

TCVN

TIÊU CHUẨN QUỐC GIA

TCVN X1993-1-6:202x

**THIẾT KẾ KẾT CẤU THÉP – PHẦN 1-6: ĐỘ BỀN VÀ
ỔN ĐỊNH KẾT CẤU VỎ**

Design of steel structures – Part 1-6: Strength and stability of shell structures

DỰ THẢO

Hà Nội - 2024

Lời nói đầu

TCVN X1993-1-6:202x được xây dựng trên cơ sở tham khảo tiêu chuẩn

EN 1993-1-6:2007 Eurocode 3 — Design of steel structures Part 1-6: Strength and Stability of 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.....	13
1.1 Phạm vi	13
1.2 Tài liệu viện dẫn	14
1.3 Thuật ngữ và định nghĩa.....	15
1.3.1 Hình dạng kết cấu và hình học.....	15
1.3.2 Các trạng thái giới hạn	17
1.3.3 Các tác động.....	18
1.3.4 Các thành phần ứng suất và các ứng suất trong vỏ	19
1.3.5 Các phương pháp phân tích	20
1.3.6 Các ứng suất được sử dụng trong phương pháp thiết kế theo ứng suất.....	22
1.3.7 Các định nghĩa riêng cho tính toán mất ổn định	22
1.4 Ký hiệu	23
1.5 Các quy tắc dấu	28
2 Cơ sở thiết kế và mô hình hóa.....	28
2.1 Quy định chung	28
2.2 Các phương pháp phân tích.....	29
2.2.1 Quy định chung.....	29
2.2.2 Phân tích tổng thể.....	29
2.2.3 Phân tích theo lý thuyết màng.....	29
2.2.4 Phân tích vỏ đàn hồi tuyến tính (LA)	29
2.2.5 Phân tích đàn hồi tuyến tính phân nhánh	30
2.2.6 Phân tích đàn hồi tuyến tính hình học (GNA)	30
2.2.7 Phân tích phi tuyến vật liệu (MNA).....	30
2.2.8 Phân tích phi tuyến vật liệu và hình học (GMNA).....	30
2.2.9 Phân tích đàn hồi phi tuyến hình học có kể đến độ không hoàn hảo (GNIA).....	31
2.2.10 Phân tích phi tuyến vật liệu và hình học có kể đến độ không hoàn hảo (GMNIA).....	31
2.3 Các điều kiện biên của vỏ.....	31
3 Vật liệu và hình học.....	32
3.1 Tính chất vật liệu	32
3.2 Giá trị thiết kế của thông số hình học.....	32
3.3 Sai lệch hình học và sai lệch hình học.....	32
4 Các trạng thái giới hạn cực hạn trong vỏ thép	33
4.1 Các trạng thái giới hạn cực hạn được xét.....	33
4.1.1 LS1: Trạng thái giới hạn dẻo phá hoại	33

TCVN X1993-1-6:202x

- 4.1.2 LS2: Dẻo chu kỳ 34
- 4.1.3 LS3: Mất ổn định 34
- 4.1.4 LS4: Mỏi 35
- 4.2 Các nguyên tắc thiết kế vỏ theo các trạng thái giới hạn 35
 - 4.2.1 Quy định chung 35
 - 4.2.2 Thiết kế theo ứng suất 36
 - 4.2.3 Thiết kế trực tiếp 38
 - 4.2.4 Thiết kế bằng phân tích số tổng thể 38
- 5 Các thành phần ứng suất và các ứng suất trong vỏ 39
 - 5.1 Các thành phần ứng suất trong vỏ 39
 - 5.2 Mô hình hóa vỏ cho phân tích 39
 - 5.2.1 Hình học 39
 - 5.2.2 Các điều kiện biên 40
 - 5.2.3 Tác động và ảnh hưởng môi trường 41
 - 5.2.4 Các thành phần ứng suất và các ứng suất 41
 - 5.3 Các phương pháp phân tích 41
- 6 Trạng thái giới hạn dẻo (LS1) 42
 - 6.1 Giá trị thiết kế của các tác động 42
 - 6.2 Thiết kế theo ứng suất 42
 - 6.2.1 Giá trị thiết kế của các ứng suất 42
 - 6.2.2 Giá trị thiết kế của độ bền 43
 - 6.2.3 Điều kiện giới hạn ứng suất 43
 - 6.3 Thiết kế bằng phương pháp phân tích số tổng thể MNA hoặc GMNA 44
 - 6.4 Thiết kế trực tiếp 45
- 7 Trạng thái giới hạn dẻo chu kỳ (LS2) 45
 - 7.1 Giá trị thiết kế của các tác động 45
 - 7.2 Thiết kế theo ứng suất 45
 - 7.2.1 Giá trị thiết kế của miền ứng suất 45
 - 7.2.2 Giá trị thiết kế của độ bền 46
 - 7.2.3 Giới hạn miền ứng suất 46
 - 7.3 Thiết kế bằng phương pháp số tổng thể MNA hoặc GMNA 46
 - 7.3.1 Giá trị thiết kế của biến dạng dẻo tích lũy tổng thể 46
 - 7.3.2 Giới hạn tổng biến dạng dẻo tích lũy 47
 - 7.4 Thiết kế trực tiếp 47
- 8 Trạng thái giới hạn mất ổn định (LS3) 47
 - 8.1 Giá trị thiết kế của các tác động 47

8.2 Các định nghĩa và ký hiệu riêng.....	47
8.3 Các điều kiện liên quan đến mất ổn định	48
8.4 Các sai lệch hình học liên quan đến mất ổn định	48
8.4.1 Quy định chung.....	48
8.4.2 Dung sai độ không tròn	50
8.4.3 Sai lệch độ lệch tâm ngẫu nhiên	51
8.4.4 Sai lệch độ lõm	53
8.4.5 Dung sai độ phẳng giữa các bề mặt tiếp xúc	55
8.5 Thiết kế theo ứng suất.....	55
8.5.1 Giá trị thiết kế của ứng suất	55
8.5.2 Độ bền thiết kế (cường độ mất ổn định)	56
8.5.3 Giới hạn ứng suất (kiểm tra độ bền mất ổn định)	57
8.6 Thiết kế sử dụng độ bền tham khảo	58
8.6.1 Nguyên tắc.....	58
8.6.2 Giá trị thiết kế của các tác động	58
8.6.3 Giá trị thiết kế của độ bền	58
8.6.4 Kiểm tra độ bền mất ổn định	60
8.7 Thiết kế bằng phương pháp số tổng thể phân tích MNA và LBA.....	60
8.7.1 Giá trị thiết kế lực tác động	60
(1) Giá trị thiết kế của các tác động nên được lấy như trong phần 8.1 (1).....	60
8.7.2 Giá trị thiết kế độ bền	60
(1) Độ bền mất ổn định thiết kế cần được xác định từ hệ số R_d áp dụng cho giá trị thiết kế F_{Ed} của tổ hợp tác động cho trường hợp tải trọng liên quan.	60
8.7.3 Kiểm tra độ bền mất ổn định	62
8.8 Thiết kế bằng phương pháp số tổng thể GMNIA	63
8.8.1 Giá trị thiết kế của các tác động	63
8.8.2 Giá trị thiết kế của độ bền	63
8.8.3 Kiểm tra độ bền mất ổn định	68
9 Trạng thái giới hạn mới (LS4).....	68
9.1 Giá trị thiết kế của các tác động.....	68
9.2 Thiết kế theo ứng suất.....	68
9.2.1 Quy định chung.....	68
9.2.2 Giá trị thiết kế của miền ứng suất.....	68
9.2.3 Giá trị thiết kế của độ bền (cường độ chịu mới).....	69
9.2.4 Giới hạn miền ứng suất	69
9.3 Thiết kế bằng phương pháp số tổng thể LA hoặc GNA	70

TCVN X1993-1-6:202x

Phụ lục A (tham khảo) 71

 Ứng suất trong vỏ theo lý thuyết màng 71

A.1 Quy định chung 71

 A.1.1 Hiệu ứng tác động và độ bền..... 71

 A.1.2 Ký hiệu 71

 A.1.3 Các điều kiện biên 72

 A.1.4 Quy tắc dấu 72

A.2 Vỏ trụ không tăng cứng 72

A.3 Vỏ nón không tăng cứng 73

A.4 Vỏ cầu không tăng cứng..... 75

Phụ lục B (tham khảo)..... 76

Các biểu thức bổ sung cho độ bền phá hoại dẻo 76

B.1 Quy định chung 76

 B.1.1 Độ bền..... 76

 B.1.2 Ký hiệu 76

 B.1.3 Các điều kiện biên 76

B.2 Vỏ trụ không tăng cứng 77

 B.2.1 Vỏ trụ: tải trọng đường theo phương đường kính 77

 B.2.2 Vỏ trụ: tải trọng đường theo phương đường kính và tải trọng dọc trục 77

 B.2.3 Vỏ trụ: tải trọng theo đường radian, áp lực bên trong không đổi và tải trọng dọc trục 78

B.3 Vỏ trụ có dầm vòng tăng cứng 79

 B.3.1 Vỏ trụ có dầm vòng tăng cứng: tải trọng đường theo phương đường kính 79

 B.3.2 Vỏ trụ tròn có dầm vòng tăng cứng: tải trọng đường theo phương đường kính và tải trọng dọc trục..... 79

 B.3.3 Vỏ trụ tròn có dầm vòng tăng cứng: tải trọng đường theo phương đường kính, áp lực bên trong không đổi và tải trọng dọc trục 80

B.4 Các đường giao nhau giữa các vỏ..... 81

 B.4.1 Các đường giao nhau chỉ chịu tải trọng đường sinh (đơn giản) 81

 B.4.2 Giao nhau chịu áp lực bên trong và tải trọng dọc trục..... 82

 B.5 Bản tròn có các điều kiện biên đối xứng trục..... 83

 B.5.1 Tải trọng phân bố đều, biên tựa đơn giản..... 83

 B.5.2 Tải trọng phân bố cục bộ, biên tựa đơn giản 83

 B.5.3 Tải trọng phân bố đều, biên ngàm 84

 B.5.4 Tải trọng phân bố cục bộ, biên ngàm..... 84

Phụ lục C (tham khảo) 85

Các biểu thức cho ứng suất màng đàn hồi tuyến tính và ứng suất uốn 85

C.1 Quy định chung 85

 C.1.1 Hiệu ứng tác động 85

C.1.2 Ký hiệu.....	85
C.1.3 Các điều kiện biên	85
C.2 Vỏ trụ không tăng cứng có đáy ngàm	86
C.2.1 Vỏ trụ, ngàm: áp lực bên trong không đổi	86
C.2.2 Vỏ trụ, ngàm: tải trọng dọc trục	86
C.2.3 Vỏ trụ, ngàm: áp lực bên trong phân bố đều kết hợp tải trọng dọc trục	86
C.2.4 Vỏ trụ, đáy ngàm: áp lực thủy tĩnh bên trong	87
C.2.5 Vỏ trụ, đáy ngàm: chuyển vị theo phương đường kính hướng ra ngoài	87
C.2.6 Vỏ trụ, đáy ngàm: nhiệt độ tăng đều	88
C.3 Vỏ trụ không tăng cứng có đáy liên kết khớp	88
C.3.1 Vỏ trụ, đáy khớp: áp lực bên trong phân bố đều	88
C.3.2 Vỏ trụ, đáy khớp: tải trọng dọc trục	88
C.3.3 Vỏ trụ, đáy khớp: áp lực bên trong phân bố đều kết hợp tải trọng dọc trục	89
C.3.4 Vỏ trụ, đáy khớp: áp lực thủy tĩnh bên trong	89
C.3.5 Vỏ trụ, đáy khớp: chuyển vị theo phương đường kính hướng ra ngoài	90
C.3.6 Vỏ trụ, đáy khớp: nhiệt độ tăng đều	90
C.3.7 Vỏ trụ, đáy khớp: biên xoay	90
C.4 Các điều kiện bên trong của vỏ trụ không tăng cứng	91
C.4.1 Vỏ trụ: áp lực bên trong thay đổi từng nấc	91
C.4.2 Vỏ trụ: áp lực thủy tĩnh bên trong bị dừng	91
C.4.3 Vỏ trụ: chiều dày thành thay đổi từng bậc	92
C.5 Sườn cứng vòng trong vỏ trụ	92
C.5.1 Vỏ trụ có sườn vòng tăng cứng: lực theo phương đường kính trong sườn vòng	92
C.5.2 Vỏ trụ có sườn vòng tăng cứng: tải trọng dọc trục	93
C.5.3 Vỏ trụ có sườn vòng tăng cứng: áp lực bên trong phân bố đều	93
C.6 Bản tròn với các điều kiện biên đối xứng trục.....	94
C.6.1 Bản có biên tựa do: tải trọng phân bố đều	94
C.6.2 Bản có biên tựa tựa do: tải trọng cục bộ phân bố.....	94
C.6.3 Bản có biên ngàm: tải trọng phân bố đều.....	94
C.6.4 Bản có biên ngàm: tải trọng cục bộ phân bố	95
Phụ lục D (tham khảo)	96
Các biểu thức cho ứng suất mất ổn định.....	96
D.1 Vỏ trụ không tăng cứng có chiều dày thành không đổi	96
D.1.1 Ký hiệu và các điều kiện biên.....	96
D.1.2 Nén (dọc trục) theo phương đường sinh.....	96
D.1.2.1 Ứng suất mất ổn định tới hạn theo phương đường sinh.....	96
D.1.2.2 Các thông số mất ổn định theo phương đường sinh	98

TCVN X1993-1-6:202x

- D.1.3 Nén theo phương vòng 100
 - D.1.3.1 Ứng suất mất ổn định tới hạn theo phương vòng..... 100
- D.1.4 Cắt 103
 - D.1.4.1 Ứng suất mất ổn định tới hạn do cắt..... 103
- D.1.5 Nén (dọc) theo phương đường sinh kết hợp áp lực bên trong..... 104
- D.1.6 Tác dụng đồng thời của nén (dọc) theo phương đường sinh, nén theo phương vòng và cắt..... 105
- D.2 Vỏ trụ không tăng cứng có chiều dày thành thay đổi từng nấc..... 107
 - D.2.1 Quy định chung 107
 - D.2.1.2 Hình học và các độ lệch tâm giữa chiều dày các tấm nối tại mỗi nối..... 107
 - D.2.2 Nén (dọc) theo phương đường sinh 108
 - D.2.3 Nén theo phương vòng 108
 - D.2.4 Cắt 112
 - D.2.4.1 Ứng suất mất ổn định tới hạn do cắt 112
 - D.2.4.2 Kiểm tra độ bền mất ổn định cho cắt..... 112
- D.3 Vỏ trụ thành nối chồng không tăng cứng..... 112
 - D.3.1 Quy định chung 112
 - D.3.1.1 Các định nghĩa..... 112
 - D.3.1.2 Hình học và các thành phần ứng suất..... 113
 - D.3.2 Nén (dọc) theo phương đường sinh..... 114
 - D.3.3 Nén theo phương vòng..... 114
 - D.3.4 Cắt..... 114
- D.4 Vỏ nón và nón cụt không tăng cứng 114
 - D.4.1 Quy định chung..... 114
 - D.4.1.1 Ký hiệu..... 114
 - D.4.2 Ứng suất mất ổn định thiết kế 115
 - D.4.3 Kiểm tra độ bền mất ổn định 118
 - D.4.3.1 Nén theo phương đường sinh..... 118
- Phụ lục E (quy định) 119
- Diễn giải độ bền thiết kế tham chiếu..... 119
- E.1 Các tấm hình trụ chịu độ uốn tổng thể đồng nhất 119
 - E.1.1 Quy định chung 119
 - E.1.1.1 Phạm vi..... 119
 - E.1.1.2 Ký hiệu..... 119
 - E.1.1.3 Điều kiện biên 119
 - E.1.2 Độ bền mất ổn định 120
 - E.1.2.1 Độ bền dẻo tham chiếu 120
 - E.1.2.2 Độ bền mất ổn định đàn hồi cực hạn tham chiếu 120

E.1.2.3 Thông số mất ổn định	120
E.1.2.4 Độ bền mất ổn định đặc trưng	122
E.1.3 Kiểm tra cường độ mất ổn định.....	123
E.2 Các vỏ cầu hoàn hảo và một phần	123
E.2.1 Quy định chung	123
E.2.1.1 Phạm vi	123
E.2.1.2 Ký hiệu	123
E.2.1.3 Điều kiện biên và liên kết.....	124
E.2.1.4 Điều kiện về tải trọng	125
E.2.2 Dung sai cho vỏ hình cầu.....	125
E.2.3 Thiết kế mất ổn định.....	125
E.2.3.1 Giới hạn của tính toán mất ổn định.....	125
E.2.3.2 Độ bền của mất ổn định tới hạn.....	126
E.2.3.3 Độ bền dẻo giới hạn tham chiếu.....	126
E.2.3.4 Thông số mất ổn định	126
E.2.3.5 Đặc tính độ bền mất ổn định.....	127

Thiết kế kết cấu thép – Phần 1-6: Độ bền và ổn định kết cấu vỏ

Design of steel structures – Part 1-6: Strength and Stability of Shell Structures

1. Quy định chung

1.1 Phạm vi

(1) TCVN X1993-1-6 đưa ra các quy tắc thiết kế cho kết cấu thép làm từ tấm có hình dạng vỏ tròn xoay.

(2) Tiêu chuẩn này dùng kết hợp với TCVN X1993-1-1, TCVN X1993-1-3, TCVN X1993-1-4, TCVN X1993-1-9 và các phần áp dụng liên quan của TCVN X1993, bao gồm:

Phần 3.1 cho tháp và trụ

Phần 3.2 cho ống khói

Phần 4.1 cho Silo

Phần 4.2 cho bể chứa

Phần 4.3 cho đường ống

(3) Tiêu chuẩn này quy định các giá trị đặc trưng và thiết kế cho độ bền của kết cấu.

(4) Tiêu chuẩn này đề cập tới các yêu cầu thiết kế theo các trạng thái giới hạn:

- Giới hạn dẻo;
- Dẻo chu kỳ;
- Mất ổn định;
- Mọi.

(5) Cân bằng tổng thể của kết cấu (trượt, trôi (đẩy nổi), lật) không bao gồm trong tiêu chuẩn này, nhưng được xem xét trong TCVN X1993-1-1. Các xem xét riêng cho ứng dụng cụ thể được bao gồm trong các phần liên quan của TCVN X1993.

(6) Các quy định trong tiêu chuẩn này áp dụng cho vỏ đối xứng trục và các bộ phận bản tròn hoặc vành khuyên của vỏ, cũng như áp dụng cho sườn cứng vòng và sườn cứng đường sinh, nếu chúng là một phần của kết cấu hoàn chỉnh. Các quy trình chung để tính toán bằng máy tính cho tất cả các dạng vỏ cũng được đề cập. Các biểu thức chi tiết cho tính toán bằng tay của hình trụ không tăng cứng và hình nón không tăng cứng được nêu trong các phụ lục.

(7) Các tấm trụ và nón không được đề cập chi tiết trong tiêu chuẩn này. Tuy nhiên, các quy định có thể áp dụng nếu các điều kiện biên được kể đến một cách phù hợp.

TCVN X1993-1-6:202x

(8) Tiêu chuẩn này áp dụng cho kết cấu vỏ thép. Khi không có tiêu chuẩn cho kết cấu vỏ làm từ kim loại khác, các quy định của tiêu chuẩn này có thể áp dụng nếu các tính chất của vật liệu được kể đến một cách thích hợp.

(9) Các quy định của tiêu chuẩn này áp dụng trong phạm vi nhiệt độ được xác định trong các phần TCVN X1993 liên quan. Nhiệt độ tối đa được giới hạn sao cho ảnh hưởng của từ biến có thể bỏ qua nếu ảnh hưởng từ biến của nhiệt độ cao không đề cập tới trong các phần tiêu chuẩn áp dụng liên quan.

(10) Các quy định của tiêu chuẩn này áp dụng cho kết cấu thỏa mãn các quy định về phá hoại giòn nêu trong TCVN X1993-1-10.

(11) Các quy định của tiêu chuẩn này áp dụng cho thiết kế kết cấu dưới các tác động về bản chất có thể được xem là tựa tĩnh.

(12) Trong tiêu chuẩn này, giả thiết rằng cả tải trọng gió và dòng vật liệu rời thông thường có thể coi là tác động tựa tĩnh.

(13) Ảnh hưởng động cần được kể đến phù hợp với các phần TCVN X1993 liên quan, bao gồm môi. Tuy nhiên, các thành phần ứng suất sinh ra do ứng xử động được coi là tựa tĩnh trong tiêu chuẩn này.

(14) Các quy định của tiêu chuẩn này áp dụng cho kết cấu được xây dựng phù hợp với TCVN X1090-2.

(15) Tiêu chuẩn này không bao gồm các vấn đề về sự rò rỉ của kết cấu.

(16) Tiêu chuẩn này áp dụng cho kết cấu với các giới hạn sau:

- Nhiệt độ thiết kế của kim loại trong khoảng từ - 50 °C đến + 300 °C;
- Tỷ số bán kính trên chiều dày trong khoảng từ 20 đến 5 000.

CHÚ THÍCH: Cần lưu ý rằng các quy tắc thiết kế theo ứng suất của tiêu chuẩn này có thể thiên về an toàn nếu được áp dụng cho một số dạng hình học và điều kiện tải trọng đối với các vỏ có thành tương đối dày.

1.2 Tài liệu viện dẫn

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

TCVN X1090-2 Thi công kết cấu thép và kết cấu nhôm – Phần 2: Các yêu cầu kỹ thuật đối với kết cấu thép.

TCVN X1990 Cơ sở thiết kế kết cấu

TCVN X1991 Tác động lên kết cấu

TCVN X1993 Thiết kế kết cấu thép:

Phần 1.1: Quy định chung và quy định cho nhà

Phần 1.3: Các cấu kiện và tấm mỏng tạo hình nguội

Phần 1.4 Thép không gỉ

Phần 1.5 Các cấu kiện làm từ tấm

Phần 1.9 Cường độ mỗi của kết cấu thép

Phần 1.10 Lựa chọn thép cho độ dai và tính chất xuyên chiều dày

Phần 1.12 Các quy định bổ sung để mở rộng TCVN X1993 áp dụng cho thép mác đến S700

Phần 3.1 Tháp và trụ

Phần 3.2 Ống khói

Phần 4.1 Si lô

Phần 4.2 Bể chứa

Phần 4.3 Đường ống

Phần 5 Cọc.

1.3 Thuật ngữ và định nghĩa

Các thuật ngữ được định nghĩa trong TCVN X1990 để sử dụng chung trong các tiêu chuẩn thiết kế kết cấu cũng được áp dụng cho tiêu chuẩn này. Nếu không có quy định khác, các định nghĩa trong ISO 8930 cũng áp dụng cho tiêu chuẩn này. Các thuật ngữ và định nghĩa bổ sung cho TCVN X1993-1-1 để sử dụng trong tiêu chuẩn này như sau:

1.3.1 Hình dạng kết cấu và hình học

1.3.1.1

Vỏ (shell)

Kết cấu hoặc bộ phận kết cấu được hình thành từ tấm mỏng cong.

1.3.1.2

Vỏ tròn xoay (shell of revolution)

Vỏ có hình dạng hình học được xác định bởi mặt trung bình được tạo nên từ việc xoay một đường sinh quanh một trục đơn với góc xoay 2π radian. Vỏ có thể có chiều dài bất kỳ.

1.3.1.3

Vỏ kín đối xứng trục (complete axisymmetric shell)

Vỏ được cấu tạo từ một số phần, mỗi phần là một vỏ tròn xoay.

1.3.1.4

Đoạn vỏ (shell segment)

TCVN X1993-1-6:202x

Vỏ tròn xoay có dạng hình học xác định với chiều dày thành không đổi: vỏ trụ, vỏ nón cụt, vỏ dơi cầu, bản vành khuyên, phần vỏ cong dạng hình xuyên, hoặc dạng khác.

1.3.1.5

Panel dạng vỏ (shell panel)

Vỏ hở tròn xoay: hình dạng vỏ được tạo thành bằng cách xoay đường sinh quanh trục một góc nhỏ hơn 2π radian.

1.3.1.6

Mặt trung bình (middle surface)

Bề mặt nằm giữa bề mặt trong và bề mặt ngoài của vỏ tại mỗi điểm. Khi vỏ được tăng cứng ở một hoặc hai mặt, mặt trung bình tham chiếu vẫn được lấy là mặt trung bình của bản cong của vỏ. Mặt trung bình là bề mặt tham chiếu để phân tích và có thể không liên tục tại các vị trí thay đổi chiều dày hoặc tại các vị trí các đường giao nhau của vỏ, dẫn tới làm xuất hiện độ lệch tâm mà có thể là quan trọng đối với ứng xử của kết cấu vỏ.

1.3.1.7

Đường giao nhau (junction)

Đường mà tại đó hai hoặc nhiều hơn các đoạn vỏ giao tiếp với nhau: nó có thể bao gồm cả sườn cứng. Đường tròn mà sườn cứng vòng liên kết với vỏ có thể được coi là đường giao nhau.

1.3.1.8

Sườn cứng dọc vỏ (stringer stiffener)

Cấu kiện tăng cứng cục bộ chạy dọc theo đường sinh của vỏ tròn xoay. Sườn cứng dọc vỏ dùng để làm tăng ổn định hoặc hỗ trợ chịu tải trọng cục bộ, không dùng để đảm bảo độ bền chính chịu uốn gây bởi tải trọng ngang.

1.3.1.9

Sườn (rib)

Cấu kiện cục bộ đảm bảo tiếp nhận tải trọng uốn dọc theo đường sinh của vỏ tròn xoay. Nó dùng để truyền hoặc phân phối tải trọng ngang khi chịu uốn.

1.3.1.10

Sườn cứng vòng (sườn vòng tăng cứng) (ring stiffener)

Cấu kiện tăng cứng cục bộ chạy theo đường tròn của vỏ tròn xoay tại điểm xác định trước trên đường sinh. Nó thường được giả thiết là không có độ cứng khi biến dạng ngoài mặt phẳng của bản thân nó (chuyển vị đường sinh của vỏ) nhưng là sườn cứng khi biến dạng trong mặt phẳng sườn vòng tăng cứng. Nó dùng để làm tăng ổn định hoặc truyền các tải trọng cục bộ tác dụng trong mặt

phẳng sườn vòng tăng cứng.

1.3.1.11

Vòng đáy (base ring)

Cấu kiện chịu lực chạy theo đường tròn của vỏ tròn xoay tại đáy và đảm bảo liên kết vỏ với móng hoặc cấu kiện chịu lực khác. Nó cần thiết để đảm bảo rằng các điều kiện biên đã giả thiết là thực hiện được trong thực tế.

1.3.1.12

Dầm vòng (ring beam or ring girder)

Sườn cứng tròn có độ cứng chống uốn và cường độ trong cả mặt phẳng vỏ tiết diện tròn và trong mặt phẳng vuông góc với mặt phẳng này. Nó là cấu kiện chịu lực chính dùng để phân bố các tải trọng cục bộ trong vỏ.

1.3.2 Các trạng thái giới hạn

1.3.2.1

Giới hạn dẻo (plastic failure limit state (LS1))

Trạng thái giới hạn cực hạn khi kết cấu phát triển các vùng chảy dẻo đến mức không còn khả năng chịu thêm tải trọng.

1.3.2.2

Kéo đứt (tensile rupture)

Trạng thái giới hạn cực hạn khi bản vỏ bị phá hoại tiết diện nguyên do kéo.

1.3.2.3

Dẻo chu kỳ (cyclic plasticity)

Trạng thái giới hạn cực hạn khi chảy dẻo lặp lại do các chu kỳ tăng tải và giảm tải, dẫn đến phá hoại mỗi chu kỳ nhỏ khi vật liệu mất khả năng hấp thụ năng lượng.

1.3.2.4

Mất ổn định (buckling)

Trạng thái giới hạn cực hạn khi kết cấu đột ngột mất ổn định dưới tác dụng nén của màng và/hoặc cắt. Điều này dẫn đến chuyển vị lớn hoặc kết cấu không còn khả năng chịu tải trọng tác dụng.

1.3.2.5

Mỏi (fatigue)

Trạng thái giới hạn khi nhiều chu kỳ tải trọng gây ra phát triển nứt trong bản vỏ, dẫn tới ở các chu kỳ tải trọng tiếp theo có thể dẫn tới đứt.

1.3.3 Các tác động

1.3.3.1

Tải trọng dọc trục (axial load)

Tải trọng bên ngoài tác dụng theo phương dọc trục

1.3.3.2

Tải trọng theo phương đường kính (radial load)

Tải trọng bên ngoài tác dụng vuông góc với bề mặt vỏ trụ.

1.3.3.3

Áp lực bên trong (internal pressure)

Thành phần lực bề mặt tác dụng vuông góc với vỏ theo hướng ra ngoài. Độ lớn của nó có thể thay đổi theo cả hai phương đường sinh và phương vòng (ví dụ, dưới tải trọng vật liệu rời trong Si lô).

1.3.3.4

Áp lực bên ngoài (external pressure)

Thành phần lực bề mặt tác dụng vuông góc với vỏ theo hướng vào trong. Độ lớn của nó có thể thay đổi theo cả hai phương đường sinh và phương vòng (ví dụ, dưới tải trọng gió).

1.3.3.5

Áp lực thủy tĩnh (hydrostatic pressure)

Áp lực thay đổi tuyến tính với tọa độ trục của vỏ tròn xoay.

1.3.3.6

Tải trọng ma sát thành (wall friction load)

Thành phần tải trọng bề mặt theo phương đường sinh tác dụng lên thành vỏ do ma sát kết hợp với áp lực bên trong (ví dụ, khi chất rời chứa trong vỏ).

1.3.3.7

Tải trọng cục bộ (local load)

Tải trọng điểm hoặc phân bố tác dụng lên một phần giới hạn của đường tròn của vỏ và trên một chiều cao hạn chế.

1.3.3.8**Tải trọng diện tích cục bộ (patch load)**

Tải trọng phân bố cục bộ vuông góc với vỏ

1.3.3.9**Áp lực hút (suction)**

Áp lực bên ngoài phân bố đều do áp lực bên trong giảm ở trong vỏ có các lỗ mở hoặc lỗ thông gió dưới tác động gió.

1.3.3.10**Chân không từng phần (partial vacuum)**

Áp lực bên ngoài phân bố đều do xả chất lỏng hoặc chất rời từ bể chứa không được thông gió đều.

1.3.3.11 Tác động nhiệt (thermal action)

Sự thay đổi nhiệt độ xuống theo đường sinh của vỏ, hoặc quanh đường tròn của vỏ hoặc theo chiều dày vỏ.

1.3.4 Các thành phần ứng suất và các ứng suất trong vỏ**1.3.4.1****Các thành phần ứng suất màng (membrane stress resultants)**

Các lực trên đơn vị chiều rộng vỏ sinh ra do tích phân sự phân bố các ứng suất pháp và ứng suất tiếp tác dụng song song với mặt trung bình, theo chiều dày vỏ. Ở trạng thái đàn hồi, mỗi thành phần ứng suất này gây ra trạng thái ứng suất phân bố đều theo chiều dày vỏ. Có ba thành phần ứng suất màng tại một điểm bất kỳ (xem Hình 1.1(e)).

1.3.4.2**Các thành phần ứng suất uốn (bending stress resultants)**

Các mô men uốn và xoắn trên đơn vị chiều rộng vỏ sinh ra do tích phân mô men đầu tiên của sự phân bố các ứng suất pháp và tiếp tác dụng song song với mặt trung bình, theo chiều dày vỏ. Ở trạng thái đàn hồi, mỗi thành phần ứng suất này gây ra trạng thái ứng suất thay đổi tuyến tính theo chiều dày vỏ, với giá trị bằng không tại mặt trung bình. Có hai mô men uốn và một mô men xoắn tại một điểm bất kỳ.

1.3.4.3**Các thành phần ứng suất cắt ngang (transverse shear stress resultants)**

TCVN X1993-1-6:202x

Lực trên đơn vị chiều rộng vỏ sinh ra do tích phân sự phân bố các ứng suất pháp tác dụng vuông góc với mặt trung bình, theo chiều dày vỏ. Ở trạng thái đàn hồi, mỗi thành phần ứng suất này gây ra trạng thái ứng suất thay đổi theo đường parabol, theo chiều dày vỏ. Có hai thành phần ứng suất cắt ngang tại một điểm bất kỳ (xem Hình 1.1(f)).

1.3.4.4

Ứng suất màng (membrane stress)

Thành phần ứng suất màng chia cho chiều dày vỏ (xem Hình 1.1(e)).

1.3.4.5

Ứng suất uốn (bending stress)

Thành phần ứng suất uốn nhân với 6 rồi chia cho bình phương chiều dày vỏ. Chỉ có nghĩa khi vỏ là đàn hồi.

1.3.5 Các phương pháp phân tích

1.3.5.1

Phân tích tổng thể (global analysis)

Phương pháp phân tích bao gồm kết cấu hoàn hảo, khác với các phần kết cấu riêng lẻ

1.3.5.2

Phân tích theo lý thuyết màng (membrane theory analysis)

Phương pháp phân tích mà dự báo được ứng xử của kết cấu vỏ thành mỏng dưới tải trọng phân bố với giả thiết rằng chỉ có các lực màng thỏa mãn điều kiện cân bằng với các tải trọng ngoài.

1.3.5.3

Phân tích lý thuyết bán-màng (semi membrane theory analysis)

Một phân tích dự đoán ứng xử của kết cấu vỏ hình trụ mỏng chịu tải trọng không đối xứng hoặc có các gối đỡ không đối xứng, bằng cách giả định rằng chỉ có lực màng và mô men uốn theo phương vòng thỏa mãn điều kiện cân bằng với các tải trọng bên ngoài.

1.3.5.4

Phân tích vỏ đàn hồi tuyến tính (linear elastic shell analysis (LA))

Phương pháp phân tích mà dự báo được ứng xử của kết cấu vỏ thành mỏng dựa trên thuyết uốn vỏ đàn hồi tuyến tính biến dạng nhỏ, lên quan đến hình học hoàn hảo của mặt trung bình của vỏ.

1.3.5.5

Phân tích trị số riêng đàn hồi tuyến tính (linear elastic bifurcation (eigenvalue) analysis (LBA))

Phân tích mà đánh giá được trị số riêng tuyến tính đối với kết cấu vỏ thành mỏng dựa trên thuyết uốn vỏ đàn hồi tuyến tính biến dạng nhỏ, lên quan đến hình học hoàn hảo của mặt trung bình của vỏ. Cần lưu ý rằng, khi trị số riêng được nói đến, nó không liên quan đến các dạng dao động.

1.3.5.6

Phân tích đàn hồi tuyến tính hình học (geometrically nonlinear elastic analysis (GNA))

Phân tích dựa trên các nguyên tắc của thuyết uốn vỏ áp dụng cho kết cấu hoàn hảo, sử dụng quy luật vật liệu đàn hồi tuyến tính, nhưng bao gồm tuyến biến dạng lớn đối với chuyển vị mà kể đến toàn bộ tất cả các thay đổi hình học do các tác động lên vỏ. Kiểm tra theo phương pháp trị số riêng được thực hiện tại mỗi mức tải trọng.

1.3.5.7

Phân tích phi tuyến vật liệu (materially nonlinear analysis (MNA))

Phân tích dựa trên thuyết uốn vỏ áp dụng cho kết cấu hoàn hảo, sử dụng giả thiết biến dạng nhỏ, như nêu trong 1.3.5.4, nhưng chấp nhận quy luật đàn – dẻo phi tuyến của vật liệu (ứng xử dẻo hoàn hảo lý tưởng sau khi chảy).

1.3.5.8

Phân tích phi tuyến vật liệu và hình học (geometrically and materially nonlinear analysis (GMNA))

Phân tích dựa trên thuyết uốn vỏ áp dụng cho kết cấu hoàn hảo, sử dụng giả thiết của thuyết biến dạng lớn cho chuyển vị và quy luật đàn – dẻo phi tuyến của vật liệu. Kiểm tra theo trị số riêng được thực hiện tại mỗi mức tải trọng.

1.3.5.9

Phân tích đàn hồi phi tuyến hình học có kể đến độ không hoàn hảo (geometrically nonlinear elastic analysis with imperfections included (GNIA))

Phân tích có kể đến độ không hoàn hảo, tương tự như phân tích GNA được xác định trong 1.3.5.5, nhưng chấp nhận mô hình hình học của kết cấu bao gồm hình dạng không hoàn hảo (ví dụ, hình học của mặt trung bình, bao gồm sai lệch không mong muốn từ hình dạng lý tưởng). Độ không hoàn hảo có thể bao gồm các ảnh hưởng của sai lệch về các điều kiện biên và/hoặc ảnh hưởng của ứng suất dư. Kiểm tra theo trị số riêng được thực hiện tại mỗi mức tải trọng.

1.3.5.10

Phân tích đàn hồi phi tuyến vật liệu và hình học có kể đến sự không hoàn hảo (geometrically and materially nonlinear analysis with imperfections included (GMNIA))

Phân tích có kể đến sự không hoàn hảo một cách toàn diện, dựa trên các nguyên tắc của thuyết uốn vỏ, áp dụng cho kết cấu không hoàn hảo (ví dụ, hình học của mặt trung bình bao gồm các sai lệch không dự tính trước so với dạng lý tưởng), bao gồm thuyết biến dạng lớn phi tuyến đối với chuyển vị

TCVN X1993-1-6:202x

mà kể đến bất kỳ sự thay đổi hình học do các tác động lên vỏ và quy luật đàn – dẻo phi tuyến hoàn toàn của vật liệu, khi phù hợp.

CHÚ THÍCH 1: Sự không hoàn hảo có thể bao gồm sự không hoàn hảo về các điều kiện biên và ứng suất dư. Kiểm tra theo trị riêng được thực hiện tại mỗi bước tải trọng.

1.3.6 Các ứng suất được sử dụng trong phương pháp thiết kế theo ứng suất

1.3.6.1

Ứng suất chính (primary stresses)

Hệ ứng suất yêu cầu để cân bằng với tải trọng tác dụng. Nó chủ yếu bao gồm các ứng suất màng, nhưng trong một số điều kiện để đạt được cân bằng cũng có thể cần đến ứng suất uốn.

1.3.6.2

Ứng suất phụ (secondary stresses)

Ứng suất gây bởi sự tương thích bên trong hoặc sự tương thích với các điều kiện biên liên quan đến tải trọng tác dụng hoặc chuyển vị cưỡng bức (nhiệt độ, ứng suất trước, lún, co ngót). Các ứng suất này không cần để đạt được trạng thái cân bằng giữa ứng suất bên trong và tải trọng bên ngoài.

1.3.7 Các định nghĩa riêng cho tính toán mất ổn định

1.3.7.1

Độ bền mất ổn định tới hạn (critical buckling resistance)

Sự phân chia nhỏ nhất hoặc tải trọng giới hạn được xác định với giả thiết các điều kiện lý tưởng của ứng xử đàn hồi của vật liệu, hình học hoàn hảo, tác dụng lực hoàn hảo, gối tựa hoàn hảo, tính đẳng hướng của vật liệu và sự vắng mặt của ứng suất dư (phân tích LBA).

1.3.7.2

Ứng suất mất ổn định tới hạn (critical buckling stress)

Ứng suất màng liên quan đến độ bền mất ổn định tới hạn.

1.3.7.3

Độ bền dẻo tham chiếu (plastic reference resistance)

Tải trọng dẻo giới hạn, được xác định với giả thiết các điều kiện lý tưởng của ứng xử dẻo cứng của vật liệu, hình học hoàn hảo, tác dụng lực hoàn hảo, gối tựa hoàn hảo, tính đẳng hướng của vật liệu (được mô hình hóa theo phương pháp phân tích MNA)

1.3.7.4

Độ bền mất ổn định đặc trưng (characteristic buckling resistance)

Tải trọng liên quan đến mất ổn định trường hợp ứng xử không đàn hồi của vật liệu, sự không hoàn hảo của kết cấu và hình học mà không tránh khỏi trong thi công thực tế, và các hiệu ứng kèm theo do tác động.

1.3.7.5

Ứng suất mất ổn định đặc trưng (characteristic buckling stress)

Ứng suất màng liên quan đến độ bền mất ổn định đặc trưng.

1.3.7.6

Độ bền mất ổn định thiết kế (design buckling resistance)

Giá trị thiết kế của lực mất ổn định, thu được bằng cách chia độ bền mất ổn định đặc trưng cho hệ số an toàn riêng của độ bền.

1.3.7.7

Ứng suất mất ổn định thiết kế (design buckling stress)

Ứng suất màng liên quan đến độ bền mất ổn định thiết kế.

1.3.7.8

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

Giá trị của ứng suất trong trường hợp ứng suất không đều, mà được sử dụng để đặc trưng cho độ lớn của ứng suất khi đánh giá trạng thái giới hạn mất ổn định

1.3.7.9

Cấp chất lượng dung sai chế tạo (fabrication tolerance quality class)

Cấp yêu cầu về dung sai chế tạo được giả thiết trong thiết kế, xem 8.4.

1.4 Ký hiệu

(1) Ngoài ra, trong TCVN X1990 và TCVN X1993-1-1, các ký hiệu sau đây được sử dụng:

(2) Hệ tọa độ, xem Hình 1.1:

r	tọa độ cực, vuông góc với trục tròn xoay của vỏ;
x	tọa độ theo phương đường sinh;
z	tọa độ trục dọc;
θ	tọa độ vòng
ϕ	độ dốc theo phương đường sinh: góc giữa trục tròn xoay và đường vuông góc với phương đường kính của vỏ.

TCVN X1993-1-6:202x

(3) Áp lực:

- p_n áp lực vuông góc với vỏ;
 p_x lực bề mặt đường kính song song với vỏ;
 p_θ lực bề mặt đường tròn song song với vỏ.

(4) Lực thẳng:

- P_n lực trên đơn vị đường tròn vuông góc với vỏ;
 P_x lực trên đơn vị đường tròn tác dụng theo phương đường kính;
 P_θ lực trên đơn vị đường tròn tác dụng theo phương vòng lên vỏ.

(5) Các thành phần ứng suất màng:

- n_x thành phần ứng suất màng theo phương đường sinh
 n_θ thành phần ứng suất màng theo phương vòng
 $n_{x\theta}$ thành phần ứng suất cắt màng

(6) Các thành phần ứng suất uốn:

- m_x ứng suất uốn theo phương đường sinh trên đơn vị chiều rộng
 m_θ ứng suất uốn theo phương đường tròn trên đơn vị chiều rộng
 $m_{x\theta}$ mô men xoắn do cắt trên đơn vị chiều rộng
 q_{xn} lực cắt ngang liên quan đến mô men uốn theo phương kính tuyến
 $q_{\theta n}$ lực cắt ngang liên quan đến mô men uốn theo phương vòng

(7) Các ứng suất:

- σ_x ứng suất theo phương đường sinh
 σ_θ ứng suất theo phương vòng
 σ_{eq} ứng suất tương đương Von Mises (cũng có thể lấy giá trị âm trong tải trọng chu kỳ)
 $\tau, \tau_{x\theta}$ ứng suất cắt trong mặt phẳng
 $\tau_{xn}, \tau_{\theta n}$ các ứng suất cắt ngang theo phương đường sinh và phương vòng liên quan đến

uốn

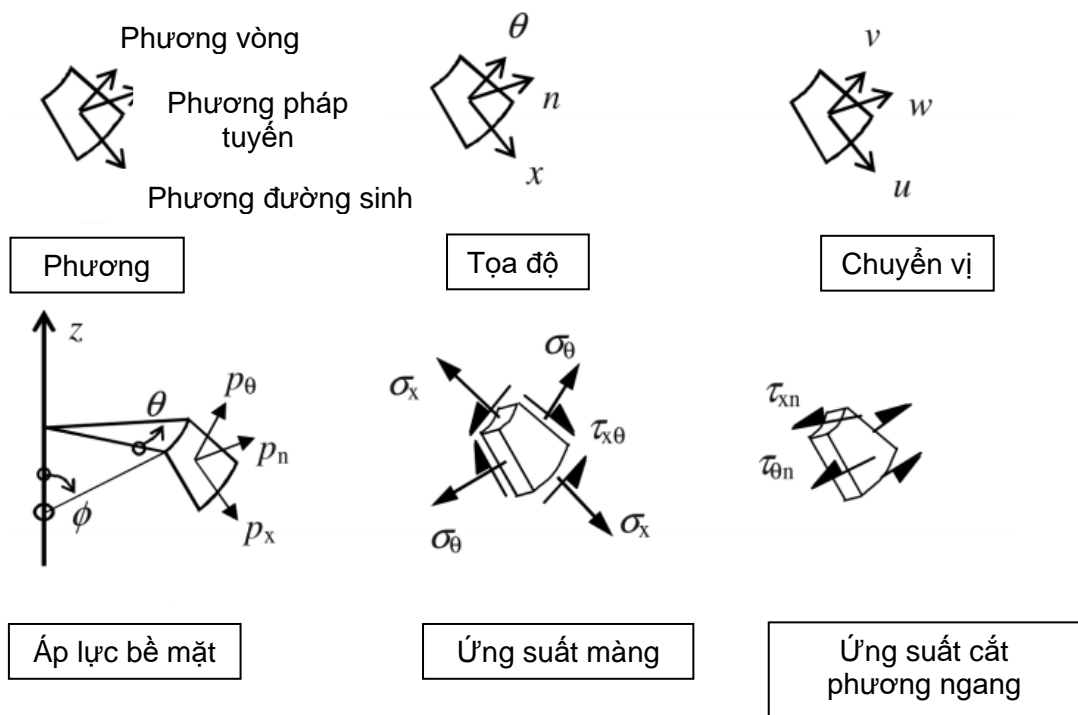
(8) Các chuyển vị:

- u chuyển vị theo phương đường sinh
 v chuyển vị theo phương vòng

- w chuyển vị vuông góc với bề mặt vỏ
- β_ϕ góc xoay đường sinh, xem 5.2.2

(9) Các kích thước của vỏ:

- d đường kính trong của vỏ;
- L tổng chiều dài của vỏ;
- l chiều dài đoạn vỏ;
- l_g chiều dài thiết kế để đo độ không hoàn hảo;
- $l_{g\theta}$ chiều dài thiết kế theo phương vòng để đo độ không hoàn hảo;
- l_{gw} chiều dài thiết kế ngang mối hàn để đo độ không hoàn hảo;
- l_{gx} chiều dài thiết kế theo phương đường sinh để đo độ không hoàn hảo;
- l_R chiều dài hạn chế của vỏ đối với đánh giá độ bền mỏi ổn định;
- r bán kính mặt trung bình, vuông góc với trục xoay;
- t chiều dày thành vỏ;
- t_{max} chiều dày lớn nhất của thành vỏ tại một mối nối;
- t_{min} chiều dày nhỏ nhất của thành vỏ tại một mối nối;
- t_{ave} chiều dày trung bình của thành vỏ tại một mối nối;
- β một nửa góc nghiêng tại đỉnh nón.



Hình 1.1 – Các ký hiệu trong vỏ tròn xoay

(10) Các sai lệch, xem 8.4:

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

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

U_r thông số sai lệch của độ lượn góc;

U_n thông số biên độ độ lõm không hoàn hảo ban đầu để tính toán số;

U_0 thông số sai lệch độ lõm ban đầu;

Δw_0 sai lệch của độ vuông góc với bề mặt vỏ.

(11) Các tính chất của vật liệu:

E Mô đun đàn hồi

f_{eq} Cường độ tương đương Von Mises

f_y cường độ chảy

f_u cường độ bền

ν hệ số Poát xông

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

C hệ số trong đánh giá độ bền mất ổn định

D hư hỏng tích lũy trong đánh giá mỏi

F tác động tổng quát hóa

F_{Ed} các tác động lên kết cấu hoàn hảo ứng với tình huống thiết kế (giá trị thiết kế)

F_{Rd} giá trị tính được của các tác động ở điều kiện độ bền lớn nhất của kết cấu (giá trị thiết kế)

R_k tỉ số độ bền đặc trưng tham chiếu (được sử dụng cùng với các chỉ số dưới để nhận biết nguồn gốc), được xác định bằng tỉ số (F_{Rk} / F_{Ed})

R_{pl} tỉ số độ bền dẻo tham chiếu (được xác định như là hệ số tải trọng cho tải trọng thiết kế sử dụng phương pháp phân tích MNA)

R_{cr} tỉ số độ bền mất ổn định tới hạn (được xác định như là hệ số tải trọng cho tải trọng thiết kế sử dụng phương pháp phân tích LBA)

k hệ số hiệu chỉnh cho các phương pháp phân tích phi tuyến

k mức độ tương tác trong các biểu thức tương tác độ bền mất ổn định

n số chu kỳ tải trọng

α hệ số giảm không hoàn hảo đàn hồi trong đánh giá độ bền mất ổn định

α_G hệ số giảm hình học

α_I hệ số giảm không hoàn hảo

β hệ số miền dẻo trong tương tác mất ổn định

γ hệ số an toàn riêng

Δ miền thông số khi có tác dụng của các tác động thay đổi (tạm thời) hoặc chu kỳ

ε_p biến dạng dẻo

η hệ số mũ tương tác cho mất ổn định

$\bar{\lambda}$ độ mảnh quy ước của vỏ

$\bar{\lambda}_{ov}$ độ mảnh quy ước tổng thể của vỏ tròn xoay kín (hoặc của nhiều đoạn vỏ)

$\bar{\lambda}_0$ độ mảnh quy ước squash (giá trị của $\bar{\lambda}$ mà vượt quá nó sẽ xuất hiện sự suy giảm độ bền do mất ổn định hoặc do thay đổi hình học)

$\bar{\lambda}_p$ độ mảnh quy ước giới hạn dẻo (giá trị của $\bar{\lambda}$ mà nhỏ hơn nó thì độ dẻo sẽ ảnh hưởng đến ổn định)

ω thông số chiều dài tương đối của vỏ

χ hệ số giảm mất ổn định cho hiệu ứng đàn – dẻo trong đánh giá độ bền mất ổn định

χ_{ov} hệ số giảm độ bền mất ổn định tổng thể cho vỏ kín tròn xoay

(13) Các chỉ số dưới:

E giá trị của ứng suất hoặc chuyển vị (sinh ra do tác động thiết kế)

F tác động

M vật liệu

R độ bền

cr giá trị mất ổn định tới hạn

d giá trị thiết kế

int bên trong

k giá trị đặc trưng

max giá trị lớn nhất

min giá trị nhỏ nhất

nom giá trị danh định

TCVN X1993-1-6:202x

p giá trị dẻo

u cực hạn

y chảy

(14) Các ký hiệu khác được xác định khi chúng xuất hiện lần đầu.

1.5 Các quy tắc dấu

(1) Hướng ra ngoài là dương: áp lực bên trong mang dấu dương, chuyển vị hướng ra ngoài mang dấu dương, trừ các đại lượng nêu trong (4).

(2) Các ứng suất kéo mang dấu dương, trừ các đại lượng nêu trong (4).

CHÚ THÍCH: Trong TCVN X1993-1-1 nên được quy ước mang dấu dương.

(3) Ứng suất cắt mang dấu dương như trên các Hình 1.1 và D.1.

(4) Để đơn giản, trong chương 8 và Phụ lục D, các ứng suất nén được quy ước mang dấu dương. Đối với các trường hợp này, cả áp lực bên ngoài và áp lực bên trong đều được quy ước mang dấu dương khi chúng được đề cập tới.

2 Cơ sở thiết kế và mô hình hóa

2.1 Quy định chung

(1) Cơ sở thiết kế phải phù hợp với TCVN X1990 với các bổ sung sau đây.

(2) Trong trường hợp cụ thể, vỏ cần được thiết kế sao cho nó chịu được tất cả các tác động và thỏa mãn các yêu cầu sau đây:

- Cân bằng tổng thể;
- Cân bằng giữa các tác động với các nội lực và mô men, xem các chương 6 và 8;
- Giới hạn nứt do dẻo chu kỳ, xem chương 7;
- Giới hạn nứt do mỏi, xem chương 9.

(3) Thiết kế vỏ cần thỏa mãn các yêu cầu sử dụng quy định trong tiêu chuẩn áp dụng liên quan (TCVN X1993 phần 3.1, 3.2, 4.1, 4.2 và 4.3).

(4) Một phần của vỏ có thể được thiết kế có sự hỗ trợ bằng thử nghiệm. Khi cần, các yêu cầu được quy định trong tiêu chuẩn áp dụng tương ứng (TCVN X1993 phần 3.1, 3.2, 4.1, 4.2 và 4.3).

(5) Tất cả các tác động cần được kể đến sử dụng các giá trị thiết kế của chúng phù hợp với TCVN X1991 và TCVN X1993 phần 3.1, 3.2, 4.1, 4.2 và 4.3 tương ứng.

2.2 Các phương pháp phân tích

2.2.1 Quy định chung

(1) Cần sử dụng một hoặc nhiều hơn các phương pháp phân tích sau đây như đã nêu chi tiết trong chương 4, phụ thuộc vào trạng thái giới hạn và các xem xét khác:

- Phân tích tổng thể, xem 2.2.2;
- Phân tích theo lý thuyết màng, xem 2.2.3;
- Phân tích vỏ đàn hồi tuyến tính, xem 2.2.4;
- Phân tích đàn hồi tuyến tính phân nhánh, xem 2.2.5;
- Phân tích đàn hồi tuyến tính hình học, xem 2.2.6;
- Phân tích phi tuyến vật liệu, xem 2.2.7;
- Phân tích phi tuyến hình học và vật liệu, xem 2.2.8;
- Phân tích đàn hồi phi tuyến hình học có kể đến độ không hoàn hảo, xem 2.2.9;
- Phân tích phi tuyến hình học và vật liệu có kể đến độ không hoàn hảo, xem 2.2.10.

2.2.2 Phân tích tổng thể

(1) Trong phân tích tổng thể các sơ đồ đơn giản có thể sử dụng cho một số phần của kết cấu.

2.2.3 Phân tích theo lý thuyết màng

(1) Phân tích theo lý thuyết màng chỉ được sử dụng nếu các điều kiện sau đây được thỏa mãn:

- Các điều kiện biên là thích hợp để truyền các ứng suất trong vỏ thành các phản lực gối tựa mà không gây ra ảnh hưởng uốn đáng kể;
- Hình dạng của vỏ thay đổi dần dần (không bị gián đoạn);
- Các tải trọng phân bố đều đặn và liên tục (không có tải trọng tập trung hoặc tải trọng điểm).

(2) Phân tích theo lý thuyết màng không nhất thiết phải đảm bảo sự tương thích của biến dạng tại các biên hoặc giữa các đoạn vỏ có hình dạng khác nhau hoặc giữa các đoạn vỏ chịu tải trọng khác nhau. Tuy nhiên, trường kết quả của các lực màng cần thỏa mãn các yêu cầu đối với các ứng suất chính (LS1).

2.2.4 Phân tích vỏ đàn hồi tuyến tính (LA)

(1) Tính tuyến tính của lý thuyết xuất phát từ các giả thiết về quy luật đàn hồi tuyến tính của vật liệu và lý thuyết biến dạng nhỏ tuyến tính. Lý thuyết biến dạng nhỏ coi rằng hình dạng được giả thiết trong phân tích vẫn giữ nguyên như hình dạng của kết cấu ban đầu.

TCVN X1993-1-6:202x

(2) Phân tích LA thỏa mãn tính tương thích về biến dạng cũng như cân bằng. Trường kết quả của các ứng suất màng và ứng suất uốn thỏa mãn các yêu cầu của các ứng suất chính cộng với ứng suất phụ. (LS1 đến LS4).

2.2.5 Phân tích đàn hồi tuyến tính phân nhánh

(1) Các điều kiện trong 2.2.4 đề cập tới các giả thiết về vật liệu và hình học là thỏa mãn. Tuy nhiên, phân tích tuyến tính phân nhánh này cho trị số riêng thấp hơn và ứng với nó vỏ có thể bị mất ổn định theo dạng biến dạng khác, giả thiết rằng hình học không thay đổi, hướng tác dụng của tải trọng không đổi, vật liệu không bị suy giảm. Các loại không hoàn hảo được bỏ qua. Phương pháp phân tích này cho kết quả độ bền mất ổn định tới hạn đàn hồi R_{cr} , xem 8.7 và 8.8 (LS3).

2.2.6 Phân tích đàn hồi tuyến tính hình học (GNA)

(1) Phân tích GNA thỏa mãn cả tính cân bằng và tính tương thích về biến dạng dưới các điều kiện mà ứng với chúng sự thay đổi về hình học của kết cấu gây bởi tải trọng tác dụng. Trường ứng suất thu được thỏa mãn định nghĩa của các ứng suất chính cộng với ứng suất phụ (LS2 và LS4).

(2) Khi ứng suất nén hoặc cắt là chủ yếu trong một số phần của vỏ thì phân tích GNA cho kết quả là tải trọng mất ổn định đàn hồi của kết cấu hoàn hảo, bao gồm cả sự thay đổi hình học mà có thể giúp cho việc kiểm tra trạng thái giới hạn LS3, xem 8.8.

(3) Khi sử dụng phương pháp phân tích này để xác định tải trọng mất ổn định, thì trị số riêng của cả hệ phải được kiểm tra để đảm bảo rằng quá trình số có thể xác định sự phân nhánh trong đường truyền lực.

2.2.7 Phân tích phi tuyến vật liệu (MNA)

(1) Kết quả của phân tích MNA cho ra tải trọng giới hạn dẻo, mà có thể được biểu thị dưới dạng hệ số tăng tải trọng R_{pl} cho giá trị thiết kế của tải trọng F_{Ed} . Phương pháp này đưa ra kết quả là tỉ số độ bền dẻo tham chiếu R_{pl} dùng trong 8.7 và 8.8.

(2) Có thể dùng phương pháp phân tích MNA để kiểm tra các trạng thái giới hạn LS1 và LS3.

(3) Có thể dùng phương pháp phân tích MNA để cho ra giá trị số gia biến dạng dẻo $\Delta\varepsilon$ trong một chu kỳ tải trọng mà có thể dùng để kiểm tra trạng thái giới hạn LS2.

2.2.8 Phân tích phi tuyến vật liệu và hình học (GMNA)

(1) Kết quả của phân tích GMNA, tương tự như 2.2.7, cho ra tải trọng giới hạn dẻo phi tuyến hình học của kết cấu hoàn hảo và số gia biến dạng dẻo mà có thể sử dụng để kiểm tra các trạng thái giới hạn LS1 và LS2.

(2) Khi ứng suất nén hoặc cắt là chính yếu trong một số phần của vỏ, thì phân tích GMNA cho kết quả của tải trọng mất ổn định đàn – dẻo của kết cấu hoàn hảo mà có thể giúp cho việc kiểm tra trạng thái giới hạn LS3, xem 8.8.

(3) Khi sử dụng phương pháp phân tích này để xác định tải trọng mất ổn định, thì trị số riêng của cả hệ phải được kiểm tra để đảm bảo rằng quy trình số không sai trong việc phát hiện sự phân nhánh trong đường truyền lực.

2.2.9 Phân tích đàn hồi phi tuyến hình học có kể đến độ không hoàn hảo (GNIA)

(1) Phương pháp phân tích GNIA được sử dụng trong các trường hợp khi mà ứng suất nén hoặc cắt là chính yếu trong vỏ. Nó cho ra tải trọng mất ổn định đàn hồi của kết cấu hoàn hảo mà có thể cho việc kiểm tra trạng thái giới hạn LS3, xem 8.8.

(2) Khi sử dụng phương pháp phân tích này để xác định tải trọng mất ổn định (LS3), thì trị số riêng của cả hệ phải được kiểm tra để đảm bảo rằng quá trình số có thể xác định sự phân nhánh trong đường truyền lực. Phải thận trọng để đảm bảo rằng các ứng suất cục bộ không vượt quá các giá trị mà ứng với nó tính phi tuyến của vật liệu có thể ảnh hưởng đến ứng xử.

2.2.10 Phân tích phi tuyến vật liệu và hình học có kể đến độ không hoàn hảo (GMNIA)

(1) Phương pháp phân tích GMNIA được sử dụng trong các trường hợp khi mà ứng suất nén hoặc cắt là chủ yếu trong vỏ. Nó cho ra tải trọng mất ổn định đàn – dẻo của kết cấu thực không hoàn hảo mà có thể sử dụng để kiểm tra trạng thái giới hạn LS3, xem 8.8.

(2) Khi sử dụng phương pháp phân tích này để xác định tải trọng mất ổn định, thì trị số riêng của cả hệ phải được kiểm tra để đảm bảo rằng quá trình số có thể xác định sự phân nhánh trong đường truyền lực.

(3) Khi sử dụng phương pháp phân tích này để xác định tải trọng mất ổn định, luôn cần thực hiện kèm theo phương pháp phân tích GMNA của kết cấu hoàn hảo để đảm bảo xác định được mức độ nhạy với sự không hoàn hảo của hệ kết cấu.

2.3 Các điều kiện biên của vỏ

(1) Các điều kiện biên được giả thiết trong tính toán thiết kế cần được lựa chọn sao cho đảm bảo thu được mô hình thực tế hoặc mô hình an toàn của kết cấu thực. Việc lưu ý đặc biệt không chỉ đối với sự ngăn cản chuyển vị vuông góc với thành vỏ (độ võng ngang), mà còn đối với sự ngăn cản chuyển vị trong mặt phẳng thành vỏ (chuyển vị theo phương đường sinh và phương vòng) vì chúng ảnh hưởng đáng kể đến cường độ và độ bền mất ổn định của vỏ.

(2) Trong tính toán (trạng thái giới hạn LS3) mất ổn định (trị số riêng), định nghĩa các điều kiện biên cần tham chiếu tới chuyển vị gia tăng từng nấc trong quá trình mất ổn định, và không tham chiếu tới tổng chuyển vị gây bởi tác động tác dụng trước khi mất ổn định.

(3) Các điều kiện biên tại mép dưới được đỡ của vỏ cần được kể đến kể cả có hay không sự trôi lên cục bộ của vỏ.

(4) Góc xoay β_φ của mép vỏ cần được xét trong vỏ thấp và trong tính toán các ứng suất thứ nhất trong vỏ cao (theo các trạng thái giới hạn LS2 và LS4).

TCVN X1993-1-6:202x

(5) Các điều kiện biên quy định trong 5.2.2 cần được sử dụng trong phân tích bằng máy tính khi lựa chọn biểu thức từ các phụ lục A đến D.

(6) Các liên kết chịu lực giữa các đoạn vỏ tại đường giao cần sao cho đảm bảo được rằng các giả thiết về điều kiện biên sử dụng trong thiết kế các đoạn vỏ riêng lẻ của vỏ được thỏa mãn.

3 Vật liệu và hình học

3.1 Tính chất vật liệu

(1) Các tính chất vật liệu thép cần được lấy theo tiêu chuẩn áp dụng tương ứng.

(2) Khi vật liệu có đường cong ứng suất – biến dạng phi tuyến và phân tích mất ổn định được thực hiện bằng phương pháp tính theo ứng suất (xem 8.5), thì mô đun đàn hồi tiếp tuyến ban đầu E cần được thay bằng giá trị đã giảm. Nếu không có phương pháp nào tốt hơn, thì mô đun cát tuyến tương ứng với ứng suất quy ước 0,2 % cần được sử dụng khi xác định tải trọng tới hạn đàn hồi hoặc ứng suất tới hạn đàn hồi.

(3) Trong phân tích số tổng thể sử dụng tính phi tuyến của vật liệu, ứng suất quy ước 0,2 % cần được sử dụng để biểu thị ứng suất chảy f_y trong các biểu thức tương ứng. Đường cong ứng suất – biến dạng được lấy theo Phụ lục C của TCVN X1993-1-5 đối với thép các bon và Phụ lục C của TCVN X1993-1-4 đối với thép không gỉ.

(4) Các tính chất của vật liệu áp dụng cho nhiệt độ không quá 150 °C.

CHÚ THÍCH: Phụ lục quốc gia có thể đưa thêm thông tin về các tính chất vật liệu ở nhiệt độ lớn hơn 150 °C.

3.2 Giá trị thiết kế của thông số hình học

(1) Chiều dày t của vỏ được lấy theo quy định trong tiêu chuẩn áp dụng tương ứng. Nếu không có tiêu chuẩn áp dụng tương ứng, thì sử dụng chiều dày danh định của thành vỏ được giảm xuống một giá trị giảm yếu do ăn mòn cho trước.

(2) Miền chiều dày mà trong đó các quy tắc của tiêu chuẩn này có thể áp dụng được xác định trong các phần tương ứng của TCVN X1993.

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

(4) Bán kính r của vỏ được lấy bằng bán kính danh định của mặt trung bình của vỏ, được đo vuông góc với trục xoay.

(5) Các quy tắc thiết kế mất ổn định của tiêu chuẩn này không được áp dụng ngoài miền của tỉ số r/t quy định trong chương 8 hoặc Phụ lục D hoặc trong các phần tiêu chuẩn áp dụng tương ứng của TCVN X1993.

3.3 Dung sai hình học và sai lệch hình học

(1) Các giá trị dung sai hình học của bề mặt vỏ so với các giá trị danh định được xác định trong các tiêu chuẩn thi công do các yêu cầu về sử dụng. Các yếu tố liên quan là:

- Độ méo (sai lệch về độ tròn);
- Độ lệch tâm (độ lệch so với mặt trung bình liên tục theo phương vuông góc với vỏ cắt qua các đường giao nhau giữa các tấm;
- Độ lõm cục bộ (sai lệch cục bộ, vuông góc với mặt trung bình danh định).

Chú thích: Các yêu cầu đối với thi công được quy định trong TCVN X1090, nhưng các dung sai này được mô tả đầy đủ hơn ở đây vì quan hệ tới hạn giữa dạng đo dung sai, biên độ của nó và độ bền đã xác định của kết cấu.

(2) Nếu trạng thái giới hạn mất ổn định (LS3, như mô tả trong 4.1.3) là một trong các trạng thái giới hạn đang xét, thì các dung sai hình học bổ sung liên quan đến mất ổn định phải được xem xét để giữ cho sai lệch hình học trong phạm vi giới hạn đã quy định. Các dung sai hình học liên quan đến mất ổn định được định lượng trong chương 8 hoặc trong các phần áp dụng tương ứng của TCVN X1993.

(3) Tính toán các giá trị của sai lệch của hình học bề mặt vỏ so với hình học danh định, khi được yêu cầu đối với các giả thiết sai lệch hình học (độ không hoàn hảo tổng thể hoặc độ không hoàn hảo cục bộ) cho thiết kế mất ổn định bằng phương pháp phân tích GMNIA tổng thể(xem trong 8.8), cần được dựa trên các dung sai hình học quy định. Các quy tắc tương ứng nêu trong 8.8 hoặc trong các phần áp dụng tương ứng của TCVN X1993.

4 Các trạng thái giới hạn cực hạn trong vỏ thép

4.1 Các trạng thái giới hạn cực hạn được xét

4.1.1 LS1: Trạng thái giới hạn dèo phá hoại

(1) Trạng thái giới hạn của giới hạn dèo cần được coi là trạng thái mà trong đó khả năng của kết cấu chịu các tác động lên nó bị mất do vật liệu bị chảy dèo. Độ bền của kết cấu ở trạng thái giới hạn dèo có thể đạt được khi tải trọng phá hoại dèo thu được từ cơ chế dựa trên lý thuyết biến dạng nhỏ với quy tắc đàn-dẻo của vật liệu.

(2) Trạng thái giới hạn của phá hoại kéo đứt là trạng thái mà trong đó thành vỏ bị phá hoại kéo tiết diện nguyên, dẫn đến vỏ bị phân thành hai phần.

(3) Khi không có lỗ liên kết, việc kiểm tra ở trạng thái giới hạn phá hoại kéo đứt có thể được giả thiết là đã bao gồm kiểm tra trạng thái giới hạn dèo. Tuy nhiên, khi có lỗ liên kết, thì nên thực hiện kiểm tra bổ sung phù hợp với 6.2 của TCVN X1993-1-1.

(4) Khi kiểm tra trạng thái giới hạn phá hoại hạn dèo, có thể giả sử rằng kết cấu có ứng xử dèo hoặc dèo một phần (ví dụ, có thể bỏ qua việc xem xét tính tương thích đàn hồi).

CHÚ THÍCH: Do trạng thái giới hạn dèo bao gồm sự thay đổi hình dạng, lưu ý rằng trạng thái này cũng có thể gây ra mất ổn định đột ngột như trong giai đoạn đàn hồi. Độ bền dèo tham chiếu không bao gồm sự thay đổi hình dạng, do đó không có vấn đề trên.

(5) Khi kiểm tra LS1, cần kể đến tất cả các tổ hợp tải trọng liên quan.

TCVN X1993-1-6:202x

(6) Có thể sử dụng một trong số các phương pháp phân tích sau đây (xem 2.2) để tính các ứng suất thiết kế và các thành phần ứng suất khi kiểm tra LS1:

- Lý thuyết màng;
- Các biểu thức trong các phụ lục A và B;
- Phân tích đàn hồi tuyến tính (LA);
- Phân tích phi tuyến vật liệu (MNA);
- Phân tích phi tuyến hình học và vật liệu (GMNA).

4.1.2 LS2: Dẻo chu kỳ

(1) Trạng thái giới hạn dẻo chu kỳ là trạng thái mà trong đó các chu kỳ lặp lại của tải trọng tăng hoặc giảm gây nên sự chảy dẻo khi kéo và nén tại cùng một điểm, do đó gây ra sự làm việc dẻo bị lặp lại trong kết cấu, cuối cùng dẫn đến nứt cục bộ do vật liệu mất khả năng hấp thụ năng lượng.

CHÚ THÍCH: Các ứng suất mà liên quan tới trạng thái giới hạn này phát triển dưới tổ hợp của tất cả các tác động và trạng thái tương thích của kết cấu.

(2) Các tác động thay đổi (như tải trọng tạm thời và sự thay đổi nhiệt độ) mà có thể dẫn tới chảy dẻo, và có thể tác dụng với hơn ba chu kỳ trong tuổi thọ kết cấu cần được kể đến khi kiểm tra LS2.

(3) Khi kiểm tra trạng thái giới hạn này, tính tương thích biến dạng ở trạng thái đàn–dẻo cần được xét tới.

(4) Có thể sử dụng một trong các phương pháp phân tích sau đây (xem 2.2) để tính các ứng suất thiết kế và các thành phần ứng suất khi kiểm tra LS2:

- Các biểu thức trong Phụ lục C;
- Phân tích đàn hồi (LA hoặc GNA);
- MNA hoặc GMNA để xác định miền biến dạng dẻo.

(5) Phá hoại mỗi chu kỳ thấp có thể được ngăn chặn nếu các quy trình được mô tả trong tiêu chuẩn này được áp dụng.

4.1.3 LS3: Mất ổn định

(1) Trạng thái giới hạn mất ổn định là trạng thái mà trong đó tất cả các phần của kết cấu đột ngột phát triển chuyển vị lớn vuông góc với bề mặt vỏ, gây bởi sự mất ổn định dưới tác dụng của các ứng suất nén màng hoặc cắt màng trong thành vỏ, dẫn đến mất khả năng chống lại bất kỳ sự gia tăng nào của các thành phần ứng suất, tiềm ẩn gây nên sụp đổ toàn bộ kết cấu.

(2) Có thể sử dụng một trong các phương pháp phân tích sau đây (xem 2.2) để tính các ứng suất thiết kế và các thành phần ứng suất khi kiểm tra LS3:

- Lý thuyết màng chỉ đối với các trạng thái đối xứng trục (xem các phần tương ứng của TCVN X1993 về các trường hợp loại trừ)

- Các biểu thức trong Phụ lục A;
- Phân tích đàn hồi LA, mà là các yêu cầu tối thiểu đối với phân tích ứng suất dưới các trạng thái tải trọng tổng quát (nếu không có các trường hợp tải trọng nêu trong Phụ lục A);
- Phân tích đàn hồi LBA, mà là các yêu cầu tối thiểu đối với vỏ dưới các trạng thái tải trọng tổng quát nếu sử dụng độ bền mất ổn định tới hạn;
- Phân tích phi tuyến vật liệu (MNA), mà được yêu cầu đối với vỏ dưới các trạng thái tải trọng tổng quát nếu sử dụng độ bền dẻo tham chiếu;
- GMNIA kết hợp từng đôi với MNA, LBA và GMNA, có sử dụng độ không hoàn hảo tương ứng và các hệ số hiệu chỉnh đã tính được.

(3) Khi kiểm tra LS3, cần kể đến tất cả các tổ hợp tải trọng liên quan gây nên các ứng suất nén màng hoặc cắt màng trong vỏ.

(4) Vì cường độ ở trạng thái giới hạn LS3 phụ thuộc mạnh vào chất lượng thi công, nên khi xác định cường độ cần kể đến các yêu cầu liên quan đối với các dung sai trong thi công.

CHÚ THÍCH: Với mục đích này, ba cấp dung sai hình học được gọi là “cấp chất lượng chế tạo” được nêu trong chương 8.

4.1.4 LS4: Mỏi

(1) Trạng thái giới hạn mỏi là trạng thái mà trong đó các chu kỳ lặp của ứng suất tăng và giảm dẫn đến sự phát triển nứt do mỏi.

(2) Có thể sử dụng một trong các phương pháp phân tích sau đây (xem 2.2) để tính các ứng suất thiết kế và các thành phần ứng suất khi kiểm tra LS4:

- Các biểu thức trong Phụ lục C, sử dụng các hệ số tập trung ứng suất;
- Phân tích đàn hồi (LA hoặc GNA), sử dụng các hệ số tập trung ứng suất.

(3) Khi kiểm tra LS4, cần kể đến tất cả các tác động thay đổi tác dụng hơn N_f chu kỳ trong tuổi thọ kết cấu phù hợp với phổ tác động tương ứng nêu trong TCVN X1991 theo các phần tương ứng của TCVN X1993-3 hoặc TCVN X1993-4.

CHÚ THÍCH: Phụ lục quốc gia có thể đưa ra lựa chọn cho giá trị N_f . Giá trị $N_f = 10\,000$ được khuyến nghị áp dụng.

4.2 Các nguyên tắc thiết kế vỏ theo các trạng thái giới hạn

4.2.1 Quy định chung

(1) Kiểm tra trạng thái giới hạn cần được thực hiện bằng một trong các phương pháp sau:

- Thiết kế theo ứng suất;
- Thiết kế trực tiếp bằng cách sử dụng các biểu thức tiêu chuẩn;
- Thiết kế bằng phân tích số tổng thể (ví dụ, bằng các phần mềm máy tính như các phần mềm dựa trên phương pháp phần tử hữu hạn).

TCVN X1993-1-6:202x

(2) Cần phải kể đến một thực tế là, phản ứng của các vật liệu đàn–dẻo bởi các thành phần ứng suất khác nhau trong vỏ có ảnh hưởng khác nhau đến các dạng phá hoại và các trạng thái giới hạn cực hạn. Các thành phần ứng suất vì thế nằm trong các nhóm ứng suất với các giới hạn khác nhau. Các ứng suất phát triển để thỏa mãn các yêu cầu cân bằng được coi là đáng kể hơn so với các ứng suất gây bởi tính tương thích của biến dạng vuông góc với vỏ. Các ứng suất cục bộ do hiệu ứng tập trung ứng suất trong các chi tiết xây dựng có thể được coi là có tác động nhỏ có thể bỏ qua đối với độ bền kết cấu khi chịu tải trọng tĩnh.

(3) Các ứng suất được phân biệt trong thiết kế theo ứng suất là: ứng suất chính, ứng suất phụ và ứng suất cục bộ. Các trạng thái ứng suất chính và phụ có thể được thay bằng các thành phần ứng suất tương ứng.

(4) Trong phân tích tổng thể, các trạng thái ứng suất chính và phụ được thay bằng tải trọng giới hạn và miền biến dạng đối với tải trọng chu kỳ.

(5) Nói chung, có thể giả thiết rằng các trạng thái ứng suất chính không chế LS1, LS3 phụ thuộc chủ yếu vào các trạng thái ứng suất chính nhưng có thể bị ảnh hưởng bởi các trạng thái ứng suất phụ, LS2 phụ thuộc vào tổ hợp các trạng thái ứng suất chính và phụ, và các ứng suất cục bộ quyết định LS4.

4.2.2 Thiết kế theo ứng suất

4.2.2.1 Quy định chung

(1) Khi sử dụng phương pháp thiết kế theo ứng suất, các trạng thái giới hạn cần được xác định bởi ba nhóm ứng suất: chính, phụ và cục bộ. Nói chung, sự phân nhóm được dựa trên ứng suất tương đương Von Mises tại một điểm, nhưng ứng suất mất ổn định không thể được xác định bằng giá trị này.

4.2.2.2 Các ứng suất chính

(1) Ứng suất chính được coi là hệ ứng suất được yêu cầu để cân bằng với tải trọng tác dụng vào. Chúng có thể được tính từ bất kỳ hệ tĩnh định thực tế cho phép nào. Trạng thái giới hạn dẻo (LS1) cần được coi là đạt được khi các ứng suất chính đạt tới cường độ chảy trên suốt chiều dày thành vỏ tại một số lượng đủ lớn các điểm, sao cho chỉ có biến cứng hoặc sự thay đổi hình học có thể dẫn tới tăng độ bền kết cấu.

(2) Tính toán ứng suất chính được dựa trên hệ các thành phần ứng suất, bao gồm các yêu cầu về cân bằng kết cấu. Nó có thể kể đến ảnh hưởng có lợi của lý thuyết dẻo. Một cách khác, khi phân tích đàn hồi tuyến tính thỏa mãn các yêu cầu cân bằng, các dự báo của nó có thể được sử dụng như một biểu thị an toàn của trạng thái giới hạn dẻo (LS1). Có thể áp dụng bất kỳ phương pháp phân tích nào nêu trong 5.3.

(3) Vì thiết kế theo trạng thái giới hạn đối với LS1 cho phép tiết diện ngang dẻo toàn phần, ứng suất chính do mô men uốn có thể được tính dựa trên mô đun chống uốn khi dẻo, xem 6.2.1. Khi có tương tác giữa các thành phần ứng suất trong tiết diện ngang, thì có thể áp dụng các quy tắc tương tác dựa trên tiêu chí chảy dẻo Von Mises.

(4) Các ứng suất chính cần được giới hạn bởi giá trị thiết kế của giới hạn chảy, xem chương 6 (LS1).

4.2.2.3 Các ứng suất phụ

(1) Trong các kết cấu siêu tĩnh, cần phải kể đến cả các ứng suất phụ gây bởi tính tương thích biến dạng bên trong và tương thích với các điều kiện biên mà gây bởi tải trọng tác dụng hoặc chuyển vị cưỡng bức (nhiệt độ, ứng suất trước, lún, co ngót).

CHÚ THÍCH: Khi tiến gần đến các điều kiện chảy Von Mises, thì chuyển vị của kết cấu tăng mà trạng thái ứng suất không tăng.

(2) Khi tải trọng chu kỳ gây ra dẻo, và có nhiều chu kỳ tải trọng xảy ra, cần xem xét sự giảm độ bền tiềm năng do các Ứng suất phụ gây ra. Khi chu kỳ tải trọng đủ lớn để gây ra chảy dẻo ở cả mức tải trọng cao nhất và khi dỡ tải, cần xem tới một phá hoại tiềm năng do dẻo chu kỳ liên quan đến các ứng suất phụ.

(3) Nếu việc tính toán ứng suất được thực hiện bằng phân tích đàn hồi tuyến tính, và có kể đến tất cả các điều kiện tương thích tương ứng (các hiệu ứng tại biên, vị trí giao nhau, sự thay đổi chiều dày thành, và tương tự), thì ứng suất thay đổi tuyến tính theo chiều dày có thể được lấy bằng tổng của các ứng suất chính và phụ. Những ứng suất này được dùng trong việc kiểm tra với tiêu chí chảy dẻo Von Mises, xem mục 6.2.

CHÚ THÍCH: Các Ứng suất phụ không bao giờ được tách khỏi các ứng suất chính.

(4) Các ứng suất phụ cần được giới hạn như sau:

- Tổng các ứng suất chính và phụ (bao gồm cả các ứng suất uốn) cần được giới hạn bằng giá trị $2f_{yd}$ đối với trạng thái dẻo chu kỳ (LS2: xem chương 7);
- Các thành phần màng của tổng các ứng suất chính và phụ cần được giới hạn bằng độ bền mất ổn định thiết kế (LS3: xem chương 8);
- Tổng các ứng suất chính và phụ (bao gồm cả các ứng suất uốn) cần được giới hạn bằng độ bền mỏi (LS4: xem chương 9).

4.2.2.4 Ứng suất cục bộ

(1) Các ứng suất cục bộ lớn liên quan đến ứng suất sinh ra trong thành vỏ do hiệu ứng tập trung ứng suất (lỗ, mối hàn, thành bậc, các cấu kiện gắn thêm và mối nối) cần được kể đến trong xác định trạng thái giới hạn mỏi (LS4).

(2) Đối với các cấu kiện nêu trong TCVN X1993-1-9, thiết kế mỏi có thể dựa trên các ứng suất đàn hồi tuyến tính danh định (tổng của các ứng suất chính và phụ) tại điểm tương ứng. Đối với các cấu kiện khác, các ứng suất cục bộ có thể được tính bằng cách áp dụng các hệ số tập trung ứng suất cho các ứng suất tính được từ phân tích ứng suất đàn hồi ứng suất.

(3) Các ứng suất cục bộ cần được giới hạn theo các yêu cầu đối với mỏi (LS4) quy định trong chương 9.

4.2.3 Thiết kế trực tiếp

- (1) Khi sử dụng phương pháp thiết kế trực tiếp, các trạng thái giới hạn có thể được biểu thị bằng các biểu thức tiêu chuẩn xác định từ lý thuyết màng hoặc lý thuyết cơ chế dẻo hoặc phân tích đàn hồi tuyến tính.
- (2) Các biểu thức của lý thuyết màng nêu trong Phụ lục A có thể được sử dụng để xác định các ứng suất chính cần cho xác định LS1 và LS3.
- (3) Các biểu thức cho thiết kế dẻo nêu trong Phụ lục B có thể được sử dụng để xác định các ứng suất giới hạn dẻo cần cho xác định LS1 và LS3.
- (4) Các biểu thức cho phân tích đàn hồi tuyến tính nêu trong Phụ lục C có thể được sử dụng để xác định các ứng suất chính cộng nhóm phụ cần cho xác định LS2 và LS4. Việc xác định LS3 có thể được dựa trên phần màng của các biểu thức này.

4.2.4 Thiết kế bằng phân tích số tổng thể

- (1) Khi sử dụng phương pháp phân tích số tổng thể, việc xác định các trạng thái giới hạn cần được thực hiện bằng một trong các phương pháp thay thế quy định trong 2.2 (nhưng không phải là phân tích theo lý thuyết màng) ứng dụng cho kết cấu hoàn hảo
- (2) Phân tích đàn hồi tuyến tính (LA) có thể được sử dụng để xác định các ứng suất hoặc các thành phần ứng suất, để sử dụng trong việc xác định LS2 và LS4. Các phần ứng suất màng tìm được bằng LA có thể được sử dụng trong xác định LS3. LS1 có thể được xác định bằng LA, nhưng LA chỉ cho ra các kết quả gần đúng và các kết quả này cần được diễn giải như quy định trong chương 6.
- (3) Phân tích đàn hồi tuyến tính phân nhánh (LBA) có thể được sử dụng để xác định độ bền mất ổn định tới hạn của kết cấu, dùng để xác định LS3.
- (4) Phân tích phi tuyến vật liệu (MNA) có thể được sử dụng để xác định độ bền dẻo tham chiếu, và nó có thể được sử dụng để xác định LS1. Dưới lịch sử tải trọng chu kỳ, phân tích MNA có thể được sử dụng để xác định sự thay đổi theo nấc của biến dạng dẻo, rồi dùng để xác định LS2. Độ bền dẻo tham chiếu cũng được yêu cầu như là một phần của việc xác định LS3, và nó có thể tìm được từ phân tích MNA.
- (5) Phân tích đàn hồi phi tuyến hình học (GNA và GNIA) bao gồm việc xem xét biến dạng của kết cấu, nhưng các phương pháp thiết kế trong Chương 8 chỉ cho phép sử dụng chúng khi có kế đến phân tích GMNIA. Phân tích GNA có thể được sử dụng để xác định tải trọng mất ổn định đàn hồi của kết cấu hoàn hảo. Phân tích GNIA có thể được sử dụng để xác định tải trọng mất ổn định đàn hồi của kết cấu không hoàn hảo.
- (6) Phân tích phi tuyến hình học và vật liệu (GMNA và GMNIA) có thể được sử dụng để xác định tải trọng phá hoại đối với kết cấu hoàn hảo (GMNA) và không hoàn hảo (GMNIA). Phân tích GMNA có thể được sử dụng để xác định LS1 như mô tả trong 6.3. Tải trọng phá hoại thu được từ phân tích GMNIA có thể được sử dụng, với xem xét bổ sung của tải trọng phá hoại thu được từ phân tích GMNA, để xác định LS3 như mô tả trong 8.8. Trong một lịch sử tải trọng chu kỳ, sự thay đổi theo nấc của biến dạng dẻo thu được từ phân tích GMNA có thể được sử dụng để xác định LS2.

5 Các thành phần ứng suất và các ứng suất trong vỏ

5.1 Các thành phần ứng suất trong vỏ

- (1) Về nguyên tắc, cần tính toán tám thành phần ứng suất trong thành vỏ tại bất kỳ điểm nào và việc xác định vỏ liên quan đến mỗi trạng thái giới hạn cần kể đến tất cả chúng. Tuy nhiên, các ứng suất cắt τ_{xn} và $\tau_{\theta n}$ do các lực cắt ngang q_{xn} và $q_{\theta n}$ là không đáng kể so với các thành phần ứng suất khác trong phần lớn các trường hợp trong thực tế, nên chúng thường được bỏ qua trong thiết kế.
- (2) Theo đó, đối với phần lớn mục đích thiết kế, việc xác định các trạng thái giới hạn có thể thực hiện chỉ với sáu thành phần ứng suất trong vỏ là n_x , n_θ , $n_{x\theta}$, m_x , m_θ , $m_{x\theta}$. Khi kết cấu là đối xứng trục và chỉ chịu tải trọng đối xứng trục và phản lực gối tựa, thì chỉ cần sử dụng n_x , n_θ , m_x và m_θ .
- (3) Nếu xuất hiện bất kỳ sự không xác định nào liên quan đến ứng suất mà được sử dụng trong bất kỳ bài toán kiểm tra trạng thái giới hạn nào, thì cần sử dụng ứng suất tương đương Von Mises trên bề mặt vỏ.

5.2 Mô hình hóa vỏ phục vụ phân tích

5.2.1 Hình học

- (1) Vỏ cần được biểu thị bởi mặt trung bình của nó.
- (2) Bán kính cong được lấy bằng bán kính danh định của độ cong. Bỏ qua sự không hoàn hảo, trừ khi được quy định trong chương 8 (trạng thái giới hạn mất ổn định LS3).
- (3) Không được chia nhỏ tổ hợp các đoạn vỏ thành các đoạn vỏ riêng để phân tích, trừ khi các điều kiện biên cho mỗi đoạn vỏ được lựa chọn sao cho biểu thị được tương tác giữa chúng một cách thiên về an toàn.
- (4) Vòng đáy mà để truyền lực cục bộ tại các gối tựa vào vỏ không được tách khỏi vỏ mà vòng đáy đang đỡ, khi xác định trạng thái giới hạn LS3.
- (5) Độ lệch tâm và các bậc trong mặt trung bình của vỏ cần được đưa vào mô hình phân tích nếu chúng gây ra các hiệu ứng uốn đáng kể do tác dụng của các thành phần ứng suất màng theo đường lệch tâm.
- (6) Tại các đường giao nhau giữa các đoạn vỏ, bất kỳ độ lệch tâm nào giữa các mặt trung bình của các đoạn vỏ cần được xét đến khi mô hình hóa.
- (7) Sườn cứng vòng cần được coi là bộ phận kết cấu riêng biệt của vỏ, trừ khi khoảng cách giữa các sườn cứng vòng này nhỏ hơn $1,5\sqrt{rt}$.
- (8) Vỏ có các sườn cứng đường sinh rời rạc có thể được coi là vỏ đồng nhất trục hướng nếu các sườn cứng đường sinh cách nhau không lớn hơn $5\sqrt{rt}$.
- (9) Vỏ lượn sóng (theo phương đứng hoặc ngang) có thể được coi là vỏ đồng nhất trục hướng nếu chiều dài bước sóng lượn nhỏ hơn $0,5\sqrt{rt}$.

TCVN X1993-1-6:202x

(10) Lỗ trong vỏ có thể bỏ qua khi mô hình hóa nếu kích thước lớn nhất của nó nhỏ hơn $0,5\sqrt{rt}$.

(11) Ổn định tổng thể của kết cấu hoàn chỉnh cần được kiểm tra theo quy định trong các TCVN X1993 phần 3.1, 3.2, 4.1, 4.2 hoặc 4.3.

5.2.2 Các điều kiện biên

(1) Các điều kiện biên tương ứng cần được sử dụng trong phân tích để xác định các trạng thái giới hạn theo các điều kiện ghi trong Bảng 5.1. Đối với các điều kiện đặc biệt cần để tính toán mất ổn định thì cần tham chiếu tới 8.3.

(2) Ngàm chặn xoay tại các biên vỏ có thể bỏ qua khi mô hình hóa đối với trạng thái giới hạn LS1, nhưng cần đưa vào mô hình tính đối với các trạng thái giới hạn LS2 và LS4. Đối với các vỏ ngắn (xem Phụ lục D) thì ngàm chặn xoay cần được đưa vào đối với trạng thái giới hạn LS3.

(3) Các điều kiện biên gối tựa cần được kiểm tra để đảm bảo rằng chúng không gây ra sự không đều đặn quá mức của các lực được truyền hoặc các lực tác dụng mà lệch tâm với mặt trung bình của vỏ. Cần tham chiếu tới các phần áp dụng liên quan của TCVN X1993 để áp dụng chi tiết quy tắc này cho si lô và bể chứa.

(4) Khi sử dụng phân tích số tổng thể, điều kiện biên cho chuyển vị pháp tuyến w cũng cần được sử dụng cho chuyển vị theo phương vòng v , trừ khi các tình huống đặc biệt làm cho điều kiện này là không hợp lý.

Bảng 5.1 – Các điều kiện biên cho vỏ

Ký hiệu điều kiện biên	Thuật ngữ đơn giản	Mô tả	Chuyển vị pháp tuyến, s	Chuyển vị theo phương đường sinh	Góc xoay đường sinh
BC1r	Ngàm	Ngàm chặn ngang Ngàm chặn chuyển vị theo phương đường sinh Ngàm chặn xoay	$w = 0$	$u = 0$	$\beta_\varphi = 0$
BC1f		Ngàm chặn ngang Chuyển vị tự do theo phương đường sinh Xoay tự do	$w = 0$	$u = 0$	$\beta_\varphi \neq 0$
BC2r		Ngàm chặn ngang Chuyển vị tự do theo phương đường sinh Ngàm chặn xoay	$w = 0$	$u \neq 0$	$\beta_\varphi = 0$
BC2f	Khớp	Ngàm chặn ngang Chuyển vị tự do theo phương đường sinh Xoay tự do	$w = 0$	$u \neq 0$	$\beta_\varphi \neq 0$

BC3	Cạnh tự do	Chuyển vị ngang tự do Chuyển vị tự do theo phương đường sinh Xoay tự do	$w \neq 0$	$u \neq 0$	$\beta_{\varphi} \neq 0$
CHÚ THÍCH: Các chuyển vị theo phương vòng v liên quan chặt với chuyển vị w vuông góc với bề mặt vỏ, nên các điều kiện biên riêng không đưa ra cho hai tham số này (xem (4)) nhưng các giá trị trong cột 4 nên được chấp nhận cho chuyển vị v .					

5.2.3 Tác động và ảnh hưởng môi trường

- (1) Các tác động cần được giả thiết là tác dụng lên mặt trung bình của vỏ. Độ lệch tâm của tải trọng cần được biểu thị bằng các lực tĩnh tương đương và mô men tại mặt trung bình của vỏ.
- (2) Các tác động cục bộ và các mảng tác động cục bộ không được biểu thị bằng tải trọng phân bố tương đương trừ các tác động được mô tả chi tiết trong chương 8 đối với mất ổn định (LS3).
- (3) Khi mô hình hóa cần kể đến tất cả các yếu tố sau khi chúng liên quan:
 - Lún cục bộ dưới thành vỏ;
 - Lún cục bộ dưới các gối tựa rời rạc;
 - Sự đều đặn / không đều đặn của gối tựa của kết cấu;
 - Chênh lệch nhiệt độ giữa mặt này và mặt kia của kết cấu;
 - Chênh lệch nhiệt độ giữa mặt trong và mặt ngoài của kết cấu;
 - Ảnh hưởng của gió lên các lỗ mở và lỗ cửa;
 - Tương tác của ảnh hưởng gió trong các nhóm kết cấu;
 - Liên kết với các kết cấu khác;
 - Các điều kiện trong quá trình lắp dựng.

5.2.4 Các thành phần ứng suất và các ứng suất

- (1) Nếu tỉ số bán kính trên chiều dày lớn hơn $(r/t)_{\min}$, độ cong của vỏ có thể bỏ qua khi tính thành phần ứng suất từ các ứng suất trong thành vỏ.

CHÚ THÍCH: Phụ lục quốc gia có thể lựa chọn giá trị của $(r/t)_{\min}$. Giá trị $(r/t)_{\min} = 25$ được khuyến nghị áp dụng.

5.3 Các phương pháp phân tích

- (1) Thiết kế cần dựa trên một hoặc nhiều phương pháp phân tích nêu trong Bảng 5.2. Cần tham chiếu tới 2.2 đối với các điều kiện quyết định đến việc sử dụng mỗi loại phương pháp phân tích.

Bảng 5.2 – Các phương pháp phân tích

Phương pháp phân tích	Lý thuyết vỏ	Quy luật vật liệu	Hình học vỏ
Lý thuyết màng cho vỏ	Cân bằng màng	Không áp dụng	Hoàn hảo
Phân tích vỏ đàn hồi tuyến tính (LA)	Uốn tuyến tính và kéo	Tuyến tính	Hoàn hảo
Phân tích nhánh đàn hồi tuyến tính (LBA)	Uốn tuyến tính và kéo	Tuyến tính	Hoàn hảo
Phân tích đàn hồi phi tuyến hình học (GNA)	Phi tuyến	Tuyến tính	Hoàn hảo
Phân tích phi tuyến vật liệu (MNA)	Tuyến tính	Lý thuyết đàn-dẻo	Hoàn hảo
Phân tích phi tuyến hình học và vật liệu (GMNA)	Phi tuyến	Phi tuyến	Hoàn hảo
Phân tích đàn hồi phi tuyến hình học có kể đến độ không hoàn hảo (GNIA)	Phi tuyến	Tuyến tính	Không hoàn hảo
Phân tích đàn hồi phi tuyến hình học có kể đến độ không hoàn hảo (GMNIA)	Phi tuyến	Phi tuyến	Không hoàn hảo

6 Trạng thái giới hạn dẻo (LS1)

6.1 Giá trị thiết kế của các tác động

- (1) Giá trị thiết kế của các tác động phải dựa trên tổ hợp bất lợi nhất liên quan của các tải trọng (bao gồm các hệ số liên quan γ_F và Ψ).
- (2) Chỉ cần kể đến những tác động đại diện cho tải trọng ảnh hưởng đến sự cân bằng của kết cấu.

6.2 Thiết kế theo ứng suất

6.2.1 Giá trị thiết kế của các ứng suất

- (1) Mặc dù thiết kế theo ứng suất là dựa trên phân tích đàn hồi và do đó không thể dự đoán chính xác được trạng thái giới hạn dẻo, nó có thể được sử dụng dựa trên lý thuyết giới hạn cận dưới, để đảm bảo đánh giá một cách an toàn về độ bền phá hoại dẻo mà được sử dụng để biểu thị trạng thái giới hạn dẻo, xem 4.1.1.
- (2) Tiêu chí chảy dẻo Ilyushin có thể được sử dụng, như mô tả chi tiết trong (6), mà gần với trạng thái thực tế về phá hoại dẻo hơn đánh giá ứng suất bề mặt đàn hồi đơn giản.
- (3) Tại mỗi điểm trên kết cấu, giá trị thiết kế của ứng suất $\sigma_{eq,Ed}$ cần lấy bằng giá trị ứng suất chính lớn nhất xác định được từ phân tích kết cấu khi xem xét quy luật cân bằng giữa tải trọng thiết kế tác dụng với các nội lực và mô men.
- (4) Ứng suất chính có thể lấy bằng giá trị lớn nhất của ứng suất yêu cầu cho cân bằng với các tải trọng tác dụng tại một điểm hoặc dọc theo trục của kết cấu vỏ.

(5) Khi sử dụng phân tích theo lý thuyết màng, trường hai chiều của thành phần ứng suất $n_{x,Ed}$, $n_{\theta,Ed}$ và $n_{x\theta,Ed}$ có thể biểu thị bằng ứng suất thiết kế tương đương $\sigma_{eq,Ed}$ theo công thức:

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

(6) Khi sử dụng phương pháp phân tích LA hoặc GNA, và giá trị lớn nhất của ứng suất bề mặt von Mises trong biểu thức (6.2) đến (6.4) vượt j lần ứng suất màng Von Misses trong biểu thức (6.1) tại cùng một vị trí, ứng suất tương đương có thể được lấy bằng giá trị ứng suất sử dụng công thức từ (6.2) đến (6.4);

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

trong đó:

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

$$\tau_{x\theta,Ed} = \frac{n_{x\theta,Ed}}{t} \pm \frac{m_{x\theta,Ed}}{(t^2/4)} \quad (6.4)$$

CHÚ THÍCH 1: Các công thức từ (6.2) đến (6.4) cho kết quả ứng suất tương đương được đơn giản hóa và thiên về an toàn cho mục đích thiết kế.

CHÚ THÍCH 2: Giá trị j có thể chọn trong trong phụ lục quốc gia. Giá trị được khuyến nghị là 3.

6.2.2 Giá trị thiết kế của độ bền

(1) Cường độ thiết kế Von Mises cần được lấy bằng:

$$f_{eq,Rd} = f_{yd} = f_{yk} / \gamma_{M0} \quad (6.5)$$

(2) Hệ số an toàn riêng cho độ bền γ_{M0} cần được lấy theo tiêu chuẩn áp dụng liên quan.

(3) Khi không có tiêu chuẩn áp dụng cho dạng kết cấu đang xét, hoặc tiêu chuẩn áp dụng không quy định giá trị của γ_{M0} thì hệ số γ_{M0} cần được lấy theo TCVN X1993-1-1.

(4) Khi vật liệu có đường cong ứng suất – biến dạng phi tuyến, giá trị của cường độ chảy đặc trưng f_{yk} lấy bằng ứng suất quy ước ứng với 0,2 % biến dạng dư.

(5) Ảnh hưởng của lỗ liên kết cần được kể đến phù hợp với 6.2.3 của TCVN X1993-1-1 cho kéo và 6.2.4 của TCVN X1993-1-1 cho nén. Khi kiểm tra kéo, độ bền cần được dựa trên giá trị thiết kế của cường độ kéo đứt f_{ud} .

6.2.3 Điều kiện giới hạn ứng suất

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

$$\sigma_{eq,Ed} \leq f_{eq,Rd} \quad (6.6)$$

6.3 Thiết kế bằng phương pháp phân tích số tổng thể MNA hoặc GMNA

(1)P Độ bền giới hạn dẻo thiết kế phải được xác định bằng hệ số tải trọng R_{pl} áp dụng cho giá trị thiết kế F_{Ed} của tổ hợp tác động đối với trường hợp tải trọng tương ứng.

(2) Giá trị thiết kế của tác động F_{Ed} cần được xác định theo 6.1. Các trường hợp tải trọng tương ứng cần được hình thành theo tổ hợp tải trọng yêu cầu.

(3) Trong phân tích MNA hoặc GMNA dựa trên giới hạn chảy thiết kế $f_{y,d}$, vô cần được tính toán với giá trị thiết kế của các trường hợp tải trọng nêu trong (2), tăng dần lên bằng tỉ số tải trọng R đến khi đạt tới trạng thái giới hạn dẻo của tỉ số tải trọng R_{pl} .

(4) Khi sử dụng phương pháp phân tích MNA, tỉ số tải trọng R_{MNA} có thể lấy bằng giá trị lớn nhất trong phân tích, bỏ qua ảnh hưởng của biến cứng. Tỉ số tải trọng này được xác định bằng tỉ số độ bền dẻo tham chiếu R_{pl} trong 8.8.

(5) Khi sử dụng phương pháp phân tích GMNA, nếu kết quả phân tích dự báo được tải trọng lớn nhất giảm dần, giá trị lớn nhất cần được sử dụng để xác định tỉ số tải trọng R_{GMNA} . Khi phương pháp phân tích GMNA không dự báo được tải trọng lớn nhất, nhưng cho kết quả quan hệ tác động – chuyển vị tăng dần bỏ qua biến cứng của vật liệu, thì tỉ số tải trọng R_{GMNA} lấy không lớn hơn giá trị mà ứng với nó biến dạng dẻo tương đương Von Mises lớn nhất trong kết cấu đạt tới giá trị $\varepsilon_{mps} = n_{mps} (f_{yd} / E)$.

CHÚ THÍCH: Phụ lục quốc gia có thể lựa chọn giá trị của n_{mps} . Giá trị $n_{mps} = (66 - f_{yd} / 15)$, trong đó f_{yd} (MPa) được khuyến nghị áp dụng.

(6) Một phân tích GMNA có thể không được sử dụng để thiết lập độ bền dẻo tham chiếu R_{pl} , được sử dụng trong chương 8 như một phần phương pháp thiết kế LBA-MNA.

(7) Độ bền giới hạn dẻo đặc trưng $R_{pl,k}$ lấy bằng R_{MNA} hoặc R_{GMNA} theo phương pháp phân tích đã lựa chọn.

(8)P Độ bền giới hạn dẻo thiết kế F_{Rd} phải được lấy bằng:

$$F_{Rd} = \frac{F_{Rk}}{\gamma_{M0}} = \frac{R_k \cdot F_{Ed}}{\gamma_{M0}} = R_d \cdot F_{Ed} \quad (6.7)$$

(9) Phải kiểm tra điều kiện:

$$F_{Ed} \leq F_{Rd} = r_{Rd} \cdot F_{Ed} \text{ với } r_{Rd} \geq 1 \quad (6.8)$$

6.4 Thiết kế trực tiếp

(1) Đối với mỗi đoạn vỏ trong kết cấu được biểu thị bằng trường hợp tải trọng cơ bản như nêu trong Phụ lục A, ứng suất màng Von Mises lớn nhất $\sigma_{eq,Ed}$ được xác định với các giá trị thiết kế của tác động F_{Ed} cần được giới hạn bởi độ bền ứng suất theo 6.2.2.

(2) Đối với mỗi đoạn vỏ hoặc đoạn bản trong kết cấu được biểu thị bằng trường hợp tải trọng cơ bản như nêu trong Phụ lục B, giá trị thiết kế của tác động F_{Ed} không được vượt quá độ bền F_{Rd} dựa trên giới hạn chảy thiết kế f_{yd} .

(3) Khi phá hoại tiết diện thực tại nút bu lông là tiêu chí thiết kế, thì giá trị thiết kế của tác động F_{Ed} cần được xác định cho mỗi nút. Khi ứng suất có thể biểu thị bằng trường hợp tải trọng cơ bản nêu trong Phụ lục A, và khi trạng thái ứng suất thu được chỉ bao gồm ứng suất màng, F_{Rd} không được vượt quá độ bền F_{Rd} dựa trên giới hạn bền thiết kế f_{ud} xem phần 6.2.2(5).

7 Trạng thái giới hạn dẻo chu kỳ (LS2)

7.1 Giá trị thiết kế của các tác động

(1) Nếu không có một định nghĩa chính xác hơn, giá trị thiết kế của các tác động cho mỗi trường hợp tải trọng cần được chọn là các giá trị đặc trưng của các phần của tổng tác động dự kiến tác dụng và thôi tác dụng nhiều hơn ba lần trong thời gian sử dụng theo thiết kế của kết cấu.

(2) Khi sử dụng phân tích đàn hồi hoặc các biểu thức từ Phụ lục C, chỉ phần thay đổi của tác động giữa các giá trị cận trên và cận dưới được kể vào tính toán.

(3) Khi sử dụng phân tích phi tuyến vật liệu, cần kể đến rằng, phần thay đổi của tác động giữa các giá trị cận trên và cận dưới có tác động cùng với các phần thường xuyên đi kèm của tải trọng.

7.2 Thiết kế theo ứng suất

7.2.1 Giá trị thiết kế của miền ứng suất

(1) Vỏ cần được phân tích bằng phương pháp LA hoặc GNA của kết cấu chịu hai giá trị thiết kế cực trị của tác động F_{Ed} . Đối với mỗi điều kiện tải trọng cực trị trong quá trình chu kỳ, các thành phần ứng suất cần được đánh giá. Từ các giá trị cực trị liên kế trong quá trình chu kỳ, cần xác định giá trị thiết kế của sự thay đổi trong mỗi thành phần ứng suất $\Delta\sigma_{x,Ed,i}$, $\Delta\sigma_{\theta,Ed,i}$, $\Delta\tau_{x\theta,Ed,i}$ ở mỗi bề mặt vỏ (biểu thị bằng $i = 1, 2$ cho các bề mặt trong và ngoài của vỏ) và tại mỗi điểm trong kết cấu. Từ các thay đổi này của ứng suất, giá trị thiết kế của sự thay đổi ứng suất tương đương Von Mises ở các bề mặt trong và ngoài cần được xác định theo công thức:

$$\Delta\sigma_{eq,Ed,i} = \sqrt{\Delta\sigma_{x,Ed,i}^2 - \Delta\sigma_{x,Ed,i} \cdot \Delta\sigma_{\theta,Ed,i} + \Delta\sigma_{\theta,Ed,i}^2 + 3\Delta\tau_{x\theta,Ed,i}^2} \quad (7.1)$$

TCVN X1993-1-6:202x

(2) Giá trị thiết kế của miền ứng suất $\Delta\sigma_{eq,Ed}$ cần lấy bằng sự thay đổi lớn nhất của ứng suất tương đương Von Mises $\Delta\sigma_{eq,Ed,i}$, khi xem xét lần lượt từng bề mặt vỏ ($i = 1$ và $i = 2$ được xét độc lập).

(3) Tại đường giao nhau giữa các đoạn vỏ, nếu phân tích mô hình hóa đường giao nhau của các mặt trung bình và bỏ qua kích cỡ nhỏ của đường giao nhau, thì miền ứng suất có thể lấy tại điểm vật lý đầu tiên trong đoạn vỏ (khác với giá trị tính toán tại đường giao nhau của hai mặt trung bình).

CHÚ THÍCH: Sự cho phép này là phù hợp nếu ứng suất thay đổi rất nhanh tại vị trí gần với đường giao nhau.

7.2.2 Giá trị thiết kế của độ bền

(1) Độ bền miền ứng suất tương đương Von Mises $\Delta f_{eq,Rd}$ cần được xác định theo công thức:

$$\Delta f_{eq,Rd} = 2f_{yd} \quad (7.2)$$

7.2.3 Giới hạn miền ứng suất

(1) Trong mỗi kiểm tra của trạng thái giới hạn này, miền ứng suất thiết kế phải thỏa mãn:

$$\Delta\sigma_{eq,Ed} \leq \Delta f_{eq,Rd} \quad (7.3)$$

7.3 Thiết kế bằng phương pháp phân tích số tổng thể MNA hoặc GMNA

7.3.1 Giá trị thiết kế của biến dạng dẻo tích lũy tổng thể

(1) Khi sử dụng phương pháp phân tích số tổng thể phi tuyến vật liệu (MNA hoặc GMNA), thì vỏ cần được tính toán chịu giá trị thiết kế của các tác động thay đổi và thường xuyên như đã nêu trong 7.1.

CHÚ THÍCH 1: Thông thường sử dụng phương pháp MNA cho mục đích này.

CHÚ THÍCH 2: Phụ lục quốc gia có thể đưa ra các khuyến nghị cho phân tích chính xác hơn.

(2) Tổng biến dạng dẻo tương đương Von Mises tích lũy $\varepsilon_{p,eq,Ed}$ tại cuối thời gian sử dụng theo thiết kế của kết cấu cần được đánh giá.

(3) Tổng biến dạng dẻo tương đương Von Mises tích lũy có thể được xác định bằng cách sử dụng một phân tích mô hình hóa toàn bộ các chu kỳ tải trọng trong suốt thời gian sử dụng theo thiết kế của kết cấu.

(4) Nếu không thực hiện phương pháp phân tích chính xác hơn thì tổng biến dạng dẻo tương đương Von Mises tích lũy có thể được xác định theo công thức:

$$\varepsilon_{p,eq,Ed} = n \Delta\varepsilon_{p,eq,Ed} \quad (7.4)$$

trong đó:

n là số chu kỳ tải trọng trong thời gian sử dụng theo thiết kế của kết cấu;

$\Delta\varepsilon_{p,eq,Ed}$ là số gia lớn nhất của biến dạng dẻo tương đương Von Mises trong một chu kỳ hoàn chỉnh của tải trọng tại bất kỳ điểm nào trong kết cấu, xuất hiện sau chu kỳ thứ ba.

(5) Có thể giả thiết rằng, “tại bất kỳ điểm nào trong kết cấu” nghĩa là tại bất kỳ điểm nào có khoảng cách đến một điểm tập trung ứng suất hoặc đến một vị trí không liên tục cục bộ nhỏ hơn chiều dày bản liền kề dày nhất.

7.3.2 Giới hạn tổng biến dạng dẻo tích lũy

(1) Nếu không có một phương pháp đánh giá mỗi chu kỳ thấp chính xác hơn, giá trị thiết kế của tổng biến dạng dẻo tương đương Von Mises tích lũy $\varepsilon_{p,eq,Ed}$ cần thỏa mãn điều kiện:

$$\varepsilon_{p,eq,Ed} \leq n_{p,eq} \left(f_{yd} / E \right) \quad (7.5)$$

CHÚ THÍCH: Phụ lục quốc gia có thể lựa chọn giá trị của $n_{p,eq}$. Giá trị $n_{p,eq} = 25$ được khuyến nghị áp dụng.

7.4 Thiết kế trực tiếp

(1) Đối với mỗi đoạn vỏ trong kết cấu được biểu thị bằng trường hợp tải trọng cơ bản như nêu trong Phụ lục C, miền ứng suất tương đương Von Mises $\Delta\sigma_{eq,Ed}$, có xem xét cả hai bề mặt chịu giá trị thiết kế của tác động F_{Ed} , cần được xác định có sử dụng các biểu thức tương ứng nêu trong Phụ lục C. Quy trình đánh giá tiếp theo được mô tả trong 7.2.

8 Trạng thái giới hạn mất ổn định (LS3)

8.1 Giá trị thiết kế của các tác động

(1) Tất cả các tổ hợp tác động liên quan gây nên các ứng suất nén màng hoặc các ứng suất cắt màng trong thành vỏ phải được kể đến.

8.2 Các định nghĩa và ký hiệu riêng

(1) Cần tham chiếu tới các định nghĩa thuật ngữ liên quan đến mất ổn định trong 1.3.7.

(2) Ngoài các ký hiệu nêu trong 1.4, cần sử dụng các ký hiệu bổ sung trong chương 8 quy định trong (3) và (4).

(3) Các thành phần ứng suất và ứng suất cần được lấy như sau:

$n_{x,Ed}$, $\sigma_{x,Ed}$ là các giá trị thiết kế của ứng suất màng và thành phần ứng suất màng theo phương đường sinh tác dụng liên quan đến mất ổn định (lấy dấu dương khi nén);

$n_{\theta,Ed}$, $\sigma_{\theta,Ed}$ là các giá trị thiết kế của ứng suất màng và thành phần ứng suất màng theo phương vòng tác dụng liên quan đến (lấy dấu dương khi nén);

TCVN X1993-1-6:202x

$n_{x\theta,Ed}$, $\tau_{x\theta,Ed}$ là các giá trị thiết kế của ứng suất màng cắt và thành phần ứng suất màng cắt theo phương vòng tác dụng liên quan đến mất ổn định

(4) Các thông số của độ bền mất ổn định sử dụng trong thiết kế theo ứng suất:

$\sigma_{x,Rcr}$	là ứng suất mất ổn định tới hạn đàn hồi theo phương đường sinh;
$\sigma_{\theta,Rcr}$	là ứng suất mất ổn định tới hạn đàn hồi theo phương vòng;
$\tau_{x\theta,Rcr}$	là ứng suất mất ổn định tới hạn đàn hồi do cắt
$\sigma_{x,Rk}$	là ứng suất mất ổn định đặc trưng theo phương đường sinh;
$\sigma_{\theta,Rk}$	là ứng suất mất ổn định đặc trưng theo phương vòng;
$\tau_{x\theta,Rk}$	là ứng suất mất ổn định thiết kế theo phương đường sinh;
$\sigma_{x,Rd}$	là ứng suất mất ổn định thiết kế theo phương vòng;
$\sigma_{\theta,Rd}$	là ứng suất mất ổn định thiết kế theo phương đường sinh;
$\tau_{x\theta,Rd}$	là ứng suất mất ổn định thiết kế do cắt.

CHÚ THÍCH: Đây là các ký hiệu riêng cho thiết kế vỏ, khác với các ký hiệu nêu trong TCVN X1993-1-1.

(5) Sử dụng quy tắc dấu cho LS3 như sau: Nén được lấy dấu dương đối với các ứng suất theo phương đường sinh, phương vòng và các thành phần ứng suất của chúng.

8.3 Các điều kiện liên quan đến mất ổn định

(1) Đối với trạng thái giới hạn mất ổn định, cần lưu ý đặc biệt đối với các điều kiện biên mà liên quan đến các chuyển vị gia tăng của mất ổn định (khác với chuyển vị trước khi mất ổn định). Các ví dụ về các điều kiện biên liên quan được thể hiện trên Hình 8.1, trong đó sử dụng các ký hiệu trong Bảng 5.1.

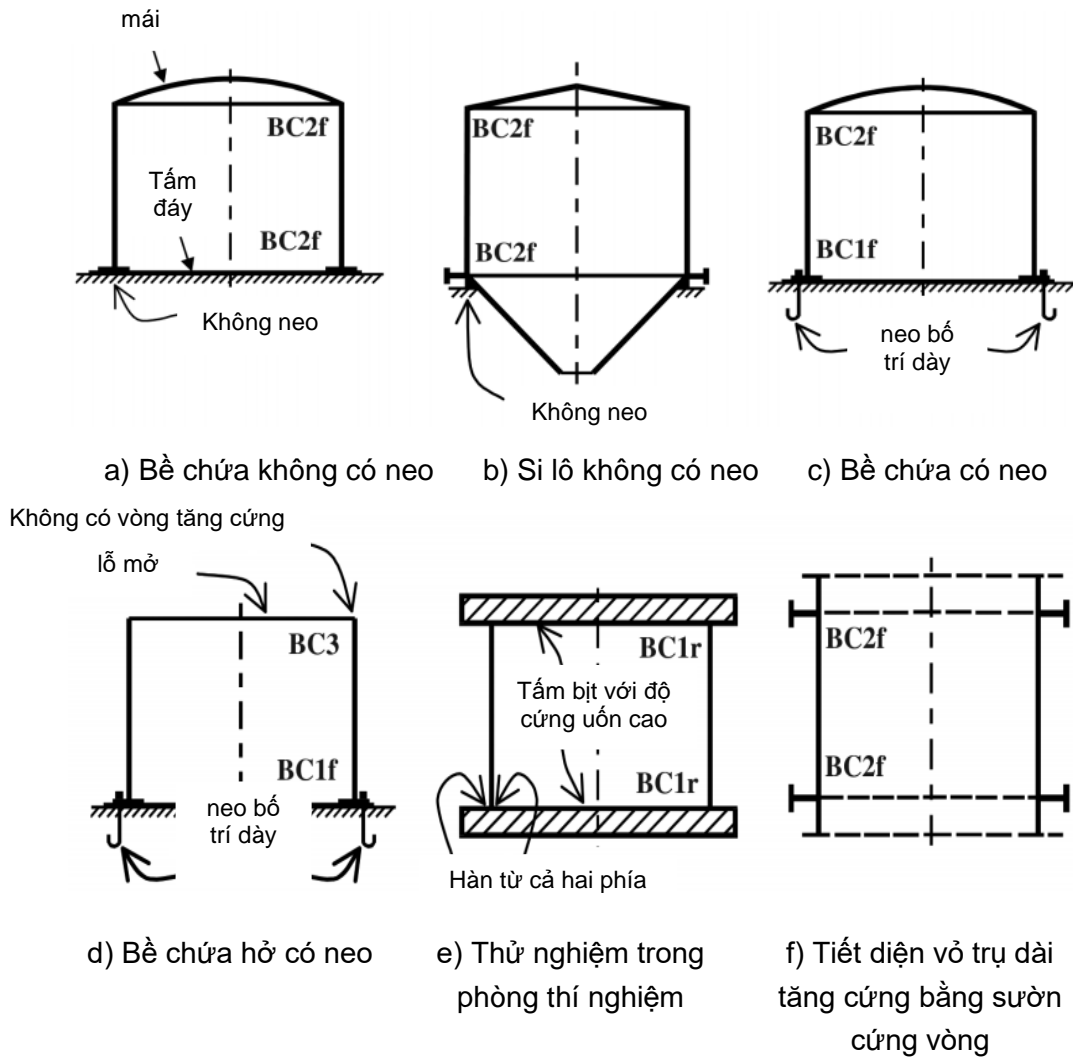
8.4 Các sai lệch hình học liên quan đến mất ổn định

8.4.1 Quy định chung

(1) Nếu trong các tiêu chuẩn liên quan của TCVN X1993 không quy định các sai lệch hình học đặc thù liên quan đến mất ổn định, thì các giá trị dung sai sau cần được xét tới khi LS3 là một trong các trạng thái giới hạn được xét.

CHÚ THÍCH 1: Các ứng suất mất ổn định đặc trưng được xác định sau đây có kể đến sự không hoàn hảo dựa trên biên độ và dạng sai lệch hình học mà có thể có trong quá trình thi công.

CHÚ THÍCH 2: Các sai lệch hình học đưa ra ở đây là các sai lệch hình học có tác động lớn đến an toàn của kết cấu.



Hình 8.1 – Các ví dụ cho các điều kiện biên đối với trạng thái giới hạn LS3

(2) Cấp chất lượng về sai lệch chế tạo được lựa chọn là Cấp A, Cấp B hoặc Cấp C theo các định nghĩa về sai lệch nêu trong 8.4.2, 8.4.3, 8.4.4 và 8.4.5. Việc mô tả mỗi cấp chỉ liên quan đến đánh giá độ bền.

CHÚ THÍCH: Các sai lệch định nghĩa ở đây phù hợp với các quy định trong tiêu chuẩn TCVN X1090, nhưng nên đưa ra đầy đủ hơn chi tiết mối quan hệ giữa sự không hoàn hảo và độ bền được đánh giá.

(3) Mỗi dạng không hoàn hảo cần được phân loại độc lập: sai lệch thấp nhất của chất lượng lắp dựng được lấy tương ứng độ sai lệch cao nhất, nên kiểm soát tất cả quá trình thiết kế.

(4) Mỗi loại sai lệch khác nhau có thể được coi là độc lập, và thông thường không cần xét tương tác giữa chúng.

(5) Bằng việc kiểm tra đại diện trên kết cấu đã hoàn chỉnh, cần đảm bảo các sai lệch hình học nằm trong giới hạn quy định trong mục 8.4.2 đến 8.4.5.

(6) Việc đo đại diện đối với các sai lệch nên được thực hiện khi kết cấu chưa chịu lực (trừ trọng lượng bản thân), và nếu có thể, với các điều kiện biên đã làm việc.

(7) Nếu việc đo các sai lệch hình học không thỏa mãn giới hạn quy định trong 8.4.2 đến 8.4.4, thì bắt kì biện pháp sửa chữa nào, ví dụ như: làm thẳng, cần được kiểm tra và quyết định độc lập.

CHÚ THÍCH: Trước khi quyết định việc làm thẳng để giảm các sai lệch hình học, cần lưu ý rằng điều này có thể gây ra thêm các ứng suất dư. Mức độ huy động của độ bền uốn thiết kế cũng cần được xem xét.

8.4.2 Độ méo

(1) Độ méo cần được đánh giá theo thông số U_r (xem Hình 8.2):

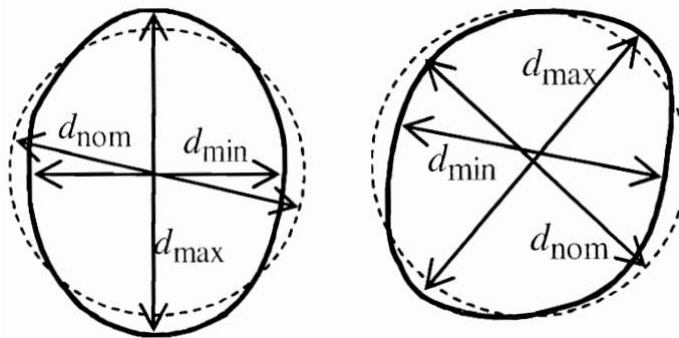
$$U_r = \frac{d_{max} - d_{min}}{d_{nom}} \tag{8.1}$$

trong đó:

d_{max} là đường kính trong lớn nhất đo được;

d_{min} là đường kính trong nhỏ nhất đo được;

d_{nom} là đường kính trong danh định.



Hình 8.2 – Đo các đường kính để đánh giá độ méo

(2) Đường kính trong đo được từ một điểm định trước được lấy bằng khoảng cách lớn nhất ngang qua vỏ từ điểm này đến điểm khác bên trong tại cùng một tọa độ trục. Cần một số lượng phù hợp các đường kính được đo để xác định các giá trị lớn nhất và nhỏ nhất.

Bảng 8.1 – Các giá trị cho thông số độ méo $U_{r,max}$

Đơn vị tính bằng milimét

	Khoảng giá trị của đường kính	$d[m] \leq 0,5[m]$	$0,5m \leq d[m] \leq 1,25[m]$	$1,25m \leq d[m]$
Cấp chất lượng về sai lệch chế tạo	Mô tả	Giá trị khuyến nghị $U_{r,max}$		
Cấp A	Tốt	0,014	$0,007 + 0,0093(1,25 - d)$	0,007
Cấp B	Cao	0,020	$0,010 + 0,0133(1,25 - d)$	0,010

Cấp C	Bình thường	0,030	$0,015 + 0,0200(1,25 - d)$	0,015
-------	-------------	-------	----------------------------	-------

(3) Độ méo U_r cần thỏa mãn điều kiện:

$$U_r \leq U_{r,\max} \quad (8.2)$$

trong đó:

$U_{r,\max}$ là thông số sai lệch độ méo đối với cấp chất lượng về sai lệch chế tạo liên quan.

CHÚ THÍCH: Giá trị của thông số sai lệch độ méo $U_{r,\max}$ có thể tìm được trong Phụ lục quốc gia. Các giá trị khuyến nghị nêu trong Bảng 8.1.

8.4.3 Độ lệch tâm ngẫu nhiên

(1) Tại các mối nối trong các thành vỏ vuông góc với các lực nén màng, độ lệch tâm ngẫu nhiên cần được xác định theo tổng độ lệch tâm e_{tot} và chuyển dịch dự kiến e_{int} :

$$e_a = e_{tot} - e_{int} \quad (8.3)$$

trong đó:

e_{tot} là độ lệch tâm giữa các mặt trung bình của các bản được nối, xem Hình 8.3c;

e_{int} là chuyển dịch dự kiến giữa các mặt trung bình của các bản được nối, xem Hình 8.3b;

e_a là độ lệch tâm ngẫu nhiên giữa các mặt trung bình của các bản được nối;

(2) Độ lệch tâm ngẫu nhiên e_a lấy không nhỏ hơn độ lệch tâm ngẫu nhiên cho phép $e_{a,\max}$ đối với cấp chất lượng về sai lệch chế tạo liên quan.

CHÚ THÍCH: Các giá trị độ lệch tâm ngẫu nhiên cho phép $e_{a,\max}$ có thể được xác định theo Phụ lục quốc gia. Các giá trị khuyến nghị được nêu trong Bảng 8.2.

Bảng 8.2 – Các giá trị độ lệch tâm ngẫu nhiên cho phép lớn nhất

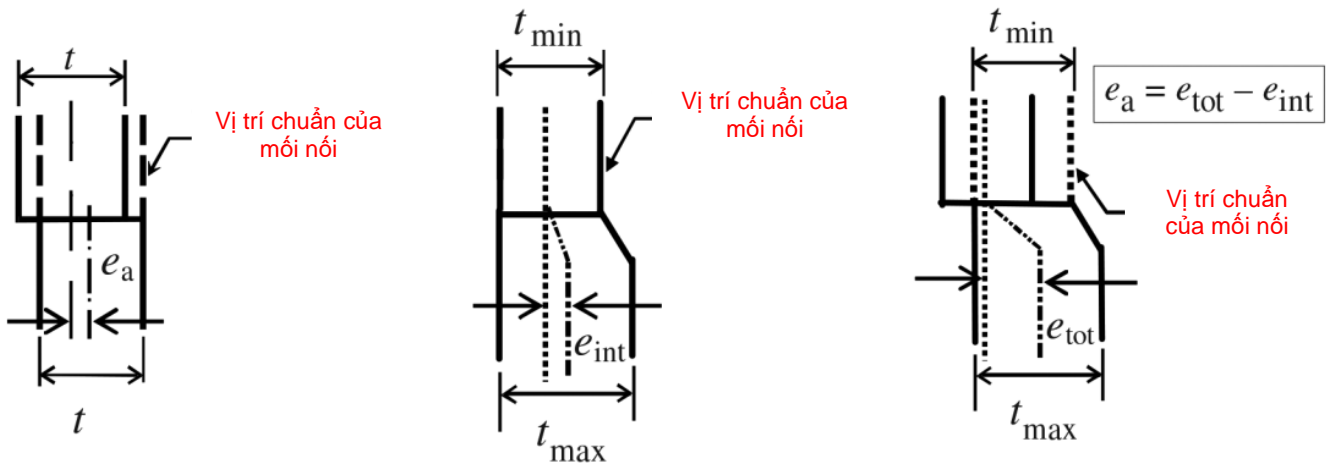
Cấp chất lượng về sai lệch chế tạo	Mô tả	Giá trị khuyến nghị về độ lệch tâm ngẫu nhiên $e_{a,\max}$
Cấp A	Tốt	2 mm
Cấp B	Cao	3 mm
Cấp C	Bình thường	4 mm

(3) Độ lệch tâm ngẫu nhiên e_a cũng cần được xác định theo thông số lệch tâm ngẫu nhiên U_e :

$$U_e = \frac{e_a}{t_{av}} \quad \text{hoặc} \quad U_e = \frac{e_a}{t} \quad (8.4)$$

trong đó:

t_{av} là chiều dày trung bình của các bản mỏng nhất và dày nhất tại mối nối.



a) Độ lệch tâm ngẫu nhiên khi chiều dày các tấm không đổi

b) Chuyển vị dự kiến tại vị trí thay đổi chiều dày bản

c) Tổng độ lệch tâm (ngẫu nhiên cộng dự kiến) tại vị trí thay đổi chiều dày bản

Hình 8.3 – Thông số độ lệch tâm ngẫu nhiên U_e và chuyển dịch dự kiến tại mối nối

(4) Thông số độ lệch tâm ngẫu nhiên U_e cần thỏa mãn điều kiện:

$$U_e \leq U_{e,max} \quad (8.5)$$

trong đó:

$U_{e,max}$ là thông số dung sai độ lệch tâm ngẫu nhiên đối với cấp chất lượng về sai lệch chế tạo.

CHÚ THÍCH 1: Các giá trị của thông số độ lệch tâm ngẫu nhiên $U_{e,max}$ có thể được xác định theo Phụ lục quốc gia. Các giá trị khuyến nghị được nêu trong Bảng 8.3.

Bảng 8.3 – Các giá trị thông số độ lệch tâm ngẫu nhiên khuyến nghị

Cấp chất lượng về sai lệch chế tạo	Mô tả	Giá trị khuyến nghị của $U_{e,max}$
Cấp A	Tốt	0,14
Cấp B	Cao	0,20
Cấp C	Bình thường	0,30

CHÚ THÍCH 2: Giá trị của thông số chuyển dịch dự kiến được nêu trong D.2.1.2 và các mối nối chông được nêu trong D.3. Hai trường hợp này không được coi là sự không hoàn hảo trong phạm vi tiêu chuẩn này.

8.4.4 Độ lõm

(1) Cỡ đo độ lõm cần được sử dụng tại tất cả vị trí (xem Hình 8.4) theo cả hai phương đường sinh và phương vòng. Cỡ đo theo phương đường sinh cần thẳng, nhưng cỡ đo theo phương vòng cần có độ cong bằng bán kính cong r của mặt trung bình của vỏ.

(2) Chiều sâu Δ_{w0} của các độ lõm ban đầu trong thành vỏ cần được đo bằng cỡ đo chiều dài l_g , được lấy như sau:

a) Khi có ứng suất nén theo phương đường sinh, bao gồm cả nén qua mối hàn, cần đo theo cả hai phương đường sinh và phương vòng bằng cỡ đo có chiều dài l_{gx} :

$$l_{gx} = 4\sqrt{rt} \quad (8.6)$$

b) Khi có ứng suất nén theo phương vòng hoặc ứng suất cắt, cần đo theo phương vòng bằng cỡ đo có chiều dài $l_{g\theta}$:

$$l_{g\theta} = 2,3(\ell^2 rt)^{0,25} \text{ nhưng } l_{g\theta} \leq r \quad (8.7)$$

trong đó: ℓ là chiều dài theo phương đường sinh của đoạn vỏ.

c) Ngoài ra, qua các mối hàn, theo cả hai phương đường sinh và phương vòng, chiều dài cỡ đo l_{gw} lấy như sau:

$$l_{gw} = 25t \quad \text{hoặc} \quad l_{gw} = 25t_{\min}, \quad \text{nhưng} \quad l_{gw} \leq 500 \text{ mm} \quad (8.8)$$

trong đó: t_{\min} là chiều dày bản mỏng nhất tại mối hàn.

(3) Chiều sâu độ lõm ban đầu cần được xác định bằng thông số độ lõm U_{0x} , $U_{0\theta}$, U_{0w} như sau:

$$U_{0x} = \Delta w_{0x} / l_{gx}, \quad U_{0\theta} = \Delta w_{0\theta} / l_{g\theta}, \quad U_{0w} = \Delta w_{0w} / l_{gw} \quad (8.9)$$

(4) Giá trị của các thông số độ lõm U_{0x} , $U_{0\theta}$, U_{0w} cần thỏa mãn các điều kiện:

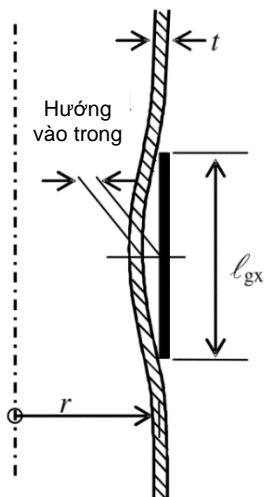
$$U_{0x} \leq U_{0,\max}, \quad U_{0\theta} \leq U_{0,\max}, \quad U_{0w} \leq U_{0,\max} \quad (8.10)$$

trong đó: $U_{0,\max}$ là dung sai độ lõm đối với cấp chất lượng sai lệch chế tạo tương ứng.

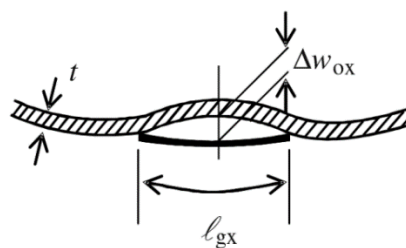
CHÚ THÍCH 1: Các giá trị của dung sai độ lõm $U_{0,\max}$ có thể được xác định theo Phụ lục quốc gia. Các giá trị khuyến nghị được nêu trong Bảng 8.4.

Bảng 8.4 – Các giá trị khuyến nghị của dung sai độ lõm $U_{0,\max}$

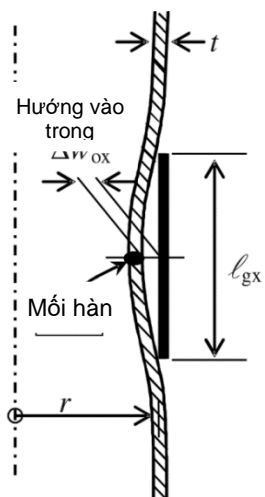
Cấp chất lượng về sai lệch chế tạo	Mô tả	Giá trị khuyến nghị của $U_{0,max}$
Cấp A	Tốt	0,006
Cấp B	Cao	0,010
Cấp C	Bình thường	0,016



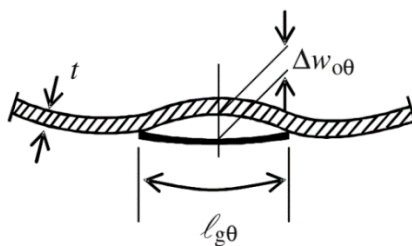
a) Đo theo phương đường sinh (xem 8.4.4(2)a)



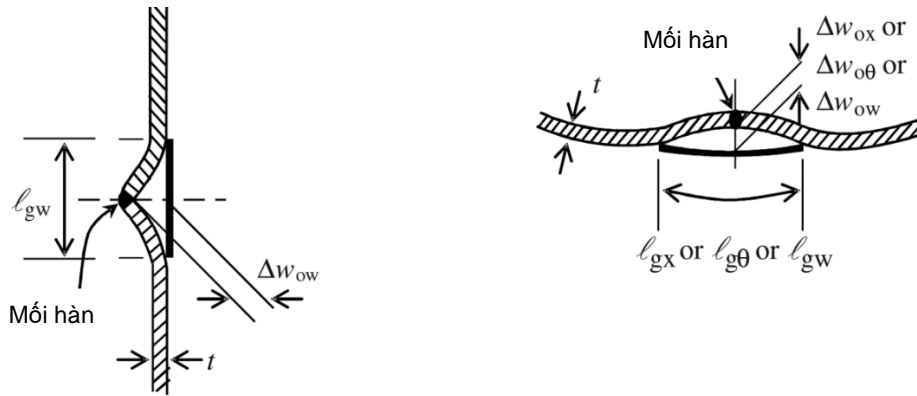
b) Đo lần đầu theo phương tròn (xem 8.4.4(2)b)



c) Đo lần đầu theo phương đường sinh ở vị trí qua mối hàn (xem 8.4.4(2)a)



d) Đo lần hai theo phương tròn (xem 8.4.4(2)b)



c) Đo lần hai theo phương đường sinh ở vị trí qua mối hàn với cỡ đo chuyên dụng (xem 8.4.4(2)c)

f) Đo theo phương tròn ở vị trí qua mối hàn (xem 8.4.4(2)c)

Hình 8.4 – Đo độ sâu Δw_0 của độ lõm ban đầu

8.4.5 Dung sai độ phẳng giữa các bề mặt tiếp xúc

(1) Khi kết cấu khác là gối đỡ liên tục cho vỏ (ví dụ móng), sai lệch độ phẳng trên bề mặt tiếp xúc không nên có độ dốc cục bộ theo phương vòng lớn hơn β_θ .

CHÚ THÍCH: Phụ lục quốc gia có thể đưa ra lựa chọn giá trị của β_θ . Giá trị $\beta_\theta = 0,1\% = 0,001$ radian được khuyến nghị áp dụng.

8.5 Thiết kế theo ứng suất

8.5.1 Giá trị thiết kế của ứng suất

(1) Giá trị thiết kế của các ứng suất $\sigma_{x,Ed}$, $\sigma_{\theta,Ed}$ và $\sigma_{x\theta,Ed}$ cần lấy bằng giá trị cơ sở của ứng suất nén màng và ứng suất cắt màng thu được từ phân tích đàn hồi vỏ (LA). Với điều kiện đối xứng trục lý tưởng của tải trọng và gối tựa, và trong các trường hợp tải trọng đơn giản khác, thông thường có thể sử dụng lý thuyết màng.

(2) Các giá trị cơ sở của ứng suất màng lấy bằng giá trị lớn nhất của mỗi ứng suất tại tọa độ trục trong kết cấu, trừ khi có quy định riêng nêu trong Phụ lục D của tiêu chuẩn này hoặc của các tiêu chuẩn tương ứng của TCVN X1993.

CHÚ THÍCH: Trong nhiều trường hợp (ví dụ, thành dạng bậc thang và chịu nén theo phương vòng, xem Phụ lục D.2.3), các giá trị cơ sở của ứng suất màng là quy ước và lớn hơn các giá trị thực lớn nhất.

(3) Đối với các trường hợp tải trọng cơ bản, các ứng suất màng có thể lấy theo Phụ lục A hoặc Phụ lục C.

8.5.2 Độ bền thiết kế (độ bền mất ổn định)

(1) Độ bền mất ổn định cần được biểu thị bằng các ứng suất mất ổn định như đã định nghĩa trong 1.3.7. Các ứng suất mất ổn định thiết kế được xác định theo công thức:

$$\sigma_{x,Rd} = \sigma_{x,Rk} / \gamma_{M1}, \quad \sigma_{\theta,Rd} = \sigma_{\theta,Rk} / \gamma_{M1}, \quad \tau_{x\theta,Rd} = \tau_{x\theta,Rk} / \gamma_{M1} \quad (8.11)$$

(2) Hệ số riêng cho độ bền mất ổn định γ_{M1} cần được lấy theo tiêu chuẩn áp dụng tương ứng.

CHÚ THÍCH: Giá trị của hệ số riêng γ_{M1} có thể được quy định trong Phụ lục quốc gia. Khi không có tiêu chuẩn áp dụng cho dạng kết cấu đã nêu hoặc tiêu chuẩn áp dụng không quy định giá trị tương ứng của γ_{M1} thì γ_{M1} không được lấy nhỏ hơn 1,1.

(3) Các ứng suất mất ổn định đặc trưng được xác định bằng cách nhân giới hạn chảy đặc trưng với hệ số giảm do mất ổn định χ :

$$\sigma_{x,Rk} = \chi_x f_{yk}, \quad \sigma_{\theta,Rk} = \chi_{\theta} f_{yk}, \quad \tau_{x\theta,Rk} = \chi_{\tau} f_{yk} / \sqrt{3} \quad (8.12)$$

(4) Các hệ số giảm mất ổn định χ_x , χ_{θ} và χ_{τ} được xác định như là hàm số của độ mảnh quy ước của vỏ $\bar{\lambda}$ theo các công thức:

$$\chi = \chi_h - \left(\frac{\bar{\lambda}}{\bar{\lambda}_0} \right) (\chi_h - 1) \quad \text{khi } \bar{\lambda} \leq \bar{\lambda}_0 \quad (8.13)$$

$$\chi = 1 - \beta \left(\frac{\bar{\lambda} - \bar{\lambda}_0}{\bar{\lambda}_p - \bar{\lambda}_0} \right) \quad \text{khi } \bar{\lambda}_0 < \bar{\lambda} < \bar{\lambda}_p \quad (8.14)$$

$$\chi = \frac{\alpha}{\bar{\lambda}^2} \quad \text{khi } \bar{\lambda}_p \leq \bar{\lambda} \quad (8.15)$$

trong đó:

α là hệ số giảm do mất ổn định đàn hồi;

β là hệ số miền dẻo;

η là hệ số mũ tương tác;

$\bar{\lambda}_0$ là độ mảnh giới hạn squash quy ước;

χ_h là độ biến cứng giới hạn.

(5) Giá trị của độ mảnh quy ước giới hạn dẻo $\bar{\lambda}_p$ được xác định theo công thức:

$$\bar{\lambda}_p = \sqrt{\frac{\alpha}{1 - \beta}} \quad (8.16)$$

(6) Thông số độ mảnh quy ước của vỏ cho các thành phần ứng suất khác nhau được xác định theo công thức:

$$\bar{\lambda}_x = \sqrt{f_{yk}/\sigma_{x,Rcr}}, \quad \bar{\lambda}_\theta = \sqrt{f_{yk}/\sigma_{\theta,Rcr}}, \quad \bar{\lambda}_\tau = \sqrt{(f_{yk}/\sqrt{3})/\tau_{x\theta,Rcr}} \quad (8.17)$$

(7) Các ứng suất mất ổn định tới hạn đàn hồi $\sigma_{x,Rcr}$, $\sigma_{\theta,Rcr}$ và $\tau_{x\theta,Rcr}$ cần được xác định bằng các biểu thức tương ứng trong Phụ lục D.

(8) Nếu không có các biểu thức thích hợp trong phụ lục D, thì các ứng suất mất ổn định tới hạn đàn hồi có thể nhận được từ phân tích số LBA của vỏ dưới tác động của các tổ hợp tác động liên quan đến mất ổn định đã được xác định trong 8.1. Các điều kiện mà phương pháp phân tích này phải thỏa mãn xem 8.7.2(5) và (6).

8.5.3 Giới hạn ứng suất (kiểm tra độ bền mất ổn định)

(1) Mặc dù mất ổn định không phải là hiện tượng phá hoại hoàn toàn do ứng suất, nhưng trạng thái giới hạn mất ổn định trong phạm vi tiết diện cần được biểu thị bằng giới hạn giá trị thiết kế của các ứng suất màng. Ảnh hưởng của hiệu ứng uốn đối với độ bền mất ổn định có thể bỏ qua nếu hiệu ứng uốn sinh ra do kết quả đáp ứng các yêu cầu tương thích của các điều kiện biên. Trường hợp các ứng suất uốn gây bởi tải trọng cục bộ hoặc gradient nhiệt cần xem xét riêng.

(2) Tùy thuộc vào tải trọng và tình huống ứng suất, cần thực hiện một hoặc nhiều phép kiểm tra với các giá trị cơ sở của các thành phần ứng suất màng:

$$\sigma_{x,Ed} \leq \sigma_{x,Rd}, \quad \sigma_{\theta,Ed} \leq \sigma_{\theta,Rd} \quad \text{và} \quad \tau_{x\theta,Ed} \leq \tau_{x\theta,Rd} \quad (8.18)$$

(3) Nếu nhiều hơn một trong ba thành phần ứng suất màng liên quan đến mất ổn định đều xuất hiện dưới các tác động đang xét, thì cần thực hiện kiểm tra tương tác đối với trạng thái ứng suất màng kết hợp:

$$\left(\frac{\sigma_{x,Ed}}{\sigma_{x,Rd}} \right)^{k_x} - k_i \left(\frac{\sigma_{x,Ed}}{\sigma_{x,Rd}} \right) \left(\frac{\sigma_{\theta,Ed}}{\sigma_{\theta,Rd}} \right) + \left(\frac{\sigma_{\theta,Ed}}{\sigma_{\theta,Rd}} \right)^{k_\theta} + \left(\frac{\tau_{x\theta,Ed}}{\tau_{x\theta,Rd}} \right)^{k_\tau} \leq 1 \quad (8.19)$$

trong đó:

$\sigma_{x,Ed}$, $\sigma_{\theta,Ed}$ và $\tau_{x\theta,Ed}$ là các nhóm liên quan đến tương tác của các giá trị đáng kể của các ứng suất nén và cắt màng trong vỏ và các giá trị của các thông số tương tác mất ổn định k_x , k_θ , k_τ và k_i nêu trong Phụ lục D.

(4) Khi $\sigma_{x,Ed}$ hoặc $\sigma_{\theta,Ed}$ là kéo, thì giá trị của nó trong biểu thức (8.19) lấy bằng 0.

CHÚ THÍCH: Đối với các vỏ trụ chịu nén dọc trục với áp lực bên trong (áp lực chủ yếu gây kéo vòng), các quy định riêng được nêu trong Phụ lục D. Giá trị thu được của $\sigma_{x,Rd}$ có kể đến cả hai ảnh hưởng tăng cường của áp lực bên trong lên độ bền mất ổn định đàn hồi và ảnh hưởng suy giảm của hiện tượng mất ổn định đàn – dẻo tại khu vực chân vỏ trụ (hiện tượng “chân voi” trong miền đàn-dẻo) (biểu thức (D.43)). Nếu ứng suất kéo $\sigma_{\theta,Ed}$ sau đó lấy bằng 0 trong biểu thức (8.19), thì độ bền mất ổn định được biểu thị chính xác hơn.

(5) Vị trí và giá trị của mỗi ứng suất màng liên quan đến mất ổn định được sử dụng đồng thời trong biểu thức (8.19) được xác định trong Phụ lục D.

(6) Khi điều kiện mất ổn định của vỏ không có trong Phụ lục D, thì các thông số tương tác mất ổn định có thể được xác định thiên về an toàn theo các công thức sau:

$$k_x = 1,0 + \chi_x^2 \quad (8.20)$$

$$k_\theta = 1,0 + \chi_\theta^2 \quad (8.21)$$

$$k_\tau = 1,5 + 0,5\chi_\tau^2 \quad (8.22)$$

$$k_i = (\chi_x \chi_\theta)^2 \quad (8.23)$$

CHÚ THÍCH: Các quy tắc này đôi khi rất thiên về an toàn, nhưng chúng bao gồm hai trường hợp giới hạn mà an toàn cho nhiều trường hợp:

a) Trong vỏ rất mỏng, tương tác giữa σ_x và σ_θ gần như là tuyến tính;

b) Trong vỏ rất dày, tương tác theo kiểu Von Mises.

8.6 Thiết kế sử dụng độ bền tham chiếu

8.6.1 Nguyên tắc

(1) Do mất ổn định không được kiểm soát bởi một ứng suất màng đơn lẻ tại một điểm đơn lẻ nhưng phụ thuộc vào sự phát triển của vùng có ứng suất cao mà có thể bao gồm sự dè dặt kể, trạng thái mất ổn định tại tiết diện này được đại diện bởi giá trị thiết kế của tác động tăng cường đến mức mất ổn định và được ứng dụng trong các điều kiện được xác định riêng.

(2) Ảnh hưởng của hiệu ứng màng và hiệu ứng uốn, ảnh hưởng của dè dặt và sai lệch hình học đã được xét đến trong việc sử dụng hai độ bền tham chiếu và các tham số về mất ổn định.

8.6.2 Giá trị thiết kế của các tác động

(1) Giá trị thiết kế của các tác động cần lấy theo 8.1(1)P.

8.6.3 Giá trị thiết kế của độ bền

(1) Độ bền mất ổn định thiết kế cần được xác định từ độ bền tới hạn đàn hồi R_{cr} và độ bền tới hạn dè dặt R_{pl} áp dụng cho giá trị thiết kế F_{Ed} của tổ hợp tác động cho trường hợp tải trọng với các thông số α , β , η , λ_o và χ_h được định nghĩa trong phụ lục E.

(2) Độ bền dè dặt R_{pl} có thể được lấy từ phụ lục B. Giá trị của R_{pl} cho 1 trường hợp tải trọng đã cho, bao gồm các tải trọng hợp lý $P_{n,Ed}$, $P_{x,Ed}$, $p_{n,Ed}$, F_{Ed} nên được xác định như sau. Khi có hơn 1 thành phần tải trọng, tỷ lệ giữa các thành phần tải trọng khác nhau nên được duy trì với tỷ lệ cố định, với một tải trọng được xem là tải trọng chủ đạo F_{Ed} . Tải trọng sụp đổ trong miền dè dặt F_R cần được xác định theo độ lớn của tải trọng chủ đạo. Khi đó, độ bền dè dặt tham chiếu được xác định theo tỷ số:

$$R_{pl} = \frac{F_R}{F_{Ed}} \quad (8.24)$$

(3) Độ bền tới hạn đàn hồi R_{cr} được định nghĩa trong phụ lục E đối với các hình dạng, tải trọng, và điều kiện biên riêng biệt và có thể chỉ được sử dụng cho một số trường hợp cụ thể.

(4) Độ mảnh quy ước của vỏ được lấy như sau :

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{R_{pl}}{R_{cr}}} \quad (8.25)$$

(5) Hệ số giảm do mất ổn định đàn-dẻo χ được xác định như một hàm của độ mảnh quy ước của vỏ $\bar{\lambda}$ như sau:

$$\chi = \chi_h - (\bar{\lambda} / \bar{\lambda}_0)(\chi_h - 1) \quad \text{nếu } \bar{\lambda} \leq \bar{\lambda}_0 \quad (8.26)$$

$$\chi = 1 - \beta \left(\frac{\bar{\lambda} - \bar{\lambda}_0}{\bar{\lambda}_p - \bar{\lambda}_0} \right) \quad \text{nếu } \bar{\lambda}_0 < \bar{\lambda} < \bar{\lambda}_p \quad (8.27)$$

$$\chi = \frac{\alpha}{\bar{\lambda}^2} \quad \bar{\lambda}_p \leq \bar{\lambda}$$

(8.28)

Trong đó:

α là hệ số giảm do mất ổn định đàn hồi;

β là hệ số miền dẻo;

η là hệ số mũ tương tác;

$\bar{\lambda}_0$ là độ mảnh giới hạn squash quy ước;

χ_h là độ biến cứng giới hạn.

Chú Thích: Giá trị của những thông số này nên được lấy từ phụ lục E. Khi phụ lục E không cho giá trị của các thông số này thì chúng có thể được cho trong phụ lục quốc gia.

Biểu thức (8.28) mô tả điều kiện mất ổn định đàn hồi, có kể đến phi tuyến hình học và sai lệch hình học. Trong trường hợp này, khi ứng xử là đàn hồi hoàn toàn, độ bền mất ổn định đặc trưng có thể được xác định trực tiếp từ $R_k = aR_{cr}$

(6) Giá trị của độ mảnh giới hạn dẻo quy ước $\bar{\lambda}_p$ cần được xác định như sau:

$$\bar{\lambda}_p = \sqrt{\frac{a}{1-\beta}} \quad (8.29)$$

(7) Độ bền đặc trưng của vỏ cần được xác định như sau:

$$R_k = \chi R_{pl} \quad (8.30)$$

(8) Độ bền thiết kế của vỏ cần được lấy như sau:

$$R_d = R_k / \gamma_{M1} \tag{8.31}$$

8.6.4 Kiểm tra độ bền mất ổn định

(1) Khi chất tải cụ thể, độ bền của kết cấu vỏ cần thỏa mãn điều kiện sau:

$$R_d \geq 1 \tag{8.32}$$

8.7 Thiết kế bằng phương pháp phân tích số tổng thể MNA và LBA

8.7.1 Giá trị thiết kế của tác động

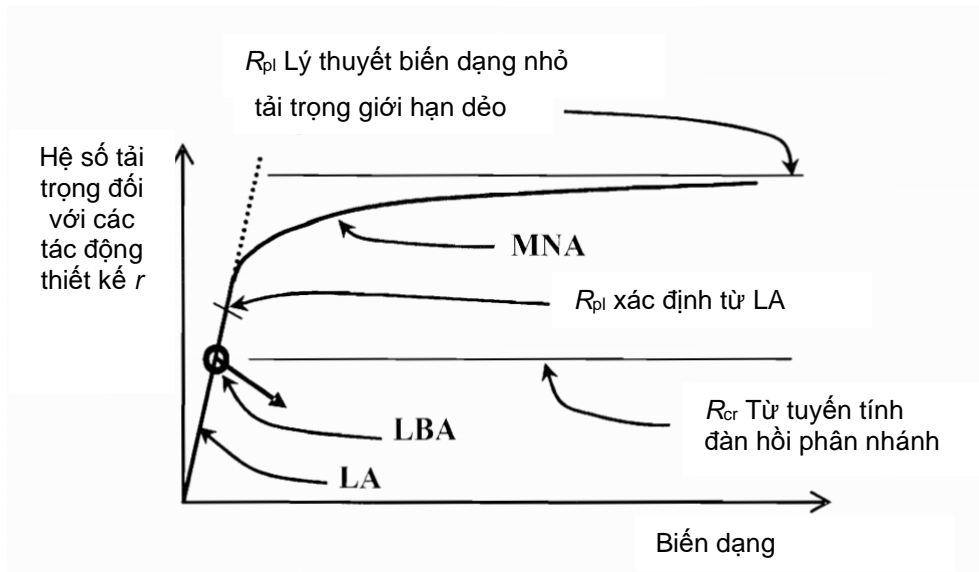
(1) Giá trị thiết kế của các tác động nên được lấy như trong phần 8.1(1).

8.7.2 Độ bền thiết kế

(1) Độ bền mất ổn định thiết kế cần được xác định từ hệ số gia tăng R_d áp dụng cho giá trị thiết kế F_{Ed} của tổ hợp tác động cho trường hợp tải trọng liên quan.

(2) Độ bền mất ổn định thiết kế $F_{Rd} = R_d \cdot F_{Ed}$ cần được xác định từ độ bền dẻo tham chiếu $F_{Rpl} = r_{Rpl} \cdot F_{Ed}$ và độ bền mất ổn định tới hạn đàn hồi $F_{cr} = R_{cr} \cdot F_{Ed}$, kết hợp chúng để tìm độ bền mất ổn định đặc trưng $F_{Rk} = r_{Rk} \cdot F_{Ed}$. Hệ số riêng γ_{M1} sau đó cần được sử dụng để tính độ bền thiết kế.

(3) Tỷ số độ bền dẻo tham chiếu R_{pl} (xem Hình 8.5) cần được xác định bằng phương pháp phân tích phi tuyến vật liệu (MNA) như là tải trọng giới hạn dẻo dưới tác dụng của tổ hợp tác động. Tỷ số tải trọng này R_{pl} có thể lấy bằng giá trị lớn nhất thu được từ phân tích, sử dụng quy tắc vật liệu đàn-dẻo lý tưởng.



Hình 8.5 – Xác định tỉ số độ bền dẻo tham chiếu R_{pl} và tỉ số độ bền mất ổn định tới hạn R_{cr} được xác định từ các phương pháp phân tích tổng thể MNA và LBA.

(4) Khi không thể thực hiện phân tích phi tuyến vật liệu (MNA), tỉ số độ bền dẻo tham chiếu R_{pl} có thể được xác định thiên về an toàn từ phân tích tuyến tính vỏ (LA), được thực hiện có sử dụng các giá trị thiết kế của tổ hợp tác động tác dụng theo quy trình sau. Các thành phần ứng suất màng $n_{x,Ed}$, $n_{\theta,Ed}$ và $n_{x\theta,Ed}$ tại bất kỳ điểm nào trong vỏ cần được sử dụng để xác định độ bền dẻo tham chiếu theo công thức:

$$R_{pl} = \frac{t \cdot f_{yk}}{\sqrt{n_{x,Ed}^2 - n_{x,Ed} \cdot n_{\theta,Ed} + n_{\theta,Ed}^2 + 3n_{x\theta,Ed}^2}} \quad (8.33)$$

Giá trị nhỏ nhất của tỉ số độ bền dẻo tính được theo cách như vậy cần được sử dụng để xác định tỉ số độ bền dẻo tham chiếu R_{pl} .

CHÚ THÍCH: Việc xác định R_{pl} một cách an toàn có thể bằng cách áp dụng biểu thức (8.33) lần lượt tại ba điểm trong vỏ, nơi mà mỗi một trong ba thành phần ứng suất màng liên quan đến mất ổn định đạt giá trị lớn nhất của chúng, và sử dụng giá trị nhỏ nhất trong ba giá trị này làm giá trị tương ứng của R_{pl} .

(5) Tỉ số độ bền mất ổn định tới hạn đàn hồi R cần được xác định từ phân tích trị số riêng (LBA) áp dụng cho trạng thái ứng suất đàn hồi tuyến tính trong vỏ có hình học lý tưởng (LA) dưới tác dụng của tổ hợp tải trọng thiết kế. Trị số riêng nhỏ nhất (hệ số tải trọng phân nhánh) cần được lấy làm tỉ số độ bền mất ổn định tới hạn đàn hồi R_{cr} , xem Hình 8.5.

(6) Cần kiểm tra rằng thuật toán trị số riêng sử dụng là tin cậy khi tìm kiếm dạng riêng mà dẫn tới trị số riêng nhỏ nhất. Trường hợp nghi ngờ, các trị số riêng gần nhất và các dạng riêng của chúng cần được tính để có được bức tranh đầy đủ về các đặc trưng phân nhánh của vỏ. Phân tích này được thực hiện bằng các phần mềm máy tính mà đã được kiểm tra bằng với các trường hợp chuẩn với các đặc trưng mất ổn định tương tự vật lý.

(7) Độ mảnh quy ước tổng thể $\bar{\lambda}_{ov}$ cho vỏ kín tròn xoay cần được xác định theo công thức:

$$\bar{\lambda}_{ov} = \sqrt{F_{Rpl}/F_{Rcr}} = \sqrt{R_{pl}/R_{cr}} \quad (8.34)$$

(8) Hệ số giảm mất ổn định tổng thể χ_{ov} được tính bằng $\chi_{ov} = f(\bar{\lambda}_{ov}, \bar{\lambda}_{ov,0}, \alpha_{ov}, \beta_{ov}, \eta_{ov}, \chi_{ov,h})$, trong đó α_{ov} là hệ số giảm do sai lệch đàn hồi tổng thể; β_{ov} là hệ số miền dẻo; η_{ov} là hệ số mũ tương tác và $\bar{\lambda}_{ov,0}$ là độ mảnh quy ước giới hạn nén dập.

(9) Xác định các hệ số $\bar{\lambda}_{ov,0}$, α_{ov} , β_{ov} , η_{ov} và $\chi_{ov,h}$ cần kể đến độ nhạy với độ không hoàn hảo, phi tuyến hình học và các khía cạnh khác đối với trường hợp mất ổn định cụ thể của vỏ. Giá trị an toàn của các thông số này cần được xác định bằng cách so sánh với các trường hợp mất ổn định đã biết của vỏ (xem Phụ lục D) mà có các dạng mất ổn định tương tự, độ nhạy với độ không hoàn hảo tương

TCVN X1993-1-6:202x

tự, tính phi tuyến hình học tương tự, độ nhạy với chảy dẻo tương tự và ứng xử sau mất ổn định tương tự. Giá trị của α_{ov} cũng cần kể đến cấp chất lượng về sai lệch chế tạo thích hợp.

CHÚ THÍCH: Cần lưu ý khi lựa chọn giá trị thích hợp của α_{ov} khi phương pháp này được sử dụng cho các đại lượng hình học của vỏ và các trường hợp tải trọng, khi có thể xảy ra mất ổn định đột ngột. Các trường hợp này bao gồm nón, chỏm và vòm cầu dưới tác dụng của áp lực bên ngoài hoặc ở các gối tựa, mà có thể bị chuyển dịch theo phương đường kính. Giá trị thích hợp của α_{ov} cũng cần được lựa chọn cẩn thận khi hình học của vỏ và trường hợp tải trọng tạo ra các điều kiện mà có độ nhạy cao với sự thay đổi của hình học, như các đường giao nhau không tăng cứng giữa các đoạn của vỏ trụ và của vỏ nón dưới tác dụng của tải trọng nén theo phương đường sinh (ví dụ, ống khói).

Thông thường, các tải trọng mất ổn định đàn hồi ghi nhận được đối với các trường hợp đặc biệt thường được dựa trên phân tích phi tuyến hình học áp dụng cho hình học hoàn hảo và không hoàn hảo, mà dự báo được tải trọng mất ổn định đột ngột. Ngược lại, phương pháp sử dụng ở đây chấp nhận tải trọng phân nhánh tuyến tính làm độ bền mất ổn định tới hạn đàn hồi tham chiếu, và nó thường lớn hơn tải trọng đột ngột. Tính toán thiết kế phải kể đến hai nguồn của độ bền giảm này bằng cách lựa chọn phù hợp hệ số giảm không hoàn hảo đàn hồi tổng thể α_{ov} . Lựa chọn này phải bao gồm được ảnh hưởng của cả phi tuyến hình học (mà có thể dẫn tới đột ngột) và sự suy giảm cường độ bổ sung gây bởi các sai lệch hình học.

(10) Nếu các điều trong (9) không thể đạt được với độ tin cậy nhất định, thì cần thực hiện thử nghiệm thích hợp, xem Phụ lục D của TCVN X1990.

(11) Nếu không có các giá trị của α_{ov} , β_{ov} , η_{ov} , $\chi_{ov,0}$ phù hợp với (9) hoặc (10), thì có thể chấp nhận các giá trị cho vỏ trụ chịu nén dọc trục không tăng cứng, xem D.1.2.2. Khi hiện tượng mất ổn định đột ngột có khả năng xảy ra, thì cần xem xét giảm tiếp hệ số α_{ov} một cách thích hợp.

(12) Tỉ số độ bền mất ổn định đặc trưng R_k cần được xác định theo công thức:

$$R_k = \chi_{ov} R_{pl} \quad (8.35)$$

trong đó:

R_{Rpl} là tỉ số độ bền dẻo tham chiếu.

(13) Tỉ số độ bền mất ổn định thiết kế R_d cần được xác định theo công thức:

$$R_d = R_k / \gamma_{M1} \quad (8.36)$$

trong đó:

γ_{M1} là hệ số an toàn riêng cho độ bền mất ổn định theo 8.5.2(2).

8.7.3 Kiểm tra độ bền mất ổn định

(1) Cần kiểm tra điều kiện:

$$F_{Ed} \leq F_{Rd} = R_d \cdot F_{Ed} \quad \text{hoặc} \quad R_d \geq 1 \quad (8.37)$$

8.8 Thiết kế bằng phương pháp phân tích số tổng thể GMNIA

8.8.1 Giá trị thiết kế của các tác động

(1) Các giá trị thiết kế của các tác động cần lấy theo 8.1(1).

8.8.2 Giá trị thiết kế của độ bền

(1) Độ bền mất ổn định thiết kế cần được xác định bằng hệ số tải trọng R áp dụng cho các giá trị thiết kế F_{Ed} của tổ hợp tác động đối với trường hợp tải trọng tương ứng.

(2) Tỉ số độ bền mất ổn định đặc trưng R_k cần được tính từ tỉ số độ bền mất ổn định đàn – dẻo có kể đến độ không hoàn hảo R_{GMNIA} , được điều chỉnh bằng hệ số điều chỉnh k_{GMNIA} . Tỉ số độ bền mất ổn định thiết kế R_d sau đó cần được xác định với hệ số an toàn riêng γ_{M1} .

(3) Để xác định tỉ số độ bền mất ổn định đàn – dẻo có kể đến độ không hoàn hảo R_{GMNIA} , cần thực hiện phân tích GMNIA đối với vỏ có xét đến các sai lệch hình học dưới tổ hợp tải trọng tác dụng, đi kèm với phân tích trị số riêng để phát hiện sự phân nhánh tiềm năng theo đường truyền lực.

CHÚ THÍCH: Khi dẻo có ảnh hưởng lớn lên độ bền mất ổn định, cần chú ý để đảm bảo rằng dạng không hoàn hảo đã chấp nhận gây ra một số biến dạng trượt trước khi mất ổn định, vì mô đun trượt rất nhạy với biến dạng trượt dẻo nhỏ. Trong một số bài toán mất ổn định của vỏ (ví dụ, mất ổn định do cắt của bản tròn (vành khuyên), nếu ảnh hưởng này không cần kể đến, thì phân tích trị số riêng có thể cho ra giá trị cao hơn độ bền mất ổn định đàn – dẻo.

(4) Trước tiên cần thực hiện phân tích LBA cho kết cấu hoàn hảo để xác định tỉ số độ bền mất ổn định tới hạn đàn hồi R_{cr} của vỏ lý tưởng.

(5) Sau đó, cần thực hiện phân tích MNA đối với kết cấu lý tưởng để xác định tỉ số độ bền dẻo lý tưởng tham chiếu R_{pl} .

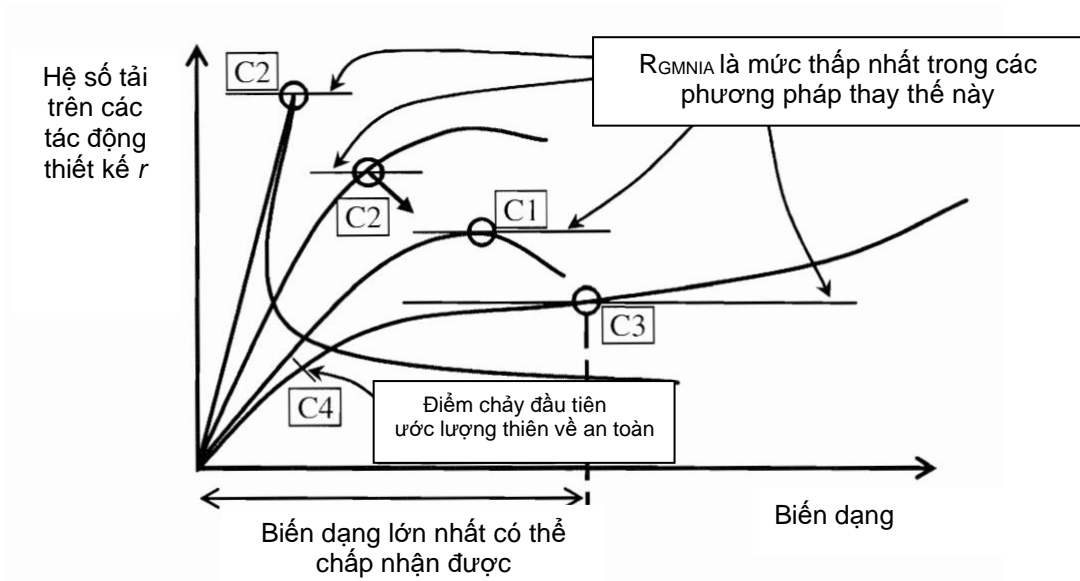
(6) Hai tỉ số độ bền sau đó được sử dụng để xác định độ mảnh quy ước tổng thể $\bar{\lambda}_{ov}$ cho vỏ kín theo biểu thức (8.25).

(7) Cần thực hiện phân tích GMNA cho kết cấu lý tưởng để xác định tỉ số độ bền mất ổn định đàn – dẻo lý tưởng R_{GMNIA} . Tỉ số độ bền này cần được sử dụng sau này để kiểm tra rằng ảnh hưởng của độ không hoàn hảo đã lựa chọn có ảnh hưởng để cho ra rằng độ bền nhỏ nhất tìm được. Phân tích GMNA có thể được thực hiện với tổ hợp tác động tác dụng, đi kèm với phân tích trị số riêng để phát hiện sự phân nhánh tiềm năng trên đường truyền lực.

(8) Tỉ số độ bền mất ổn định đàn – dẻo hoàn hảo R_{GMNIA} được lấy bằng hệ số tải trọng nhỏ nhất R tìm được từ ba tiêu chí C1, C2 và C3 sau đây, xem Hình 8.6:

- Tiêu chí C1: Hệ số tải trọng lớn nhất trên đường cong tải trọng – biến dạng (tải trọng giới hạn);
- Tiêu chí C2: Hệ số tải trọng phân nhánh, khi nó xuất hiện trong đường truyền lực trước khi đạt tới điểm giới hạn của đường cong tải trọng – biến dạng;

- Tiêu chí C3: Biến dạng cho phép lớn nhất, khi nó xuất hiện trên đường truyền lực trước khi đạt tới tải trọng phân nhánh hoặc tải trọng giới hạn.



Hình 8.6 – Xác định độ bền mất ổn định từ phân tích GMNIA tổng thể

(9) Biến dạng cho phép lớn nhất β cần được xác định đối với các điều kiện của kết cấu riêng lẻ. nếu không có giá trị khác, thì biến dạng cho phép lớn nhất có thể được coi là đạt được khi góc xoay cục bộ lớn nhất của bề mặt vỏ (độ dốc của bề mặt so với hình học ban đầu của nó) tìm được giá trị β .

CHÚ THÍCH: Phụ lục quốc gia có thể đưa ra lựa chọn giá trị của β . Giá trị $\beta = 0,1$ radian được khuyến nghị áp dụng.

(10) Xác định an toàn của tỉ số độ bền mất ổn định đàn – dẻo lý tưởng R_{GMNIA} có thể tìm được bằng cách sử dụng phân tích GNIA của vỏ lý tưởng hình học dưới tổ hợp tác động tác dụng. Trong trường hợp này, cần sử dụng tiêu chí sau đây để xác định hệ số tải trọng nhỏ nhất R :

- Tiêu chí C4: Hệ số tải trọng mà ứng với nó ứng suất tương đương tại điểm có ứng suất lớn nhất trên bề mặt vỏ đạt tới giá trị thiết kế của ứng suất chảy $f_{yd} = f_{yk} / \gamma_{M0}$, xem Hình 8.6.

CHÚ THÍCH: Cần lưu ý rằng các phương pháp phân tích GMNA, GMNIA và GNIA luôn phải thực hiện với kiểm tra trị số riêng để đảm bảo rằng phát hiện được bất kỳ sự phân nhánh tiềm năng nào trên đường truyền lực.

(11) Khi hình thành phân tích GMNIA (hoặc GNIA), các giả thiết thích hợp cần được kết hợp để bao trùm được các ảnh hưởng của độ không hoàn hảo mà không thể tránh được trong thực tế, bao gồm:

a) Sai lệch hình học, như:

- Sai lệch với hình dạng hình học danh định của mặt trung bình (biến dạng trước, độ méo);
- Sai lệch tại vị trí các mối hàn và lân cận (độ lệch tâm nhỏ, co ngót, sai số cong do cán);
- Sai lệch với chiều dày danh định;
- Các gối tựa không đủ phẳng.

b) Độ không hoàn hảo về vật liệu, như:

- Ứng suất dư gây bởi cán, dập, hàn, nắn thẳng, v.v...;
- Tính không đồng nhất và dị hướng.

CHÚ THÍCH: Những ảnh hưởng tiêu cực khác có thể có đối với tỷ số độ bền mất ổn định đàn-dẻo không hoàn hảo R_{GMNIA} , ví dụ như lún của nền hoặc sự mềm của các liên kết hoặc gối đỡ, không được phân loại là sự không hoàn hảo như theo quy định của các điều này.

(12) Độ không hoàn hảo cần được kể đến trong phân tích GMNIA bằng cách đưa vào các đại lượng bổ sung thích hợp trong mô hình phân tích để tính toán số.

(13) Độ không hoàn hảo thường được biểu diễn bằng sai lệch hình học tương đương dưới dạng sai lệch hình dạng ban đầu vuông góc với mặt trung bình của vỏ lý tưởng, nếu không có phương pháp kỹ thuật tốt hơn. Mặt trung bình của vỏ không hoàn hảo hình học cần được xác định bằng siêu phân tử của sai lệch hình học tương đương trên vỏ lý tưởng hình học.

(14) Dạng của sai lệch hình học tương đương cần được lựa chọn sao cho nó có ảnh hưởng bất lợi nhất đến tỉ số độ bền mất ổn định đàn – dẻo không hoàn hảo R_{GMNIA} của vỏ. Nếu dạng bất lợi nhất không thể là tin cậy nhất, thì cần thực hiện phân tích với một số lượng đủ cho dạng không hoàn hảo khác, và trường hợp xấu nhất (giá trị nhỏ nhất của R_{GMNIA}) cần được nhận biết.

(15) Cần sử dụng dạng eigenmode-affine trừ khi dạng bất lợi khác có thể được chứng minh.

CHÚ THÍCH: Là dạng mất ổn định tới hạn liên quan đến tỉ số độ bền mất ổn định tới hạn đàn hồi R_{cr} dựa trên phân tích LBA của vỏ lý tưởng.

(16) Dạng sai lệch hình học tương đương, nếu có thể, cần phản ánh được cấu tạo kết cấu và các điều kiện biên trong trường hợp bất lợi.

(17) Mặc dù có quy định tại (15) và (16), các dạng có thể được loại trừ khỏi khảo sát nếu chúng có thể xác định là không thực tế do phương pháp chế tạo, sản xuất hoặc lắp dựng.

(18) Việc điều chỉnh dạng được sử dụng của sai lệch hình học để bao gồm chi tiết kết cấu một cách thực tế (như hàn đối xứng) cần được xem xét.

CHÚ THÍCH: Phụ lục Quốc gia có thể xác định các yêu cầu bổ sung để đánh giá các dạng không hoàn hảo thích hợp.

(19) Dấu của sai lệch hình học tương đương cần được lựa chọn sao cho sai lệch hình dạng ban đầu lớn nhất là bất lợi hướng ra ngoài tâm của độ cong của vỏ.

(20) Biên độ của sai lệch hình học tương đương đã chấp nhận được lấy không phụ thuộc vào cấp chất lượng về sai lệch chế tạo. Sai lệch lớn nhất về hình học của dạng không hoàn hảo tương đương từ dạng hoàn hảo $\Delta W_{0,eq}$ lấy bằng giá trị lớn hơn trong các giá trị $\Delta W_{0,eq1}$ và $\Delta W_{0,eq2}$, trong đó:

$$\Delta W_{0,eq1} = \ell_g U_{n1} \quad (8.38)$$

$$\Delta W_{0,eq2} = n_i t U_{n2} \quad (8.39)$$

trong đó:

TCVN X1993-1-6:202x

ℓ_g là chiều dài cỡ tương ứng theo 8.4.4(2);

t là chiều dày thành vỏ cục bộ;

n_i là hệ số nhân để đạt được mức độ dung sai thích hợp;

U_{n1} và U_{n2} là các thông số biên độ lỡm đối với cấp chất lượng về sai lệch chế tạo.

CHÚ THÍCH 1: Phụ lục quốc gia có thể đưa ra lựa chọn giá trị của n_i . Giá trị $n_i = 25$ được khuyến nghị áp dụng.

CHÚ THÍCH 2: Các giá trị của thông số độ lỡm U_{n1} và U_{n2} có thể tìm được trong Phụ lục quốc gia. Các giá trị khuyến nghị được nêu trong Bảng 8.5.

Bảng 8.5 – Giá trị khuyến nghị của thông số biên độ lỡm U_{n1} và U_{n2}

Cấp chất lượng về sai lệch chế tạo	Mô tả	Giá trị khuyến nghị của U_{n1}	Giá trị khuyến nghị của U_{n2}
Cấp A	Tốt	0,010	0,010
Cấp B	Cao	0,016	0,016
Cấp C	Bình thường	0,025	0,025

(21) Biên độ của sai lệch hình học trong dạng không hoàn hảo tương đương được chấp nhận cần được biểu diễn sao cho phù hợp với phương pháp chiều dài cỡ đo được quy định trong 8.4.4(2).

(22) Ngoài ra, cần kiểm tra rằng việc tính toán mà sử dụng độ không hoàn hảo có biên độ nhỏ hơn 10 % giá trị $\Delta w_{0,eq}$ tính được trong (20) không dẫn đến giá trị thấp hơn của tỉ số R_{GMNIA} . Nếu giá trị nhỏ hơn xác định được, thì quy trình cần được lặp lại để tìm giá trị nhỏ nhất của tỉ số R_{GMNIA} khi biên độ thay đổi.

(23) Nếu hiệu ứng tác động theo sau có khả năng xuất hiện, thì chúng cần được kết hợp trong phân tích hoặc cần xác minh ảnh hưởng của chúng là không đáng kể.

(24) Đối với mỗi giá trị tính được của độ bền mất ổn định đàn – dẻo không hoàn hảo R_{GMNIA} , tỉ số của độ bền có kể đến độ không hoàn hảo và hoàn hảo (R_{GMNIA}/R_{GMNA}) cần được xác định và so sánh với giá trị của R tính được theo quy trình trong 8.5 và Phụ lục D, để kiểm tra rằng độ không hoàn hảo đã chọn có ảnh hưởng không lớn và nó tương thích với giá trị tìm được từ biên thấp hơn của kết quả thử nghiệm.

Khi độ bền được quyết định bởi ảnh hưởng của dẻo, thì tỉ số (R_{GMNIA}/R_{GMNA}) sẽ lớn hơn nhiều so với hệ số giảm độ không hoàn hảo đàn hồi α , và có thể không mong chờ kết quả so sánh gần hơn. Tuy nhiên, khi độ bền được khống chế bởi hiện tượng mất ổn định mà chủ yếu là đàn hồi, thì tỉ số (R_{GMNIA}/R_{GMNA}) chỉ cần cao hơn một chút so với giá trị tính được bằng tay, và các hệ số dẫn đến giá trị cao hơn cần được xem xét cẩn thận.

(25) Độ tin cậy của tỉ số độ bền mất ổn định đàn – dẻo không hoàn hảo tính được bằng số R_{GMNIA} cần được kiểm tra bằng một trong các phương pháp tương tự sau đây:

a) Sử dụng chương trình tương tự để tính giá trị của $R_{GMNIA,check}$ cho các trường hợp mất ổn định khác của vỏ, mà tỉ số độ bền mất ổn định đặc trưng $R_{k,known,check}$ đã biết. Các trường hợp kiểm tra cần được dựa trên các giả thiết về độ không hoàn hảo tương tự và phải tương tự về các thông số khống chế mất ổn định của chúng (như, độ mảnh quy ước của vỏ, ứng xử sau mất ổn định, độ nhạy với độ không hoàn hảo, tính phi tuyến hình học và ứng xử của vật liệu);

b) So sánh các giá trị tính được ($R_{GMNIA,check}$) với các kết quả thử nghiệm ($R_{test,known,check}$). Các trường hợp kiểm tra cần thỏa mãn các điều kiện tương tự nêu trong (a).

CHÚ THÍCH 1: Các trường hợp mất ổn định khác của vỏ mà giá trị của tỉ số độ bền mất ổn định đặc trưng $R_{k,known,check}$ đã biết có thể tìm được trong các tài liệu khoa học chuyên ngành về mất ổn định vỏ. Cần lưu ý rằng tính toán bằng tay theo 8.5 và Phụ lục D thu được như là các biên cận dưới của các kết quả thử nghiệm, và chúng đôi khi cho các giá trị thấp của độ bền mất ổn định đặc trưng mà khó tính được bằng các phương pháp số.

CHÚ THÍCH 2: Khi sử dụng các kết quả thử nghiệm, phải thiết lập được rằng độ không hoàn hảo có mặt trong thử nghiệm có thể coi là sẽ biểu thị cho độ không hoàn hảo mà có thể xuất hiện trong kết cấu thực tế.

(26) Tùy thuộc vào kết quả kiểm tra tin độ tin cậy, cần xác định hệ số hiệu chỉnh k_{GMNIA} , khi cần, theo các công thức:

$$k_{GMNIA} = \frac{R_{k,known,check}}{R_{GMNIA,check}} \quad \text{hoặc} \quad k_{GMNIA} = \frac{R_{test,known,check}}{R_{GMNIA,check}} \quad (8.40)$$

trong đó:

$R_{k,known,check}$ là giá trị đặc trưng đã biết;

$R_{test,known,check}$ là kết quả thử nghiệm đã biết;

$R_{GMNIA,check}$ là giá trị tính được cho trường hợp kiểm tra mất ổn định hoặc trường hợp thử nghiệm mất ổn định, tùy tình huống.

(27) Khi kết quả thử nghiệm được sử dụng để xác định k_{GMNIA} , và giá trị k_{GMNIA} tính được lớn hơn 1,0 thì cần sử dụng giá trị $k_{GMNIA} = 1,0$.

(28) Khi sử dụng giá trị đặc trưng đã biết dựa trên lý thuyết đã có để xác định k_{GMNIA} , và giá trị k_{GMNIA} tính được nằm trong khoảng $0,8 < k_{GMNIA} < 1,2$, thì không sử dụng quy trình này. Kết quả từ GMNIA cần được coi là không thích hợp và cần tính toán tiếp để xác định nguyên nhân của sự khác biệt.

(29) Tỉ số độ bền mất ổn định đặc trưng cần được xác định theo công thức:

$$R_k = k_{GMNIA} R_{GMNIA} \quad (8.41)$$

trong đó:

TCVN X1993-1-6:202x

R_{GMNIA} là tỉ số độ bền mất ổn định đàn – dẻo không hoàn hảo tính được;

k_{GMNIA} là hệ số hiệu chỉnh.

8.8.3 Kiểm tra độ bền mất ổn định

(1) Tỉ số độ bền mất ổn định thiết kế cần được xác định theo công thức:

$$R_d = R_k / \gamma_{M1} \quad (8.42)$$

trong đó: γ_{M1} là hệ số độ bền mất ổn định theo 8.5.2(2).

(2) Cần kiểm tra điều kiện:

$$F_{Ed} \leq F_{Rd} = R_d \cdot F_{Ed} \quad \text{hoặc} \quad R_d \geq 1 \quad (8.43)$$

9 Trạng thái giới hạn mới (LS4)

9.1 Giá trị thiết kế của các tác động

(1) Giá trị thiết kế của các tác động cho mỗi trường hợp tải trọng cần được lấy là các phần tải trọng thay đổi của tổng tác động biểu thị phần tác động tham gia trong suốt tuổi thọ thiết kế của kết cấu.

(2) Phổ tác động tương ứng cần được lấy trong TCVN X1991 phù hợp với các định nghĩa nêu trong các tiêu chuẩn thành phần của TCVN X1993.

9.2 Thiết kế theo ứng suất

9.2.1 Quy định chung

(1) Đánh giá mỗi biểu thị trong EN1993-1-9 cần được sử dụng trừ những điều dưới đây.

(2) Hệ số an toàn riêng cho mỗi γ_{Mf} phải lấy từ các tiêu chuẩn áp dụng tương ứng.

CHÚ THÍCH: Giá trị của hệ số an toàn riêng γ_{Mf} có thể được xác định trong Phụ lục quốc gia. Khi không có tiêu chuẩn áp dụng cho dạng kết cấu đang xét hoặc trong tiêu chuẩn áp dụng không quy định các giá trị tương ứng của γ_{Mf} thì giá trị của γ_{Mf} được lấy theo TCVN X1993-1-9. Khuyến nghị sử dụng giá trị γ_{Mf} không nhỏ hơn giá trị $\gamma_{Mf} = 1,1$.

9.2.2 Giá trị thiết kế của miền ứng suất

(1) Các ứng suất cần được xác định bằng phương pháp phân tích đàn hồi tuyến tính đối với kết cấu chịu các tác động mới thiết kế.

(2) Trong mỗi kiểm tra trạng thái giới hạn, giá trị thiết kế của ứng suất mới cần lấy bằng giá trị miền giá trị ứng suất lớn hơn $\Delta\sigma$ trên hai bề mặt của vỏ, và dựa trên tổng các ứng suất thứ nhất và thứ hai.

- (3) Tùy thuộc vào đánh giá mỗi đã thực hiện theo TCVN X1993-1-9, cần xác định hoặc là miền ứng suất danh định hoặc miền hình học của ứng suất.
- (4) Nếu chấp nhận 9.2.3(2) thì có thể sử dụng miền ứng suất danh định.
- (5) Cần sử dụng miền hình học của ứng suất cần sử dụng cho cấu kiện kết cấu mà khác với các cấu kiện nêu trong 9.2.3(2).
- (6) Miền hình học của ứng suất chỉ kể đến hình học tổng thể của mối nối, trừ các ứng suất cục bộ do hình học mỗi hàn và ảnh hưởng bên trong của mỗi hàn. Nó có thể được xác định bằng cách sử dụng các hệ số hình học tập trung ứng suất tính được theo các biểu thức đã cho.
- (7) Các ứng suất dùng trong thiết kế mỗi của cấu kiện kết cấu có hướng hình học tuyến tính cần được phân thành các thành phần ngang hoặc song song với trục cấu kiện.

9.2.3 Giá trị thiết kế của độ bền (cường độ chịu mỏi)

- (1) Giá trị thiết kế của độ bền thu được sau đây có thể áp dụng cho thép kết cấu trong khoảng nhiệt độ đến 150 °C.
- (2) Độ bền mỏi của các cấu kiện kết cấu thường được tìm trong kết cấu vỏ cần được xác định theo TCVN X1993-2 trong các đoạn văn và được xác định dưới dạng miền ứng suất $\Delta\sigma_E$ tương ứng với số chu kỳ, trong đó các giá trị được phân loại bổ sung phù hợp với chất lượng mối hàn.
- (3) Độ bền mỏi của các cấp cấu kiện cần được xác định theo TCVN X1993-1-9.

9.2.4 Giới hạn miền ứng suất

- (1) Trong mỗi kiểm tra trạng thái giới hạn, miền ứng suất thiết kế $\Delta\sigma_E$ cần thỏa mãn điều kiện:

$$\gamma_{Ff} \Delta\sigma_E \leq \Delta\sigma_R / \gamma_{Mf} \quad (9.1)$$

trong đó:

γ_{Ff} là hệ số an toàn riêng cho tải trọng mỏi;

γ_{Mf} là hệ số an toàn riêng cho độ bền mỏi;

$\Delta\sigma_E$ là miền ứng suất biên độ không đổi tương đương của phổ ứng suất thiết kế;

$\Delta\sigma_R$ là miền ứng suất của cường độ chịu mỏi đối với danh mục chi tiết tương ứng và số chu kỳ của phổ ứng suất.

- (2) Tương tự (1), xác định hư hỏng tích lũy có thể được thực hiện cho tập hợp m miền ứng suất khác nhau $\Delta\sigma_i (i = 1, m)$ sử dụng quy tắc Palmgren-Miner:

$$D_d \leq 1 \quad (9.2)$$

trong đó:

$$D_d = \sum_{i=1}^m n_i / N_i \quad (9.3)$$

với:

n_i là số chu kỳ của miền ứng suất $\Delta\sigma_i$;

N_i là số chu kỳ của miền ứng suất $\gamma_{FF}\gamma_{MF}\Delta\sigma_i$ gây ra phá hoại cho loại cấu tạo tương ứng.

(3) Trong trường hợp kết hợp giữa các miền ứng suất pháp và ứng suất tiếp, hiệu ứng kết hợp cần được xem xét theo EN1993-9.

9.3 Thiết kế bằng phương pháp số tổng thể LA hoặc GNA

(1) Thiết kế mỗi dựa trên phân tích đàn hồi (LA hoặc GNA) cần tuân theo các quy định nêu trong 9.2 cho thiết kế theo ứng suất. Tuy nhiên, miền ứng suất do tải trọng mỗi cần được xác định bằng phương pháp phân tích uốn vỏ, bao gồm cả sự không liên tục hình học của mỗi nối trong cấu tạo kết cấu.

(2) Nếu sử dụng phân tích phần tử hữu hạn ba chiều, thì hiệu ứng tập trung ứng suất do hình học cục bộ của mỗi hàn hàn cần được loại trừ.

Phụ lục A (tham khảo)

Ứng suất trong vỏ theo lý thuyết màng

A.1 Quy định chung

A.1.1 Hiệu ứng tác động và độ bền

Hiệu ứng tác động hoặc độ bền tính được bằng các biểu thức trong Phụ lục này có thể giả thiết là đảm bảo các giá trị đặc trưng của hiệu ứng tác động hoặc của độ bền, khi lấy các giá trị đặc trưng của tác động, của các thông số hình học và của các tính chất vật liệu.

A.1.2 Ký hiệu

Ký hiệu được sử dụng trong Phụ lục này cho các kích thước hình học, các ứng suất và các tải trọng lấy theo 1.4. Ngoài ra, sử dụng thêm các ký hiệu sau.

Các chữ cái Latin viết hoa

F_x tải trọng dọc trục tác dụng lên vỏ trụ

F_z tải trọng dọc trục tác dụng lên vỏ nón

M mô men uốn tổng thể tác dụng lên vỏ trụ kín (không được nhầm lẫn với mô men trên đơn vị chiều rộng thành vỏ m)

M_t mô men xoắn tổng thể tác dụng lên vỏ trụ kín

V lực cắt ngang tổng thể tác dụng lên vỏ trụ kín

Các chữ cái Latin viết thường

g tỉ trọng của vật liệu làm vỏ

p_n áp lực pháp tuyến phân bố

p_x áp lực tiếp tuyến dọc trục tác dụng lên thành vỏ

Các chữ cái Hi Lạp viết thường

ϕ góc nghiêng đường sinh

σ_x ứng suất màng dọc trục hoặc theo phương đường sinh ($= n_x/t$)

σ_θ ứng suất màng theo phương vòng ($= n_\theta/t$)

τ ứng suất cắt màng ($= n_{x\theta}/t$)

A.1.3 Các điều kiện biên

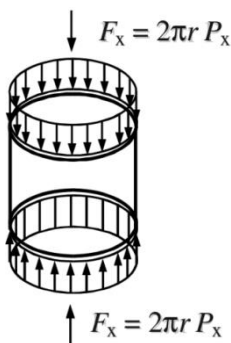
- (1) Các ký hiệu cho điều kiện biên cần được lấy theo 2.3 và 5.2.2.
- (2) Để các biểu thức này đúng hoàn toàn, các điều kiện biên đối với vỏ trụ cần được lấy là tự do theo phương bán kính tại hai đầu, được đỡ dọc trục một đầu và xoay tự do tại hai đầu.
- (3) Để các biểu thức này đúng hoàn toàn đối với vỏ nón, tải trọng tác dụng cần lấy bằng trạng thái ứng suất màng trong vỏ và các điều kiện biên được lấy là tự do cho chuyển vị pháp tuyến với vỏ tại hai đầu và được đỡ theo phương đường sinh tại một đầu.
- (4) Đối với vỏ nón cụt, các điều kiện biên cần được hiểu là bao gồm các thành phần của tải trọng ngang với thành vỏ sao cho thành phần ứng suất tổ hợp tác dụng lên vỏ chỉ có hướng theo đường sinh của vỏ.

A.1.4 Quy tắc dấu

- (1) Quy tắc dấu đối với ứng suất σ cần được lấy là ứng suất kéo dương ở mọi nơi, mặc dù trên một số hình thể hiện các trường hợp có tải trọng bên ngoài tác dụng theo phương ngược lại.

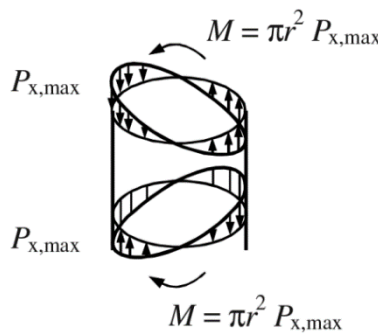
A.2 Vỏ trụ không tăng cứng

A.2.1 Tải trọng dọc trục phân bố đều



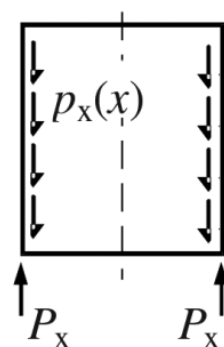
$$\sigma_x = -\frac{F_x}{2\pi r t}$$

A.2.2 Tải trọng dọc trục do uốn tổng thể



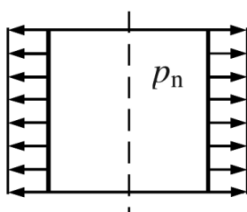
$$\sigma_x = \pm \frac{M}{\pi r^2 t}$$

A.2.3 Tải trọng ma sát



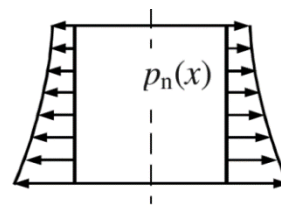
$$\sigma_x = -\frac{1}{t} \int_0^l p_x dx$$

A.2.4 Áp lực bên trong phân bố đều



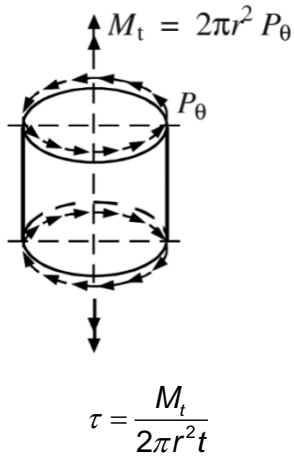
$$\sigma_\theta = p_n \cdot \frac{r}{t}$$

A.2.5 Áp lực bên trong thay đổi

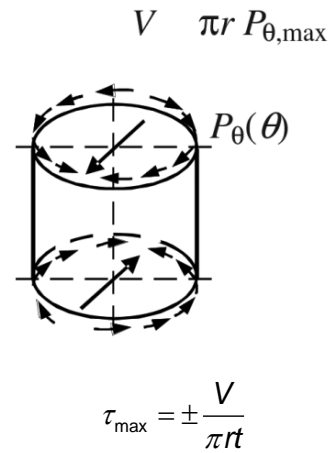


$$\sigma_\theta(x) = p_n(x) \cdot \frac{r}{t}$$

A.2.6 Lực cắt phân bố đều do xoắn

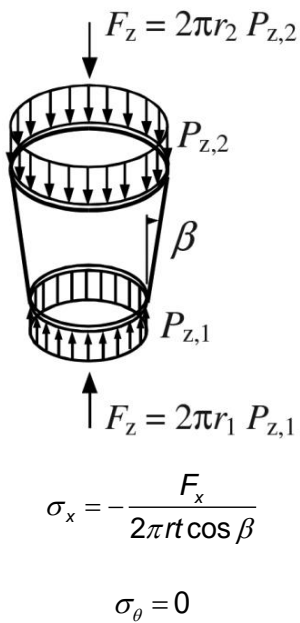


A.2.7 Lực cắt hình sin do lực ngang

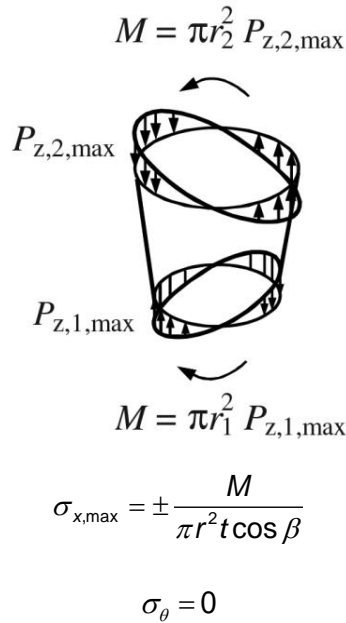


A.3 Vỏ nón không tăng cứng

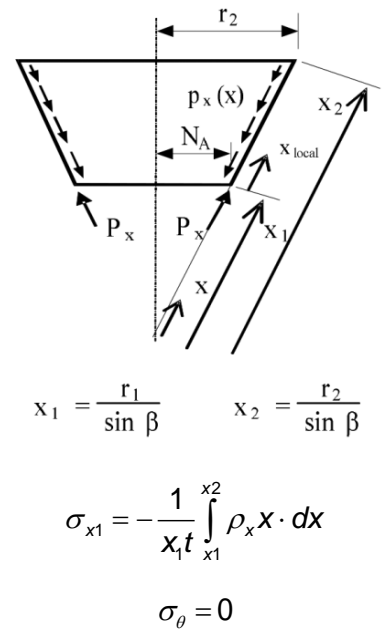
A.3.1 Tải trọng dọc trục phân bố đều



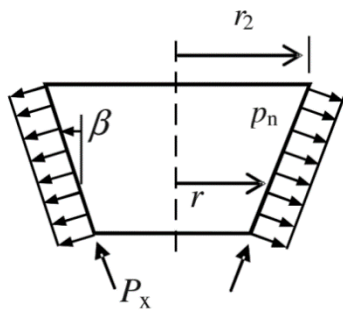
A.3.2 Tải trọng dọc trục do uốn tổng thể



A.3.3 Tải trọng ma sát



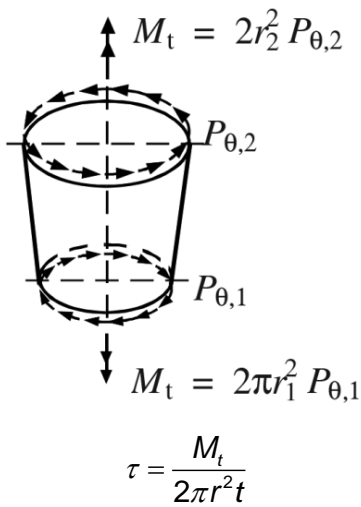
A.3.4 Áp lực bên trong phân bố đều



$$\sigma_x = -p_n \cdot \frac{r}{2t \cos \beta} \cdot \left(\frac{r_2}{r}\right)^2$$

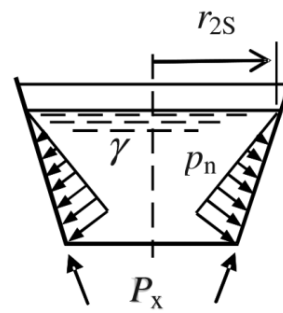
$$\sigma_\theta = p_n \cdot \frac{r}{t \cdot \cos \beta}$$

A.3.6 Áp lực bên trong phân bố đều



$$\tau = \frac{M_t}{2\pi r^2 t}$$

A.3.5 Áp lực bên trong thay đổi

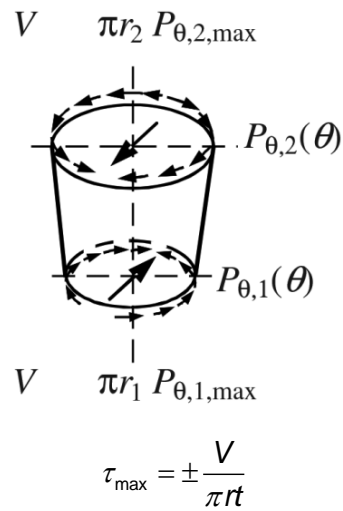


r_{2s} là bán kính tại mặt chất lỏng

$$\sigma_x = -\frac{\gamma r}{t \cdot \sin \beta} \left\{ \frac{r_{2s}}{6} \left[\left(\frac{r_{2s}}{r}\right)^2 - 3 \right] + \frac{r}{3} \right\}$$

$$\sigma_\theta = +\frac{\gamma r}{t \cdot \sin \beta} (r_{2s} - r)$$

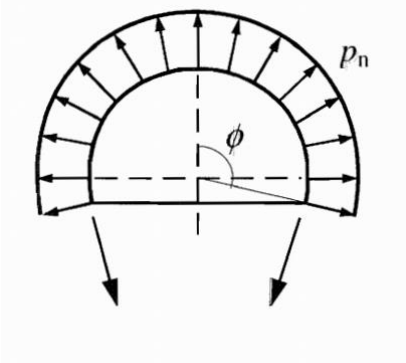
A.3.7 Áp lực bên trong thay đổi



$$\tau_{\max} = \pm \frac{V}{\pi r t}$$

A.4 Vỏ cầu không tăng cứng

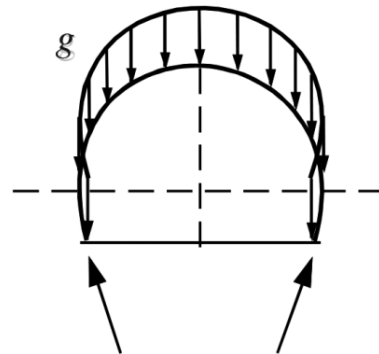
A.4.1 Áp lực bên trong phân bố đều



$$\sigma_x = \frac{p_n r}{2t}$$

$$\sigma_\theta = \frac{p_n r}{2t}$$

A.4.2 Tải trọng bản thân phân bố đều



$$\sigma_x = -\frac{gr}{t} \left(\frac{1}{1 + \cos \phi} \right)$$

$$\sigma_\theta = -\frac{gr}{t} \left(\cos \phi - \frac{1}{1 + \cos \phi} \right)$$

Phụ lục B
(tham khảo)

Các biểu thức bổ sung cho độ bền phá hoại dẻo

B.1 Quy định chung

B.1.1 Độ bền

Độ bền tính được bằng các biểu thức trong Phụ lục này có thể giả thiết là đảm bảo các giá trị đặc trưng của độ bền, khi lấy các giá trị đặc trưng của các thông số hình học và của các tính chất vật liệu.

B.1.2 Ký hiệu

Ký hiệu được sử dụng trong Phụ lục này cho các kích thước hình học, các ứng suất và tải trọng lấy theo 1.4. Ngoài ra, sử dụng thêm các ký hiệu sau.

Các chữ cái Latin viết hoa

A_r diện tích tiết diện ngang của sườn vòng

P_R giá trị đặc trưng của độ bền cơ chế dẻo theo lý thuyết biến dạng nhỏ

Các chữ cái Latin viết thường

b chiều dày sườn vòng

l chiều dài hiệu dụng của vỏ tác dụng lên sườn vòng

r bán kính vỏ trụ

s_e thông số ứng suất tương đương Von Mises không thứ nguyên

s_m thông số ứng suất tổ hợp không thứ nguyên

s_x thông số ứng suất dọc trục không thứ nguyên

s_θ thông số ứng suất theo phương vòng không thứ nguyên

Các chỉ số dưới

r liên quan tới sườn vòng

R độ bền

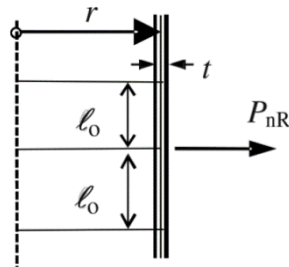
B.1.3 Các điều kiện biên

(1) Các ký hiệu điều kiện biên lấy theo 5.2.2.

(2) Thuật ngữ “ngàm” tham chiếu tới BC1r và thuật ngữ “khớp” tham chiếu tới BC2f.

B.2 Vỏ trụ không tăng cứng

B.2.1 Vỏ trụ: tải trọng đường theo phương đường kính



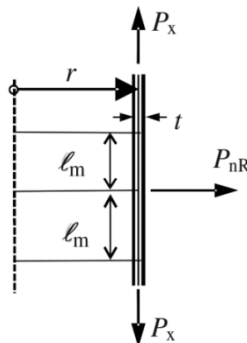
Các số lượng tham chiếu:

$$l_0 = 0,975\sqrt{rt}$$

Độ bền dẻo P_{nR} (lực trên đơn vị vòng tròn) được xác định bằng công thức:

$$\frac{P_{nR}}{2l_0} = f_y \frac{t}{r}$$

B.2.2 Vỏ trụ: tải trọng đường theo phương đường kính và tải trọng dọc trục



Số lượng tham chiếu:

$$s_x = \frac{P_x}{f_y t} \quad l_0 = 0,975\sqrt{rt}$$

Miền áp dụng:

$$-1 \leq s_x \leq +1$$

Các thông số phụ thuộc:

Nếu $P_n > 0$ (hướng ra ngoài) thì $A = +s_x - 1,50$

Nếu $P_n < 0$ (hướng vào trong) thì $A = -s_x - 1,50$

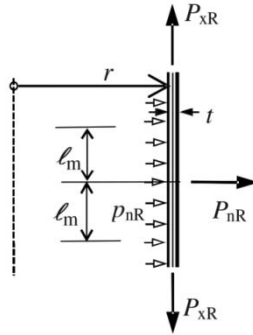
$$s_m = A + \sqrt{A^2 + 4(1 - s_x^2)}$$

Nếu $s_x \neq 0$ thì $l_m = s_m l_0$

Độ bền dẻo P_{nR} (lực trên đơn vị vòng tròn) được xác định bằng công thức:

$$\frac{P_{nR}}{2\ell_m} = f_y \frac{t}{r}$$

B.2.3 Vô trụ: tải trọng theo đường radian, áp lực bên trong không đổi và tải trọng dọc trục



Số lượng tham chiếu:

$$s_x = \frac{P_x}{f_y t} \qquad s_\theta = \frac{P_n}{f_y} \cdot \frac{r}{t}$$

$$\ell_0 = 0,975\sqrt{rt} \qquad s_e = \sqrt{s_\theta^2 + s_x^2} - s_x s_\theta$$

Miền áp dụng:

$$-1 \leq s_x \leq +1 \qquad -1 \leq s_\theta \leq +1$$

Các thông số phụ thuộc:

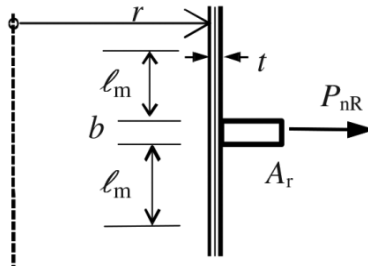
Tải trọng theo phương vòng hướng ra ngoài $P_n > 0$		Tải trọng theo phương vòng hướng vào trong $P_n < 0$	
Điều kiện	Biểu thức	Điều kiện	Biểu thức
$s_e < 1,00$ và $s_\theta \leq 0,975$	$A = +s_x - 2s_\theta - 1,50$ $s_m = A + \sqrt{A^2 + 4(1 - s_e^2)}$ $\ell_m = \ell_0 \left(\frac{s_m}{1 - s_\theta} \right)$	$s_e < 1,00$ và $s_\theta \geq -0,975$	$A = -s_x + 2s_\theta - 1,50$ $s_m = A + \sqrt{A^2 + 4(1 - s_e^2)}$ $\ell_m = \ell_0 \left(\frac{s_m}{1 + s_\theta} \right)$
$s_e = 1,00$ hoặc $s_\theta > 0,975$	$\ell_m = 0,0$	$s_e = 1,00$ hoặc $s_\theta < -0,975$	$\ell_m = 0,0$

Độ bền dẻo được xác định bằng công thức (P_n và p_n luôn dương và hướng ra ngoài):

$$\frac{P_{nR}}{2\ell_m} + p_n = f_y \frac{t}{r}$$

B.3 Vỏ trụ có dầm vòng tăng cứng

B.3.1 Vỏ trụ có dầm vòng tăng cứng: tải trọng đường theo phương đường kính

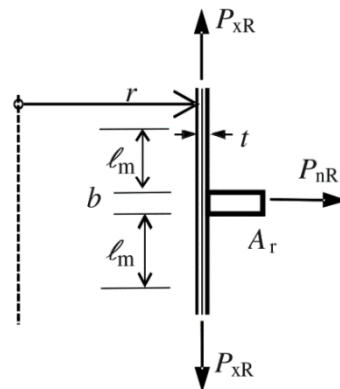


Độ bền dẻo P_{nR} (lực trên đơn vị vòng tròn) được xác định bằng công thức:

$$P_{nR} = f_y \left(\frac{A_r + (b + 2\ell_m)t}{r} \right)$$

$$\ell_m = \ell_0 = 0,975\sqrt{rt}$$

B.3.2 Vỏ trụ tròn có dầm vòng tăng cứng: tải trọng đường theo phương đường kính và tải trọng dọc trục



Số lượng tham chiếu:

$$s_x = \frac{P_x}{f_y t} \quad \ell_0 = 0,975\sqrt{rt}$$

Miền áp dụng:

$$-1 \leq s_x \leq +1$$

Các thông số phụ thuộc:

$$\text{Nếu } P_n > 0 \text{ thì } A = +s_x - 1,50$$

$$\text{Nếu } P_n < 0 \text{ thì } A = -s_x - 1,50$$

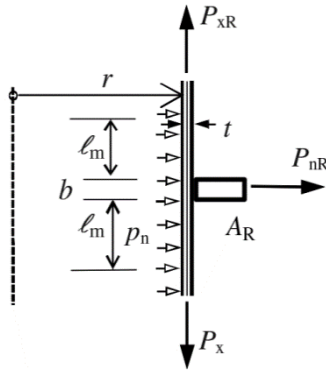
$$s_m = A + \sqrt{A^2 + 4(1 - s_x^2)}$$

$$\text{Nếu } s_x \neq 0 \text{ thì } \ell_m = s_m \ell_0$$

Độ bền dẻo P_{nR} (lực trên đơn vị vòng tròn) được xác định bằng công thức:

$$P_{nR} = f_y \left(\frac{A_r + (b + 2\ell_m)^t}{r} \right)$$

B.3.3 Vỏ trụ tròn có dầm vòng tăng cứng: tải trọng đường theo phương đường kính, áp lực bên trong không đổi và tải trọng dọc trục



Số lượng tham chiếu:

$$s_x = \frac{P_x}{f_y t}$$

$$s_\theta = \frac{p_n \cdot r}{f_y t}$$

$$\ell_0 = 0,975 \sqrt{rt}$$

$$s_e = \sqrt{s_\theta^2 + s_x^2 - s_x s_\theta}$$

Miền áp dụng:

$$-1 \leq s_x \leq +1$$

$$-1 \leq s_\theta \leq +1$$

Các thông số phụ thuộc:

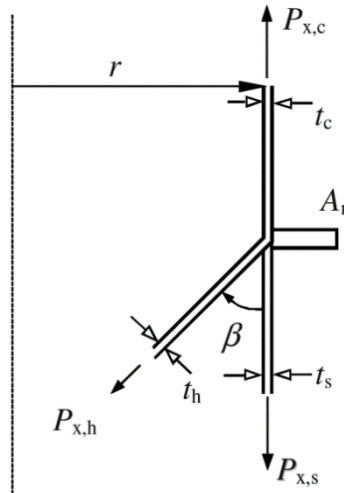
Tải trọng theo phương vòng hướng ra ngoài $P_n > 0$		Tải trọng theo phương vòng hướng vào trong $P_n < 0$	
Điều kiện	Biểu thức	Điều kiện	Biểu thức
$s_e < 1,00$ và $s_\theta \leq 0,975$	$A = +s_x - 2s_\theta - 1,50$ $s_m = A + \sqrt{A^2 + 4(1 - s_e^2)}$ $\ell_m = \ell_0 \left(\frac{s_m}{1 - s_\theta} \right)$	$s_e < 1,00$ và $s_\theta \geq -0,975$	$A = -s_x + 2s_\theta - 1,50$ $s_m = A + \sqrt{A^2 + 4(1 - s_e^2)}$ $\ell_m = \ell_0 \left(\frac{s_m}{1 + s_\theta} \right)$
$s_e = 1,00$ hoặc $s_\theta > 0,975$	$\ell_m = 0,0$	$s_e = 1,00$ hoặc $s_\theta < -0,975$	$\ell_m = 0,0$

Độ bền dẻo được xác định theo công thức (P_n và P_n luôn dương và hướng ra ngoài):

$$P_{nR} + p_n(b + 2\ell_m) = f_y \left(\frac{A_r + (b + 2\ell_m)t}{r} \right)$$

B.4 Các đường giao nhau giữa các vỏ

B.4.1 Các đường giao nhau chỉ chịu tải trọng đường sinh (đơn giản)



Miền áp dụng:

$$t_c^2 \leq t_s^2 + t_h^2 \quad |P_{xs}| \ll t_s f_y, \quad |P_{xh}| \ll t_h f_y, \quad \text{và} \quad |P_{xc}| \ll t_c f_y$$

Các thông số phụ thuộc:

$$\eta = \sqrt{\frac{t_c^2}{t_s^2 + t_h^2}} \quad \psi_s = \psi_h = 0,7 + 0,6\eta^2 - 0,3\eta^3$$

$$\text{Đối với vỏ trụ } \ell_{oc} = 0,975\sqrt{rt_c}$$

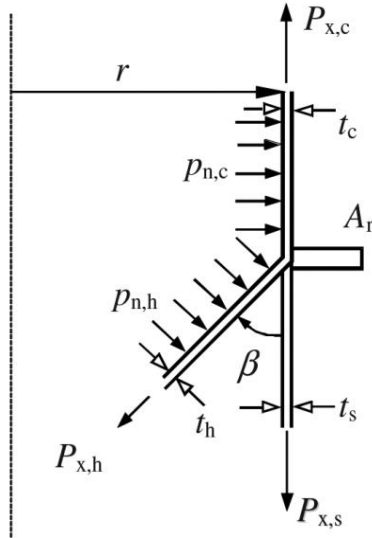
$$\text{Đối với rào bảo vệ } \ell_{os} = 0,975\psi_s\sqrt{rt_s}$$

$$\text{Đối với đoạn vỏ nón } \ell_{oh} = 0,975\psi_h\sqrt{\frac{rt_h}{\cos\beta}}$$

Độ bền dẻo được xác định bằng công thức:

$$P_{xhR} r \sin\beta = f_y (A_r + \ell_{oc}t_c + \ell_{os}t_s + \ell_{oh}t_h)$$

B.4.2 Giao nhau chịu áp lực bên trong và tải trọng dọc trục



Số lượng tham chiếu:

$$s_{xc} = \frac{P_{xc}}{f_y t_c} \quad s_{xs} = \frac{P_{xs}}{f_y t_s} \quad s_{xh} = \frac{P_{xh}}{f_y t_h}$$

$$s_{\theta c} = \frac{p_{nc}}{f_y} \cdot \frac{r}{t_c} \quad s_{\theta s} = 0 \quad s_{\theta h} = \frac{p_{nh}}{f_y} \cdot \frac{r}{t_h \cdot \cos \beta}$$

Khi $i = c, s, h$ (lần lượt) $s_{ei} = \sqrt{s_{\theta i}^2 + s_{xi}^2} - s_{xi} s_{\theta i}$

Miền áp dụng

$$-1 \leq s_{x,i} \leq +1 \quad -1 \leq s_{\theta,i} \leq +1$$

Đánh giá (xác định) chiều dày tương đương:

Nhóm các bản dưới dày hơn $t_c^2 \leq t_s^2 + t_h^2$	Nhóm các bản trên dày hơn $t_c^2 > t_s^2 + t_h^2$
$\eta = \sqrt{\frac{t_c^2}{t_s^2 + t_h^2}}$ $\psi_c = 1,0$ $\psi_s = \psi_h = 0,7 + 0,6\eta^2 - 0,3\eta^3$	$\eta = \sqrt{\frac{t_s^2 + t_h^2}{t_c^2}}$ $\psi_c = 0,7 + 0,6\eta^2 - 0,3\eta^3$ $\psi_s = \psi_h = 1,0$

Các thông số phụ thuộc:

Đối với đoạn vỏ trụ $l_{oi} = 0,975 \psi_i \sqrt{rt_i}$

Đối với đoạn vỏ nón $l_{oh} = 0,975 \psi_h \sqrt{\frac{rt_i}{\cos \beta}}$

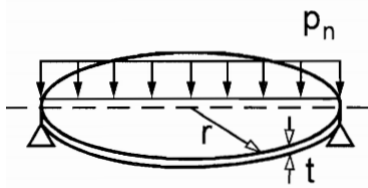
Đối với mỗi đoạn vỏ thứ i riêng biệt	
Điều kiện	Biểu thức
$s_{ei} < 1,0$ và $s_{\theta i} \geq -0,975$	$A_i = -s_{xi} + 2s_{\theta i} - 1,50$ $s_{mi} = A_i + \sqrt{A_i^2 + 4(1 - s_{ei}^2)}$ $l_{mi} = l_{\theta i} \left(\frac{s_{mi}}{1 + s_{\theta i}} \right)$
$s_{ei} = 1,0$	$l_{mi} = 0,0$
$s_{\theta i} < -0,975$	$l_{mi} = 0,0$

Độ bền dẻo được xác định bằng công thức:

$$p_{xhR} r \sin \beta = f_y (A_r + l_{mc} t_c + l_{ms} t_s + l_{mh} t_h) + r (p_{nc} l_{mc} + p_{nh} l_{mh} \cos \beta)$$

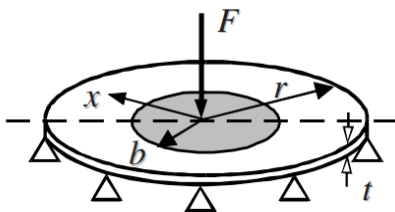
B.5 Bán tròn có các điều kiện biên đối xứng trục

B.5.1 Tải trọng phân bố đều, biên tựa đơn giản



$$p_{n,R} = 1,625 \left(\frac{t}{r} \right)^2 f_y$$

B.5.2 Tải trọng phân bố cục bộ, biên tựa đơn giản



$$F_R = K \frac{\pi}{2} t^2 f_y$$

Áp lực phân bố đều p_n lên diện tích tròn với bán kính b

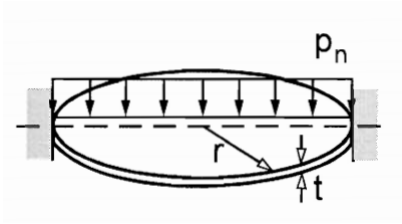
$$F = p_n \pi b^2$$

với

$$K = 1,0 + 1,0 \frac{b}{r} + 1,15 \left(\frac{b}{r} \right)^4 \text{ hoặc } K = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \frac{b}{t}$$

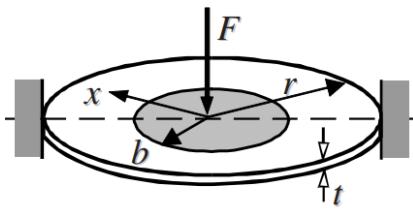
tùy theo giá trị nào nhỏ hơn

B.5.3 Tải trọng phân bố đều, biên ngàm



$$p_{n,R} = 3,125 \left(\frac{t}{r} \right)^2 f_y$$

B.5.4 Tải trọng phân bố cục bộ, biên ngàm



$$F_R = K \frac{\pi}{2} t^2 f_y$$

Áp lực phân bố đều p_n lên diện tích tròn với bán kính b

$$F = p_n \pi b^2$$

với

$$K = 1,40 + 2,85 \frac{b}{r} + 2,0 \left(\frac{b}{r} \right)^4 \text{ hoặc } K = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \frac{b}{t}$$

tùy theo giá trị nào nhỏ hơn

Phụ lục C (tham khảo)

Các biểu thức cho ứng suất màng đàn hồi tuyến tính và ứng suất uốn

C.1 Quy định chung

C.1.1 Hiệu ứng tác động

Hiệu ứng tác động tính được bằng các biểu thức trong Phụ lục này có thể giả thiết là đảm bảo các giá trị đặc trưng của hiệu ứng tác động, khi lấy các giá trị đặc trưng của tác động, của các thông số hình học và của các tính chất vật liệu

C.1.2 Ký hiệu

Các ký hiệu sử dụng trong Phụ lục này cho các kích thước hình học, ứng suất và tải trọng lấy theo 1.4. Ngoài ra, sử dụng các ký hiệu bổ sung sau:

Các chữ cái Latin viết thường

b bán kính mà tại đó tải trọng cục bộ tác dụng lên bản tròn bị dừng

r bán kính ngoài của bản tròn

x tọa độ trục trên vỏ trụ hoặc tọa độ cực trên bản tròn

Các chữ cái Hi Lạp viết thường:

$\sigma_{eq,m}$ ứng suất tương đương Von Mises chỉ liên quan tới các thành phần ứng suất màng

$\sigma_{eq,s}$ ứng suất tương đương Von Mises thu được từ ứng suất bề mặt

σ_{MT} ứng suất tham chiếu thu được từ lý thuyết màng

σ_{bx} ứng suất uốn theo phương đường sinh

$\sigma_{b\theta}$ ứng suất uốn theo phương vòng

σ_{sx} ứng suất bề mặt theo phương đường sinh

$\sigma_{s\theta}$ ứng suất bề mặt theo phương vòng

τ_{xn} ứng suất cắt ngang liên quan tới uốn theo phương đường sinh

Các chỉ số:

n vuông góc

r liên quan tới sườn vòng

y giá trị chảy dẻo đầu tiên

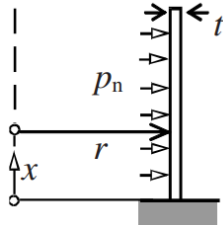
C.1.3 Các điều kiện biên

(1) Các ký hiệu cho điều kiện biên được lấy theo 5.2.2.

(2) Thuật ngữ “ngàm” tham chiếu tới BC1r và thuật ngữ “khớp” tham chiếu tới BC2f.

C.2 Vô trụ không tăng cứng có đáy ngàm

C.2.1 Vô trụ, ngàm: áp lực bên trong không đổi

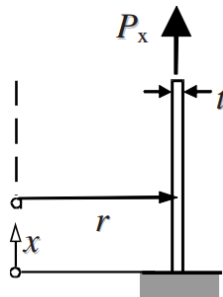


$$\sigma_{MT\theta} = p_n \frac{r}{t}$$

BC1r

σ_{sx} lớn nhất	$\sigma_{s\theta}$ lớn nhất	τ_{xn} lớn nhất	$\sigma_{eq,s}$ lớn nhất	$\sigma_{eq,m}$ lớn nhất
$\pm 1,816 \sigma_{MT\theta}$	$\pm 1,080 \sigma_{MT\theta}$	$1,169 \sqrt{t/r} \sigma_{MT\theta}$	$1,614 \sigma_{MT\theta}$	$1,043 \sigma_{MT\theta}$

C.2.2 Vô trụ, ngàm: tải trọng dọc trục

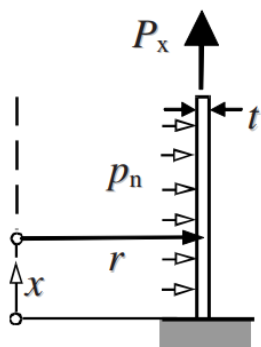


$$\sigma_{MTx} = \frac{P_x}{t}$$

BC1r

σ_{sx} lớn nhất	$\sigma_{s\theta}$ lớn nhất	τ_{xn} lớn nhất	$\sigma_{eq,s}$ lớn nhất	$\sigma_{eq,m}$ lớn nhất
$1,545 \sigma_{MTx}$	$+0,455 \sigma_{MTx}$	$0,351 \sqrt{t/r} \sigma_{MTx}$	$1,373 \sigma_{MTx}$	$1,000 \sigma_{MTx}$

C.2.3 Vô trụ, ngàm: áp lực bên trong phân bố đều kết hợp tải trọng dọc trục



$$\sigma_{MT\theta} = p_n \frac{r}{t}$$

$$\sigma_{MTx} = \frac{P_x}{t}$$

BC1r

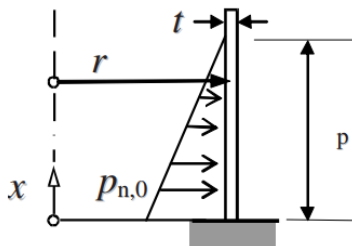
Giá trị lớn nhất $\sigma_{eq,m} = \sigma_{MT\theta} \sqrt{1 - \left(\frac{\sigma_{MTx}}{\sigma_{MT\theta}}\right) + \left(\frac{\sigma_{MTx}}{\sigma_{MT\theta}}\right)^2}$

Giá trị lớn nhất $\sigma_{eq,m} = k \sigma_{MT\theta}$

$\left(\frac{\sigma_{MTx}}{\sigma_{MT\theta}}\right)$	-2,0	0	0	2,0
	Khống chế bề mặt ngoài		Khống chế bề mặt trong	
k	4,360	1,614	1,614	2,423

Nội suy tuyến tính có thể được sử dụng cho các giá trị có cùng khống chế bề mặt như nhau.

C.2.4 Vô trụ, đáy ngàm: áp lực thủy tĩnh bên trong



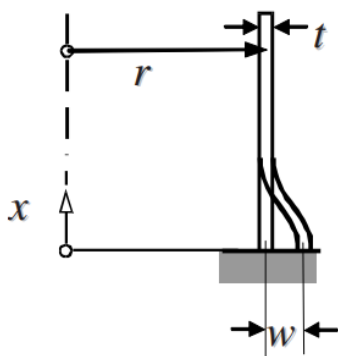
$$\sigma_{MT\theta} = p_{n,0} \frac{r}{t}$$

BC1r

σ_{sx} lớn nhất	$\sigma_{s\theta}$ lớn nhất	τ_{xn} lớn nhất	$\sigma_{eq,s}$ lớn nhất	$\sigma_{eq,m}$ lớn nhất
$k_x \sigma_{MT\theta}$	$k_\theta \sigma_{MT\theta}$	$k_\tau \sqrt{t/r} \sigma_{MT\theta}$	$k_{eq,s} \sigma_{MT\theta}$	$k_{eq,m} \sigma_{MT\theta}$

$\sqrt{\frac{rt}{l_p}}$	k_x	k_θ	k_τ	$k_{eq,s}$	$k_{eq,m}$
0,0	1,816	1,080	1,169	1,614	1,043
0,2	1,533	0,733	1,076	1,363	0,647

C.2.5 Vô trụ, đáy ngàm: chuyển vị theo phương đường kính hướng ra ngoài



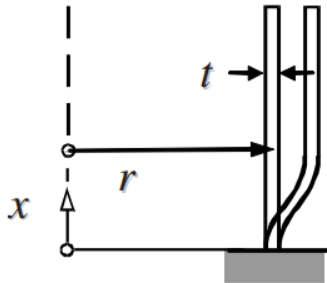
$$\sigma_{MT\theta} = \frac{wE}{r}$$

BC1r

σ_{sx} lớn nhất	$\sigma_{s\theta}$ lớn nhất	τ_{xn} lớn nhất	$\sigma_{eq,s}$ lớn nhất	$\sigma_{eq,m}$ lớn nhất
------------------------	-----------------------------	----------------------	--------------------------	--------------------------

$1,816 \sigma_{MT\theta}$	$1,545 \sigma_{MT\theta}$	$1,169 \sqrt{t/r} \sigma_{MT\theta}$	$2,081 \sigma_{MT\theta}$	$1,000 \sigma_{MT\theta}$
---------------------------	---------------------------	--------------------------------------	---------------------------	---------------------------

C.2.6 Vô trụ, đáy ngàm: nhiệt độ tăng đều



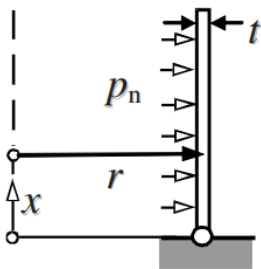
$$\sigma_{MT\theta} = \alpha ET$$

BC1r

σ_{sx} lớn nhất	$\sigma_{s\theta}$ lớn nhất	τ_{xn} lớn nhất	$\sigma_{eq,s}$ lớn nhất	$\sigma_{eq,m}$ lớn nhất
$1,816 \sigma_{MT\theta}$	$1,545 \sigma_{MT\theta}$	$1,169 \sqrt{t/r} \sigma_{MT\theta}$	$2,081 \sigma_{MT\theta}$	$1,000 \sigma_{MT\theta}$

C.3 Vô trụ không tăng cứng có đáy liên kết khớp

C.3.1 Vô trụ, đáy khớp: áp lực bên trong phân bố đều

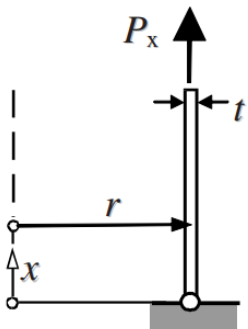


$$\sigma_{MT\theta} = p_n \frac{r}{t}$$

BC1f

σ_{sx} lớn nhất	$\sigma_{s\theta}$ lớn nhất	τ_{xn} lớn nhất	$\sigma_{eq,s}$ lớn nhất	$\sigma_{eq,m}$ lớn nhất
$\pm 0,585 \sigma_{MT\theta}$	$+1,125 \sigma_{MT\theta}$	$0,583 \sqrt{t/r} \sigma_{MT\theta}$	$1,126 \sigma_{MT\theta}$	$1,067 \sigma_{MT\theta}$

C.3.2 Vô trụ, đáy khớp: tải trọng dọc trục

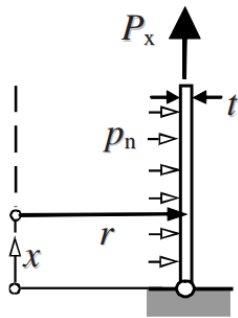


$$\sigma_{MTx} = \frac{P_x}{t}$$

BC1f

σ_{sx} lớn nhất	$\sigma_{s\theta}$ lớn nhất	τ_{xn} lớn nhất	$\sigma_{eq,s}$ lớn nhất	$\sigma_{eq,m}$ lớn nhất
$+1,176\sigma_{MTx}$	$+0,300\sigma_{MTx}$	$0,175\sqrt{t/r}\sigma_{MTx}$	$1,118\sigma_{MTx}$	$1,010\sigma_{MTx}$

C.3.3 Vỏ trụ, đáy khớp: áp lực bên trong phân bố đều kết hợp tải trọng dọc trục



$$\sigma_{MT\theta} = p_n \frac{r}{t}$$

$$\sigma_{MTx} = \frac{P_x}{t}$$

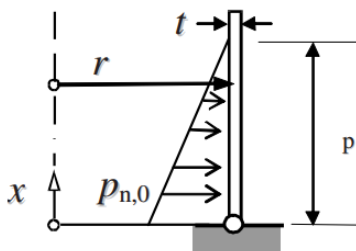
BC1f

Giá trị lớn nhất $\sigma_{eq,m} = \sigma_{MTx} \sqrt{1 - \left(\frac{\sigma_{MTx}}{\sigma_{MT\theta}}\right) + \left(\frac{\sigma_{MTx}}{\sigma_{MT\theta}}\right)^2}$

Giá trị lớn nhất $\sigma_{eq,m} = k \sigma_{MT\theta}$

$\left(\frac{\sigma_{MTx}}{\sigma_{MT\theta}}\right)$	-2,0	-1,0	-0,5	0,0	0,25	0,5	1,0	2,0
k	3,146	3,075	1,568	1,126	0,971	0,991	1,240	1,943

C.3.4 Vỏ trụ, đáy khớp: áp lực thủy tĩnh bên trong



$$\sigma_{MT\theta} = p_{n,0} \frac{r}{t}$$

BC1f

σ_{sx} lớn nhất	$\sigma_{s\theta}$ lớn nhất	τ_{xn} lớn nhất	$\sigma_{eq,s}$ lớn nhất	$\sigma_{eq,m}$ lớn nhất
$k_x \sigma_{MT\theta}$	$k_\theta \sigma_{MT\theta}$	$k_\tau \sqrt{t/r} \sigma_{MT\theta}$	$k_{eq,s} \sigma_{MT\theta}$	$k_{eq,m} \sigma_{MT\theta}$

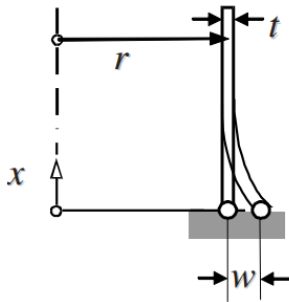
$\sqrt{\frac{rt}{l_p}}$	k_x	k_θ	k_τ	$k_{eq,s}$	$k_{eq,m}$
-------------------------	-------	------------	----------	------------	------------

TCVN X1993-1-6:202x

0,0	0,585	1,125	0,583	1,126	1,067
0,2	0,585	0,873	0,583	0,919	0,759

Giá trị $\sqrt{\frac{rt}{\ell_p}}$ có thể được nội suy tuyến tính cho các giá trị ℓ_p khác nhau.

C.3.5 Vô trụ, đáy khớp: chuyển vị theo phương đường kính hướng ra ngoài

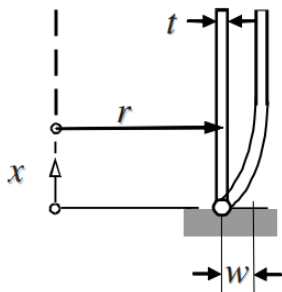


$$\sigma_{MT\theta} = \frac{wE}{r}$$

BC1f

σ_{sx} lớn nhất	$\sigma_{s\theta}$ lớn nhất	τ_{xn} lớn nhất	$\sigma_{eq,s}$ lớn nhất	$\sigma_{eq,m}$ lớn nhất
$\pm 0,585 \sigma_{MT\theta}$	$1,000 \sigma_{MT\theta}$	$0,583 \sqrt{t/r} \sigma_{MT\theta}$	$1,000 \sigma_{MT\theta}$	$1,000 \sigma_{MT\theta}$

C.3.6 Vô trụ, đáy khớp: nhiệt độ tăng đều



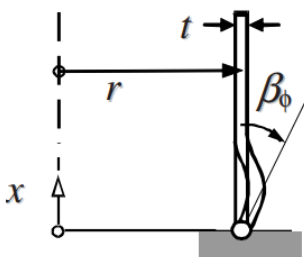
$$\sigma_{MT\theta} = \alpha ET$$

$$w = \alpha r T$$

BC1f

σ_{sx} lớn nhất	$\sigma_{s\theta}$ lớn nhất	τ_{xn} lớn nhất	$\sigma_{eq,s}$ lớn nhất	$\sigma_{eq,m}$ lớn nhất
$\pm 0,585 \sigma_{MT\theta}$	$1,000 \sigma_{MT\theta}$	$0,583 \sqrt{t/r} \sigma_{MT\theta}$	$1,000 \sigma_{MT\theta}$	$1,000 \sigma_{MT\theta}$

C.3.7 Vô trụ, đáy khớp: biên xoay



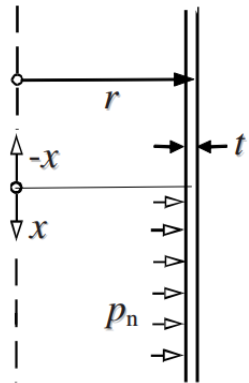
$$\sigma_{MT\theta} = E \sqrt{\frac{t}{r}} \times \beta_\phi$$

BC1f

σ_{sx} lớn nhất	$\sigma_{s\theta}$ lớn nhất	τ_{xn} lớn nhất	$\sigma_{eq,s}$ lớn nhất	$\sigma_{eq,m}$ lớn nhất
$\pm 1,413 \sigma_{MT\theta}$	$0,470 \sigma_{MT\theta}$	$0,454 \sqrt{t/r} \sigma_{MT\theta}$	$1,255 \sigma_{MT\theta}$	$0,251 \sigma_{MT\theta}$

C.4 Các điều kiện bên trong của vỏ trụ không tăng cứng

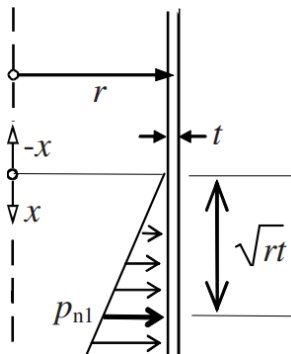
C.4.1 Vỏ trụ: áp lực bên trong thay đổi từng nấc



$$\sigma_{MT\theta} = p_n \frac{r}{t}$$

σ_{sx} lớn nhất	$\sigma_{s\theta}$ lớn nhất	τ_{xn} lớn nhất	$\sigma_{eq,s}$ lớn nhất	$\sigma_{eq,m}$ lớn nhất
$\pm 0,293 \sigma_{MT\theta}$	$1,062 \sigma_{MT\theta}$	$0,467 \sqrt{t/r} \sigma_{MT\theta}$	$1,056 \sigma_{MT\theta}$	$1,033 \sigma_{MT\theta}$

C.4.2 Vỏ trụ: áp lực thủy tĩnh bên trong bị dẹt



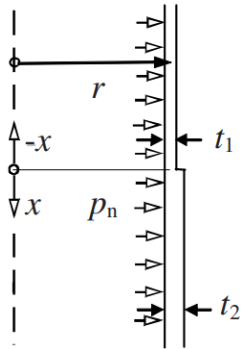
$$\sigma_{MT\theta} = p_{n1} \frac{r}{t}$$

p_{n1} là áp lực tại chiều sâu bằng \sqrt{rt} tính từ bề mặt

σ_{sx} lớn nhất	$\sigma_{s\theta}$ lớn nhất	τ_{xn} lớn nhất	$\sigma_{eq,s}$ lớn nhất	$\sigma_{eq,m}$ lớn nhất
$k_x \sigma_{MT\theta}$	$k_\theta \sigma_{MT\theta}$	$k_\tau \sqrt{t/r} \sigma_{MT\theta}$	$k_{eq,s} \sigma_{MT\theta}$	$k_{eq,m} \sigma_{MT\theta}$

k_x	k_θ	k_τ	$k_{eq,s}$	$k_{eq,m}$
-1,060	0,510	0,160	1,005	0,275

C.4.3 Vô trụ: chiều dày thành thay đổi từng bậc



$$\sigma_{MT\theta} = p_n \frac{r}{t_1}$$

σ_{sx} lớn nhất	$\sigma_{s\theta}$ lớn nhất	τ_{xn} lớn nhất	$\sigma_{eq,s}$ lớn nhất	$\sigma_{eq,m}$ lớn nhất
$k_x \sigma_{MT\theta}$	$k_\theta \sigma_{MT\theta}$	$k_r \sqrt{t/r} \sigma_{MT\theta}$	$k_{eq,s} \sigma_{MT\theta}$	$k_{eq,m} \sigma_{MT\theta}$

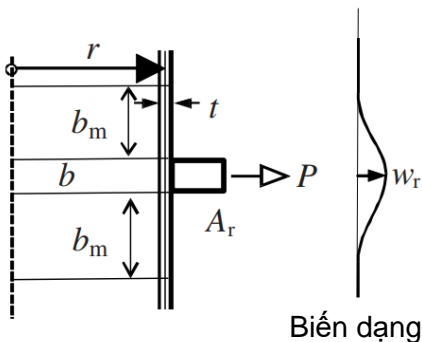
$\left(\frac{t_1}{t_2}\right)$	k_x	k_θ	k_r	$k_{eq,s}$	$k_{eq,m}$
1,0	0,0	1,0	0,0	1,0	1,0
0,8	0,0256	1,010	0,179	1,009	0,895
0,667	0,0862	1,019	0,349	1,015	0,815
0,571	0,1680	1,023	0,514	1,019	0,750
0,500	0,2600	1,027	0,673	1,023	0,694

C.5 Sườn cứng vòng trong vô trụ

C.5.1 Vô trụ có sườn vòng tăng cứng: lực theo phương đường kính trong sườn vòng

Các ứng suất trong vỏ cần được xác định có sử dụng giá trị w tính được mà đã đưa vào trong các biểu thức nêu trong C.2.5.

Khi thành vỏ có sự thay đổi chiều dày tại vị trí sườn vòng, cần sử dụng phương pháp nêu trong 8.2.2 của TCVN X1993-4-1.

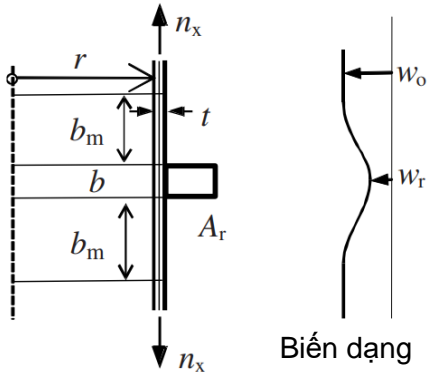


$$w = w_r \quad \left(\frac{wE}{r}\right) = \frac{P \cdot r}{A_r + (b + 2b_m)t}$$

$$b_m = 0,778\sqrt{rt} \quad \sigma_{or} = \frac{P \cdot r}{A_r + (b + 2b_m)t}$$

C.5.2 Vỏ trụ có sườn vòng tăng cứng: tải trọng dọc trục

Các ứng suất trong vỏ cần được xác định có sử dụng giá trị w tính được theo mục này mà đã được đưa vào trong các biểu thức nêu trong C.2.5 và C.2.2.



$$\sigma_{MTx} = \frac{n_x}{t} \quad w_r = w_0 \frac{(b+2b_m)t}{A_r + (b+2b_m)t}$$

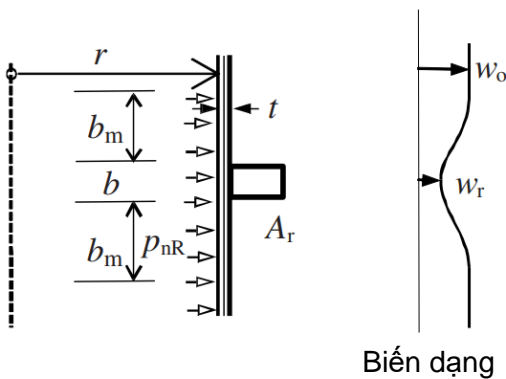
$$w = w_r - w_0 \quad w = -w_0 \frac{A_r}{A_r + (b+2b_m)t}$$

$$w_0 = -\nu \sigma_{MTx} \frac{r}{E} \quad \sigma_{\theta r} = E \frac{w_r}{r}$$

$$b_m = 0,778\sqrt{rt}$$

C.5.3 Vỏ trụ có sườn vòng tăng cứng: áp lực bên trong phân bố đều

Các ứng suất trong vỏ cần được xác định có sử dụng giá trị w tính được theo mục này mà đã được đưa vào trong các biểu thức nêu trong C.2.5 và C.2.1.



$$\sigma_{MT\theta} = \frac{p_n r}{t} \quad w_r = w_0 (1 - \kappa)$$

$$w = w_r - w_0 \quad w = -w_0 \kappa$$

$$w_0 = \sigma_{MT\theta} \frac{r}{E} \quad \kappa = \frac{A_r}{A_r + (b+2b_m)t}$$

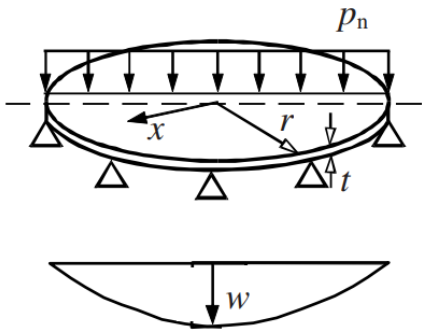
$$b_m = 0,778\sqrt{rt} \quad \sigma_{\theta r} = E \frac{w_r}{r}$$

σ_{sx} lớn nhất	$\sigma_{s\theta}$ lớn nhất	τ_{xn} lớn nhất	$\sigma_{eq,s}$ lớn nhất	$\sigma_{eq,m}$ lớn nhất
$k_x \sigma_{MT\theta}$	$k_\theta \sigma_{MT\theta}$	$k_\tau \sqrt{t/r} \sigma_{MT\theta}$	$k_{eq,s} \sigma_{MT\theta}$	$k_{eq,m} \sigma_{MT\theta}$

κ	k_x	k_θ	k_τ	$k_{eq,s}$	$k_{eq,m}$
1,0	1,816	1,080	1,169	1,614	1,043
0,75	1,312	1,060	0,877	1,290	1,032
0,50	0,908	1,040	0,585	1,014	1,021
0,0	0,0	1,000	0,0	1,000	1,000

C.6 Bản tròn với các điều kiện biên đối xứng trục

C.6.1 Bản có biên tựa do: tải trọng phân bố đều



Hình dạng võng

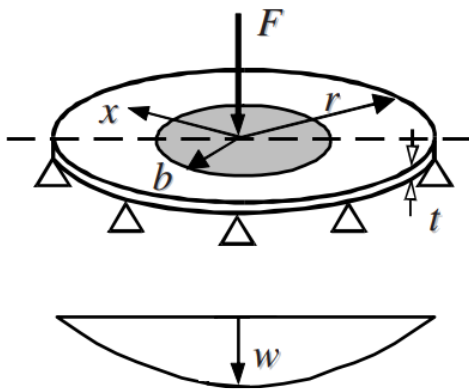
$$w = 0,696 \frac{p_n r^4}{Et^3}$$

$$\max. \sigma_{xb} = 1,238 p_n \left(\frac{r}{t}\right)^2$$

$$\max. \sigma_{\theta b} = 1,238 p_n \left(\frac{r}{t}\right)^2$$

$$p_{n,y} = 0,808 \left(\frac{t}{r}\right)^2 f_y$$

C.6.2 Bản có biên tựa tựa do: tải trọng cục bộ phân bố



Hình dạng võng

Áp lực phân bố đều p_n lên diện tích tròn với bán kính b

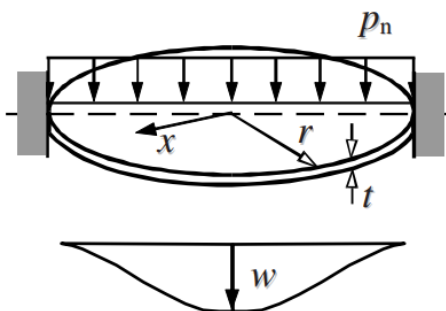
$$F = p_n \pi b^2 \quad b < 0,2 r$$

$$w = 0,606 \frac{F r^2}{Et^3}$$

$$\max. \sigma_{xb} = \max. \sigma_{\theta b} = 0,621 \frac{F}{t^2} \left(\ln \frac{b}{r} + 0,769 \right)$$

$$F_y = 1,611 \frac{t^2}{\left(\ln \frac{b}{r} + 0,769 \right)} f_y$$

C.6.3 Bản có biên ngàm: tải trọng phân bố đều



Hình dạng võng

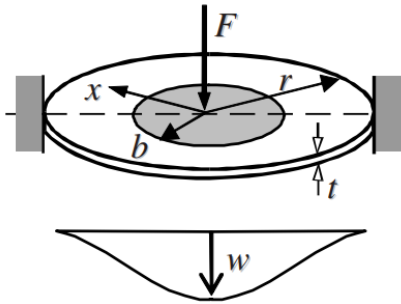
$$w = 0,171 \frac{p_n r^4}{Et^3}$$

$$\sigma_0 = p_n \left(\frac{r}{t}\right)^2$$

$$p_{n,y} = 1,50 \left(\frac{t}{r}\right)^2 f_y \text{ (tại mép)}$$

σ_{bx} lớn nhất tại tâm	$\sigma_{b\theta}$ lớn nhất tại tâm	σ_{eq} lớn nhất tại tâm	σ_{bx} lớn nhất tại biên	$\sigma_{b\theta}$ lớn nhất tại biên	σ_{eq} lớn nhất tại biên
$0,488\sigma_0$	$0,488\sigma_0$	$0,488\sigma_0$	$0,75\sigma_0$	$0,225\sigma_0$	$0,667\sigma_0$

C.6.4 Bản có biên ngàm: tải trọng cục bộ phân bố



Hình dạng võng

Áp lực phân bố đều p_n lên diện tích tròn với bán kính b

$$F = p_n \pi b^2 \quad b < 0,2 r$$

$$w = 0,217 \frac{Fr^2}{Et^3}$$

$$\sigma_0 = \frac{F}{t^2} \quad F_y = 1,611 \frac{t^2}{\ln\left(\frac{b}{r}\right)} f_y \text{ tại tâm}$$

σ_{bx} lớn nhất tại tâm	$\sigma_{b\theta}$ lớn nhất tại tâm	σ_{eq} lớn nhất tại tâm	σ_{bx} lớn nhất tại mép	$\sigma_{b\theta}$ lớn nhất tại mép	σ_{eq} lớn nhất tại mép
$0,621 \left(\ln \frac{b}{r}\right) \sigma_0$	$0,621 \left(\ln \frac{b}{r}\right) \sigma_0$	$0,621 \left(\ln \frac{b}{r}\right) \sigma_0$	$0,477\sigma_0$	$0,143\sigma_0$	$0,424\sigma_0$

**Phụ lục D
(tham khảo)**

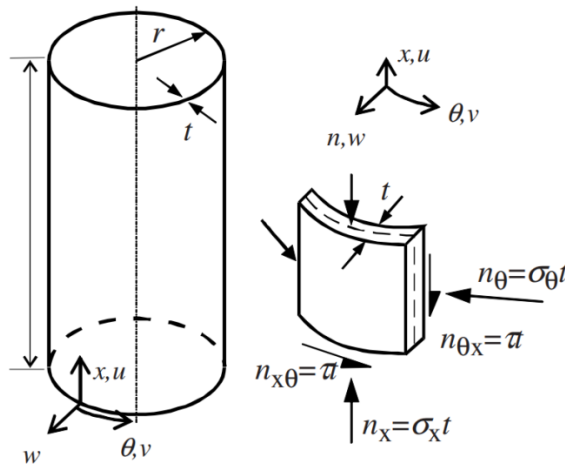
Các biểu thức cho ứng suất mất ổn định

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

D.1.1 Ký hiệu và các điều kiện biên

(1) Các ký hiệu hình học

- l chiều dài vỏ trụ giữa các biên xác định
- r bán kính mặt trung bình của vỏ trụ
- t chiều dày thành vỏ trụ
- Δw_k biên độ không hoàn hảo đặc trưng



Hình D.1 – Hình học của vỏ trụ, các ứng suất màng và các thành phần ứng suất

(2) Các điều kiện biên liên quan được nêu trong 2.3, 5.2.2 và 8.3.

D.1.2 Nén (dọc trục) theo phương đường sinh

D.1.2.1 Ứng suất mất ổn định tới hạn theo phương đường sinh

- (1) Các biểu thức sau đây chỉ có thể dùng cho vỏ có các điều kiện biên BC1 hoặc BC2 tại hai mép.
- (2) Chiều dài đoạn vỏ được đặc trưng bởi thông số chiều dài tương đối ω :

$$\omega = \frac{l}{r} \sqrt{\frac{r}{t}} = \frac{l}{\sqrt{rt}} \tag{D.1}$$

- (3) Ứng suất mất ổn định tới hạn đàn hồi theo phương đường sinh, sử dụng giá trị của C_x theo (4), (5) hoặc (6), cần được xác định theo công thức:

$$\sigma_{x,Rcr} = 0,605EC_x \frac{t}{r} \quad (D.2)$$

(4) Đối với vỏ trụ trung bình được xác định bởi điều kiện:

$$1,7 \leq \omega \leq 0,5 \frac{r}{t} \quad (D.3)$$

thì hệ số C_x cần được lấy bằng:

$$C_x = 1,0 \quad (D.4)$$

(5) Đối với vỏ trụ ngắn được xác định bởi điều kiện:

$$\omega \leq 1,7 \quad (D.5)$$

thì hệ số C_x có thể được lấy bằng:

$$C_x = 1,36 - \frac{1,83}{\omega} + \frac{2,07}{\omega^2} \quad (D.6)$$

(6) Đối với vỏ trụ dài được xác định bởi điều kiện:

$$\omega > 0,5 \frac{r}{t} \quad (D.7)$$

thì hệ số C_x cần được lấy bằng:

$$C_x = C_{x,N} \quad (D.8)$$

trong đó $C_{x,N}$ là giá trị lớn hơn trong các giá trị:

$$C_{x,N} = 1 + \frac{0,2}{C_{xb}} \left[1 - 2\omega \frac{t}{r} \right] \quad (D.9)$$

và

$$C_{x,N} = 0,60 \quad (D.10)$$

trong đó: C_{xb} là thông số phụ thuộc vào các điều kiện biên và được lấy theo Bảng D.1.

Bảng D.1 – Thông số C_{xb} cho hiệu ứng điều kiện biên lên ứng suất mất ổn định tới hạn đàn hồi theo phương đường sinh trong vỏ trụ dài

Trường hợp	Đầu vỏ trụ	Điều kiện biên	C_{xb}
1	Đầu 1	BC1	6
	Đầu 2	BC2	
2	Đầu 1	BC1	3
	Đầu 2	BC2	
3	Đầu 1	BC1	1
	Đầu 2	BC2	

(7) Đối với vỏ trụ dài như đã nêu trong (6) mà thỏa mãn các điều kiện bổ sung:

$$\frac{r}{t} \leq 150 \text{ và } \omega \leq 6 \left(\frac{r}{t} \right) \text{ và } 500 \leq \frac{E}{f_{y,k}} \leq 1000 \quad (D.11)$$

thì hệ số C_x có thể được xác định bằng công thức khác:

$$C_x = C_{x,N} \left(\frac{\sigma_{xE,N}}{\sigma_{xE}} \right) + \left(\frac{\sigma_{xE,M}}{\sigma_{xE}} \right) \quad (D.12)$$

trong đó:

σ_{xE} là giá trị thiết kế của ứng suất theo phương đường sinh $\sigma_{x,Ed}$;

$\sigma_{xE,N}$ là thành phần của $\sigma_{x,Ed}$ thu được từ thành phần ứng suất nén dọc (thành phần phân bố đều theo phương vòng);

$\sigma_{xE,M}$ là thành phần của $\sigma_{x,Ed}$ thu được từ uốn tổng thể ống (giá trị lớn nhất của thành phần thay đổi theo phương vòng);

Biểu thức đơn giản hơn sau đây cũng có thể được sử dụng thay cho biểu thức (D.12):

$$C_x = 0,60 + 0,40 \left(\frac{\sigma_{xE,M}}{\sigma_{xE}} \right) \quad (D.13)$$

D.1.2.2 Các thông số mất ổn định theo phương đường sinh

(1) Hệ số giảm độ không hoàn hảo đàn hồi theo phương đường sinh $\alpha_x = \alpha_{xG} \alpha_{xI}$ cần được xác định theo công thức:

$$\alpha_{xG} = 0.83 \quad (D.14a)$$

$$\alpha_{xI} = \frac{1}{1 + 2,2 (\Delta w_k / t)^{0,88}} \quad (D.14b)$$

Hệ số vùng dẻo β_x được xác định :

$$\beta_x = 1 - \frac{0,95}{1 + 1,2(\Delta w_k / t)} \quad (\text{D.14c})$$

Hệ số tương tác mũ tương tác η_x và độ cứng giới hạn χ_{xh} nên được lấy theo :

$$\eta_x = \frac{5.4}{1 + 4.6(\Delta w_k / t)} \quad \text{and} \quad \chi_{xh} = 1.0 \quad (\text{D.14d})$$

trong đó Δw_k là biên độ không hoàn hảo đặc trưng:

$$\Delta w_k = \frac{1}{Q} \sqrt{rt} \quad (\text{D.15})$$

trong đó Q là thông số chất lượng chế tạo khi nén theo đường sinh.

(2) Thông số chất lượng chế tạo Q cần được lấy theo Bảng D.2 phụ thuộc vào cấp chất lượng theo dung sai chế tạo quy định.

Bảng D.2 – Các giá trị của thông số chất lượng chế tạo Q

Cấp chất lượng theo dung sai chế tạo	Mô tả	Q
Cấp A	Tốt	40
Cấp B	Cao	25
Cấp C	Trung bình	16

(3) Độ mảnh nén dập giới hạn theo phương kính tuyến $\bar{\lambda}_{x0}$, hệ số miền dẻo β và hệ số mũ tương tác η cần được lấy như sau:

$$\bar{\lambda}_{x0} = 0,20 \quad (\text{D.16})$$

(4) Đối với vỏ trụ dài mà thỏa mãn các điều kiện đặc biệt trong D.1.2.1(7), độ mảnh giới hạn theo phương đường sinh $\bar{\lambda}_{x0}$ có thể được xác định theo công thức:

$$\bar{\lambda}_{x0} = 0,20 + 0,10 \left(\frac{\sigma_{xE,M}}{\sigma_{xE}} \right) \quad (\text{D.17})$$

trong đó:

σ_{xE} là giá trị thiết kế của ứng suất theo phương đường sinh $\sigma_{x,Ed}$;

$\sigma_{xE,M}$ là thành phần của $\sigma_{x,Ed}$ mà thu được từ uốn tổng thể ống (giá trị lớn nhất của thành phần thay đổi theo phương vòng).

(5) Không cần kiểm tra các vỏ trụ về mất ổn định kiểu bản theo phương đường sinh nếu chúng thỏa mãn điều kiện:

$$\frac{r}{t} \leq 0,03 \frac{E}{f_{yk}} \quad (\text{D.18})$$

D.1.3 Nén theo phương vòng

D.1.3.1 Ứng suất mất ổn định tới hạn theo phương vòng

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

(2) Chiều dài đoạn vỏ cần được đặc trưng bởi thông số chiều dài tương đối ω :

$$\omega = \frac{l}{r} \sqrt{\frac{r}{t}} = \frac{l}{\sqrt{rt}} \quad (D.19)$$

(3) Đối với vỏ trụ trung bình mà được xác định bởi điều kiện:

$$20 \leq \frac{\omega}{C_\theta} \leq 1,63 \frac{r}{t} \quad (D.20)$$

thì ứng suất mất ổn định đàn hồi tới hạn theo phương vòng cần được xác định theo công thức:

$$\sigma_{\theta, Rcr} = 0,92E \left(\frac{C_\theta}{\omega} \right) \left(\frac{t}{r} \right) \quad (D.21)$$

(4) Hệ số C_θ cần được lấy theo Bảng D.3 với giá trị mà phụ thuộc vào các điều kiện biên, xem 5.2.2 và 8.3.

Bảng D.3 – Hệ số mất ổn định do áp lực bên ngoài đối với vỏ trụ trung bình C_θ

Trường hợp	Đầu vỏ trụ	Điều kiện biên	Giá trị của C_θ
1	Đầu 1	BC1	1,5
	Đầu 2	BC1	
2	Đầu 1	BC1	1,25
	Đầu 2	BC2	
3	Đầu 1	BC2	1,0
	Đầu 2	BC2	
4	Đầu 1	BC1	0,6
	Đầu 2	BC3	
5	Đầu 1	BC2	0,0
	Đầu 2	BC3	
6	Đầu 1	BC3	0,0
	Đầu 2	BC3	

(5) Đối với vỏ trụ ngắn mà được xác định bởi điều kiện:

$$\frac{\omega}{C_\theta} < 20 \quad (D.22)$$

thì ứng suất mất ổn định đàn hồi tới hạn theo phương vòng cần được xác định theo công thức:

$$\sigma_{\theta,Rcr} = 0,92E \left(\frac{C_{\theta}}{\omega} \right) \left(\frac{t}{r} \right) \quad (D.23)$$

(6) Hệ số $C_{\theta s}$ cần được lấy theo Bảng D.4 với giá trị mà phụ thuộc vào các điều kiện biên, xem 5.2.2 và 8.3.

Bảng D.4 - Hệ số mất ổn định do áp lực bên ngoài đối với vỏ trụ ngắn $C_{\theta s}$

Trường hợp	Đầu vỏ trụ	Điều kiện biên	$C_{\theta s}$
1	Đầu 1 Đầu 2	BC1 BC1	$1,5 + \frac{10}{\omega^2} - \frac{5}{\omega^3}$
2	Đầu 1 Đầu 2	BC1 BC2	$1,25 + \frac{8}{\omega^2} - \frac{4}{\omega^3}$
3	Đầu 1 Đầu 2	BC2 BC2	$1,0 + \frac{3}{\omega^{1,35}}$
4	Đầu 1 Đầu 2	BC1 BC3	$0,6 + \frac{1}{\omega^2} - \frac{0,3}{\omega^3}$

trong đó $\omega = \frac{l}{\sqrt{rt}}$.

(7) Đối với vỏ trụ dài mà được xác định bởi điều kiện:

$$\frac{\omega}{C_{\theta}} > 1,63 \frac{r}{t} \quad (D.24)$$

thì ứng suất mất ổn định đàn hồi tới hạn theo phương vòng cần được xác định theo công thức

$$\sigma_{\theta,Rcr} = E \left(\frac{t}{r} \right)^2 \left[0,275 + 2,03 \left(\frac{C_{\theta}}{\omega} \cdot \frac{r}{t} \right)^4 \right] \quad (D.25)$$

D.1.3.2 Các thông số mất ổn định theo phương vòng

(1) Hệ số giảm độ không hoàn hảo đàn hồi theo phương vòng α_{θ} cần được lấy theo Bảng D.5 phụ thuộc vào cấp chất lượng theo dung sai chế tạo quy định.

Bảng D.5 – Giá trị của α_θ dựa trên chất lượng chế tạo

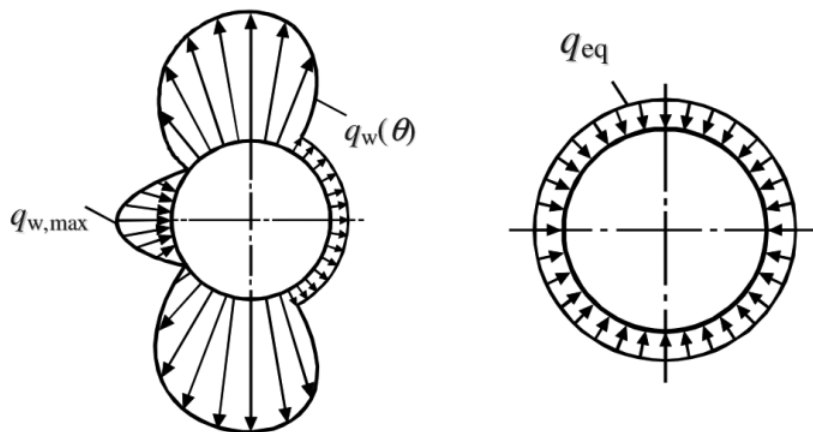
Cấp chất lượng theo dung sai chế tạo	Mô tả	α_θ
Cấp A	Tốt	0,75
Cấp B	Cao	0,65
Cấp C	Thường	0,50

(2) Độ mảnh nén dập giới hạn $\bar{\lambda}_{\theta 0}$, hệ số miền dẻo β và hệ số mũ tương tác η cần được lấy như sau:

$$\bar{\lambda}_{\theta 0} = 0,40 \qquad \beta = 0,60 \qquad \eta = 1,0 \qquad (D.26)$$

(3) Không cần kiểm tra mất ổn định vỏ theo phương vòng đối với vỏ trụ thỏa mãn điều kiện:

$$\frac{r}{t} \leq 0,21 \sqrt{\frac{E}{f_{yk}}} \qquad (D.27)$$



a) Phân bố áp lực gió đường tròn vỏ

b) phân bố áp lực không đối xứng quanh tương đương

Hình D.2 – Quy đổi phân bố lực do áp lực gió bên ngoài điển hình

(4) Phân bố không đều của áp lực q_w do tải trọng gió bên ngoài lên vỏ trụ (xem Hình D.2), có thể, với mục đích tính toán mất ổn định vỏ, được thay bằng phân bố đều tương đương của áp lực bên ngoài:

$$q_{eq} = k_w q_{w,max} \qquad (D.28)$$

trong đó:

$q_{w,max}$ là áp lực gió lớn nhất;

k_w lấy theo công thức sau:

$$k_w = 0,46 \left(1 + 0,1 \sqrt{\frac{C_\theta \cdot r}{\omega \cdot t}} \right) \qquad (D.29)$$

với giá trị của k_w không nằm ngoài phạm vi $0,65 \leq k_w \leq 1$ và với C_θ được lấy theo Bảng D.3 phụ thuộc vào các điều kiện biên.

(5) Ứng suất thiết kế theo phương vòng nêu trong 8.5 được xác định theo công thức:

$$\sigma_{\theta,Ed} = (q_{eq} + q_s) \left(\frac{r}{t} \right) \quad (D.30)$$

trong đó q_s là lực trượt (suction) bên trong gây bởi thông khí, chân không cục bộ bên trong hoặc hiện tượng khác.

D.1.4 Cắt

D.1.4.1 Ứng suất mất ổn định tới hạn do cắt

(1) Các biểu thức sau đây chỉ có thể dùng cho vỏ có các điều kiện biên BC1 hoặc BC2 tại hai mép.

(2) Chiều dài đoạn vỏ được đặc trưng bởi thông số chiều dài tương đối ω :

$$\omega = \frac{l}{r} \sqrt{\frac{r}{t}} = \frac{l}{\sqrt{rt}} \quad (D.31)$$

(3) Ứng suất mất ổn định đàn hồi tới hạn do cắt cần được xác định theo công thức:

$$\tau_{x\theta, Rcr} = 0,75 EC_\tau \sqrt{\frac{l}{\omega}} \left(\frac{t}{r} \right) \quad (D.32)$$

(4) Đối với vỏ trụ trung bình mà được xác định bởi điều kiện:

$$10 \leq \omega \leq 8,7 \frac{r}{t} \quad (D.33)$$

thì hệ số C_τ có thể được lấy bằng:

$$C_\tau = 1,0 \quad (D.34)$$

(5) Đối với vỏ trụ ngắn mà được xác định bởi điều kiện:

$$\omega < 10 \quad (D.35)$$

thì hệ số C_τ có thể được xác định theo công thức:

$$C_\tau = \sqrt{1 + \frac{42}{\omega^3}} \quad (D.36)$$

(6) Đối với vỏ trụ dài mà được xác định bởi điều kiện:

$$\omega > 8,7 \frac{r}{t} \quad (D.37)$$

thì hệ số C_τ có thể được xác định theo công thức:

$$C_\tau = \frac{1}{3} \sqrt{\omega \frac{t}{r}} \quad (D.38)$$

D.1.4.2 Các thông số mất ổn định do cắt

(1) Hệ số giảm không hoàn hảo đàn hồi do cắt cần được lấy theo Bảng D.6 phụ thuộc vào cấp chất lượng theo dung sai chế tạo.

Bảng D.6 – Giá trị của α_τ dựa trên chất lượng chế tạo

Cấp chất lượng theo dung sai chế tạo	Mô tả	α_τ
Cấp A	Tốt	0,75
Cấp B	Cao	0,60
Cấp C	Thường	0,50

(2) Độ mảnh squash giới hạn $\bar{\lambda}_{r0}$, hệ số miền dẻo β và hệ số mũ tương tác η cần được lấy như sau:

$$\bar{\lambda}_{r0} = 0,40 \qquad \beta = 0,60 \qquad \eta = 1,0 \qquad (D.39)$$

(3) Không cần kiểm tra mất ổn định vỏ theo phương vòng đối với vỏ trụ thỏa mãn điều kiện:

$$\frac{r}{t} \leq 0,16 \left(\frac{E}{f_{yk}} \right)^{0,67} \qquad (D.40)$$

D.1.5 Nén (dọc) theo phương đường sinh kết hợp áp lực bên trong

D.1.5.1 Ứng suất mất ổn định tới hạn theo phương đường sinh

(1) Ứng suất mất ổn định tới hạn đàn hồi theo phương kính tuyến $\sigma_{x,Rcr}$ có thể được giả thiết là không bị ảnh hưởng bởi sự có mặt của áp lực bên trong và có thể được xác định theo quy định nêu trong D.1.2.1.

D.1.5.2 Các thông số mất ổn định theo phương đường sinh

(1) Ứng suất mất ổn định theo phương kính tuyến gây bởi áp lực cần được kiểm tra tương tự như ứng suất mất ổn định theo phương đường sinh không gây bởi áp lực như đã nêu trong 8.5 và D.1.2.2.2. Tuy nhiên, hệ số giảm biến dạng đàn hồi không gây bởi áp lực α_x cần được thay bằng hệ số giảm biến dạng đàn hồi gây bởi áp lực α_{xp} .

(2) Hệ số hệ số giảm biến dạng đàn hồi gây bởi áp lực α_{xp} lấy bằng giá trị nhỏ hơn trong hai giá trị sau:

α_{xpe} là hệ số bao gồm ổn định đàn hồi gây bởi áp lực;

α_{xpp} là hệ số bao gồm không ổn định dẻo gây bởi áp lực.

(3) Hệ số α_{xpe} cần được xác định theo công thức:

$$\alpha_{xpe} = \alpha_x + (1 - \alpha_x) \left[\frac{\bar{p}_s}{\bar{p}_s + 0,3/\alpha_x^{0,5}} \right] \quad (D.41)$$

$$\bar{p}_s = \left(\frac{p_s}{\sigma_{x,Rcr}} \right) \left(\frac{r}{t} \right) \quad (D.42)$$

trong đó:

\bar{p}_s là giá trị thiết kế nhỏ nhất của áp lực cục bộ bên trong tại vị trí của điểm đang xét, đảm bảo cùng tồn tại với nén theo phương đường sinh;

α_x là hệ số giảm biến dạng đàn hồi không gây bởi áp lực theo D.1.2.2;

$\sigma_{x,Rcr}$ là ứng suất mất ổn định tới hạn đàn hồi theo phương đường sinh theo D.1.2.1(3).

(4) Hệ số α_{xpe} không được áp dụng cho vỏ trụ dài theo D.1.2.1(6). Ngoài ra, không được áp dụng nó nếu một trong hai điều kiện sau không thỏa mãn:

- Vỏ trụ có chiều cao trung bình theo D.1.2.1(4);
- Vỏ trụ ngắn theo D.1.2.1(5) và trong D.1.2.1(3) lấy $C_x = 1$.

(5) Hệ số α_{xpp} cần được xác định theo công thức:

$$\alpha_{xpp} = \left\{ 1 - \left(\frac{\bar{p}_g}{\bar{\lambda}_x^2} \right) \right\} \left[1 - \frac{1}{1,12 + s^{3/2}} \right] \bar{\lambda} \left[\frac{s^2 + 1,21\bar{\lambda}_x^2}{s(s+1)} \right] \quad (D.43)$$

$$\bar{p}_g = \left(\frac{p_g}{\sigma_{x,Rcr}} \right) \left(\frac{r}{t} \right) \quad (D.44)$$

$$s = \frac{1}{400} \cdot \left(\frac{r}{t} \right) \quad (D.45)$$

trong đó:

p_g là giá trị thiết kế nhỏ nhất của áp lực cục bộ bên trong tại vị trí của điểm đang xét, mà có thể cùng tồn tại với nén theo phương đường sinh;

$\bar{\lambda}_x$ là thông số độ mảnh quy ước của vỏ theo 8.5.2(6);

$\sigma_{x,Rcr}$ là ứng suất mất ổn định tới hạn đàn hồi theo phương kính tuyến theo D.1.2.1(3).

D.1.6 Tác dụng đồng thời của nén (dọc) theo phương đường sinh, nén theo phương vòng và cắt

(1) Các thông số tương tác khi mất ổn định sử dụng trong 8.5.3(3) có thể được xác định theo các công thức:

$$k_x = 1,25 + 0,75\chi_x \quad (D.46)$$

$$k_\theta = 1,25 + 0,75\chi_\theta \quad (D.47)$$

$$k_\tau = 1,75 + 0,25\chi_\tau \quad (D.48)$$

$$k_i = (\chi_x \chi_\theta)^2 \quad (D.49)$$

trong đó: $\chi_x, \chi_\theta, \chi_\tau$ là các hệ số giảm mát ổn định nêu trong 8.5.2, sử dụng cá thông số mát ổn định nêu trong D.1.2 đến D.1.4.

(2) Ba thành phần ứng suất màng cần được coi là tương tác đồng thời tại bất kỳ điểm nào trong vỏ, trừ các điểm gần biên. Kiểm tra tương tác mát ổn định có thể được phép cho tất cả các điểm nằm trong phạm vi chiều dài vùng biên gần với đầu khác của đoạn vỏ trụ. Giá trị của l_R là giá trị nhỏ hơn trong các giá trị:

$$l_R = 0,1L \quad (D.50)$$

và
$$l_R \leq 0,16r\sqrt{r/t} \quad (D.51)$$

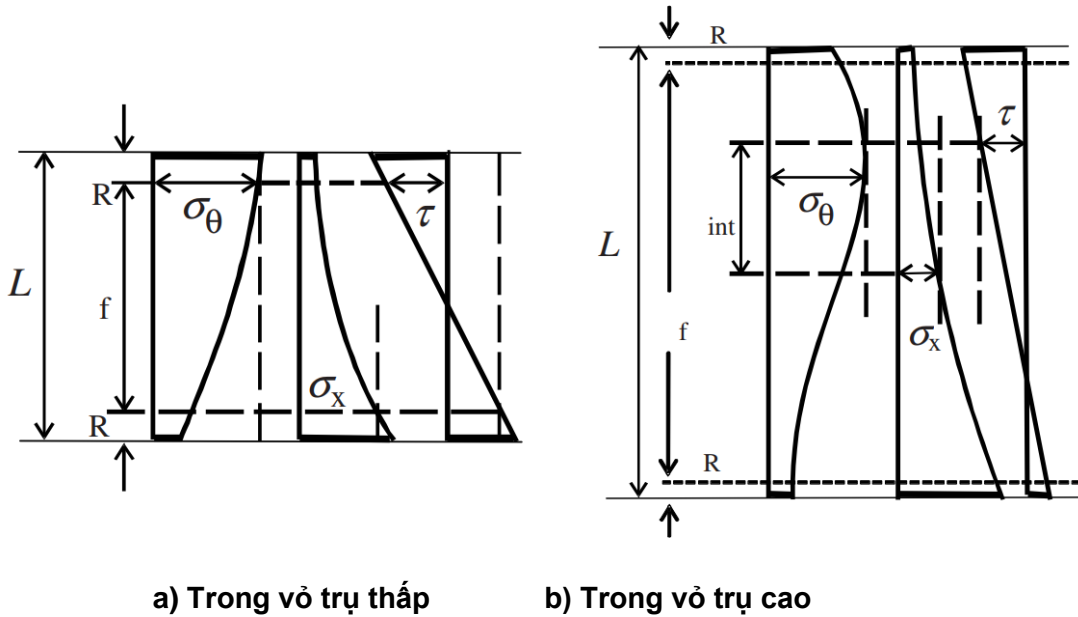
(3) Khi kiểm tra mát ổn định tương tác tại tất cả các điểm là khó, thì các khoản (4) và (5) cho phép đánh giá thiên về an toàn nhưng đơn giản hơn. Giá trị lớn nhất của bất kỳ ứng suất mát ổn định tương ứng trong vỏ xuất hiện trong phạm vi chiều dài vùng biên l_R gần với đầu khác của vỏ trụ, việc kiểm tra tương tác của 8.5.3(3) có thể được thực hiện sử dụng các giá trị đã xác định trong (4).

(4) Khi điều kiện của (3) thỏa mãn, giá trị lớn nhất của mỗi ứng suất mát ổn định tương ứng, xuất hiện trong phạm vi chiều dài tự do l_f (nghĩa là ngoài vùng biên, xem Hình D.3a) có thể được sử dụng trong kiểm tra tương tác theo 8.5.3(3), trong đó:

$$l_f = L - 2l_R \quad (D.52)$$

(5) Đối với vỏ trụ dài như đã nêu trong D.1.2.1(6), nhóm tương tác tương ứng trong kiểm tra tương tác có thể được giới hạn hơn so với các khoản trong (3) và (4). Các ứng suất được coi là nằm trong cùng nhóm tương tác tương ứng sau đó có thể được giới hạn cho bất kỳ đoạn chiều dài l_{int} nằm trong khoảng chiều dài tự do còn lại l_f đối với kiểm tra tương tác (xem Hình D.3b), trong đó:

$$l_{int} = 1,3r\sqrt{r/t} \quad (D.53)$$



Hình D.3 – Các ví dụ về các nhóm tương tác tương ứng của các thành phần ứng suất màng

(6) Nếu (3) đến (5) nêu trên không cung cấp các khoản riêng để xác định các vị trí tương đối hoặc phân chia các nhóm tương tác tương ứng của các thành phần ứng suất màng, và vẫn cần phương pháp đơn giản và an toàn hơn, thì giá trị lớn nhất của mỗi ứng suất màng, không phụ thuộc vào vị trí trong vỏ, có thể được sử dụng trong biểu thức (8.19).

D.2 Vỏ trụ không tăng cứng có chiều dày thành thay đổi từng nấc

D.2.1 Quy định chung

D.2.1.1 Ký hiệu và các điều kiện biên

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

L chiều dài (chiều cao) tổng thể của vỏ trụ;

r bán kính của mặt trung bình của vỏ trụ;

j chỉ số tích phân, ký hiệu cho các tiết diện riêng lẻ với chiều dày thành không đổi (từ $j = 1$ đến $j = n$);

t_j chiều dày thành không đổi của tiết diện thứ j của vỏ trụ;

l_j chiều dài tiết diện thứ j của vỏ trụ.

(2) Các biểu thức sau đây chỉ có thể sử dụng cho vỏ trụ với các điều kiện biên BC 1 hoặc BC 2 tại cả hai mép (xem 5.2.2 và 8.3), mà không phân biệt chúng.

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

(1) Nếu chiều dày thành của vỏ trụ tăng từng nấc (bậc) từ đỉnh xuống đáy (xem Hình D.5a), thì có thể sử dụng quy trình nêu trong D.2 này.

TCVN X1993-1-6:202x

(2) Độ lệch tâm vào trong e_0 giữa các bản của các tiết diện liền kề (xem Hình D.4) có thể được coi là bao trùm bằng các biểu thức sau đây, nếu giá trị e_0 nhỏ hơn giá trị cho phép $e_{0,p}$ được lấy bằng giá trị nhỏ hơn trong hai giá trị:

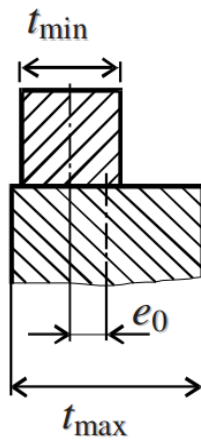
$$e_{0,p} = 0,5(t_{\max} - t_{\min}) \quad (D.54)$$

và
$$e_{0,p} = 0,5t_{\min} \quad (D.55)$$

trong đó:

t_{\max} là chiều dày của bản dày hơn tại mối nối;

t_{\min} là chiều dày của bản mỏng hơn tại mối nối.



Hình D.4 – Độ lệch vào trong e_0 trong vò có mối nối đối đầu

(3) Đối với các vò trụ với độ lệch tâm vào trong cho phép giữa các bản tiết diện liền kề theo (2), bán kính r có thể lấy bằng giá trị trung bình của tất cả các tiết diện.

(4) Đối với các vò trụ với mối nối chồng, các khoản đối với thi công mối nối chồng nêu trong D.3 dưới đây cần được sử dụng.

D.2.2 Nén (dọc) thép phương đường sinh

(1) Mỗi đoạn thứ j của chiều dài l_j cần được coi là một vò trụ tương đương với chiều dài tổng cộng $l = L$ và chiều dày thành không đổi $t = t_j$ theo D.1.2.

(2) Đối với vò trụ dài tương đương, như mô tả trong D.1.2.1(6), thông số C_{xb} cần lấy thiên về an toàn $C_{xb} = 1$, nếu không có giá trị tốt hơn được dùng trong phân tích chính xác hơn.

D.2.3 Nén theo phương vòng

D.2.3.1 Ứng suất mất ổn định tới hạn theo phương vòng

(1) Nếu vò trụ có ba đoạn với các chiều dày thành khác nhau, cần áp dụng các quy trình nêu trong (4) đến (7) cho đoạn thực tế a, b và c, xem Hình D.5b.

- (2) Nếu vỏ trụ chỉ gồm một đoạn (nghĩa là chiều dày thành không đổi), cần áp dụng D.1.
- (3) Nếu vỏ trụ gồm hai đoạn với các chiều dày thành khác nhau, cần áp dụng các quy trình nêu trong (4) đến (7), cho rằng hai trong ba đoạn quy ước a và b có cùng chiều dày thành.
- (4) Nếu vỏ trụ gồm nhiều hơn ba đoạn với các chiều dày thành khác nhau (xem Hình D.5a), đầu tiên cần thay bằng vỏ trụ tương đương gồm ba đoạn a, b và c (xem Hình D.5b). Chiều dài đoạn trên cùng l_a cần được kéo dài đến mép trên cùng của đoạn thứ nhất có chiều dày thành lớn hơn 1,5 lần chiều dày thành nhỏ nhất t_1 , nhưng không gồm hơn một nửa chiều dài tổng cộng L của vỏ trụ. Chiều dài của hai đoạn vỏ trụ khác l_b và l_c cần được xác định như sau:

$$l_b = l_a \quad \text{và} \quad l_c = L - 2l_a \quad \text{nếu } l_a \leq L/3 \quad (\text{D.56})$$

$$l_b = l_c = 0,5(L - l_a) \quad \text{nếu } L/3 < l_a \leq L/2 \quad (\text{D.57})$$

- (5) Các chiều dày thành quy ước t_a , t_b và t_c của ba tiết diện cần được xác định như là giá trị trung bình của chiều dày thành của mỗi tiết diện trong ba tiết diện quy ước:

$$t_a = \frac{1}{l_a} \sum_a l_j t_j \quad (\text{D.58})$$

$$t_b = \frac{1}{l_b} \sum_b l_j t_j \quad (\text{D.59})$$

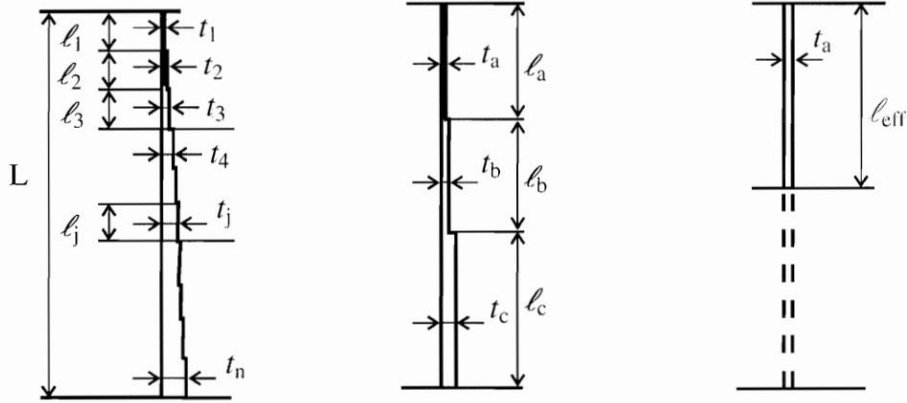
$$t_c = \frac{1}{l_c} \sum_c l_j t_j \quad (\text{D.60})$$

- (6) Vỏ trụ ba tiết diện (nghĩa là một tương đương hoặc một tương đương thực tế) cần được thay thế bằng một vỏ trụ tương đương với chiều dài hiệu dụng l_{eff} và chiều dày thành không đổi $t = t_a$, xem Hình D.5c.

Chiều dài hiệu dụng cần được xác định theo công thức:

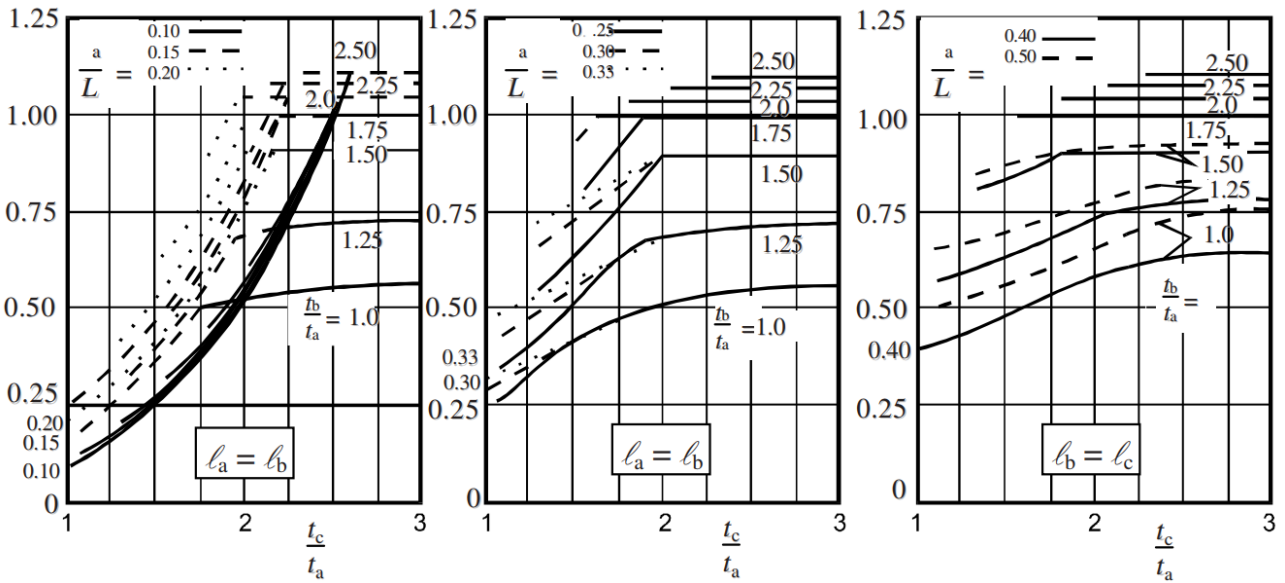
$$l_{eff} = l_a / \kappa \quad (\text{D.61})$$

trong đó: κ là hệ số không thứ nguyên, lấy theo Hình D.6.



a) Vỏ trụ có chiều dày thành thay đổi theo bước b) Vỏ trụ tương đương tạo thành từ 3 tiết diện c) Vỏ trụ tương đương có một chiều dày thành không đổi

Hình D.5 – Biến đổi vỏ trụ bậc thành vỏ trụ tương đương



Hình D.6 – Hệ số K để xác định chiều dài hiệu dụng l_{eff}

(7) Đối với tiết diện vỏ trụ với chiều dài lớn hoặc ngắn, ứng suất mất ổn định tới hạn theo phương vòng của mỗi tiết diện thứ j của vỏ trụ gốc với chiều dày thành thay đổi từng bậc, cần được xác định theo công thức:

$$\sigma_{\theta,Rcr,j} = \left(\frac{t_a}{t_j} \right) \sigma_{\theta,Rcr,eff} \tag{D.62}$$

trong đó: $\sigma_{\theta,Rcr,eff}$ là ứng suất mất ổn định tới hạn theo phương vòng, xác định lần lượt theo D.1.3.1(3), D.1.3.1(5) hoặc D.1.3.1(7), của vỏ trụ tương đương thống nhất với chiều dài l_{eff} theo (6). Hệ số C_θ trong các biểu thức này lấy bằng $C_\theta = 1,0$.

CHÚ THÍCH: Biểu thức (D.62) có thể xem ra hơi lạ vì độ bền có vẻ cao hơn trong các bản mỏng hơn. Nguyên nhân là do toàn bộ vỏ trụ được phân chia chịu một ứng suất bên ngoài tới hạn duy nhất, và biểu thức (D.62) cho giá trị ứng suất màng trong mỗi lớp là như nhau. Khi áp lực bên ngoài là không đổi theo phương dọc trục thì giá trị các ứng suất này là nhỏ hơn trong các lớp dày hơn. Cần lưu ý rằng ứng suất màng thiết kế theo phương vòng, mà ứng với nó độ bền ứng suất sẽ được so sánh khi kiểm tra kết cấu, cũng nhỏ hơn trong các lớp dày hơn (xem Hình D.7). Nếu vỏ trụ bậc là đàn hồi và chịu áp lực bên ngoài không đổi thì tỉ số giữa ứng suất màng thiết kế theo phương vòng và ứng suất bền thiết kế là không đổi trong tất cả các lớp.

(8) Chiều dày của đoạn vỏ trụ được đặc trưng bởi thông số chiều dài tương đối ω_j :

$$\omega_j = \frac{\ell_j}{r} \sqrt{\frac{r}{t_j}} = \frac{\ell_j}{\sqrt{rt_j}} \quad (\text{D.63})$$

(9) Khi đoạn vỏ trụ thứ j dài, thì cần đánh giá bổ sung về ứng suất mất ổn định. Khi kiểm tra mất ổn định đối với đoạn vỏ trụ thứ j , cần sử dụng giá trị nhỏ hơn trong hai giá trị tính được theo (7) và (10).

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

$$\omega_j > 1,63 \frac{r}{t_j} \quad (\text{D.64})$$

trong đó ứng suất mất ổn định tới hạn theo phương vòng được xác định theo công thức:

$$\sigma_{\theta,Rcr,j} = E \left(\frac{t_j}{r} \right)^2 \left[0,275 + 2,03 \left(\frac{1}{\omega_j} \cdot \frac{r}{t_j} \right)^4 \right] \quad (\text{D.65})$$

D.2.3.2 Kiểm tra cường độ mất ổn định cho nén theo phương vòng

(1) Đối với mỗi đoạn vỏ trụ thứ j , các điều kiện của 8.5 cần được thỏa mãn, và cần kiểm tra theo công thức sau:

$$\sigma_{\theta,Ed,j} \leq \sigma_{\theta,Rcr,j} \quad (\text{D.66})$$

trong đó:

$\sigma_{\theta,Ed,j}$ là giá trị cơ bản của ứng suất nén màng theo phương vòng, được diễn giải chi tiết trong các đoạn văn sau;

$\sigma_{\theta,Rcr,j}$ là ứng suất mất ổn định thiết kế theo phương vòng, thu được từ ứng suất mất ổn định tới hạn đàn hồi theo phương vòng theo D.1.3.2.

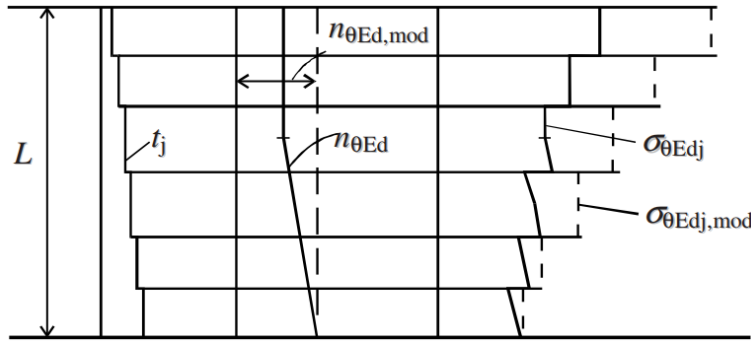
(2) Nếu giá trị thiết kế của thành phần ứng suất theo phương vòng $n_{\theta,Ed}$ là không đổi trên suốt chiều dài L thì giá trị cơ bản của ứng suất nén màng trong đoạn vỏ trụ thứ j cần được lấy bằng một giá trị đơn giản:

$$\sigma_{\theta,Ed,j} = n_{\theta,Ed} / t_j \quad (\text{D.67})$$

TCVN X1993-1-6:202x

(3) Nếu giá trị thiết kế của thành phần ứng suất theo phương vòng $n_{\theta,Ed}$ thay đổi trong phạm vi chiều dài L thì giá trị cơ bản của ứng suất nén màng theo phương vòng cần được lấy bằng giá trị quy ước $\sigma_{\theta,Ed,j,mod}$, được xác định từ giá trị lớn nhất của thành phần ứng suất theo phương vòng $n_{\theta,Ed}$ ở bất kỳ chỗ nào trong phạm vi chiều dài L chia cho chiều dày cục bộ t_j (xem Hình D.7), như sau:

$$\sigma_{\theta,Ed,j,mod} = \max(n_{\theta,Ed}) / t_j \quad (D.68)$$



Hình D.7 - Giá trị cơ bản của ứng suất nén màng theo phương vòng trong các trường hợp khi mà $n_{\theta,Ed}$ thay đổi trong phạm vi chiều dài L

D.2.4 Cắt

D.2.4.1 Ứng suất mất ổn định tới hạn do cắt

(1) Nếu không có quy tắc riêng nào cho đánh giá vỏ trụ tương đương có chiều dày thành không đổi, thì các biểu thức của D.2.3.1(1) đến (6) có thể áp dụng.

(2) Việc xác định các ứng suất mất ổn định tới hạn đàn hồi do cắt có thể về nguyên tắc được thực hiện như trong D.2.3.1(7) đến (10), nhưng thay các biểu thức liên quan đến nén vòng trong D.1.3.1 bằng các biểu thức liên quan đến cắt tương ứng trong D.1.4.1.

D.2.4.2 Kiểm tra độ bền mất ổn định cho cắt

(1) Các quy tắc của D.2.3.2 có thể được áp dụng, nhưng thay các biểu thức của nén vòng bằng các biểu thức của cắt tương ứng.

D.3 Vỏ trụ thành nổi chồng không tăng cứng

D.3.1 Quy định chung

D.3.1.1 Các định nghĩa

D.3.1.1.1

Mối nối chồng theo phương vòng (circumferential lap joint)

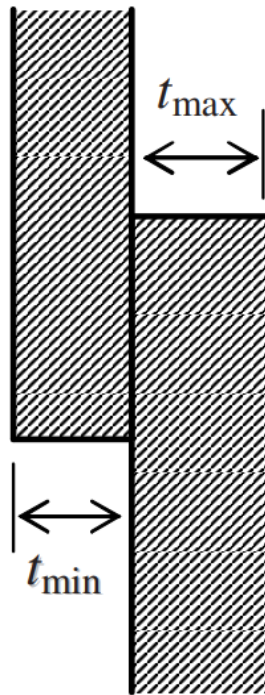
Mối nối chồng chạy theo phương vòng quanh trục của vỏ trụ.

D.3.1.1.2**Mối nối chồng theo phương đường sinh (meridional lap joint)**

Mối nối chồng chạy song song với trục của vỏ trụ (phương đường sinh).

D.3.1.2 Hình học và các thành phần ứng suất

(1) Khi vỏ trụ được thi công bằng các mối nối chồng (xem Hình D.8) thì có thể sử dụng các quy định sau đây thay cho các quy định nêu trong D.2.



Hình D.8 – Vỏ trụ nối chồng

(2) Các quy định sau đây áp dụng cho các mối nối chồng, mà làm tăng và giảm bán kính của mặt trung bình của vỏ trụ.

(3) Khi mối nối chồng chạy theo phương vòng quanh trục vỏ trụ (mối nối chồng theo phương kính tuyến), thì các quy định trong D.3.2 cần được sử dụng cho nén theo phương đường sinh.

(4) Khi nhiều mối nối chồng chạy theo phương vòng quanh trục vỏ trụ (mối nối chồng theo phương kính tuyến) với chiều dày thành vỏ trụ thay đổi giảm xuống, thì các quy định trong D.3.3 cần được sử dụng cho nén theo phương đường sinh.

(5) Khi mối nối chồng liên tục chạy song song với trục vỏ trụ (mối nối chồng theo phương kính tuyến), thì các quy định trong D.3.3 cần được sử dụng cho nén theo phương đường sinh.

(6) Trong các trường hợp khác, không cần có các xem xét riêng về ảnh hưởng của các mối nối chồng lên độ bền mất ổn định.

D.3.2 Nén (dọc) theo phương đường sinh

(1) Khi vỏ trụ có mối nối chồng chịu nén theo phương đường sinh, với các mối nối chồng theo phương đường sinh, thì độ bền mất ổn định có thể được đánh giá như đối với vỏ trụ có chiều dày thành không đổi hoặc vỏ trụ thành bậc, tương ứng, nhưng với độ bền thiết kế được giảm bởi hệ số 0,70.

(2) Khi sự thay đổi chiều dày thành xuất hiện tại mối nối chồng, thì độ bền mất ổn định thiết kế có thể lấy bằng giá trị tương tự đối với bản mỏng hơn như mô tả trong (1).

D.3.3 Nén theo phương vòng

(1) Khi vỏ trụ có mối nối chồng chịu nén theo phương vòng, với các mối nối chồng theo phương đường sinh, thì độ bền mất ổn định có thể được đánh giá như đối với vỏ trụ có chiều dày thành không đổi hoặc vỏ trụ thành bậc, tương ứng, nhưng với độ bền thiết kế được giảm bởi hệ số 0,90.

(2) Khi vỏ trụ có mối nối chồng chịu nén theo phương vòng, với nhiều mối nối chồng theo phương vòng và sự thay đổi chiều dày bản giảm dần từ trên xuống, thì cần sử dụng quy trình trong D.2 mà không hạn chế hình học về độ lệch tâm của mối nối, và với độ bền mất ổn định thiết kế giảm bởi hệ số 0,90.

(3) Khi các mối nối chồng được sử dụng theo hai phương, với sự bố trí bậc của các mối nối chồng theo phương đường sinh trong các dải hoặc lớp cách nhau, thì độ bền mất ổn định thiết kế cần được đánh giá như trong (2), nhưng không áp dụng hệ số giảm độ bền.

D.3.4 Cắt

(1) Khi vỏ trụ có mối nối chồng chịu lực cắt màng, thì độ bền mất ổn định có thể được đánh giá như đối với vỏ trụ thành dày không đổi hoặc vỏ trụ thành bậc, tương ứng, mà không có sai lệch đặc biệt nào đối với các mối nối chồng.

D.4 Vỏ nón và nón cụt không tăng cứng

D.4.1 Quy định chung

D.4.1.1 Ký hiệu

Trong mục này sử dụng các ký hiệu sau:

h chiều cao nón cụt;

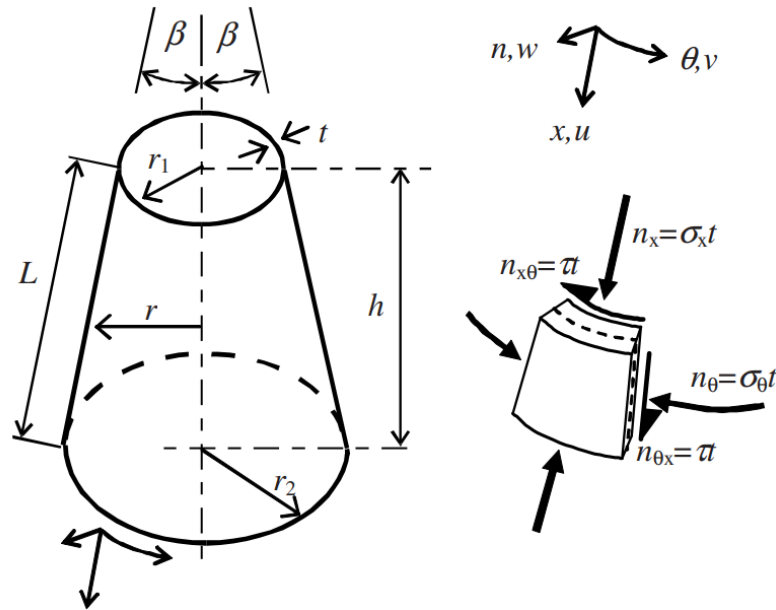
L chiều dài theo phương đường sinh của nón cụt ();

r bán kính mặt trung bình của vỏ nón cụt, vuông góc với trục xoay, thay đổi tuyến tính giảm dần theo chiều dài;

r_1 bán kính đáy trên của vỏ nón cụt;

r_2 bán kính đáy dưới của vỏ nón cụt;

β một nửa góc nghiêng ở đỉnh vỏ nón cụt.



Hình D.9 – Hình học của vỏ nón, các ứng suất màng và các thành phần ứng suất

D.4.1.2 Các điều kiện biên

(1) Các biểu thức sau đây chỉ được sử dụng cho vỏ nón có các điều kiện biên BC1 hoặc BC2 ở cả hai mép (xem 5.2.2 và 8.3), mà không có sự phân biệt nào giữa chúng.

(2) Các quy tắc trong D.4 này chỉ được sử dụng cho hai điều kiện biên về chuyển vị theo phương đường kính tại đầu kia của vỏ nón cắt:

- “điều kiện vỏ trụ: $w = 0$ ”
- “điều kiện sườn vòng”: $u \sin \beta + w \cos \beta = 0$ ”

D.4.1.3 Hình học

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

D.4.2 Ứng suất mất ổn định thiết kế

D.4.2.1 Vỏ trụ tương đương

(1) Các ứng suất mất ổn định thiết kế mà cần cho việc kiểm tra độ bền mất ổn định theo 8.5 có thể được tìm thấy bằng cách coi vỏ nón như là vỏ trụ tương đương với chiều dài ℓ_e và bán kính r_e , trong đó ℓ_e và r_e phụ thuộc vào loại phân bố ứng suất màng trong vỏ nón.

D.4.2.2 Nén theo phương đường sinh

(1) Đối với vỏ nón chịu nén theo phương đường sinh, chiều dài vỏ trụ tương đương ℓ_e cần được lấy bằng:

$$l_e = L \quad (D.69)$$

(2) Bán kính vỏ trụ tương đương tại bất kỳ vị trí mất ổn định nào r_e cần được lấy bằng:

$$r_e = \frac{r}{\cos \beta} \quad (D.70)$$

(3) Biên độ không hoàn hảo đặc trưng ΔW_k , có thể cần thiết cho việc kiểm soát dung sai, phải được lấy như sau:

$$\Delta w_k = \left(\frac{22}{Q}\right)\lambda.t \quad (D.70a)$$

Trong đó:

Q là tham số chất lượng chế tạo khi chịu nén theo phương đường sinh

t là chiều dày cục bộ

λ là độ mảnh của vỏ

D.4.2.3 Nén theo phương vòng

(1) Đối với vỏ nón chịu nén theo phương vòng, chiều dài vỏ trụ tương đương l_e cần được lấy bằng:

$$l_e = L \quad (D.71)$$

(2) Bán kính vỏ trụ tương đương r_e cần được lấy bằng:

$$r_e = \frac{(r_1 + r_2)}{2 \cos \beta} \quad (D.72)$$

D.4.2.4 Áp lực bên ngoài phân bố đều

(1) Đối với vỏ nón chịu áp lực bên ngoài phân bố đều q, mà có điều kiện biên hoặc là BC1 tại cả hai đầu hoặc là BC2 tại hai đầu, có thể sử dụng quy trình sau để thiết kế kinh tế hơn.

(2) Chiều dài vỏ trụ tương đương l_e lấy bằng giá trị nhỏ hơn trong hai giá trị:

$$l_e = L \quad (D.73)$$

và

$$l_e = \left(\frac{r_2}{\sin \beta}\right)(0,53 + 0,125\beta) \quad (D.74)$$

trong đó một nửa góc tại đỉnh nón β tính bằng radian.

(3) Đối với vỏ nón thấp, trong đó chiều dài tương đương l_e lấy theo biểu thức (D.73), bán kính vỏ trụ tương đương r_e lấy bằng:

$$r_e = \left(\frac{0,55r_1 + 0,45r_2}{\cos \beta} \right) \quad (D.75)$$

(4) Đối với vỏ nón cao, trong đó chiều dài tương đương ℓ_e lấy theo biểu thức (D.74), bán kính vỏ trụ tương đương r_e lấy bằng:

$$r_e = 0,71r_2 \left[\frac{1 - 0,1\beta}{\cos \beta} \right] \quad (D.76)$$

(5) Kiểm tra độ bền mát ổn định cần dựa trên ứng suất màng biểu kiến theo phương vòng:

$$\sigma_{\theta,Ed} = q \left(\frac{r_e}{t} \right) \quad (D.77)$$

trong đó: q là áp lực bên ngoài, không kể đến ứng suất màng theo phương đường sinh gây bởi áp lực bên ngoài.

D.4.2.5 Cắt

(1) Đối với vỏ nón chịu ứng suất cắt màng, chiều dài tương đương ℓ_e lấy bằng:

$$\ell_e = h \quad (D.78)$$

(2) Bán kính vỏ trụ tương đương r_e lấy bằng:

$$r_e = \left[1 + \rho_g - \frac{1}{\rho_g} \right] r_1 \cdot \cos \beta \quad (D.79)$$

trong đó:

$$\rho_g = \sqrt{\frac{r_1 + r_2}{2r_1}} \quad (D.80)$$

D.4.2.6 Xoắn đều

(1) Đối với vỏ nón chịu ứng suất cắt màng, gây bởi xoắn đều (gây ra lực cắt thay đổi tuyến tính từ trên xuống theo phương đường kính), có thể sử dụng quy trình sau đây để thiết kế kinh tế hơn, nếu $\rho_u \leq 0,8$ và có điều kiện biên là BC2 tại cả hai đầu.

(2) Chiều dài vỏ trụ tương đương ℓ_e lấy bằng:

$$\ell_e = L \quad (D.81)$$

(3) Bán kính vỏ trụ tương đương r_e lấy bằng:

$$r_e = \left(\frac{r_1 + r_2}{2 \cos \beta} \right) (1 - \rho_u^{2,5})^{0,4} \quad (D.82)$$

trong đó:

$$\rho_u = \frac{L \sin \beta}{r_2} \quad (D.83)$$

D.4.3 Kiểm tra độ bền mất ổn định

D.4.3.1 Nén theo phương đường sinh

- (1) Kiểm tra mất ổn định cần được thực hiện cho điểm của vỏ nón, nơi mà ứng suất màng thiết kế $\sigma_{x,Ed}$ và ứng suất mất ổn định thiết kế theo phương đường sinh $\sigma_{x,Rd}$ theo D.4.2.2 là tới hạn nhất.
- (2) Trong trường hợp nén theo phương kính tuyến gây bởi lực dọc không đối tác dụng lên vỏ nón cụt, bán kính nhỏ r_1 và bán kính lớn r_2 cần được coi như là các vị trí có khả năng là tới hạn nhất.
- (3) Trong trường hợp nén theo phương đường sinh gây bởi mô men uốn tổng thể không đối tác dụng lên vỏ nón, bán kính nhỏ r_1 cần được coi như là vị trí có khả năng là tới hạn nhất.
- (4) Ứng suất mất ổn định thiết kế theo phương đường sinh $\sigma_{x,Rd}$ cần được xác định cho vỏ trụ tương đương theo D.1.2.

D.4.3.2 Nén theo phương vòng và áp lực bên ngoài phân bố đều

- (1) Khi nén theo phương vòng gây bởi, kiểm tra mất ổn định cần được thực hiện dựa trên ứng suất màng theo phương vòng $\sigma_{\theta,Ed}$ được xác định bằng biểu thức (D.77) và ứng suất mất ổn định thiết kế theo phương vòng $\sigma_{\theta,Ed}$ theo D.4.2.1 và D.4.2.3 hoặc D.4.2.4.
- (2) Khi nén theo phương vòng gây bởi các tác động khác với áp lực bên ngoài phân bố đều thì sự phân bố ứng suất tính được $\sigma_{\theta,Ed}(x)$ cần được thay bằng phân bố bao ứng suất quy ước $\sigma_{\theta,Ed,env}(x)$ mà tại tất cả mọi nơi đều vượt quá giá trị tính được, nhưng nó không sinh ra bởi áp lực bên ngoài quy ước phân bố đều. Sau đó việc kiểm tra mất ổn định cần được thực hiện theo (1), nhưng sử dụng $\sigma_{\theta,Ed,env}$ thay vì $\sigma_{\theta,Ed}$.
- (3) Ứng suất mất ổn định thiết kế $\sigma_{\theta,Rd}$ cần được xác định cho vỏ trụ tương đương theo D.1.3.

D.4.3.3 Cắt và xoắn đều

- (1) Khi cắt gây bởi xoắn tổng thể không đối lên vỏ nón, việc kiểm tra mất ổn định cần được thực hiện dựa trên ứng suất cắt màng thiết kế $\tau_{x\theta,Ed}$ tại điểm có $r = r_e \cos \beta$ và ứng suất mất ổn định do cắt $\tau_{x\theta,Rd}$ theo D.4.2.1 và D.4.2.5 hoặc D.4.2.6.
- (2) Khi cắt gây bởi các tác động khác với xoắn tổng thể không đối (ví dụ lực cắt tổng thể lên vỏ nón), sự phân bố ứng suất cắt tính được $\tau_{x\theta,Ed}(x)$ cần được thay bằng sự phân bố bao ứng suất quy ước $\tau_{x\theta,Ed,env}(x)$, mà tại tất cả mọi nơi đều vượt quá giá trị tính được, nhưng nó không sinh ra bởi xoắn tổng thể quy ước. Sau đó việc kiểm tra mất ổn định cần được thực hiện theo (1), nhưng sử dụng $\tau_{x\theta,Ed,env}$ thay vì $\tau_{x\theta,Ed}$.
- (3) Ứng suất mất ổn định thiết kế do cắt $\tau_{x\theta,Rd}$ cần được xác định cho vỏ trụ tương đương theo D.1.4.

Phụ lục E
(quy định)

Diễn giải độ bền thiết kế tham chiếu

E.1 Các tấm hình trụ chịu độ uốn tổng thể đồng nhất

E.1.1 Quy định chung

E.1.1.1 Phạm vi

- (1) Các quy tắc sau áp dụng cho tấm không có gia cường đề cập đến độ uốn tổng thể nhất
- (2) Quy tắc được giới hạn cho vùng được cho :

$$25 \leq \frac{r}{t} \leq 3000 \quad (\text{E.1})$$

E.1.1.2 Ký hiệu

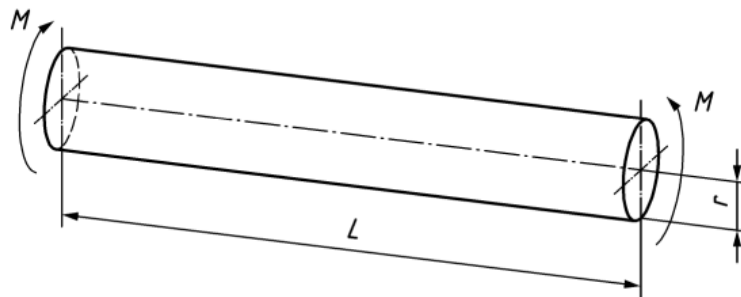
Các ký hiệu sau đây được dùng (Hình E.1)

r là bán kính của mặt trung bình khối trụ

t là độ dày đồng nhất của khối trụ

L là chiều dài của khối trụ

M là mô men uốn đồng nhất tác động lên khối trụ



Biểu đồ E.1 –Trụ chịu độ uốn tổng thể

E.1.1.3 Điều kiện biên

- (1) Quy tắc ở đây áp dụng cho trụ với điều kiện biên là ngàm BC1r.

TCVN X1993-1-6:202x

Trụ với BC1f có thể nếu kích thước chiều dài ω lớn hơn 5.

E.1.1.4 Điều kiện về tải trọng

(1) Quy tắc sau đây áp dụng cho đặc trưng độ uốn tổng thể đồng nhất gây ra với mô men (Hình E.1)

E.1.2 Độ bền mất ổn định

E.1.2.1 Độ bền dẻo tham chiếu

(1) Moment dẻo tham chiếu cần được xác định như sau:

$$M_{R,pl} = 4r^2 t f_{y,k} \quad (E.2)$$

E.1.2.2 Độ bền mất ổn định đàn hồi cực hạn tham chiếu

(1) Mô men cực hạn mất ổn định $M_{R,cr}$ được tính như sau :

$$M_{R,cr} = 1,813C_m \frac{E}{\sqrt{1-\nu^2}} r t^2 \approx 1,9C_m E r t^2 \quad (E.3)$$

Trong đó hệ số C_m tính đến sự khác nhau giữa mô men uốn mất ổn định tuyến tính và mô men đàn hồi tới hạn

(2) Giá trị của C_m có thể lấy an toàn như sau :

$$C_m = 1 + \frac{4}{\omega^2} \quad (E.4)$$

Trong đó đơn vị chiều dài được cho như sau :

$$\omega = \frac{L}{\sqrt{rt}} \quad (E.5)$$

E.1.2.3 Thông số mất ổn định

(1) Hệ số giảm kích thước hình học a_G phụ thuộc vào đơn vị chiều dài thứ 2 của hình trụ Ω , có thể xác định như sau :

$$\Omega = \frac{L}{r} \sqrt{\frac{t}{r}} = \frac{t}{r} \omega \quad (E.6)$$

Giá trị a_G nên được xác định theo bảng E.1 và bảng E.2

Bảng E.1 – Các loại chiều dài và giá trị của α_G

Loại chiều dài	Vùng của ω	Vùng của Ω	Diễn giải cho α_G
Ngắn	$3 \leq \omega < 4.8$		$1,93 - 0,5(\omega - 3,8)^2 - 0,44(\omega - 3,8)^3$

Trung bình	$4.8 \leq \omega < 0.5 \left(\frac{l}{t}\right)$		Xem bảng E.2
Chuyển tiếp		$0,5 \leq \Omega < 7$	$1,07 \left(\frac{1 - 0,22\Omega + 0,061\Omega^{2,94}}{1 + 0,12\Omega^{2,94}} \right)$
Dài		$\Omega \geq 7$	0,516

Bảng E.2 – Giá trị của α_G cho hình trụ chiều dài trung bình

Vùng của ω	Diễn giải cho α_G
$4,8 \leq \omega < 8,6$	$0,85 + 0,029(\omega - 7,1)^2$
$8.6 \leq \omega < 0.5 \left(\frac{l}{t}\right)$	0,92

(2) hệ số giảm không hoàn hảo α_1 nên được lấy như sau:

$$\alpha_1 = \frac{1}{1 + 2,00(\Delta w_k / t)^{0,8}} \quad (\text{E.7})$$

Trong đó

Δw_k là đặc trưng cường độ không hoàn hảo

$$\Delta w_k = \frac{1}{Q_k} \sqrt{rt} \quad (\text{E.8})$$

Trong đó Q là thông số về chất lượng lắp dựng cho trong đoạn 3

(3) Thông số chất lượng lắp dựng Q nên được lấy từ bản E.3 cho sai lệch về thông số lắp dựng

Bảng E.3 – Thông số chất lượng lắp dựng Q

Loại chất lượng	Diễn giải	Q
Loại A	Tốt	40
Loại B	Cao	25
Loại C	Thông thường	16

TCVN X1993-1-6:202x

CHÚ THÍCH : Đối với việc sản xuất ống, các thí nghiệm chỉ ra rằng mối liên quan của Q có thể khác trên. Phụ lục quốc gia có thể định nghĩa một giá trị hợp lý của Q .

(4) Hệ số giảm mất ổn định đàn hồi nên được lấy như sau:

$$a = a_G a_1 \quad (E.9)$$

(5) Hệ số vùng dẻo β nên được lấy như:

$$\beta = 1 - \frac{0,6}{1 + 1,2(\Delta w_k / t)^{0,8}} \quad (E.10)$$

(6) Sự tương tác số mũ η và độ cứng giới hạn χ_h nên được tìm thấy :

$$\eta = 0,65 + 0,2(\Delta w_k / t) \text{ và } \chi_h = 1,0 \quad (E.11)$$

(7) Độ mảnh tương đối squash λ_o nên được lấy như:

$$\lambda_o = 0,3 \quad (E.12)$$

E.1.2.4 Độ bền mất ổn định đặc trưng

(1) Độ bền mất ổn định đặc trưng nên xác định theo 8.6.3 với lực F_{Ed} xác định bằng cách áp dụng moment uốn M_{Ed} , độ bền dẻo tham chiếu $F_{R,pl}$, lấy như $M_{R,pl}$ (Biểu thức E(E.2)) và độ bền đàn hồi tham chiếu $F_{R,cr}$ lấy như $M_{R,cr}$ (Công thức (E.3)).

(2) Điều này dẫn đến độ bền được xác định như:

$$R_{pl} = \frac{M_{R,pl}}{M_{Ed}} \quad \text{và} \quad R_{cr} = \frac{M_{R,cr}}{M_{Ed}} \quad (E.13)$$

(3) Độ mảnh tương đương $\bar{\lambda}$ là :

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{R_{pl}}{R_{cr}}} = \sqrt{\frac{M_{R,pl}}{M_{R,cr}}} \quad (E.14)$$

(4) Độ bền đặc trưng của moment mất ổn định có thể xác định:

$$R_k = \chi R_{pl} \quad \text{hoặc} \quad M_{R,k} = \chi M_{R,pl} \quad (E.15)$$

Trong đó:

χ là hệ số giảm đàn-dẻo mất ổn định theo 8.6.3 (5)

E.1.3 Kiểm tra cường độ mất ổn định

(1) Kiểm tra mất ổn định có thể được đơn giản:

$$R_d = \frac{R_k}{\gamma_{M1}} \geq 1 \quad (\text{E.16})$$

Trong đó hệ số an toàn γ_{M1} nên được lấy tiêu chuẩn áp dụng hợp lý.

E.2 Các vỏ cầu hoàn hảo và một phần

E.2.1 Quy định chung

E.2.1.1 Phạm vi

(1) Quy định sau đây áp dụng cho vỏ cầu và lưới cầu chịu hút bên trong hoặc áp lực bên ngoài với các điều kiện biên khác nhau. Độ dày tấm tường của tấm cầu không nên biến thiên đáng kể. Tấm là không gia cường.

(2) Quy định về vùng giới hạn cho bởi:

$$100 \leq \frac{r_s}{t} \leq 3000 \quad (\text{E.17})$$

$\phi \leq 135^\circ$ (lưới cầu) lấy trong trường hợp đặc biệt $\phi = 180^\circ$ (cầu)

Không có vùng giới hạn dưới của ϕ , nhưng nếu viền cầu là rất phẳng có thể kiểm tra bởi tấm chịu uốn.

(3) Các thành phần tấm nên được kiểm tra bởi mối hàn hoặc bu lông đối xứng

E.2.1.2 Ký hiệu

Các ký hiệu sau được sử dụng

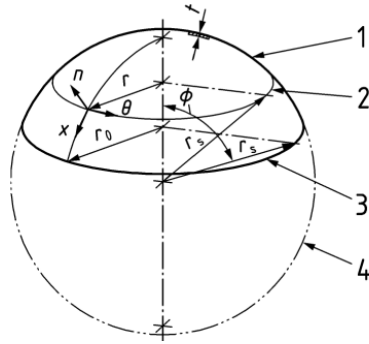
r_s là bán kính của cầu (tấm giữa bề mặt)

r là bán kính đơn giản của tấm giữa bề mặt $=r(x)$, vuông góc với trục xoay

r_0 là bán kính của hình tròn cơ bản của viền cầu

t là bề dày của tấm

ϕ là 1 nửa góc của viền cầu



Hình E.2- Hình học của vỏ hình cầu

CHÚ DẪN:

- 1 phần mũ của hình cầu
- 2 phương chu vi
- 3 đường tròn cơ sở
- 4 hình cầu hoàn hảo

E.2.1.3 Điều kiện biên và liên kết

(1) Các quy tắc đưa ra ở đây chỉ áp dụng cho các vỏ được hỗ trợ như chỉ ra trong Hình E.3 với các điều kiện biên sau:

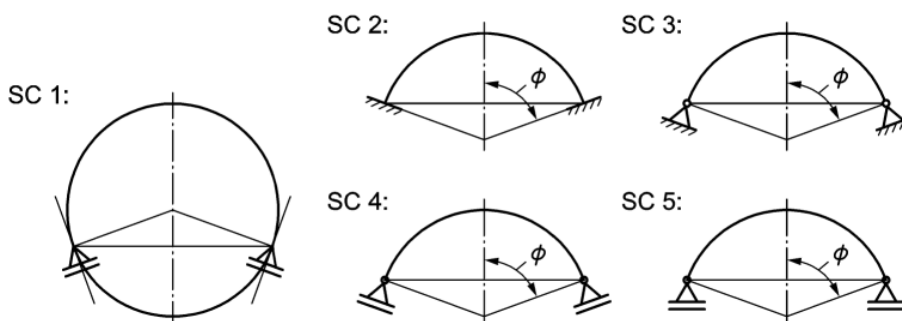
SC 1: hình cầu hoàn hảo mà không có hỗ trợ hoặc hình cầu hoàn hảo có hỗ trợ đường sinh xung quanh một chu vi hoàn hảo;

SC2: nắp hình cầu với các cạnh được ngàm

SC3: nắp hình cầu có các cạnh hạn chế chuyển vị theo cả hướng đường sinh và pháp tuyến đối với bề mặt giữa của vỏ, và được ngàm uốn .

SC4: nắp hình cầu có các cạnh hạn chế chuyển vị theo hướng đường sinh, nhưng bình thường tự do so với bề mặt giữa của vỏ và được ngàm uốn uốn;

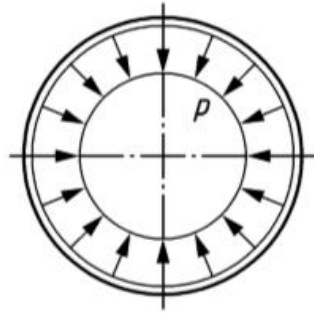
SC5: hình cầu nắp có các cạnh tự do chuyển vị trong mặt phẳng của đường tròn cơ sở.



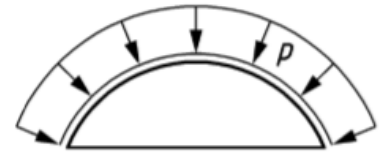
Hình E.3 -Minh họa về các điều kiện liên kết khác nhau

E.2.1.4 Điều kiện về tải trọng

- (1) Những điều sau đây chỉ áp dụng cho chân không bên trong đồng đều hoặc tải áp suất bên ngoài p vuông góc với thành vỏ (Hình E.4).
- (2) Giá trị thiết kế của sự chênh lệch áp suất giữa bề mặt bên trong và bên ngoài p_{Ed} nên được lấy làm giá trị chính



(a) Hình cầu với chân không bên trong
hoặc áp suất bên ngoài



(b) Hình bán cầu với áp suất bên ngoài

Hình E.4- Tải trọng tác động lên vỏ cầu và nắp cầu.

- (2) Đối với các trường hợp gia tải trọng lượng bản thân hoặc tải trọng tuyết, các quy trình ở đây có thể được sử dụng để có được ước tính thận trọng về độ bền nếu giá trị của tải trọng áp suất p được lấy làm tải trọng bề mặt lớn nhất bình thường đối với bề mặt giữa của vỏ.

E.2.2 Dung sai cho vỏ hình cầu

- (1) Dung sai hình học được phân loại thành ba loại chất lượng dung sai Chế tạo A đến C
- (2) Đối với các dung sai liên quan mất ổn định, các quy định của mục 8.4 áp dụng bằng cách lấy r_s bán kính của vỏ hình cầu ở vị trí của r bán kính hình trụ và đường kính $2r_s$ thay vì đường kính d của z . Phép đo các vết lõm (8.4.4) phải được thực hiện theo cả hướng đường sinh và chu vi bằng cách sử dụng độ dài thanh l_{gx} được cho bởi công thức (8.6) và $l_{g\omega}$ theo công thức (8.8). Không cần thiết phải sử dụng độ dài thanh $l_{g\theta}$ trong công thức (8.7).
- (3) Độ sai lệch giới hạn cho mỗi loại sai lệch về lắp dựng cho trong bảng 8.4 cần được sử dụng.

E.2.3 Thiết kế mất ổn định

E.2.3.1 Giới hạn của tính toán mất ổn định

- (1) Không cần thiết để kiểm tra độ bền mất ổn định của tấm vỏ thỏa mãn điều kiện sau :

$$\text{Vỏ hình cầu:} \quad \frac{r_s}{t} \leq \frac{E}{20f_{y,k}} C_c \quad (\text{E.19})$$

Vỏ mặt cầu phẳng $\frac{r_o}{r_s} \leq \frac{1,1}{\sqrt{r_s/t}}$ (E.20)

E.2.3.2 Độ bền của mắt ổn định tới hạn

(1) áp suất mắt ổn định tới hạn $p_{R,cr}$ được tính theo công thức sau:

$$p_{R,cr} = \frac{2}{\sqrt{3(1-\nu^2)}} C_c \cdot E \cdot \left(\frac{t}{s}\right)^2$$
 (E.21)

Trong đó C_c phụ thuộc vào điều kiện gối tựa và lấy theo bảng E.4

Bảng E.4 Giá trị C_c cho điều kiện gối tựa khác nhau

Điều kiện liên kết SC	SC1	SC2	SC3	SC4	SC5
C_c	1,0	0,8	0,7	0,4	0,1
Ứng dụng cho	Hình khối cầu	$\phi \leq 135^\circ$			

E.2.3.3 Độ bền dẻo giới hạn tham chiếu

(1) Độ bền dẻo giới hạn tham chiếu nên được xác định như sau :

$$p_{R,pl} = f_{y,k} \cdot C_{pl} \cdot \frac{2t}{r_s}$$
 (E.22)

Trong đó C_{pl} là hàm về điều kiện gối tựa liên kết

Bảng E.5 Giá trị C_{pl} cho điều kiện gối tựa khác nhau

Điều kiện liên kết SC	SC1	SC2	SC3	SC4	SC5
C_{pl}	1,0	0,9	0,7	0,8	0,2
Ứng dụng cho	Hình khối cầu	$\phi \leq 135^\circ$			

E.2.3.4 Thông số mắt ổn định

(1) Hệ số giảm đặc trưng hình học α_G được cho bởi sau :

$$\alpha_G = 0,7 \quad (\text{E.23})$$

(2) Hệ số giảm không hoàn hảo α_1 nên được lấy như sau:

$$\alpha_1 = \frac{1}{1 + 1,9(\Delta w_k / t)^{0,75}} \quad (\text{E.24})$$

Trong đó

Δw_k là cường độ đặc trưng không hoàn hảo được xác định

$$\Delta w_k = \frac{1}{Q} \sqrt{r t_s} \quad (\text{E.25})$$

trong đó Q là thông số chất lượng chế tạo cho trong mục (3).

(3) Tham số chất lượng chế tạo Q nên được lấy từ Bảng E.6 đối với chất lượng dung sai chế tạo quy định

Bảng E.6 Giá trị thông số chất lượng dung sai chế tạo Q

Loại chất lượng	Diễn giải	Q
Loại A	Tốt	40
Loại B	Cao	25
Loại C	Thông thường	16

(4) Hệ số giảm độ mất ổn định đàn hồi α phải được tìm thấy là:

$$\alpha = \alpha_G \alpha_1 \quad (\text{E.26})$$

(5) Độ mảnh tương đương squash, λ_o , hệ số vùng dẻo β , hàm số mũ tương tác η và độ cứng giới hạn χ_o nên được lấy như sau:

$$\lambda_o = 0,20 \quad \beta = 0,7 \quad \eta = 1 \quad \chi_h = 1 \quad (\text{E.27})$$

E.2.3.5 Đặc tính độ bền mất ổn định

(1) Độ bền mất ổn định đặc trưng phải được xác định theo 8.6.3, với tải trọng hàng đầu F_{Ed} được lấy là áp suất bên ngoài tác dụng, độ bền dẻo chuẩn $F_{R,pl}$ được lấy là $p_{R,pl}$ (Công thức (E.22)) và độ đàn hồi chuẩn. sức cản tới hạn $F_{R,cr}$ lấy theo $p_{R,cr}$ (Công thức (E.21)).

(2) Điều này dẫn đến độ bền được đánh giá là:

$$R_{pl} = \frac{P_{R,pl}}{P_{Ed}} \quad \text{và} \quad R_{cr} = \frac{P_{R,cr}}{P_{Ed}} \quad (\text{E.28})$$

(3) Độ mảnh tương đối

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{P_{R,pl}}{P_{R,cr}}} = \sqrt{\frac{R_{pl}}{R_{Cr}}} \quad (\text{E.29})$$

(4) Đặc trưng độ bền của áp suất mất ổn định được tính như:

$$R_x = \chi R_{pl} \quad \text{hoặc} \quad P_{R,k} = \chi P_{R,pl} \quad (\text{E.30})$$

Trong đó:

χ là hệ số giảm đàn-dẻo mất ổn định theo 8.6.3(5)

E.2.4 Kiểm tra cường độ mất ổn định

(1) Mất ổn định được kiểm tra:

$$R_d = \frac{R_k}{\gamma_{M1}} \geq 1 \quad (\text{E.31})$$

Trong đó hệ số an toàn γ_{M1} nên được lấy theo tiêu chuẩn hợp lý.