

TCVN *1-5:2022x**

THIẾT KẾ KẾT CẤU NHÔM – PHẦN 1-5: KẾT CẤU VỎ

Design of aluminium structures – Part 1-5: Shell structures

DỰ THẢO

Hà Nội - 2022

Lời nói đầu

TCVN ***1-5:202x được xây dựng trên cơ sở tham khảo EN 1999-1-5:2007 *Design of aluminium structures – Part 1-5: Shell structures*.

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

Mục lục

Lời nói đầu.....	3
1. Quy định chung.....	9
1.1 Phạm vi.....	9
1.1.1 Phạm vi của TCVN XXXX.....	9
1.1.2 Phạm vi của TCVN ***1-5.....	10
1.2 Tài liệu tham khảo.....	11
1.3 Thuật ngữ và định nghĩa.....	12
1.3.1 Các dạng kết cấu.....	12
1.3.2 Các định nghĩa đặc biệt cho tính toán oằn.....	14
1.4 Ký hiệu.....	14
1.5 Quy ước dấu.....	19
1.6 Hệ tọa độ.....	19
2 Cơ sở thiết kế.....	22
2.1 Quy định chung.....	22
2.2 Phân loại cấp hậu quả và cấp thi công.....	22
3 Vật liệu và hình học.....	22
3.1 Tính chất vật liệu.....	22
3.2 Giá trị thiết kế của dữ liệu hình học.....	22
3.3 Dung sai hình học và sự không hoàn chỉnh hình học.....	23
4 Độ bền lâu.....	23
5 Phân tích kết cấu.....	23
5.1 Hình học.....	23
5.2 Điều kiện biên.....	24
5.3 Tải trọng và tác động.....	25
5.4 Hợp lực từ các ứng suất thành phần.....	26
5.5 Các loại phân tích.....	26
6 Trạng thái giới hạn cực hạn.....	28
6.1 Sức kháng của tiết diện ngang.....	28
6.1.1 Giá trị thiết kế của ứng suất.....	28
6.1.2 Giá trị thiết kế của sức kháng.....	28
6.1.3 Giới hạn ứng suất.....	29
6.1.4 Thiết kế bằng phân tích số.....	29
6.2 Sức kháng oằn.....	30
6.2.1 Quy định chung.....	30

6.2.2 Dung sai hình học liên quan đến oằn.....	31
6.2.3 Vỏ chịu nén và cắt.....	32
6.2.4 Ảnh hưởng của hàn.....	35
6.2.5 Thiết kế bằng phân tích số	38
7 Trạng thái giới hạn sử dụng	39
7.1 Quy định chung.....	39
7.2 Vỡng	39
Phụ lục A (quy định) Các biểu thức cho phân tích oằn vỏ	40
A.1 Vỏ trụ không được tăng cứng có chiều dày thành không đổi.....	40
A.1.1 Ký hiệu và các điều kiện biên.....	40
A.1.2 Nén kinh tuyến (dọc trục)	40
A.1.3 Nén theo phương chu tuyến (vòng).....	43
A.1.4 Lực cắt.....	45
A.1.5 Nén theo phương kinh tuyến (dọc trục) với áp lực trong đồng thời	46
A.1.6 Tổ hợp nén kinh tuyến (dọc trục), nén theo phương chu tuyến (vòng) và cắt.....	48
A.2 Vỏ trụ không được tăng cứng có chiều dày thành tường dạng bậc thang	49
A.2.1 Quy định chung.....	49
A.2.2 Nén theo phương kinh tuyến (dọc trục).....	50
A.2.3 Nén theo phương chu tuyến (vòng).....	51
A.2.4 Lực cắt.....	54
A.3 Vỏ trụ nổi chông không có sườn cứng.....	55
A.3.1 Quy định chung.....	55
A.3.2 Nén theo phương kinh tuyến (dọc trục).....	55
A.3.3 Nén theo phương chu tuyến (vòng).....	56
A.3.4 Lực cắt.....	56
A.4 Vỏ hình nón không có sườn cứng	56
A.4.1 Quy định chung.....	56
A.4.2 Ứng suất oằn thiết kế.....	57
A.4.3 Kiểm tra cường độ kháng oằn.....	58
A.5 Vỏ trụ có sườn cứng có chiều dày thành không đổi.....	59
A.5.1 Quy định chung.....	59
A.5.2 Tường đẳng hướng có sườn cứng	59
A.5.3 Tường đẳng hướng có sườn cứng theo phương chu tuyến.....	61
A.5.4 Tường lượn sóng theo phương chu tuyến với các sườn cứng theo phương kinh tuyến .	61
A.5.5 Tường lượn sóng theo phương dọc trục có sườn cứng vòng	66
A.5.6 Tường có sườn cứng được coi là vỏ trực giao.....	67
A.5.7 Đặc trưng trực giao tương đương của tấm lượn sóng	70

A.6 Vỏ hình cầu không được tăng cứng dưới tác dụng nén đều quanh chu tuyến	71
A.6.1 Ký hiệu và các điều kiện biên	71
A.6.2 Các ứng suất oằn tới hạn	72
A.6.3 Tham số oằn chu tuyến	72
Phụ lục B (tham khảo) Các biểu thức cho phân tích oằn của vỏ dạng đỉnh hình nón và đỉnh hình cầu	74
B.1 Quy định chung	74
B.2 Ký hiệu và điều kiện biên	74
B.3 Áp lực ngoài.....	75
B.3.1 Áp lực ngoài tới hạn	75
B.3.2 Áp lực ngoài giới hạn nén đều.....	76
B.3.3 Tham số oằn do áp lực ngoài	77
B.4 Áp lực trong	78
B.4.1 Áp lực trong tới hạn	78
B.4.2 Áp lực trong giới hạn nén đều	79
B.4.3 Thông số oằn do áp lực trong	80

Thiết kế kết cấu nhôm – Phần 1-5: Kết cấu vỏ

Design of aluminium structures – Part 1-5: Shell structures

1. Quy định chung

1.1 Phạm vi

1.1.1 Phạm vi của TCVN XXXX

(1)P TCVN XXXX áp dụng cho thiết kế nhà, các công trình kỹ thuật dân dụng và các kết cấu bằng nhôm. Tiêu chuẩn này tuân thủ các nguyên tắc và yêu cầu về an toàn và giới hạn sử dụng của kết cấu, cơ sở thiết kế và kiểm tra kết cấu được đưa ra trong TCVN EN 1990 - Cơ sở thiết kế kết cấu.

(2)P TCVN XXXX chỉ đề cập đến các yêu cầu về khả năng chịu lực, giới hạn sử dụng, độ bền lâu và khả năng chống cháy của kết cấu nhôm. Các yêu cầu khác, ví dụ liên quan đến cách nhiệt hoặc cách âm, không được xem xét.

(3) TCVN XXXX được sử dụng cùng với:

- TCVN EN 1990 Cơ sở thiết kế kết cấu
- TCVN EN 1991 Tác động lên kết cấu
- Các Tiêu chuẩn châu Âu cho các sản phẩm xây dựng liên quan đến kết cấu nhôm
- EN 1090-1: Thi công kết cấu thép và kết cấu nhôm - Phần 1: Yêu cầu đánh giá sự phù hợp của các cấu kiện kết cấu
- EN 1090-3: Thi công kết cấu thép và kết cấu nhôm - Phần 3: Yêu cầu kỹ thuật đối với kết cấu nhôm

(4) TCVN XXXX được chia thành năm phần:

- TCVN XXXX-1-1 Thiết kế kết cấu nhôm - Phần 1: Các quy định kết cấu chung.
- TCVN XXXX-1-2 Thiết kế kết cấu nhôm - Phần 2: Thiết kế kết cấu chịu lửa.
- TCVN XXXX-1-3 Thiết kế kết cấu nhôm - Phần 3: Kết cấu chịu mỏi.
- TCVN XXXX-1-4 Thiết kế kết cấu nhôm - Phần 4: Tấm kết cấu tạo hình nguội.
- TCVN XXXX-1-5 Thiết kế kết cấu nhôm - Phần 5: Kết cấu vỏ.

1.1.2 Phạm vi của TCVN ****1-5

(1) P TCVN ****1-5 áp dụng cho việc thiết kế kết cấu các kết cấu nhôm, có sườn cứng và không có sườn cứng, có dạng vỏ tròn xoay hoặc dạng bản tròn trong các kết cấu thân liền khối.

(2) Cần tuân theo các phần có liên quan của EN 1999 đối với các quy tắc áp dụng cụ thể cho thiết kế kết cấu.

(3) Thông tin bổ sung cho một số loại vỏ cụ thể được đưa ra trong EN 1993-1-6 và các phần áp dụng liên quan bao gồm:

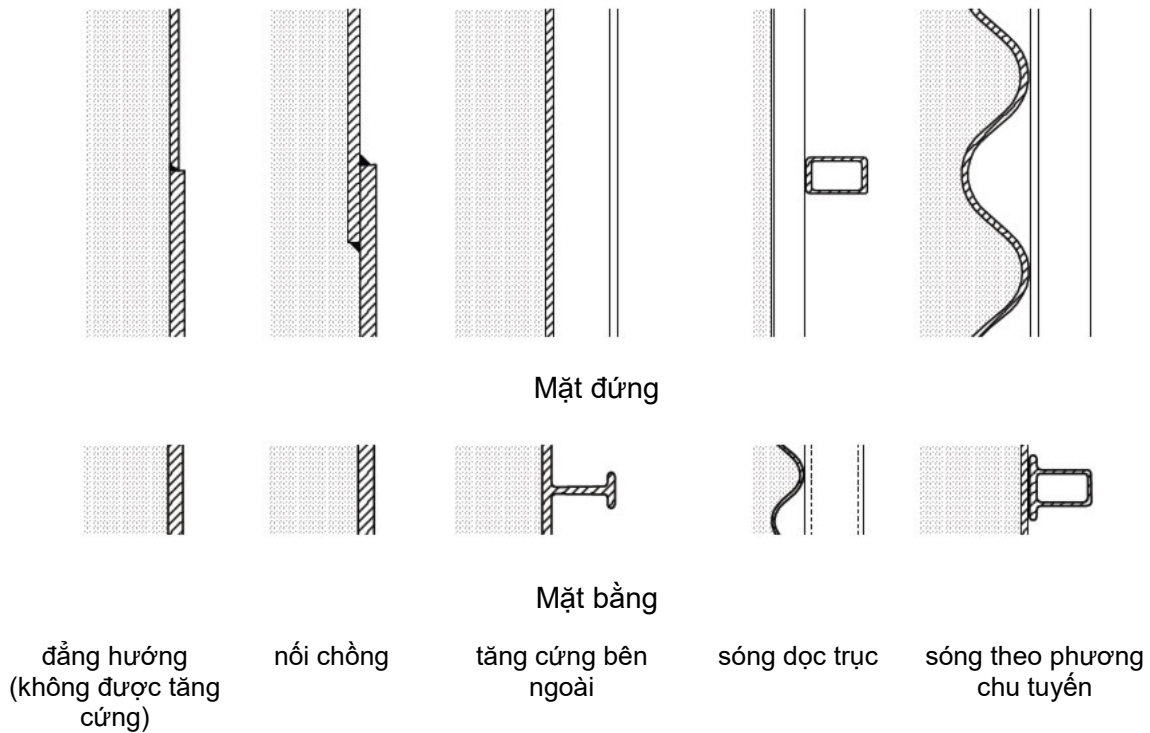
- Phần 3-1 cho tháp và trụ;
- Phần 3-2 cho ống khói;
- Phần 4-1 cho si lô;
- Phần 4-2 cho bể chứa;
- Phần 4-3 cho đường ống.

(4) Các quy định trong TCVN ****1-5 áp dụng cho vỏ đối xứng trục (hình trụ, hình nón, hình cầu), các tấm có liên quan hình tròn hoặc hình khuyên, vòng tiết diện dầm và sườn cứng dọc kinh tuyến khi chúng tạo thành một phần của kết cấu hoàn chỉnh.

(5) Các tấm vỏ đơn (hình trụ, hình nón hoặc hình cầu) không được đề cập đầy đủ trong TCVN ****1-5. Tuy nhiên, các quy định có thể được áp dụng nếu các điều kiện biên thích hợp được xem xét một cách thích đáng.

(6) Các loại tường vỏ được đề cập trong TCVN ****1-5 là (xem Hình 1.1):

- tường vỏ được cấu thành từ tấm cán phẳng, được gọi là 'đẳng hướng';
- tường vỏ với các mối nối chồng được hình thành bằng cách liên kết các tấm liền kề với các phần chồng lên nhau, được gọi là 'mối nối chồng';
- tường vỏ có các sườn cứng gắn bên ngoài, được gọi là 'tăng cứng bên ngoài' không phân biệt khoảng cách của các sườn cứng;
- tường vỏ với các sóng chạy dọc theo kinh tuyến, được gọi là 'sóng dọc trục';
- tường vỏ được cấu thành từ các tấm lượn sóng với các sóng chạy quanh chu vi vỏ, được gọi là "sóng theo phương chu tuyến".



Hình 1.1 - Minh họa các dạng vỏ trụ

(7) Các quy định của TCVN ****1-5 được áp dụng trong dải nhiệt độ quy định trong EN 1999-1-1. Cần hạn chế nhiệt độ tối đa để có thể bỏ qua ảnh hưởng của từ biến. Đối với kết cấu chịu nhiệt độ cao liên quan đến lửa, xem EN 1999-1-2.

(8) TCVN ****1-5 không đề cập đến các vấn đề về rò rỉ.

1.2 Tài liệu tham khảo

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

EN 1090-1 Thi công kết cấu thép và kết cấu nhôm - Phần 1: Yêu cầu đối với đánh giá sự phù hợp của các thành phần kết cấu

EN 1090-3 Thi công kết cấu thép và kết cấu nhôm - Phần 3: Yêu cầu kỹ thuật đối với kết cấu nhôm

TCVN EN 1990 Cơ sở thiết kế kết cấu

TCVN EN 1991 Tác động lên kết cấu - Tất cả các phần

TCVN ****3-1-6 Thiết kế kết cấu thép - Phần 1-6: Kết cấu vỏ

TCVN ****3-3-2 Thiết kế kết cấu thép - Phần 3-2: Ống khói

TCVN ****3-4-1 Thiết kế kết cấu thép - Phần 4- 1: Si lô

TCVN ****3-4-2 Thiết kế kết cấu thép - Phần 4-2: Bể chứa

TCVN ****3-4-3 Thiết kế kết cấu thép - Phần 4-3: Đường ống

TCVN XXXX-1-1 Thiết kế kết cấu nhôm - Phần 1-1: Các quy định kết cấu chung

TCVN XXXX-1-2 Thiết kế kết cấu nhôm - Phần 1-2: Thiết kế kết cấu chịu lửa

TCVN XXXX-1-3 Thiết kế kết cấu nhôm - Phần 1-3: Kết cấu chịu mỏi

TCVN XXXX-1-4 Thiết kế kết cấu nhôm - Phần 1-4: Tấm kết cấu tạo hình nguội

1.3 Thuật ngữ và định nghĩa

(1) Trong phần này, để bổ sung cho TCVN EN 1999-1-1 sử dụng các thuật ngữ và định nghĩa sau:

1.3.1 Các dạng kết cấu

1.3.1.1

vỏ (shell)

Một kết cấu thành mỏng có hình dạng một mặt cong với chiều dày được đo vuông góc với bề mặt là nhỏ so với kích thước theo các phương khác. Kết cấu vỏ mang tải trọng của nó chủ yếu nhờ lực màng. Mặt trung bình có thể có bán kính cong hữu hạn tại mỗi điểm hoặc bán kính cong vô hạn trong một hướng, ví dụ vỏ trụ.

Trong TCVN ****1-5, vỏ là một kết cấu hoặc một bộ phận kết cấu được tạo hình từ các tấm cong hoặc được ép đùn.

1.3.1.2

vỏ tròn xoay (shell of revolution)

Một vỏ bao gồm một số bộ phận, mỗi bộ phận là một vỏ kín đối xứng trục.

1.3.1.3

vỏ kín đối xứng trục (complete axisymmetric shell)

Một vỏ có hình dạng được xác định bởi việc xoay đường sinh kinh tuyến quanh một trục một góc 2π radian. Vỏ có thể có độ dài bất kỳ.

1.3.1.4

đoạn vỏ (shell segment)

Một phần của vỏ tròn xoay có dạng hình học vỏ xác định với chiều dày thành không đổi: hình trụ, hình đỉnh nón, hình đỉnh cầu, hình khuyên hoặc dạng khác.

1.3.1.5

mảnh của vỏ (shell panel)

Một vỏ hờ đối xứng trục: hình dạng của vỏ được xác định bằng cách xoay đường sinh quanh trục một góc ít hơn 2π radian.

1.3.1.6

mặt trung bình (middle surface)

Bề mặt nằm giữa mặt trong và mặt ngoài của vỏ tại mọi điểm. Nếu vỏ chỉ được tăng cứng trên một mặt, mặt trung bình tham chiếu vẫn được lấy làm mặt trung bình của tấm vỏ cong. Mặt trung bình là bề mặt tham chiếu dùng cho tính toán và có thể không liên tục khi thay đổi chiều dày hoặc tại các vị trí giao nhau của vỏ, dẫn đến độ lệch tâm đóng vai trò quan trọng đối với ứng xử của vỏ.

1.3.1.7

đường giao nhau (junction)

Điểm tại đó hai hoặc nhiều đoạn vỏ gặp nhau: nó có thể bao gồm một sườn cứng hoặc không: điểm liên kết của một sườn cứng vòng vào vỏ có thể được coi là một đường giao nhau.

1.3.1.8

sườn cứng dọc kinh tuyến (stringer stiffener)

Một cấu kiện tăng cứng cục bộ chạy dọc theo kinh tuyến của vỏ, đại diện cho một đường sinh của vỏ tròn xoay. Nó được dùng để tăng tính ổn định hoặc hỗ trợ trong trường hợp có tải cục bộ. Nó không được thiết kế để cung cấp sức kháng chính chịu uốn do tải ngang.

1.3.1.9

sườn (rib)

Một cấu kiện cục bộ cung cấp một đường truyền tải chính cho uốn dọc kinh tuyến của vỏ, đại diện cho một đường sinh của vỏ tròn xoay. Nó được sử dụng để truyền hoặc phân phối tải ngang do uốn.

1.3.1.10

sườn cứng vòng (ring stiffener)

Một cấu kiện tăng cứng cục bộ chạy quanh chu vi của vỏ tròn xoay tại một điểm nhất định trên kinh tuyến. Nó được giả thiết là không có độ cứng trong mặt phẳng kinh tuyến của vỏ. Nó giúp tăng sự ổn định hoặc truyền các tải trọng cục bộ đối xứng trục tác dụng trong mặt phẳng của sườn vòng dưới dạng lực pháp tuyến đối xứng trục. Nó không được thiết kế để cung cấp sức kháng chính chịu uốn.

1.3.1.11

vòng đế (base ring)

Một cấu kiện kết cấu chạy quanh chu vi của vỏ tròn xoay tại đế và giúp liên kết vỏ vào móng hoặc cấu kiện khác. Vòng đế cần đảm bảo các điều kiện biên giả thiết được thỏa mãn trong thực tế.

1.3.2 Các định nghĩa đặc biệt cho tính toán oằn

1.3.2.1

tải trọng oằn tới hạn (critical buckling load)

Tải trọng nhỏ nhất hoặc tải giới hạn được xác định với giả thiết các điều kiện lý tưởng hóa về ứng xử vật liệu đàn hồi, kích thước hình học hoàn chỉnh, tải trọng tác động hoàn chỉnh, gối tựa hoàn chỉnh, vật liệu đẳng hướng và không có ứng suất dư (phân tích LBA).

1.3.2.2

ứng suất oằn tới hạn (critical buckling stress)

Ứng suất màng danh định liên quan đến tải trọng oằn tới hạn đàn hồi.

1.3.2.3

ứng suất oằn đặc trưng (characteristic buckling stress)

Ứng suất màng danh định liên quan đến sự oằn trong điều kiện ứng xử vật liệu không đàn hồi và sự không hoàn chỉnh về hình học và kết cấu.

1.3.2.4

ứng suất oằn thiết kế (design buckling stress)

Giá trị thiết kế của ứng suất oằn, được tính bằng cách chia ứng suất oằn đặc trưng cho hệ số riêng về sức kháng.

1.3.2.5

giá trị cơ sở của ứng suất (key value of the stress)

Giá trị của ứng suất trong trường ứng suất không đều được sử dụng để đặc trưng cho cường độ ứng suất trong đánh giá trạng thái giới hạn oằn.

1.3.2.6

lớp dung sai (lớp dung sai)

Các cấp yêu cầu cho dung sai hình học đối với thi công.

CHÚ THÍCH: Dung sai hình học trong thi công phát sinh trong quá trình chế tạo các cấu kiện và quá trình lắp dựng các cấu kiện tại công trường.

1.4 Ký hiệu

(1) Ngoài các ký hiệu được định nghĩa trong EN 1999-1-1, các ký hiệu sau được sử dụng.

(2) Hệ tọa độ (xem Hình 1.2):

TCVN ***1-5:202x

- r tọa độ cực, vuông góc với trục tròn xoay;
 x tọa độ kinh tuyến;
 z tọa độ trục dọc;
 θ tọa độ chu tuyến;
 ϕ độ dốc kinh tuyến: góc giữa trục tròn xoay và đường vuông góc với kinh tuyến của vỏ;

(3) Áp lực:

- p_n vuông góc với vỏ;
 p_x lực bề mặt kinh tuyến song song với vỏ;
 p_θ lực bề mặt chu tuyến song song với vỏ;

(4) Đường lực:

- P_n lực trên mỗi đơn vị chu vi vuông góc với vỏ;
 P_x lực trên mỗi đơn vị chu vi tác động theo phương kinh tuyến lên vỏ;
 P_θ lực trên mỗi đơn vị chu vi tác động theo phương chu tuyến lên vỏ;

(5) Các thành phần ứng suất màng (xem Hình 1.3a):

- n_x thành phần ứng suất màng theo phương kinh tuyến;
 n_θ thành phần ứng suất màng theo phương chu tuyến;
 $n_{x\theta}$ thành phần ứng suất màng cắt;

(6) Các thành phần ứng suất uốn (xem Hình 1.3b):

- m_x mô men uốn theo phương kinh tuyến trên mỗi đơn vị chiều rộng;
 m_θ mô men uốn theo phương chu tuyến trên mỗi đơn vị chiều rộng;
 $m_{x\theta}$ mô men cắt do xoắn trên mỗi đơn vị chiều rộng;
 q_{xn} lực cắt theo phương ngang liên quan đến uốn theo phương kinh tuyến;
 $q_{\theta n}$ lực cắt theo phương ngang liên quan đến uốn theo phương chu tuyến;

(7) Các ứng suất:

- σ_x ứng suất theo phương kinh tuyến;
 σ_θ ứng suất theo phương chu tuyến;
 σ_{eq} ứng suất tương đương von Mises (có thể mang giá trị âm trong điều kiện tải lặp theo chu kỳ);
 $\tau, \tau_{x\theta}$ ứng suất cắt trong mặt phẳng;

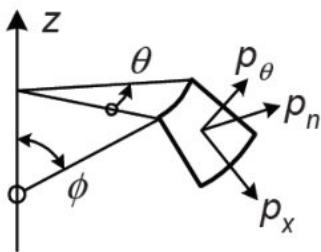
$\tau_{xn}, \tau_{\theta n}$ ứng suất cắt ngang theo phương kinh tuyến và chu tuyến liên quan đến uốn;

(8) Các chuyển vị:

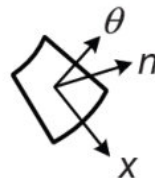
- u chuyển vị theo phương kinh tuyến;
- v chuyển vị theo phương chu tuyến;
- w chuyển vị vuông góc với bề mặt vỏ,
- β_ϕ góc xoay kinh tuyến (xem 5.3.3);

(9) Các kích thước vỏ:

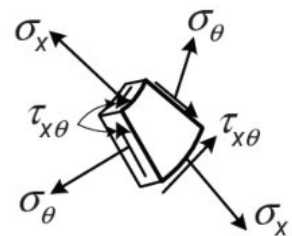
- d đường kính trong của vỏ;
- L tổng chiều dài vỏ;
- l chiều dài của đoạn vỏ;
- l_g chiều dài đo xác định sự không hoàn chỉnh;
- $l_{g,\theta}$ chiều dài đo xác định sự không hoàn chỉnh theo phương chu tuyến;
- $l_{g,w}$ chiều dài đo xác định sự không hoàn chỉnh trên các mối hàn;
- l_R chiều dài giới hạn của vỏ để đánh giá cường độ kháng oằn;
- r bán kính của mặt trung bình, vuông góc với trục tròn xoay;
- t chiều dày của tường vỏ;
- t_{max} chiều dày tối đa của tường vỏ tại một liên kết;
- t_{min} chiều dày tối thiểu của tường vỏ tại một liên kết;
- t_{ave} chiều dày trung bình của tường vỏ tại một liên kết;
- β một nửa góc nghiêng tại đỉnh hình nón;



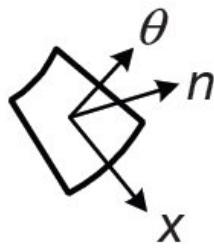
Áp lực bề mặt



Các tọa độ



Các ứng suất màng

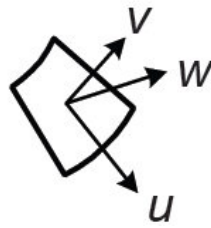


Các hướng

θ = chu tuyến

n = vuông góc

x = kinh tuyến

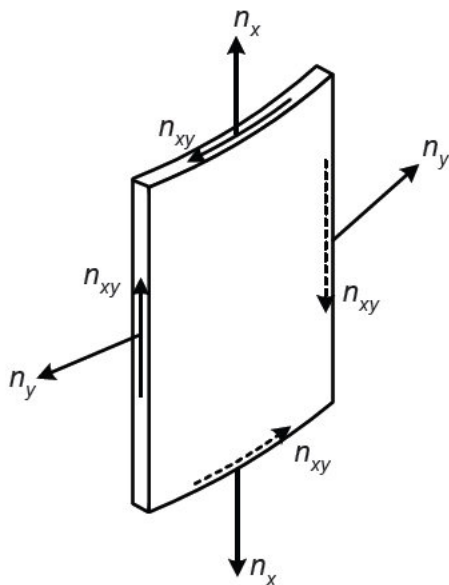


Các chuyển vị

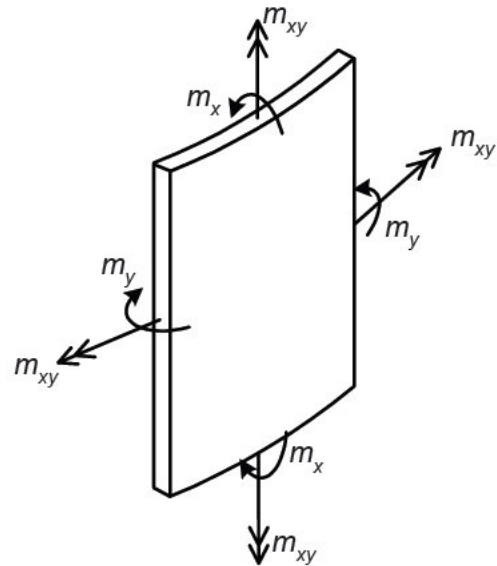


Các ứng suất cắt theo phương ngang

Hình 1.2 – Các ký hiệu trong vỏ tròn xoay



a) Các thành phần ứng suất màng



b) Các thành phần ứng suất uốn

Hình 1.3 – Các thành phần ứng suất trong thành vỏ (trong hình này x là phương kinh tuyến và y là phương chu tuyến)

(10) Dung sai (xem 6.2.2):

e độ lệch tâm giữa các mặt trung bình của các bản được nối với nhau;

U_e thông số dung sai của độ lệch tâm không dự định trước;

U_r thông số dung sai độ không tròn;

U_0 thông số dung sai độ lõm ban đầu;

Δ_{w0} dung sai độ vuông góc với bề mặt vỏ;

(11) Các tính chất của vật liệu:

- f_{eq} cường độ tương đương von Mises;
- f_u giá trị đặc trưng của cường độ kéo tới hạn;
- f_o giá trị đặc trưng của giới hạn chảy quy ước 0,2%;

(12) Các thông số khi đánh giá cường độ:

- C hệ số trong đánh giá cường độ kháng oằn;
- C_ϕ độ cứng khi kéo của tấm theo phương dọc trục;
- C_θ độ cứng khi kéo của tấm theo phương chu tuyến;
- $C_{\phi\theta}$ độ cứng khi kéo của tấm khi chịu lực cắt màng;
- D_ϕ độ cứng chống uốn của tấm theo phương dọc trục;
- D_θ độ cứng chống uốn của tấm theo phương chu tuyến;
- $D_{\phi\theta}$ độ cứng chống uốn xoắn của tấm khi chịu xoắn;
- R sức kháng tính toán (được dùng với các chỉ số dưới để xác định cơ sở);
- R_{pl} sức kháng tham chiếu dẻo (được định nghĩa là hệ số tải trọng trên tải thiết kế);
- R_{cr} tải trọng oằn tới hạn đàn hồi (được định nghĩa là hệ số tải trọng trên tải thiết kế);
- k hệ số hiệu chỉnh cho các phân tích phi tuyến;
- $k_{(\dots)}$ lũy thừa của các biểu thức tương tác trong các biểu thức tương tác cường độ kháng oằn;
- μ tham số tăng cứng hợp kim trong các đường cong oằn cho vỏ;
- $a_{(\dots)}$ hệ số suy giảm của hiệu ứng không hoàn chỉnh trong đánh giá cường độ kháng oằn;
- Δ miền của tham số khi xét đến ảnh hưởng của các tác động luân phiên hoặc theo chu kỳ;

(13) Các ứng suất thiết kế và các thành phần ứng suất

- $\sigma_{x,Ed}$ các giá trị thiết kế của ứng suất màng theo phương kinh tuyến có liên quan đến oằn (dương khi nén);
- $\sigma_{\theta,Ed}$ các giá trị thiết kế của ứng suất màng (vòng) theo phương chu tuyến có liên quan đến oằn (dương khi nén);
- τ_{Ed} các giá trị thiết kế của ứng suất màng cắt liên quan đến oằn;
- $n_{x,Ed}$ các giá trị thiết kế của thành phần ứng suất màng theo phương kinh tuyến liên quan đến oằn (dương khi nén);

$n_{\theta,Ed}$ các giá trị thiết kế của thành phần ứng suất màng (vòng) theo phương chu tuyến liên quan đến oằn (dương khi nén);

$n_{x\theta,Ed}$ các giá trị thiết kế của thành phần ứng suất màng cắt liên quan đến oằn.

(14) Các ứng suất oằn tới hạn và các sức kháng ứng suất:

$\sigma_{x,cr}$ ứng suất oằn tới hạn theo phương kinh tuyến;

$\sigma_{\theta,cr}$ ứng suất oằn tới hạn theo phương chu tuyến;

τ_{cr} ứng suất oằn tới hạn do cắt;

$\sigma_{x,Rd}$ sức kháng ứng suất oằn thiết kế theo phương kinh tuyến;

$\sigma_{\theta,Rd}$ sức kháng ứng suất oằn thiết kế theo phương chu tuyến;

τ_{Rd} sức kháng ứng suất oằn thiết kế do cắt;

(15) Các ký hiệu khác được xác định khi xuất hiện lần đầu tiên.

1.5 Quy ước dấu

(1) Nói chung, dấu được quy ước như sau, ngoại trừ như đã nêu trong (2)

- hướng ra ngoài là dương;
- áp lực hướng vào trong là dương;
- chuyển vị hướng ra ngoài là dương;
- ứng suất kéo là dương;
- ứng suất cắt như trong hình 1.2.

(2) Để đơn giản đối với phân tích oằn, ứng suất nén được coi là dương. Đối với những trường hợp này cả áp lực ngoài và áp lực trong được coi là dương.

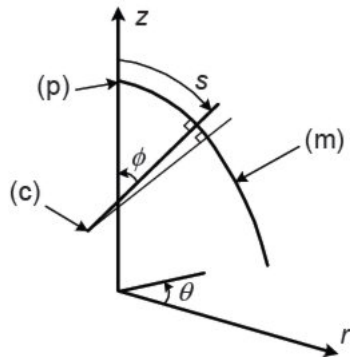
1.6 Hệ tọa độ

(1) Nói chung, quy ước cho hệ trục tổng thể của kết cấu vỏ là hệ tọa độ trụ (xem Hình 1.4) như sau:

tọa độ dọc theo trục trung tâm của vỏ tròn xoay z

tọa độ bán kính r

tọa độ góc xoay θ



(p) = cực, (m) = vỏ kinh tuyến,
 (c) = tâm tức thời của độ cong kinh tuyến

Hình 1.4 - Hệ tọa độ cho vỏ tròn

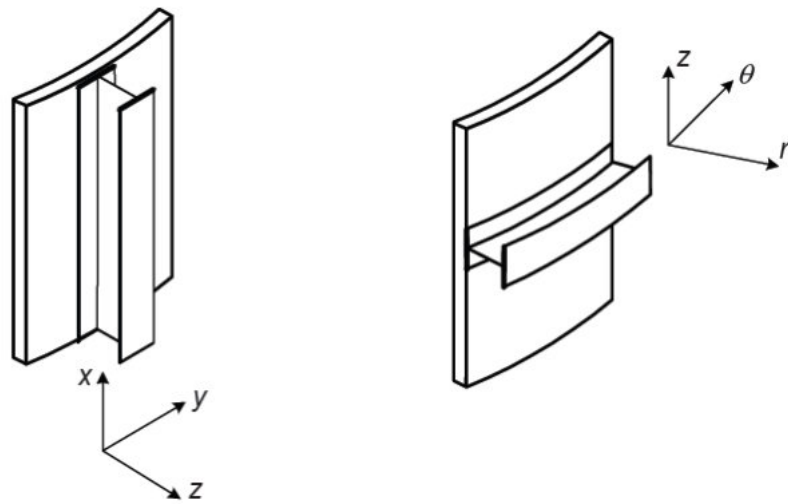
(2) Quy ước cho các phần tử kết cấu được gắn vào tường vỏ (xem Hình 1. 5) là khác nhau đối với cấu kiện theo phương kinh tuyến và theo phương chu tuyến.

(3) Quy ước cho các phần tử kết cấu thẳng (xem Hình 1.5 (a)) được liên kết với tường vỏ theo phương kinh tuyến là:

- tọa độ kinh tuyến cho các phần tử được liên kết là thùng, phễu và mái x
- trục khỏe chịu uốn (song song với bản cánh: trục để uốn kinh tuyến) y
- trục yếu chịu uốn (vuông góc với bản cánh) z

(4) Quy ước cho các phần tử kết cấu cong theo phương chu tuyến (xem Hình 1.5 (b)) được liên kết với tường vỏ là:

- trục tọa độ theo phương chu tuyến (cong) θ
- trục theo phương bán kính (trục để uốn trong mặt phẳng kinh tuyến) r
- trục theo phương kinh tuyến (trục để uốn theo phương chu tuyến) z



a) sườn cứng theo phương kinh tuyến b) sườn cứng theo phương chu tuyến

Hình 1.5 Hệ tọa độ địa phương cho các sườn cứng theo phương kinh tuyến và theo phương chu tuyến trên vỏ

2 Cơ sở thiết kế

2.1 Quy định chung

- (1)P Việc thiết kế vỏ phải tuân theo các quy tắc được đưa ra trong TCVN EN 1990 và EN 1999-1-1.
- (2)P Các hệ số riêng phù hợp phải được áp dụng cho các trạng thái giới hạn cực hạn và trạng thái giới hạn sử dụng.
- (3)P Khi kiểm tra bằng cách tính toán tại các trạng thái giới hạn cực hạn, hệ số riêng γ_M cần được lấy như sau:

- sức kháng chảy dẻo và mất ổn định: γ_{M1}
- sức kháng đứt của tấm chịu kéo: γ_{M2}
- sức kháng của mối nối (liên kết): xem EN 1999-1-1

CHÚ THÍCH Các giá trị số cho γ_M có thể được xác định trong Phụ lục quốc gia. Các giá trị số sau đây được khuyến nghị:

$$\gamma_{M1} = 1,10$$

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

- (4) Khi kiểm tra ở các trạng thái giới hạn sử dụng, cần sử dụng hệ số riêng $\gamma_{M,ser}$.

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

$$\gamma_{M,ser} = 1,0$$

2.2 Phân loại cấp hậu quả và cấp thi công

- (1) Việc lựa chọn Phân loại cấp hậu quả 1, 2 hoặc 3 (xem EN 1999-1-1) cần được thống nhất giữa nhà thiết kế và chủ sở hữu công trình xây dựng, có kể đến các quy định quốc gia.
- (2) Cấp thi công (xem EN 1999-1-1) cần được định nghĩa trong yêu cầu kỹ thuật thi công.

3 Vật liệu và hình học

3.1 Tính chất vật liệu

- (1) TCVN ****1-5 áp dụng cho vật liệu rèn dập (hợp kim và loại xử lý cơ-nhiệt) được liệt kê trong EN 1999-1-1, Bảng 3.2a và b và EN 1999-1-4 Bảng 2.1 cho tấm tạo hình nguội.
- (2) Đối với nhiệt độ sử dụng từ 80°C đến 100°C, các đặc tính vật liệu cần được lấy từ EN 1999-1-1.
- (3) Trong phân tích số tổng thể sử dụng phi tuyến vật liệu, cần chọn đường cong ứng suất-biến dạng thích hợp từ EN 1999-1-1, Phụ lục E.

3.2 Giá trị thiết kế của dữ liệu hình học

- (1) Chiều dày t của vỏ cần được lấy theo quy định trong 1999-1-1 và 1999-1-4.

(2) Mặt trung bình của vỏ cần được lấy làm bề mặt tham chiếu cho tải trọng.

(3) Bán kính r của vỏ cần được lấy là bán kính danh định của mặt trung bình của vỏ, đo vuông góc với trục tròn xoay.

3.3 Dung sai hình học và sự không hoàn chỉnh hình học

(1) Cần xem xét các độ lệch hình học sau đây của bề mặt vỏ so với hình dạng danh định:

- độ không tròn (sự lệch so với độ tròn);
- sự lệch tâm (độ lệch từ mặt trung bình liên tục theo phương vuông góc với vỏ dọc theo các đường giao nhau của các tấm);
- vết lõm cục bộ (độ lệch vuông góc cục bộ so với mặt trung bình danh định).

CHÚ THÍCH EN 1090-3 chứa các yêu cầu đối với dung sai hình học cho các kết cấu vỏ.

(2) Đối với dung sai hình học liên quan đến sức kháng oằn, xem 6.2.2.

4 Độ bền lâu

(1) Đối với các yêu cầu cơ bản, xem Chương 4 của EN 1999-1-1

(2) Cần chú ý đặc biệt đến các trường hợp trong đó các vật liệu khác nhau được thiết kế để làm việc liên hợp trong trường hợp các vật liệu này có khả năng dẫn đến hiện tượng điện hóa tạo ra các điều kiện dẫn đến ăn mòn.

CHÚ THÍCH: Xem EN 1999-1-4 đối với khả năng chống ăn mòn của chốt theo các danh mục môi trường ăn mòn của EN ISO 12944-2.

(3) Cần kể đến các điều kiện môi trường chiếm ưu thế kể từ thời điểm sản xuất, bao gồm cả các điều kiện trong quá trình vận chuyển và lưu trữ trên công trường.

5 Phân tích kết cấu

5.1 Hình học

(1) Vỏ cần được đại diện bằng mặt trung bình của nó.

(2) Bán kính cong cần được lấy là bán kính cong danh định.

(3) Không nên chia một tập hợp các đoạn vỏ thành các phân đoạn riêng biệt để phân tích trừ khi điều kiện biên cho mỗi phân đoạn được chọn sao cho có thể biểu diễn sự tương tác giữa chúng một cách thiên về an toàn.

(4) Một vòng đế dùng để truyền lực gối tựa vào vỏ cần được đưa vào mô hình phân tích.

(5) Độ lệch tâm và các bước giật cấp trong mặt trung bình của vỏ cần được đưa vào mô hình phân tích nếu chúng gây ra hiệu ứng uốn đáng kể do việc các thành phần ứng suất màng đi theo một đường lệch tâm.

(6) Tại các đường giao nhau giữa các đoạn vỏ, cần kể đến trong mô hình bất kỳ độ lệch tâm nào giữa các mặt trung bình của các đoạn vỏ.

(7) Một sườn cứng vòng cần được coi là một thành phần kết cấu riêng biệt của vỏ, trừ trường hợp khoảng cách giữa các vòng nhỏ hơn $1.5\sqrt{rt}$.

(8) Một vỏ có các sườn cứng dọc kinh tuyến rời rạc được gắn vào nó có thể được coi là một vỏ đồng nhất trực giao với điều kiện khoảng cách giữa các sườn cứng dọc kinh tuyến không lớn hơn $5\sqrt{rt}$.

(9) Một vỏ dạng lượn sóng (hướng dọc trục hoặc hướng chu tuyến) có thể được coi là một vỏ đồng nhất trực giao với điều kiện là bước của sóng lượn nhỏ hơn $0.5\sqrt{rt}$ (xem A.5.7).

(10) Một lỗ trên vỏ có thể được bỏ qua trong mô hình với điều kiện kích thước lớn nhất của nó nhỏ hơn $0.5\sqrt{rt}$.

(11) Độ ổn định tổng thể của kết cấu kín có thể được kiểm tra như trình bày trong EN 1993 Phần 3-1, 3-2, 4-1, 4-2 hoặc 4-3 khi thích hợp.

5.2 Điều kiện biên

(1) Cần sử dụng các điều kiện biên thích trong các phân tích để đánh giá các trạng thái giới hạn theo các điều kiện thể hiện trong Bảng 5.1. Đối với các điều kiện đặc biệt cần thiết cho tính toán oằn, cần tham khảo 6.2.

(2) Ngăn cản góc xoay ở biên của vỏ có thể được bỏ qua khi mô hình trạng thái giới hạn dẻo. Cho vỏ ngấn (xem Phụ lục A), ngăn cản góc xoay cần được đưa vào tính toán oằn.

(3) Các điều kiện biên gối tựa cần được kiểm tra để đảm bảo rằng chúng không gây ra sự không đồng nhất quá mức cho việc truyền lực hoặc gây ra các lực lệch tâm so với mặt trung bình của vỏ.

(4) Khi sử dụng phân tích số tổng thể, điều kiện biên cho chuyển vị vuông góc w cũng cần được sử dụng cho chuyển vị chu tuyến v , trừ các trường hợp đặc biệt làm cho việc này không phù hợp.

Bảng 5.1 - Điều kiện biên cho vỏ

Ký hiệu điều kiện biên	Thuật ngữ đơn giản	Miêu tả			Chuyển vị vuông góc	Chuyển vị kinh tuyến	Quay kinh tuyến
		hướng tâm	kinh tuyến	quay			
BC1r	ngàm	ngăn cản	ngăn cản	ngăn cản	$w = 0$	$u = 0$	$\beta_\phi = 0$
BC1f		ngăn cản	ngăn cản	tự do	$w = 0$	$u = 0$	$\beta_\phi \neq 0$
BC2r		ngăn cản	tự do	ngăn cản	$w = 0$	$u \neq 0$	$\beta_\phi = 0$
BC2f	khớp	ngăn cản	tự do	tự do	$w = 0$	$u \neq 0$	$\beta_\phi \neq 0$
BC3	Biên tự do	tự do	tự do	tự do	$w \neq 0$	$u \neq 0$	$\beta_\phi \neq 0$

CHÚ THÍCH: Chuyển vị chu tuyến v được liên kết rất chặt chẽ với chuyển vị w vuông góc với bề mặt do đó điều kiện biên riêng biệt là không cần thiết.

5.3 Tải trọng và tác động

(1) Tất cả các tác động cần được coi là tác dụng vào mặt trung bình của vỏ. Độ lệch tâm của tải cần được đại diện bởi các lực và các mô men tĩnh tương đương ở mặt trung bình vỏ.

(2) Các tác động cục bộ và các nhóm tác động cục bộ không nên được thể hiện bằng tải phân bố đều tương đương trừ khi có quy định khác.

(3) Các tác động và các tổ hợp tác động được đưa ra trong TCVN EN 1991 và TCVN EN 1990. Ngoài ra, các tác động trong các tác động dưới đây mà có liên quan đến kết cấu thì cần được xem xét trong phân tích kết cấu:

- lún cục bộ dưới tường vỏ;
- lún cục bộ dưới các gối đỡ riêng biệt;
- tính đồng nhất của gối đỡ kết cấu;
- chênh nhiệt từ một bên của kết cấu sang bên kia;
- chênh nhiệt từ trong ra ngoài kết cấu;
- hiệu ứng gió trên các lỗ mở và lỗ thủng;
- tương tác của hiệu ứng gió trên các nhóm kết cấu;
- liên kết với các kết cấu khác;
- điều kiện trong quá trình lắp dựng.

(4) Do cách mà lực màng mang tải trọng, vỏ có thể nhạy cảm với sự thay đổi hình học ví dụ: bởi các vết lõm. Ngoài các sai lệch hình học không thể tránh khỏi khi thi công, các vết lõm có thể đến từ tác động không lường trước trong quá trình sử dụng. Độ nhạy cảm này sẽ tăng lên khi các cấu kiện gồm

các tiết diện tương đối mỏng. Trong trường hợp các vết lõm xuất hiện vượt quá các giá trị được đưa ra trong C.4, cần tính toán hệ quả của chúng đối với khả năng chịu lực. Khuyến nghị áp dụng một quy trình kiểm tra định kỳ về hình học.

(5) Khi lựa chọn giải pháp thiết kế, cần xem xét phương pháp giúp tránh nguy cơ xuất hiện các vết lõm không thể chấp nhận được. Ví dụ của các phương pháp như vậy có thể như sử dụng chiều dày lớn hơn mức cần thiết theo tính toán kết cấu hoặc bố trí phương pháp bảo vệ cho các khu vực có mức độ rủi ro được đánh giá là đáng kể.

5.4 Hợp lực từ các ứng suất thành phần

(1) Với điều kiện là tỷ lệ giữa bán kính/chiều dày lớn hơn $(r / t)_{min} = 25$, độ cong của vỏ có thể được bỏ qua khi tính toán các thành phần ứng suất từ các ứng suất trong thành vỏ.

5.5 Các loại phân tích

(1) Thiết kế cần dựa trên một hoặc nhiều phương pháp phân tích được đưa ra trong Bảng 5.2, phụ thuộc vào trạng thái giới hạn và những xem xét khác. Các phương pháp phân tích được giải thích thêm trong Bảng 5.3. Để biết thêm chi tiết, tham khảo EN 1993-1-6.

Bảng 5.2 - Các phương pháp phân tích vỏ

Phương pháp phân tích		Lý thuyết vỏ	Quy luật vật liệu	Hình học của vỏ
Phân tích lý thuyết màng	MTA	cân bằng màng	không áp dụng	hoàn hảo ¹⁾
Phân tích vỏ đàn hồi tuyến tính	LA	uốn và kéo tuyến tính	tuyến tính	hoàn hảo ¹⁾
Phân tích phân nhánh (trị riêng) đàn hồi tuyến tính	LBA	uốn và kéo tuyến tính	tuyến tính	hoàn hảo ¹⁾
Phân tích đàn hồi phi tuyến hình học	GNA	phi tuyến	tuyến tính	hoàn hảo ¹⁾
Phân tích phi tuyến vật liệu	MNA	tuyến tính	phi tuyến	hoàn hảo ¹⁾
Phân tích hình học và vật liệu phi tuyến	GMNA	phi tuyến	phi tuyến	hoàn hảo ¹⁾
Phân tích đàn hồi phi tuyến hình học kể đến sự không hoàn chỉnh	GNIA	phi tuyến	tuyến tính	không hoàn chỉnh ²⁾
Phân tích phi tuyến hình học và vật liệu kể đến sự không hoàn chỉnh	GMNIA	phi tuyến	phi tuyến	không hoàn chỉnh ²⁾

1) Hình học hoàn hảo có nghĩa là hình học danh định được sử dụng trong mô hình phân tích mà không kể đến sai lệch hình học.
 2) Hình học không hoàn chỉnh có nghĩa là độ lệch hình học so với hình học danh định (dung sai) được kể đến trong mô hình phân tích.

Bảng 5.3 - Mô tả các phương pháp phân tích vỏ

Phân tích lý thuyết màng (MTA)	Một phân tích về kết cấu vỏ dưới tải phân bố với giả thiết một tập hợp lực màng thỏa mãn điều kiện cân bằng với ngoại lực.
Phân tích đàn hồi tuyến tính (LA)	Một phân tích trên cơ sở lý thuyết uốn vỏ đàn hồi tuyến tính biến dạng nhỏ với giả thiết hình học hoàn hảo.
phân tích chia nhánh tuyến tính (trị riêng) (LBA)	Một phân tích tính toán trị riêng chia nhánh đàn hồi tuyến tính trên cơ sở biến dạng nhỏ sử dụng lý thuyết uốn vỏ đàn hồi tuyến tính, giả thiết hình học hoàn hảo. Lưu ý rằng giá trị riêng trong ngữ cảnh này không liên quan đến các dạng dao động.
Phân tích phi tuyến hình học (GNA)	Một phân tích trên cơ sở lý thuyết uốn vỏ với giả thiết hình học hoàn hảo, có xem xét lý thuyết biến dạng lớn phi tuyến và các đặc tính vật liệu đàn hồi tuyến tính.
Phân tích phi tuyến vật liệu (MNA)	Một phân tích tương đương (LA), tuy nhiên kể đến đặc trưng vật liệu phi tuyến. Đối với kết cấu hàn, vật liệu trong vùng chịu ảnh hưởng nhiệt cần được mô hình.
Phân tích phi tuyến hình học và vật liệu (GMNA)	Một phân tích áp dụng lý thuyết uốn vỏ với giả thiết hình học hoàn hảo, có kể đến lý thuyết biến dạng lớn phi tuyến và đặc tính vật liệu phi tuyến. Đối với kết cấu hàn, vật liệu trong vùng chịu ảnh hưởng nhiệt cần được mô hình.
Phân tích đàn hồi phi tuyến hình học kể đến sự không hoàn chỉnh (GNIA) ¹⁾	Một phân tích tương đương (GNA), tuy nhiên có kể đến hình học không hoàn chỉnh.
Phân tích phi tuyến hình học và vật liệu kể đến sự không hoàn chỉnh (GMNIA)	Một phân tích tương đương (GMNA), tuy nhiên có kể đến hình học không hoàn chỉnh.
1) Loại phân tích này không được đề cập trong tiêu chuẩn này, tuy nhiên, được liệt kê ở đây với mục đích trình bày đầy đủ các phương pháp phân tích vỏ.	

6 Trạng thái giới hạn cực hạn

6.1 Sức kháng của tiết diện ngang

6.1.1 Giá trị thiết kế của ứng suất

(1) Tại mỗi điểm trong kết cấu, giá trị thiết kế của ứng suất $\sigma_{eq,Ed}$ cần được lấy là giá trị ứng suất chính cao nhất được xác định trong phân tích kết cấu có kể đến các điều kiện cân bằng giữa tải trọng thiết kế tác dụng với nội lực và mô men.

(2) Ứng suất chính có thể được lấy như giá trị tối đa của các ứng suất cần thiết cho trạng thái cân bằng với tải trọng tác dụng tại một điểm hoặc dọc theo một đường trong kết cấu vò.

(3) Nếu sử dụng phân tích lý thuyết màng (MTA), trường hai chiều thu được của thành phần ứng suất $n_{x,Ed}$, $n_{\theta,Ed}$, $n_{x\theta,Ed}$ có thể được biểu diễn bằng ứng suất thiết kế tương đương $\sigma_{eq,Ed}$ lấy theo:

$$\sigma_{eq,Ed} = \frac{1}{t} \sqrt{n_{x,Ed}^2 + n_{\theta,Ed}^2 - n_{x,Ed}n_{\theta,Ed} + 3n_{x\theta,Ed}^2} \quad (6.1)$$

(4) Nếu sử dụng phân tích đàn hồi tuyến tính (LA) hoặc phân tích đàn hồi phi tuyến hình học (GNA), trường hai chiều thu được của ứng suất chính có thể được biểu thị bằng ứng suất thiết kế tương đương von Mises:

$$\sigma_{eq,Ed} = \sqrt{\sigma_{x,Ed}^2 + \sigma_{\theta,Ed}^2 - \sigma_{x,Ed} \cdot \sigma_{\theta,Ed} + 3(\tau_{x\theta,Ed}^2 + \tau_{xn,Ed}^2 + \tau_{\theta n,Ed}^2)} \quad (6.2)$$

trong đó:

$$\sigma_{x,Ed} = \frac{1}{\eta} \left(\frac{n_{x,Ed}}{t} \pm \frac{m_{x,Ed}}{t^2/4} \right), \quad \sigma_{\theta,Ed} = \frac{1}{\eta} \left(\frac{n_{\theta,Ed}}{t} \pm \frac{m_{\theta,Ed}}{t^2/4} \right) \quad (6.3)$$

$$\tau_{x\theta,Ed} = \frac{1}{\eta} \left(\frac{n_{x\theta,Ed}}{t} \pm \frac{m_{x\theta,Ed}}{t^2/4} \right), \quad \tau_{xn,Ed} = \frac{q_{xn,Ed}}{t}, \quad \tau_{\theta n,Ed} = \frac{q_{\theta n,Ed}}{t} \quad (6.4)$$

η là một hệ số hiệu chỉnh do ứng xử không đàn hồi của vật liệu và phụ thuộc vào cả đặc tính tăng cứng và tính dẻo của hợp kim.

CHÚ THÍCH 1 Các biểu thức trên đưa ra một giá trị ứng suất tương đương thiên về an toàn được đơn giản hóa dùng cho mục đích thiết kế.

CHÚ THÍCH 2 Các giá trị cho η được nêu trong EN 1999-1-1 Phụ lục H như là một hàm của các đặc tính hợp kim. Cần lấy giá trị của η tương ứng với một hệ số hình dạng hình học $\alpha_0 = 1,5$

CHÚ THÍCH 3 Các giá trị của $\tau_{xn,Ed}$ và $\sigma_{xn,Ed}$ thường rất nhỏ và không ảnh hưởng đến sức kháng, vì vậy nói chung chúng có thể được bỏ qua.

6.1.2 Giá trị thiết kế của sức kháng

(1) Cường độ thiết kế tương đương von Mises cần được lấy từ:

$$f_{eq,Rd} = \frac{f_o}{\gamma_{M1}} \text{ trong tiết diện không có HAZ} \quad (6.5)$$

$$f_{eq,Rd} = \min\left(\frac{\rho_{u,haz} f_u}{\gamma_{M2}}, \frac{f_o}{\gamma_{M1}}\right) \text{ trong tiết diện với HAZ} \quad (6.6)$$

trong đó:

- f_o là giá trị đặc trưng của giới hạn chảy quy ước 0,2% như được nêu trong EN 1999-1-1
- f_u là giá trị đặc trưng của giới hạn bền kéo như được đưa ra trong EN 1999-1-1
- $\rho_{u,haz}$ là tỷ lệ giữa giới hạn bền kéo trong vùng ảnh hưởng nhiệt (HAZ) và ở vật liệu gốc, như được đưa ra trong EN 1999-1-1
- γ_{M1} là hệ số riêng cho sức kháng được đưa ra trong 2.1 (3).
- γ_{M2} là hệ số riêng cho sức kháng được đưa ra trong 2.1 (3).

(2) Cần tính đến ảnh hưởng của các lỗ của chốt theo EN 1999-1-1.

6.1.3 Giới hạn ứng suất

(1) Trong các kiểm tra của trạng thái giới hạn này, ứng suất thiết kế cần thỏa mãn điều kiện:

$$\sigma_{eq,Ed} \leq f_{eq,Rd} \quad (6.7)$$

6.1.4 Thiết kế bằng phân tích số

(1) Sức kháng giới hạn dẻo thiết kế cần được xác định là tỷ số tải trọng R áp dụng cho các giá trị thiết kế của tổ hợp các tác động cho trường hợp tải có liên quan.

(2) Các giá trị thiết kế của các tác động F_{Ed} cần được xác định như trình bày trong 5.3.

(3) Trong *phân tích phi tuyến vật liệu (MNA)* và *phân tích phi tuyến hình học và vật liệu (GMNA)* dựa trên cường độ giới hạn thiết kế f_o / γ_M , vỏ cần chịu tác dụng của giá trị thiết kế của tải trọng, tăng dần theo tỷ số tải trọng R cho đến khi đạt được điều kiện giới hạn dẻo.

(4) Nếu sử dụng *phân tích phi tuyến vật liệu (MNA)*, tỷ số tải trọng R_{MNA} có thể được coi là giá trị lớn nhất đạt được từ phân tích. Hiệu ứng tăng cứng của biến dạng có thể được kể đến với điều kiện kể đến giá trị giới hạn tương ứng của biến dạng vật liệu cho phép. Hướng dẫn về các mô hình phân tích cho quan hệ ứng suất-biến dạng được sử dụng trong MNA được đưa ra trong EN 1999-1-1.

(5) Nếu sử dụng *phân tích phi tuyến hình học và vật liệu (GMNA)*, nếu phân tích dự đoán một giá trị khả năng chịu tải tối đa sau đó là một đường giảm dần, cần sử dụng giá trị tối đa này để xác định tỷ số tải trọng R_{GMNA} . Nếu phân tích GMNA không dự đoán một giá trị khả năng chịu tải tối đa, nhưng đưa ra một quan hệ về tải trọng tác động-chuyển vị có tính tăng dần (có hoặc không có hiệu ứng biến cứng của vật liệu), tỷ số tải trọng R_{GMNA} không được lấy lớn hơn giá trị mà tại đó biến dạng dẻo tương đương von Mises lớn nhất trong kết cấu đạt đến giá trị giới hạn biến dạng cực hạn của hợp

kim như được nêu trong EN 1999-1-1, Chương 3. Cho mục đích thiết kế, một giá trị biến dạng dẻo cực hạn bằng $5(f_o / E)$ hoặc $10(f_o / E)$ có thể được giả thiết, phụ thuộc vào đặc tính của hợp kim.

CHÚ THÍCH Các giá trị biến dạng dẻo cực hạn ϵ_u tương ứng với $5(f_o / E)$ hoặc $10(f_o / E)$ được đưa ra trong EN 1999-1-1, Phụ lục H.

(6) Kết quả phân tích cần thỏa mãn điều kiện:

$$R = \frac{F_{Rd}}{F_{Ed}} \geq 1,0 \quad (6.8)$$

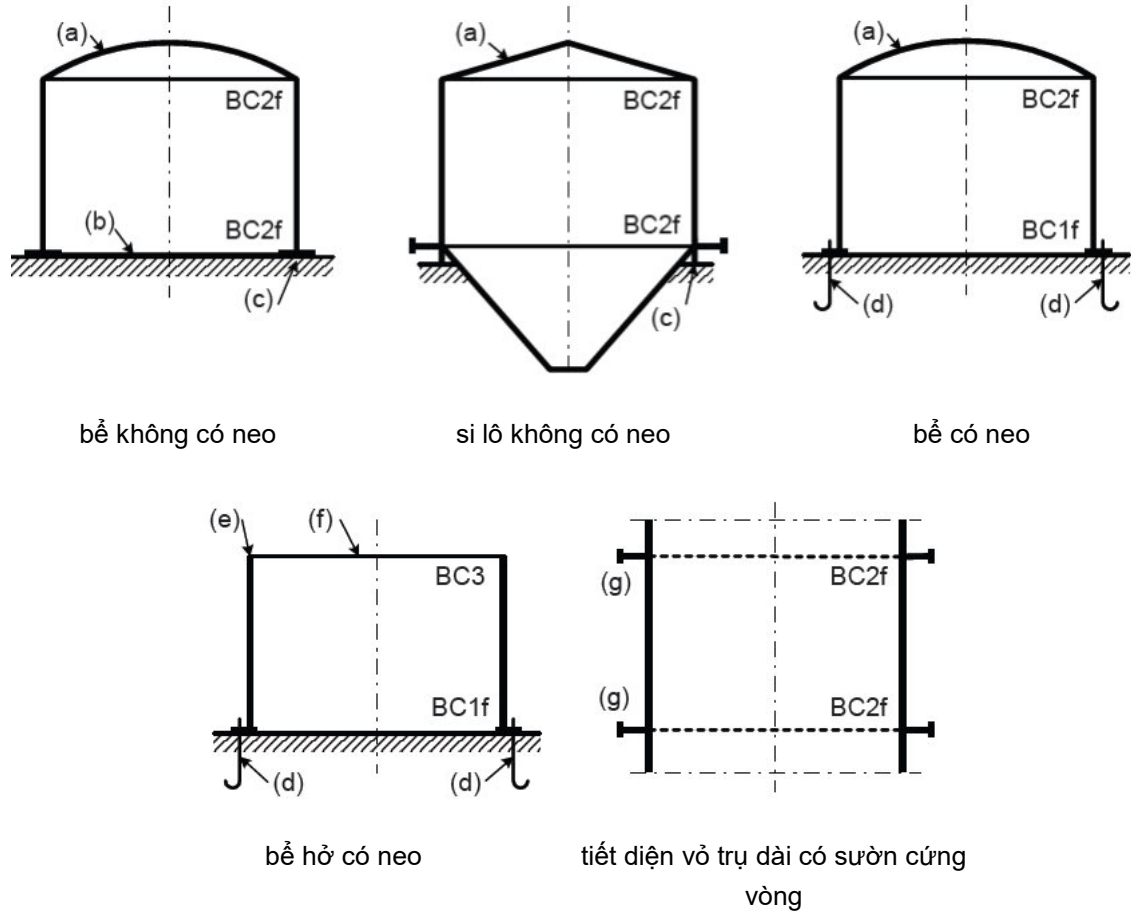
Trong đó

F_{Ed} là giá trị thiết kế của tác động.

6.2 Sức kháng oằn

6.2.1 Quy định chung

- (1) Cần xem xét tất cả các tổ hợp tác động có liên quan gây ra ứng suất màng nén hoặc ứng suất màng cắt trong thành vỏ.
- (2) Quy ước ký hiệu được sử dụng để tính toán oằn cần được coi là nén dương cho các ứng suất theo phương kinh tuyến và chu tuyến và các thành phần ứng suất.
- (3) Cần chú ý đặc biệt đến các điều kiện biên có liên quan đến gia tăng chuyển vị do oằn (trái ngược với chuyển vị trước oằn). Ví dụ về điều kiện biên có liên quan được thể hiện trong hình 6.1.



Phím: (a) mái, (b) tấm đáy, (c) không neo, (d) bu lông neo cách sát nhau, (e) không có sườn cứng vòng, (f) cạnh tự do, (g) sườn cứng vòng.

Hình 6.1 - Các ví dụ sơ đồ về điều kiện biên cho trạng thái giới hạn oằn

6.2.2 Dung sai hình học liên quan đến oằn

(1) Cần đáp ứng các giới hạn dung sai hình học được đưa ra trong EN 1090-3 nếu oằn là một trong những trạng thái giới hạn cực hạn được xem xét.

CHÚ THÍCH 1 Các ứng suất oằn thiết kế được xác định sau đây bao gồm các sự không hoàn chỉnh dựa trên dung sai hình học dự kiến sẽ được đảm bảo trong khi thi công.

CHÚ THÍCH 2: Dung sai hình học được cho trong EN 1090-3 là những dung sai được biết đến là có ảnh hưởng lớn đến sự an toàn của kết cấu.

(2) Việc chọn lớp dung sai (Lớp 1, Lớp 2, Lớp 3 hoặc Lớp 4) phụ thuộc vào cả trường hợp tải và các định nghĩa dung sai được đưa ra trong EN 1090-3. Mô tả của mỗi lớp chỉ liên quan đến đánh giá cường độ.

(3) Mỗi loại không hoàn chỉnh cần được phân loại riêng; lớp thấp nhất sau đó sẽ chi phối toàn bộ thiết kế.

(4) Mỗi loại dung sai khác nhau có thể được xử lý độc lập và thông thường không cần xem xét sự tương tác giữa các loại.

6.2.3 Vô chịu nén và cắt

6.2.3.1 Giá trị thiết kế của ứng suất

(1) Các giá trị thiết kế của ứng suất $\sigma_{x,Ed}$, $\sigma_{\theta,Ed}$ và τ_{Ed} cần được lấy làm giá trị cơ sở của ứng suất màng chịu nén và cắt như thu được từ phân tích vỏ tuyến tính (LA). Trong điều kiện đối xứng trục hoàn toàn cả về tải trọng và gối đỡ, và trong các trường hợp tải đơn giản khác, lý thuyết màng thường được sử dụng.

(2) Các giá trị cơ sở của ứng suất màng cần được lấy là giá trị tối đa của mỗi ứng suất tại tọa độ trục đó trong kết cấu, trừ khi các quy định cụ thể được đưa ra trong Phụ lục A.

CHÚ THÍCH Trong một số trường hợp (ví dụ: các tường giằng cấp chịu nén theo phương chu tuyến, xem A.2.3), các giá trị cơ sở của ứng suất màng là ảo và lớn hơn các giá trị thực tối đa.

(3) Đối với các trường hợp tải cơ bản, ứng suất màng có thể được lấy từ các biểu thức tiêu chuẩn tương ứng.

6.2.3.2 Cường độ kháng oằn

(1) Các sức kháng oằn thiết kế cần được lấy từ:

$$\sigma_{x,Rd} = \alpha_x \rho_{x,w} \chi_{x,perf} \frac{f_o}{\gamma_{M1}} \tag{6.9}$$

$$\sigma_{\theta,Rd} = \alpha_\theta \rho_{\theta,w} \chi_{\theta,perf} \frac{f_o}{\gamma_{M1}} \tag{6.10}$$

(cũng phù hợp cho các vỏ có sườn cứng)

$$\tau_{Rd} = \alpha_\tau \rho_{\tau,w} \chi_{\tau,perf} \frac{f_o}{\sqrt{3} \gamma_{M1}} \tag{6.11}$$

cho vỏ không được tăng cứng, và

$$n_{x,Rd} = \alpha_{n,x} \chi_{x,perf} \frac{n_{x,Rk}}{\gamma_{M1}} \tag{6.12}$$

$$p_{n,Rd} = \alpha_{p,\theta} \chi_{\theta,perf} \frac{p_{n,Rk}}{\gamma_{M1}} \tag{6.13}$$

cho vỏ có sườn cứng và/hoặc lượn sóng

trong đó:

$n_{x,Rk}$ là giới hạn khi nén dọc trục của vỏ có sườn cứng;

- $\rho_{n,Rk}$ là áp lực giới hạn khi nén đều của vỏ có sườn cứng hoặc vỏ đỉnh hình nón và đỉnh hình cầu;
- α_i là hệ số giảm không hoàn chỉnh được lấy từ Phụ lục A;
- $\rho_{i,w}$ là hệ số giảm do các vùng chịu ảnh hưởng nhiệt theo 6.2.4.4. Đối với vỏ không có mối hàn $\rho_{i,w} = 1$;
- $\chi_{i,perf}$ hệ số giảm do oằn của một vỏ hoàn hảo được đưa ra trong (2).
- γ_{M1} là hệ số riêng cho sức kháng được đưa ra trong 2.1 (3).

CHÚ THÍCH 1 Biểu thức (6.13) cũng có giá trị đối với vỏ đỉnh hình nón và đỉnh hình cầu, xem Phụ lục B

CHÚ THÍCH 2 α_1 cho vỏ đỉnh hình nón và đỉnh hình cầu, xem Phụ lục B

(2) Hệ số giảm do oằn cho một vỏ hoàn hảo được tính như sau:

$$\chi_{i,perf} = \frac{1}{\phi_i + \sqrt{\phi_i^2 - \bar{\lambda}_i^2}} \quad \text{nhưng} \quad \chi_{i,perf} \leq 1,00 \quad (6.14)$$

với:

$$\phi_i = 0,5(1 + \mu_i(\bar{\lambda}_i - \bar{\lambda}_{i,0}) + \bar{\lambda}_i^2) \quad (6.15)$$

trong đó:

- μ_i là một tham số phụ thuộc vào hợp kim và trường hợp tải trọng, được lấy từ Phụ lục A;
- $\bar{\lambda}_{i,0}$ là độ mảnh tương đối giới hạn khi nén, được lấy từ Phụ lục A;
- i là chỉ số dưới được thay thế bởi x , θ hoặc τ phụ thuộc vào loại tải.

(3) Các thông số độ mảnh vỏ cho các thành phần ứng suất khác nhau cần được xác định từ:

$$\bar{\lambda}_x = \sqrt{\frac{f_o}{\sigma_{x,cr}}} \quad (6.16)$$

$$\bar{\lambda}_\theta = \sqrt{\frac{f_o}{\sigma_{\theta,cr}}} \quad (6.17)$$

$$\bar{\lambda}_\tau = \sqrt{\frac{f_o}{\sqrt{3}\tau_{cr}}} \quad (\text{cũng phù hợp cho các vỏ có sườn cứng}) \quad (6.18)$$

đối với vỏ không được tăng cứng, và

$$\bar{\lambda}_x = \sqrt{\frac{n_{x,Rk}}{n_{x,cr}}} \quad (6.19)$$

$$\bar{\lambda}_\theta = \sqrt{\frac{\rho_{n,Rk}}{\rho_{n,cr}}} \quad (6.20)$$

cho vỏ có sườn cứng và/hoặc lượn sóng.

trong đó:

$\sigma_{x,cr}$, $\sigma_{\theta,cr}$, và τ_{cr} là các ứng suất oằn tới hạn như được nêu trong Phụ lục A hoặc thu được bằng *phân tích đàn hồi tuyến tính phân nhánh (trị riêng)* (LBA);

$n_{x,cr}$, $p_{n,cr}$ là các thành phần ứng suất oằn tới hạn đối với vỏ có sườn cứng hoặc vỏ đỉnh hình nón và đỉnh hình cầu như được nêu trong Phụ lục A hoặc thu được bằng *phân nhánh đàn hồi tuyến tính phân nhánh (trị riêng)* (LBA).

CHÚ THÍCH 1 Biểu thức (6.19) và (6.20) cũng phù hợp với vỏ đỉnh hình nón và đỉnh hình cầu, xem Phụ lục B

CHÚ THÍCH 2 $p_{n,cr}$ đối với vỏ đỉnh hình nón và đỉnh hình cầu, xem Phụ lục B

6.2.3.3 Kiểm tra độ bền kháng oằn

(1) Mặc dù oằn không phải là một hiện tượng phá hoại phát sinh hoàn toàn do ứng suất, việc kiểm tra cường độ kháng oằn cần được thể hiện bằng cách giới hạn các giá trị thiết kế của ứng suất màng hoặc các thành phần ứng suất. Sự ảnh hưởng của ứng suất uốn lên cường độ kháng oằn có thể được bỏ qua miễn là chúng sinh ra do kết quả của hiệu ứng tương thích biên. Cần có xem xét đặc biệt trong trường hợp ứng suất uốn phát sinh từ tải trọng cục bộ hoặc từ chênh nhiệt.

(2) Phụ thuộc vào trường hợp tải trọng và ứng suất, cần thực hiện một hoặc nhiều công thức kiểm tra sau cho các giá trị cơ sở của các thành phần ứng suất màng đơn:

$$\sigma_{x,Ed} \leq \sigma_{x,Rd} \tag{6.21}$$

$$\sigma_{\theta,Ed} \leq \sigma_{\theta,Rd} \tag{6.22}$$

$$\tau_{Ed} \leq \tau_{Rd} \tag{6.23}$$

(3) Nếu có nhiều hơn một trong ba thành phần ứng suất màng xuất hiện dưới tác dụng của tác động đang được xem xét, cần thực hiện kiểm tra tương tác sau đây cho trạng thái ứng suất màng tổ hợp:

$$\left(\frac{\sigma_{x,Ed}}{\sigma_{x,Rd}}\right)^{k_x} + \left(\frac{\sigma_{\theta,Ed}}{\sigma_{\theta,Rd}}\right)^{k_\theta} - k_i \left(\frac{\sigma_{x,Ed}}{\sigma_{x,Rd}}\right) \left(\frac{\sigma_{\theta,Ed}}{\sigma_{\theta,Rd}}\right) + \left(\frac{\tau_{Ed}}{\tau_{Rd}}\right)^{k_\tau} \leq 1,00 \tag{6.24}$$

trong đó $\sigma_{x,Ed}$, $\sigma_{\theta,Ed}$ và τ_{Ed} là các nhóm liên quan đến tương tác của các giá trị quan trọng của các ứng suất màng nén và cắt trong vỏ và các giá trị của các tham số tương tác k_x , k_θ , k_τ và k_i được xác định như sau:

- $k_x = 1 + \chi_x^2$
 - $k_\theta = 1 + \chi_\theta^2$
 - $k_\tau = 1,5 + 0,5\chi_\tau^2$
 - $k_i = (\chi_x \chi_\theta)^2$
- (6.25)

CHÚ THÍCH 1 Trong trường hợp vỏ trụ không được tăng cường chịu nén dọc trục và nén theo phương chu tuyến và cắt, có thể sử dụng công thức trong A.1.6 cho các tham số tương tác.

CHÚ THÍCH 2 Các quy tắc trên đôi khi có thể rất thiên về an toàn, nhưng có hai trường hợp giới hạn đã được thiết lập một cách tin cậy để đảm bảo an toàn cho một loạt các trường hợp: a) trong các vỏ rất mỏng sự tương tác giữa σ_x và σ_θ là tuyến tính; và b) trong vỏ rất dày sự tương tác giữa các ứng suất có thể được xác định giống như sự tương tác của ứng suất tương đương von Mises hoặc giống như của công thức tương tác thay thế như được đưa ra trong EN 1999-1-1.

(4) Nếu $\sigma_{x,Ed}$ hoặc $\sigma_{\theta,Ed}$ là kéo, giá trị của nó cần được lấy bằng 0 trong biểu thức (6.24).

CHÚ THÍCH: Đối với vỏ trụ chịu nén dọc trục có áp lực trong (dẫn đến kéo theo phương chu tuyến) các quy định đặc biệt được chỉ ra trong Phụ lục A. Giá trị kết quả của $\sigma_{x,Rd}$ kể đến cả hiệu ứng tăng cường của áp lực trong lên khả năng chống oằn đàn hồi và hiệu ứng suy yếu của hiện tượng “chân voi” đàn dẻo (biểu thức (A.22)). Nếu ứng suất kéo $\sigma_{\theta,Ed}$ được lấy bằng 0 trong biểu thức (6.24) thì cường độ kháng oằn được tính toán chính xác.

(5) Các vị trí và giá trị của từng ứng suất màng liên quan đến oằn được sử dụng kết hợp cùng nhau trong biểu thức (6.24) được định nghĩa trong Phụ lục A.

6.2.4 Ảnh hưởng của hàn

6.2.4.1 Quy định chung

(1) Các tiêu chí và quy tắc chung cho các kết cấu hàn được đưa ra trong EN 1999-1-1 cần được tuân thủ trong thiết kế kết cấu vỏ nhôm.

(2) Trong thiết kế kết cấu vỏ hàn sử dụng các hợp kim biến cứng hoặc tăng cường kết tủa lão hóa nhân tạo, cần kể đến sự giảm đặc tính cường độ xảy ra trong vùng lân cận của mối hàn. Diện tích này được đặt tên là khu vực ảnh hưởng nhiệt (HAZ). Các ngoại lệ cho quy tắc này được nêu trong EN 1999-1-1.

(3) Cho mục đích thiết kế, giả thiết rằng trong toàn bộ khu vực chịu ảnh hưởng nhiệt, các đặc tính cường độ được giảm ở một mức đồng đều.

CHÚ THÍCH 1 Mặc dù mức giảm chủ yếu ảnh hưởng đến giới hạn chảy quy ước 0,2% và cường độ kéo tới hạn của vật liệu, tác dụng của nó có thể là đáng kể trên các bộ phận chịu nén của kết cấu vỏ để bị oằn, phụ thuộc vào độ mảnh kết cấu và tính chất hợp kim.

CHÚ THÍCH 2 Hiệu ứng giảm cứng do hàn là nguy hiểm hơn cho oằn vỏ trong miền dẻo. Đồng thời các mối hàn cục bộ ở những khu vực có nguy cơ bị oằn có thể làm giảm đáng kể khả năng chống oằn do HAZ. Do đó cần tránh sử dụng mối hàn trong các bộ phận kích thước lớn không có sườn cứng và chịu nén.

CHÚ THÍCH 3 Cho mục đích thiết kế, đường hàn có thể được coi là một dải tuyến tính chạy ngang bề mặt vỏ nơi mà có vùng bị ảnh hưởng mở rộng ngay xung quanh mối hàn. Ngoài khu vực này, các đặc trưng độ bền nhanh chóng phục hồi tới giá trị của chúng trước khi hàn. Việc xuất hiện sớm các đường chảy dẻo có thể xảy ra dọc theo các đường này khi xảy ra hiện tượng oằn vỏ.

CHÚ THÍCH 4 Các ảnh hưởng của sự giảm cứng của vùng HAZ đôi khi có thể được giảm thiểu bằng phương pháp lão hóa nhân tạo được áp dụng sau khi hàn, xem EN 1999-1-1.

(4) Cần kiểm tra ảnh hưởng của hiệu ứng giảm cứng do hàn đối với độ bền oằn của vỏ cho với tất cả các mối hàn trực tiếp hoặc gián tiếp chịu ứng suất nén theo các quy tắc được đưa ra trong 6.2.4.2,

6.2.4.2 Mức độ nghiêm trọng của hiệu ứng giảm cứng

(.1) Mức độ nghiêm trọng của hiệu ứng giảm cứng do hàn được thể hiện thông qua các hệ số giảm $\rho_{o,haz}$ và $\rho_{u,haz}$ được tính như sau:

$$\rho_{o,haz} = \frac{f_{o,haz}}{f_o} \quad \text{và} \quad \rho_{u,haz} = \frac{f_{u,haz}}{f_u} \tag{6.26}$$

tỷ lệ giữa giá trị đặc trưng của giới hạn chảy quy ước 0,2% $f_{o,haz}$ (hoặc cường độ cực hạn $f_{u,haz}$) trong vùng bị ảnh hưởng nhiệt và f_o (hoặc f_u) trong vật liệu gốc.

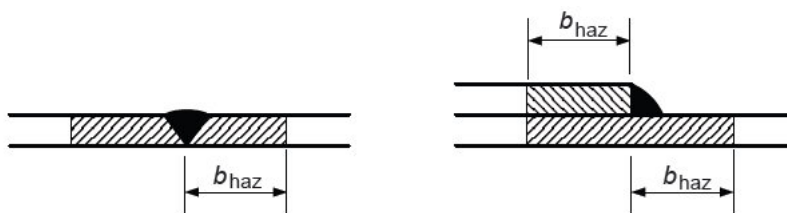
(2) Các giá trị đặc trưng của cường độ $f_{o,haz}$ và $f_{u,haz}$ và các giá trị của $\rho_{o,haz}$ và $\rho_{u,haz}$ được liệt kê trong Bảng 3.2a của EN 1999-1-1 cho các hợp kim nhôm rèn dập ở dạng tấm, dải và bản, và trong Bảng 3.2b cho ép đùn.

(3) Thời gian phục hồi sau khi hàn cần được đánh giá theo các quy định được nêu trong EN 1999-1-1.

6.2.4.3 Phạm vi của HAZ

(1) Cần tuân thủ các chỉ dẫn chung về phạm vi của HAZ trong EN 1999-1-1.

(2) Đối với mục đích kiểm tra oằn, HAZ trong tấm vỏ ở các khu vực có nguy cơ bị oằn được giả thiết là mở rộng ra một khoảng cách b_{haz} theo bất kỳ hướng nào từ mối hàn, được đo vuông góc từ đường tâm của một đường hàn đối đầu hoặc từ điểm giao nhau của các bề mặt được hàn của đường hàn góc, như trong Hình 6.2.



Hình 6.2 – Phạm vi vùng chịu ảnh hưởng nhiệt (HAZ) trong tấm vỏ

6.2.4.4 Sức kháng oằn của vỏ hàn không được tăng cứng

(1) Cần đánh giá sức kháng oằn của vỏ hàn không được tăng cứng trong bất kỳ trường hợp nào nếu trong vỏ xuất hiện các thành phần ứng suất nén tác động trong các ô bản được hàn không bị ngăn cản theo phương ngang.

(2) Có thể bỏ qua việc kiểm tra ảnh hưởng của hàn đối với hiện tượng oằn nếu tất cả các mối hàn trong vỏ song song với các thành phần ứng suất nén tác động trong kết cấu dưới bất kỳ trường hợp tải trọng nào, với điều kiện là hệ số giảm $\rho_{o,haz}$ do HAZ không thấp hơn 0,60.

(3) Có thể đánh giá ảnh hưởng của hàn đối với sức kháng oằn bằng phương pháp *phân tích phi tuyến hình học và vật liệu có kể đến sự không hoàn chỉnh* (GMNIA) và kể đến các đặc trưng thực tế của cả vật liệu gốc và vùng HAZ.

(4) Nếu không thể tiến hành phân tích GMNIA một cách chính xác, có thể đánh giá khả năng chống oằn vỏ bằng cách đơn giản thông qua hệ số giảm được tính bởi tỷ lệ $\rho_{i,w} = \chi_{i,w} / \chi_i$ giữa hệ số oằn của kết cấu hàn $\chi_{i,w}$ và hệ số tương tự của kết cấu không hàn χ_i .

CHÚ THÍCH 1: Các thành phần ứng suất nén trong vỏ có thể phát sinh không chỉ do nén trực tiếp, mà còn do áp lực ngoài, lực cắt và tải cục bộ. Bất kể điều kiện tải trọng là gì, cần áp dụng hệ số giảm $\chi_{i,w}$ nếu các mối hàn trực giao với các thành phần ứng suất nén vì chúng có thể tạo ra một nguồn tập trung biến dạng dẻo.

CHÚ THÍCH 2, chỉ số dưới "i" trong điều (4) và (5) cần được hiểu là "x", " θ " hoặc " τ " phụ thuộc vào việc liệu các hệ số giảm χ và ρ được gọi tương ứng là nén dọc trục, nén chu tuyến hay lực cắt.

(5) Hệ số giảm để kể đến hiệu ứng giảm cứng do HAZ trong các kết cấu vỏ được tính như sau:

$$\rho_{i,w} = \omega_0 + (1 - \omega_0) \frac{\bar{\lambda}_i - \bar{\lambda}_{i,0}}{\bar{\lambda}_{i,w} - \bar{\lambda}_{i,0}} \quad \text{nhưng } \rho_{i,w} \leq 1 \quad \text{và} \quad \rho_{i,w} \geq \omega_0 \quad (6.27)$$

trong đó:

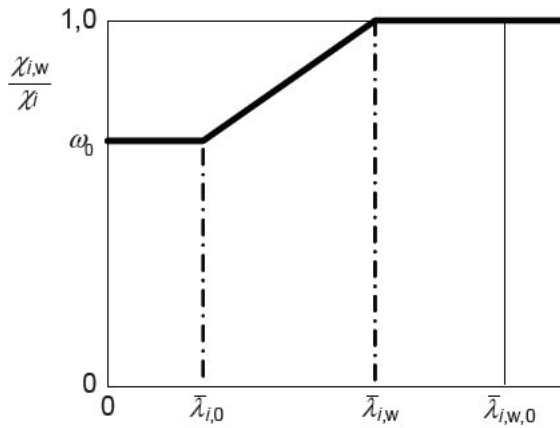
$$\omega_0 = \frac{\rho_{u,haz} f_u / \gamma_{M2}}{f_o / \gamma_{M1}} \quad \text{nhưng } \omega_0 \leq 1 \quad (6.28)$$

$\rho_{u,haz}$ và $\rho_{o,haz}$ là các hệ số giảm do HAZ, được lấy từ Bảng 3.2a hoặc Bảng 3.2b của EN 1999-1-1;

$\bar{\lambda}_{i,0}$ là tham số độ mảnh giới hạn nén tương đối cho các trường hợp tải được xem xét được lấy từ Phụ lục A;

$\bar{\lambda}_{i,w}$ là giá trị giới hạn của tham số độ mảnh tương đối mà khi bị vượt thì ảnh hưởng của hàn đối với oằn không còn, được tính như sau $\bar{\lambda}_{i,w} = 1,39(1 - \rho_{o,haz})(\bar{\lambda}_{i,w,0} - \bar{\lambda}_{i,0})$ nhưng $\bar{\lambda}_{i,w} \leq \bar{\lambda}_{i,w,0}$, xem Hình 6.3;

$\bar{\lambda}_{i,w,0}$ là giới hạn trên của độ mảnh tuyệt đối cho ảnh hưởng của hàn, phụ thuộc vào trường hợp tải trọng, vật liệu kết cấu và lớp dung sai của vỏ, như được nêu trong Bảng 6.5.



Hình 6.3 - Định nghĩa hệ số giảm $\rho_{i,w}$ do HAZ

Bảng 6.5 - Giá trị của $\bar{\lambda}_{i,w,0}$ cho các trường hợp tải trọng liên quan được kể đến trong Phụ lục

A

Lớp dung sai	Nén dọc trục $\bar{\lambda}_{x,w,0}$		Nén chu tuyến $\bar{\lambda}_{\theta,w,0}$		Xoắn và cắt $\bar{\lambda}_{\tau,w,0}$	
	Vật liệu lớp A	Vật liệu lớp B	Vật liệu lớp A	Vật liệu lớp B	Vật liệu lớp B	Vật liệu lớp B
Lớp 1	0,8	0,7	1,2	1,1	1,4	1,3
Lớp 2	1,0	0,9	1,3	1,2	1,5	1,4
Lớp 3	1,2	1,1	1,4	1,3	1,6	1,5
Lớp 4	1,3	1,2	-	-	-	-

6.2.4.5 Sức kháng oằn của vỏ hàn có sườn cứng

(1) Không cần kiểm tra ảnh hưởng của hàn đối với vỏ hàn có sườn cứng nếu các sườn cứng có đủ ngăn cản theo phương ngang tới các ô bản được hàn. Nếu không, cần áp dụng các quy định trong 6.2.4.4.

6.2.5 Thiết kế bằng phân tích số

(1) Có thể áp dụng quy trình được đưa ra trong 5.5 và 6.1.4 cho phân tích phi tuyến hình học và vật liệu kể đến sự không hoàn chỉnh (GMNIA). Có thể dùng phân tích GMNIA như biện pháp thay thế cho phương pháp được đưa ra trong 6.2.3, với giả thiết là sự không hoàn chỉnh ban đầu về hình học tương ứng các giá trị tối đa của dung sai cho trong 6.2.2.

(2) Đối với kết cấu hàn, vật liệu trong vùng chịu ảnh hưởng nhiệt cần được mô hình hóa, xem 6.2.4.2, 6.2.4.3 và 6.2.4.4.

7 Trạng thái giới hạn sử dụng

7.1 Quy định chung

(1) Các quy tắc cho các trạng thái giới hạn sử dụng được đưa ra trong EN 1999-1-1 cũng cần được áp dụng cho các kết cấu vỏ.

7.2 Vồng

(1) Độ vồng có thể được tính toán dựa trên giả thiết ứng xử đàn hồi.

(2) Với tham chiếu đến TCVN EN 1990 - Phụ lục A1.4, các giới hạn cho độ vồng cần được chỉ định cho từng dự án và được sự phê duyệt của chủ đầu tư.

Phụ lục A
(quy định)

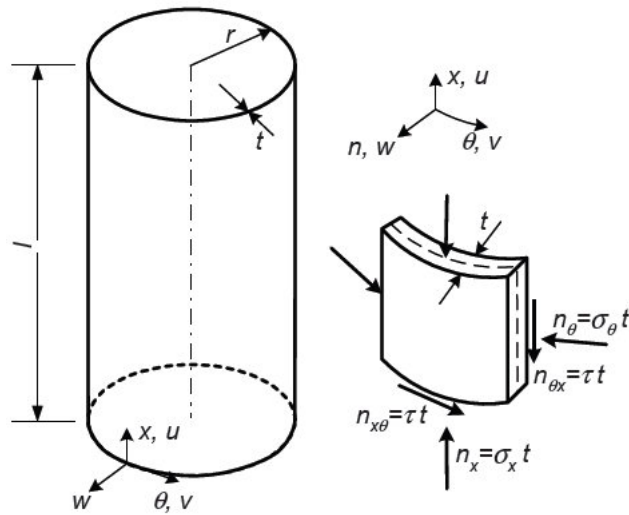
Các biểu thức cho phân tích oằn vò

A.1 Vỏ trụ không được tăng cứng có chiều dày thành không đổi

A.1.1 Ký hiệu và các điều kiện biên

(1) Đại lượng chung (Hình A. 1):

- l chiều dài vỏ trụ giữa các biên;
- r bán kính của mặt trụ trung bình;
- t chiều dày của vỏ;



Hình A.1 – Đại lượng hình học, các ứng suất màng và các thành phần ứng suất

(2) Các điều kiện biên được nêu trong 5.2 và 6.2.1.

A.1.2 Nén kinh tuyến (dọc trục)

(1) Vỏ trụ không cần phải kiểm tra oằn vò theo phương kinh tuyến nếu thỏa mãn:

$$\frac{r}{t} \leq 0,03 \frac{E}{f_o} \tag{A.1}$$

A.1.2.1 Ứng suất oằn tới hạn

(1) Các biểu thức sau chỉ có thể được sử dụng cho vỏ có điều kiện biên BC 1 hoặc BC 2 ở cả hai biên.

(2) Độ dài của đoạn vỏ được đặc trưng theo tham số không thứ nguyên ω :

$$\omega = \frac{l}{r} \sqrt{\frac{r}{t}} = \frac{l}{\sqrt{rt}} \tag{A.2}$$

(3) Ứng suất oằn tới hạn theo phương kinh tuyến, sử dụng các giá trị của C_x từ Bảng A.1, cần được lấy từ:

$$\sigma_{x,cr} = 0,605EC_x \frac{t}{r} \tag{A.3}$$

Bảng A.1 – Hệ số C_x đối với ứng suất oằn tới hạn theo phương kinh tuyến

Vỏ trụ	$\omega = \frac{l}{\sqrt{rt}}$	Hệ số C_x
Ngắn	$\omega \leq 1,7$	$C_x = 1,36 - \frac{1,83}{\omega} + \frac{2,07}{\omega^2}$
Dài trung bình	$1,7 < \omega < 0,5 \frac{r}{t}$	$C_x = 1$
Dài	$\omega \geq 0,5 \frac{r}{t}$	$C_x = 1 - \frac{0,2}{C_{xb}} (2\omega \frac{t}{r} - 1)$ nhưng $C_x \geq 0,6$ trong đó C_{xb} được đưa ra trong Bảng A.2

Bảng A.2 - Tham số C_{xb} về ảnh hưởng của các điều kiện biên đối với vỏ trụ dài

Trường hợp	Đầu vỏ trụ	Điều kiện biên	C_{xb}
1	đầu 1	BC 1	6
	đầu 2	BC 1	
2	đầu 1	BC 1	3
	đầu 2	BC 2	
3	đầu 1	BC 2	1
	đầu 2	BC 2	

CHÚ THÍCH BC 1 bao gồm cả BC1f và BC1r

(4) Đối với các vỏ trụ dài như được định nghĩa trong Bảng A.1 thỏa mãn các điều kiện bổ sung:

$$\frac{r}{t} \leq 150 \text{ và } \frac{\omega t}{r} \leq 6 \text{ và } 500 \leq \frac{E}{f_o} \leq 1000 \tag{A.4}$$

thì hệ số C_{xb} có thể thay bằng:

$$C_x = C_{x,N} \frac{\sigma_{x,N,Ed}}{\sigma_{x,Ed}} + \frac{\sigma_{x,M,Ed}}{\sigma_{x,Ed}} \tag{A.5}$$

trong đó:

$C_{x,N}$ là tham số cho vỏ trụ dài khi nén dọc trục theo Bảng A.1;

$\sigma_{x,Ed}$ là giá trị thiết kế của ứng suất theo phương kinh tuyến ($\sigma_{x,Ed} = \sigma_{x,N,Ed} + \sigma_{x,M,Ed}$)

$\sigma_{x,N,Ed}$ là thành phần ứng suất do nén dọc trục (thành phần không đổi theo phương chu tuyến);
 $\sigma_{x,M,Ed}$ là thành phần ứng suất do uốn tổng thể ống (giá trị cực đại của thành phần thay đổi theo phương chu tuyến).

A.1.2.2 Tham số oằn theo phương kinh tuyến

(1) Hệ số không hoàn chỉnh theo phương kinh tuyến cần được lấy từ:

$$\alpha_x = \frac{1}{1 + 2,60 \left(\frac{1}{Q} \sqrt{\frac{0,6E}{f_o}} (\bar{\lambda}_x - \bar{\lambda}_{x,0}) \right)^{1,44}} \quad \text{nhưng } \alpha_x \leq 1,00 \quad (A.6)$$

trong đó:

$\bar{\lambda}_{x,0}$ là tham số độ mảnh giới hạn nén kinh tuyến;

Q là tham số dung sai nén kinh tuyến.

(2) Tham số dung sai Q được lấy từ Bảng A3 cho từng lớp dung sai cụ thể. Đối với Lớp dung sai 4, tham số dung sai Q cũng phụ thuộc vào các điều kiện biên như được quy định trong Bảng 5.1.

(3) Hệ số hợp kim và thông số độ mảnh giới hạn khi nén được lấy từ Bảng A. 4 phụ thuộc vào lớp oằn vật liệu như được định nghĩa trong EN 1999-1-1.

Bảng A.3 - Tham số dung sai Q

Lớp dung sai	Giá trị của Q đối với điều kiện biên	
	BC1r, BC2r	BC1f, BC2f
Lớp 1	16	
Lớp 2	25	
Lớp 3	40	
Lớp 4	60	50

Bảng A.4 - Giá trị của $\bar{\lambda}_{x,0}$ và μ_x cho nén kinh tuyến

Lớp oằn vật liệu	$\bar{\lambda}_{x,0}$	μ_x
A	0,20	0,35
B	0,10	0,20

(4) Đối với các vỏ trụ dài thỏa mãn các điều kiện đặc biệt của A.1.2.1(4), tham số độ mảnh giới hạn nén kinh tuyến có thể được lấy từ:

$$\bar{\lambda}_{x,0,1} = \bar{\lambda}_{x,0} + 0,10 \frac{\sigma_{x,M,Ed}}{\sigma_{x,Ed}} \quad (A.7)$$

trong đó $\bar{\lambda}_{x,0}$ được lấy từ Bảng A.4 và $\sigma_{x,Ed}$ và $\sigma_{x,M,Ed}$ được đưa ra, trong A.1.2.1(4).

A.1.3 Nén theo phương chu tuyến (vòng)

(1) Vỏ trụ không cần phải kiểm tra chống oằn vỏ theo phương chu tuyến nếu thỏa mãn:

$$\frac{r}{t} \leq 0,21 \sqrt{\frac{E}{f_o}} \tag{A.8}$$

A.1.3.1 Ứng suất oằn tới hạn theo phương chu tuyến

(1) Các biểu thức sau có thể được áp dụng cho vỏ với tất cả các điều kiện biên.

(2) Độ dài của đoạn vỏ được đặc trưng theo tham số không thứ nguyên ω :

$$\omega = \frac{l}{r} \sqrt{\frac{r}{t}} = \frac{l}{\sqrt{rt}} \tag{A.9}$$

(3) Ứng suất oằn tới hạn theo phương chu tuyến, sử dụng các giá trị của C_θ từ Bảng A.5 cho vỏ trụ dài trung bình và Bảng A. 6 cho vỏ trụ ngắn, cần được lấy từ:

$$\sigma_{\theta,cr} = 0,92E \frac{C_\theta}{\omega} \frac{t}{r} \tag{A.10}$$

Bảng A.5 - Hệ số oằn do áp lực ngoài C_θ đối với các vỏ trụ dài trung bình
($20 < \omega / C_\theta < 1,63r / t$)

Trường hợp	Đầu vỏ trụ	Điều kiện biên	Hệ số C_θ
1	đầu 1	BC 1	1,5
	đầu 2	BC 1	
2	đầu 1	BC 1	1,25
	đầu 2	BC 2	
3	đầu 1	BC 2	1,0
	đầu 2	BC 2	
4	đầu 1	BC 1	0,6
	đầu 2	BC 3	
5	đầu 1	BC 2	0
	đầu 2	BC 3	
6	đầu 1	BC 3	0
	đầu 2	BC 3	

Bảng A.6 - Hệ số oằn do áp lực ngoài C_θ đối với các vỏ trụ ngắn ($\omega / C_\theta \leq 20$)

Case	Đầu vỏ trụ	Điều kiện biên	Factor C_θ
1	đầu 1	BC 1	$C_\theta = 1,5 + \frac{10}{\omega^2} - \frac{5}{\omega^3}$
	đầu 2	BC 1	
2	đầu 1	BC 1	$C_\theta = 1,25 + \frac{8}{\omega^2} - \frac{4}{\omega^3}$
	đầu 2	BC 2	

3	đầu 1 đầu 2	BC 2 BC 2	$C_{\theta} = 1,0 + \frac{3}{\omega^{1,35}}$
4	đầu 1 đầu 2	BC 1 BC 3	$C_{\theta} = 0,6 + \frac{1}{\omega^2} - \frac{0,3}{\omega^3}$

CHÚ THÍCH Trong Bảng A.5 và A.6, BC 1 bao gồm cả BC1f và BC1r

(4) Đối với các vỏ trụ dài ($\omega / C_{\theta} \geq 1,36r / t$) ứng suất oằn theo phương chu tuyến cần được lấy từ:

$$\sigma_{\theta,cr} = E \left(\frac{t}{r} \right)^2 \left(0,275 + 2,03 \left(\frac{C_{\theta} r}{\omega t} \right)^4 \right) \tag{A.11}$$

A.1.3.2 Tham số oằn chu tuyến

(1) Hệ số không hoàn chỉnh theo phương chu tuyến cần được lấy từ:

$$\alpha_{\theta} = \frac{1}{1 + 0,2(1 - \alpha_{\theta,ref}) (\bar{\lambda}_{\theta} - \bar{\lambda}_{\theta,0}) / \alpha_{\theta,ref}^2} \quad \text{nhưng} \quad \alpha_{\theta} \leq 1 \tag{A.12}$$

(2) Hệ số không hoàn chỉnh tham chiếu theo phương chu tuyến $\alpha_{\theta,ref}$ được lấy từ Bảng A.7 cho từng lớp dung sai cụ thể.

Bảng A.7 - Hệ số $\alpha_{\theta,ref}$ dựa trên lớp dung sai

Lớp dung sai	Tham số $\alpha_{\theta,ref}$
Lớp 1	0,50
Lớp 2	0,65
Lớp 3 và 4	0,75

(3) Hệ số hợp kim và thông số độ mảnh giới hạn nén chu tuyến được lấy từ Bảng A.8 phụ thuộc vào lớp oằn vật liệu như được định nghĩa trong EN 1999-1-1.

Bảng A.8 - Giá trị của $\bar{\lambda}_{\theta,0}$ và μ_{θ} đối với nén chu tuyến

Lớp oằn vật liệu	$\bar{\lambda}_{\theta,0}$	μ_{θ}
A	0,30	0,55
B	0,20	0,70

(4) Với mục đích thiết kế kháng oằn cho vỏ, áp lực phân bố không đều q_{eq} của tải gió bên ngoài lên các vỏ trụ (xem Hình A.2) có thể được thay thế bằng một áp lực ngoài không đối xứng đương:

$$q_{eq} = k_w q_{w,max} \tag{A.13}$$

trong đó $q_{w,max}$ là áp lực gió tối đa và k_w được tính như sau:

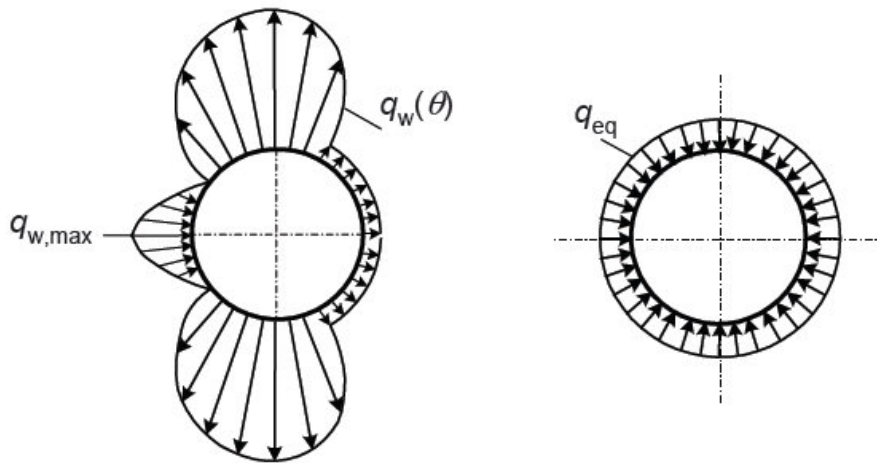
$$k_w = 0,46 \left(1 + 0,1 \sqrt{\frac{C_\theta r}{\omega t}} \right) \quad (A.14)$$

với giá trị của k_w không nằm ngoài khoảng $0,65 \leq k_w \leq 1,0$ và với C_θ được lấy từ Bảng A.5 phụ thuộc vào các điều kiện biên.

(5) Ứng suất thiết kế chu tuyến được đưa vào 6.2.3.3 như sau:

$$\sigma_{\theta,Ed} = (q_{eq} + q_s) \frac{r}{t} \quad (A.15)$$

Trong đó q_s là lực hút bên trong do thông khí, hiện tượng chân không một phần bên trong hoặc các hiện tượng khác.



a) Phân bố áp lực gió xung quanh chu vi vỏ b) Phân bố áp lực đối xứng tương đương

Hình A.2 - Chuyển đổi của phân bố tải trọng điển hình do áp lực gió ngoài

A.1.4 Lực cắt

(1) Vỏ trụ không cần phải kiểm tra oằn do cắt nếu thỏa mãn:

$$\frac{r}{t} \leq 0,16 \left(\frac{E}{f_o} \right)^{0,67} \quad (A.16)$$

A.1.4.1 Ứng suất oằn tới hạn do cắt

(1) Các biểu thức sau chỉ có thể được sử dụng cho vỏ có các điều kiện biên BC 1 hoặc BC 2 ở cả hai biên.

(2) Độ dài của đoạn vỏ được đặc trưng theo tham số không thứ nguyên ω :

$$\omega = \frac{l}{r} \sqrt{\frac{r}{t}} = \frac{l}{\sqrt{rt}} \quad (A.17)$$

(3) Ứng suất oằn tới hạn do cắt, sử dụng các giá trị của C_τ từ Bảng A. 9, cần được lấy từ:

$$\tau_{cr} = 0,75EC_r \frac{t}{r} \tag{A.18}$$

Bảng A.9 – Hệ số C_τ cho ứng suất oằn tới hạn do cắt

Vỏ trụ	$\omega = \frac{l}{\sqrt{rt}}$	C_τ
Ngắn	$\omega \leq 10$	$C_\tau = \sqrt{1 + \frac{42}{\omega^3}}$
Trung bình	$10 < \omega < 8,7 \frac{r}{t}$	$C_\tau = 1$
Dài	$\omega \geq 8,7 \frac{r}{t}$	$C_\tau = \frac{1}{3} \sqrt{\frac{\omega t}{r}}$

A.1.4.2 Các thông số oằn do cắt

(1) Hệ số không hoàn chỉnh cho cắt cần được lấy từ:

$$\alpha_\tau = \frac{1}{1 + 0,2(1 - \alpha_{\tau,ref}) (\bar{\lambda}_\tau - \bar{\lambda}_{\tau,0}) / \alpha_{\tau,ref}^2} \quad \text{nhưng } \alpha_\tau \leq 1,00 \tag{A.19}$$

(2) Hệ số không hoàn chỉnh cho cắt $\alpha_{\tau,ref}$ được lấy từ Bảng A.10 tương ứng với lớp dung sai cụ thể.

Bảng A.10 - Hệ số $\alpha_{\tau,ref}$ dựa trên dung sai

Lớp dung sai	Hệ số $\alpha_{\tau,ref}$
Lớp 1	0,50
Lớp 2	0,65
Lớp 3 và 4	0,75

(3) Hệ số hợp kim và tham số độ mảnh giới hạn khi nén do cắt được lấy từ Bảng A.11 phụ thuộc lớp oằn vật liệu như được định nghĩa trong EN 1999-1-1.

Bảng A.11 - Giá trị của $\bar{\lambda}_{\tau,0}$ và μ_τ cho cắt

Lớp oằn vật liệu	$\bar{\lambda}_{\tau,0}$	μ_τ
A	0,50	0,30
B	0,40	0,40

A.1.5 Nén theo phương kinh tuyến (dọc trục) với áp lực trong đồng thời

A.1.5.1 Ứng suất oằn theo phương kinh tuyến tới hạn do áp lực

(1) Ứng suất oằn theo phương kinh tuyến tới hạn $\sigma_{x,cr}$ có thể được coi là không bị ảnh hưởng bởi sự có mặt của áp lực trong và có thể được tính theo quy định trong A.1.2.1.

A.1.5.2 Các thông số oằn kinh tuyến do áp lực

(1) Cường độ kháng oằn kinh tuyến do áp lực cần được kiểm tra tương tự như với cường độ kháng oằn kinh tuyến không có áp lực theo quy định trong 6.2.3.3 và A.1.2.2. Tuy nhiên, hệ số không hoàn chỉnh không có áp lực α_x có thể được thay thế bằng hệ số không hoàn chỉnh có áp lực $\alpha_{x,p}$.

(2) $\alpha_{x,p}$ hệ số không hoàn chỉnh có áp lực cần được lấy là giá trị nhỏ hơn trong hai giá trị sau:

$\alpha_{x,pe}$ là một hệ số kể đến sự ổn định đàn hồi gây ra do áp lực;

$\alpha_{x,pp}$ là một hệ số kể đến sự mất ổn định dẻo gây ra do áp lực.

(3) Hệ số $\alpha_{x,pe}$ cần được lấy từ:

$$\alpha_{x,pe} = \alpha_x + (1 - \alpha_x) \frac{\bar{p}}{\bar{p} + 0,3 / \alpha_x^{0,5}} \tag{A.20}$$

$$\bar{p} = \frac{pr}{t\sigma_{x,cr}} \tag{A.21}$$

trong đó:

\bar{p} là giá trị nhỏ nhất của áp lực trong tại vị trí của điểm được đánh giá, và đảm bảo tồn tại đồng thời với lực nén kinh tuyến;

α_x là hệ số không hoàn chỉnh theo phương kinh tuyến không áp lực theo A.1.2.2;

$\sigma_{x,cr}$ là ứng suất oằn theo phương kinh tuyến tới hạn đàn hồi theo A.1.2.1(3).

(4) Không được áp dụng hệ số $\alpha_{x,pe}$ cho các vỏ trụ dài theo A.1.2.1(3), Bảng A.1. Ngoài ra, hệ số này không nên được áp dụng trừ khi:

- vỏ trụ có chiều dài trung bình theo A.1.2.1(3), Bảng A.1;
- vỏ trụ ngắn theo A.1.2.1(3), Bảng A.1 và $C_x = 1$ đã được áp dụng trong A.1.21(3).

(5) Hệ số $\alpha_{x,pp}$ cần được lấy từ:

$$\alpha_{x,pp} = \left(1 - \frac{\bar{p}^2}{\lambda_x^4}\right) \left(1 - \frac{1}{1,12 + s^{1,5}}\right) \frac{s^2 + 1,21\bar{\lambda}_x^2}{s(s+1)} \tag{A.22}$$

$$\bar{p} = \frac{pr}{t\sigma_{x,cr}} \tag{A.23}$$

$$s = \frac{r}{400t} \tag{A.24}$$

trong đó:

\bar{p} là giá trị lớn nhất của áp lực trong tại vị trí của điểm được đánh giá, và có thể tồn tại đồng thời với nén kinh tuyến;

- $\bar{\lambda}_x$ là tham số độ mảnh vỏ không thứ nguyên theo 6.2.3.2 (3);
- $\sigma_{x,cr}$ là ứng suất oằn theo phương kính tuyến tới hạn đàn hồi theo A.1.2.1 (3).

A.1.6 Tổ hợp nén kính tuyến (dọc trục), nén theo phương chu tuyến (vòng) và cắt

(1) Các tham số tương tác oằn được sử dụng trong 6.2.3.3 (3) có thể được lấy từ:

$$\begin{aligned}
 k_x &= 1,25 + 0,75\chi_x \\
 k_\theta &= 1,25 + 0,75\chi_\theta \\
 k_\tau &= 1,25 + 0,75\chi_\tau \\
 k_i &= (\chi_x\chi_\theta)^2
 \end{aligned}
 \tag{A.25}$$

trong đó χ_x , χ_θ và χ_τ là các hệ số giảm do oằn được xác định trong 6.2.3.2, sử dụng các tham số oằn cho trong A.1.2 đến A.1.4.

(2) Ba thành phần ứng suất màng cần được xem là có tương tác kết hợp tại bất kỳ điểm nào trong vỏ, ngoại trừ những điểm liền kề với biên. Có thể bỏ qua kiểm tra tương tác oằn cho tất cả các điểm nằm trong vùng biên có chiều dài l_s liền kề với một trong hai đầu của đoạn vỏ trụ. Giá trị l_s là giá trị nhỏ hơn của:

$$l_s = 0,1L \quad \text{và} \quad l_s = 0,16r\sqrt{\frac{r}{t}}
 \tag{A.26}$$

(3) Nếu việc kiểm tra tương tác oằn ở tất cả các điểm là khó khăn, thì các quy định sau của (4) và (5) cho phép một phương pháp đánh giá đơn giản hơn và thiên về an toàn. Nếu giá trị tối đa của bất kỳ ứng suất màng có liên quan đến oằn trong một vỏ trụ xuất hiện trong vùng biên có chiều dài l_s liền kề với một trong hai đầu của vỏ trụ, có thể tiến hành kiểm tra tương tác theo 6.2.3.3 (3) bằng cách sử dụng các giá trị được xác định trong mục (4).

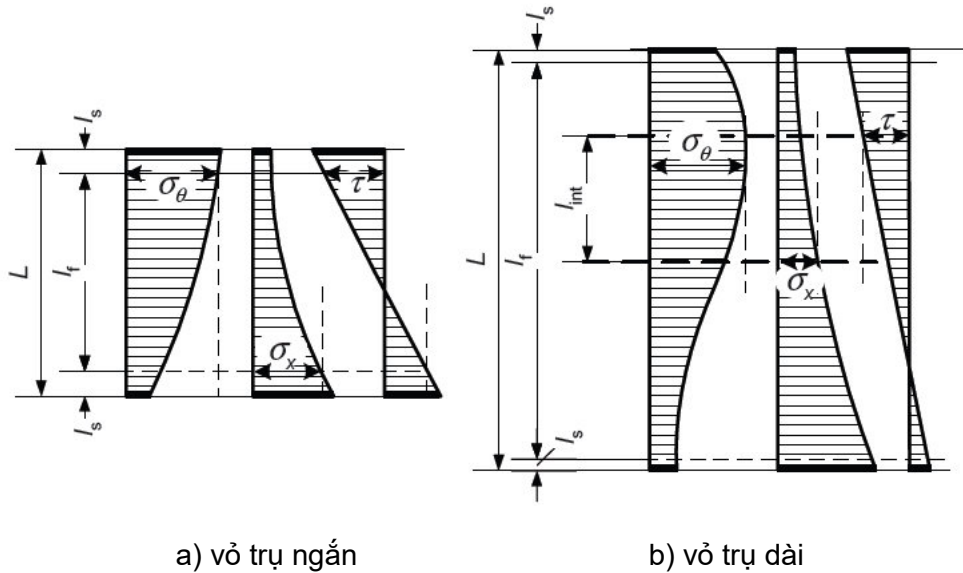
(4) Nếu các điều kiện của mục (3) được đáp ứng, có thể sử dụng giá trị tối đa của bất kỳ ứng suất màng liên quan đến oằn xuất hiện trên chiều dài tự do l_f nằm ngoài các vùng biên (xem Hình A.3a) trong kiểm tra tương tác theo 6.2.3.3 (3), trong đó:

$$l_f = L - 2l_s
 \tag{A.27}$$

(5) Đối với vỏ trụ dài như theo định nghĩa ở A.1.2.1 (3) Bảng A.1, các nhóm liên quan đến tương tác được đưa vào trong kiểm tra tương tác có thể bị giới hạn hơn so với các quy định của các mục (3) và (4). Những ứng suất được coi là trong các nhóm có liên quan đến tương tác có thể bị giới hạn ở bất kỳ tiết diện nào có độ dài l_{int} nằm trong phạm vi độ dài tự do l_f còn lại cho kiểm tra tương tác (xem Hình A.3b), trong đó:

$$l_{int} = 1,3r\sqrt{\frac{r}{t}}
 \tag{A.28}$$

(6) Nếu các mục (3) đến (5) ở trên không cung cấp các quy định cụ thể để xác định vị trí hoặc khoảng cách tương đối của các nhóm liên quan đến tương tác của các thành phần ứng suất màng, và vẫn cần một phương pháp đơn giản thiên về an toàn, giá trị tối đa của mỗi ứng suất màng, không phân biệt vị trí trong vỏ, có thể được áp dụng vào biểu thức (6.24).



Hình A.3 - Ví dụ về các nhóm liên quan đến tương tác của các thành phần ứng suất màng

A.2 Vỏ trụ không được tăng cứng có chiều dày thành tường dạng bậc thang

A.2.1 Quy định chung

A.2.1.1 Ký hiệu và các điều kiện biên

(1) Trong mục này, các ký hiệu sau được sử dụng:

- L tổng chiều dài vỏ trụ giữa các biên;
- r bán kính mặt trung bình của vỏ trụ;
- j một chỉ số nguyên biểu thị các phần riêng lẻ của vỏ trụ có chiều dày thành không đổi (từ $j = 1$ đến $j = n$)
- t_j chiều dày thành không đổi của phần thứ j của vỏ trụ;
- l_j chiều dài của phần thứ j của vỏ trụ.

(2) Các biểu thức sau chỉ có thể được sử dụng cho các vỏ có điều kiện biên BC 1 và BC 2 ở cả hai biên (xem 5.2) mà không có sự phân biệt giữa chúng.

A.2.1.2 Hình học và các độ lệch tâm giữa chiều dày các tấm nối tại mỗi nối

(1) Có thể sử dụng các quy trình được đưa ra trong mục này với điều kiện là chiều dày thành của vỏ trụ tăng dần theo dạng bậc thang từ trên xuống dưới (xem Hình A.4). Bằng cách khác, có thể sử

dụng *phân tích tuyến tính đàn hồi phân nhánh* LBA để tính toán ứng suất oằn tới hạn theo phương chu tuyến $\sigma_{\theta,cr,eff}$ trong A.2.3.1(7).

(2) Các chuyển dịch dự định e_0 giữa các tấm của các tiết diện liền kề (xem Hình A.4) có thể được xác định bởi các biểu thức sau với điều kiện là giá trị dự định e_0 nhỏ hơn giá trị cho phép $e_{0,p}$

$$e_{0,p} = 0,5(t_{max} - t_{min}) \quad \text{và} \quad e_{0,p} = 0,5t_{min} \tag{A.29}$$

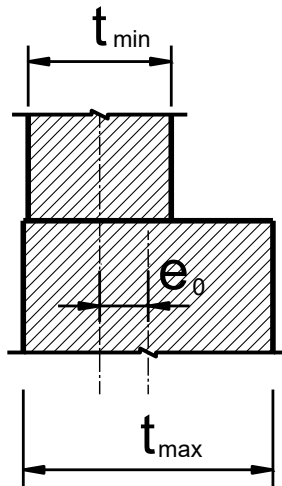
trong đó:

t_{max} là chiều dày tối đa của tấm dày hơn tại mỗi nối;

t_{min} là chiều dày của tấm mỏng hơn tại mỗi nối.

(3) Đối với các vỏ trụ có độ lệch dự định cho phép giữa các tấm của các phần liền kề theo (2), bán kính r có thể được lấy làm giá trị trung bình của tất cả các tiết diện.

(4) Đối với các vỏ trụ có các mối nối chồng lên nhau (mối nối chồng), cần áp dụng các quy định về thi công mối nối chồng được đưa ra trong A.3.



Hình A.4 - Độ lệch dự định e_0 trong vỏ có mối nối đối đầu

A.2.2 Nén theo phương kinh tuyến (dọc trục)

(1) Mỗi phần vỏ trụ thứ j có chiều dài l_j cần được coi là một vỏ trụ tương đương có chiều dài tổng thể $l = L$ và có chiều dày thành không đổi $t = t_j$ theo A.1.2.

(2) Đối với các vỏ trụ tương đương dài, được chi phối bởi A.1.2.1(3), Bảng A.1, tham số C_{xb} cần được lấy thiên về an toàn là $C_{xb} = 1$, trừ khi có một giá trị đúng hơn được chứng minh bằng một phân tích chính xác hơn.

A.2.3 Nén theo phương chu tuyến (vòng)

A.2.3.1 Ứng suất oằn tới hạn theo phương chu tuyến

(1) Nếu vỏ trụ gồm ba phần có chiều dày thành khác nhau, cần áp dụng quy trình (4) đến (7), xem Hình A.5 (II)

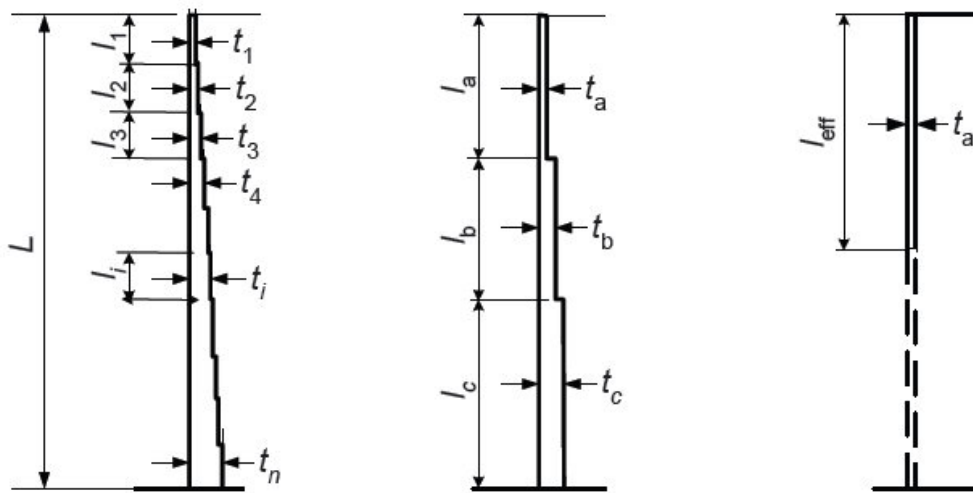
(2) Nếu vỏ trụ chỉ bao gồm một phần (nghĩa là chiều dày thành không đổi), áp dụng A.1.

(3) Nếu vỏ trụ gồm hai phần có chiều dày thành khác nhau, cần áp dụng quy trình từ (4) đến (7), coi hai trong ba phần, a và b, là có cùng chiều dày.

(4) Nếu vỏ trụ bao gồm nhiều hơn ba phần với chiều dày thành khác nhau (xem Hình A.5(I)), trước tiên cần thay thế vỏ trụ đó bằng một vỏ trụ tương đương gồm ba phần a, b và c (xem Hình A.5(II)). Chiều dài phần trên cùng, l_a , cần được kéo dài đến mép trên của phần đầu tiên có chiều dày tường lớn hơn 1,5 lần chiều dày tường nhỏ nhất t_j , nhưng không được chiếm hơn một nửa tổng chiều dài L của vỏ trụ. Độ dài của hai phần còn lại l_b và l_c cần được lấy như sau:

$$l_b = l_a \quad \text{và} \quad l_c = L - 2l_a \quad \text{nếu} \quad l_a \leq L / 3 \tag{A.30}$$

$$l_b = l_c = 0,5(L - l_a) \quad \text{nếu} \quad L / 3 < l_a \leq L / 2 \tag{A.31}$$



(I) Vỏ trụ có chiều dày thay đổi dạng bậc thang

(II) Vỏ trụ tương đương gồm ba phần

(III) Vỏ trụ đơn tương đương với chiều dày không đổi

Hình A.5 - Chuyển đổi vỏ trụ dạng bậc thang thành vỏ trụ tương đương

(5) Chiều dày tường ảo t_a , t_b và t_c của ba phần cần được tính là giá trị trung bình của chiều dày tường trên mỗi ba phần tương ứng:

$$t_a = \frac{1}{l_a} \sum_a l_j t_j \tag{A.32}$$

$$t_b = \frac{1}{l_b} \sum_b l_j t_j \tag{A.33}$$

$$t_c = \frac{1}{l_c} \sum_c l_j t_j \tag{A.34}$$

(6) Cần thay thế vỏ trụ ba phần (là vỏ trụ tương đương hoặc vỏ trụ thực tế tương ứng) bằng một vỏ trụ đơn tương đương có chiều dài hiệu dụng l_{eff} và chiều dày thành không đổi $t = t_a$ (xem Hình A.5 (III)). Chiều dài hiệu dụng cần được xác định từ:

$$l_{eff} = \frac{l_a}{\kappa} \tag{A.35}$$

trong đó κ là hệ số không thứ nguyên lấy theo Hình A.6.

(7) Đối với các phần vỏ trụ có chiều dài trung bình hoặc ngắn, ứng suất oằn tới hạn theo phương chu tuyến của mỗi phần thứ j của vỏ trụ gốc có chiều dày thành biến thiên dạng bậc thang cần được xác định từ:

$$\sigma_{\theta,cr,j} = \frac{t_a}{t_j} \sigma_{\theta,cr,eff} \tag{A.36}$$

Trong đó $\sigma_{\theta,cr,eff}$ là ứng suất oằn tới hạn theo phương chu tuyến xác định từ A.1.3.1(3) hoặc A.1.3.1(4) khi thích hợp, của vỏ trụ đơn tương đương có chiều dài l_{eff} theo (6). Hệ số c_θ trong những biểu thức này cần được lấy với $c_\theta = 1,0$.

(8) Độ dài của đoạn vỏ được đặc trưng theo tham số không thứ nguyên ω_j :

$$\omega_j = \frac{l_j}{r} \sqrt{\frac{r}{t_j}} = \frac{l_j}{\sqrt{r t_j}} \tag{A.37}$$

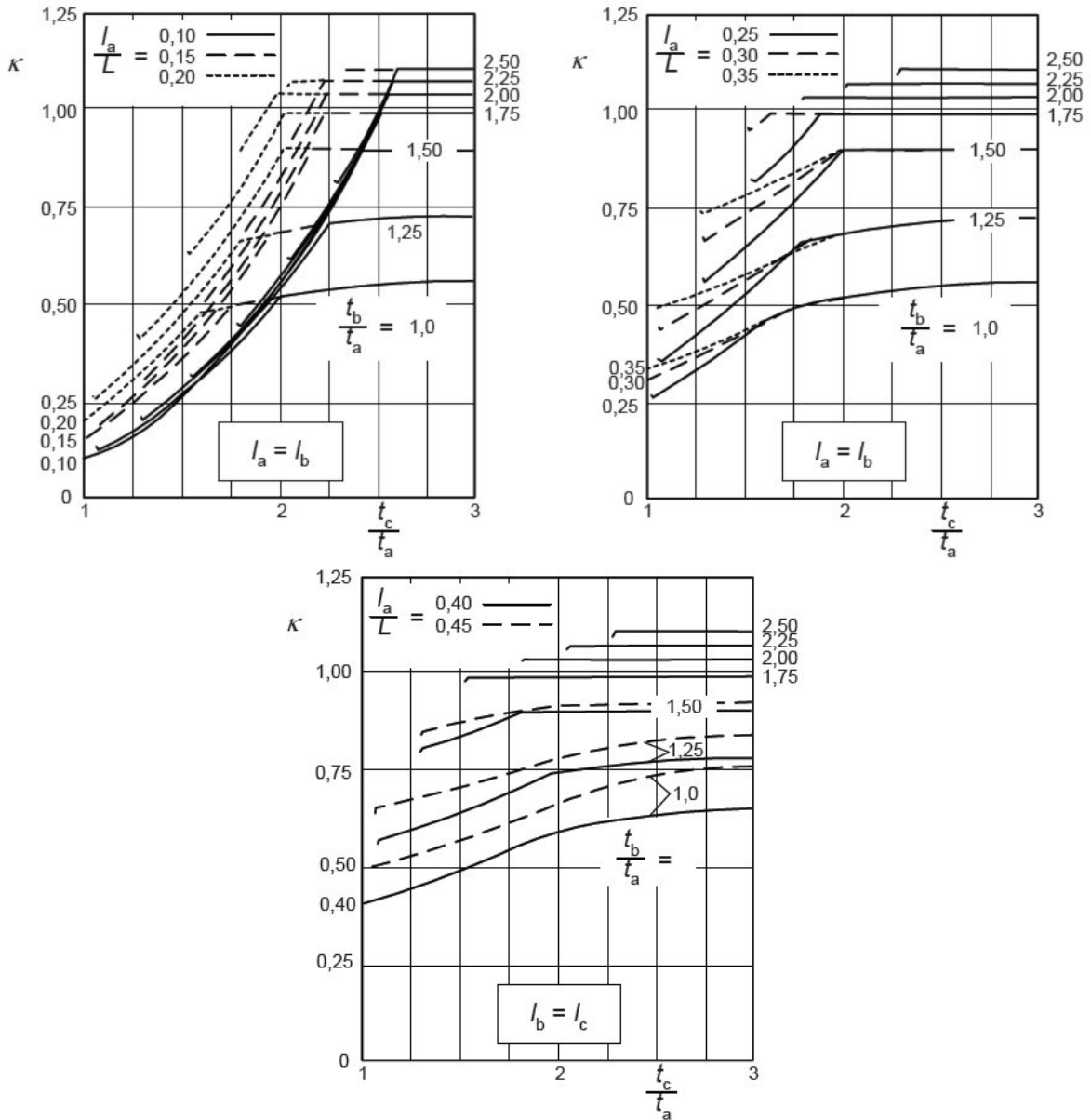
(9) Nếu phần vỏ trụ thứ j là dài, cần thực hiện đánh giá bổ sung thứ hai về ứng suất oằn. Cần sử dụng giá trị nhỏ hơn trong hai giá trị tính từ (7) và (10) cho thiết kế kháng oằn của phần vỏ trụ thứ j .

(10) Phần vỏ trụ thứ j được coi là dài nếu:

$$\omega_j \geq 1,63 \frac{r}{t_j} \tag{A.38}$$

trong đó, ứng suất oằn tới hạn theo phương chu tuyến cần được lấy từ:

$$\sigma_{\theta,cr,j} = E \left(\frac{t_j}{r} \right)^2 \left(0,275 + 2,03 \left(\frac{C_\theta r}{\omega_j t_j} \right)^4 \right) \tag{A.39}$$



Hình A.6 - Hệ số κ để xác định chiều dài hiệu dụng l_{eff}

A.2.3.2 Kiểm tra cường độ kháng oằn cho nén chu tuyến

(1) Với mỗi phần vỏ trụ thứ j , cần đáp ứng các điều kiện của 6.2.3 và cần kiểm tra theo công thức sau:

$$\sigma_{\theta,Ed,j} \leq \sigma_{\theta,Rd,j} \quad (A.40)$$

trong đó:

$\sigma_{\theta,Ed,j}$ là giá trị cơ sở của ứng suất màng nén chu tuyến, như được diễn giải trong các điều sau;

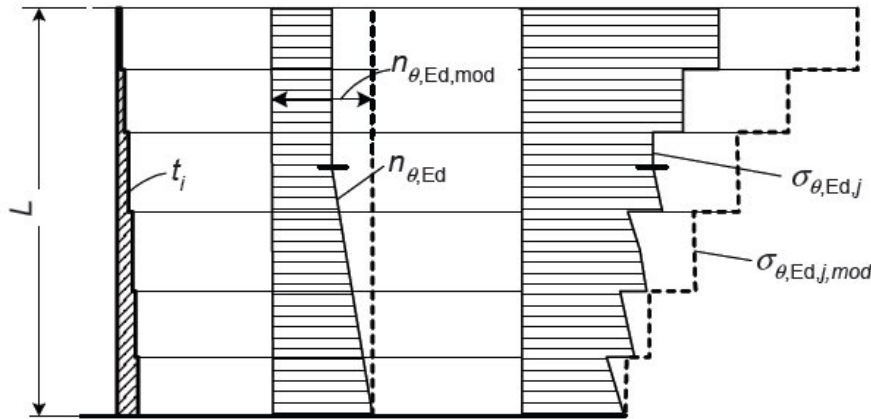
$\sigma_{\theta,Rd,j}$ là ứng suất oằn thiết kế theo phương chu tuyến, được tính từ ứng suất oằn tới hạn theo phương chu tuyến tính theo A.1.3.2.

(2) Với điều kiện là giá trị thiết kế của thành phần ứng suất theo phương chu tuyến $n_{\theta,Ed}$ là không đổi trong suốt chiều dài L , giá trị cơ sở của ứng suất màng nén chu tuyến trong phần thứ j cần được lấy như sau:

$$\sigma_{\theta,Ed,j} \leq \frac{n_{\theta,Ed}}{t_j} \tag{A.41}$$

(3) Nếu giá trị thiết kế của thành phần ứng suất theo phương chu tuyến $n_{\theta,Ed}$ thay đổi trong chiều dài L , giá trị cơ sở của ứng suất màng nén chu tuyến cần được coi là một giá trị ảo $\sigma_{\theta,Ed,j,mod}$ được xác định từ giá trị lớn nhất của thành phần ứng suất theo phương chu tuyến $n_{\theta,Ed}$ ở bất cứ nơi nào trong chiều dài L , chia cho chiều dày cục bộ t_j , (xem Hình A.7), được tính như sau:

$$\sigma_{\theta,Ed,j,mod} = \frac{\max(n_{\theta,Ed})}{t_j} \tag{A.42}$$



Hình A.7 - Các giá trị cơ sở của ứng suất màng nén chu tuyến trong các trường hợp khi $n_{\theta,Ed}$ thay đổi trong chiều dài L

A.2.4 Lực cắt

A.2.4.1 Ứng suất oằn tới hạn do cắt

(1) Nếu không có quy tắc cụ thể để đánh giá một vỏ trụ đơn tương đương có chiều dày thành không đổi, có thể áp dụng biểu thức của A.2.3.1 (1) đến (6).

(2) Về nguyên tắc, việc xác định thêm các ứng suất oằn tới hạn do cắt có thể được thực hiện như trong A.2.3.1(7) đến (10), nhưng thay thế các biểu thức nén theo phương chu tuyến từ A.1.3.1 bằng các biểu thức cắt tương ứng trong A.1.4.1.

A.2.4.2 Kiểm tra cường độ kháng oằn cho cắt

(1) Có thể áp dụng các quy tắc trong A.2.3.2, nhưng thay thế các biểu thức nén theo phương chu tuyến bằng biểu thức cắt tương ứng.

A.3 Vỏ trụ nối chồng không có sườn cứng

A.3.1 Quy định chung

A.3.1.1 Định nghĩa

1. mối nối chồng theo phương chu tuyến (circumferential lap joint)

một mối nối chồng chạy theo phương chu tuyến xung quanh trục vỏ.

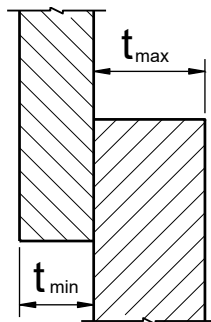
2. mối nối chồng theo phương kinh tuyến (meridional lap joint)

một mối nối chồng chạy song song với trục vỏ (hướng kinh tuyến).

A.3.1.2 Hình học và các thành phần ứng suất

(1) Nếu một vỏ trụ được thi công bằng cách sử dụng các mối nối chồng (xem Hình A.8), có thể sử dụng các quy định sau đây thay cho những quy định được nêu trong A.2.

(2) Các quy định sau đây áp dụng cho cả mối nối nối chồng làm tăng hoặc giảm bán kính của mặt trung bình của vỏ. Nếu là mối nối chồng chạy theo phương chu tuyến quanh trục vỏ (mối nối chồng theo phương chu tuyến), cần sử dụng các quy định của A.3.2 cho nén theo phương kinh tuyến. Nếu nhiều mối nối chồng chạy theo phương chu tuyến quanh trục vỏ (mối nối chồng theo phương chu tuyến) với sự thay đổi chiều dày tấm theo phương đi xuống của vỏ, cần sử dụng các quy định của A.3.3 cho nén theo phương chu tuyến. Nếu là một mối nối nối chồng đơn chạy song song với trục vỏ (mối nối chồng theo phương kinh tuyến), cần sử dụng các quy định của A.3.3 cho nén theo phương chu tuyến. Trong các trường hợp khác, không cần có xem xét đặc biệt đối với ảnh hưởng của mối nối chồng lên sức kháng oằn.



Hình A.8 - Vỏ dùmng mối nối chồng

A.3.2 Nén theo phương kinh tuyến (dọc trục)

(1) Nếu một vỏ trụ nối chồng chịu lực nén kinh tuyến, với các mối nối chồng theo phương kinh tuyến, sức kháng oằn có thể được tính như đối với vỏ trụ bề dày đồng nhất hoặc vỏ trụ bề dày dạng bậc thang, khi phù hợp, nhưng với sức kháng thiết kế giảm theo hệ số 0,70.

(2) Nếu có thay đổi về chiều dày tấm ở mối nối chồng, sức kháng oằn thiết kế có thể được lấy bằng giá trị tương ứng của vỏ có bề dày mỏng hơn như được xác định trong (1).

A.3.3 Nén theo phương chu tuyến (vòng)

(1) Nếu một vỏ trụ nổi chông chịu nén theo phương chu tuyến trên các mối nối chông theo phương kinh tuyến, sức kháng oằn thiết kế có thể được tính như đối với vỏ trụ bề dày đồng nhất hoặc vỏ trụ bề dày dạng bậc thang, khi phù hợp, nhưng với hệ số giảm 0,90.

(2) Nếu một vỏ trụ nổi chông chịu nén chu tuyến, với nhiều mối nối chông theo phương chu tuyến và có sự thay đổi chiều dày tấm theo chiều đi xuống của vỏ, cần sử dụng quy trình A.2 mà không cần kể đến những hạn chế về mặt hình học đối với độ lệch của mối nối và với sức kháng oằn thiết kế giảm đi với hệ số 0,90.

(3) Nếu các mối nối chông được sử dụng theo cả hai phương, với các mối nối chông theo phương kinh tuyến được bố trí so le trong các dải hoặc lớp cách nhau, sức kháng oằn thiết kế cần được tính là giá trị nhỏ hơn của các giá trị tính được trong (1) hoặc (2). Không cần áp dụng thêm hệ số giảm sức kháng.

A.3.4 Lực cắt

(1) Nếu một vỏ trụ nổi chông chịu lực cắt màng, sức kháng oằn có thể được tính như đối với một vỏ trụ bề dày đồng nhất hoặc vỏ trụ bề dày dạng bậc thang khi thích hợp.

A.4 Vỏ hình nón không có sườn cứng

A.4.1 Quy định chung

A.4.1.1 Ký hiệu

(1) Trong mục này, các ký hiệu sau được sử dụng:

h là chiều dài dọc trục (chiều cao) của hình nón cụt;

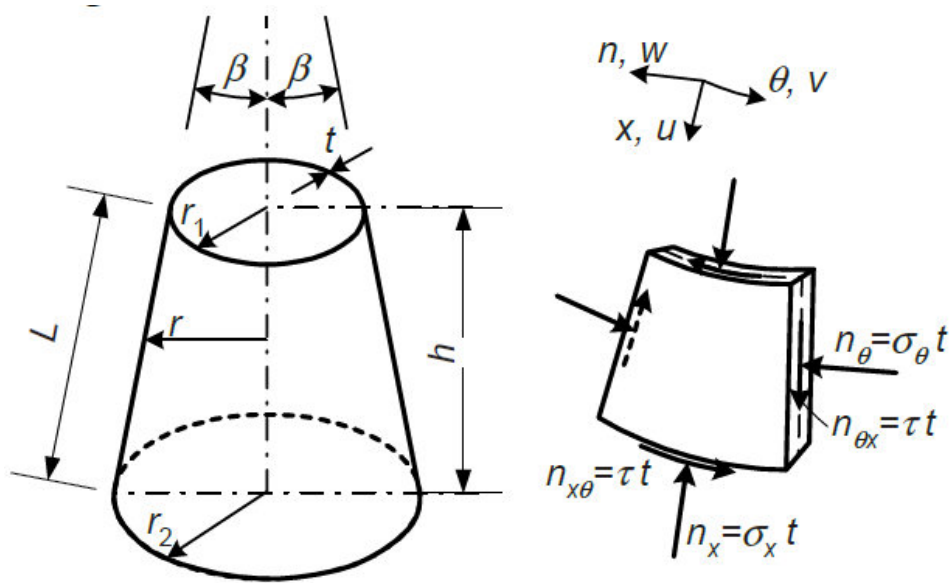
L là chiều dài kinh tuyến của hình nón cụt;

r là bán kính của mặt trung bình hình nón, vuông góc với trục quay, thay đổi tuyến tính dọc theo chiều dài;

r_1 là bán kính ở đầu nhỏ của hình nón;

r_2 là bán kính ở đầu lớn của hình nón;

β là nửa góc đỉnh của hình nón.



Hình A.9 - Hình học của hình nón, ứng suất màng và thành phần ứng suất

A.4.1.2 Điều kiện biên

(1) Chỉ nên sử dụng các biểu thức sau cho các vỏ có điều kiện biên BC 1 hoặc BC 2 tại cả hai biên (xem 5.2 và 6.2), mà không có sự phân biệt giữa chúng. Chúng không được sử dụng cho vỏ với bất kỳ điều kiện biên nào là BC 3.

(2) Các quy tắc trong mục A.4.1 này chỉ được sử dụng cho hai điều kiện biên ngăn cản chuyển vị hướng tâm sau, ở hai đầu của hình nón:

"điều kiện vỏ trụ" $w = 0$;

"điều kiện sườn vòng" $u \sin \beta + w \cos \beta = 0$

A.4.1.3 Hình học

(1) Các quy tắc sau đây chỉ áp dụng cho các vỏ nón cụt có chiều dày thành không đổi và với nửa góc đỉnh $\beta \leq 65^\circ$ (xem Hình A.9).

A.4.2 Ứng suất oằn thiết kế

A.4.2.1 Vỏ trụ tương đương

(1) Các ứng suất oằn thiết kế cần thiết trong kiểm tra cường độ kháng oằn theo 6.2.3 có thể được lấy từ một vỏ trụ tương đương có chiều dài l_e và bán kính r_e trong đó l_e và r_e phụ thuộc vào loại ứng suất theo Bảng A.12.

Bảng A.12 - Chiều dài và bán kính vỏ trụ tương đương

Tải trọng	Chiều dài tương đương	Bán kính vỏ trụ tương đương
Nén theo phương kinh tuyến	$l_e = L$	$r_e = \frac{r}{\cos \beta}$
Nén theo phương chu tuyến (vòng)	$l_e = L$	$r_e = \frac{r_1 + r_2}{2 \cos \beta}$
Áp lực ngoài không đổi q Điều kiện biên: Hoặc BC 1 hoặc BC 2 ở cả hai đầu	l_e là giá trị nhỏ hơn của $l_{e,1} = L$ và $l_{e,2} = \frac{r_2(0,53 + 0,125\beta)}{\sin \beta}$ (β đơn vị là radian, xem hình A.9)	$r_e = \frac{0,55r_1 + 0,45r_2}{\cos \beta}$ nếu $l_e = l_{e,1}$ (nón ngắn hơn)
		$r_e = 0,71r_2 \frac{1 - 0,1\beta}{\cos \beta}$ nếu $l_e = l_{e,2}$ (nón dài hơn)
Cắt	$l_e = h$	$r_e = \left(1 + \rho - \frac{1}{\rho}\right)r_1 \cos \beta$ trong đó $\rho = \sqrt{\frac{r_1 + r_2}{2r_1}}$
Xoắn phân bố đều	$l_e = L$	$r_e = r_1 \cos \beta (1 - \rho^{2,5})^{0,4}$ trong đó $\rho = \frac{L \sin \beta}{r_2}$

(2) Đối với các hình nón chịu áp lực ngoài không đổi q , việc kiểm tra cường độ kháng oằn cần dựa trên ứng suất màng sau:

$$\sigma_{\theta,Ed} = qr_e / t \tag{A.43}$$

A.4.3 Kiểm tra cường độ kháng oằn

A.4.3.1 Nén theo phương kinh tuyến

- (1) Việc kiểm tra thiết kế kháng oằn cần được thực hiện tại điểm của hình nón có tổ hợp tác động của ứng suất thiết kế theo phương kinh tuyến và ứng suất oằn thiết kế theo A.3.2.2 là nguy hiểm nhất.
- (2) Trong trường hợp lực nén kinh tuyến gây ra bởi một lực dọc trục không đổi trên một vỏ nón cụt, cả bán kính nhỏ r_1 và bán kính lớn r_2 cần được coi có khả năng là những vị trí nguy hiểm nhất.
- (3) Trong trường hợp lực nén kinh tuyến gây ra bởi mô men uốn tổng thể không đổi trên vỏ hình nón, bán kính nhỏ r_1 cần được coi là vị trí nguy hiểm nhất.
- (4) Ứng suất oằn thiết kế cần được xác định cho vỏ trụ tương đương theo A.1.2.

A.4.3.2 Nén theo phương chu tuyến (vòng)

- (1) Nếu nén chu tuyến gây ra bởi áp lực ngoài không đổi, cần kiểm tra thiết kế kháng oằn bằng cách sử dụng ứng suất chu tuyến thiết kế tác dụng $\sigma_{\theta,Ed,env}$ được xác định bằng biểu thức (A.43) và ứng suất oằn thiết kế tính theo A.3.2.1 và A.3.2.3.
- (2) Nếu lực nén chu tuyến được gây ra bởi các tác động không phải là áp lực ngoài không đổi, cần thay thế phân bố ứng suất tính toán $\sigma_{\theta,Ed}(x)$ bằng phân bố ứng suất bao ảo $\sigma_{\theta,Ed,env}(x)$ mà tại tất cả

mọi nơi đều vượt quá giá trị tính được, nhưng được sinh ra từ một áp lực ngoài ảo không đổi. Sau đó cần kiểm tra thiết kế kháng oằn như trong (1), nhưng sử dụng $\sigma_{\theta,Ed,env}$ thay vì $\sigma_{\theta,Ed}$.

(3) Ứng suất oằn thiết kế cần được xác định cho vỏ trụ tương đương theo A.1.3.

A.4.3.3 Cắt và xoắn không đổi

(1) Trong trường hợp lực cắt gây ra bởi một mô men xoắn tổng thể không đổi trên vỏ hình nón, cần thực hiện kiểm tra thiết kế kháng oằn bằng cách sử dụng ứng suất cắt thiết kế tác dụng τ_{Ed} tại điểm có $r = r_e \cos \beta$ và ứng suất oằn thiết kế τ_{Rd} theo A.3.2.1 và A.3.2.4.

(2) Nếu lực cắt được gây ra bởi các tác động không phải là mô men xoắn tổng thể không đổi (chẳng hạn như lực cắt tổng thể trên vỏ hình nón), cần thay thế phân bố ứng suất tính toán $\tau_{Ed}(x)$ bằng một phân bố ứng suất bao ảo $\tau_{Ed,env}(x)$ mà tại tất cả mọi nơi đều vượt quá giá trị tính được, nhưng được sinh ra từ một mô men xoắn tổng thể ảo. Kiểm tra thiết kế kháng oằn sau đó cần được thực hiện như trong (1), nhưng sử dụng $\tau_{Ed,env}$ thay vì τ_{Ed} .

(3) Ứng suất oằn thiết kế τ_{Rd} cần được xác định cho vỏ trụ tương đương theo A.1.4.

A.5 Vỏ trụ có sườn cứng có chiều dày thành không đổi

A.5.1 Quy định chung

(1) Vỏ trụ có sườn cứng có thể được làm từ một trong hai cách sau:

- các tường đẳng hướng được tăng cứng với các sườn cứng theo phương kinh tuyến và chu tuyến;
- các tường lượn sóng được tăng cứng với các sườn cứng theo phương kinh tuyến và chu tuyến.

(2) Trong cả hai trường hợp, có thể thực hiện kiểm tra oằn bằng cách giả thiết tường có sườn cứng ứng xử như một vỏ trục giao tương đương theo các quy tắc được đưa ra trong A.5.6, với điều kiện là các điều kiện trong A. 5. 6 được thỏa mãn.

(3) Trong trường hợp tấm lượn sóng theo phương chu tuyến mà không có sườn cứng theo phương kinh tuyến, sức kháng oằn dẻo có thể được tính theo các quy tắc được đưa ra trong A.5.4.2(3), (4) và (5).

(4) Nếu tấm lượn sóng theo phương chu tuyến được giả định là không mang tải dọc trục, sức kháng oằn của một sườn cứng riêng lẻ có thể được tính theo A.5.4.3.

A.5.2 Tường đẳng hướng có sườn cứng

A.5.2.1 Quy định chung

(1) Nếu một tường đẳng hướng được tăng cứng bởi các sườn cứng dọc kinh tuyến, cần tính đến ảnh hưởng của tính tương thích của sự co ngắn tường do áp lực bên trong khi đánh giá ứng suất nén kinh tuyến trong cả tường và các sườn cứng.

(2) Sức kháng chống đứt trên đường nối kinh tuyến cần được xác định như đối với một vỏ đẳng hướng.

(3) Nếu trong một chi tiết liên kết kết cấu có chứa sườn cứng như là một phần của biện pháp truyền lực kéo chu tuyến, ảnh hưởng của lực kéo này đến sườn cứng cần được tính đến khi đánh giá lực trong sườn cứng và tính để đứt của nó dưới lực kéo chu tuyến.

A.5.2.2 Nén theo phương kinh tuyến (dọc trục)

(1) Tường cần được thiết kế cho các tiêu chí oằn do nén dọc trục giống như tường không có sườn cứng trừ khi khoảng cách tối đa theo phương kinh tuyến giữa các sườn cứng $d_{s,max}$ (Hình A.10) nhỏ hơn $2\sqrt{rt}$, trong đó t là chiều dày cục bộ của tường.

(2) Khi các sườn cứng theo phương kinh tuyến được đặt ở khoảng cách gần hơn $2\sqrt{rt}$, sức kháng oằn của tường kín cần được đánh giá bằng cách sử dụng quy trình trong A.5.6.

(3) Cần đánh giá cường độ kháng oằn do nén dọc trục của các sườn cứng sử dụng quy định của EN 1999-1-1.

(4) Cần tính đến độ lệch tâm của sườn cứng đối với thành vỏ nếu cần thiết.

A.5.2.3 Nén theo phương chu tuyến (vòng)

(1) Tường cần được kiểm tra các tiêu chí oằn do áp lực ngoài giống như tường không có sườn cứng trừ khi thực hiện một tính toán chính xác hơn.

(2) Khi sử dụng một tính toán chính xác hơn, các sườn cứng theo phương kinh tuyến có thể được dàn đều vào vỏ để tạo ra một tường trục giao, và việc đánh giá ứng suất oằn được thực hiện bằng các quy định của A.5.6, với giả thiết độ cứng khi kéo $C_\phi = C_o = Et$ và độ cứng màng cắt $C_{\phi\theta} = 0,38Et$

A.5.2.4 Lực cắt

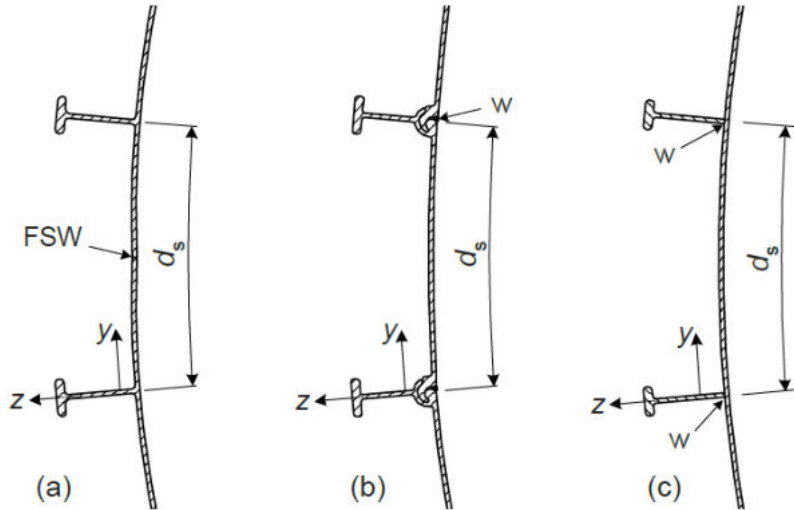
(1) Nếu một phần chính của tường vỏ chịu tải cắt (như trong trường hợp trút lệch tâm, tải trọng động đất v.v.), sức kháng oằn do cắt của màng được coi như bằng với của tường đẳng hướng không có sườn cứng (xem A.1.4), nhưng sức kháng này có thể được tăng lên khi tính đến các sườn cứng. Độ dài tương đương l của vỏ chịu cắt có thể được tính bằng giá trị nhỏ hơn của chiều cao giữa các sườn cứng vòng hoặc giữa các biên và gấp đôi khoảng cách theo phương kinh tuyến giữa các sườn cứng theo phương kinh tuyến, với điều kiện là mỗi sườn cứng có độ cứng chống uốn EI_y đối với uốn theo phương kinh tuyến (quanh một trục chu tuyến) lớn hơn:

$$EI_{y,min} = 0,1Et^3\sqrt{rl} \tag{A.44}$$

trong đó các giá trị của l và t được lấy giống như các giá trị được sử dụng trong dạng oằn nguy hiểm nhất.

(2) Nếu một sườn cứng đơn lẻ bị tách đột ngột khỏi vỏ, thì lực trong sườn cứng này cần được phân phối đều lại vào vỏ trên một chiều dài không quá $4\sqrt{rt}$.

(3) Nếu nhiều sườn cứng bị tách ra như trên, hoặc được sử dụng để truyền các lực cục bộ vào vỏ, sức kháng được kiểm tra cho việc truyền lực cắt giữa sườn cứng và vỏ không được vượt quá giá trị cho trong A.1.4.



Ghi chú: w = hàn, FSW = hàn ma sát khuấy

Hình A.10 - Vỏ có sườn cứng trực dọc điển hình được làm từ (a) và (b) ép đùn và (c) bản và ép đùn

A.5.3 Tường đẳng hướng có sườn cứng theo phương chu tuyến

(1) Với mục đích kiểm tra oằn, áp dụng các quy tắc được đưa ra trong A.5.6 với giả thiết tường có sườn cứng ứng xử như một vỏ trực giao.

A.5.4 Tường lượn sóng theo phương chu tuyến với các sườn cứng theo phương kinh tuyến

A.5.4.1 Quy định chung

(1) Tất cả các tính toán cần được thực hiện với chiều dày không bao gồm lớp phủ và dung sai hình học.

(2) Chiều dày lõi tối thiểu cho tấm lượn sóng của tường cần lấy là 0,68 mm.

(3) Nếu tường vỏ trụ được chế tạo từ các tấm lượn sóng với các sóng chạy theo phương chu tuyến và các sườn cứng theo phương kinh tuyến được liên kết vào tường, cần giả định rằng tường không mang lực theo phương kinh tuyến trừ khi tường được coi là vỏ trực giao, xem A.5.6.

(4) Cần có chú ý đặc biệt để đảm bảo rằng các sườn cứng có tính liên tục khi chịu uốn đối với uốn trong mặt phẳng kinh tuyến vuông góc với tường, bởi vì tính liên tục khi chịu uốn của sườn cứng là cần thiết trong phát triển sức kháng oằn.

(5) Nếu tường có sườn cứng theo phương kinh tuyến, các liên kết chốt (bu lông) giữa tấm và sườn cứng cần được bố trí hợp lý để đảm bảo rằng tải cắt phân bố trên mỗi phần của tấm tường được chuyển vào các sườn cứng. Chiều dày tấm cần được chọn để đảm bảo rằng đứt cục bộ tại các chốt

(bu lông) được ngăn chặn, có tính đến sự giảm cường độ chịu lực của chốt (bu lông) trong tấm lợp sóng.

(6) Cần tiến hành tính toán các thành phần ứng suất thiết kế, sức kháng và kiểm tra như trong 5, 6.1 và A.1, nhưng bao gồm các quy định bổ sung được nêu trong (1) đến (5) ở trên.

CHÚ THÍCH Ví dụ về sự sắp xếp sườn cứng của tường được thể hiện trong Hình A.11.

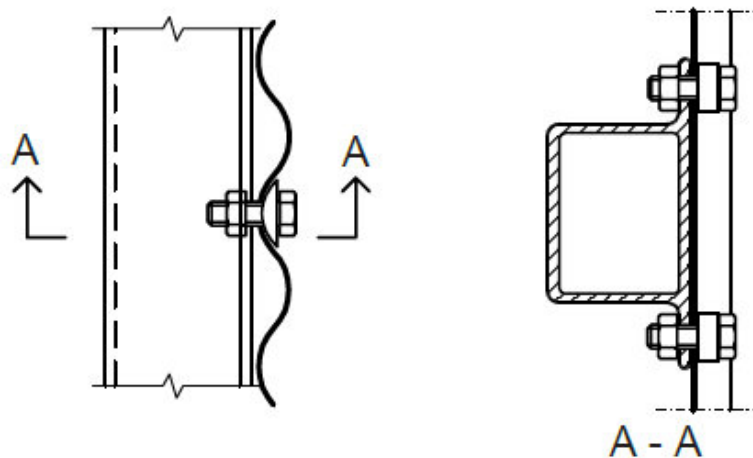
(7) Bu lông để chốt giữa các tấm cần thỏa mãn các yêu cầu của EN 1999-1-1. Kích thước bu lông không được nhỏ hơn M8.

(8) Chi tiết mối nối giữa các tấm cần tuân thủ các quy định của EN 1999-1-4 đối với các bu lông chịu tải cắt.

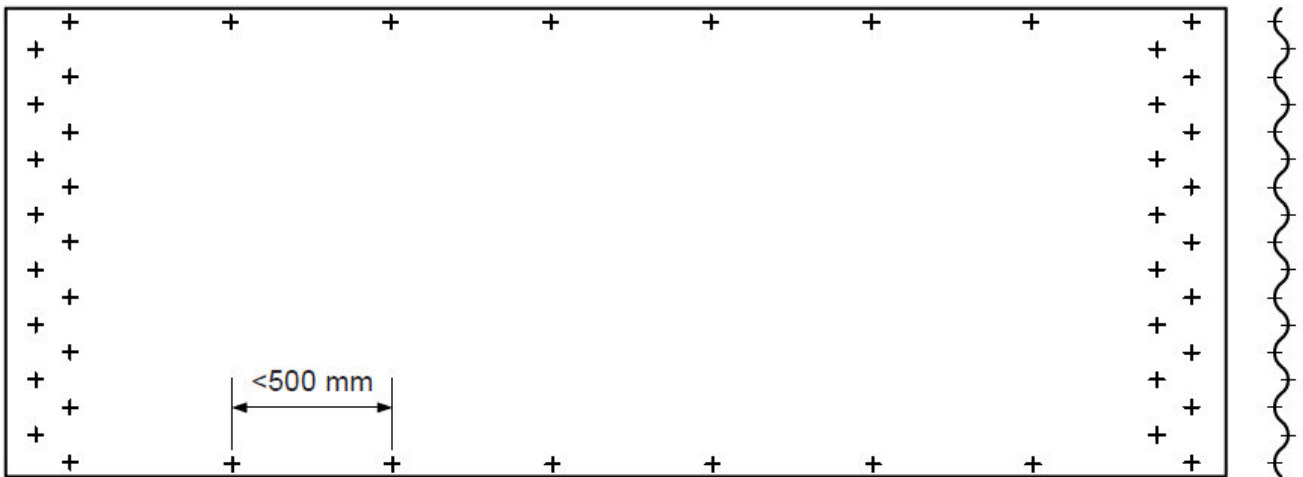
(9) Khoảng cách giữa các chốt (bu lông) xung quanh chu vi không được vượt quá 3° theo phương chu vi.

(10) Nếu cần có lỗ thủng ở tường để bố trí cửa hầm, cửa ra vào, cần gạt liệu (auger) hoặc các thứ khác, cần sử dụng một tấm lợp sóng dày hơn ở các vị trí cục bộ đó để đảm bảo rằng sự gia tăng ứng suất cục bộ liên quan đến sự không đồng nhất về độ cứng sẽ không dẫn tới đứt cục bộ.

CHÚ THÍCH Một chi tiết bố trí bu lông điển hình cho tấm được thể hiện trong Hình A.12.



Hình A.11 - Ví dụ về sự sắp xếp cho các sườn cứng theo phương kinh tuyến trên vỏ lợp sóng theo phương chu tuyến



Hình A.12 - Bố trí bu lông điển hình cho tấm của vỏ lượn sóng

A.5.4.2 Nén dọc trục

(1) Khi chịu nén dọc trục, sức kháng thiết kế cần được xác định cho mọi điểm trong vỏ bằng cách sử dụng lớp dung sai được quy định cho thi công, cường độ của áp lực trong cùng tồn tại được bảo đảm p , và tính đồng nhất theo phương chu tuyến của ứng suất nén. Thiết kế cần xem xét mọi điểm trên tường vỏ, bỏ qua sự thay đổi theo phương kinh tuyến của sự nén dọc trục, trừ trường hợp các quy định của Phần này cho phép điều đó.

(2) Nếu tường có các sườn cứng theo phương kinh tuyến, cần tiến hành thiết kế kháng oằn cho tường sử dụng một trong hai phương pháp sau:

a) oằn của một vỏ trục giao tương đương (theo A.5.6) nếu khoảng cách theo phương kinh tuyến giữa các sườn cứng thỏa mãn A.5.6.1(3);

b) oằn của các sườn cứng riêng lẻ (tường lượn sóng được giả thiết không mang lực dọc trục, nhưng cung cấp ngăn cản chuyển vị cho các sườn cứng) và tuân theo A.5.4.3 nếu khoảng cách theo phương kinh tuyến giữa các sườn cứng không thỏa mãn A.5.6.1 (3).

(3) Nếu vỏ lượn sóng không có sườn cứng theo phương kinh tuyến, giá trị đặc trưng của sức kháng oằn dẻo cục bộ cần được xác định là giá trị lớn hơn của:

$$n_{x,Rk} = \frac{t^2 f_o}{2d} \tag{A.45}$$

và

$$n_{x,Rk} = \frac{r_\phi t f_o}{r} \tag{A.46}$$

trong đó:

- t là chiều dày tấm;
- d là biên độ từ đỉnh tới máng của sóng;

r_ϕ là độ cong cục bộ của sóng (xem Hình A.14);

r là bán kính vỏ trụ.

Sức kháng oằn dẻo cục bộ $n_{x,Rk}$ cần được lấy độc lập với giá trị của áp lực trong p_n .

CHÚ THÍCH Sức kháng oằn dẻo cục bộ là khả năng chống sập nếp sóng hoặc duỗi nếp sóng.

(4) Giá trị thiết kế của sức kháng oằn dẻo cục bộ cần được xác định như sau:

$$n_{x,Rd} = \frac{\alpha_x n_{x,Rk}}{\gamma_{M1}} \quad (A.47)$$

trong đó $\alpha_x = 0,80$ và γ_{M1} như được cho trong 2.7.2.

(5) Tại mọi điểm trong kết cấu, ứng suất thiết kế cần thỏa mãn điều kiện:

$$n_{x,Ed} \leq n_{x,Rd} \quad (A.48)$$

A.5.4.3 Tường có sườn cứng được coi như chỉ chịu lực nén dọc trục trong các sườn cứng

(1) Nếu tấm lợp sóng được giả thiết là không mang lực dọc trục (phương pháp (b) trong A.5.4.3), có thể giả thiết tấm sẽ ngăn cản tất cả các chuyển vị oằn của sườn cứng trong mặt phẳng của tường, và sức kháng oằn cần được tính bằng một trong hai phương pháp sau:

(a) bỏ qua tác động gối đỡ của tấm trong việc chống lại sự chuyển vị oằn vuông góc với tường;

(b) kể đến độ cứng của tấm trong việc chống lại sự chuyển vị oằn vuông góc với tường.

(2) Khi sử dụng phương pháp (a) trong (1), sức kháng của một sườn cứng riêng lẻ có thể được coi là sức kháng nén đúng tâm trên sườn cứng. Sức kháng oằn thiết kế $N_{s,Rd}$ cần được lấy từ:

$$N_{s,Rd} = \frac{\chi A_{eff} f_o}{\gamma_{M1}} \quad (A.49)$$

Trong đó A_{eff} là diện tích tiết diện hiệu dụng của sườn cứng.

(3) Hệ số giảm χ cần được lấy từ EN 1999-1-1 đối với oằn dạng uốn vuông góc với tường (quanh trục chu tuyến) phụ thuộc loại hợp kim và sử dụng đường cong oằn loại 2 mà không phụ thuộc loại hợp kim sử dụng ($\alpha = 0,32$ và $\bar{\lambda}_0 = 0$). Chiều dài hiệu dụng của cột được sử dụng để xác định hệ số giảm χ cần được lấy là khoảng cách giữa các sườn cứng vòng liền kề.

(4) Nếu tính đến sự ngăn cản đàn hồi được cung cấp bởi tường để chống lại sự oằn của sườn cứng, cần đáp ứng cả hai điều kiện sau:

a) Tiết diện tường được coi là cung cấp ngăn cản cần tính là chiều dài của tường cho đến sườn cứng liền kề (xem Hình A.13), với các điều kiện biên là gối tựa đơn giản ở hai đầu.

b) Không cần kể đến độ cứng có thể có của vật liệu rời được chứa.

(5) Trừ khi có các tính toán chính xác hơn, tải trọng oằn tới hạn đàn hồi $N_{s,cr}$ cần được tính với giả thiết nén không đổi trên tiết diện ngang ở mọi cao độ, sử dụng:

$$N_{s,cr} = 2\sqrt{EI_s k} \quad (A.50)$$

trong đó:

EI_s là độ cứng chống uốn của sườn cứng đối với uốn ngoài mặt phẳng của tường (Nmm²);

k độ cứng chống uốn của tấm (N/mm trên mm chiều cao tường) với nhịp là khoảng cách giữa các sườn cứng theo phương kinh tuyến, như thể hiện trong hình A.13;

(6) Độ cứng chống uốn k của tấm tường cần được xác định với giả thiết rằng tấm với nhịp là khoảng cách giữa các sườn cứng theo phương kinh tuyến liền kề ở hai đầu với các điều kiện biên là gối tựa đơn giản, xem Hình A.13. Giá trị của k có thể được tính bằng:

$$k = \frac{6D_\theta}{d_s^3} \quad (A.51)$$

trong đó:

D_θ là độ cứng chống uốn của tấm đối với uốn theo phương chu tuyến;

d_s là khoảng cách giữa các sườn cứng theo phương kinh tuyến.

(7) Nếu hình lượn sóng là dạng sóng tròn hoặc sóng hình sin, giá trị của D_θ có thể được lấy từ A.5.7(6). Nếu sử dụng các hình dạng lượn sóng khác, độ cứng chống uốn đối với uốn theo phương chu tuyến cần được xác định cho tiết diện thực tế.

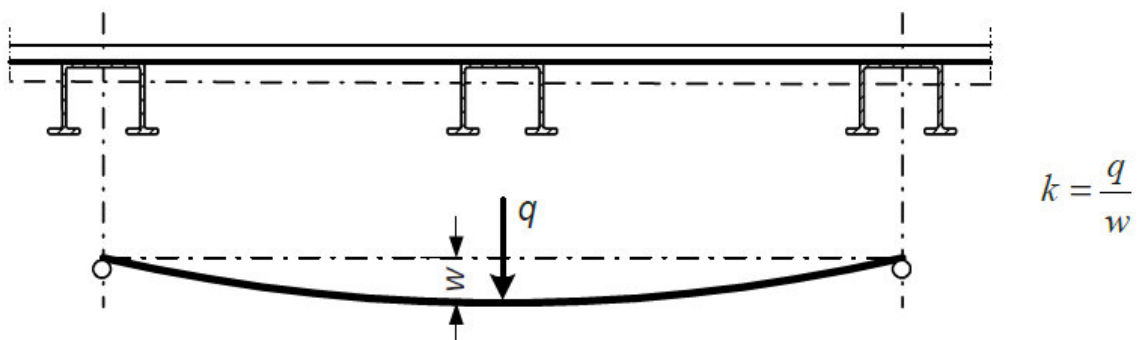
(8) Tại mọi điểm trong sườn cứng, ứng suất thiết kế cần thỏa mãn điều kiện:

$$N_{s,Ed} \leq N_{s,Rd} \quad (A.52)$$

(9) Sức kháng của các sườn cứng đối với oằn cục bộ và oằn dạng uốn xoắn cần được xác định theo EN 1999-1-1.

A.5.4.4 Nén theo phương chu tuyến (vòng)

(1) Với mục đích kiểm tra oằn, các quy tắc được đưa ra trong A.5.6.3 được áp dụng với giả thiết tường có sườn cứng ứng xử như một vỏ trục giao.



Hình A.13 - Độ cứng ngăn cản chuyển vị của tấm để đánh giá oằn cho cột

A.5.5 Tường lượn sóng theo phương dọc trục có sườn cứng vòng

A.5.5.1 Quy định chung

(1) Nếu tường vỏ trụ được chế tạo bằng cách sử dụng các tấm lượn sóng với các sóng chạy dọc trục, cần thỏa mãn cả hai điều kiện sau:

a) cần giả thiết tường lượn sóng không mang lực theo phương kinh tuyến;

b) cần giả thiết các tấm lượn sóng có nhịp là khoảng cách giữa các sườn cứng vòng, sử dụng khoảng cách tâm đến tâm giữa các vòng và chấp nhận giả thiết về tính liên tục của tấm.

(2) Các liên kết giữa các phần tấm cần được thiết kế để đảm bảo giả thiết về tính liên tục khi chịu uốn.

(3) Việc đánh giá lực nén dọc trục trong tường phát sinh từ các lực ma sát với tường của vật liệu rời cần tính đến toàn bộ chu vi của vỏ, kể đến hình dạng tiết diện sóng.

(4) Nếu tấm lượn sóng kéo dài đến biên ở đế, uốn cục bộ của tấm gần biên cần được xem xét, với giả thiết biên ngăn cản chuyển vị theo phương hướng tâm.

(5) Tường lượn sóng cần được giả thiết là không mang lực theo phương chu tuyến.

(6) Khoảng cách của các sườn cứng vòng cần được xác định bằng cách sử dụng phân tích dầm chịu uốn của hình dạng lượn sóng, giả thiết rằng tường là liên tục qua các vòng và bao gồm cả hệ quả của chuyển vị hướng tâm khác nhau của các sườn cứng vòng có kích thước khác nhau. Các ứng suất phát sinh do uốn này cần được thêm vào những ứng suất phát sinh do nén dọc trục khi kiểm tra sức kháng oằn do nén dọc trục.

CHÚ THÍCH: Có thể phân tích uốn theo phương kinh tuyến của tấm bằng cách coi nó như một dầm liên tục đi qua các gối tựa mềm tại các vị trí có sườn cứng vòng. Độ cứng của mỗi gối tựa sau đó được xác định từ độ cứng của vòng khi chịu tải hướng tâm.

(7) Các sườn cứng vòng được thiết kế để mang tải trọng theo phương kinh tuyến cần được bố trí cân xứng theo EN 1999-1-1.

A.5.5.2 Nén dọc trục

(1) Với mục đích kiểm tra oằn, các quy tắc được đưa ra trong A.5.6.2 được áp dụng với giả thiết tường có sườn cứng ứng xử như một vỏ trục giao.

A.5.5.3 Nén theo phương chu tuyến (vòng)

(1) Với mục đích kiểm tra oằn, các quy tắc được đưa ra trong A.5.6.3 được áp dụng với giả thiết tường có sườn cứng ứng xử như một vỏ trục giao.

A.5.6 Tường có sườn cứng được coi là vỏ trực giao

A.5.6.1 Quy định chung

(1) Nếu tường có sườn cứng, đẳng hướng hoặc lượn sóng, được coi là vỏ trực giao, độ cứng dàn đều thu được cần được coi là phân phối đều. Trong trường hợp tường lượn sóng, độ cứng của các tấm theo các hướng khác nhau cần được lấy từ A.5.7.

(2) Đặc trưng uốn và kéo của sườn cứng vòng và sườn cứng dọc kinh tuyến, và độ lệch tâm ra phía ngoài của trọng tâm của mỗi mặt trung bình của thành vỏ cần được xác định, cùng với khoảng cách giữa các sườn cứng d_s .

(3) Khoảng cách theo phương kinh tuyến d_s giữa các sườn cứng (Hình A.10) không được lớn hơn $d_{s,max}$ được tính như sau:

$$d_{s,max} = 7,4 \left(\frac{r^2 D_y}{C_y} \right)^{0,25} \quad (A.53)$$

trong đó:

D_y là độ cứng chống uốn trên mỗi đơn vị chiều rộng theo phương chu tuyến (song song với các sóng nếu tấm lượn sóng theo phương chu tuyến);

C_y là độ cứng chịu kéo trên mỗi đơn vị chiều rộng theo phương chu tuyến (song song với các sóng nếu tấm lượn sóng theo phương chu tuyến).

A.5.6.2 Nén dọc trục

(1) Thành phần ứng suất oằn tới hạn $n_{x,cr}$ trên mỗi đơn vị chu vi của vỏ trực giao cần là được tính toán ở mỗi cao độ thích hợp trong vỏ bằng cách cực tiểu biểu thức sau đây đối với sóng chu tuyến tới hạn thứ j và chiều cao oằn l_i :

$$n_{x,cr} = \frac{1,2}{j^2 \omega^2} \left(A_1 + \frac{A_2}{A_3} \right) \quad (A.54)$$

với:

$$A_1 = j^4 \left[\omega^4 C_{44} + 2\omega^2 (C_{45} + C_{66}) + C_{55} \right] + C_{22} + 2j^2 C_{25} \quad (A.55)$$

$$A_2 = 2\omega^2 (C_{12} + C_{33}) (C_{22} + j^2 C_{25}) (C_{12} + j^2 \omega^2 C_{14}) - (\omega^2 C_{11} + C_{33}) (C_{22} + j^2 C_{25})^2 - \omega^2 (C_{22} + \omega^2 C_{33}) (C_{12} + j^2 \omega^2 C_{14})^2 \quad (A.56)$$

$$A_3 = (\omega^2 C_{11} + C_{33}) (C_{22} + C_{25} + \omega^2 C_{33}) - \omega^2 (C_{12} + C_{33})^2 \quad (A.57)$$

với:

$$- C_{11} = C_{\phi} + EA_s / d_s$$

$$C_{22} = C_{\theta} + EA_r / d_r$$

$$- C_{12} = \nu \sqrt{C_{\phi} C_{\theta}}$$

$$C_{33} = C_{\phi\theta}$$

$$- C_{14} = e_s EA_s / (rd_s)$$

$$C_{25} = e_r EA_r / (rd_r)$$

$$- C_{44} = \frac{1}{r^2} (D_{\phi} + EI_s / d_s)$$

$$C_{55} = \frac{1}{r^2} (D_{\theta} + EI_r / d_r)$$

$$- C_{45} = \frac{\nu}{r^2} \sqrt{D_{\phi} D_{\theta}}$$

$$C_{66} = \frac{1}{r^2} [D_{\phi\theta} + 0,5(GI_{ts} / d_s + GI_{tr} / d_r)]$$

$$\omega = \frac{\pi r}{jl_i}$$

trong đó:

l_i là nửa bước sóng của phá hoại oằn khả hữu theo phương kinh tuyến;

j số lượng của sóng oằn theo phương chu tuyến;

A_s diện tích tiết diện ngang của sườn cứng dọc kinh tuyến;

I_s là mô men quán tính của sườn cứng dọc kinh tuyến quay quanh trục chu tuyến trong mặt trung bình của vỏ (uốn kinh tuyến);

d_s là khoảng cách giữa các sườn cứng dọc kinh tuyến;

I_{ts} là hằng số xoắn đều của một sườn cứng dọc kinh tuyến;

e_s là độ lệch tâm hướng ra ngoài từ mặt trung bình vỏ của sườn cứng dọc kinh tuyến;

A_r diện tích tiết diện ngang của sườn cứng vòng;

I_r là mô men quán tính tiết diện của sườn cứng vòng quay quanh trục kinh tuyến ở mặt trung bình vỏ (uốn theo phương chu tuyến);

d_r là khoảng cách giữa các sườn cứng vòng;

I_{tr} là hằng số xoắn đều của sườn cứng vòng;

e_r là độ lệch tâm hướng ra ngoài từ mặt trung bình vỏ của sườn cứng vòng;

C_{ϕ} là độ cứng chịu kéo theo phương dọc trục;

C_{θ} là độ cứng chịu kéo theo phương chu tuyến;

$C_{\phi\theta}$ là độ cứng chịu kéo trong màng chịu cắt;

D_{ϕ} là độ cứng chống uốn theo phương dọc trục;

D_{θ} là độ cứng chống uốn theo phương chu tuyến;

$D_{\phi\theta}$ là độ cứng chống uốn xoắn khi chịu xoắn;

r bán kính của vỏ.

CHÚ THÍCH 1 Trong trường hợp tấm lợp sóng, các đặc trưng trên đối của sưa đa (A_s , I_s , I_{ts} , v.v.) chỉ liên quan đến tiết diện sườn cứng: không có quy định nào cho phép đối với cho một tiết diện "hiệu quả" kể đến các phần của tường vỏ.

CHÚ THÍCH 2 Đối với cả độ cứng chịu kéo và chịu uốn của tấm lợp sóng, xem A.5.7(5) và (6)

CHÚ THÍCH 3: Giới hạn dưới của oằn có thể được lấy tại điểm mà chiều dày tấm thay đổi hoặc tiết diện ngang của sườn cứng thay đổi: sức kháng oằn ở mỗi sự thay đổi như vậy cần cần được kiểm tra độc lập.

(2) Sức kháng oằn thiết kế $n_{x,Rd}$ cho vỏ trực giao cần được xác định như đã nêu trong A.1.2 và 6.2.3.2, phụ thuộc lớp chất lượng của vỏ. Cần xác định sức kháng oằn tới hạn $n_{x,cr}$ từ (1) ở trên. Có thể được giả thiết một hệ số tăng chất lượng $Q_{stiff} = 1,3Q$ cho vỏ có sườn cứng được làm bằng tường đẳng hướng.

A.5.6.3 Nén theo phương chu tuyến (vòng)

(1) Ứng suất oằn tới hạn đối với áp lực ngoài không đổi $p_{n,cr}$ cần được đánh giá bằng cách cực tiểu biểu thức sau đây đối với số sóng tới hạn theo phương chu tuyến, j :

$$p_{n,cr} = \frac{1}{l_j^2} \left(A_1 + \frac{A_2}{A_3} \right) \quad (A.58)$$

với A_1 , A_2 và A_3 như đã cho trong A.5.1.2(3).

(2) Nếu các sườn cứng hoặc tấm thay đổi theo chiều cao của tường, cần kiểm tra nhiều độ dài oằn khả hữu l_j để xác định xem cái nào là nguy hiểm nhất, luôn giả thiết rằng đầu trên của oằn nằm ở đỉnh của khu vực tấm mỏng nhất.

CHÚ THÍCH Nếu một khu vực có tấm dày hơn nằm ở phía trên khu vực có các tấm mỏng nhất, đầu trên của dạng oằn tiềm năng có thể xảy ra hoặc ở đỉnh của khu vực mỏng nhất, hoặc ở đỉnh của tường.

(3) Trừ khi có các phép tính chính xác hơn, chiều dày được giả định trong tính toán ở trên cần lấy bằng chiều dày của tấm mỏng nhất suốt trên tấm.

(4) Nếu vỏ không có mái và có khả năng bị oằn do gió, áp lực tính toán ở trên cần được giảm bởi một hệ số 0,6.

(5) Ứng suất oằn thiết kế cho tường cần được xác định như đã nêu trong 6.2.3.2 và A.1.3 tùy theo lớp chất lượng của vỏ. Áp lực oằn tới hạn $p_{n,cr}$ cần được lấy từ (1) ở trên. Hệ số C_θ cho trong A.1.3.1 cần được lấy là $C_\theta = 1,0$.

A.5.6.4 Cắt

(1) Áp dụng các quy tắc được đưa ra trong A.5.2.4 đối với các tường đẳng hướng có sườn cứng kinh tuyến.

A.5.7 Đặc trưng trực giao tương đương của tấm lợp sóng

(1) Nếu tấm lợp sóng được sử dụng như một phần của kết cấu vỏ, có thể phân tích tấm như một tường trực giao đồng nhất tương đương.

(2) Các đặc trưng sau đây có thể được sử dụng trong phân tích ứng suất và phân tích oằn của kết cấu, với điều kiện hình dạng lợp sóng là sóng tròn hoặc sóng hình sin. Nếu các hình dạng lợp sóng khác được sử dụng, các đặc trưng tương ứng cần được tính cho tiết diện thực tế, xem EN 1999-1-4.

(3) Các đặc trưng của tấm lợp sóng cần được xác định theo hệ tọa độ x-y trong đó trục y chạy song song với các sóng (đường thẳng trên bề mặt) trong khi trục x chạy vuông góc với các sóng (máng và đỉnh sóng). Bất kể hình dạng lợp sóng thực tế, các sóng cần được xác định theo các tham số sau, xem Hình A.1.4, trong đó:

- d là khoảng cách từ đỉnh sóng tới đỉnh sóng;
- l là bước lợp sóng;
- r_ϕ là bán kính cục bộ tại đỉnh hoặc đáy của sóng.

(4) Tất cả các đặc trưng có thể được coi là một phương, không có hiệu ứng Poisson giữa các phương khác nhau.

(5) Đặc trưng màng tương đương (độ cứng khi kéo) có thể được lấy là:

$$C_x = Et_x = E \frac{2t^3}{3d^2} \tag{A.59}$$

$$C_y = Et_y = Et \left(1 + \frac{\pi^2 d^2}{4l^2} \right) \tag{A.60}$$

$$C_{xy} = Et_{xy} = \frac{G2t}{1 + \frac{\pi^2 d^2}{4l^2}} \tag{A.61}$$

Trong đó:

- t_x là chiều dày tương đương cho các lực màng dàn đều vuông góc với các sóng;
- t_y là chiều dày tương đương cho các lực màng dàn đều song song với các sóng;
- t_{xy} là chiều dày tương đương cho lực cắt màng dàn đều.

(6) Các đặc trưng uốn tương đương (độ cứng chống uốn) được xác định theo độ cứng chống uốn do mô men gây ra uốn theo phương đó (không phải quanh một trục) và có thể được lấy như sau:

$$D_x = EI_x = \frac{Et^3}{12(1-\nu^2)} \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 d^2}{4l^2}} \tag{A.62}$$

$$D_y = EI_y = 0,13Etd^2 \tag{A.63}$$

$$D_{xy} = GI_{xy} = \frac{Gt^3}{12} \left(1 + \frac{\pi^2 d^2}{4l^2} \right) \quad (\text{A.64})$$

Trong đó:

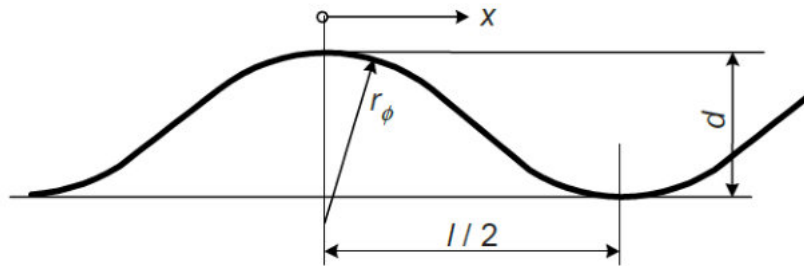
- I_x là mô men quán tính tương đương cho uốn dàn đều theo phương vuông góc với các sóng;
- I_y là mô men quán tính tương đương cho uốn dàn đều theo phương song song với các sóng;
- I_{xy} là mô men quán tính tương đương khi chịu xoắn.

CHÚ THÍCH 1 Việc uốn song song với các sóng tạo ra độ cứng chống uốn của tiết diện sóng và là lý do chính cho việc sử dụng tôn sóng trong xây dựng.

CHÚ THÍCH 2 Biểu thức thay thế cho các đặc trưng trực giao tương đương của tấm lợp sóng được đưa ra trong các tài liệu tham khảo trong EN 1993-4-1.

(7) Trong các vòm tròn, nơi các sóng chạy theo phương chu tuyến, các phương x và y ở các biểu thức trên cần được lấy tương ứng là phương dọc trục ϕ và phương chu tuyến θ . Khi các sóng chạy theo phương kinh tuyến, các phương x và y trong các biểu thức trên cần được lấy tương ứng là phương chu tuyến θ và phương dọc trục ϕ , xem Hình A.14.

(8) Các đặc trưng khi cắt cần được lấy độc lập với hướng của sóng lợp. Giá trị của G có thể được lấy là $E / 2,6$.



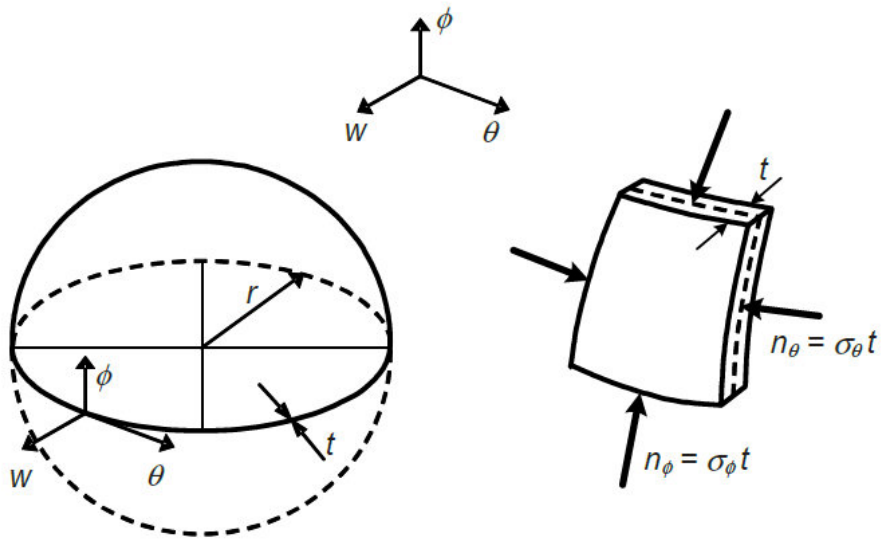
Hình A.14 - Hình dạng lợp sóng và các tham số hình học

A.6 Vòm hình cầu không được tăng cường dưới tác dụng nén đều quanh chu tuyến

A.6.1 Ký hiệu và các điều kiện biên

(1) Đại lượng chung (Hình A. 15):

- r bán kính của mặt trung bình của vòm cầu;
- t chiều dày của vòm:



Hình A.15 - Hình học vỏ cầu, các ứng suất màng và các thành phần ứng suất

(2) Các điều kiện biên được nêu trong 5.2 và 6.2.2.

A.6.2 Các ứng suất oằn tới hạn

(1) Các biểu thức sau chỉ có thể được sử dụng cho các vỏ cầu kín hoặc đỉnh hình cầu có các điều kiện biên BC1r hoặc BC1f ở cạnh đế.

(2) Nén đều theo phương chu tuyến trong vỏ hình cầu hoặc đỉnh hình cầu được gây ra bởi áp lực ngoài không đổi hoặc có thể do tác động thổi vào si lô tròn hoặc mái bể chứa xảy ra trong quá trình chất tải xuống.

(3) Trong trường hợp nén chu tuyến do áp lực ngoài không đổi p, ứng suất tương ứng có thể được tính từ:

$$\sigma_\theta = \sigma_\phi = \frac{pr}{2t} \tag{A.65}$$

(4) Ứng suất oằn tới hạn do nén đều theo phương chu tuyến cần được lấy từ:

$$\sigma_{\theta,cr} = \sigma_{\phi,cr} = 0,605E \frac{t}{r} \tag{A.66}$$

A.6.3 Tham số oằn chu tuyến

(1) Hệ số không hoàn chỉnh cần được lấy từ:

$$\alpha_\theta = \frac{1}{1 + 2,60 \left(\frac{1}{Q} \sqrt{\frac{0,6E}{f_o} (\bar{\lambda}_\theta - \bar{\lambda}_{\theta,0})} \right)^{1,44}} \quad \text{nhưng } \alpha_\theta \leq 1,00 \tag{A.67}$$

Trong đó:

$\bar{\lambda}_{\theta,0}$ là tham số độ mảnh giới hạn nén;

Q là tham số dung sai.

(2) Tham số dung sai Q được lấy từ Bảng A.13 cho lớp dung sai cụ thể.

(3) Hệ số hợp kim và tham số độ mảnh giới hạn nén được lấy từ Bảng A.14 theo lớp oằn vật liệu như được định nghĩa trong EN 1999-1-1.

Bảng A.13 - Tham số dung sai Q

Lớp dung sai	Q
Lớp 1	16
Lớp 2	25
Lớp 3 và 4	40

Bảng A.14 - Giá trị của $\bar{\lambda}_{\theta,0}$ và μ_{θ} cho nén đều theo phương chu tuyến

Lớp oằn vật liệu	$\bar{\lambda}_{\theta,0}$	μ_{θ}
A	0,20	0,35
B	0,10	0,20

Phụ lục B
(tham khảo)

Các biểu thức cho phân tích oằn của vỏ dạng đỉnh hình nón và đỉnh hình cầu

B.1 Quy định chung

(1) Các quy tắc trong phần này được sử dụng cho các đầu hình nón và hình cầu của vỏ trụ hoặc kết cấu tương tự được liên kết bằng vành hình xuyên hoặc liên kết trực tiếp với vỏ trụ ($r_T = 0$).

B.2 Ký hiệu và điều kiện biên

(1) Trong mục này, các ký hiệu sau được sử dụng, xem Hình B.1:

- r bán kính của mặt trung bình của vỏ trụ
- r_S bán kính của đỉnh vỏ hình cầu
- α góc của tại vành hình xuyên hoặc một nửa góc đỉnh của vỏ hình nón
- r_T bán kính vành hình xuyên
- t_T chiều dày của vỏ tại vành hình xuyên, tại đỉnh hình nón hoặc đỉnh hình cầu
- l chiều dài của vỏ trụ liên kết
- t_C chiều dày tường của vỏ trụ được liên kết

(2) Các quy tắc được áp dụng đối với áp lực ngoài không đổi tác động trực giao lên bề mặt vỏ.

(3) Phạm vi áp dụng là như sau:

$$t_T \leq t_C \tag{B.1}$$

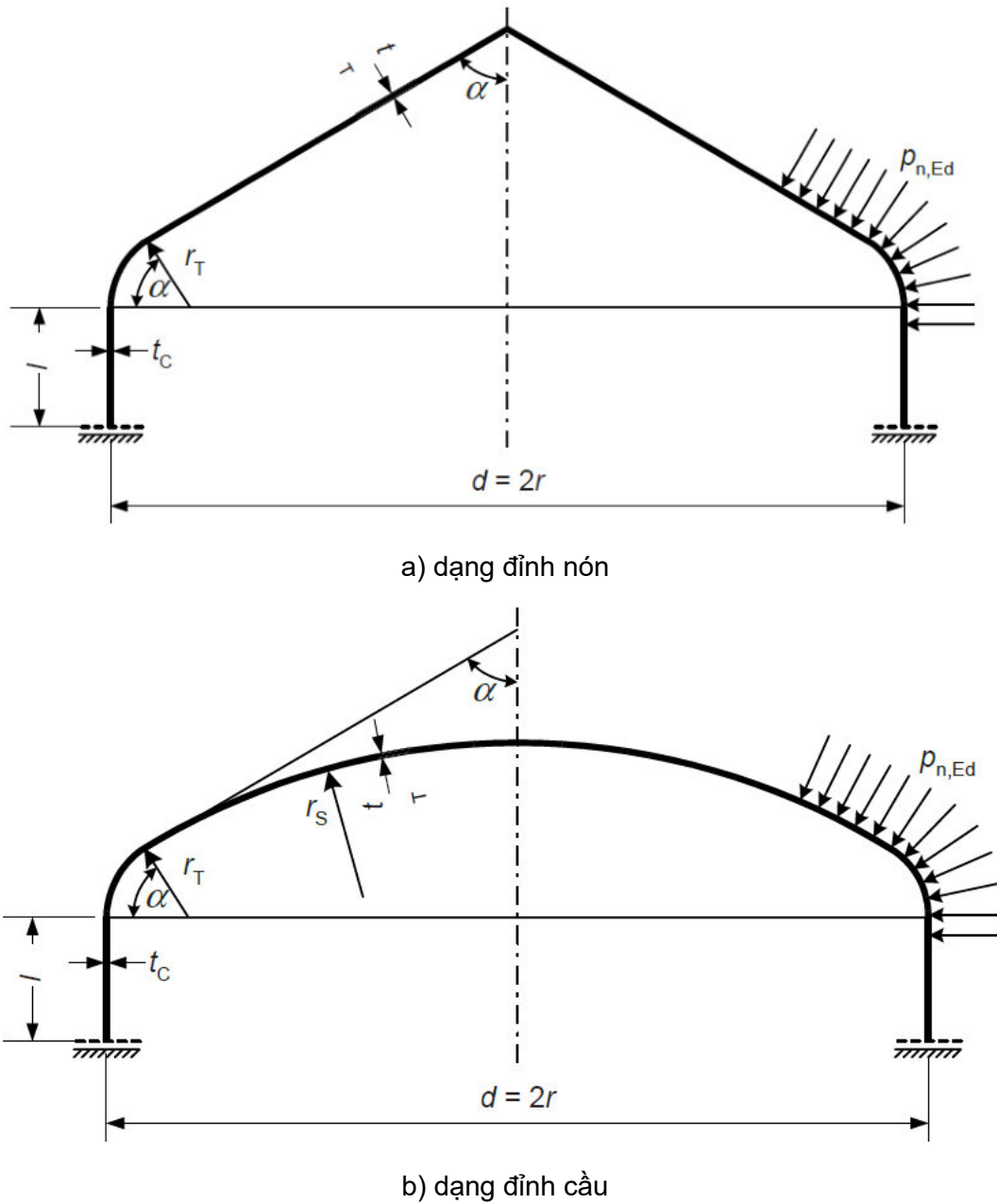
$$35 \leq r / t_C \leq 1250 \tag{B.2}$$

$$45^\circ \leq \alpha \leq 75^\circ \tag{B.3}$$

$$0 \leq r_T / r \leq 0,4 \tag{B.4}$$

$$1,2 \leq r_S / r \leq 3 \tag{B.5}$$

$$1 \leq 1000f_o / E \leq 4 \tag{B.6}$$



Hình B.1 - Hình học và tải trọng trên phần đầu kết cấu chừa

B.3 Áp lực ngoài

B.3.1 Áp lực ngoài tới hạn

(1) Áp lực ngoài tới hạn (oằn) đối với vỏ đỉnh hình nón là

$$p_{n,cr} = \frac{2,42}{(1-\nu^2)^{0,75}} E \sin \alpha (\cos \alpha)^{1,5} \left(\frac{t_r}{r} \right)^{2,5} \text{ hoặc} \quad (B.7)$$

$$p_{n,cr} = 2,60 E \sin \alpha (\cos \alpha)^{1,5} \left(t_r / \bar{r} \right)^{2,5} \text{ cho } \nu = 0,3$$

Trong đó

$$i = r - r_T (1 - \cos \alpha) + \sqrt{r_T t_T} \sin \alpha \quad \text{nhưng} \quad i \geq r$$

(2) Áp lực ngoài oằn tới hạn đối với vỏ đỉnh hình cầu là

$$p_{n,cr} = 1,21 C_k E \left(\frac{t_T}{r_S} \right)^2 \tag{B.8}$$

với $C_k = (r_S / r)^2 \beta^{0,7 \sqrt{r_S / r - 1}}$

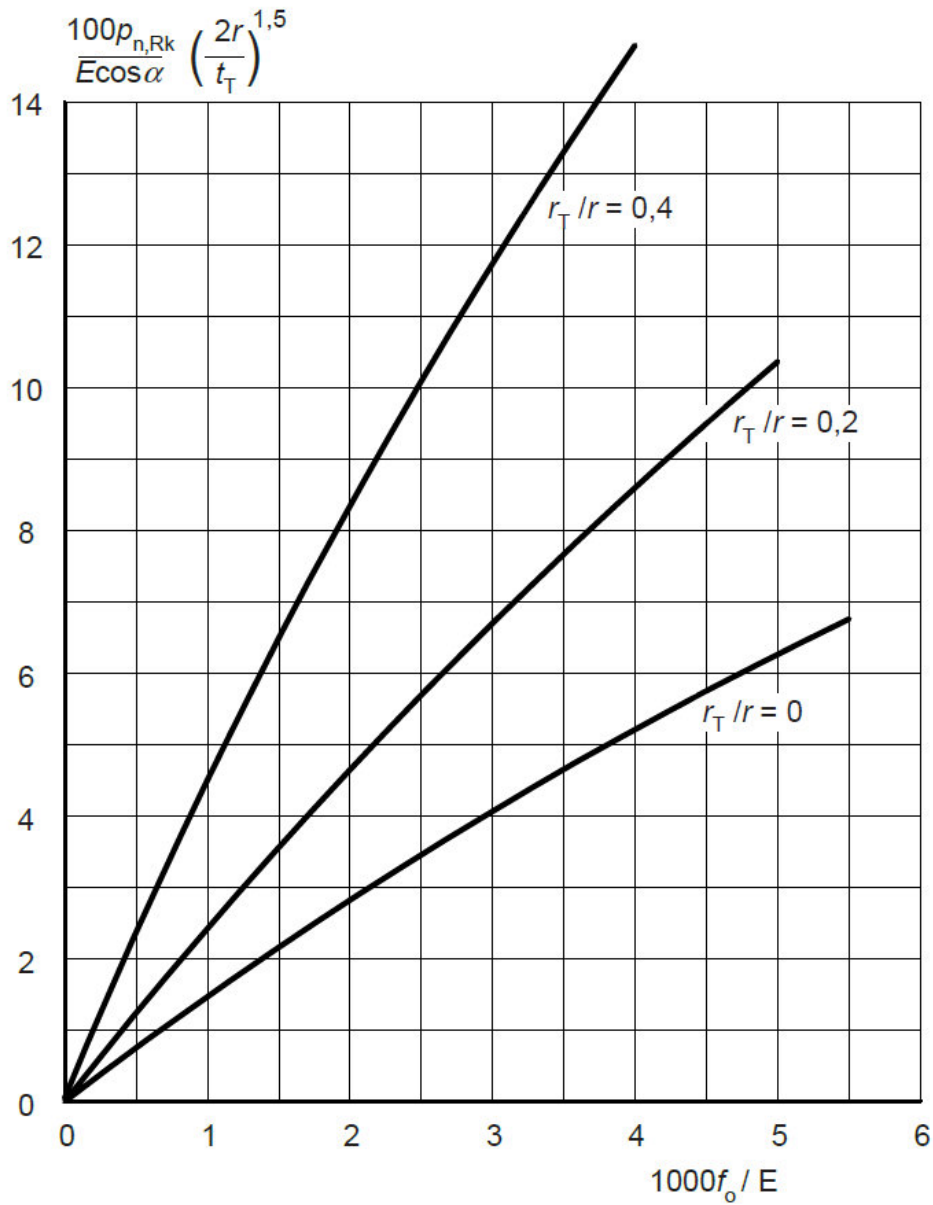
trong đó β là giá trị lớn hơn của

$$\beta = 0,105 \left(\frac{t_C}{r} \right)^{0,19} \quad \text{và} \quad \beta = 0,088 \left(\frac{r_T}{r} \right)^{0,23}$$

B.3.2 Áp lực ngoài giới hạn nén đều

(1) Áp lực ngoài giới hạn nén đều đối với vỏ đỉnh hình nón và đỉnh hình cầu được biểu thị bởi biểu thức (B.9) hoặc có thể được lấy theo biểu đồ trong Hình B.2 hoặc có thể, với $r_T = 0$, được tính gần đúng theo công thức (B.10) hoặc (B.11)

$$p_{n,Rk} = f_o \left(14,5 - 450 \frac{f_o}{E} \right) \left(1 + 2 \frac{r_T}{r} + 7,13 \left(\frac{r_T}{r} \right)^2 \right) \frac{\cos \alpha}{\left(\frac{2r}{t} \right)^{1,5}} \tag{B.9}$$



Hình B.2 - Áp lực ngoài dẻo đối với vỏ đỉnh hình nón và đỉnh hình cầu

- cho vỏ đỉnh hình nón

$$p_{n,Rk} = 4,4 \sqrt{\frac{t_T}{r} f_0} \frac{t_T}{r / \cos \alpha} \quad (B.10)$$

- cho vỏ đỉnh hình cầu

$$p_{n,Rk} = 4,4 \sqrt{\frac{t_T}{r} f_0} \frac{t_T}{r_s} \quad (B.11)$$

B.3.3 Tham số oằn do áp lực ngoài

(1) Hệ số không hoàn chỉnh cần được lấy từ:

$$\alpha_{\theta} = \frac{1}{1 + 2,60 \left(\frac{1}{Q} \sqrt{\frac{0,6E}{f_o} (\bar{\lambda}_{\theta,0} - \bar{\lambda}_{\theta,0})} \right)^{1,44}} \quad \text{nhưng} \quad \alpha_{\theta} \leq 1,00 \quad (\text{B.12})$$

Trong đó:

$\bar{\lambda}_{\theta,0}$ tham số độ mảnh giới hạn nén;

Q tham số dung sai.

(2) Tham số dung sai Q được lấy từ Bảng B1 cho lớp dung sai cụ thể.

(3) Hệ số hợp kim và tham số độ mảnh giới hạn khi nén được lấy từ Bảng B.2 theo lớp oằn vật liệu như được định nghĩa trong EN 1999-1-1.

Bảng B.1 - Tham số dung sai Q

Lớp dung sai	Q
Lớp 1	16
Lớp 2	25
Lớp 3 và 4	40

Bảng B.2 - Giá trị của $\bar{\lambda}_{\theta,0}$ và μ_{θ} cho áp lực ngoài

Lớp oằn vật liệu	$\bar{\lambda}_{\theta,0}$	μ_{θ}
A	0,20	0,35
B	0,10	0,20

B.4 Áp lực trong

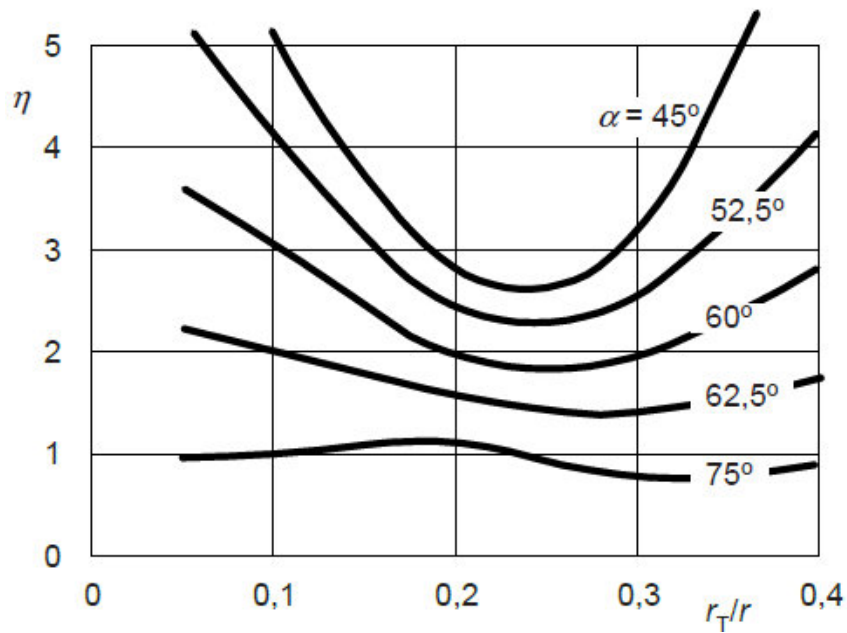
B.4.1 Áp lực trong tới hạn

(1) Áp lực trong (oằn) tới hạn đối với vỏ đỉnh hình nón là

$$p_{n,cr} = 1000E \left(\frac{56300}{\alpha^{2,5}} - 0,71 \right) \left(\frac{t}{2r} \right)^3 \quad \text{nếu} \quad \frac{r_T}{2r} = 0 \quad (\text{B.13})$$

$$p_{n,cr} = 1000\eta E \frac{r_T}{2r} \left(\frac{t}{2r} \right)^3 \quad \text{nếu} \quad \frac{r_T}{2r} \neq 0 \quad (\text{B.14})$$

trong đó tham số η cần được lấy từ Hình B.3.



Hình B.3 - Tham số η cho biểu thức (B.14)

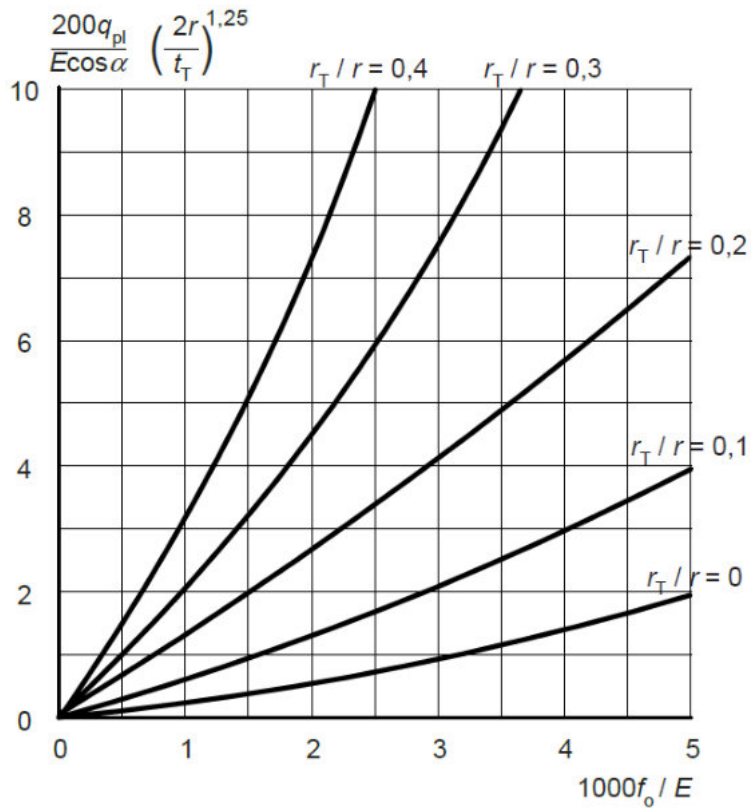
(2) Áp lực trong oằn tới hạn đối với vỏ đỉnh hình cầu là

$$p_{n,cr} = 100E \left(1,85 \frac{r_T}{r} + 0,68 \right) \left(\frac{t}{r_s} \right)^{2,45} \quad (B.15)$$

B.4.2 Áp lực trong giới hạn nén đều

(1) Áp lực trong giới hạn nén đều đối với vỏ đỉnh hình nón và đỉnh hình cầu được thể hiện bằng biểu thức (B.16) hoặc có thể lấy theo biểu đồ trong Hình B.4.

$$p_{n,Rk} = f_o \left(1,2 - 120 \frac{f_o}{E} \right) \left(1 + 3,9 \frac{r_T}{r} + 67 \left(\frac{r_T}{r} \right)^2 \right) \frac{\cos \alpha}{\left(\frac{2r}{t} \right)^{1,25}} \quad (B.16)$$



Hình B.4 - Áp lực trong dèo đối với vỏ đỉnh hình nón và đỉnh hình cầu

B.4.3 Thông số oằn do áp lực trong

(1) Hệ số không hoàn chỉnh cần được lấy từ:

$$\alpha_o = \frac{1}{1 + 2,60 \left(\frac{1}{Q} \sqrt{\frac{0,6E}{f_o}} (\bar{\lambda}_o - \bar{\lambda}_{o,0}) \right)^{1,44}} \quad \text{nhưng } \alpha_o \leq 1,00 \quad \text{(B.17)}$$

Trong đó:

$\bar{\lambda}_{o,0}$ là tham số độ mảnh giới hạn nén;

Q là tham số dung sai.

(2) Tham số dung sai Q được lấy từ Bảng B.3 cho lớp dung sai cụ thể.

(3) Hệ số hợp kim và tham số độ mảnh giới hạn nén được lấy từ Bảng B.4 theo lớp oằn vật liệu như được định nghĩa trong EN 1999-1-1.

Bảng B.3 - Tham số dung sai Q cho áp lực trong

Lớp dung sai	Q
Lớp 1	16
Lớp 2	25
Lớp 3 và 4	40

Bảng B.4 - Giá trị của $\bar{\lambda}_{\theta,0}$ và μ_{θ} cho áp lực trong

Lớp oằn vật liệu	$\bar{\lambda}_{\theta,0}$	μ_{θ}
A	0,20	0,35
B	0,10	0,20

Phụ lục Quốc gia (quy định)

NA.1 Phạm vi

Phụ lục Quốc gia này đưa ra:

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

— 2.1(3)

— 2.1(4)

b) Quyết định về tình trạng của các phụ lục tham khảo trong TCVN ***1-5:202X; và

c) Các tài liệu tham khảo cho những thông tin bổ sung không mâu thuẫn.

NA.2 Các thông số do quốc gia xác định

Các thông số do Quốc gia xác định được mô tả trong TCVN ***1-5:202X được đưa ra trong bảng NA.1.

Bảng NA.1 Các giá trị cho các Thông số do Quốc gia xác định được mô tả trong TCVN *1-5:202X**

Tiêu mục	Thông số do quốc gia xác định	Khuyến nghị của Eurocode	Quyết định
2.1(3)	Các giá trị số cho γ_{Mi}	$\gamma_{M1} = 1,10$ $\gamma_{M2} = 1,25$	Sử dụng giá trị được đề xuất.
2.1(4)	Giá trị số cho $\gamma_{M, Ser}$	$\gamma_{M, Ser} = 1,0$	Sử dụng giá trị được đề xuất.

NA.3 Quyết định về tình trạng của các phụ lục tham khảo

Các quyết định về tình trạng của các phụ lục tham khảo trong TCVN ***1-5:202X được đưa ra trong Bảng NA.2.

Bảng NA.2 Các quyết định về tình trạng của các phụ lục tham khảo trong TCVN *1-5:202X**

Phụ lục	Mô tả	Quyết định
Phụ lục B	Các biểu thức cho phân tích oằn của vỏ dạng đỉnh hình nón và đỉnh hình cầu	Có thể được sử dụng

NA.4 Việc áp dụng vật liệu kết cấu nhôm

Ngoài các vật liệu rèn rập (hợp kim và loại xử lý cơ-nhiệt) được liệt kê trong TCVN XXXX-1-1:202x, Bảng 3.2a và b và TCVN XXXX-1-4 Bảng 2.1 cho tấm tạo hình nguội, bổ sung thêm các vật liệu nhôm theo các tiêu chuẩn, đặc trưng cơ học được liệt kê trong các PLQG của các tiêu chuẩn TCVN XXXX-1-1:202x và TCVN XXXX-1-4:202x.

NA.5 Tham chiếu đến thông tin bổ sung không mâu thuẫn

TCVN XXXX-1-1:202X được tham chiếu trong TCVN ***1-5:202X.

Tài liệu tham khảo

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

Tiêu chuẩn

TCVN XXXX-1-1:202X, Thiết kế kết cấu nhôm - Phần 1-1: Các quy định kết cấu chung