TRƯỜNG ĐẠI HỌC GIAO THÔNG VẬN TẢI THÀNH PHỐ HCM

🙞🕮🙜



**LÊ TUẤN VŨ**

**NGHIÊN CỨU PHƯƠNG PHÁP ĐÁNH GIÁ TỔN THƯƠNG MỎI TÍCH LŨY KẾT CẤU, ỨNG DỤNG CHO TÀU THỦY VÀ CÔNG TRÌNH NỔI.**

**LUẬN VĂN THẠC SỸ**

Ngành: Kỹ thuật tàu thủy

Mã số: 8520122

*Thành phố Hồ Chí Minh tháng 3 năm 2024*

TRƯỜNG ĐẠI HỌC GIAO THÔNG VẬN TẢI THÀNH PHỐ HCM

🙞🕮🙜



**LÊ TUẤN VŨ**

**NGHIÊN CỨU PHƯƠNG PHÁP ĐÁNH GIÁ TỔN THƯƠNG MỎI TÍCH LŨY KẾT CẤU, ỨNG DỤNG CHO TÀU THỦY VÀ CÔNG TRÌNH NỔI.**

**LUẬN VĂN THẠC SỸ**

Ngành: Kỹ thuật tàu thủy

Mã số: 8520122

**NGƯỜI HƯỚNG DẪN: TS. ĐỖ HÙNG CHIẾN**

*Thành phố Hồ Chí Minh tháng 3 năm 2024*

LỜI CAM ĐOAN

Tôi cam đoan:

Luận văn: “Nghiên cứu phương pháp đánh giá tổn thương mỏi tích lũy kết cấu, ứng dụng cho tàu thủy và công trình nổi.”

1. Là công trình nghiên cứu của bản thân tôi được đúc kết từ quá trình học tập và nghiên cứu dưới sự hướng dẫn của TS. Đỗ Hùng Chiến.

2. Số liệu và kết quả trong luận văn nghiên cứu là trung thực và chưa được công bố trong bất cứ công trình nào khác.

Tôi cũng xin cam đoan rằng mọi sự giúp đỡ cho việc thực hiện luận văn này đã được cảm ơn và các thông tin trích dẫn trong luận văn đã được chỉ rõ nguồn gốc.

Tôi xin hoàn toàn chịu trách nhiệm về nghiên cứu của mình.

|  |  |
| --- | --- |
|  | Thành phố Hồ Chí Minh ngày 25 tháng 02 năm 2024  **Học viên thực hiện** |
|  | Lê Tuấn Vũ |

LỜI CẢM ƠN

Trong thời đại không ngừng của sự phát triển về mặt công nghệ, và sự phát triển nhanh chóng của nhiều lĩnh vực trong đó có hàng hải, việc nghiên cứu và áp dụng về độ bền mỏi trong tính toán, thiết kế tàu thủy và công trình nổi đã trở thành một hướng nghiên cứu vô cùng quan trọng để đảm bảo được sự an toàn và tối ưu hóa thời gian sửa chữa tàu thủy cũng như công trình nổi. Đối mặt với vấn đề này, luận văn: "**Nghiên cứu phương pháp đánh giá tổn thương mỏi tích lũy kết cấu, ứng dụng cho tàu thủy và công trình nổi**." đã được tiến hành với sự hướng dẫn và hỗ trợ nhiệt tình và tận tâm từ quý thầy cô thuộc trường đại học Giao thông vận tải Thành phố Hồ Chí Minh.

Trong quá trình thực hiện luận văn, tôi đã được sự hướng dẫn bởi TS. Đỗ Hùng Chiến. Sự hiểu biết sâu rộng, kiến thức giàu có và tinh thần hỗ trợ không ngừng nghỉ từ Thầy đã giúp em xác định hướng đi chính xác và tiến xa hơn trong nghiên cứu của mình.

Việc nghiên cứu về phương pháp đánh giá tổn thương mỏi tích lũy kết cấu không chỉ là một thách thức mà còn là một cơ hội để đóng góp vào sự phát triển an toàn và hiệu quả của ngành công nghiệp hàng hải. Tôi biết ơn vô cùng đến sự hỗ trợ và sự chỉ dẫn tận tâm từ các giáo viên tại trường Đại học Giao thông vận tải Thành phố Hồ Chí Minh, đặc biệt là TS. Đỗ Hùng Chiến, người đã chia sẻ kiến thức và kinh nghiệm quý báu của mình.

Luận văn không chỉ là một dự án nghiên cứu mà còn là một hành trình học tập và phát triển cá nhân. Tôi tin rằng những kiến thức và kỹ năng thu được từ luận văn sẽ là nguồn động viên lớn, giúp tôi đóng góp tích cực vào sự phát triển bền vững và an toàn của ngành công nghiệp hàng hải và công trình nổi.

|  |  |
| --- | --- |
|  | Thành phố Hồ Chí Minh ngày 25 tháng 02 năm 2024  **Học viên thực hiện** |
|  | Lê Tuấn Vũ |

**MỤC LỤC**

[CHƯƠNG 1 CƠ SỞ LÝ LUẬN 6](#_Toc159267587)

[1.1 Cơ sở lý thuyết của phương pháp phạm vi phân phối ứng suất 6](#_Toc159267588)

[1.1.1 Phân bố Weibull và phạm vi ứng suất dài hạn 6](#_Toc159267589)

[1.1.2 Các biểu thức cho sự phá hủy mỏi dựa trên phân phối Weibull của biên độ ứng suất. 7](#_Toc159267590)

[1.1.3 Biểu thức cho sự phá hủy mỏi dựa trên phân phối Rayleigh của biên độ ứng suất. 10](#_Toc159267591)

[1.1.4 Ví dụ về việc sử dụng biểu thức cho mỏi trong các bảng tính toán dựa trên đường cong S-N Bilinear. 11](#_Toc159267592)

[1.1.5 Xác suất bị vượt quá 13](#_Toc159267593)

[1.1.6 Phạm vi ứng suất tối đa cho phép. 15](#_Toc159267594)

[1.1.7 Quy trình tải trọng và phản ứng kết hợp 18](#_Toc159267595)

[1.1.8 Phân tích độ bền mỏi của đường ống 19](#_Toc159267596)

[1.2 Thuật toán sử dụng trong tính toán sự phá hủy mỏi 21](#_Toc159267597)

[1.2.1 Hàm LoadData 22](#_Toc159267598)

[1.2.2 Hàm sự kiện nút Calculate 23](#_Toc159267599)

[1.2.3 Hàm Gamma 25](#_Toc159267600)

[1.2.4 Hàm Incompletegamma 25](#_Toc159267601)

[CHƯƠNG 2 THIẾT LẬP MÔ HÌNH VÀ KẾT QUẢ TÍNH TOÁN 27](#_Toc159267602)

[2.1 Mô hình tính toán và thông số đầu vào 27](#_Toc159267603)

[2.1.1 Mô hình tính toán 27](#_Toc159267604)

[2.1.2 Thông số đầu vào 27](#_Toc159267605)

[2.1.3 Chia lưới mô hình 28](#_Toc159267606)

[2.2 Giá trị ứng suất và các thông số cơ bản 29](#_Toc159267607)

[2.3 Kết quả 30](#_Toc159267608)

[2.3.1 Trường hợp 1: Thay đổi các giá trị của đường S-N Curves 28](#_Toc159267609)

[2.3.2 Trường hợp 2: Thay đổi hệ số hình dạng Weibull 34](#_Toc159267610)

[2.3.3 Trường hợp 3: Thay đổi số năm phục vụ (Year in service) 37](#_Toc159267611)

[2.3.4 Trường hợp 4: Hệ số tập trung ứng suất thay đổi 40](#_Toc159267612)

[CHƯƠNG 3 ĐÁNH GIÁ VÀ PHÂN TÍCH 43](#_Toc159267613)

[3.1 Đồ thị biểu diễn và đánh giá sự ảnh hưởng 43](#_Toc159267614)

[3.1.1 Trường hợp 1: 43](#_Toc159267615)

[3.1.2 Trường hợp 2: 44](#_Toc159267616)

[3.1.3 Trường hợp 3: 45](#_Toc159267617)

[3.1.4 Trường hợp 4: 46](#_Toc159267618)

DANH MỤC BẢNG

[Bảng 1.1 Bảng tính cho hư hỏng mỏi với đường cong S-N bilinear 12](#_Toc148382893)

[Bảng 1.2 Đường cong S-N trong không khí theo DNVGL-RP-C203 (2016) 15](#_Toc148382894)

[Bảng 1.3 Hệ số giảm ứng suất tương ứng với hệ số sử dụng, η, cho đường cong C–W3 trong môi trường không khí 16](#_Toc148382895)

[Bảng 1.4 Các hệ số sử dụng, η, dưới dạng một hàm số của tuổi thọ thiết kế và DFF (DNVGL-RP-C203 2016). 17](#_Toc148382896)

[Bảng 2.1 Bảng tổng hợp tính toán độ bền mỏi trường hợp 1 – 1 28](#_Toc148382897)

[Bảng 2.2 Bảng tổng hợp tính toán độ bền mỏi trường hợp 1 – 2 31](#_Toc148382898)

[Bảng 2.3 Bảng tổng hợp tính toán độ bền mỏi trường hợp 2 34](#_Toc148382899)

[Bảng 2.4 Bảng tổng hợp tính toán độ bền mỏi trường hợp 3 37](#_Toc148382900)

DANH MỤC HÌNH

[Hình 1.1 Phạm vi ứng suất cực đại cho phép trong 108 chu kỳ đối với các bộ phận trong không khí. (Theo DNVGL-RP-C203 2016). 16](#_Toc148382865)

[Hình 2.1 Góc khung sườn được nghiên cứu 27](#_Toc148382866)

[Hình 2.2 Lực tác dụng vào khung sườn 28](#_Toc148382867)

[Hình 2.3 Điều kiện biên áp dụng cho khung sườn 28](#_Toc148382868)

[Hình 2.4 Mô hình chia lưới khung sườn. 29](#_Toc148382869)

[Hình 2.5 Ứng suất lớn nhất 29](#_Toc148382870)

[Hình 2.6: Bảng tính toán độ bền mỏi của kết cấu thân tàu 30](#_Toc148382871)

[Hình 3.1 Đồ thị thể hiện sự ảnh hưởng của loại đường S-N curve đến thiệt hại mỏi do tính toán 43](#_Toc148382872)

[Hình 3.2 Đồ thị thể hiện sự ảnh hưởng của loại đường S-N curve đến tuổi thọ tính toán 43](#_Toc148382873)

[Hình 3.3 Đồ thị thể hiện sự ảnh hưởng của hệ số hình dạng Weibull đến thiệt hại mỏi do tính toán 44](#_Toc148382874)

[Hình 3.4 Đồ thị thể hiện sự ảnh hưởng của hệ số hình dạng Weibull đến tuổi thọ tính toán 44](#_Toc148382875)

[Hình 3.5 Đồ thị thể hiện sự ảnh hưởng của số năm phục vụ đến thiệt hại mỏi do tính toán 45](#_Toc148382876)

[Hình 3.6 Đồ thị thể hiện sự ảnh hưởng của số năm phục vụ đến tuổi thọ tính toán 45](#_Toc148382877)

[Hình 3.7 Đồ thị thể hiện sự ảnh hưởng của hệ số tập trung ứng suất đến thiệt hại mỏi do tính toán 46](#_Toc148382878)

[Hình 3.8 Đồ thị thể hiện sự ảnh hưởng của hệ số tập trung ứng suất đến tuổi thọ tính toán 46](#_Toc148382879)

**DANH MỤC TỪ VIẾT TẮT**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Từ viết tắt** | **Diễn giải tiếng Anh** | **Nghĩa tiếng Việt** |
| SRD | Stress Range Distribution | Phạm vi phân phối ứng suất |
| *et al* | et alia | Cộng tác viên |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |

PHẦN MỞ ĐẦU

**1. Lý do chọn đề tài**

Hiện nay, các lý thuyết và phương pháp đánh giá tuổi thọ mỏi của kết cấu đã được nghiên cứu khá bài bản và đạt được nhiều kết quả khả quan. Ở giai đoạn đầu, để đơn giản hóa vấn đề, các nghiên cứu sử dụng mô hình ứng suất - biến dạng đơn có ảnh hưởng chính (bỏ qua các thành phần ứng suất - biến dạng còn lại) để tính toán và dự đoán tuổi thọ mỏi của kết cấu. Tuy nhiên, thực tế các chi tiết, kết cấu trong quá trình làm việc hầu hết đều chịu tác dụng của tải trọng phức tạp dẫn đến trạng thái ứng suất trong chi tiết, kết cấu không phải ở trạng thái ứng suất đơn. Hơn nữa, các yếu tố đặc biệt về hình dạng và sự không đồng nhất về vật liệu của chi tiết, kết cấu càng làm cho trạng thái ứng suất trong kết cấu trở nên phức tạp hơn [1]. Khi đó, nếu sử dụng mô hình ứng suất đơn có thể dẫn đến sai số lớn khi tính toán tuổi thọ mỏi của kết cấu chịu trạng thái ứng suất phức tạp. Việc xác định và đánh giá các đặc trưng mỏi của chi tiết chịu ứng suất phức tạp đã được chú ý từ vài chục năm trở lại đây. Ngày nay, các phương pháp đánh giá tuổi thọ mỏi của chi tiết chịu ứng suất phức tạp có thể chia thành ba nhóm chính: phương pháp ứng suất - biến dạng tương đương [2], phương pháp năng lượng [3] và phương pháp mặt phẳng tới hạn [4-6]. Bên cạnh đó, chúng ta còn có thêm một phương pháp là phương pháp phạm vi phân phối ứng suất.

Phương pháp phạm vi phân phối ứng suất (SRD) giúp xác định các khoảng ứng suất tại các điểm nóng trên kết cấu, mô phỏng các biến đổi độ bền mỏi trong một khoảng thời gian và điều kiện hoạt động khác nhau. Khi đánh giá độ bền mỏi của kết cấu tàu, có nhiều yếu tố tác động đến độ bền mỏi như tải trọng động, tình trạng sóng biển, nhiệt độ môi trường và thời gian hoạt động,…. Sử dụng phương pháp SRD giúp tính toán chính xác các ứng suất tại các điểm nóng trong suốt quá trình hoạt động của tàu, từ đó định lượng hiệu quả độ mỏi và tuổi thọ của kết cấu.

Bằng cách áp dụng phương pháp SRD, ta có thể dự đoán được vị trí nào trong kết cấu tàu có nguy cơ hư bị phá hủy cao hơn, từ đó đưa ra các biện pháp hạn chế và cải tiến trong thiết kế và vận hành tàu. Điều này giúp nâng cao độ an toàn và độ tin cậy của tàu thủy và công trình nổi, tránh được các sự cố liên quan đến hỏng hóc mệt mỏi và giảm thiểu chi phí bảo trì và sửa chữa.

**2. Mục tiêu nghiên cứu**

Mục tiêu tổng quát của nghiên cứu là cung cấp một phương pháp đáng tin cậy và toàn diện để phân tích và đánh giá các yếu tố tác động đến độ bền mỏi của kết cấu tàu thủy và công trình nổi bằng phương pháp phạm vi phân phối ứng suất. Nghiên cứu nhằm xác định những yếu tố quan trọng tác động đến độ bền mỏi của kết cấu tàu trong các điều kiện khác nhau, từ đó đưa ra các dự đoán về hiệu quả mệt mỏi và tuổi thọ của kết cấu tàu. Mục tiêu cuối cùng là nâng cao độ an toàn, độ tin cậy và hiệu quả trong thiết kế, vận hành và bảo trì của các kết cấu tàu thủy và công trình nổi.

Các mục tiêu cụ thể trong nghiên cứu bao gồm:

- Xác định, phân tích và đánh các yếu tố tác động đến độ bền mỏi của kết cấu tàu thủy và công trình nổi bằng phương pháp phạm vi phân phối ứng suất.

Câu hỏi đặt ra là: Những yếu tố nào tác động đến độ bền mỏi của kết cấu tàu thủy và công trình nổi trong quá trình hoạt động, và làm thế nào để áp dụng phương pháp phạm vi phân phối ứng suất để dự đoán và đánh giá hiệu quả độ bền mỏi và tuổi thọ của kết cấu tàu trong các điều kiện khác nhau?

**3. Đối tượng, phạm vi nghiên cứu**

Đối tượng nghiên cứu trong đề tài chính là độ bền mỏi của kết cấu tàu thủy và công trình nổi

Phạm vi nghiên cứu của đề tài bao gồm các nội dung sau:

* Phạm vi nội dung: trong nghiên cứu, chúng ta tập trung vào vấn đề phân tích và đánh giá độ bền mỏi của kết cấu tàu thủy và công trình nổi.
* Phạm vi không gian: Chúng ta thực hiện việc nghiên cứu này tại khu vực giao nhau giữa các kết cấu khỏe trong tàu thủy và công trình nổi.
* Phạm vi thời gian: Nghiên cứu được thực hiện trong 6 tháng (Từ tháng 11 năm 2023 đến tháng 4 năm 2024).

**4. Phương pháp nghiên cứu**

Đề tài sử dụng phương pháp phạm vi phân phối ứng suất, cùng với đó là phân tích và đánh giá cụ thể các yếu tố tác động để độ bền mỏi kết cấu tàu thủy và công trình nổi.

**5. Ý nghĩa thực tiễn của đề tài**

Đề tài trên có ý nghĩa to lớn trong việc cải thiện độ bền mỏi của kết cấu tàu thủy và công trình nổi: Nghiên cứu này giúp xác định các yếu tố có thể ảnh hưởng đến độ bền mỏi của kết cấu tàu thủy và công trình nổi, giúp tối ưu hóa vật liệu để cải thiện độ bền mỏi của tàu và giảm thiểu nguy cơ sự cố kết cấu trên biển. Bên cạnh đó, chúng ta có thể xác định tuổi thọ của kết cấu, qua đó có xác định được thời gian sửa chữa, thay thế để đảm bảo an toàn hàng hải.

**6. Bố cục của luận văn**

Bố cục luận văn bao gồm có 3 chương:

- Chương 1: Tổng quan về nghiên cứu.

- Chương 2: Cơ sở lý thuyết.

- Chương 3: Nội dung, kết quả nghiên cứu.

# TỔNG QUAN VỀ VẤN ĐỀ NGHIÊN CỨU

## Tổng quan về nghiên cứu trong nước.

Nhóm tác giả: Đỗ Văn Sĩ, Bùi Mạnh Cường, Tạ Văn San trong nghiên cứu “Xác định giới hạn bền mỏi của chi tiết chịu ứng suất phức tạp bằng phương pháp số.

Bài nghiên cứu trên trình bày kết quả tính toán giới hạn bền mỏi của chi tiết chịu ứng suất phức tạp bằng phương pháp số. Trường ứng suất phức tạp được chuyển đổi thành trường ứng suất tương đương để tính giới hạn bền mỏi dựa trên các tiêu chí khác nhau. Kết quả tính toán được so sánh với kết quả thử nghiệm và tiêu chuẩn quốc tế để xác định tiêu chí nào là phù hợp nhất cho đánh giá giới hạn bền mỏi của chi tiết chịu ứng suất phức tạp.

Kết quả cho thấy sự chênh lệch giữa sử dụng trường ứng suất đơn và trường ứng suất tương đương Von Mises. Khi chi tiết chịu ứng suất phức tạp, sử dụng ứng suất đơn có sự sai lệch lớn, trong khi ứng suất tương đương Von Mises giữ được độ chính xác cao. Phương pháp mặt phẳng tới hạn cho thấy kết quả chính xác, đặc biệt khi chi tiết chịu trường ứng suất phức tạp.

Bài nghiên cứu nhấn mạnh rằng sử dụng phương pháp số để tính giới hạn bền mỏi cho chi tiết chịu ứng suất phức tạp mang lại lợi ích lớn hơn so với các phương pháp khác. Phương pháp mặt phẳng tới hạn được đánh giá là phù hợp và chính xác trong việc phản ánh quá trình phá hủy mỏi trong thực tế. Kết quả của nghiên cứu có thể áp dụng để tiến hành tính toán sơ bộ và định hướng cho thực nghiệm, đồng thời đưa ra những nhận định quan trọng về phương pháp đánh giá giới hạn bền mỏi của chi tiết chịu ứng suất phức tạp.

## Tổng quan về các nghiên cứu nước ngoài.

Tác giả: Wolfgang Fricke, Hans Paetzold với đề tài nghiên cứu “Full-scale fatigue tests of ship structures to validate the S–N approaches for fatigue strength assessment” tập trung vào việc thực hiện các thử nghiệm mệt mỏi quy mô đầy đủ trên các cấu trúc tàu thủy và công trình nổi để xác nhận các phương pháp đánh giá sức mệt mỏi dựa trên đường cong S-N.

Bài nghiên cứu nhấn mạnh đến vấn đề độ bền mỏi của các kết cấu tàu thủy và công trình nổi dựa trên đường cong S-N, vì chúng phải chịu những tải trọng tuần hoàn cao. Tuy nhiên, đối với việc đánh giá độ bền mỏi của các kết cấu này có nhiều phương pháp khác nhau và không đồng nhất. Vì vậy, để hài hòa các phương pháp đánh giá độ bền mỏi, các thử nghiệm độ bền mỏi quy mô đầy đủ đã được thực hiện ở Đức trong một dự án nghiên cứu chung của ngành công nghiệp đóng tàu.

Hai loại kết cấu tàu đã được chọn để thử nghiệm quy mô đầy đủ. Loại đầu tiên là các vị trí giao điểm giữa các khung web, phổ biến trong tàu roll-on/roll-off (ro/ro). Ba mô hình đã được thử nghiệm dưới tải trọng biên độ không đổi. Loại thứ hai là các giao điểm giữa dầm dọc và khung web, đã xuất hiện các hỏng hóc do độ bền mỏi gần đây trên tàu chở container. Năm mô hình đã được thử nghiệm, ba dưới tải trọng biên độ không đổi và hai dưới tải trọng biên độ biến đổi.

Tất cả các thử nghiệm đã cho thấy giai đoạn lan truyền nứt tương đối dài sau khi xuất hiện các nứt đầu tiên, đòi hỏi một tiêu chuẩn hợp lý. Đối với phân tích số, đã sử dụng cả phương pháp ứng suất điểm nóng kết cấu và phương pháp ứng suất rãnh hiệu quả. Phương pháp ứng suất rãnh hiệu quả cho phép xem xét hình dạng hàn, điều này có thể giải thích một phần sự khác biệt trong hành vi hỏng hóc được quan sát và tính toán.

Từ các kết quả của các nghiên cứu thử nghiệm, đã đạt được cái nhìn tổng quát về hành vi cường độ của các cấu trúc tàu hàn phức tạp và các vấn đề hiện tại. Các nghiên cứu này đóng góp quan trọng cho việc cải thiện phương pháp thiết kế và xây dựng các kết cấu tàu an toàn và đáng tin cậy hơn. [7]

Các tác giả: Byoung-Hoon Jung, In-Gyu Ahn, Sun-Kee Seo và Beom-Il Kim trong nghiên cứu “Fatigue Assessment of Very Large Container Ships Considering Springing Effect Based on Stochastic Approach” đã xây dựng một phương pháp đánh giá độ bền mỏi xem xét thành phần co giãn tuyến tính trong miền tần số. Dựa trên một mô hình toàn cầu ba chiều, thực hiện phân tích tương tác cơ - cấu và áp dụng phương pháp kết hợp các mode để xác định ứng suất điểm nóng tại góc vòi hầm của tàu chở container rất lớn. Hư hỏng mệt mỏi được ước tính trực tiếp bằng cách sử dụng hàm chuyển đổi ứng suất với phản ứng co giãn tuyến tính.

Bài nghiên cứu tập trung vào việc xây dựng một phương pháp đánh giá độ bền mỏi dựa trên kỹ thuật phân tích thống kê tuyến tính. Nghiên cứu xem xét hiệu ứng co giãn ("springing effect") của các tàu chở container rất lớn, và tiến hành đánh giá tính khả dụng của quy trình đối với một tàu thực tế.

Phương pháp đã được thiết lập để tính toán trực tiếp hư hỏng mỏi tại các điểm nóng trên tàu bằng cách sử dụng mô hình toàn cầu ba chiều. Sau đó, đề xuất một phương pháp ước tính hư hỏng mỏi cuối cùng, kết hợp hư hỏng tính toán từ phân tích độ bền mỏi phổ cứng cơ học, và áp dụng tỷ lệ giữa hư hỏng mệt mỏi tính toán từ giai đoạn đánh giá thiết kế tàu và hư hỏng do hiệu ứng co giãn từ một lý thuyết khác.

Phương pháp đề xuất cũng được sử dụng để ước tính hư hỏng mỏi của các điểm nóng trên tàu theo hướng dọc. Từ các kết quả tính toán, đã phân tích các đặc điểm và kết quả hư hỏng mỏi từ từng phương pháp.

Tuy nhiên, nghiên cứu cũng gặp một số hạn chế khi áp dụng và đánh giá phương pháp đề xuất trong thiết kế tàu thực tế. Trong tương lai, cần nghiên cứu kỹ hơn về hàm chuyển đổi ứng suất và phản ứng ứng suất được sử dụng để tính toán hư hỏng mỏi, và tiến hành các nghiên cứu liên quan đến các yếu tố phi tuyến. [8]

Bài nghiên cứu: “Fatigue strength assessment of MARK-III type LNG cargo containment system” của các tác giả Myung Hyun Kim, Sang Min Lee, Jae Myung Lee, Byung Jae Noh, và Wha Soo Kim tập trung vào việc khám phá độ bền mệt mỏi của hệ thống cách nhiệt loại Mark-III trên tàu chở LNG. Các thử nghiệm mệt mỏi đã được tiến hành ở ba vị trí khác nhau trên hệ thống cách nhiệt, đồng thời xem xét tác động từ việc chuyển động dội sóng. Các mức tải trọng đã được xác định dựa trên độ bền cuối cùng của bọt xốp polyurethane gia cường.

Tổng cộng có 28 mẫu thử thuộc 3 loại khác nhau được sử dụng trong các thử nghiệm mỏi. Nghiên cứu đã tìm hiểu tuổi thọ mỏi cũng như các đặc điểm hỏng hóc của hệ thống cách nhiệt LNG. Trong quá trình thử nghiệm, quan sát được các hỏng hóc điển hình của bảng cách nhiệt Mark-III, bao gồm các nứt và các hiện tượng delamination trong các lớp composite khác nhau.

Nghiên cứu đề xuất một hướng dẫn thiết kế độ bền mỏi dựa trên kỹ thuật phân tích phần tử hữu hạn để đánh giá độ mỏi nhất quán cho hệ thống cách nhiệt LNGC. Điều này bao gồm việc sử dụng dải mastic hình chữ nhật để đạt được kết quả đáng tin cậy và nhất quán trong việc thiết kế mệt mỏi.

Đường cong S-N thiết kế được đề xuất dựa trên kết quả của các thử nghiệm phân tích phần tử hữu hạn. Kết quả này có thể được sử dụng trong việc phân tích độ bền mỏi cho hệ thống cách nhiệt LNGC, giúp nâng cao hiệu quả và đáng tin cậy trong thiết kế của hệ thống cách nhiệt này. [9]

# CƠ SỞ LÝ LUẬN

## Cơ sở lý thuyết của phương pháp phạm vi phân phối ứng suất

### Phân bố Weibull và phạm vi ứng suất dài hạn

Đối với việc đánh giá độ bền mỏi của các cấu trúc nổi, thường được giả định rằng phân bố biên độ căng kéo dài hạn có thể được đại diện một cách đủ đắc lực bằng phân phối Weibull hai tham số (xem ví dụ, Guedes Soares và Moan 1991). Hàm mật độ xác suất cho phân phối Weibull hai tham số có dạng:



Trong đó:

* h là tham số hình dáng
* q là tham số tỷ lệ

Tham số tỷ lệ liên quan đến biên độ ứng suất tối đa , trong suốt n0 chu kỳ ứng suất, cụ thể như sau:



Phân phối tích lũy sau đây cho biên độ ứng suất được tạo ra bằng việc tích phân của phương trình (1.1) từ 0 đến :



Với mục đích kỹ thuật, tham số tỷ lệ q có thể loại bỏ bằng cách giới thiệu biên độ ứng suất tối đa σ0 trong suốt n0 chu kỳ ứng suất. Điều này có thể thực hiện bằng cách sử dụng hàm bù, Q, biểu thị xác suất biên độ ứng suất vượt quá:



Biên độ ứng suất lớn nhất xảy ra chỉ một lần trong suốt n0 chu kỳ, và xác suất xảy ra điều này là:



Số lượng chu kỳ, n, mà biên độ ứng suất bị vượt quá sau đó có thể được biểu diễn dưới dạng:



Lấy logarithm cả hai phía của phương trình (1.6) ta có kết quả là:



Sau đó, bằng cách thay q từ phương trình (1.2) vào, phương trình trở thành:



Và ta có:



Ở phần cuối của phương trình này, mối quan hệ  được sử dụng. [10]

### Các biểu thức cho sự phá hủy mỏi dựa trên phân phối Weibull của biên độ ứng suất.

Hàm gamma (xem, ví dụ, Ambramowitz và Stegun 1970) được định nghĩa như sau:



Hàm gamma không hoàn chỉnh được định nghĩa như sau:



(a trong biểu thức này là một tham số khác biệt so với tham số được sử dụng để mô tả đường cong S-N.)

Hàm bù gamma không hoàn chỉnh được định nghĩa như sau:



Phân phối Weibull hai tham số được trình bày trong phương trình (1.1). Đối với đường cong S-N một độ dốc, tổn thương mỏi có thể tính dựa trên việc tích phân của phương trình tổn thương Palmgren-Miner và đường cong S-N, cụ thể như sau:



Tiếp theo ta có:



Lấy vi phân của phương trình 1.14, ta có:



Sau đó, bằng cách kết hợp các phương trình (1.13), (1.14) và (1.15), biểu thức sau dành cho sự phá hủy mỏi được tính toán được tạo ra (để so sánh với phương trình 1.10):



Bằng cách so sánh phương trình (1.16) và (1.10), có thể thấy rằng sự phá hủy mỏi có thể được tính toán từ biểu thức sau đây:



Với q từ công thức 1.2, sự phá hủy mỏi có thể được tính như sau:



Để tính toán sự phát triển của vết nứt bằng cơ học gãy vỡ khi bỏ qua các giá trị ngưỡng, có thể thuận tiện để tạo ra một biên độ ứng suất tĩnh tương đương mà cung cấp cùng sự phá hủy mỏi tính toán như từ một phân phối biên độ ứng suất dài hạn theo phân phối Weibull cho cùng số chu kỳ ứng suất. Điều này có thể được đạt được bằng cách yêu cầu rằng sự phá hủy mỏi dưới tải trọng biên độ tĩnh, xem xét một khối với chu kỳ n0 đem lại cùng sự phá hủy mỏi như bằng phương trình (1.17):



Giải phương trình này để tìm hằng số biên độ ứng suất tĩnh tương đương ta có:



Với q từ phương trình 1.2, phương trình trên cũng có thể được trình bày như sau:



Đối với đường cong S-N hai độ dốc (bilinear), sự phá hủy mỏi cũng có thể được tính toán theo quy tắc Palmgren-Miner bằng cách tích phân chúng dưới mỗi phần của các đường cong S-N bilinear. Số lượng chu kỳ trong phần tử số của quy tắc phá hủy được tạo ra từ biểu thức cho phân phối biên độ ứng suất dài hạn theo phân phối Weibull. Do đó, sự phá hủy mỏi được tính toán như sau:



Kết hợp với phương trình 1.14 và 1.15, chúng ta có:



trong đó S1 là ứng suất tại điểm chuyển từ phần trái sang phần phải của đường cong S-N. So sánh biểu thức này cho sự phá hủy mỏi với định nghĩa của các hàm gamma không hoàn chỉnh trong các phương trình (1.11) và (1.12), ta có thể tạo ra phương trình sau đây [10]:



### Biểu thức cho sự phá hủy mỏi dựa trên phân phối Rayleigh của biên độ ứng suất.

Phân phối Rayleigh thường được sử dụng để tính toán sự phá hủy mỏi trong một trạng thái biển khi thực hiện phân tích mỏi dựa trên phản ứng tần số. Phân phối Rayleigh có dạng như sau:



Trong đó:

* = biên độ ứng suất
* = độ lệch chuẩn

So sánh các phân phối, có thể quan sát rằng phân phối Rayleigh là một trường hợp đặc biệt của phân phối Weibull, với:



Do đó, biểu thức tính toán sự phá hủy mỏi có thể được tính toán trực tiếp từ phương trình 1.24 như sau [10]:



### Ví dụ về việc sử dụng biểu thức cho mỏi trong các bảng tính toán dựa trên đường cong S-N Bilinear.

Trong ví dụ dưới đây, sẽ được trình bày cách sử dụng các biểu thức tương ứng với sự phá hủy mỏi dựa trên đường cong S-N Bilinear trong một bảng tính toán thực tế. Hàm gamma có thể được tính trực tiếp từ một hàm có sẵn trong bảng tính toán. Trong một bảng tính hàm được viết bằng ngôn ngữ C#, chúng ta có thể tính được giá trị 

Phân phối gamma có thể được sử dụng để tính các hàm gamma không hoàn chỉnh trong phương trình (1.24). Hàm này được định nghĩa như sau:



và: 

Hàm bù gamma không hoàn chỉnh được tạo ra như sau:



Ta thấy:



 cho phần bên trái đường S-N

 cho phần bên phải đường S-N

Bảng 1.1 Bảng tính cho hư hỏng mỏi với đường cong S-N bilinear [10]

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| STT |  | D | E | Ghi chú |
| 1 | STT điểm nóng kết cấu | 1 | 2 |  |
| 2 | Đường cong S-N | B1 | F1 |  |
| 3 | Phạm vi ứng suất danh nghĩa (MPA) | 131.61 | 136.75 |  |
| 4 | Hệ số ứng suất tại điểm nóng | 3 | 1.15 |  |
| 5 | Hệ số Weibull: h | 1.1 | 1.1 |  |
| 6 | Chu kỳ tại vị trí khớp của đường cong S-N (N1) | 1e7 | 1e7 |  |
| 7 |  | 4 | 3 |  |
| 8 |  | 14.885 | 11.699 |  |
| 9 |  | 5 | 5 |  |
| 10 |  | 16.856 | 14.832 |  |
| 11 | Thời gian phục vụ (năm) | 20 | 20 |  |
| 12 | Tần số: v0 | 0.159 | 0.159 |  |
| 13 | Độ dày hiệu quả [mm] | 30 | 30 |  |
| 14 | Độ dày tham khảo | 25 | 25 |  |
| 15 | Số mũ độ dày: k | 0 | 0.25 |  |
| 16 | Td = Thời gian phục vụ (năm).60.60.24.365 | 6.31e8 | 6.31e8 |  |
| 17 | Số chu kỳ được tính toán: n0 | 1e8 | 1e8 |  |
| 18 | Hệ số tỉ lệ Weibull được tính toán: q | 27.932 | 11.126 |  |
| 19 | Độ dày hoặc kích thước được chỉnh sửa | 1 | 1.047 |  |
| 20 | Gamma(1+m1/h) | 14.089 | 4.306 |  |
| 21 | Gamma(1+m2/h) | 56.331 | 56.331 |  |
| 22 | Ứng suất tại vị trí khớp của đường cong S-N: S1 | 93.594 | 36.841 |  |
| 23 |  | 3.781 | 3.733 |  |
| 24 | Phân phối Gamma | 0.395 | 0.57 |  |
| 25 | Phân phối gamma | 0.242 | 0.233 |  |
| 26 | Thiệt hại mỏi do tính toán: D | 1 | 1 |  |
| 27 | Tuổi thọ được tính toán T [years] | 20.006 | 20.002 |  |

### Xác suất bị vượt quá

Khái niệm về mức xác suất được sử dụng trong thiết kế cấu trúc tàu. Nó cũng được sử dụng trong phân tích mệt mỏi liên quan đến việc tính toán tải trọng áp lực bên cạnh trên các tàu sản xuất nổi (DNV-RP-C206 2012). Ký hiệu này có ý nghĩa khác biệt so với xác suất sự cố hàng năm. Ký hiệu về mức xác suất hoặc xác suất bị vượt quá được sử dụng với tham chiếu đến một mô tả Weibull về phân phối dài hạn của phạm vi ứng suất hoặc chiều cao sóng. Mức xác suất được sử dụng ở đây được định nghĩa là xác suất một giá trị bị vượt quá. Ví dụ, nếu có  chu kỳ tải trọng trong 20 năm, xác suất rằng chiều cao sóng tối đa hoặc một tải trọng bị vượt quá trong những chu kỳ tải trọng này trong 20 năm là . Do đó, có thể thấy rằng điều này khá khác biệt so với xác suất hàng năm, một biểu thức được sử dụng thường xuyên hơn trong việc đánh giá mức độ an toàn của kết cấu hàng hải. Giả định rằng phân phối chiều cao sóng dài hạn có một phân phối Weibull, một phương trình tương tự cho mối quan hệ giữa chiều cao sóng và xác suất bị vượt quá, tương tự như phạm vi ứng suất trong phương trình (1.9), có thể được tìm ra như sau:



Một mức xác suất được đề cập trong DNV CN 30.7 (2014), "Fatigue Assessment of Ship Structures" là 10-4 điều này có nghĩa rằng chiều cao sóng tương ứng với mức xác suất này cho một tham số hình dạng Weibull là 1.0 là:



trong đó Hmax là chiều cao sóng tối đa trong suốt 20 năm.

Do đó, từ phương trình này có thể thấy rằng một mức xác suất là 10-4 tương ứng với một nửa chiều cao sóng tối đa trong suốt 20 năm, với một tham số hình dạng Weibull, h=1.0 Như vậy, chiều cao sóng này sẽ bị vượt quá 10.000 lần trong khoảng thời gian 20 năm. Tham số hình dạng cho phân phối phạm vi ứng suất có thể khác biệt so với tham số cho chiều cao sóng, tùy thuộc vào mối quan hệ giữa chiều cao sóng và tải trọng trên cấu trúc cũng như khả năng phản ứng động của cấu trúc.

Phương trình (1.2) có thể được sử dụng trực tiếp để tính toán dãy căng thẳng tại các mức xác suất khác nhau, vì tham số tỷ lệ là một giá trị đã cho trong một phân phối Weibull cụ thể. Như vậy, mối quan hệ giữa hai mức xác suất khác nhau có thể được thể hiện như sau:



Điều này cho ra:



Phương trình này là cách thực tế để chuyển đổi phạm vi ứng suất giữa các mức xác suất khác nhau. Do đó, xem xét ví dụ về một cấu trúc ngoại biển chịu tải trọng sóng trong suốt 20 năm, số chu kỳ thường là 108. Phạm vi ứng suất lớn nhất trong suốt 20 năm có thể được ký hiệu là . Số chu kỳ tương ứng trong suốt 100 năm là . Phạm vi ứng suất lớn nhất trong suốt 100 năm có thể được ký hiệu là . Phương trình (1.35) có thể được sử dụng để thiết lập mối quan hệ giữa hai phạm vi ứng suất này.



Phương trình này được trình bày trong một số tiêu chuẩn thiết kế cho kết cấu hàng hải. [10]

### Phạm vi ứng suất tối đa cho phép.

Phương trình (1.24) hoặc bảng tính từ Phần 1.1.4 có thể được sử dụng để tính toán phạm vi ứng suất tối đa cho phép trong suốt một giai đoạn thời gian xem xét bằng cách đòi hỏi rằng sự phá hủy mỏi được giới hạn ở D = 1.0. Dựa trên điều này, một biểu đồ thiết kế với các phạm vi ứng suất cho phép cho tuổi thọ thiết kế là 20 năm với 108 chu kỳ ứng suất bị tạo ra, như được thể hiện trong Hình 1.1. Các ứng suất cho phép được tạo ra cho các hệ số hình dạng Weibull khác nhau, và các đường S-N trong không khí được thể hiện trong Bảng 1.2.

Bảng 1.2 Đường cong S-N trong không khí theo DNVGL-RP-C203 (2016)

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| S-N curve | chu kỳ | | chu kỳ | Ứng suất mỏi giới hạn tại 107 chu kỳ (Mpa) | Số mũ độ dày, k | Độ tập trung ứng suất kết cấu |
|  |  |
| B1 | 4.0 | 15.117 | 17.146 | 106.97 | 0 |  |
| B2 | 4.0 | 14.885 | 16.856 | 93.59 | 0 |  |
| C | 3.0 | 12.592 | 16.320 | 73.10 | 0.05 |  |
| C1 | 3.0 | 12.449 | 16.081 | 65.50 | 0.10 |  |
| C2 | 3.0 | 12.301 | 15.835 | 58.48 | 0.15 |  |
| D | 3.0 | 12.164 | 15.606 | 52.63 | 0.20 | 1.00 |
| E | 3.0 | 12.010 | 15.350 | 46.78 | 0.20 | 1.13 |
| F | 3.0 | 11.855 | 15.091 | 41.52 | 0.25 | 1.27 |
| F1 | 3.0 | 11.699 | 14.832 | 36.84 | 0.25 | 1.43 |
| F3 | 3.0 | 11.546 | 14.576 | 32.75 | 0.25 | 1.61 |
| G | 3.0 | 11.398 | 14.330 | 29.24 | 0.25 | 1.80 |
| W1 | 3.0 | 11.261 | 14.101 | 26.32 | 0.25 | 2.00 |
| W2 | 3.0 | 11.107 | 13.845 | 23.39 | 0.25 | 2.25 |
| W3 | 3.0 | 10.970 | 13.617 | 21.05 | 0.25 | 2.50 |

A graph of lines on a white background

Description automatically generated

Hình 1.1 Phạm vi ứng suất cực đại cho phép trong 108 chu kỳ đối với các bộ phận trong không khí. (Theo DNVGL-RP-C203 2016).

Bảng 1.3 Hệ số giảm ứng suất tương ứng với hệ số sử dụng, η, cho đường cong C–W3 trong môi trường không khí

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Hệ số sử dụng phá hủy mỏi, | Hệ số hình dạng Weibull , h | | | | | | | |
| 0.50 | 0.60 | 0.70 | 0.80 | 0.90 | 1.00 | 1.10 | 1.20 |
| 0.10 | 0.497 | 0.511 | 0.526 | 0.540 | 0.552 | 0.563 | 0.573 | 0.582 |
| 0.20 | 0.609 | 0.620 | 0.632 | 0.642 | 0.652 | 0.661 | 0.670 | 0.677 |
| 0.22 | 0.627 | 0.638 | 0.648 | 0.659 | 0.668 | 0.677 | 0.685 | 0.692 |
| 0.27 | 0.661 | 0.676 | 0.686 | 0.695 | 0.703 | 0.711 | 0.719 | 0.725 |
| 0.30 | 0.688 | 0.697 | 0.706 | 0.715 | 0.723 | 0.730 | 0.737 | 0.743 |
| 0.33 | 0.708 | 0.717 | 0.725 | 0.733 | 0.741 | 0.748 | 0.754 | 0.760 |
| 0.40 | 0.751 | 0.758 | 0.765 | 0.772 | 0.779 | 0.785 | 0.790 | 0.795 |
| 0.50 | 0.805 | 0.810 | 0.816 | 0.821 | 0.826 | 0.831 | 0.835 | 0.839 |
| 0.60 | 0.852 | 0.856 | 0.860 | 0.864 | 0.868 | 0.871 | 0.875 | 0.878 |
| 0.67 | 0.882 | 0.885 | 0.888 | 0.891 | 0.894 | 0.897 | 0.900 | 0.902 |
| 0.70 | 0.894 | 0.897 | 0.900 | 0.902 | 0.905 | 0.908 | 0.910 | 0.912 |
| 0.80 | 0.932 | 0.934 | 0.936 | 0.938 | 0.939 | 0.941 | 0.942 | 0.944 |
| 1.00 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |

#### Tác động của Hệ số thiết kế mỏi (DFF) và các tuổi thọ thiết kế khác

Các ứng suất tối đa cho phép được tính dựa trên Hệ số thiết kế mỏi (DFF) là 1.0. Các giá trị DFF lớn hơn cho thấy có một số lượng chu kỳ căng mệt lớn hơn, dẫn đến việc giảm phạm vi ứng suất tối đa cho phép để đạt được cùng một lượng phá hủy mỏi tính toán chấp nhận được. Hơn nữa, tuổi thọ trong dịch vụ không nhất thiết phải là 20 năm. Do đó, để sử dụng bảng tính từ Phần 1.1.4, dải ứng suất cho phép có thể được giảm đi bằng một hệ số giảm đã được tính toán cho các tham số hình dạng khác nhau trong Bảng 1.3. Các tuổi thọ phục vụ khác với 20 năm có thể được tính toán bằng cách bao gồm các hệ số sử dụng trong Bảng 1.4. Những hệ số này cũng liên quan đến giá trị của DFF hoặc, trực tiếp hơn, là nghịch đảo của DFF. Hệ số sử dụng thiệt hại mệt mỏi kết quả trong Bảng 1.3 sau đó được sử dụng để tính toán hệ số giảm cho việc đánh giá mệt mỏi của kết nối hàn trong môi trường không khí. Hệ số từ Bảng 1.3 được nhân vào các dải ứng suất cho phép từ hình 1.1 để tạo ra một dải ứng suất tối đa cho phép tương ứng với tuổi thọ phục vụ dự kiến và DFF cần thiết.

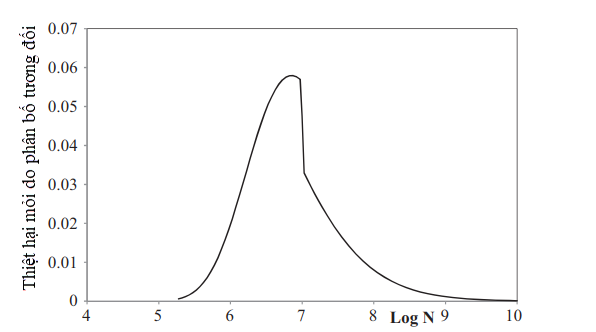
Bảng 1.4 Các hệ số sử dụng, η, dưới dạng một hàm số của tuổi thọ thiết kế và DFF (DNVGL-RP-C203 2016).

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| DFF | Design life in years | | | | | | |
| 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 50 |
| 1 | 4.0 | 2.0 | 1.33 | 1.0 | 0.80 | 0.67 | 0.40 |
| 2 | 2.0 | 1.0 | 0.67 | 0.5 | 0.40 | 0.33 | 0.20 |
| 3 | 1.33 | 0.67 | 0.44 | 0.33 | 0.27 | 0.22 | 0.13 |
| 5 | 0.8 | 0.4 | 0.27 | 0.2 | 0.16 | 0.13 | 0.08 |
| 10 | 0.4 | 0.2 | 0.13 | 0.1 | 0.08 | 0.07 | 0.04 |

#### Một vài hướng dẫn để lựa chọn tham số hình dạng Weibull

Các phá hủy do mỏi được tính toán nhạy cảm đối với giá trị được chọn cho tham số hình dạng Weibull, và điều này làm cho việc sử dụng nó có phần khó khăn trong một số tình huống. Khái niệm này có thể được sử dụng để đánh giá thiết kế ở giai đoạn thiết kế ban đầu hoặc để mục đích lọc lựa các khu vực quan trọng để tiến hành đánh giá mệt mỏi chi tiết hơn. Trong những trường hợp như vậy, nên giả định các tham số hình dạng một cách an toàn. Ví dụ, nếu tham số hình dạng cho một cấu trúc nổi được kỳ vọng sẽ khoảng 1.0, thì có thể sử dụng giá trị trong khoảng từ 1.05 đến 1.10 để đảm bảo an toàn hơn. Một số hướng dẫn về việc lựa chọn tham số hình dạng cho đánh giá mệt mỏi của cấu trúc tàu biển có thể được tìm thấy trong DNV CN 30.7 (2014), trong đó tham số hình dạng được trình bày dưới dạng một hàm số của chiều dài tàu. Nó cũng phụ thuộc vào vị trí trong tàu được xem xét. Trước đây, tham số hình dạng trong phân phối Weibull có giá trị khoảng 1.0 cho các cấu trúc nổi và cho các cấu trúc mà phản ứng tải trọng chủ yếu được quy định bởi thành phần khối lượng trong phương trình Morison để tính tải trọng (xem Naess và Moan 2013). Khi tải trọng được quy định nhiều hơn bởi thành phần kháng lực, chẳng hạn như đối với cấu trúc có thành phần mảnh, ví dụ, trong các khung và tháp flare, việc cung cấp lời khuyên về tham số hình dạng thích hợp trở nên khó khăn hơn, vì nó có thể nằm trong một khoảng lớn hơn, từ 0.5 đến 0.9. Do đó, đánh giá mệt mỏi dựa trên tải trọng 100 năm, ví dụ, trở nên khá không chắc chắn. Sự không chắc chắn này sẽ được giảm đáng kể nếu tính toán cũng tương ứng với việc xác định đóng góp lớn nhất vào thiệt hại do mỏi. Nếu có một phạm vi ứng suất xung quanh khu vực mà đóng góp lớn nhất vào thiệt hại do mỏi được biết đến, thì việc biết chính xác phạm vi căng thẳng lớn nhất trở nên không quan trọng bằng. Điều này có thể được đánh giá dựa trên biểu đồ đóng góp vào thiệt hại do mệt mỏi, như được thể hiện trong Hình 1.2. Hướng dẫn sau đây về tham số hình dạng được tìm thấy trong tài liệu (xem, ví dụ, API RP2A-WSD 2014) [10]:

* 0.5 cho căn cứ cố định ở vùng vùng biển vịnh Mexico và truss spars
* 0.7 cho dầm dưới mặt nước và cản sóng động ở vùng vùng biển vịnh Mexico và cảng chân vững
* 1.0 cho biển Bắc, biển Đông và California Nam (cố định sóng)
* 1.3 cho biển Bắc, biển Đông, California Nam (động) và châu Phi Tây (song song sóng lặng).



Hình 1.2 Đóng góp điển hình vào hỏng hóc do mệt mỏi dọc theo đường cong S-N cho một cấu trúc nổi trên biển chịu tải sóng trong suốt 20 năm tuổi thọ dịch vụ.

### Quy trình tải trọng và phản ứng kết hợp

#### Tổng quan

Quy trình tải trọng và phản ứng kết hợp được hiểu là sự chồng chất của hai quy trình tải trọng xảy ra đồng thời, dẫn đến một phân bố dài hạn về biên độ ứng suất để tính toán tổn hại do mỏi. Việc tính toán tổn hại do mỏi cho từng quy trình này tương đối đơn giản, nhưng tổn hại do mỏi cho quy trình kết hợp có thể khó khăn hơn vì biên độ ứng suất được nâng cao ở độ dốc âm ngược của đường cong S-N để tính toán tổn hại do mỏi. Do đó, việc đơn giản cộng dồn tổn hại do mỏi được tính toán từ từng quy trình này là không bảo thủ.

Tổn hại do mỏi có thể được cộng dồn nếu các quy trình diễn ra tuần tự theo thời gian, chẳng hạn như tính toán tổn hại do mỏi do động lực từ việc đóng cọc kết hợp với sự tích tụ tổn hại do mỏi sau khi lắp đặt do tác động của sóng lên cấu trúc đã lắp đặt. Tương tự, việc vận chuyển một cấu trúc đến khu vực lắp đặt tiếp theo là sự tích tụ tổn hại do mỏi sau khi lắp đặt do tác động của sóng lên cấu trúc là một ví dụ về các quy trình tuần tự, trong đó tổn hại do mỏi từ mỗi quy trình có thể được cộng dồn. Naess và Moan (2013) đã mô tả phân tích động phức tạp hơn dưới tác động tải đồng thời. Ví dụ về quy trình kết hợp bao gồm:

* Tải trọng động của một tháp ngọn lửa chịu tác động của gió và được hỗ trợ bởi một cấu trúc áo khoác chịu tác động của sóng;
* Cấu trúc tuabin gió chịu tải trọng từ cả gió, tác động của cánh quạt và tác động của sóng;
* Tàu sản xuất nổi chịu tải trọng từ cả sóng và sóng biển (xem DNV-RP-C206 2012; DNVGL-RP-C203 2016).

Tải trọng kết hợp cũng có thể xuất phát từ tải trọng vận hành xảy ra trên một cấu trúc ngoài phản ứng từ tải trọng môi trường. [10]

### Phân tích độ bền mỏi của đường ống

#### Trên tàu sản xuất nổi

Đường ống được lắp đặt trên tàu sản xuất nổi để vận hành một số máy móc là thành phần của thiết bị sản xuất trong cấu trúc thượng tầng. Đường ống được chế tạo bằng cách hàn từ bên ngoài, nghĩa là hàn một mặt cho phân loại S-N. Giả sử đường cong F3 được áp dụng để đánh giá độ bền mỏi của các kết nối này. Đường ống chịu áp suất bên trong 20 bar trong 1.000 chu kỳ trong vòng đời 20 năm của tàu. Nhiệt độ bên trong đường ống tăng từ nhiệt độ môi trường lên 310°C trong mỗi chu kỳ tải.

Câu hỏi đặt ra là làm thế nào để tính toán tuổi thọ mỏi của mối hàn đối đầu trong những đường ống này. Trong ví dụ này, giả sử thiệt hại do mỏi được tính toán, Dw, do tác động của sóng dựa trên phân tích độ bền mỏi chi tiết hoặc phân phối dải ứng suất dài hạn Weibull và được tính toán bằng cách sử dụng đường cong S-N cho nhiệt độ môi trường.

Tiếp theo, giả sử các chu kỳ ứng suất do vận hành máy móc được phân bố đều trong suốt vòng đời của tàu. Giả sử dải ứng suất do vận hành máy móc được cộng vào phân phối dải ứng suất dài hạn Weibull, tương ứng với chu kỳ tải trong 20 năm. Thiệt hại do mỏi do phân phối tải mới này, Dw+o, sau đó được tính toán bằng số, sử dụng đường cong S-N đại diện cho nhiệt độ 310°C.

Với phân tích này, kết quả là quá nhiều chu kỳ tải vận hành, do đó thiệt hại do mỏi được tính toán trong ví dụ này phải được giảm bởi một hệ số noperation/nwaves = 1000/108 = 10-5. Thiệt hại do mỏi kết quả, Dtot, sau đó có thể được rút ra như tổng của hai thiệt hại do mỏi được tính toán (thiệt hại do mỏi chỉ do sóng cộng với thiệt hại do mỏi do sóng và phản ứng vận hành).

Đối với chu kỳ tải vận hành, ảnh hưởng của phản ứng tải sóng được bao gồm hai lần. Điều này có thể được sửa, ngay cả khi nó không đáng kể đối với kết quả số trong ví dụ này.

Tổng thiệt hại do mỏi sau đó được tính như sau:



* Biên độ ứng suất trong đường ống do tải trọng vận hành là 140 MPa và giả sử có 1.000 chu kỳ vận hành trong suốt tuổi thọ.
* Biên độ ứng suất này được cho là bao gồm cả ảnh hưởng do áp suất bên trong và tải trọng nhiệt độ.
* Điều kiện tải trọng 100 năm do sóng tác động lên tàu cho thấy biên độ ứng suất danh nghĩa trong đường ống là 150 MPa.
* Giả sử có thể sử dụng tham số hình dạng Weibull h = 1.0 để chuyển tải trọng sang 20 năm bằng cách sử dụng phương trình (1.36).
* Cho 
* Giả sử có 108 chu kỳ do tải trọng sóng trong 20 năm.
* Đường cong S-N F3 từ Bảng 1.2 trong môi trường không khí được sử dụng cho phân tích độ mỏi.
* Sử dụng các phương trình dạng đóng từ Mục 1.1.2, tổn thương do mỏi D = 0.468 được tính toán cho 20 năm tuổi thọ.
* Để cộng dồn biên độ ứng suất cho 1.000 chu kỳ ứng suất vận hành, cần sử dụng một thủ tục số.

Kết quả:

* Tổn thương do mỏi được tính toán bằng cách sử dụng thủ tục này lớn hơn một chút so với tổn thương thu được bằng phương pháp phân tích.
* Sau đó, tính toán dữ liệu S-N tương ứng với nhiệt độ 310°C.
* Ta có logad₁ = 11.306 và logad₂ = 14.176.
* Tổn thương do mỏi cho đường cong S-N này sau đó được tính toán bằng phương trình dạng đóng (1.24), với kết quả D = 0.936.

Bảng 1.5 Thiệt hại mỏi được tính toán để phân bổ ứng suất dài hạn

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Số chu kỳ | Phạm vi ứng suất (MPa) | Biên độ ứng suất trung bình trong khối | **Tổn hại do mỏi tính toán tại nhiệt độ phòng** | Tổn hại do mỏi tính toán tại nhiệt độ 310oC | Mức độ hư hỏng do mỏi bổ sung sau 1.000 chu kỳ ứng suất có biên độ 140 MPa |
| 1 | 137.95 | 131.92 | 2.61E-05 | 4.54E-05 | 3.97E-09 |
| 5 | 125.90 | 123.30 | 2.67E-05 | 4.63E-05 | 4.51E-09 |
| 10 | 120.71 | 114.68 | 0.00017 | 0.0003 | 3.26E-08 |
| 50 | 108.65 | 106.06 | 0.00017 | 0.0003 | 3.68E-08 |
| 100 | 103.46 | 97.44 | 0.00105 | 0.00183 | 2.64E-07 |
| 500 | 91.41 | 88.82 | 0.001 | 0.00173 | 2.96E-07 |
| 1000 | 86.22 | 80.19 | 0.00587 | 0.0102 | 2.11E-06 |
| 5000 | 74.17 | 71.57 | 0.00521 | 0.00907 | 2.34E-06 |
| 10000 | 68.98 | 62.95 | 0.02838 | 0.04935 | 1.65E-05 |
| 50000 | 56.93 | 54.33 | 0.0228 | 0.03965 | 1.81E-05 |
| 100000 | 51.74 | 45.71 | 0.10866 | 0.18891 | 0.00013 |
| 500000 | 39.68 | 37.09 | 0.07256 | 0.12614 | 0.00014 |
| 1000000 | 34.49 | 28.47 | 0.19822 | 0.45632 | 0.00094 |
| 5000000 | 22.44 | 19.85 | 0.0408 | 0.10256 | 0.001 |
| 10000000 | 17.25 | 11.23 | 0.01889 | 0.04749 | 0.0068 |
| 50000000 | 5.20 | 2.60 | 1.58E-05 | 3.98E-05 | 0.0072 |
| 100000000 | 0.01 |  |  |  |  |
| Tổng |  |  | 0.5039 | 1.034 | 0.0163 |

**Có thể thấy rằng giá trị số (D) hơi bảo thủ, với giá trị D tính toán được là 1,034.** Cuối cùng, tổn thương do 1.000 biến đổi ứng suất liên tục ở mức 140 MPa, cùng với phản ứng tải trọng sóng, được tính toán ở cột cuối cùng trong Bảng 10.6. **Có thể thấy rằng tổn thương mỏi bổ sung này tương đối nhỏ.** Phương trình (1.37) bây giờ có thể được sử dụng để tính toán tổng tổn thương mỏi [10]:



## Thuật toán sử dụng trong tính toán sự phá hủy mỏi

Để có đầy đủ các thông số trong việc tính toán sự phá hủy mỏi theo phương pháp phạm vi phân phối ứng suất, ta dùng ngôn ngữ lập trình C# với một số hàm có thể ứng dụng để tính toán.

### Hàm LoadData

Sử dụng hàm LoadData để làm dữ liệu cho chương trình:

public void LoadData()

{

userList1.Clear();

using (ExcelPackage package = new ExcelPackage(new FileInfo("FatigueData.xlsx")))

{

ExcelWorksheet workSheet = package.Workbook.Worksheets[0];

int rowCount = workSheet.Dimension.Rows;

int ColCount = workSheet.Dimension.Columns;

for (int row = 3; row <= rowCount; row++)

{

UserInfo1 us = new UserInfo1();

for (int col = 1; col <= ColCount; col++)

{

try

{

var cellValue = workSheet.Cells[row, col].Value;

if (cellValue != null)

{

us.SetData1(col - 1, cellValue.ToString());

}

}

catch (Exception ex)

{

Debug.WriteLine("Error: " + ex.Message);

}

}

userList1.Add(us);

Debug.WriteLine(us.ToString());

}

dataPrint1 = userList1;

dtgExcel.DataSource = userList1;

cBoxSN.DataSource = userList1;

cBoxSN.DisplayMember = "SN";

txtm1.DataBindings.Add(new Binding("Text", cBoxSN.DataSource, "m1"));

txtlogad1.DataBindings.Add(new Binding("Text", cBoxSN.DataSource, "logd1"));

txtm2.Text = "5";

txtlogad2.DataBindings.Add(new Binding("Text", cBoxSN.DataSource, "logd2"));

txtk.DataBindings.Add(new Binding("Text", cBoxSN.DataSource, "k"));

}

}

### Hàm sự kiện nút Calculate

Sử dụng hàm sự kiện nút Calculate để tính toán các giá trị và xử lý số liệu

private void btnCalculate\_Click(object sender, EventArgs e)

{

UserInfo2 us = new UserInfo2();

Td = 60 \* 60 \* 24 \* 365 \* yearinS;

txtTd.Text = Td.ToString();

n0 = v0 \* Td;

txtn0.Text = n0.ToString();

gammam1 = Gamma(1 + double.Parse(txtm1.Text) / Wei);

gammam2 = Gamma(1 + double.Parse(txtm2.Text) / Wei);

txtgammam1.Text = gammam1.ToString("F3");

txtgammam2.Text = gammam2.ToString("F3");

q = nomStress \* SCF / Math.Pow((Math.Log(n0)), (1 / Wei));

if (effThick <= ReferThick) txtThicksize.Text = 1.ToString();

else txtThicksize.Text = Math.Pow(effThick / ReferThick, double.Parse(txtk.Text)).ToString("F3");

tSize = double.Parse(txtThicksize.Text);

txtq.Text = q.ToString("F3");

kneeStress = Math.Pow(10, (double.Parse(txtlogad1.Text) - Math.Log10(kneeCycles)) / double.Parse(txtm1.Text));

txtkneeStress.Text = kneeStress.ToString("F3");

S1h = Math.Pow(kneeStress / q, Wei);

txtS1h.Text = S1h.ToString("F3");

alglib alglib = new alglib();

gammadm1 = alglib.incompletegamma(1 + double.Parse(txtm1.Text) / Wei, S1h);

gammadm2 = alglib.incompletegamma(1 + double.Parse(txtm2.Text) / Wei, S1h);

txtgammadm1.Text = gammadm1.ToString("F3");

txtgammadm2.Text = gammadm2.ToString("F3");

Damage = (Math.Pow(tSize, double.Parse(txtm1.Text)) \*

n0 / (Math.Pow(10, double.Parse(txtlogad1.Text)))) \*

(Math.Pow(q, double.Parse(txtm1.Text))) \*

(1 - gammadm1) \* gammam1 + (Math.Pow(tSize, double.Parse(txtm2.Text)) \*

n0 / (Math.Pow(10, double.Parse(txtlogad2.Text)))) \*

(Math.Pow(q, double.Parse(txtm2.Text))) \* (gammadm2) \* gammam2;

txtDamage.Text = Damage.ToString("F3");

Life = 20 / Damage;

txtLife.Text = Life.ToString("F3");

us.SNCurve = cBoxSN.Text;

us.NomStress = double.Parse(txtnomStress.Text);

us.SCF = double.Parse(txtSCF.Text);

us.WeibullShape = double.Parse(txtWei.Text);

us.CycleN1 = double.Parse(txtkneeCycles.Text);

us.m1 = double.Parse(txtm1.Text);

us.logam1 = double.Parse(txtlogad1.Text);

us.m2 = double.Parse(txtm2.Text);

us.logam2 = double.Parse(txtlogad2.Text);

us.YearInService = double.Parse(txtYearinS.Text);

us.V0 = double.Parse(txtv0.Text);

us.EffectiveThickness = double.Parse(txteffThick.Text);

us.ReferThickness = double.Parse(txtReferThick.Text);

us.k = double.Parse(txtk.Text);

us.Td = double.Parse(txtTd.Text);

us.n0 = double.Parse(txtn0.Text);

us.q = double.Parse(txtq.Text);

us.ThickSize = double.Parse(txtThicksize.Text);

us.Gammam1 = double.Parse(txtgammam1.Text);

us.Gammam2 = double.Parse(txtgammam2.Text);

us.Gammadism1 = double.Parse(txtgammadm1.Text);

us.Gammadism2 = double.Parse(txtgammadm2.Text);

us.S1 = double.Parse(txtkneeStress.Text);

us.S1h = double.Parse(txtS1h.Text);

us.D = double.Parse(txtDamage.Text);

us.T = double.Parse(txtLife.Text);

userList2.Add(us);

}

### Hàm Gamma

Hàm Gamma để tính toán giá trị gamma.

public double Gamma(double z)

{

if (z < 0.5)

{

return Math.PI / (Math.Sin(Math.PI \* z) \* Gamma(1 - z));

}

else

{

z -= 1;

double x = p[0];

for (int i = 1; i < g + 2; i++)

{

x += p[i] / (z + i);

}

double t = z + g + 0.5;

return Math.Sqrt(2 \* Math.PI) \* (Math.Pow(t, z + 0.5)) \* Math.Exp(-t) \* x;

}

}

Như vậy, việc tính toán giá trị ta có thể sử dụng câu lệnh:

gammam1 = Gamma(1 + double.Parse(txtm1.Text) / Wei);

Trong đó double.Parse(txtm1.Text) là giá trị m1 được chuyển đổi từ dạng Text sang dạng số học double. Và Wei tương ứng là h trong công thức trên.

### Hàm Incompletegamma

Tương tự sử dụng hàm incompletegamma để tính toán giá trị Gamma Distribution

public static double incompletegamma(double a,

double x,

alglib.xparams \_params)

{

double result = 0;

double igammaepsilon = 0;

double ans = 0;

double ax = 0;

double c = 0;

double r = 0;

double tmp = 0;

igammaepsilon = 0.000000000000001;

if( (double)(x)<=(double)(0) || (double)(a)<=(double)(0) )

{

result = 0;

return result;

}

if( (double)(x)>(double)(1) && (double)(x)>(double)(a) )

{

result = 1-incompletegammac(a, x, \_params);

return result;

}

ax = a\*Math.Log(x)-x-gammafunc.lngamma(a, ref tmp, \_params);

if( (double)(ax)<(double)(-709.78271289338399) )

{

result = 0;

return result;

}

ax = Math.Exp(ax);

r = a;

c = 1;

ans = 1;

do

{

r = r+1;

c = c\*x/r;

ans = ans+c;

}

while( (double)(c/ans)>(double)(igammaepsilon) );

result = ans\*ax/a;

return result;

}

# NỘI DUNG, KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

## Mô hình tính toán và thông số đầu vào

### Mô hình tính toán

Dựa trên kết cấu của các tàu ro/ro hiện tại, đã chọn một góc nối khung sườn của mạn tàu và boong tàu. Các góc khung sườn này là các phần tử trong mặt cắt ngang của tàu, chúng chủ yếu chịu tác động của uốn do tải trọng tàu và các tác động ngoại lực. Sau đó tiến hành tính toán mô phỏng để có được các giá trị ban đầu, làm dữ liệu phục vụ việc tính toán và phân tích tiếp theo đối với việc nghiên cứu về độ bền mỏi.

Chiều cao bản thành của các khung sườn hình chữ T này là 600mm và bản cánh của chúng được tạo thành từ các thanh thẳng 250x20 (đối với thanh liên tục) và 200x20 (đối với thanh gián đoạn). Mô hình mô phỏng ở đây là một góc với hai khung sườn cách nhau 1000mm. Và các thanh chữ T này được lắp đặt trên một tấm với chiều dày t=11.5mm.

A diagram of a rectangular object

Description automatically generated

Hình 2.1 Góc khung sườn được nghiên cứu

### Thông số đầu vào

Lực tác động chủ yếu là lực kéo theo đường chéo tạo ra một momen uốn cùng với lực dọc trục trong cả 2 khung sườn, do đó khung sườn chủ yếu chịu tải uốn. Mỗi lực kéo tác dụng có giá trị 125kN, như vậy tổng lực kéo tác động 250kN.

Điều kiện biên đối với mô hình mô phỏng trong trường hợp này sử dụng điều kiện ngàm chặt đối với đường giao nhau giữa mạn tàu và boong tàu.



Hình 2.2 Lực tác dụng vào khung sườn



Hình 2.3 Điều kiện biên áp dụng cho khung sườn

### Chia lưới mô hình

Mô hình được chia lưới cơ bản phần tử tấm với kích thước 40x40 mm.

A computer generated image of a computer

Description automatically generated

Hình 2.4 Mô hình chia lưới khung sườn.

## Giá trị ứng suất và các thông số cơ bản

Kết quả ứng suất danh nghĩa (norminal stress): 

Kết quả ứng suất lớn nhất: 

A blue and green object

Description automatically generated with medium confidence

Hình 2.5 Ứng suất lớn nhất

Hệ số tập trung ứng suất (SCF): 

Dựa vào phần cơ sở lý thuyết để tính toán độ bền mỏi tàu thủy và công trình nổi và các thông số đầu vào, ta có thể xác định một số thông số khác cụ thể như sau:

* Đối với hệ số hình dạng Weibull, ta có thể giả sử hệ số này trải dài từ 0.5 cho đến 1.2 để xác định ảnh hưởng của hệ số đến việc tính toán độ bền mỏi của kết cấu.
* Thời gian phục vụ (Year in service): 20 năm.
* Effective thickness: 20 mm
* Reference thickness: 25 mm

Lần lượt thực hiện việc tính toán dựa trên bảng tính đã được lập trình và trình bày cụ thể như hình 2.6.

A screenshot of a computer

Description automatically generated

Hình 2.6: Bảng tính toán độ bền mỏi của kết cấu thân tàu

## Kết quả

Đối với kết quả tính, chúng ta chia lần lượt theo các trường hợp tính toán cụ thể dưới đây, để có cơ sở dữ liệu phân tích.

### Trường hợp 1: Thay đổi các giá trị của đường S-N Curves

Đối với trường hợp 1, ta chọn hệ số hình dạng Weibull (h) là 1.1

Bảng 2.1 Bảng tổng hợp tính toán độ bền mỏi trường hợp 1 – 1

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| STT |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 1 | STT điểm nóng kết cấu | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 2 | Đường cong S-N | B1 | B2 | C | C1 | C2 | D | E |
| 3 | Phạm vi ứng suất danh nghĩa (MPA) | 90 | 90 | 90 | 90 | 90 | 90 | 90 |
| 4 | Hệ số ứng suất tại điểm nóng | 3.1 | 3.1 | 3.1 | 3.1 | 3.1 | 3.1 | 3.1 |
| 5 | Hệ số Weibull: h | 1.1 | 1.1 | 1.1 | 1.1 | 1.1 | 1.1 | 1.1 |
| 6 | Chu kỳ tại vị trí khớp của đường cong S-N (N1) | 10000000 | 10000000 | 10000000 | 10000000 | 10000000 | 10000000 | 10000000 |
| 7 |  | 4 | 4 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| 8 |  | 15.117 | 14.885 | 12.592 | 12.449 | 12.301 | 12.164 | 12.01 |
| 9 |  | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| 10 |  | 17.146 | 16.856 | 16.32 | 16.081 | 15.835 | 15.606 | 15.35 |
| 11 | Thời gian phục vụ (năm) | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| 12 | Tần số: v0 | 0.159 | 0.159 | 0.159 | 0.159 | 0.159 | 0.159 | 0.159 |
| 13 | Độ dày hiệu quả [mm] | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| 14 | Độ dày tham khảo | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 |
| 15 | Số mũ độ dày: k | 0 | 0 | 0.05 | 0.1 | 0.15 | 0.2 | 0.25 |
| 16 | Td = Thời gian phục vụ (năm).60.60.24.365 | 630720000 | 630720000 | 630720000 | 630720000 | 630720000 | 630720000 | 630720000 |
| 17 | Số chu kỳ được tính toán: n0 | 100284480 | 100284480 | 100284480 | 100284480 | 100284480 | 100284480 | 100284480 |
| 18 | Hệ số tỉ lệ Weibull được tính toán: q | 19.736 | 19.736 | 19.736 | 19.736 | 19.736 | 19.736 | 19.736 |
| 19 | Độ dày hoặc kích thước được chỉnh sửa | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 20 | Gamma(1+m1/h) | 14.089 | 14.089 | 4.306 | 4.306 | 4.306 | 4.306 | 4.306 |
| 21 | Gamma(1+m2/h) | 56.331 | 56.331 | 56.331 | 56.331 | 56.331 | 56.331 | 56.331 |
| 22 | Ứng suất tại vị trí khớp của đường cong S-N: S1 | 106.967 | 93.594 | 73.114 | 65.514 | 58.479 | 52.642 | 46.774 |
| 23 |  | 6.418 | 5.541 | 4.223 | 3.743 | 3.303 | 2.942 | 2.583 |
| 24 | Phân phối Gamma | 0.814 | 0.708 | 0.662 | 0.572 | 0.479 | 0.396 | 0.313 |
| 25 | Phân phối gamma | 0.689 | 0.556 | 0.32 | 0.235 | 0.165 | 0.115 | 0.074 |
| 26 | Thiệt hại mỏi do tính toán: D | 0.114 | 0.212 | 0.546 | 0.835 | 1.272 | 1.854 | 2.789 |
| 27 | Tuổi thọ được tính toán T [years] | 175.755 | 94.144 | 36.637 | 23.95 | 15.718 | 10.786 | 7.17 |

Bảng 2.2 Bảng tổng hợp tính toán độ bền mỏi trường hợp 1 – 2

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| STT |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 1 | STT điểm nóng kết cấu | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |
| 2 | Đường cong S-N | F | F1 | F3 | G | W1 | W2 | W3 |
| 3 | Phạm vi ứng suất danh nghĩa (MPA) | 90 | 90 | 90 | 90 | 90 | 90 | 90 |
| 4 | Hệ số ứng suất tại điểm nóng | 3.1 | 3.1 | 3.1 | 3.1 | 3.1 | 3.1 | 3.1 |
| 5 | Hệ số Weibull: h | 1.1 | 1.1 | 1.1 | 1.1 | 1.1 | 1.1 | 1.1 |
| 6 | Chu kỳ tại vị trí khớp của đường cong S-N (N1) | 10000000 | 10000000 | 10000000 | 10000000 | 10000000 | 10000000 | 10000000 |
| 7 |  | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| 8 |  | 11.855 | 11.699 | 11.546 | 11.398 | 11.261 | 11.107 | 10.97 |
| 9 |  | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| 10 |  | 15.091 | 14.832 | 14.576 | 14.33 | 14.101 | 13.845 | 13.617 |
| 11 | Thời gian phục vụ (năm) | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| 12 | Tần số: v0 | 0.159 | 0.159 | 0.159 | 0.159 | 0.159 | 0.159 | 0.159 |
| 13 | Độ dày hiệu quả [mm] | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| 14 | Độ dày tham khảo | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 |
| 15 | Số mũ độ dày: k | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 |
| 16 | Td = Thời gian phục vụ (năm).60.60.24.365 | 630720000 | 630720000 | 630720000 | 630720000 | 630720000 | 630720000 | 630720000 |
| 17 | Số chu kỳ được tính toán: n0 | 100284480 | 100284480 | 100284480 | 100284480 | 100284480 | 100284480 | 100284480 |
| 18 | Hệ số tỉ lệ Weibull được tính toán: q | 19.736 | 19.736 | 19.736 | 19.736 | 19.736 | 19.736 | 19.736 |
| 19 | Độ dày hoặc kích thước được chỉnh sửa | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 20 | Gamma(1+m1/h) | 4.306 | 4.306 | 4.306 | 4.306 | 4.306 | 4.306 | 4.306 |
| 21 | Gamma(1+m2/h) | 56.331 | 56.331 | 56.331 | 56.331 | 56.331 | 56.331 | 56.331 |
| 22 | Ứng suất tại vị trí khớp của đường cong S-N: S1 | 41.527 | 36.841 | 32.759 | 29.242 | 26.323 | 23.388 | 21.054 |
| 23 |  | 2.267 | 1.987 | 1.746 | 1.541 | 1.373 | 1.205 | 1.074 |
| 24 | Phân phối Gamma | 0.24 | 0.179 | 0.132 | 0.096 | 0.071 | 0.049 | 0.035 |
| 25 | Phân phối gamma | 0.046 | 0.028 | 0.017 | 0.01 | 0.006 | 0.003 | 0.002 |
| 26 | Thiệt hại mỏi do tính toán: D | 4.157 | 6.142 | 8.939 | 12.772 | 17.703 | 25.461 | 35.1 |
| 27 | Tuổi thọ được tính toán T [years] | 4.812 | 3.256 | 2.237 | 1.566 | 1.13 | 0.786 | 0.57 |

### Trường hợp 2: Thay đổi hệ số hình dạng Weibull

Bảng 2.3 Bảng tổng hợp tính toán độ bền mỏi trường hợp 2

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| STT |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 1 | STT điểm nóng kết cấu | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 2 | Đường cong S-N | B1 | B1 | B1 | B1 | B1 | B1 | B1 |
| 3 | Phạm vi ứng suất danh nghĩa (MPA) | 90 | 90 | 90 | 90 | 90 | 90 | 90 |
| 4 | Hệ số ứng suất tại điểm nóng | 3.1 | 3.1 | 3.1 | 3.1 | 3.1 | 3.1 | 3.1 |
| 5 | Hệ số Weibull: h | 0.5 | 0.7 | 0.9 | 1 | 1.1 | 1.2 | 1.3 |
| 6 | Chu kỳ tại vị trí khớp của đường cong S-N (N1) | 10000000 | 10000000 | 10000000 | 10000000 | 10000000 | 10000000 | 10000000 |
| 7 |  | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| 8 |  | 15.117 | 15.117 | 15.117 | 15.117 | 15.117 | 15.117 | 15.117 |
| 9 |  | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| 10 |  | 17.146 | 17.146 | 17.146 | 17.146 | 17.146 | 17.146 | 17.146 |
| 11 | Thời gian phục vụ (năm) | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| 12 | Tần số: v0 | 0.159 | 0.159 | 0.159 | 0.159 | 0.159 | 0.159 | 0.159 |
| 13 | Độ dày hiệu quả [mm] | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| 14 | Độ dày tham khảo | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 |
| 15 | Số mũ độ dày: k | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 16 | Td = Thời gian phục vụ (năm).60.60.24.365 | 630720000 | 630720000 | 630720000 | 630720000 | 6.31E+08 | 6.31E+08 | 6.31E+08 |
| 17 | Số chu kỳ được tính toán: n0 | 100284480 | 100284480 | 100284480 | 100284480 | 1E+08 | 1E+08 | 1E+08 |
| 18 | Hệ số tỉ lệ Weibull được tính toán: q | 0.822 | 4.344 | 10.956 | 15.144 | 19.736 | 24.611 | 29.665 |
| 19 | Độ dày hoặc kích thước được chỉnh sửa | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 20 | Gamma(1+m1/h) | 40320 | 424.338 | 47.876 | 24 | 14.089 | 9.261 | 6.614 |
| 21 | Gamma(1+m2/h) | 3628800 | 6730.873 | 318.119 | 120 | 56.331 | 30.942 | 19.087 |
| 22 | Ứng suất tại vị trí khớp của đường cong S-N: S1 | 106.967 | 106.967 | 106.967 | 106.967 | 106.967 | 106.967 | 106.967 |
| 23 |  | 11.408 | 9.417 | 7.774 | 7.063 | 6.418 | 5.831 | 5.298 |
| 24 | Phân phối Gamma | 0.802 | 0.854 | 0.847 | 0.833 | 0.814 | 0.79 | 0.763 |
| 25 | Phân phối gamma | 0.588 | 0.706 | 0.718 | 0.707 | 0.689 | 0.665 | 0.637 |
| 26 | Thiệt hại mỏi do tính toán: D | 0.001 | 0.007 | 0.034 | 0.065 | 0.114 | 0.188 | 0.293 |
| 27 | Tuổi thọ được tính toán T [years] | 23465.229 | 2875.035 | 589.271 | 309.538 | 175.755 | 106.526 | 68.223 |

### Trường hợp 3: Thay đổi số năm phục vụ (Year in service)

Bảng 2.4 Bảng tổng hợp tính toán độ bền mỏi trường hợp 3

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| STT |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 1 | STT điểm nóng kết cấu | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 2 | Đường cong S-N | B1 | B1 | B1 | B1 | B1 | B1 | B1 |
| 3 | Phạm vi ứng suất danh nghĩa (MPA) | 90 | 90 | 90 | 90 | 90 | 90 | 90 |
| 4 | Hệ số ứng suất tại điểm nóng | 3.1 | 3.1 | 3.1 | 3.1 | 3.1 | 3.1 | 3.1 |
| 5 | Hệ số Weibull: h | 1.1 | 1.1 | 1.1 | 1.1 | 1.1 | 1.1 | 1.1 |
| 6 | Chu kỳ tại vị trí khớp của đường cong S-N (N1) | 10000000 | 10000000 | 10000000 | 10000000 | 10000000 | 10000000 | 10000000 |
| 7 |  | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| 8 |  | 15.117 | 15.117 | 15.117 | 15.117 | 15.117 | 15.117 | 15.117 |
| 9 |  | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| 10 |  | 17.146 | 17.146 | 17.146 | 17.146 | 17.146 | 17.146 | 17.146 |
| 11 | Thời gian phục vụ (năm) | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 40 | 50 |
| 12 | Tần số: v0 | 0.159 | 0.159 | 0.159 | 0.159 | 0.159 | 0.159 | 0.159 |
| 13 | Độ dày hiệu quả [mm] | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| 14 | Độ dày tham khảo | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 |
| 15 | Số mũ độ dày: k | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 16 | Td = Thời gian phục vụ (năm).60.60.24.365 | 315360000 | 473040000 | 630720000 | 788400000 | 946080000 | 1261440000 | 1576800000 |
| 17 | Số chu kỳ được tính toán: n0 | 50142240 | 75213360 | 100284480 | 125355600 | 150426720 | 200568960 | 250711200 |
| 18 | Hệ số tỉ lệ Weibull được tính toán: q | 20.436 | 20.021 | 19.736 | 19.521 | 19.35 | 19.085 | 18.884 |
| 19 | Độ dày hoặc kích thước được chỉnh sửa | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 20 | Gamma(1+m1/h) | 14.089 | 14.089 | 14.089 | 14.089 | 14.089 | 14.089 | 14.089 |
| 21 | Gamma(1+m2/h) | 56.331 | 56.331 | 56.331 | 56.331 | 56.331 | 56.331 | 56.331 |
| 22 | Ứng suất tại vị trí khớp của đường cong S-N: S1 | 106.967 | 106.967 | 106.967 | 106.967 | 106.967 | 106.967 | 106.967 |
| 23 |  | 6.176 | 6.318 | 6.418 | 6.495 | 6.559 | 6.659 | 6.737 |
| 24 | Phân phối Gamma | 0.788 | 0.803 | 0.814 | 0.821 | 0.827 | 0.837 | 0.843 |
| 25 | Phân phối gamma | 0.655 | 0.675 | 0.689 | 0.699 | 0.708 | 0.721 | 0.73 |
| 26 | Thiệt hại mỏi do tính toán: D | 0.067 | 0.091 | 0.114 | 0.135 | 0.155 | 0.194 | 0.231 |
| 27 | Tuổi thọ được tính toán T [years] | 298.21 | 219.021 | 175.755 | 148.084 | 128.692 | 103.054 | 86.691 |

### Trường hợp 4: Hệ số tập trung ứng suất thay đổi

Bảng 2.5 Bảng tổng hợp tính toán độ bền mỏi trường hợp 4

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| STT |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 1 | STT điểm nóng kết cấu | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 2 | Đường cong S-N | B1 | B1 | B1 | B1 | B1 | B1 | B1 |
| 3 | Phạm vi ứng suất danh nghĩa (MPA) | 90 | 90 | 90 | 90 | 90 | 90 | 90 |
| 4 | Hệ số ứng suất tại điểm nóng | 2.8 | 2.9 | 3 | 3.1 | 3.2 | 3.3 | 3.4 |
| 5 | Hệ số Weibull: h | 1.1 | 1.1 | 1.1 | 1.1 | 1.1 | 1.1 | 1.1 |
| 6 | Chu kỳ tại vị trí khớp của đường cong S-N (N1) | 10000000 | 10000000 | 10000000 | 10000000 | 10000000 | 10000000 | 10000000 |
| 7 |  | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| 8 |  | 15.117 | 15.117 | 15.117 | 15.117 | 15.117 | 15.117 | 15.117 |
| 9 |  | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| 10 |  | 17.146 | 17.146 | 17.146 | 17.146 | 17.146 | 17.146 | 17.146 |
| 11 | Thời gian phục vụ (năm) | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| 12 | Tần số: v0 | 0.159 | 0.159 | 0.159 | 0.159 | 0.159 | 0.159 | 0.159 |
| 13 | Độ dày hiệu quả [mm] | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| 14 | Độ dày tham khảo | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 |
| 15 | Số mũ độ dày: k | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 16 | Td = Thời gian phục vụ (năm).60.60.24.365 | 630720000 | 630720000 | 630720000 | 630720000 | 630720000 | 630720000 | 630720000 |
| 17 | Số chu kỳ được tính toán: n0 | 100284480 | 100284480 | 100284480 | 100284480 | 100284480 | 100284480 | 100284480 |
| 18 | Hệ số tỉ lệ Weibull được tính toán: q | 17.826 | 18.463 | 19.1 | 19.736 | 20.373 | 21.01 | 21.646 |
| 19 | Độ dày hoặc kích thước được chỉnh sửa | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 20 | Gamma(1+m1/h) | 14.089 | 14.089 | 14.089 | 14.089 | 14.089 | 14.089 | 14.089 |
| 21 | Gamma(1+m2/h) | 56.331 | 56.331 | 56.331 | 56.331 | 56.331 | 56.331 | 56.331 |
| 22 | Ứng suất tại vị trí khớp của đường cong S-N: S1 | 106.967 | 106.967 | 106.967 | 106.967 | 106.967 | 106.967 | 106.967 |
| 23 |  | 7.178 | 6.906 | 6.653 | 6.418 | 6.197 | 5.991 | 5.798 |
| 24 | Phân phối Gamma | 0.878 | 0.858 | 0.836 | 0.814 | 0.791 | 0.767 | 0.743 |
| 25 | Phân phối gamma | 0.781 | 0.75 | 0.72 | 0.689 | 0.658 | 0.628 | 0.598 |
| 26 | Thiệt hại mỏi do tính toán: D | 0.07 | 0.083 | 0.097 | 0.114 | 0.132 | 0.153 | 0.176 |
| 27 | Tuổi thọ được tính toán T [years] | 285.638 | 241.387 | 205.339 | 175.755 | 151.305 | 130.965 | 113.938 |

# ĐÁNH GIÁ VÀ PHÂN TÍCH

## Đồ thị biểu diễn và đánh giá sự ảnh hưởng

### Trường hợp 1:

Hình 3.1 Đồ thị thể hiện sự ảnh hưởng của loại đường S-N curve đến thiệt hại mỏi do tính toán

Hình 3.2 Đồ thị thể hiện sự ảnh hưởng của loại đường S-N curve đến tuổi thọ tính toán

### Trường hợp 2:

Hình 3.3 Đồ thị thể hiện sự ảnh hưởng của hệ số hình dạng Weibull đến thiệt hại mỏi do tính toán

Hình 3.4 Đồ thị thể hiện sự ảnh hưởng của hệ số hình dạng Weibull đến tuổi thọ tính toán

### Trường hợp 3:

Hình 3.5 Đồ thị thể hiện sự ảnh hưởng của số năm phục vụ đến thiệt hại mỏi do tính toán

Hình 3.6 Đồ thị thể hiện sự ảnh hưởng của số năm phục vụ đến tuổi thọ tính toán

### Trường hợp 4:

Hình 3.7 Đồ thị thể hiện sự ảnh hưởng của hệ số tập trung ứng suất đến thiệt hại mỏi do tính toán

Hình 3.8 Đồ thị thể hiện sự ảnh hưởng của hệ số tập trung ứng suất đến tuổi thọ tính toán

## Kết luận chung

DANH MỤC TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] L. D. Zhu S.P, Correia J.A, De Jesus A.M, Wang Q,, “Recent advances on size effect in metal fatigue under defect: a review.,” *Internatinal Journal of Fracture*, pp. 1-23, 2021.

[2] Yang W.H., “A generalized von mises criterion for yield and fracture,” *Journal of Applied Mechanics, Transactions ASME,* vol. 47, pp. 297-300, 1980.

[3] Mrozinski S., “Energy-based method of fatigue damage cumulation.,” *Internatinal Journal of Fatigue,* vol. 121, pp. 73-83, 2019.

[4] S. D. F. Fatemi A., “A critical plane approach to multiaxial fatigue damage including out-of-phase loading.,” *Fatigue and Fracture of Engineering Materials and Structures,* vol. 11, pp. 149-165, 1988.

[5] Findley W.N., “A theory for the effect of mean stress on fatigue of metals under combined torison and axial load or bending,” *Journal of Engineering for Industry,* vol. 81, pp. 301-305, 1959.

[6] B. M. C. Đỗ Văn Sĩ, Tạ Văn San, “Xác định mỏi của chi tiết chịu ứng suất phức tạp bằng phương pháp số.,” *Tạp chí Khoa học Công nghệ - Trường đại học công nghiệp Hà Nội,* vol. 58, pp. 62-65, 2022.

[7] H. P. Wolfgang Fricke., “Full-scale fatigue tests of ship structures to validate the S–N approaches for fatigue strength assessment,” *Maritime Structure*, 2010.

[8] I.-G. A. Byoung-Hoon Jung, Sun-Kee Seo, Beom-Il Kim, “Fatigue Assessment of Very Large Container Ships Considering Springing Effect Based on Stochastic Approach,” *Journal of Ocean Engineering and Technology,* vol. 34(2), pp. 120-127, 2020.

[9] S. M. L. Myung Hyun Kim, Jae Myung Lee, Byung Jae Noh, Wha Soo Kim, “Fatigue strength assessment of MARK-III type LNG cargo containment system,” *Ocean Engineering,* vol. 37, no. 14-15, pp. 1243-1252, 2010.

[10] I. Lotsberg, *FATIGUE DESIGN OF MARINE STRUCTURES*: Cambridge University Press, 2016.