 15,5 \text{ cm}.$

Đường hàn phía mép  $7,4 + 1 = 8,4 \text{ cm}.$

Tính đường hàn liên kết sườn, bản mã vào bản đế chịu phản lực đầu giàn (gồm tải trọng xuyên và tạm thời):

$$F = 38640 + 11340 = 49980 \text{ daN}.$$

Tổng chiều dài đường hàn tính theo (5.14):

$$\sum l_w = \frac{F}{\gamma_c h_f (\beta f_w)_{\min}}.$$

Lấy  $\beta_f = 0,7$ ,  $\beta_s = 1$  (bảng 2.6);  $f_{wf} = 180 \text{ MPa} = 1800 \text{ daN/cm}^2$ ;  $f_{ws} = 155 \text{ MPa} = 1550 \text{ daN/cm}^2$ ;  $\gamma_c = 1$ ; chọn  $h_f = 8 \text{ mm}$ ;

$$\sum l_w = \frac{49980}{1 \times 0,8 \times 0,7 \times 1800} = 49,6 \text{ cm},$$

ở đây:  $(\beta f_w)_{\min} = \beta_f f_{wf} = 0,7 \cdot 180 \text{ MPa} = 0,7 \times 1800 \text{ daN/cm}^2$ .

Như vậy chiều dài tối thiểu của một đường hàn là  $\frac{49,6}{4} \text{ cm} + 1 \text{ cm} = 13,4 \text{ cm}$  (có bốn đường hàn).

Tính toán bản đế: kích thước bản đế  $a \times b$  (xem hình 5.9c) tính chịu phản lực đầu giàn. Diện tích bản đế tính theo công thức:

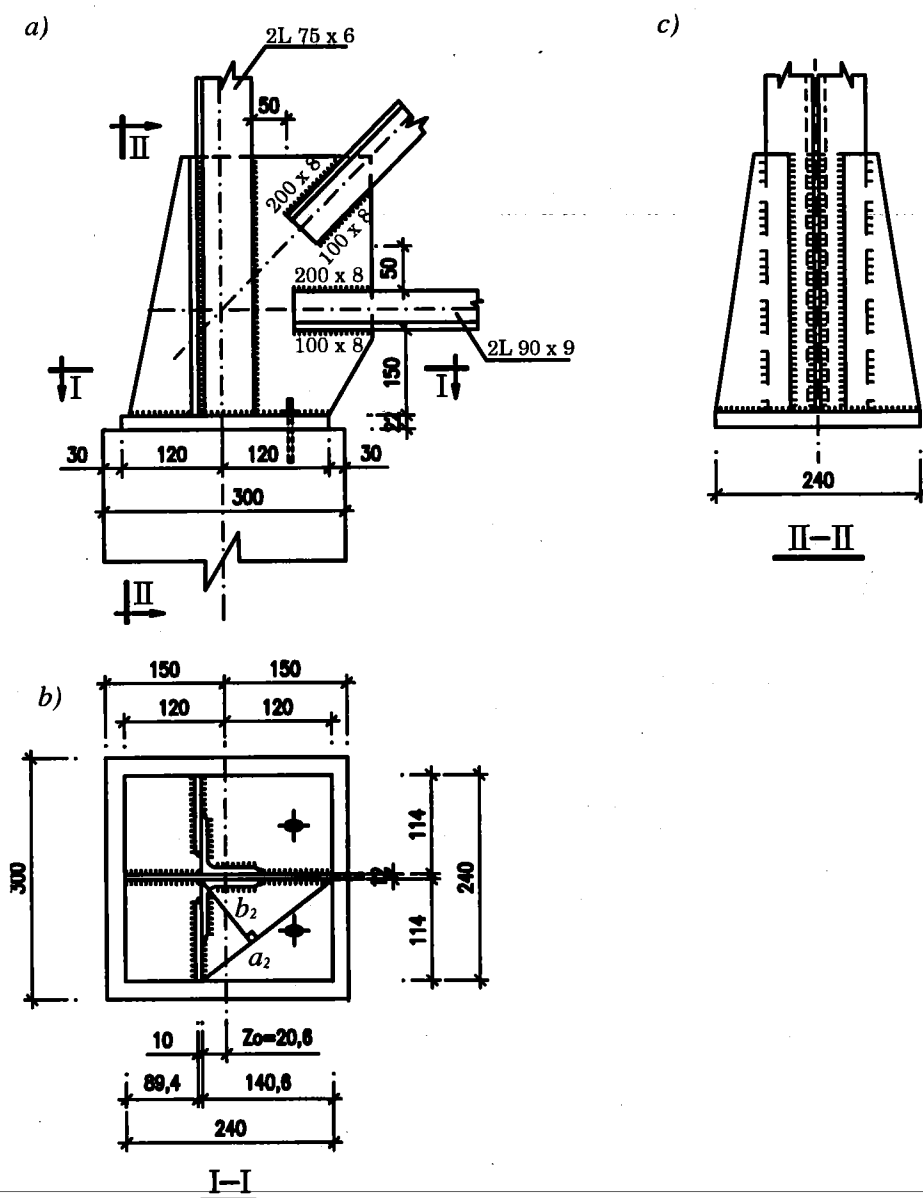
$$A_{bd} \geq \frac{F}{R_{b,loc} \gamma_c},$$

trong đó:  $R_{b,loc} = \psi \cdot \sqrt{\frac{A_c}{A_{bd}}}$ ; bê tông cấp B15 có  $R_b = 90 \text{ daN/cm}^2$ ;  $\psi = 1$ ; lúc đầu chưa biết  $A_{bd}$

nên giả thiết  $\sqrt{\frac{A_c}{A_{bd}}} = 1,07$ , vậy  $R_{b,loc} = 1 \times 1,07 \times 90 = 96 \text{ daN/cm}^2$ .

Với  $\gamma_c = 1$ ;  $A_{bd} \geq \frac{49980}{1 \times 96} = 520,6 \text{ cm}^2$ .

Chọn bản đế vuông ( $a = b$ ),  $a = \sqrt{A_{bd}} = \sqrt{520,6} = 22,8 \text{ cm}$ .



Hình 5.21. Hình cho ví dụ 5.2

Lấy  $a = 24 \text{ cm}$ . Từ các số liệu tính được, cấu tạo nút gối như hình 5.21.

Kiểm tra lại đường hàn liên kết sườn, bản mã vào bản đế

$$2(8,94 + 11,4 \times 2 + 14,06) = 91,6 \text{ cm} > 53,6 \text{ cm}, \text{ vậy đảm bảo.}$$

Tính lại  $R_{b,loc}$ ; cột có kích thước tiết diện  $300 \times 300$ ;  $A_c = 30 \times 30 = 900 \text{ cm}^2$ ;

$$A_{bd} = 24 \times 24 = 576 \text{ cm}^2.$$

$$R_{b,loc} = 1 \times \sqrt{\frac{900}{576}} \times 90 = 104,4 \text{ daN/cm}^2 = 10,44 \text{ MPa}.$$

Kiểm tra ứng suất tại mặt tiếp xúc giữa bản đế với đầu cột theo công thức

$$\sigma_d = \frac{F}{A_{bd}} \leq R_{b,loc} \cdot \gamma_c$$

$$\sigma_d = \frac{49980}{576} = 86,8 \text{ daN/cm}^2 = 8,68 \text{ MPa} < R_{b,loc} \cdot \gamma_c = 10,44 \text{ MPa} = 104,4 \text{ daN/cm}^2.$$

Dưới tác dụng của  $\sigma_d$ , các ô bản đế bị uốn cong (hình 5.9b). Mômen uốn ( $M_{bd}$ ) tính cho ô số 1 (vì ô số 1 có kích thước lớn hơn) theo sơ đồ bản kê, được quy đổi ra bản kê ba cạnh ( $a_2, b_2$ ),  $a_2$  là cạnh tự do (hình 5.21b).

$M_{bd}$  tính theo công thức (4.74)

$$M_{bd} = \alpha \sigma_d a_2^2$$

$\alpha$  lấy theo bảng 4.12, phụ thuộc tỷ số  $\frac{b_2}{a_2}$ , ở đây  $a_2 = 18,1 \text{ cm}$ ;  $b_2 = 8,85 \text{ cm}$ ;

$$\frac{b_2}{a_2} = 0,49; \text{ vậy } \alpha = 0,06.$$

$$M_{bd} = 0,06 \times 86,8 \times 18,1^2 = 1706,2 \text{ daN cm}.$$

Bề dày bản đế tính theo (4.75)

$$t_{bd} \geq \sqrt{\frac{6 M_{bd}}{\gamma_c f}} = \sqrt{\frac{6 \cdot 1706,2}{1 \cdot 2100}} = 2,2 \text{ cm lấy } t_{bd} = 2,2 \text{ cm}.$$

**Ví dụ 5.3.** Tính toán nút giàn (hình 5.22a) có số liệu sau: Thanh cánh trên, tiết diện 2L 100  $\times$  10 có nội lực  $T_1 = 484 \text{ kN}$ ;  $T_2 = 151 \text{ kN}$ , thanh bụng tiết diện 2L90  $\times$  9 có  $X_1 = 525 \text{ kN}$  và  $X_2 = 440 \text{ kN}$ . Lực tập trung  $P = 75 \text{ kN}$ . Độ dốc cánh trên là 5%, thép CCT34 que hàn N42, hàn tay.

**Giải:** Cấu tạo nút như hình 5.22b.

Đường hàn liên kết thanh  $X_1$  vào bản mã:

Chọn  $k = 0,7$  (bảng 2.7);  $\beta_f = 0,7$ ;  $\beta_s = 1$  (bảng 2.6);  $\gamma_c = 1$ ;  $h_{f1} = h_{f2} = 8 \text{ mm} = 0,8 \text{ cm}$ , tra bảng có

$$f_{wf} = 180 \text{ MPa} = 1800 \text{ daN/cm}^2; f_{ws} = 155 \text{ MPa} = 1550 \text{ daN/cm}^2.$$

Với đường hàn sống (số 1); tính theo (5.15)

$$\sum l_{w1} = \frac{k X_1}{\gamma_c h_{f1} (\beta f_w)_{\min}} = \frac{0,7 \times 52500}{1 \times 0,8 \times 0,7 \times 1800} = 36,4 \text{ cm}.$$

Với đường hàn mép (số 2); tính theo (5.16)

$$\sum l_{w2} = \frac{(1-k) X_1}{\gamma_c h_{f2} (\beta f_w)_{\min}} = \frac{0,3 \times 52500}{1 \times 0,8 \times 0,7 \times 1800} = 15,6 \text{ cm}.$$

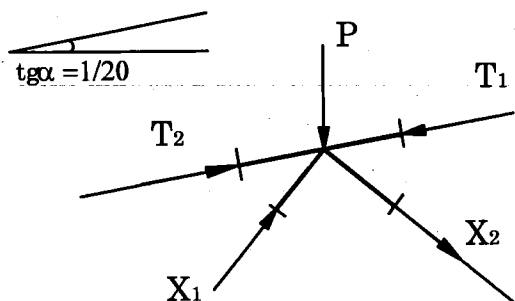
Trong hai công thức trên

$$(\beta f_w)_{\min} = 0,7 \times 1800 \text{ daN/cm}^2.$$

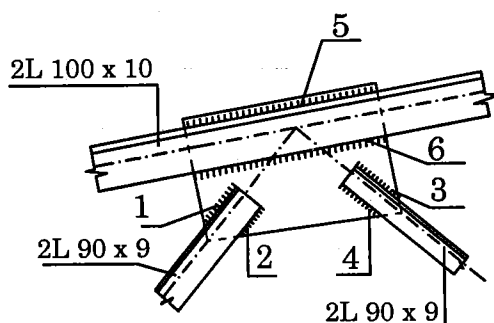
Vậy chiều dài tối thiểu của đường hàn số 1 là  $\frac{36,4}{2} \text{ cm} + 1 \text{ cm} = 19,4 \text{ cm}$ , của đường hàn số

$$2 \text{ là } \frac{15,6}{2} \text{ cm} + 1 \text{ cm} = 8,8 \text{ cm}.$$

a)



b)



Hình 5.22. Hình cho ví dụ 5.3

Tương tự, tính liên kết thanh  $X_2$  vào bản mã như trên, có chiều dài tối thiểu của đường hàn sống (số 3) là  $l_{w1} = 16,3 \text{ cm}$ , của đường hàn mép (số 4) là  $l_{w2} = 7,5 \text{ cm}$ .

Liên kết thanh cánh (có nội lực  $T_1, T_2$ ) vào bản mã: với hiệu số nội lực thanh cánh

$$\Delta T = T_1 - T_2 = 484 - 151 = 333 \text{ kN}.$$

Hợp lực  $R_1$ , do hai đường sống (số 5) chịu, được tính theo công thức (5.17); ở đây  $k = 0,7$

$$R_1 = \sqrt{(k \Delta T)^2 + \left(\frac{P}{2}\right)^2} = \sqrt{(0,7 \times 333)^2 + \left(\frac{75}{2}\right)^2} = 236 \text{ kN}.$$

Chiều dài tối thiểu của đường hàn số 5 là

$$l_{w1} = \frac{\frac{1}{2} R_1}{\gamma_c h_f (\beta f_w)_{\min}} + 1 \text{ cm} = \frac{\frac{1}{2} \times 23600}{1 \times 0,8 \times 0,7 \times 1800} + 1 \text{ cm} = 12,8 \text{ cm},$$

ở đây:  $h_{f1} = 8 \text{ mm} = 0,8 \text{ cm}$ ;  $(\beta f_w)_{\min} = 0,7 \times 1800 \text{ daN}$ .

Với đường hàn mép (số 6) không cần tính toán vì  $R_2$  (theo 5.18)  $< R_1$  khi chọn  $h_{f2} = 8 \text{ mm}$  và có chiều dài như đường hàn số 5.

Như vậy, kích thước bản mã được quyết định từ hai đường hàn số 1 và số 3 khi đó bản mã hoàn toàn chứa được các đường hàn số 2, 4, 5 và 6.

# PHỤ LỤC

## Phụ lục I NHỮNG QUY CHUẨN ĐỂ TÍNH TOÁN KẾT CẤU THÉP

**Bảng I.1.** Cường độ tiêu chuẩn  $f_y$ ,  $f_u$  và cường độ tính toán  $f$  của thép cacbon  
(TCVN 5709 : 1993)

Đơn vị tính : N/mm<sup>2</sup>

| Mác thép | Cường độ tiêu chuẩn $f_y$ và cường độ tính toán $f$ của thép<br>với độ dày $t$ (mm) |     |                  |     |                   |     | Cường độ kéo đứt<br>tiêu chuẩn $f_u$ không<br>phụ thuộc bề dày $t$<br>(mm) |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----|------------------|-----|-------------------|-----|----------------------------------------------------------------------------|
|          | $t \leq 20$                                                                         |     | $20 < t \leq 40$ |     | $40 < t \leq 100$ |     |                                                                            |
|          | $f_y$                                                                               | $f$ | $f_y$            | $f$ | $f_y$             | $f$ |                                                                            |
| CCT34    | 220                                                                                 | 210 | 210              | 200 | 200               | 190 | 340                                                                        |
| CCT38    | 240                                                                                 | 230 | 230              | 220 | 220               | 210 | 380                                                                        |
| CCT42    | 260                                                                                 | 245 | 250              | 240 | 240               | 230 | 420                                                                        |

**Bảng I.2.** Cường độ tiêu chuẩn  $f_u$ ,  $f_y$  và cường độ tính toán  $f$  của thép hợp kim thấp  
(TCVN 3104 : 1979)

Đơn vị tính : N/mm<sup>2</sup>

| Mác thép   | Độ dày, mm  |       |     |                  |       |     |                  |       |     |
|------------|-------------|-------|-----|------------------|-------|-----|------------------|-------|-----|
|            | $t \leq 20$ |       |     | $20 < t \leq 30$ |       |     | $30 < t \leq 60$ |       |     |
|            | $f_u$       | $f_y$ | $f$ | $f_u$            | $f_y$ | $f$ | $f_u$            | $f_y$ | $f$ |
| 09Mn2      | 450         | 310   | 295 | 450              | 300   | 285 | —                | —     | —   |
| 14Mn2      | 460         | 340   | 325 | 460              | 330   | 315 | —                | —     | —   |
| 16MnSi     | 490         | 320   | 305 | 480              | 300   | 285 | 470              | 290   | 275 |
| 09Mn2Si    | 480         | 330   | 315 | 470              | 310   | 295 | 460              | 290   | 275 |
| 10Mn2Si1   | 510         | 360   | 345 | 500              | 350   | 335 | 480              | 340   | 325 |
| 10CrSiNiCu | 540         | 400 * | 360 | 540              | 400 * | 360 | 520              | 400 * | 360 |

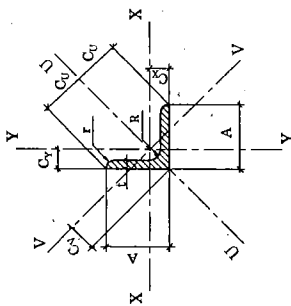
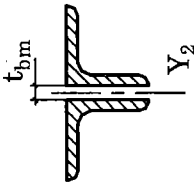
Ghi chú: \* Hệ số  $\gamma_M$  đối với trường hợp này là 1,1; bề dày tối đa là 40 mm.

**Bảng I.3.** Cường độ tính toán về mỗi  $f_t$

| Nhóm<br>cấu kiện | Trị số của $f_t$ khi cường độ kéo đứt tức thời $f_u$ |                |                |                |                |
|------------------|------------------------------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|                  | $\leq 420$                                           | $420 \div 440$ | $440 \div 520$ | $520 \div 580$ | $580 \div 635$ |
| 1                | 120                                                  | 128            | 132            | 136            | 145            |
| 2                | 100                                                  | 106            | 108            | 110            | 116            |
| 3                | Đối với mọi mác thép                                 |                |                |                | 90             |
| 4                | Đối với mọi mác thép                                 |                |                |                | 75             |
| 5                | Đối với mọi mác thép                                 |                |                |                | 60             |
| 6                | Đối với mọi mác thép                                 |                |                |                | 45             |
| 7                | Đối với mọi mác thép                                 |                |                |                | 36             |
| 8                | Đối với mọi mác thép                                 |                |                |                | 27             |

Bảng 1.4. Thép góc đều cạnh

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



THEO TCVN 1656:1993

| Số hiệu | Khối lượng<br>1 m<br>dài | Diện<br>tích<br>mặt<br>cắt<br>ngang | Kích thước    |    |    |             | Khoảng cách từ trọng tâm |       |                 |                 | Đại lượng tra cứu |                 |       |       |                 |          | Bán kính quán tính $i_x$ (cm)<br>khi $t_{\min}$ bằng |       |  |
|---------|--------------------------|-------------------------------------|---------------|----|----|-------------|--------------------------|-------|-----------------|-----------------|-------------------|-----------------|-------|-------|-----------------|----------|------------------------------------------------------|-------|--|
|         |                          |                                     | X - X = Y - Y |    |    |             | U - U                    |       | V - V           |                 |                   |                 |       |       |                 |          |                                                      |       |  |
|         |                          |                                     | A             | t  | R  | $C_x = C_y$ | $C_u$                    | $C_v$ | $i_x = i_y$     | $i_u$           | $i_v$             | $i_u$           | $i_v$ | $i_u$ | $i_v$           | 10<br>mm | 12<br>mm                                             | 14 mm |  |
|         | kg/m                     | cm <sup>2</sup>                     | mm            | mm | mm | cm          | cm                       | cm    | cm <sup>4</sup> | cm <sup>4</sup> | cm <sup>4</sup>   | cm <sup>4</sup> | cm    | cm    | cm <sup>4</sup> | cm       | cm                                                   |       |  |
| 20×20×3 | 0,382                    | 1,12                                | 20            | 3  | 35 | 0,598       | 1,14                     | 0,846 | 0,392           | 0,590           | 0,165             | 0,742           | 0,383 | —     | —               | —        | —                                                    |       |  |
| 25×25×3 | 1,12                     | 1,42                                | 25            | 3  | 35 | 0,723       | 1,77                     | 1,02  | 0,803           | 0,751           | 0,334             | 0,945           | 0,484 | —     | —               | —        | —                                                    |       |  |
| 25×25×4 | 1,45                     | 1,85                                | 25            | 4  | 35 | 0,762       | 1,77                     | 1,08  | 1,02            | 0,741           | 0,430             | 0,931           | 0,482 | —     | —               | —        | —                                                    |       |  |
| 30×30×3 | 1,36                     | 1,74                                | 30            | 3  | 5  | 0,835       | 2,12                     | 1,18  | 1,40            | 0,899           | 0,585             | 2,22            | 1,13  | —     | —               | —        | —                                                    |       |  |
| 30×30×4 | 1,78                     | 2,27                                | 30            | 4  | 5  | 0,878       | 2,12                     | 1,24  | 1,80            | 0,892           | 0,754             | 2,85            | 1,12  | —     | —               | —        | —                                                    |       |  |
| 35×35×3 | 2,09                     | 2,67                                | 35            | 4  | 5  | 1,00        | 2,47                     | 1,42  | 2,95            | 1,05            | 1,23              | 4,68            | 1,32  | —     | —               | —        | —                                                    |       |  |
| 35×35×4 | 2,57                     | 3,28                                | 35            | 5  | 5  | 1,04        | 2,47                     | 1,48  | 3,56            | 1,04            | 1,49              | 5,64            | 1,31  | —     | —               | —        | —                                                    |       |  |
| 40×40×3 | 1,34                     | 2,35                                | 40            | 3  | 6  | 1,07        | 2,83                     | 1,52  | 3,45            | 1,21            | 1,44              | 5,45            | 1,52  | —     | —               | —        | —                                                    |       |  |
| 40×40×4 | 2,42                     | 3,08                                | 40            | 4  | 6  | 1,12        | 2,83                     | 1,58  | 4,47            | 1,21            | 1,86              | 7,09            | 1,52  | —     | —               | —        | —                                                    |       |  |



| Số hiệu | Khối lượng<br>1 m<br>dài | Diện<br>tích<br>mặt<br>cắt<br>ngang | Kích thước                     |                |                | Khoảng cách từ trọng tâm |           |                 | Đại lượng tra cứu |                 |       |          |          |       | Bán kính quán tính $i_{yz}(cm)$<br>khi $t_{m} bằng$ |  |  |       |  |  |
|---------|--------------------------|-------------------------------------|--------------------------------|----------------|----------------|--------------------------|-----------|-----------------|-------------------|-----------------|-------|----------|----------|-------|-----------------------------------------------------|--|--|-------|--|--|
|         |                          |                                     |                                |                |                |                          |           |                 | X - X = Y - Y     |                 |       | U - U    |          |       |                                                     |  |  | V - V |  |  |
|         |                          |                                     |                                |                |                |                          |           |                 |                   |                 |       |          |          |       |                                                     |  |  |       |  |  |
|         |                          |                                     |                                |                |                |                          |           |                 |                   |                 |       |          |          |       |                                                     |  |  |       |  |  |
| A       | t                        | R                                   | C <sub>x</sub> =C <sub>y</sub> | C <sub>u</sub> | C <sub>v</sub> | $I_x=I_y$                | $i_x=i_y$ | $I_u$           | $i_u$             | $I_v$           | $i_v$ | 10<br>mm | 12<br>mm | 14 mm |                                                     |  |  |       |  |  |
| mm      | mm                       | mm                                  | cm                             | cm             | cm             | cm <sup>4</sup>          | cm        | cm <sup>4</sup> | cm                | cm <sup>4</sup> | cm    |          |          |       |                                                     |  |  |       |  |  |
| 40×40×5 | 2,49                     | 3,79                                | 40                             | 5              | 6              | 1,16                     | 2,83      | 1,64            |                   |                 |       | 0,773    | —        | —     | —                                                   |  |  |       |  |  |
| 45×45×4 | 2,74                     | 3,49                                | 45                             | 4              | 7              | 1,23                     | 3,18      | 1,75            |                   |                 |       | 0,876    | —        | —     | —                                                   |  |  |       |  |  |
| 45×45×5 | 3,38                     | 4,30                                | 45                             | 5              | 7              | 1,28                     | 3,18      | 1,81            |                   |                 |       | 0,871    | —        | —     | —                                                   |  |  |       |  |  |
| 50×50×4 | 3,06                     | 3,89                                | 50                             | 4              | 7              | 1,36                     | 3,54      | 1,92            |                   |                 |       | 0,979    | —        | —     | —                                                   |  |  |       |  |  |
| 50×50×5 | 3,77                     | 4,80                                | 50                             | 5              | 7              | 1,40                     | 3,54      | 1,99            |                   |                 |       | 0,973    | 2,43     | 2,51  | 2,59                                                |  |  |       |  |  |
| 50×50×6 | 4,47                     | 5,69                                | 50                             | 6              | 7              | 1,45                     | 3,54      | 2,04            |                   |                 |       | 0,968    | 2,46     | 2,54  | 2,62                                                |  |  |       |  |  |
| 60×60×5 | 4,57                     | 5,82                                | 60                             | 5              | 8              | 1,64                     | 4,24      | 2,32            |                   |                 |       | 1,17     | 2,81     | 2,89  | 2,97                                                |  |  |       |  |  |
| 60×60×6 | 5,42                     | 6,91                                | 60                             | 6              | 8              | 1,69                     | 4,24      | 2,39            |                   |                 |       | 1,17     | 2,85     | 2,92  | 3,00                                                |  |  |       |  |  |
| 60×60×8 | 7,09                     | 9,03                                | 60                             | 8              | 8              | 1,77                     | 4,24      | 2,50            |                   |                 |       | 1,16     | 2,90     | 2,97  | 3,06                                                |  |  |       |  |  |
| 65×65×6 | 5,91                     | 7,53                                | 65                             | 6              | 9              | 1,80                     | 4,60      | 2,55            |                   |                 |       | 1,27     | 3,03     | 3,10  | 3,18                                                |  |  |       |  |  |
| 65×65×8 | 7,73                     | 9,85                                | 65                             | 8              | 9              | 1,89                     | 4,60      | 2,67            |                   |                 |       | 1,26     | 3,09     | 3,16  | 3,24                                                |  |  |       |  |  |
| 70×70×6 | 6,38                     | 8,13                                | 70                             | 6              | 9              | 1,93                     | 4,95      | 2,73            |                   |                 |       | 1,37     | 3,23     | 3,31  | 3,38                                                |  |  |       |  |  |
| 70×70×7 | 7,38                     | 9,40                                | 70                             | 7              | 9              | 1,97                     | 4,95      | 2,79            |                   |                 |       | 1,36     | 3,26     | 3,33  | 3,41                                                |  |  |       |  |  |
| 75×75×6 | 6,85                     | 8,73                                | 75                             | 6              | 9              | 2,05                     | 5,30      | 2,90            |                   |                 |       | 1,47     | 3,43     | 3,50  | 3,58                                                |  |  |       |  |  |
| 75×75×8 | 8,99                     | 11,4                                | 75                             | 8              | 9              | 2,14                     | 5,30      | 3,02            |                   |                 |       | 1,46     | 3,49     | 3,56  | 3,64                                                |  |  |       |  |  |





| Số hiệu    | Khối lượng<br>1 m<br>dài | Diện tích<br>mặt<br>cắt<br>ngang | Kích thước |           |       | Khoảng cách từ trọng tâm |                 |           | Đại lượng tra cứu |       |                 |       |          |          | Bán kính quán tính $i_x$ (cm)<br>khi $t_{min}$ bằng |      |      |       |  |  |
|------------|--------------------------|----------------------------------|------------|-----------|-------|--------------------------|-----------------|-----------|-------------------|-------|-----------------|-------|----------|----------|-----------------------------------------------------|------|------|-------|--|--|
|            |                          |                                  |            |           |       |                          |                 |           | X – X = Y – Y     |       |                 | U – U |          |          |                                                     |      |      | V – V |  |  |
|            |                          |                                  |            |           |       |                          |                 |           |                   |       |                 |       |          |          |                                                     |      |      |       |  |  |
|            |                          |                                  |            |           |       |                          |                 |           |                   |       |                 |       |          |          |                                                     |      |      |       |  |  |
|            | 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<br>mm | 12<br>mm | 14 mm                                               |      |      |       |  |  |
|            | mm                       | mm                               | mm         | cm        | cm    | cm                       | cm <sup>4</sup> | cm        | cm <sup>4</sup>   | cm    | cm <sup>4</sup> | cm    |          |          |                                                     |      |      |       |  |  |
| 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 |       |  |  |

| Số hiệu    | Khối lượng<br>1 m<br>dài | Diện<br>tích<br>mặt<br>cắt<br>ngang | Kích thước  |       |       | Khoảng cách từ trọng tâm |       |       | Đại lượng tra cứu |             |         |          |          |       | Bán kính quán tính $i_{yz}$ (cm)<br>khi $t_{\text{bằng}}$ bằng |       |       |
|------------|--------------------------|-------------------------------------|-------------|-------|-------|--------------------------|-------|-------|-------------------|-------------|---------|----------|----------|-------|----------------------------------------------------------------|-------|-------|
|            |                          |                                     |             |       |       |                          |       |       | $X - X = Y - Y$   |             | $U - U$ |          | $V - V$  |       |                                                                |       |       |
|            |                          |                                     |             |       |       |                          |       |       |                   |             |         |          |          |       |                                                                |       |       |
| A          | t                        | R                                   | $C_x = C_y$ | $C_u$ | $C_v$ | $I_x = I_y$              | $I_u$ | $I_v$ | $i_v$             | $I_x = I_y$ | $i_v$   | 10<br>mm | 12<br>mm | 14 mm |                                                                |       |       |
| 125×125×8  | 15,3                     | 19,5                                | 125         | 8     | 13    | 3,35                     | 8,84  | 4,74  | 290               | 3,85        | 461     | 4,85     | 120      | 2,47  | 5,45                                                           | 5,52  | 5,59  |
| 125×125×10 | 19,0                     | 24,2                                | 125         | 10    | 13    | 3,44                     | 8,84  | 4,86  | 356               | 3,84        | 565     | 4,83     | 146      | 2,46  | 5,50                                                           | 5,57  | 5,64  |
| 125×125×12 | 22,6                     | 28,7                                | 125         | 12    | 13    | 3,52                     | 8,84  | 4,98  | 418               | 3,81        | 664     | 4,81     | 172      | 2,45  | 5,54                                                           | 5,62  | 5,69  |
| 150×150×10 | 23,0                     | 29,3                                | 150         | 10    | 16    | 4,03                     | 10,6  | 5,71  | 624               | 4,62        | 990     | 5,82     | 258      | 2,97  | 6,47                                                           | 6,54  | 6,61  |
| 150×150×12 | 27,3                     | 34,8                                | 150         | 12    | 16    | 4,12                     | 10,6  | 5,83  | 737               | 4,60        | 1170    | 5,80     | 303      | 2,95  | 6,52                                                           | 6,59  | 6,66  |
| 150×150×15 | 33,8                     | 43,0                                | 150         | 15    | 16    | 4,25                     | 10,6  | 6,01  | 898               | 4,57        | 1430    | 5,76     | 370      | 2,93  | 6,59                                                           | 6,66  | 6,74  |
| 180×180×15 | 40,9                     | 52,1                                | 180         | 15    | 18    | 4,98                     | 12,7  | 7,05  | 1590              | 5,52        | 2520    | 6,96     | 653      | 3,54  | 7,78                                                           | 7,85  | 7,92  |
| 180×180×18 | 48,6                     | 61,9                                | 180         | 18    | 18    | 5,10                     | 12,7  | 7,22  | 1870              | 5,49        | 2960    | 6,92     | 768      | 3,52  | 7,85                                                           | 7,92  | 7,99  |
| 200×200×16 | 48,5                     | 61,8                                | 200         | 16    | 18    | 5,52                     | 14,1  | 7,80  | 2340              | 6,16        | 3720    | 7,76     | 960      | 3,94  | 8,61                                                           | 8,68  | 8,75  |
| 200×200×20 | 59,9                     | 76,3                                | 200         | 20    | 18    | 5,68                     | 14,1  | 8,04  | 2850              | 6,11        | 4530    | 7,70     | 1170     | 3,92  | 8,69                                                           | 8,76  | 8,83  |
| 200×200×24 | 71,1                     | 90,6                                | 200         | 24    | 18    | 5,84                     | 14,1  | 8,26  | 2330              | 6,06        | 5280    | 7,64     | 1380     | 3,90  | 8,12                                                           | 5,20  | 8,28  |
| 250×250×28 | 104                      | 133                                 | 250         | 28    | 18    | 7,24                     | 17,7  | 10,2  | 7700              | 7,62        | 12200   | 9,61     | 3170     | 4,89  | 10,85                                                          | 10,90 | 11,00 |
| 250×250×35 | 128                      | 163                                 | 250         | 35    | 18    | 7,50                     | 17,7  | 10,6  | 9260              | 7,54        | 14700   | 9,48     | 3860     | 4,87  | 10,99                                                          | 11,06 | 11,14 |

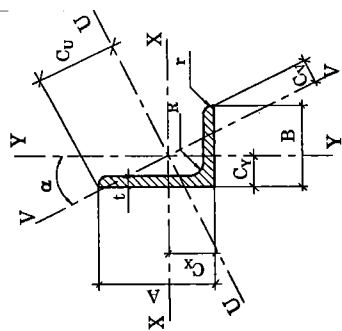
Chú thích: 1. Ví dụ kí hiệu quy ước thép góc cạnh đều cán nóng:

Thép góc cạnh đều cán nóng có kích thước 40 × 40 × 4 mm, cấp chính xác B: L 40 × 40 × 4B TCVN 1656-1993.

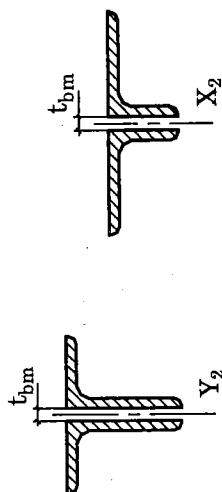
2. Diện tích mặt cắt ngang được tính theo công thức:  $S = [(2A - t) + 0,2146(R^2 - 2r^2)] \cdot 1/100$

3. Khối lượng 1m chiều dài tính theo kích thước danh nghĩa với khối lượng riêng của thép bằng 7,85 kg/dm<sup>3</sup>.

Bảng 1.5. Thép góc không đều cạnh



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 trọng tâm

THEO TCVN 1657 : 1993

| Số hiệu | Khối lượng<br>1 m dài<br>ngang | Diện tích<br>mặt cắt<br>ngang | Kích thước |    |    |                | Khoảng cách từ trọng tâm |                |                |                          | Đại lượng tra cứu |                          |             |                          |             |                          |             |       | Bán kính quán tính<br>$i_{y2}(cm)$ khi $t_{bm}$ bằng |          |          |          | Bán kính quán tính<br>$i_{x2}(cm)$ khi $t_{bm}$ bằng |          |   |  |
|---------|--------------------------------|-------------------------------|------------|----|----|----------------|--------------------------|----------------|----------------|--------------------------|-------------------|--------------------------|-------------|--------------------------|-------------|--------------------------|-------------|-------|------------------------------------------------------|----------|----------|----------|------------------------------------------------------|----------|---|--|
|         |                                |                               |            |    |    |                |                          |                |                |                          |                   |                          |             |                          |             |                          |             |       |                                                      |          |          |          |                                                      |          |   |  |
|         |                                |                               |            |    |    |                |                          |                |                |                          |                   |                          |             |                          |             |                          |             |       |                                                      |          |          |          |                                                      |          |   |  |
|         |                                |                               |            |    |    |                |                          |                |                |                          |                   |                          |             |                          |             |                          |             |       |                                                      |          |          |          |                                                      |          |   |  |
| kg/m    | cm <sup>2</sup>                | A                             | B          | t  | R  | C <sub>x</sub> | C <sub>y</sub>           | C <sub>u</sub> | C <sub>v</sub> | X – X                    |                   | Y – Y                    |             | U – U                    |             | V – V                    |             | tgα   | 10<br>mm                                             | 12<br>mm | 14<br>mm | 10<br>mm | 12<br>mm                                             | 14<br>mm |   |  |
|         |                                | mm                            | mm         | mm | mm | cm             | cm                       | cm             | cm             | $I_x$<br>cm <sup>4</sup> | $i_x$<br>cm       | $I_y$<br>cm <sup>4</sup> | $i_y$<br>cm | $I_u$<br>cm <sup>4</sup> | $i_u$<br>cm | $I_v$<br>cm <sup>4</sup> | $i_v$<br>cm |       |                                                      |          |          |          |                                                      |          |   |  |
| 30×20×3 | 1,12                           | 1,43                          | 30         | 20 | 3  | 4              | 0,990                    | 0,502          | 2,05           | 1,04                     | 1,25              | 0,935                    | 0,437       | 0,553                    | 1,43        | 1,00                     | 0,256       | 0,424 | 0,427                                                | –        | –        | –        | –                                                    | –        | – |  |
| 30×20×4 | 1,46                           | 1,86                          | 30         | 20 | 4  | 4              | 1,03                     | 0,541          | 2,02           | 1,04                     | 1,59              | 0,925                    | 0,553       | 0,546                    | 1,81        | 0,988                    | 0,330       | 0,421 | 0,421                                                | –        | –        | –        | –                                                    | –        | – |  |
| 40×20×4 | 1,77                           | 2,26                          | 40         | 20 | s4 | 4              | 1,47                     | 0,48           | 2,58           | 1,17                     | 3,59              | 1,26                     | 0,600       | 0,514                    | 3,80        | 1,30                     | 0,393       | 0,417 | 0,252                                                | –        | –        | –        | –                                                    | –        | – |  |
| 40×25×4 | 1,93                           | 2,46                          | 40         | 25 | 4  | 4              | 1,36                     | 0,623          | 2,69           | 1,35                     | 3,89              | 1,26                     | 1,16        | 0,687                    | 4,35        | 1,33                     | 0,700       | 0,534 | 0,380                                                | –        | –        | –        | –                                                    | –        | – |  |
| 45×30×5 | 2,76                           | 3,52                          | 45         | 30 | 5  | 4              | 1,52                     | 0,779          | 3,04           | 1,58                     | 6,98              | 1,41                     | 2,47        | 0,837                    | 8,00        | 1,51                     | 1,45        | 0,641 | 0,429                                                | –        | –        | –        | –                                                    | –        | – |  |
| 50×30×4 | 2,41                           | 3,07                          | 50         | 30 | 4  | 5              | 1,68                     | 0,701          | 3,36           | 1,67                     | 7,71              | 1,59                     | 2,09        | 0,825                    | 8,53        | 1,67                     | 1,27        | 0,644 | 0,356                                                | –        | –        | –        | –                                                    | –        | – |  |

| Số hiệu | Khối lượng<br>1 m dài | Diện tích<br>mặt cắt<br>ngang | Kích thước |         |         |         | Khoảng cách từ trọng tâm |                      |                      |                      | Đại lượng tra cứu        |             |                          |             |                          |             |                          |             | Bán kính quán tính<br>$i_{yz}(cm)$ khi $t_{em}$ bằng |       |      |          | Bán kính quán tính<br>$i_{xz}(cm)$ khi $t_{em}$ bằng |          |          |          |
|---------|-----------------------|-------------------------------|------------|---------|---------|---------|--------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|--------------------------|-------------|--------------------------|-------------|--------------------------|-------------|--------------------------|-------------|------------------------------------------------------|-------|------|----------|------------------------------------------------------|----------|----------|----------|
|         |                       |                               |            |         |         |         |                          |                      |                      |                      |                          |             |                          |             |                          |             |                          |             |                                                      |       |      |          |                                                      |          |          |          |
|         |                       |                               | A<br>mm    | B<br>mm | t<br>mm | R<br>mm | C <sub>x</sub><br>cm     | C <sub>y</sub><br>cm | C <sub>u</sub><br>cm | C <sub>v</sub><br>cm | $i_x$<br>cm <sup>4</sup> | $i_x$<br>cm | $i_y$<br>cm <sup>4</sup> | $i_y$<br>cm | $i_u$<br>cm <sup>4</sup> | $i_u$<br>cm | $i_v$<br>cm <sup>4</sup> | $i_v$<br>cm | V - V                                                | U - U | tgα  | 10<br>mm | 12<br>mm                                             | 14<br>mm | 10<br>mm | 12<br>mm |
| 50×30×5 | 2,96                  | 3,78                          | 50         | 30      | 5       | 5       | 1,73                     | 0,741                | 3,33                 | 1,65                 | 9,36                     | 1,57        | 2,51                     | 0,816       | 10,3                     | 1,65        | 1,54                     | 0,639       | 0,352                                                | -     | -    | -        | -                                                    | -        | -        | -        |
| 50×40×5 | 3,36                  | 4,28                          | 50         | 40      | 5       | 5       | 1,55                     | 1,06                 | 3,49                 | 1,85                 | 10,3                     | 1,55        | 5,85                     | 1,17        | 13,2                     | 1,75        | 3,03                     | 0,842       | 0,621                                                | -     | -    | -        | -                                                    | -        | -        | -        |
| 60×30×5 | 3,36                  | 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     |          |
| 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     |          |
| 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     |          |
| 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     |          |
| 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     |          |
| 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     |          |
| 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     |          |
| 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     |          |
| 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     |          |

| Số hiệu  | Khối lượng<br>1 m dài | Diện tích mặt cắt ngang | Kích thước |         | Khoảng cách từ trọng tâm |         |             |             | Đại lượng tra cứu        |             |                          |             |                          |             |                          |             | Bán kính quán tính<br>$i_{yz}(cm)$ khi $t_{bm}$ bằng |       |            | Bán kính quán tính<br>$i_{yz}(cm)$ khi $t_{bm}$ bằng |          |          |          |          |          |
|----------|-----------------------|-------------------------|------------|---------|--------------------------|---------|-------------|-------------|--------------------------|-------------|--------------------------|-------------|--------------------------|-------------|--------------------------|-------------|------------------------------------------------------|-------|------------|------------------------------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
|          |                       |                         |            |         |                          |         |             |             |                          |             |                          |             |                          |             |                          |             |                                                      |       |            |                                                      |          |          |          |          |          |
|          |                       |                         | A<br>mm    | B<br>mm | t<br>mm                  | R<br>mm | $C_x$<br>cm | $C_y$<br>cm | $C_u$<br>cm              | $C_v$<br>cm | X - X                    |             | Y - Y                    |             | U - U                    |             | V - V                                                |       | $tg\alpha$ | 10<br>mm                                             | 12<br>mm | 14<br>mm | 10<br>mm | 12<br>mm | 14<br>mm |
| kg/m     | cm <sup>2</sup>       |                         |            |         |                          |         |             |             | $i_x$<br>cm <sup>4</sup> | $i_x$<br>cm | $i_y$<br>cm <sup>4</sup> | $i_y$<br>cm | $i_u$<br>cm <sup>4</sup> | $i_u$<br>cm | $i_v$<br>cm <sup>4</sup> | $i_v$<br>cm |                                                      |       |            |                                                      |          |          |          |          |          |
| 75x50x6  | 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     |
| 75x50x8  | 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     |
| 80x40x6  | 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     |
| 80x40x8  | 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     |
| 80x60x6  | 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     |
| 80x60x7  | 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     |
| 80x60x8  | 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     |
| 90x60x8  | 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     |
| 90x65x6  | 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     |
| 90x65x8  | 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     |
| 90x75x8  | 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     |
| 90x75x10 | 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     |
| 90x75x13 | 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     |

| Số hiệu   | Khối lượng<br>1 m dài | Diện tích<br>mặt cắt<br>ngang | Kích thước |         |         |                      | Khoảng cách từ trọng tâm |                      |                      |                                   | Đại lượng tra cứu    |                                   |                      |                                   |                      |                                   |                      |      | Bán kính quán tính<br>$i_{yz}(cm)$ khi $t_{tm}$ bằng |          |          |          | Bán kính quán tính<br>$i_{yz}(cm)$ khi $t_{tm}$ bằng |          |          |          |          |  |
|-----------|-----------------------|-------------------------------|------------|---------|---------|----------------------|--------------------------|----------------------|----------------------|-----------------------------------|----------------------|-----------------------------------|----------------------|-----------------------------------|----------------------|-----------------------------------|----------------------|------|------------------------------------------------------|----------|----------|----------|------------------------------------------------------|----------|----------|----------|----------|--|
|           |                       |                               |            |         |         |                      |                          |                      |                      |                                   |                      |                                   |                      |                                   |                      |                                   |                      |      |                                                      |          |          |          |                                                      |          |          |          |          |  |
|           |                       |                               |            |         |         |                      |                          |                      |                      |                                   |                      |                                   |                      |                                   |                      |                                   |                      |      |                                                      |          |          |          |                                                      |          |          |          |          |  |
| kg/m      | cm <sup>2</sup>       | A<br>mm                       | B<br>mm    | t<br>mm | R<br>mm | C <sub>x</sub><br>cm | C <sub>y</sub><br>cm     | C <sub>u</sub><br>cm | C <sub>v</sub><br>cm | X - X                             |                      | Y - Y                             |                      | U - U                             |                      | V - V                             |                      | tgα  | 10<br>mm                                             | 12<br>mm | 14<br>mm | 10<br>mm | 12<br>mm                                             | 14<br>mm | 10<br>mm | 12<br>mm | 14<br>mm |  |
|           |                       |                               |            |         |         |                      |                          |                      |                      | I <sub>x</sub><br>cm <sup>4</sup> | i <sub>x</sub><br>cm | I <sub>y</sub><br>cm <sup>4</sup> | i <sub>y</sub><br>cm | I <sub>u</sub><br>cm <sup>4</sup> | i <sub>u</sub><br>cm | I <sub>v</sub><br>cm <sup>4</sup> | i <sub>v</sub><br>cm |      |                                                      |          |          |          |                                                      |          |          |          |          |  |
| 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     |          |          |  |
| 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     |          |          |  |
| 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     |          |          |  |
| 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     |          |          |  |
| 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     |          |          |  |
| 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     |          |          |  |
| 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     |          |          |  |
| 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     |          |          |  |
| 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     |          |          |  |
| 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     |          |          |  |
| 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     |          |          |  |
| 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     |          |          |  |

| Số hiệu   | Khối lượng<br>1 m<br>đài | Diện tích<br>mặt<br>cắt<br>ngang | Kích thước |         |         |                      | Khoảng cách từ trọng tâm |                      |                      |                                   | Đại lượng tra cứu    |                                   |                      |                                   |                      |                                   |                      |                                   | Bán kính quán tính<br>$i_{y2}(cm)$ khi $t_{bm}$ bằng |                                   |                      |       | Bán kính quán tính<br>$i_{x2}(cm)$ khi $t_{bm}$ bằng |      |      |     |          |          |          |          |          |          |
|-----------|--------------------------|----------------------------------|------------|---------|---------|----------------------|--------------------------|----------------------|----------------------|-----------------------------------|----------------------|-----------------------------------|----------------------|-----------------------------------|----------------------|-----------------------------------|----------------------|-----------------------------------|------------------------------------------------------|-----------------------------------|----------------------|-------|------------------------------------------------------|------|------|-----|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
|           |                          |                                  |            |         |         |                      |                          |                      |                      |                                   |                      |                                   |                      |                                   |                      |                                   |                      |                                   |                                                      |                                   |                      |       |                                                      |      |      |     |          |          |          |          |          |          |
|           |                          |                                  |            |         |         |                      |                          |                      |                      |                                   |                      |                                   |                      |                                   |                      |                                   |                      |                                   |                                                      |                                   |                      |       |                                                      |      |      |     |          |          |          |          |          |          |
|           |                          |                                  |            |         |         |                      |                          |                      |                      |                                   |                      |                                   |                      |                                   |                      |                                   |                      |                                   |                                                      |                                   |                      |       |                                                      |      |      |     |          |          |          |          |          |          |
| kg/m      | cm <sup>2</sup>          | A<br>mm                          | B<br>mm    | t<br>mm | R<br>mm | C <sub>x</sub><br>cm | C <sub>y</sub><br>cm     | C <sub>u</sub><br>cm | C <sub>v</sub><br>cm | X – X                             |                      |                                   |                      | Y – Y                             |                      |                                   |                      | U – U                             |                                                      |                                   |                      | V – V |                                                      |      |      | tgα | 10<br>mm | 12<br>mm | 14<br>mm | 10<br>mm | 12<br>mm | 14<br>mm |
|           |                          |                                  |            |         |         |                      |                          |                      |                      | I <sub>x</sub><br>cm <sup>4</sup> | i <sub>x</sub><br>cm | I <sub>y</sub><br>cm <sup>4</sup> | i <sub>y</sub><br>cm | I <sub>u</sub><br>cm <sup>4</sup> | i <sub>u</sub><br>cm | I <sub>v</sub><br>cm <sup>4</sup> | i <sub>v</sub><br>cm | I <sub>u</sub><br>cm <sup>4</sup> | i <sub>u</sub><br>cm                                 | I <sub>v</sub><br>cm <sup>4</sup> | i <sub>v</sub><br>cm |       |                                                      |      |      |     |          |          |          |          |          |          |
| 125×75×8  | 12,2                     | 155                              | 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 |     |          |          |          |          |          |          |

| Số hiệu    | Khối lượng<br>1 m<br>đài | Diện tích<br>mặt<br>cắt<br>ngang | Kích thước               |                          |             |             | Khoảng cách từ trọng tâm |                          |                      |                      | Đại lượng tra cứu        |                          |             |             |       |      |       |       | Bán kính quán tính<br>$i_{y2}(cm)$ khi $t_{bm}$ bằng |          |      |          | Bán kính quán tính<br>$i_{xz}(cm)$ khi $t_{bm}$ bằng |          |       |          |      |          |      |          |       |
|------------|--------------------------|----------------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------|-------------|--------------------------|--------------------------|----------------------|----------------------|--------------------------|--------------------------|-------------|-------------|-------|------|-------|-------|------------------------------------------------------|----------|------|----------|------------------------------------------------------|----------|-------|----------|------|----------|------|----------|-------|
|            |                          |                                  |                          |                          |             |             |                          |                          |                      |                      |                          |                          |             |             |       |      |       |       |                                                      |          |      |          |                                                      |          |       |          |      |          |      |          |       |
|            |                          |                                  | A<br>mm                  | B<br>mm                  | t<br>mm     | R<br>mm     | C <sub>x</sub><br>cm     | C <sub>y</sub><br>cm     | C <sub>u</sub><br>cm | C <sub>v</sub><br>cm | X – X                    |                          | Y – Y       |             | U – U |      | V – V |       | $tg\alpha$                                           | 10<br>mm |      | 12<br>mm |                                                      | 14<br>mm |       | 10<br>mm |      | 12<br>mm |      | 14<br>mm |       |
|            |                          |                                  | $i_x$<br>cm <sup>4</sup> | $i_y$<br>cm <sup>4</sup> | $i_x$<br>cm | $i_y$<br>cm | $i_u$<br>cm <sup>4</sup> | $i_v$<br>cm <sup>4</sup> | $i_u$<br>cm          | $i_v$<br>cm          | $i_u$<br>cm <sup>4</sup> | $i_v$<br>cm <sup>4</sup> | $i_u$<br>cm | $i_v$<br>cm | mm    | mm   | mm    | mm    |                                                      | mm       | mm   | mm       | mm                                                   | mm       | mm    | mm       | mm   | mm       | mm   | mm       | mm    |
| kg/m       | cm <sup>2</sup>          | 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     | 4,04  | 4,11     | 4,18 | 7,17     | 7,22 | 7,29     |       |
| 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  | 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  | 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  | 4,17     | 4,24 | 4,32     | 7,29 | 7,36     | 7,44  |
| 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  | 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  | 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 | 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 | 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 | 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  | 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  | 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  | 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  | 6,32     | 6,39 | 6,47     | 9,43 | 9,51     | 9,58  |

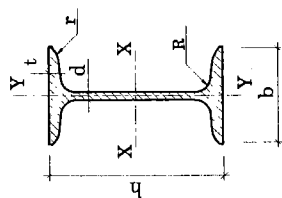
Chú thích : 1. Ví dụ kí hiệu quy ước thép góc không đều cạnh cân nóng: Thép góc không đều cạnh cân nóng có kích thước 60 × 40 × 5, cấp chính xác B:

L60 × 40 × 5B TCVN 1657-1993

2. Diện tích mặt cắt ngang được tính theo công thức:  $S = [t(A + B - t) + 0,2146(R^2 - 2t^2)] / 100$
3. Khối lượng 1 m chiều dài tính theo kích thước danh nghĩa với khối lượng riêng của thép bằng 7,85 kg/dm<sup>3</sup>.



Bảng 1.6. Thép cán dạng chữ I



- $h$  – 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

THEO TCVN 1655 : 1975

|     | Đại lượng tra cứu cho trục |     |     |     |      |     |                                                   |                                      |       |       |      |       |       |       |                                   |
|-----|----------------------------|-----|-----|-----|------|-----|---------------------------------------------------|--------------------------------------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-----------------------------------|
|     | Kích thước, mm             |     |     |     |      |     | Diện tích<br>mặt cắt<br>ngang,<br>cm <sup>2</sup> | Khối<br>lượng<br>1m chiều<br>dài, kg | X – X |       |      | Y – Y |       |       |                                   |
|     |                            |     |     |     |      |     |                                                   |                                      | h     | b     | d    | t     | R     | r     | I <sub>x</sub><br>cm <sup>4</sup> |
| 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                              |

Số  
hiệuTHƯ VIỆN  
HUBT

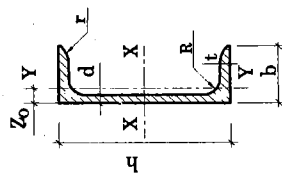
TÀI LIỆU PHỤC VỤ THAM KHẢO NỘI BỘ

| Số hiệu | Kích thước, mm |     |      |      |      |     | Diện tích mặt cắt ngang, $\text{cm}^2$ | Khối lượng 1m chiều dài, kg | Đại lượng tra cứu cho trục |                            |                          |                            |                        |                        |                      |
|---------|----------------|-----|------|------|------|-----|----------------------------------------|-----------------------------|----------------------------|----------------------------|--------------------------|----------------------------|------------------------|------------------------|----------------------|
|         |                |     |      |      |      |     |                                        |                             | X - X                      |                            |                          | Y - Y                      |                        |                        |                      |
|         | $h$            | $b$ | $d$  | $t$  | $R$  | $r$ |                                        |                             | $I_x$<br>$\text{cm}^4$     | $W_{x_0}$<br>$\text{cm}^3$ | $i_{x_0}$<br>$\text{cm}$ | $S_{x_0}$<br>$\text{cm}^3$ | $I_y$<br>$\text{cm}^4$ | $W_y$<br>$\text{cm}^2$ | $i_y$<br>$\text{cm}$ |
| 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 | 19,9                                   | 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/dm<sup>3</sup>

2. Ký hiệu qui ước thép chữ L, ví dụ thép chữ L có chiều cao 300 là L 30 TCVN 1655:1975

Bảng 1.7. Thép cán dạng chữ C



- $h$  – 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  
 $Z_0$  – Khoảng cách từ trọng tâm đến mép ngoài của bụng (thân)

THEO TCVN 1654 : 1975

|            | Đại lượng tra cứu cho trục        |                                   |                      |                                                   |                                      |                                   |                      | Z <sub>0</sub><br>cm |                                   |                                   |                      |                                   |                      |                                   |                                   |                      |
|------------|-----------------------------------|-----------------------------------|----------------------|---------------------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|----------------------|----------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|----------------------|-----------------------------------|----------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|----------------------|
|            | X – X                             |                                   |                      |                                                   | Y – Y                                |                                   |                      |                      |                                   |                                   |                      |                                   |                      |                                   |                                   |                      |
|            | I <sub>x</sub><br>cm <sup>4</sup> | W <sub>x</sub><br>cm <sup>3</sup> | i <sub>x</sub><br>cm | S <sub>x</sub><br>cm <sup>3</sup>                 | I <sub>y</sub><br>cm <sup>4</sup>    | W <sub>y</sub><br>cm <sup>2</sup> | i <sub>y</sub><br>cm |                      |                                   |                                   |                      |                                   |                      |                                   |                                   |                      |
| Số<br>hiệu | Kích thước, mm                    |                                   |                      | Diện tích<br>mặt cắt<br>ngang,<br>cm <sup>2</sup> | Khối<br>lượng 1m<br>chiều dài,<br>kg | Đại lượng tra cứu cho trục        |                      |                      |                                   |                                   |                      |                                   | Z <sub>0</sub><br>cm |                                   |                                   |                      |
|            | h                                 | b                                 | d                    |                                                   |                                      | t                                 | R                    | r                    | I <sub>x</sub><br>cm <sup>4</sup> | W <sub>x</sub><br>cm <sup>3</sup> | i <sub>x</sub><br>cm | S <sub>x</sub><br>cm <sup>3</sup> |                      | I <sub>y</sub><br>cm <sup>4</sup> | W <sub>y</sub><br>cm <sup>2</sup> | i <sub>y</sub><br>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                 |
| 14a        | 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                 |

Số hiệu

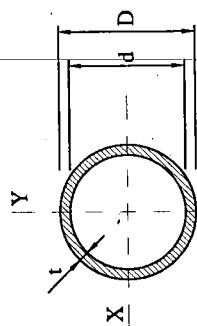
THƯ VIỆN  
HUBT

6,5

| Số hiệu | Kích thước, mm |     |     |      |      |     | Diện tích mặt cắt ngang, $\text{cm}^2$ | Khối lượng 1m chiều dài, kg | Đại lượng tra cứu cho trục |                       |            |                       |                       |                       |            | $Z_0$ , cm |
|---------|----------------|-----|-----|------|------|-----|----------------------------------------|-----------------------------|----------------------------|-----------------------|------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------------|------------|
|         |                |     |     |      |      |     |                                        |                             | X - X                      |                       |            | Y - Y                 |                       |                       |            |            |
|         | $h$            | $b$ | $d$ | $t$  | $R$  | $r$ |                                        |                             | $I_x$ , $\text{cm}^4$      | $W_x$ , $\text{cm}^3$ | $i_x$ , cm | $S_x$ , $\text{cm}^3$ | $I_y$ , $\text{cm}^4$ | $W_y$ , $\text{cm}^3$ | $i_y$ , cm |            |
| 16a     | 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       |
| 18      | 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       |
| 18a     | 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  $7,85\text{kg/dm}^3$   
 2. Ký hiệu qui ước thép chữ  $\square$ , ví dụ thép chữ  $\square$  có chiều cao 300 là  $\square$  30 TCVN 1655:1975

Bảng 1.8b. Thép ống tiêu chuẩn Nga (ГОСТ 10704 – 91)

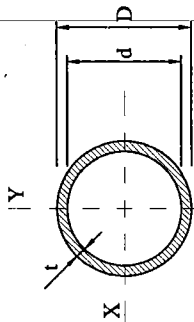


$D$  – Đường kính ngoài  
 $d$  – Đường kính trong  
 $t$  – Chiều dày ống  
 $I$  – Mô men quán tính  
 $W$  – Mô men kháng uốn  
 $i$  – Bán kính quán tính

| Kích thước, mm |     |  | Khối lượng 1m chiều dài, kg | Diện tích mặt cắt ngang, $cm^2$ | Đại lượng tra cứu     |                       |                     | Đại lượng tra cứu     |                       |                     |
|----------------|-----|--|-----------------------------|---------------------------------|-----------------------|-----------------------|---------------------|-----------------------|-----------------------|---------------------|
| $d$            | $t$ |  |                             |                                 | $I_x = I_y$<br>$cm^4$ | $W_x = W_y$<br>$cm^3$ | $i_x = i_y$<br>$cm$ | $I_x = I_y$<br>$cm^4$ | $W_x = W_y$<br>$cm^3$ | $i_x = i_y$<br>$cm$ |
| 56,5           | 3,5 |  | 5,2                         | 6,6                             | 29,74                 | 9,37                  | 2,12                |                       | 849,63                | 101,15              |
| 55,9           | 3,8 |  | 5,6                         | 7,1                             | 31,82                 | 10,02                 | 2,11                |                       | 926,20                | 110,26              |
| 63,0           | 3,5 |  | 5,7                         | 7,3                             | 40,46                 | 11,56                 | 2,35                |                       | 1001,33               | 119,21              |
| 62,4           | 3,8 |  | 6,2                         | 7,9                             | 43,36                 | 12,34                 | 2,34                |                       | 1147,31               | 136,59              |
| 62,0           | 4,0 |  | 6,5                         | 8,3                             | 45,25                 | 12,93                 | 2,34                |                       |                       |                     |
| 68,0           | 4,0 |  | 7,1                         | 9,0                             | 58,71                 | 15,45                 | 2,55                |                       | 1921,92               | 175,52              |
| 67,0           | 4,5 |  | 7,9                         | 10,1                            | 64,73                 | 17,04                 | 2,53                |                       | 2274,68               | 207,73              |
| 66,0           | 5,0 |  | 8,8                         | 11,1                            | 70,50                 | 18,55                 | 2,51                |                       | 2617,37               | 239,03              |
| 65,0           | 5,5 |  | 9,6                         | 12,2                            | 76,00                 | 20,00                 | 2,50                |                       | 2950,17               | 269,42              |
| 81,0           | 4,0 |  | 8,4                         | 10,7                            | 96,51                 | 21,69                 | 3,01                |                       | 3273,28               | 298,93              |
| 80,0           | 4,5 |  | 9,4                         | 11,9                            | 106,73                | 23,96                 | 2,99                |                       | 3586,89               | 327,57              |
| 79,0           | 5,0 |  | 10,4                        | 13,2                            | 116,58                | 26,20                 | 2,97                |                       | 4186,35               | 382,32              |
| 78,0           | 5,5 |  | 11,3                        | 14,4                            | 126,06                | 28,33                 | 2,96                |                       | 5168,09               | 378,61              |
|                |     |  |                             |                                 |                       |                       |                     | 273                   | 5841,30               | 427,93              |

| Kích thước, mm |       |     | Khối lượng 1m chiều dài, kg | Diện tích mặt cắt ngang, cm <sup>2</sup> | Đại lượng tra cứu              |                                |                   | Khối lượng 1m chiều dài, kg | Diện tích mặt cắt ngang, cm <sup>2</sup> | Đại lượng tra cứu              |                                |                   |
|----------------|-------|-----|-----------------------------|------------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------------------|-----------------------------|------------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------------------|
| D              | d     | t   |                             |                                          | $I_x = I_y$<br>cm <sup>4</sup> | $W_x = W_y$<br>cm <sup>3</sup> | $i_x = i_y$<br>cm |                             |                                          | $I_x = I_y$<br>cm <sup>4</sup> | $W_x = W_y$<br>cm <sup>3</sup> | $i_x = i_y$<br>cm |
| 102            | 94,0  | 4,0 | 9,7                         | 12,3                                     | 147,83                         | 28,99                          | 3,47              | 311,0                       | 69,0                                     | 8828,28                        | 543,28                         | 11,24             |
|                | 93,0  | 4,5 | 10,8                        | 13,8                                     | 163,85                         | 32,13                          | 3,45              | 309,0                       | 79,6                                     | 9996,09                        | 615,14                         | 11,20             |
|                | 92,0  | 5,0 | 12,0                        | 15,2                                     | 179,36                         | 35,17                          | 3,43              | 307,0                       | 89,3                                     | 11141,46                       | 658,63                         | 11,17             |
| 108            | 100   | 4,0 | 10,3                        | 13,1                                     | 176,64                         | 32,71                          | 3,68              | 414,0                       | 79,1                                     | 17429,05                       | 818,27                         | 14,84             |
|                | 99,0  | 4,5 | 11,5                        | 14,6                                     | 195,95                         | 36,29                          | 3,66              | 412,0                       | 92,1                                     | 20190,51                       | 947,91                         | 14,81             |
|                | 98,0  | 5,0 | 12,7                        | 16,2                                     | 214,68                         | 39,76                          | 3,64              | 426                         | 105,0                                    | 22912,05                       | 1075,68                        | 14,77             |
|                | 97,0  | 5,5 | 13,9                        | 17,7                                     | 232,85                         | 43,12                          | 3,63              | 408,0                       | 117,8                                    | 25594,05                       | 1201,60                        | 14,74             |
|                | 105,0 | 4,5 | 12,2                        | 15,5                                     | 231,99                         | 40,70                          | 3,87              | 406,0                       | 130,6                                    | 28236,90                       | 1325,68                        | 14,70             |
| 127            | 104,0 | 5,0 | 13,4                        | 17,1                                     | 254,36                         | 44,63                          | 3,86              | 530                         | 147,2                                    | 49908,13                       | 1883,33                        | 18,41             |
|                | 103,0 | 5,5 | 14,7                        | 18,7                                     | 276,09                         | 48,44                          | 3,84              |                             | 163,3                                    | 55138,72                       | 2080,71                        | 18,38             |
|                | 118,0 | 4,5 | 13,6                        | 17,3                                     | 324,71                         | 51,14                          | 4,33              |                             | 179,3                                    | 60308,13                       | 2275,78                        | 18,34             |
|                | 117,0 | 5,0 | 15,0                        | 19,2                                     | 356,50                         | 56,14                          | 4,31              |                             | 195,2                                    | 65416,85                       | 2468,56                        | 18,31             |
| 133            | 116,0 | 5,5 | 16,5                        | 21,0                                     | 387,50                         | 61,03                          | 4,30              | 616,0                       | 136,9                                    | 66359,50                       | 2106,65                        | 22,01             |
|                | 124,0 | 4,5 | 14,3                        | 18,2                                     | 374,75                         | 56,35                          | 4,54              | 614,0                       | 156,2                                    | 75477,77                       | 2396,12                        | 21,98             |
|                | 123,0 | 5,0 | 15,8                        | 20,1                                     | 411,67                         | 61,91                          | 4,53              | 612,0                       | 175,5                                    | 84507,37                       | 2682,77                        | 21,94             |
| 152            | 122,0 | 5,5 | 17,3                        | 22,0                                     | 447,70                         | 67,30                          | 4,51              | 630                         | 194,7                                    | 93448,88                       | 2966,63                        | 21,91             |
|                | 143,0 | 4,5 | 16,4                        | 20,8                                     | 566,60                         | 74,55                          | 5,21              | 608,0                       | 213,8                                    | 10230,287                      | 3247,71                        | 21,87             |
|                | 142,0 | 5,0 | 18,1                        | 23,1                                     | 623,32                         | 82,02                          | 5,20              | 606,0                       | 232,9                                    | 11106,992                      | 3526,03                        | 21,84             |
|                | 141,0 | 5,5 | 19,9                        | 25,3                                     | 678,85                         | 89,32                          | 5,18              |                             |                                          |                                |                                |                   |

Bảng 1.8a. Thép ống Việt Nam VINAPIPE



$D$  – Đường kính ngoài  
 $d$  – Đường kính trong  
 $t$  – Chiều dày ống  
 $I$  – Mô men quán tính  
 $W$  – Mô men kháng uốn  
 $i$  – Bán kính quán tính

| Kích thước, mm |      |     | Khối lượng 1m chiều dài, kg | Diện tích mặt cắt ngang, $cm^2$ | Đại lượng tra cứu     |                       |                     | Khối lượng 1m chiều dài, kg | Diện tích mặt cắt ngang, $cm^2$ | Đại lượng tra cứu     |                       |                     |
|----------------|------|-----|-----------------------------|---------------------------------|-----------------------|-----------------------|---------------------|-----------------------------|---------------------------------|-----------------------|-----------------------|---------------------|
| $d$            | $D$  | $t$ |                             |                                 | $I_x = I_y$<br>$cm^4$ | $W_x = W_y$<br>$cm^3$ | $i_x = i_y$<br>$cm$ |                             |                                 | $I_x = I_y$<br>$cm^4$ | $W_x = W_y$<br>$cm^3$ | $i_x = i_y$<br>$cm$ |
| 20             | 18,0 | 1,5 | 0,736                       | 0,8                             | 0,266                 | 0,296                 | 0,59                | 53,6                        | 2,9                             | 9,819                 | 3,664                 | 1,83                |
|                | 18,8 | 1,9 | 0,914                       | 1,0                             | 0,364                 | 0,387                 | 0,60                | 54,0                        | 3,3                             | 11,040                | 4,089                 | 1,84                |
|                | 19,0 | 2,0 | 0,947                       | 1,1                             | 0,391                 | 0,411                 | 0,60                | 55,2                        | 4,3                             | 14,869                | 5,387                 | 1,86                |
|                | 20,2 | 2,6 | 1,210                       | 1,4                             | 0,568                 | 0,562                 | 0,63                | 55,8                        | 4,8                             | 16,879                | 6,050                 | 1,87                |
|                | 23,0 | 1,5 | 0,940                       | 1,0                             | 0,587                 | 0,511                 | 0,76                | 57,2                        | 6,1                             | 21,829                | 7,633                 | 1,90                |
|                | 23,6 | 1,8 | 1,110                       | 1,2                             | 0,736                 | 0,624                 | 0,77                | 69,0                        | 4,2                             | 23,601                | 6,841                 | 2,37                |
| 25             | 24,2 | 2,1 | 1,280                       | 1,5                             | 0,897                 | 0,741                 | 0,78                | 70,0                        | 5,3                             | 30,181                | 8,623                 | 2,39                |
|                | 24,6 | 2,3 | 1,380                       | 1,6                             | 1,010                 | 0,822                 | 0,79                | 70,8                        | 6,2                             | 35,652                | 10,071                | 2,40                |
|                | 25,2 | 2,6 | 1,560                       | 1,8                             | 1,192                 | 0,946                 | 0,80                | 71,4                        | 6,9                             | 39,879                | 11,171                | 2,41                |
| 25             | 28,0 | 1,5 | 1,190                       | 1,2                             | 1,098                 | 0,784                 | 0,94                | 72,2                        | 7,8                             | 45,683                | 12,655                | 2,43                |
|                | 28,6 | 1,8 | 1,420                       | 1,5                             | 1,364                 | 0,954                 | 0,95                | 85,0                        | 6,5                             | 55,079                | 12,960                | 2,92                |

| Kích thước, mm |      |     | Khối lượng 1m chiều dài, kg | Diện tích mặt cắt ngang, $\text{cm}^2$ | Đại lượng tra cứu            |                              |                            | Khối lượng 1m chiều dài, kg | Diện tích mặt cắt ngang, $\text{cm}^2$ | Đại lượng tra cứu            |                              |                            |
|----------------|------|-----|-----------------------------|----------------------------------------|------------------------------|------------------------------|----------------------------|-----------------------------|----------------------------------------|------------------------------|------------------------------|----------------------------|
| $d$            | $D$  | $t$ |                             |                                        | $I_x = I_y$<br>$\text{cm}^4$ | $W_x = W_y$<br>$\text{cm}^3$ | $i_x = i_y$<br>$\text{cm}$ |                             |                                        | $I_x = I_y$<br>$\text{cm}^4$ | $W_x = W_y$<br>$\text{cm}^3$ | $i_x = i_y$<br>$\text{cm}$ |
|                | 29,0 | 2,0 | 1,570                       | 1,7                                    | 1,552                        | 1,070                        | 0,96                       |                             |                                        | 64,845                       | 15,115                       | 2,93                       |
|                | 29,6 | 2,3 | 1,790                       | 2,0                                    | 1,847                        | 1,284                        | 0,97                       |                             |                                        | 72,352                       | 16,748                       | 2,94                       |
|                | 30,2 | 2,6 | 1,980                       | 2,3                                    | 2,162                        | 1,432                        | 0,98                       |                             |                                        | 82,606                       | 18,946                       | 2,96                       |
|                | 31,4 | 3,2 | 2,410                       | 2,8                                    | 2,849                        | 1,815                        | 1,00                       |                             |                                        | 93,147                       | 21,170                       | 2,97                       |
|                | 35,0 | 1,5 | 1,520                       | 1,6                                    | 2,215                        | 1,266                        | 1,18                       |                             |                                        | 105,598                      | 20,114                       | 3,62                       |
|                | 35,6 | 1,8 | 1,810                       | 1,9                                    | 2,732                        | 1,535                        | 1,20                       |                             |                                        | 138,044                      | 25,941                       | 3,65                       |
|                | 36,0 | 2,0 | 2,000                       | 2,1                                    | 3,092                        | 1,718                        | 1,20                       | 100                         |                                        | 157,106                      | 29,311                       | 3,66                       |
|                | 36,6 | 2,3 | 2,260                       | 2,5                                    | 3,655                        | 1,997                        | 1,21                       |                             |                                        | 176,640                      | 32,711                       | 3,68                       |
|                | 37,2 | 2,6 | 2,540                       | 2,8                                    | 4,246                        | 2,283                        | 1,23                       |                             |                                        | 191,578                      | 35,281                       | 3,69                       |
|                | 38,4 | 3,2 | 3,100                       | 3,5                                    | 5,516                        | 2,873                        | 1,25                       |                             |                                        | 201,675                      | 37,005                       | 3,70                       |
|                | 43,0 | 1,5 | 1,730                       | 2,0                                    | 4,208                        | 1,957                        | 1,47                       |                             |                                        | 159,051                      | 26,508                       | 4,15                       |
|                | 43,6 | 1,8 | 2,070                       | 2,4                                    | 5,163                        | 2,368                        | 1,48                       |                             |                                        | 179,525                      | 29,772                       | 4,16                       |
|                | 44,0 | 2,0 | 2,290                       | 2,6                                    | 5,822                        | 2,646                        | 1,49                       | 115                         |                                        | 235,637                      | 38,566                       | 4,19                       |
|                | 45,0 | 2,5 | 2,830                       | 3,3                                    | 7,549                        | 3,355                        | 1,50                       |                             |                                        | 301,452                      | 48,621                       | 4,23                       |
|                | 45,8 | 2,9 | 3,230                       | 3,9                                    | 9,016                        | 3,937                        | 1,52                       |                             |                                        | 339,276                      | 54,284                       | 4,24                       |
|                | 46,4 | 3,2 | 3,570                       | 4,3                                    | 10,169                       | 4,383                        | 1,53                       |                             |                                        |                              |                              |                            |



**Bảng 1.9.** Cường độ kéo đứt tiêu chuẩn  $f_{wun}$  và cường độ tính toán  $f_{wf}$  của kim loại hàn trong mối hàn góc

Đơn vị tính : N/mm<sup>2</sup>

| Loại que hàn<br>theo TCVN 3223 : 1994 | Cường độ kéo đứt tiêu chuẩn $f_{wun}$ | Cường độ tính toán $f_{wf}$ |
|---------------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------|
| N42, N42 – 6B                         | 410                                   | 180                         |
| N46, N46 – 6B                         | 450                                   | 200                         |
| N50, N50 – 6B                         | 490                                   | 215                         |

**Bảng 1.10.** Cường độ tính toán chịu cắt  $f_{vb}$  và kéo  $f_{tb}$  của bu lông

Đơn vị tính : N/mm<sup>2</sup>

| Trạng thái<br>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 1.11.** Cường độ tính toán chịu ép mặt  $f_{cb}$  của bulông

Đơn vị tính: N/mm<sup>2</sup>

| Giới hạn bền kéo đứt của<br>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                  |



THƯ VIỆN  
HUBT

TÀI LIỆU PHỤC VỤ THAM KHẢO NỘI BỘ

**Bảng I.12. 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 <sup>2</sup> | Đường kính danh nghĩa của ren, mm | Mác thép | Độ bền kéo nhỏ nhất $f_{ub}$ , N/mm <sup>2</sup> |
|-----------------------------------|----------------------|--------------------------------------------------|-----------------------------------|----------|--------------------------------------------------|
| Từ 16 đến 27                      | 40 Cr                | 1100                                             | 36                                | 40Cr     | 750                                              |
|                                   | 38CrSi; 40CrVA       | 1350                                             |                                   | 30Cr3MoV | 1100                                             |
|                                   | 30Cr3MoV             | 1350                                             | 42                                | 40Cr     | 650                                              |
|                                   | 30Cr2NiMoVA          |                                                  |                                   | 30Cr3MoV | 1000                                             |
| 30                                | 40Cr                 | 950                                              | 48                                | 40Cr     | 600                                              |
|                                   | 30Cr3MoV;<br>35Cr2AV | 1200                                             |                                   | 30Cr3MoV | 900                                              |

**Bảng I.13. Các đặc trưng vật lý của thép**

| Các đặc trưng                                                                                                             | Giá trị               |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| 1. Khối lượng riêng $\rho$ kg/m <sup>3</sup>                                                                              |                       |
| – Thép cán và khối đúc bằng thép                                                                                          | 7850                  |
| – Khối đúc bằng gang                                                                                                      | 7200                  |
| 2. Hệ số giãn dài vì nhiệt $\alpha^\circ$ , C <sup>-1</sup>                                                               | 0,12.10 <sup>-4</sup> |
| 3. Mô đun đàn hồi E, N/mm <sup>2</sup>                                                                                    |                       |
| – Thép cán và khối đúc bằng thép                                                                                          | 2,1.10 <sup>5</sup>   |
| – Khối đúc bằng gang                                                                                                      | 0,85.10 <sup>6</sup>  |
| – Bó sợi thép song song                                                                                                   | 2,0.10 <sup>6</sup>   |
| – Cáp thép xoắn và cáp thép xoắn có lớp bọc ngoài                                                                         | 1,7.10 <sup>6</sup>   |
| 4. Mô đun trượt của thép và khối đúc bằng thép gang G, N/mm <sup>2</sup>                                                  | 0,81.10 <sup>6</sup>  |
| 5. Hệ số nở ngang (hệ số Poát xông)                                                                                       | 0,3                   |
| Ghi chú: Giá trị mô đun đàn hồi của cáp thép cho trong bảng ứng với khi lực kéo không bé hơn 60% lực kéo đứt của sợi cáp. |                       |

**Bảng 1.14.** Giá trị hệ số điều kiện làm việc  $\gamma_c$ 

| Loại cấu kiện                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | $\gamma_c$                |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|
| 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 má 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 $\lambda$ 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 :<br>a. Thanh chịu nén (trừ loại tiết diện ống kín) khi tính về ổn định<br>b. Thanh chịu kéo trong kết cấu hàn                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 0,95<br>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):<br>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 :<br>– Thanh xiên của hệ chữ thập có nút thuộc về thanh cánh ở hai mặt liên tiếp trùng nhau<br>– Thanh ngang của hệ tam giác có thanh đứng và hệ chữ K có nút thuộc về thanh cánh ở hai mặt liên tiếp trùng nhau<br>– Thanh xiên của hệ chữ thập hoặc tam giác có nút thuộc về thanh cánh ở hai mặt liên tiếp không trùng nhau và hệ chữ K có nút thuộc về thanh cánh ở hai mặt liên tiếp trùng nhau<br>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 | 0,9<br>0,9<br>0,8<br>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                       |
| <b>Ghi chú:</b> 1. Các hệ số điều kiện làm việc $\gamma_c < 1$ không được lấy đồng thời.<br>2. Các hệ số điều kiện làm việc $\gamma_c$ 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 I.15. Tỷ số độ võng trên nhịp giới hạn  $[\Delta/L]$  của cấu chịu uốn**

| Loại cấu kiện                                                                                              | $[\Delta/L]$ |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| <b>Dầm của sàn nhà và mái:</b>                                                                             |              |
| 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        |
| <b>Dầm có đường ray:</b>                                                                                   |              |
| 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        |
| <b>Xà gỗ:</b>                                                                                              |              |
| 1. Mái lợp ngói không đắp vữa, mái tẩm tôn nhỏ                                                             | 1/100        |
| 2. Mái lợp ngói có đắp vữa, mái tôn mũi và các mái khác                                                    | 1/200        |
| <b>Dầm hoặc dàn đỡ cấu trúc:</b>                                                                           |              |
| 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        |
| <b>Sườn tường:</b>                                                                                         |              |
| 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        |
| <b>Ghi chú:</b> L là nhịp của cấu kiện chịu uốn. Đối với dầm côngxon thì L lấy bằng 2 lần độ vươn của dầm. |              |

**Bảng I.16. Độ mảnh giới hạn  $[\lambda]$   
a) Độ mảnh giới hạn của các thanh chịu nén**

| Các thanh                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | $[\lambda]$                            |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|
| 1. Thanh cánh, thanh xiên và thanh đứng nhận phản lực gối:<br>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;<br>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 – 60 $\alpha$<br>120               |
| 2. Các thanh (trừ những thanh đã nêu ở mục 1 và 7):<br>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;<br>b) Cửa hệ mái lưới thanh không gian, hệ thanh không gian rỗng bằng thép góc đơn, dùng liên kết bulông.                                               | 210 – 60 $\alpha$<br>220 – 40 $\alpha$ |
| 3. Cánh trên của dàn không được tăng cường khi lắp ráp (khi đã lắp ráp lấy theo mục 1)                                                                                                                                                                                                                                                                               | 220                                    |
| 4. Cột chính                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 180 – 60 $\alpha$                      |
| 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 – 60 $\alpha$                      |
| 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                                    |
| <b>Ghi chú:</b> $\alpha = N / (\varphi A f_y)$ – Hệ số $\varphi$ lấy không nhỏ hơn 0,5 (khi nén lệch tâm, nén uốn thay $\varphi$ bằng $\varphi_e$ ).                                                                                                                                                                                                                 |                                        |

**Bảng I.16b.** Độ mảnh giới hạn của các thanh chịu kéo

| Các thanh                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | [1] 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                            | —    | —        |
| <b>Ghi chú:</b> 1. Trong các kết cấu không chịu tải trọng động chỉ cần kiểm tra độ mảnh của thanh trong mặt phẳng thẳng đứng.<br>2. Không hạn chế độ mảnh của thanh chịu kéo ứng lực trước.<br>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. |                                |      |          |

## Phụ lục II CÁC SỐ LIỆU ĐỂ TÍNH TOÁN ỔN ĐỊNH

**Bảng II.1. Hệ số uốn dọc  $\varphi$  của cấu kiện chịu nén đúng tâm**

| Độ mảnh<br>$\lambda$ | Hệ số $\varphi$ đối với các cấu kiện bằng thép có cường độ tính toán $f$ , N/mm <sup>2</sup> |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                      | 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 | 839 | 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 |

Chú thích: Trị số cho trong bảng đã được tăng lên 1000 lần

| Độ mạnh<br>quy ước | Hệ số $\varphi_n$ khi độ lệch tâm 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 | 4,5 | 5,0 | 5,5 | 6,0 | 6,5 | 7,0 | 8,0 | 9,0 | 10  | 12  | 14  | 17  | 20  |
| 0,5                | 967                                                   | 922  | 850 | 782  | 722 | 669  | 620 | 577  | 538 | 469 | 417 | 370 | 337 | 307 | 280 | 260 | 237 | 222 | 210 | 183 | 164 | 150 | 125 | 106 | 090 | 077 |
| 1,0                | 925                                                   | 854  | 787 | 711  | 653 | 600  | 563 | 520  | 484 | 427 | 382 | 341 | 307 | 283 | 259 | 240 | 225 | 209 | 196 | 175 | 157 | 142 | 121 | 103 | 086 | 074 |
| 1,5                | 875                                                   | 804  | 716 | 647  | 593 | 548  | 507 | 470  | 439 | 388 | 348 | 312 | 283 | 262 | 240 | 223 | 207 | 195 | 182 | 163 | 148 | 134 | 114 | 099 | 082 | 070 |
| 2,0                | 813                                                   | 742  | 653 | 587  | 536 | 496  | 457 | 425  | 397 | 352 | 315 | 286 | 260 | 240 | 222 | 206 | 193 | 182 | 170 | 153 | 138 | 125 | 107 | 094 | 079 | 067 |
| 2,5                | 742                                                   | 672  | 587 | 526  | 480 | 442  | 410 | 383  | 357 | 317 | 287 | 262 | 238 | 220 | 204 | 190 | 178 | 168 | 158 | 144 | 130 | 118 | 101 | 090 | 076 | 065 |
| 3,0                | 667                                                   | 597  | 520 | 465  | 425 | 395  | 365 | 342  | 320 | 287 | 260 | 238 | 217 | 202 | 187 | 175 | 166 | 156 | 147 | 135 | 123 | 112 | 097 | 086 | 073 | 063 |
| 3,5                | 587                                                   | 522  | 455 | 408  | 375 | 350  | 325 | 303  | 287 | 258 | 233 | 216 | 198 | 183 | 172 | 162 | 153 | 145 | 137 | 125 | 115 | 106 | 092 | 082 | 069 | 060 |
| 4,0                | 505                                                   | 447  | 394 | 356  | 330 | 309  | 289 | 270  | 256 | 232 | 212 | 197 | 181 | 168 | 158 | 149 | 140 | 135 | 127 | 118 | 108 | 098 | 088 | 078 | 066 | 057 |
| 4,5                | 418                                                   | 382  | 342 | 310  | 288 | 272  | 257 | 242  | 229 | 208 | 192 | 178 | 165 | 155 | 146 | 137 | 130 | 125 | 118 | 110 | 101 | 093 | 083 | 075 | 064 | 055 |
| 5,0                | 354                                                   | 326  | 295 | 273  | 253 | 239  | 225 | 215  | 205 | 188 | 175 | 162 | 150 | 143 | 135 | 126 | 120 | 117 | 111 | 103 | 095 | 088 | 079 | 072 | 062 | 053 |

| Độ mảnh<br>quy ước | Hệ số $\varphi_e$ khi độ lệch tâm tính đối $m_e$ bằng |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|--------------------|-------------------------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                    | 302                                                   | 280 | 256 | 240 | 224 | 212 | 200 | 192 | 184 | 170 | 185 | 148 | 138 | 132 | 124 | 117 | 112 | 108 | 104 | 095 |
| 5,5                | 051                                                   | 060 | 069 | 075 | 084 | 089 | 095 | 095 | 089 | 084 | 079 | 072 | 066 | 057 | 049 | 051 | 041 | 038 | 035 | 032 |
| 6,0                | 049                                                   | 057 | 066 | 072 | 079 | 084 | 089 | 089 | 084 | 079 | 072 | 066 | 057 | 049 | 041 | 038 | 035 | 032 | 029 | 027 |
| 6,5                | 047                                                   | 054 | 062 | 068 | 074 | 080 | 083 | 083 | 078 | 074 | 070 | 064 | 059 | 052 | 047 | 041 | 038 | 035 | 032 | 026 |
| 7,0                | 045                                                   | 052 | 059 | 064 | 070 | 074 | 078 | 078 | 074 | 070 | 066 | 061 | 055 | 051 | 048 | 043 | 038 | 035 | 032 | 026 |
| 8,0                | 041                                                   | 047 | 053 | 057 | 062 | 065 | 068 | 068 | 065 | 062 | 058 | 055 | 051 | 048 | 043 | 038 | 035 | 032 | 029 | 027 |
| 9,0                | 038                                                   | 043 | 048 | 051 | 055 | 058 | 061 | 061 | 058 | 055 | 052 | 049 | 046 | 043 | 039 | 035 | 032 | 029 | 027 | 026 |
| 10,0               | 035                                                   | 039 | 043 | 046 | 049 | 052 | 055 | 055 | 052 | 049 | 046 | 043 | 040 | 037 | 035 | 032 | 029 | 027 | 026 | 026 |
| 11,0               | 032                                                   | 035 | 038 | 040 | 044 | 046 | 048 | 048 | 046 | 044 | 041 | 039 | 038 | 036 | 034 | 032 | 029 | 027 | 026 | 026 |
| 12,0               | 029                                                   | 032 | 035 | 037 | 040 | 042 | 044 | 044 | 042 | 040 | 039 | 038 | 036 | 034 | 032 | 029 | 027 | 026 | 026 | 026 |
| 13,0               | 027                                                   | 030 | 033 | 035 | 037 | 038 | 039 | 039 | 038 | 037 | 036 | 035 | 034 | 033 | 032 | 031 | 030 | 029 | 028 | 027 |
| 14,0               | 026                                                   | 029 | 032 | 034 | 036 | 036 | 037 | 037 | 036 | 035 | 034 | 033 | 032 | 031 | 030 | 029 | 028 | 027 | 026 | 026 |

Chú thích: 1) Trị số  $\varphi_e$  trong bảng đã tăng lên 1000 lần; 2) Trị số  $\varphi_e$  lấy không lớn hơn  $\varphi$

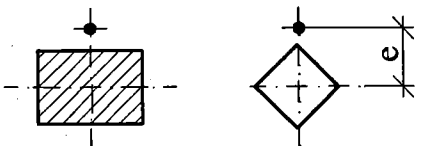
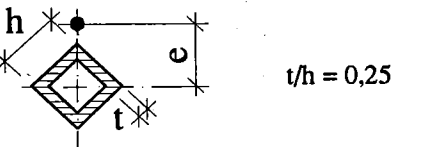
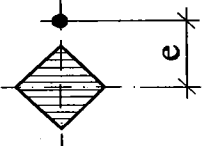
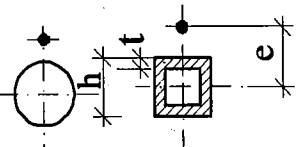
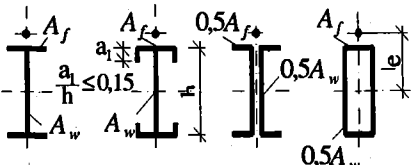
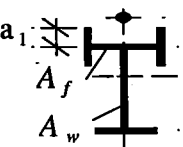
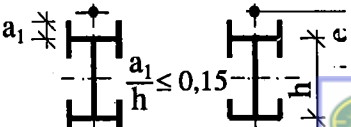


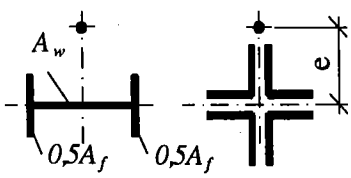
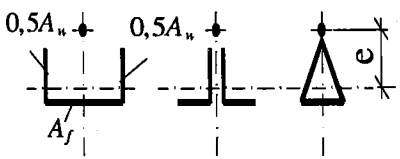
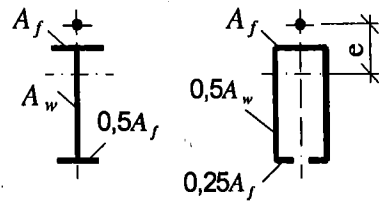
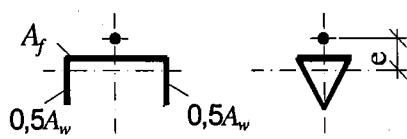
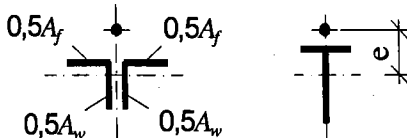
| Độ mảnh quy ước                              | Hệ số $\varphi_e$ khi độ lệch tâm tương đối m bằng |      |     |      |     |      |     |      |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |  |
|----------------------------------------------|----------------------------------------------------|------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--|
|                                              | 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 | 4,5 | 5,0 | 5,5 | 6,0 | 6,5 | 7,0 | 8,0 | 9,0 | 10  | 12  | 14  | 17  | 20  |  |
| $\bar{\lambda}_0 = \bar{\lambda} \sqrt{f/E}$ |                                                    |      |     |      |     |      |     |      |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |  |
| 0,5                                          | 908                                                | 800  | 666 | 571  | 500 | 444  | 400 | 364  | 333 | 286 | 250 | 222 | 200 | 182 | 167 | 154 | 143 | 133 | 125 | 111 | 100 | 091 | 077 | 067 | 056 | 048 |  |
| 1,0                                          | 872                                                | 762  | 640 | 553  | 483 | 431  | 378 | 351  | 328 | 280 | 243 | 218 | 197 | 180 | 165 | 151 | 142 | 131 | 121 | 109 | 098 | 090 | 077 | 066 | 055 | 046 |  |
| 1,5                                          | 830                                                | 727  | 600 | 517  | 454 | 407  | 367 | 336  | 311 | 271 | 240 | 211 | 190 | 178 | 163 | 149 | 137 | 128 | 119 | 108 | 096 | 088 | 077 | 065 | 053 | 045 |  |
| 2,0                                          | 774                                                | 673  | 556 | 479  | 423 | 381  | 346 | 318  | 293 | 255 | 228 | 202 | 183 | 170 | 156 | 143 | 132 | 125 | 117 | 106 | 095 | 086 | 076 | 064 | 052 | 045 |  |
| 2,5                                          | 708                                                | 608  | 507 | 439  | 391 | 354  | 322 | 297  | 274 | 238 | 215 | 192 | 175 | 162 | 148 | 136 | 127 | 120 | 113 | 103 | 093 | 083 | 074 | 062 | 051 | 044 |  |
| 3,0                                          | 637                                                | 545  | 455 | 399  | 356 | 324  | 296 | 275  | 255 | 222 | 201 | 182 | 165 | 153 | 138 | 130 | 121 | 116 | 110 | 100 | 091 | 081 | 071 | 061 | 051 | 043 |  |
| 3,5                                          | 562                                                | 480  | 402 | 355  | 320 | 294  | 270 | 251  | 235 | 206 | 187 | 170 | 155 | 143 | 130 | 123 | 115 | 110 | 106 | 096 | 088 | 078 | 069 | 059 | 050 | 042 |  |
| 4,0                                          | 484                                                | 422  | 357 | 317  | 388 | 264  | 246 | 228  | 215 | 191 | 173 | 160 | 145 | 133 | 124 | 118 | 110 | 105 | 100 | 093 | 084 | 076 | 067 | 057 | 049 | 041 |  |
| 4,5                                          | 415                                                | 365  | 313 | 281  | 258 | 237  | 223 | 207  | 196 | 176 | 160 | 149 | 136 | 124 | 116 | 110 | 105 | 100 | 096 | 089 | 079 | 073 | 065 | 055 | 048 | 040 |  |
| 5,0                                          | 350                                                | 315  | 277 | 250  | 230 | 212  | 201 | 186  | 178 | 161 | 149 | 138 | 127 | 117 | 108 | 104 | 100 | 095 | 092 | 086 | 076 | 071 | 062 | 054 | 047 | 039 |  |

| Độ mảnh<br>quy ước | Hệ số $\phi_e$ khi độ lệch tâm tương đối m bằng |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|--------------------|-------------------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                    | 300                                             | 273 | 245 | 223 | 203 | 192 | 182 | 172 | 163 | 147 | 137 | 128 | 118 | 110 | 102 | 098 | 095 | 091 | 087 | 081 | 074 | 068 | 059 | 052 | 046 | 039 |
| 5,5                |                                                 |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 6,0                | 255                                             | 237 | 216 | 198 | 183 | 174 | 165 | 156 | 149 | 135 | 126 | 119 | 109 | 103 | 097 | 093 | 090 | 085 | 083 | 077 | 070 | 065 | 056 | 051 | 045 | 038 |
| 6,5                | 221                                             | 208 | 190 | 178 | 165 | 157 | 149 | 142 | 137 | 124 | 117 | 109 | 102 | 097 | 092 | 088 | 085 | 080 | 077 | 072 | 066 | 061 | 054 | 050 | 044 | 037 |
| 7,0                | 192                                             | 184 | 168 | 160 | 150 | 141 | 135 | 130 | 125 | 114 | 108 | 101 | 095 | 091 | 087 | 083 | 079 | 076 | 074 | 068 | 063 | 058 | 051 | 047 | 043 | 036 |
| 8,0                | 148                                             | 142 | 136 | 130 | 123 | 118 | 113 | 108 | 105 | 097 | 091 | 085 | 082 | 079 | 077 | 073 | 070 | 067 | 065 | 060 | 065 | 052 | 048 | 044 | 041 | 035 |
| 9,0                | 117                                             | 114 | 110 | 107 | 102 | 098 | 094 | 090 | 187 | 082 | 079 | 075 | 072 | 069 | 067 | 064 | 062 | 059 | 056 | 053 | 050 | 048 | 045 | 042 | 039 | 035 |
| 10,0               | 097                                             | 094 | 091 | 090 | 087 | 084 | 080 | 076 | 073 | 070 | 067 | 064 | 062 | 060 | 058 | 056 | 054 | 052 | 050 | 047 | 045 | 043 | 041 | 038 | 036 | 033 |
| 11,0               | 082                                             | 078 | 077 | 076 | 073 | 071 | 068 | 066 | 064 | 060 | 058 | 056 | 054 | 053 | 052 | 050 | 048 | 046 | 044 | 043 | 042 | 041 | 038 | 035 | 032 | 030 |
| 12,0               | 068                                             | 066 | 064 | 063 | 061 | 060 | 058 | 057 | 056 | 054 | 053 | 050 | 049 | 048 | 047 | 045 | 043 | 042 | 040 | 039 | 038 | 037 | 034 | 032 | 030 | 028 |
| 13,0               | 060                                             | 059 | 054 | 053 | 052 | 051 | 050 | 049 | 049 | 048 | 047 | 046 | 045 | 044 | 042 | 042 | 041 | 040 | 038 | 037 | 036 | 035 | 032 | 030 | 028 | 026 |
| 14,0               | 050                                             | 049 | 048 | 047 | 046 | 046 | 045 | 044 | 043 | 043 | 042 | 042 | 041 | 041 | 040 | 039 | 039 | 038 | 037 | 036 | 035 | 034 | 031 | 029 | 027 | 025 |

Chú thích: 1) Trị số  $\phi_e$  trong bảng đã tăng lên 1000 lần; 2) Trị số  $\phi_e$  lấy không lớn hơn  $\phi$

Bảng II.4. Hệ số ảnh hưởng của hình dạng tiết diện  $\eta$ 

| Loại tiết diện | Sơ đồ tiết diện                                                                                       | $\frac{A_f}{A_w}$ | Giá trị $\eta$ khi                                 |                                               |                                               |                 |
|----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|----------------------------------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------------------------|-----------------|
|                |                                                                                                       |                   | $0 \leq \bar{\lambda} \leq 5$                      |                                               | $\bar{\lambda} > 5$                           |                 |
|                |                                                                                                       |                   | $0,1 \leq m \leq 5$                                | $5 < m \leq 20$                               | $0,1 \leq m \leq 5$                           | $5 < m \leq 20$ |
| 1              |                      | -                 | 1,0                                                | 1,0                                           | 1,0                                           |                 |
| 2              |  $t/h = 0,25$        | -                 | 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                                          |                 |
|                |                                                                                                       | $\geq 1,0$        | $(1,90 - 0,1m) - 0,02(6-m) \bar{\lambda}$          | $1,4 - 0,02 \bar{\lambda}$                    | 1,3                                           |                 |
| 6              |  $a_1/h = 0,15$    | -                 | $\eta_5 \left[ 1 - 0,3(5-m) \frac{a_1}{h} \right]$ | $\eta_5$                                      | $\eta_5$                                      |                 |
| 7              |  $a_1/h \leq 0,15$ | s                 | $\eta_5 \left( 1 - 0,8 \frac{a_1}{h} \right)$      | $\eta_5 \left( 1 - 0,8 \frac{a_1}{h} \right)$ | $\eta_5 \left( 1 - 0,8 \frac{a_1}{h} \right)$ |                 |

| Loại tiết diện | Sơ đồ tiết diện                                                                     | $\frac{A_f}{A_w}$ | Giá trị $\eta$ khi                     |                 |                     |                 |
|----------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|----------------------------------------|-----------------|---------------------|-----------------|
|                |                                                                                     |                   | $0 \leq \bar{\lambda} \leq 5$          |                 | $\bar{\lambda} > 5$ |                 |
|                |                                                                                     |                   | $0,1 \leq m \leq 5$                    | $5 < m \leq 20$ | $0,1 \leq m \leq 5$ | $5 < m \leq 20$ |
| 8              |    | 0,25              | $(0,75+0,05m)+0,01(5-m) \bar{\lambda}$ | 1,0             | 1,0                 |                 |
|                |                                                                                     | 0,5               | $(0,5+0,1m)+0,02(5-m) \bar{\lambda}$   | 1,0             | 1,0                 |                 |
|                |                                                                                     | $\geq 1,0$        | $(0,25+0,15m)+0,03(5-m) \bar{\lambda}$ | 1,0             | 1,0                 |                 |
| 9              |    | 0,5               | $(1,25-0,05m)-0,01(5-m) \bar{\lambda}$ | 1,0             | 1,0                 |                 |
|                |                                                                                     | $\geq 1,0$        | $(1,5-0,1m)-0,02(5-m) \bar{\lambda}$   | 1,0             | 1,0                 |                 |
| 10             |   | 0,5               | 1,4                                    | 1,4             | 1,4                 | 1,4             |
|                |                                                                                     | 1,0               | $1,6-0,01(5-m) \bar{\lambda}$          | 1,6             | $1,35+0,05m$        | 1,6             |
|                |                                                                                     | 2,0               | $1,8-0,02(5-m) \bar{\lambda}$          | 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               | $2,0 + 0,25m + 0,1 \bar{\lambda}$      | —               | —                   | —               |
|                |                                                                                     | 2,0               | $3,0 + 0,25m + 0,1 \bar{\lambda}$      | —               | —                   | —               |

Chú thích: 1) Với các loại tiết diện từ 5 đến 7 khi tính tỷ số  $A_f/A_w$  không tính đến phần cánh đặt thẳng đứng.

2) Đối với các loại tiết diện 6 đến 7 giá trị  $\eta_s$  lấy bằng giá trị  $\eta$  của các loại tiết diện 5 tương ứng với tỷ số của  $A_f/A_w$

**Bảng II.5. 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)                                                    | Niutơn<br>Kilô Niutơn<br>Mêga Niutơn            | N<br>kN<br>MN                  | $1 \text{ kG} = 9,81 \text{ N} \approx 1 \text{ daN} = 10 \text{ N}$<br>$1 \text{ kN} = 100 \text{ daN} = 1 \text{ 000 N}$<br>$1 \text{ T} = 9,81 \text{ kN} \approx 10 \text{ kN} = 1 \text{ 000 daN}$<br>$1 \text{ MN} = 1 \text{ 000 000 N}$                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| Mômen                                    | kGm<br>Tm                                                    | Niutơn mét<br>Kilô Niutơn mét                   | Nm<br>kNm                      | $1 \text{ kGm} = 9,81 \text{ Nm} \approx 1 \text{ daNm} = 10 \text{ Nm}$<br>$1 \text{ Tm} = 9,81 \text{ kNm} \approx 10 \text{ kNm}$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| Ứng suất;<br>Cường độ;<br>Mô đun đàn hồi | kG/mm <sup>2</sup><br>kG/cm <sup>2</sup><br>T/m <sup>2</sup> | Niutơn/mm <sup>2</sup><br>Pascan<br>Mêga Pascan | N/mm <sup>2</sup><br>Pa<br>MPa | $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2 \approx 0,1 \text{ kG/m}^2$<br>$1 \text{ kPa} = 1 \text{ 000 Pa} = 1 \text{ 000 N/m}^2 = 100 \text{ kG/m}^2$<br>$1 \text{ MPa} = 1 \text{ 000 000 Pa} = 1 \text{ 000 kPa} \approx 100 \text{ 000 kG/m}^2 = 10 \text{ kG/cm}^2$<br>$1 \text{ MPa} = 1 \text{ N/mm}^2$<br>$1 \text{ kG/mm}^2 = 9,81 \text{ N/mm}^2$<br>$1 \text{ kG/cm}^2 = 9,81 \times 10^4 \text{ N/m}^2 \approx 0,1 \text{ MN/m}^2 = 0,1 \text{ MPa}$<br>$1 \text{ kG/m}^2 = 9,81 \text{ N/m}^2 = 9,81 \text{ Pa} \approx 10 \text{ N/m}^2 = \text{daN/m}^2$ |

# MỤC LỤC

|                                            | Trang |
|--------------------------------------------|-------|
| LỜI NÓI ĐẦU .....                          | 3     |
| Các kí hiệu chính sử dụng trong sách ..... | 4     |

## **Chương mở đầu** **ĐẠI CƯƠNG VỀ KẾT CẤU THÉP**

|                                                   |    |
|---------------------------------------------------|----|
| §1. Ưu điểm và khuyết điểm của kết cấu thép ..... | 7  |
| §2. Phạm vi ứng dụng .....                        | 8  |
| §3. Yêu cầu đối với kết cấu thép .....            | 10 |

## **Chương 1** **VẬT LIỆU VÀ SỰ LÀM VIỆC CỦA KẾT CẤU THÉP**

|                                                                 |    |
|-----------------------------------------------------------------|----|
| §1.1. Thép xây dựng .....                                       | 13 |
| 1. Phân loại thép xây dựng .....                                | 13 |
| 2. Cấu trúc và thành phần hóa học của thép .....                | 15 |
| 3. Các mức thép dùng trong xây dựng .....                       | 16 |
| §1.2. Sự làm việc của thép chịu tải trọng .....                 | 19 |
| 1. Sự làm việc chịu kéo của thép .....                          | 19 |
| 2. Sự phá hoại giòn của thép .....                              | 23 |
| 3. Độ dai va đập .....                                          | 28 |
| §1.3. Quy cách thép cán dùng trong xây dựng .....               | 29 |
| 1. Thép hình .....                                              | 29 |
| 2. Thép tấm .....                                               | 33 |
| 3. Thép hình dẹt, cán nguội .....                               | 33 |
| §1.4. Phương pháp tính kết cấu thép .....                       | 34 |
| 1. Phương pháp tính kết cấu thép theo trạng thái giới hạn ..... | 34 |
| 2. Cường độ tiêu chuẩn và cường độ tính toán .....              | 36 |
| 3. Tải trọng và tác động .....                                  | 38 |

|                                                     |    |
|-----------------------------------------------------|----|
| §1.5. Tính toán cấu kiện .....                      | 40 |
| 1. Cấu kiện chịu kéo đúng tâm.....                  | 40 |
| 2. Cấu kiện chịu uốn .....                          | 41 |
| 3. Cấu kiện nén đúng tâm .....                      | 43 |
| 4. Cấu kiện chịu kéo lệch tâm và nén lệch tâm ..... | 45 |

## Chương 2

### LIÊN KẾT

|                                                                                |    |
|--------------------------------------------------------------------------------|----|
| A. LIÊN KẾT HÀN.....                                                           | 50 |
| §2.1. Các phương pháp hàn trong kết cấu thép .....                             | 50 |
| 1. Hàn hồ quang điện bằng tay .....                                            | 50 |
| 2. Hàn hồ quang điện tự động và nửa tự động dưới lớp thuốc hàn .....           | 51 |
| 3. Hàn hồ quang điện trong lớp khí bảo vệ.....                                 | 52 |
| 4. Hàn hơi.....                                                                | 53 |
| 5. Các yêu cầu chính khi hàn và phương pháp kiểm tra chất lượng đường hàn..... | 53 |
| §2.2. Các loại đường hàn và cường độ tính toán .....                           | 54 |
| 1. Các loại đường hàn .....                                                    | 54 |
| 2. Các cách phân loại đường hàn khác .....                                     | 60 |
| §2.3. Các loại liên kết hàn và phương pháp tính toán .....                     | 62 |
| 1. Liên kết đối đầu.....                                                       | 62 |
| 2. Liên kết ghép chồng dùng đường hàn góc .....                                | 65 |
| 3. Liên kết có bản ghép.....                                                   | 69 |
| 4. Liên kết hỗn hợp .....                                                      | 70 |
| 5. Tính toán liên kết hàn với đường hàn góc chịu mômen và lực cắt .....        | 71 |
| §2.4. Ứng suất hàn và biến hình hàn .....                                      | 73 |
| 1. Sự phát sinh ứng suất hàn và biến hình hàn.....                             | 73 |
| 2. Các biện pháp làm giảm ứng suất hàn và biến hình hàn .....                  | 75 |
| B. LIÊN KẾT BULÔNG .....                                                       | 76 |
| §2.5. Các loại bulông dùng trong kết cấu thép.....                             | 76 |
| 1. Cấu tạo chung của bulông .....                                              | 76 |
| 2. Bulông thô và bulông thường.....                                            | 77 |
| 3. Bulông tinh .....                                                           | 78 |
| 4. Bulông cường độ cao.....                                                    | 78 |

|                                                                                       |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| §2.6. Sự làm việc của liên kết bulông và khả năng chịu lực của bulông .....           | 79  |
| 1. Sự làm việc chịu trượt của liên kết bulông thô, bulông thường và bulông tinh ..... | 79  |
| 2. Sự làm việc chịu trượt của liên kết bulông cường độ cao .....                      | 82  |
| 3. Sự làm việc của bulông khi chịu kéo .....                                          | 84  |
| §2.7. Cấu tạo của liên kết bulông .....                                               | 85  |
| 1. Các hình thức cấu tạo của liên kết bulông .....                                    | 85  |
| 2. Bố trí bulông .....                                                                | 87  |
| 3. Phương pháp xiết bulông thường và bulông cường độ cao .....                        | 89  |
| §2.8. Tính toán liên kết bulông .....                                                 | 90  |
| 1. Tính liên kết bulông khi chịu lực trục .....                                       | 90  |
| 2. Tính toán liên kết bulông chịu kéo .....                                           | 93  |
| 3. Tính toán liên kết bulông chịu mômen và lực cắt .....                              | 93  |
| 4. Ký hiệu bulông, đính tán trên bản vẽ .....                                         | 95  |
| C. LIÊN KẾT ĐÍNH TÁN .....                                                            | 99  |
| §2.9. Đại cương về liên kết đính tán .....                                            | 99  |
| 1. Cấu tạo của đính tán và liên kết đính tán .....                                    | 99  |
| 2. Phương pháp tạo lỗ đính tán .....                                                  | 100 |
| 3. Các hình thức liên kết đính tán .....                                              | 101 |
| §2.10. Sự làm việc và cách tính liên kết đính tán .....                               | 101 |
| 1. Sự làm việc của đính tán khi chịu cắt và ép mặt .....                              | 101 |
| 2. Sự làm việc của liên kết đính tán khi chịu kéo .....                               | 102 |
| 3. Liên kết đính tán chịu mômen và lực cắt .....                                      | 102 |

### Chương 3

### DÀM THÉP

|                                            |     |
|--------------------------------------------|-----|
| §3.1. Đại cương về dầm và hệ dầm .....     | 103 |
| 1. Phân loại dầm .....                     | 103 |
| 2. Hệ dầm thép .....                       | 105 |
| 3. Cấu tạo và tính toán bản sàn thép ..... | 108 |
| §3.2. Các kích thước chính của dầm .....   | 112 |
| 1. Chiều dài dầm, nhịp dầm .....           | 112 |
| 2. Chiều cao của tiết diện dầm .....       | 114 |



|                                                                          |     |
|--------------------------------------------------------------------------|-----|
| §3.3. Thiết kế dầm thép hình .....                                       | 117 |
| 1. Chọn tiết diện dầm hình .....                                         | 117 |
| 2. Kiểm tra tiết diện dầm đã chọn theo điều kiện cường độ .....          | 118 |
| 3. Kiểm tra độ cứng (độ võng) của dầm .....                              | 121 |
| 4. Kiểm tra ổn định tổng thể của dầm hình .....                          | 121 |
| §3.4. Thiết kế dầm tổ hợp .....                                          | 123 |
| 1. Chọn tiết diện dầm .....                                              | 124 |
| 2. Kiểm tra độ bền, độ võng và ổn định của dầm tổ hợp .....              | 128 |
| 3. Thay đổi tiết diện dầm theo chiều dài dầm .....                       | 133 |
| §3.5. Ổn định tổng thể của dầm thép .....                                | 136 |
| 1. Hiện tượng và nguyên nhân .....                                       | 136 |
| 2. Tính toán dầm theo điều kiện ổn định tổng thể (chống oằn ngang) ..... | 136 |
| §3.6. Ổn định cục bộ của bản cánh, bản bụng dầm tổ hợp .....             | 139 |
| 1. Ổn định cục bộ của bản cánh nén .....                                 | 140 |
| 2. Mất ổn định cục bộ của bản bụng dầm .....                             | 141 |
| §3.7. Cấu tạo và tính toán các chi tiết của dầm .....                    | 149 |
| 1. Liên kết cánh dầm với bản bụng .....                                  | 149 |
| 2. Cấu tạo và tính toán mối nối dầm .....                                | 152 |
| 3. Cấu tạo và tính toán phần đầu dầm, gối dầm .....                      | 160 |
| §3.8. Dầm khoét lỗ trên bản bụng .....                                   | 167 |
| 1. Khái niệm chung, đặc điểm làm việc .....                              | 167 |
| 2. Tính toán dầm khoét lỗ .....                                          | 169 |

## Chương 4

## CỘT THÉP

|                                                             |     |
|-------------------------------------------------------------|-----|
| §4.1. Khái quát chung .....                                 | 175 |
| 1. Đặc điểm chung .....                                     | 175 |
| 2. Các loại cột .....                                       | 175 |
| 3. Sơ đồ tính, chiều dài tính toán và độ mảnh của cột ..... | 176 |
| §4.2. Cột đặc chịu nén đúng tâm .....                       | 180 |
| 1. Hình thức tiết diện .....                                | 180 |
| 2. Tính toán cột đặc chịu nén đúng tâm .....                | 182 |
| 3. Xác định tiết diện cột đặc chịu nén đúng tâm .....       | 187 |

|                                                                |     |
|----------------------------------------------------------------|-----|
| §4.3. Cột rỗng chịu nén đúng tâm .....                         | 191 |
| 1. Cấu tạo thân cột.....                                       | 191 |
| 2. Sự làm việc của cột rỗng .....                              | 194 |
| 3. Tính toán cột rỗng chịu nén đúng tâm .....                  | 202 |
| 4. Xác định thân cột rỗng chịu nén đúng tâm .....              | 203 |
| §4.4. Cột chịu nén lệch tâm, nén uốn.....                      | 214 |
| 1. Cấu tạo.....                                                | 214 |
| 2. Tính toán cột đặc chịu nén lệch tâm, nén uốn .....          | 215 |
| 3. Xác định tiết diện cột đặc chịu nén lệch tâm, nén uốn ..... | 225 |
| 4. Tính toán cột rỗng chịu nén lệch tâm, nén uốn.....          | 229 |
| 5. Xác định thân cột rỗng chịu nén lệch tâm, nén uốn.....      | 232 |
| §4.5. Cấu tạo và tính toán các chi tiết của cột .....          | 237 |
| 1. Đầu cột và liên kết xà ngang vào cột .....                  | 237 |
| 2. Chân cột.....                                               | 240 |

## Chương 5 GIÀN THÉP

|                                                |     |
|------------------------------------------------|-----|
| §5.1. Đại cương về giàn thép .....             | 247 |
| 1. Phân loại giàn.....                         | 247 |
| 2. Hình dạng giàn .....                        | 250 |
| 3. Hệ thanh bụng của giàn .....                | 252 |
| 4. Kích thước chính của giàn .....             | 254 |
| 5. Hệ giằng không gian .....                   | 255 |
| §5.2. Tính toán giàn.....                      | 256 |
| 1. Các giả thiết khi tính giàn .....           | 256 |
| 2. Tải trọng tác dụng lên giàn.....            | 256 |
| 3. Nội lực.....                                | 257 |
| 4. Chiều dài tính toán các thanh giàn.....     | 258 |
| 5. Tiết diện hợp lý của các thanh giàn .....   | 260 |
| 6. Chọn và kiểm tra tiết diện thanh giàn ..... | 261 |
| §5.3. Cấu tạo và tính toán nút giàn .....      | 264 |
| 1. Nguyên tắc chung .....                      | 264 |
| 2. Nút gối .....                               | 264 |
| 3. Nút trung gian.....                         | 266 |

|         |                                                                   |     |
|---------|-------------------------------------------------------------------|-----|
| 4.      | Nút đỉnh .....                                                    | 268 |
| 5.      | Nút giữa giàn cánh dưới .....                                     | 270 |
| 6.      | Nút có nối thanh cánh .....                                       | 271 |
| 7.      | Các cấu tạo khác của giàn .....                                   | 272 |
| §5.4.   | Các loại giàn khác .....                                          | 273 |
| 1.      | Giàn nhẹ .....                                                    | 273 |
| 2.      | Giàn nặng .....                                                   | 274 |
| 3.      | Giàn thép ống .....                                               | 274 |
| Phụ lục | .....                                                             | 281 |
|         | <i>Phụ lục I. Những quy chuẩn để tính toán kết cấu thép</i> ..... | 281 |
|         | <i>Phụ lục II. Các số liệu để tính toán ổn định</i> .....         | 305 |

PHẠM VĂN HỘI (Chủ biên) - NGUYỄN QUANG VIÊN  
PHẠM VĂN TƯ - LƯU VĂN TƯỜNG

# KẾT CẤU THÉP CẤU KIỆN CƠ BẢN

*Chịu trách nhiệm xuất bản:* PHẠM NGỌC KHÔI

*Biên tập:* LÊ THANH ĐỊNH, LÊ THANH NGÀ

*Trình bày bìa:* TRỊNH THÙY DƯƠNG

**NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC VÀ KỸ THUẬT**  
**70 Trần Hưng Đạo, Hà Nội**

---

In 800 cuốn, khổ 19x27 cm, tại Công ty In Trần Công.

Số đăng ký KHXB: 384 - 2013/CXB/373-20/KHKT.

Quyết định XB số: 166/QĐXB-NXBKHKT, ngày 22 tháng 8 năm 2013.

In xong và nộp lưu chiểu tháng 9 năm 2013.





# 1

## NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC VÀ KỸ THUẬT

Xin trân trọng giới thiệu cùng bạn đọc bộ sách về  
Kết cấu thép của Bộ môn Công trình thép gỗ  
Trường Đại học Xây dựng

### SÁCH ĐÃ XUẤT BẢN:

1. Kết cấu thép - Cấu kiện cơ bản
2. Kết cấu thép công trình dân dụng và công nghiệp
3. Thiết kế kết cấu thép nhà công nghiệp
4. Kết cấu liên hợp thép bê tông
5. Kết cấu thép nhà dân dụng và công nghiệp

## KẾT CẤU THÉP

CẤU KIỆN CƠ BẢN

TRUNG TÂM PHÁT HÀNH - NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC VÀ KỸ THUẬT

70 Trần Hưng Đạo - Quận Hoàn Kiếm - Hà Nội  
Điện thoại: 04. 3822 0686 \* Fax: 04. 3822 0686



THƯ VIỆN  
HUBT

TÀI LIỆU PHỤC VỤ THAM KHẢO NỘI BỘ

213168 B04



118 000