

**BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO
TRƯỜNG ĐẠI HỌC PHENIKAA**



BÁO CÁO TỔNG KẾT

TÊN ĐỀ TÀI: Nghiên cứu dự đoán độ bền mỏi của thép bằng phương pháp thử mỏi với biên độ ứng suất tăng dần

Lĩnh vực: Cơ điện tử
Chuyên ngành: Cơ điện tử

Sinh viên thực hiện chính: Bùi Thái Dương, Vũ Minh Quang

Nam, Nữ: Nam

Người hướng dẫn chính: PGS. TS. Vũ Lê Huy

Hà Nội, tháng 5 năm 2022

**BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO
TRƯỜNG ĐẠI HỌC PHENIKAA**

BÁO CÁO TỔNG KẾT

TÊN ĐỀ TÀI: Nghiên cứu dự đoán độ bền mỏi của thép bằng phương pháp thử mỏi với biên độ ứng suất tăng dần

Lĩnh vực: Cơ điện tử

Chuyên ngành: Cơ điện tử

Nhóm sinh viên thực hiện: Bùi Thái Dương, Vũ Minh Quang

Lớp, khoa: KT-CĐT Năm thứ: 2

Số năm đào tạo: 4,5 năm

Ngành học: Kỹ thuật Cơ điện tử

Người hướng dẫn: PGS. TS. Vũ Lê Huy

Hà Nội, tháng 5 năm 2022

Mục lục

Mở đầu	5
CHƯƠNG I: CƠ SỞ LÝ THUYẾT	6
1.1. Lý thuyết về cơ học phá hủy.....	6
1.1.1. <i>Khái niệm</i>	6
1.1.2. <i>Lịch sử phát triển</i>	6
1.1.3. <i>Nhiệm vụ của CHPH</i>	7
1.1.4. <i>Nguyên nhân và sự hình thành vết nứt</i>	8
1.2. Đường cong mỗi.....	8
1.3 phương pháp thí nghiệm mỗi	10
1.3.1 <i>Phương pháp thí nghiệm mỗi truyền thống</i>	10
1.3.2. <i>Thí nghiệm bền mỗi với biên độ ứng suất tăng dần</i>	11
CHƯƠNG II: MÁY THÍ NGHIỆM	13
2.1. Máy thí nghiệm.....	13
2.2. Cấu tạo của máy thí nghiệm.....	13
2.3. Nguyên lý hoạt động của máy	14
CHƯƠNG III: MẪU THÍ NGHIỆM	16
3.1. Thiết kế mẫu không có tập trung ứng suất.....	16
3.2. Xác định phân bố ứng suất trên mẫu thí nghiệm.....	20
3.3. Mẫu có tập trung ứng suất	23
CHƯƠNG IV: Kết quả và thảo luận	27
4.1. Phân tích thống kê công thức thí nghiệm truyền thống	27
4.2. Phân tích thống kê công thức thí nghiệm RAMPING.....	30
4.3. Dữ liệu thí nghiệm và đường cong mỗi	31
Kết luận và kiến nghị	34
Tài liệu tham khảo	35

Danh mục hình vẽ bảng biểu

Hình 1. 1 Đường cong mỏi	9
Hình 1. 2 Sơ đồ mạch mô tả những tham số tải theo chu kỳ	10
Hình 1. 3 Biểu đồ ứng suất theo thời gian trong (a) thí nghiệm mỏi truyền thống và (b) thí nghiệm mỏi với biên độ ứng suất tăng dần	11
Hình 2. 1: Máy thí nghiệm đã được chế tạo	13
Hình 2. 2: Sơ đồ động của máy	14
Hình 3. 1: Hình dạng hình học của mắt cắt ngang	16
hình 3. 2: Dùng lệnh Extrude tạo khối	16
Hình 3. 3: Quá trình thiết kế mẫu	17
Hình 3. 4: Giao diện phần mềm vẽ biên dạng 2D của mẫu	17
Hình 3. 5: Biên dạng 2D của mẫu thí nghiệm	19
Hình 3. 6: Kích thước của mẫu thử kéo Kiểu A	19
Hình 3. 7: Dùng lệnh Extrude tạo khối 3D	20
Hình 3. 8: Giao diện phần mềm ANSYS Workbench	20
Hình 3. 9: Mẫu thí nghiệm sau khi chia lưới	21
Hình 3. 10: Sự hội tụ của kết quả tính FEM	21
Hình 3. 11: Điều kiện đặt biên cho mẫu	22
Hình 3. 12: Phân bố ứng suất trên mẫu thí nghiệm	23
Hình 3. 13: Thiết kế của mẫu có phân bố ứng suất không đều	24
Hình 3. 14: Sự hội tụ của kết quả tính FEM với mẫu có rãnh	25
Hình 3. 15: Phân bố ứng suất tại mẫu vật B	26
Hình 3. 16: Phân bố ứng suất tại mẫu vật C	26
Hình 4. 1: Kết quả thử độ bền tĩnh	28
Hình 4. 2 Mô tả sự kéo dài mỏi của các vết nứt tương đương bắt đầu từ các khuyết tật ban đầu	29
Hình 4. 3: Kết quả thử mỏi với biên độ ứng suất không đổi	32
Hình 4. 4: Kết quả thử mỏi với biên độ ứng suất tăng dần	33
Hình 4. 5: Mẫu đã được thực hiện thí nghiệm mỏi	33
Bảng 3.1: Thông số cơ bản của mẫu	18
Bảng 4.1: Kết quả thí nghiệm	28

Mở đầu

Hiện tượng phá hủy mỏi được phát hiện ra từ giữa thế kỷ 19 và giới hạn mỏi được coi là một trong những chỉ tiêu tính toán chủ yếu để xác định kích thước chi tiết máy. Thực tiễn sử dụng máy cho thấy khoảng 90% các tổn thất của chi tiết do các vết nứt mỏi gây ra. Do đó khi tính toán, thiết kế các kết cấu, chi tiết máy... ta cần biết được giới hạn bền cũng như giới hạn mỏi của vật liệu để sử dụng được tối ưu.

Khi các chi tiết máy chịu tải trọng thay đổi lặp đi lặp lại theo chu kỳ sẽ dẫn đến hiện tượng mỏi, với mỗi loại vật liệu khác nhau các quá trình mỏi này sẽ được đặc trưng bởi các đường cong mỏi. Do đó việc thí nghiệm để xây dựng ra các đường cong mỏi là rất cần thiết.

Bằng phương pháp thử nghiệm mỏi truyền thống với biên độ ứng suất không đổi các nhà khoa học đã tính toán được độ bền mỏi của vật liệu, từ đó đưa ra các dự đoán về tuổi thọ của chi tiết. Tuy nhiên với phương pháp thí nghiệm mỏi truyền thống có nhược điểm là nếu ứng suất σ không đủ lớn thì đối với một số loại vật liệu, tuổi thọ N có thể tăng lên khá lớn mà mẫu thử không bị gãy hỏng, khi đó thí nghiệm có thể phải dừng lại vì quá thời gian cho phép, cũng như nếu ứng suất đặt vào mẫu lớn hơn giới hạn bền tĩnh của vật liệu thì chi tiết sẽ bị phá hủy ngay và kết quả thí nghiệm đó sẽ không có ý nghĩa trong kiểm nghiệm mỏi.

Để khắc phục các nhược điểm trên, bài toán đặt ra là làm sao để chắc chắn có được kết quả tương đương trong thời gian thí nghiệm cho phép. Nếu sử dụng phương pháp thí nghiệm mỏi với biên độ tăng dần sẽ khắc phục được các vấn đề gặp phải đối với phương pháp thí nghiệm mỏi truyền thống. Vì vậy, chúng em đã chọn đề tài “**Nghiên cứu dự đoán độ bền mỏi của thép bằng phương pháp thử mỏi với biên độ ứng suất tăng dần**”.

CHƯƠNG I: CƠ SỞ LÝ THUYẾT

1.1. Lý thuyết về cơ học phá hủy

1.1.1. Khái niệm

- Cơ học phá hủy (CHPH): là ngành tổ hợp nhiều lĩnh vực: Khoa học vật liệu, lý thuyết từ biến, lý thuyết đàn hồi, lý thuyết môi, lý thuyết dẻo, sức bền vật liệu, cơ học vật liệu biến dạng...
- CHPH là một lý thuyết, môn khoa học nghiên cứu về các quá trình vỡ và tách một vật rắn thành hai hay nhiều phần khác nhau.
- CHPH nghiên cứu nguyên nhân và hiện tượng của quá trình phá hủy của chi tiết, kết cấu dựa trên các chỉ tiêu phá hủy của vật liệu. Trên cơ sở đó nâng cao được độ bền, độ an toàn và tuổi thọ của chi tiết kết cấu.

1.1.2. Lịch sử phát triển

Tư tưởng chính xuất phát từ các công trình của Griffith (1920) và từ lý thuyết cơ học dịch chuyển mạng. Quá trình phát triển bao gồm các giai đoạn chính [1]:

- Giai đoạn 1930-1950: lý thuyết dịch chuyển mạng đã thúc đẩy CHPH phát triển nhanh, các hiện tượng phá hủy ở nhiều loại vật liệu đã được nghiên cứu. Các công trình về vỏ và nhằm giảm nhẹ trọng lượng máy bay chiến đấu và vấn đề luyện kim có liên quan đã được Phòng nghiên cứu Hải quân Hoa Kỳ tiến hành từ năm 1937. Cũng từ đây, lần đầu tiên môn CHPH được đề xuất và đưa vào giảng dạy tại Đại học tổng hợp California.
- Dựa trên lý thuyết của Griffith, năm 1939, W.Weibull đã mở rộng và phát triển lý thuyết phá hủy trên cơ sở thống kê sự phá hủy của vật liệu để xây dựng những phương pháp tính độ bền của vật liệu. Từ 1933-1939, H.Westwrgaard đã chỉ ra rằng tại đầu vết nứt trong một tấm chịu kéo tồn tại ứng suất tới hạn ứng với lúc bắt đầu bị phá hỏng.
- Năm 1945, Bộ hải quân Anh đã tổ chức Hội nghị "Phá hủy dòn của kết cấu từ các tấm thép nhẹ" ở Cambridge. Trong năm đó, ở Mỹ, Hiệp hội kim loại cũng tổ chức hội thảo "Phá hủy kim loại" tại Chicago. Tại đây, Irwin đã đưa ra quan điểm: Quá trình lan truyền và phát triển vết nứt chỉ có thể xảy ra do sự mất cân bằng giữa tốc độ giải phóng năng lượng và sự biến thiên công biến dạng dẻo cần thiết để làm phát triển vết nứt. Đây là sự tổng quát hoá lý thuyết năng lượng của Griffith, trong đó lý thuyết năng lượng biến dạng đàn hồi được giải phóng ra trên mỗi đơn vị diện tích trong quá trình phá hủy được ký hiệu là tốc độ giải phóng năng lượng G . Khi G đạt tới giá trị tới hạn G_c thì G_c được gọi là chỉ tiêu phá hủy của vật liệu. Tiếp đó, Irwin và Orwan đã phát triển và cải tiến để áp dụng cho quá trình phá hủy của vật liệu có biến dạng dẻo đáng kể ở vùng đỉnh vết nứt.
- Qua cách giải gần đúng được Westergaard đề xuất và thực hiện năm 1957, Irwin đã nghiên cứu trường ứng suất và biến dạng gần khu vực đỉnh vết nứt, trên cơ sở đó

thiết lập mối quan hệ giữa tốc độ giải phóng năng lượng G và tham số vô hướng đặc trưng cho trường ứng suất và trường biến dạng (sau này được gọi là Hệ số cường độ ứng suất K) (Hệ số cường độ ứng suất: HCU). Qua đây lần đầu tiên người ta có thể đánh giá về vết nứt thông qua K . Vào thời gian này CHPH đàn hồi tuyến tính (CHPHĐHTT) bắt đầu được hình thành và ứng dụng trong thực tế.

- Việc ứng dụng CHPH để nghiên cứu quá trình lan truyền và phát triển vết nứt do hiện tượng mỏi, ăn mòn và từ biến gây ra được Paris và cộng sự nghiên cứu những năm 1960-1961 trên cơ sở dùng CHPHĐHTT để mô tả định lượng quá trình lan truyền và phát triển chậm của vết nứt. Các chỉ tiêu phá huỷ của các trường hợp này được thiết lập.
- Để mở rộng phạm vi ứng dụng CHPH với vật liệu có ứng xử dai (vật liệu đàn dẻo), năm 1961, Wells đã phát hiện ra chuyển vị mở tới hạn ở đỉnh vết nứt δ (hay còn gọi là độ mở tới hạn ở đỉnh vết nứt: CTOD = Crack Tip Opening Displacement) rất thích hợp được chọn làm một tham số để nghiên cứu mô tả và kiểm soát sự phát triển của vết nứt.
- Năm 1968, hai nhà khoa học Cherepanov của Nga và Rice của Mỹ độc lập nghiên cứu và đồng thời đưa ra tham số hoàn toàn mới mô tả ứng xử của vật liệu phi tuyến trước đỉnh vết nứt được đặc trưng cho quá trình phá huỷ của vật liệu đàn hồi phi tuyến, được Rice ký hiệu là J -Integral. Tham số này nhanh chóng được dùng làm chỉ tiêu phá huỷ của vật liệu đàn hồi phi tuyến. Giá trị của J -Integral được hiểu là phần trăm năng lượng được giải phóng ra không tuyến tính. Nó là tham số đặc trưng cho cường độ ứng suất phi tuyến. Từ đó CTOD δ và J -Integral được dùng để nghiên cứu và mô tả khả năng của vật liệu chống lại sự căng xé và phá huỷ do tác dụng của ngoại lực hay còn gọi là lực chống nứt hay lực kháng nứt R của vật liệu.
- Từ 1960-1980 các nền tảng của CHPH động (nghiên cứu ứng xử phá huỷ của vật liệu dưới tác dụng của tải trọng dạng xung: va đập, va chạm) đã được thiết lập và nghiên cứu quá trình lan truyền và phát triển của vết nứt. Từ năm 1980, luật ứng xử vật liệu phụ thuộc vào thời gian đã được nghiên cứu và đem ra ứng dụng.

1.1.3. Nhiệm vụ của CHPH

Ứng dụng CHPH bao gồm 3 nhiệm vụ:

- 1) Từ mô hình vết nứt, bằng phương pháp tính toán hoặc thực nghiệm ta phải xác định được sự phân bố ứng suất và biến dạng trong chi tiết có chứa vết nứt với các hình dạng thực của nó và phải biểu diễn được sự phân bố này thông qua tham số thích hợp.
- 2) Dựa trên cơ sở các chỉ tiêu cơ học của vật liệu ta cần phải định nghĩa được các đại lượng đặc trưng để qua đó bằng phương pháp thực nghiệm ta có thể xác định được các trạng thái tới hạn dẫn đến các hiện tượng phá huỷ. Các trạng thái tới hạn này phụ thuộc vào các điều kiện tác dụng của tải trọng và ứng xử của vật liệu. Các đại lượng đặc trưng cho khả năng chịu tải của vật liệu được thể hiện thông qua lực

chống nứt R , J_R , δ_R của vật liệu. Vấn đề đặt ra ở đây cần xem xét là liệu dung các giá trị đặc trưng xác định qua các mẫu thí nghiệm làm số liệu để nghiên cứu ứng xử của chi tiết và kết cấu có thỏa mãn hay không.

- 3) Từ các tham số đặc trưng cho tải trọng tác dụng và các tham số đặc trưng cho khả năng chịu tải của vật liệu ta cần phải suy diễn để xác định được các thông tin về độ an toàn phá hủy cũng như tuổi thọ của chi tiết và kết cấu trong trường hợp biết được hình dáng hình học của chi tiết và tải trọng tác dụng lên chi tiết và kết cấu.

Về phương diện kỹ thuật CHPH có nhiệm vụ phải phân tích và dự báo được thời điểm mà quá trình phá hủy có thể xảy ra, đồng thời tìm ra được các phương pháp dự báo. Để thực hiện nhiệm vụ trên, CHPH nói chung và CHPH kỹ thuật nói riêng, phải trả lời các vấn đề:

- 1) Sau một thời gian hoạt động, phải xác định được độ bền còn lại của chi tiết và kết cấu.
- 2) Với tải trọng tác dụng, trong quá trình hoạt động ta cần phải xác định giá trị tới hạn của chiều dài vết nứt được phép lan truyền.
- 3) Xác định được khoảng thời gian vết nứt lan truyền từ chiều dài ban đầu đến khi đạt được chiều dài tới hạn.
- 4) Phải biết được kích thước của vết nứt vi mô đã tồn tại sẵn trong lòng vật liệu tại thời điểm bắt đầu hoạt động của chi tiết và kết cấu.
- 5) Phải có được lịch trình và kế hoạch để kiểm tra và khảo sát quá trình hình thành vết nứt mới và quá trình lan truyền vết nứt trong các chi tiết và kết cấu.
- 6) Các biện pháp cần thiết, kể cả ngắn và dài hạn, có thể gặp phải để xử lý các sự cố và các tình huống có thể xảy ra.

1.1.4. Nguyên nhân và sự hình thành vết nứt

Nguyên nhân và sự hình thành vết nứt rất đa dạng, xét trên phương diện vi mô, hiện tượng vết nứt xuất hiện chủ yếu do các tính chất của vật liệu quyết định, nhưng các tính chất của vật liệu lại phụ thuộc vào từng loại vật liệu, vì vậy chúng thay đổi rất khác nhau. Ở đây chỉ đề cập đến vật liệu đa tinh thể, điển hình là vật liệu kim loại.

1.2. Đường cong mỏi

Theo các nhà nghiên cứu lý thuyết mỏi được chia thành hai nhánh nhỏ:

- Mỏi ngắn hạn là hiện tượng mỏi xảy ra khi số chu trình ứng suất nhỏ hơn hoặc bằng 10^5 .
- Mỏi dài hạn là hiện tượng mỏi xảy ra khi số chu trình ứng suất lớn hơn 10^5 .

a) *Hiện tượng mỏi* (hay *sự mỏi*): Đó là quá trình tích lũy dần dần sự phá hỏng trong bản thân vật liệu dưới tác động của ứng suất thay đổi theo thời gian. Ứng suất thay đổi này làm

xuất hiện các vết nứt mới, sau đó các vết nứt mới ấy phát triển và dẫn tới sự phá hủy vật liệu. Sự phá hủy như vậy được gọi là sự phá hủy vì mỏi.

b) *Độ bền mỏi*: Đó là tính chất của vật liệu chống lại quá trình phá hỏng vì mỏi.

c) *Độ bền lâu*: Độ bền lâu (tuổi thọ) của vật liệu chi tiết là khoảng thời gian làm việc của chúng dưới tác động với một chế độ tải trọng và các yếu tố ảnh hưởng khác mà không bị phá hủy. Độ bền lâu thường được tính bằng giờ hoặc bằng số chu trình ứng suất. Trong một số lĩnh vực chuyên ngành (ví dụ lĩnh vực đầu máy, toa xe, ô tô, máy kéo), độ bền lâu được tính bằng số kilômét làm việc.

d) *Đường cong mỏi*: Đường cong mỏi là đường cong biểu diễn mối liên hệ giữa các ứng suất thay đổi với các số chu trình ứng suất tương ứng (Hình 1.1).

Ứng suất thay đổi có thể là ứng suất lớn nhất hoặc là biên độ ứng suất.

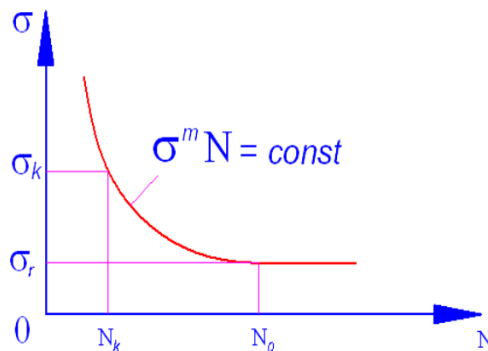
Đường cong mỏi cổ điển $\sigma = f(N)$ còn gọi là đường cong Veller (Wohler's Curve).

$$\text{Phương trình đường cong mỏi: } \sigma^m N = C \quad (1.17)$$

Trong đó : C là hằng số.

M là bậc của đường cong mỏi (thép : $m=6$)

N số chu kỳ thay đổi ứng suất ứng với σ .



Hình 1. 1 Đường cong mỏi

e) *Giới hạn mỏi*: Giới hạn mỏi của vật liệu là một trong số những đặc trưng cơ học. Cũng như những đặc trưng cơ học khác, muốn xác định giới hạn mỏi của một loại vật liệu nào đấy, ở một điều kiện nào đấy, phải tiến hành thí nghiệm theo một quy chuẩn nhất định. Giới hạn mỏi của vật liệu ở một điều kiện nào đó là giá trị lớn nhất của ứng suất thay đổi theo thời gian ứng với một số chu trình ứng suất cơ sở mà mẫu chuẩn không bị phá hủy.

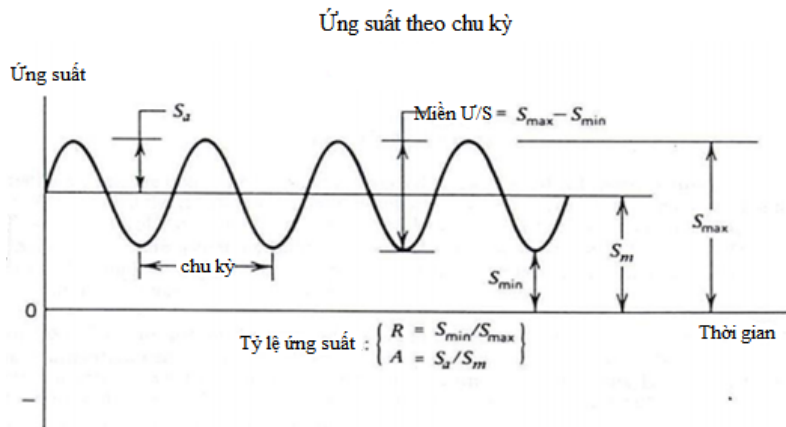
Mỗi một loại vật liệu quy định số chu trình ứng suất cơ sở riêng. Gọi N_0 là số chu trình ứng suất cơ sở. Trong những trường hợp đặc biệt, người ta lấy $N_0 = 10^7$ đối với vật liệu kim loại nói chung và $N_0 = 10^8$ đối với các hợp kim nhẹ có độ bền cao. Tùy theo đặc trưng của chu trình ứng suất, giới hạn mỏi có thể được xác định ở chu trình ứng suất đối xứng, chu trình ứng suất mạch động hoặc ở chu trình ứng suất phi đối xứng.

Từ đồ thị ta thấy ứng suất càng cao thì tuổi thọ càng giảm. Khi ứng suất vượt qua giá trị σ_k số chu kỳ ứng suất giảm mạnh. Trị số σ_k gọi là giới hạn mỏi ngắn hạn của vật liệu. Ứng suất càng giảm thì số chu kỳ ứng suất càng tăng. Khi ứng suất giảm đến giá trị σ_0 thì đường cong mỏi gần như nằm ngang tức là số chu kỳ ứng suất có thể tăng lên rất lớn mà chi tiết không bị gãy hỏng. Trị số σ_0 gọi là giới hạn mỏi dài hạn của chi tiết máy. Ứng với σ_0 là số chu kỳ cơ sở N_0 .

1.3 phương pháp thí nghiệm mỏi

1.3.1 Phương pháp thí nghiệm mỏi truyền thống

Đây là phương pháp tác dụng ứng suất thay đổi liên tục ở một biên độ nhất định cho đến khi mẫu thí nghiệm bị phá hủy và ở đây sẽ gọi là phương pháp truyền thống. Phương pháp đặt tải này đã và đang được sử dụng phổ biến với các phương pháp thí nghiệm trên. Những mẫu thí nghiệm khác trong một loạt mẫu có thể sẽ chịu một biên độ ứng suất khác, nhưng đối với một mẫu thì biên độ ứng suất của nó sẽ không đổi trong cả quá trình.



Hình 1. 2 Sơ đồ mạch mô tả những tham số tải theo chu kỳ

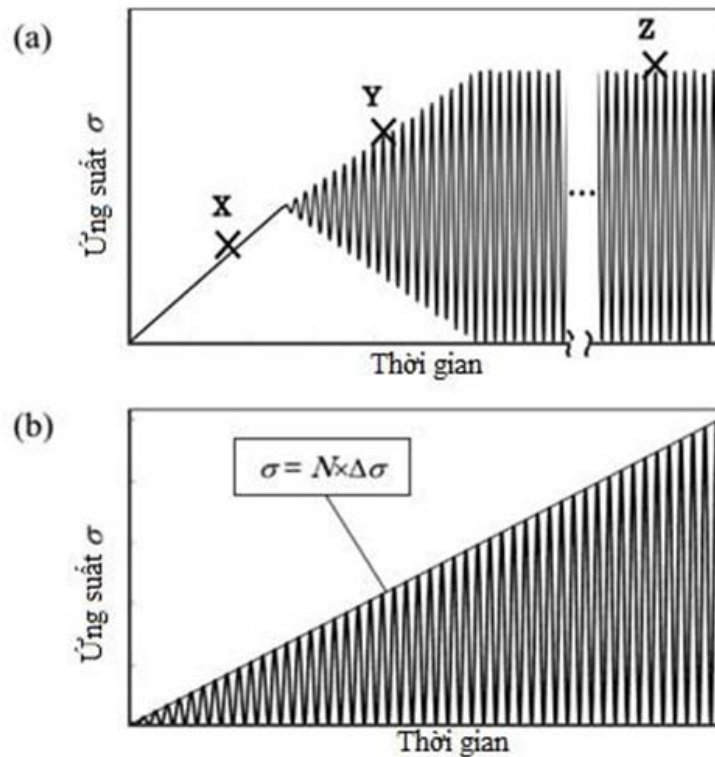
Trong thí nghiệm truyền thống, ứng suất tác dụng các mẫu được kì vọng sẽ hỏng sau một số trung bình chu kỳ khoảng từ 10^4 đến 10^7 .

Nhược điểm của phương pháp thí nghiệm bền mỏi truyền thống là:

- Nếu ứng suất σ không đủ lớn thì đối với một số loại vật liệu, tuổi thọ N có thể tăng lên khá lớn mà mẫu thử không bị gãy hỏng. Như vậy quá trình thực nghiệm có thể phải dừng lại trước khi có phá hủy xảy ra do số chu kỳ vượt quá giới hạn thời gian cho phép
- Nếu ứng suất tác động lớn hơn độ bền của mẫu thì mẫu sẽ bị phá hủy ngay ở chu kỳ ứng suất đầu tiên và kết quả với mẫu thử đó không thể dùng để đánh giá độ bền mỏi.

1.3.2. Thí nghiệm bền mỏi với biên độ ứng suất tăng dần

Để khắc phục các nhược điểm của phương pháp thí nghiệm mỏi truyền thống, trong nghiên cứu đã đề xuất phương pháp thí nghiệm mỏi với ứng suất tăng dần thí nghiệm trên vật liệu Silic (Hình 1.3). Phương pháp mới này sẽ tránh được những khuyết điểm của phương pháp thử nghiệm mỏi truyền thống với ứng suất tác động được mô tả ở Hình 1.3, vì biên độ ứng suất trong giai đoạn đầu nhỏ, sẽ tác động đều và làm giảm độ bền của chi tiết sau đó ứng suất lớn dần ở giai đoạn cuối sẽ làm đứt toàn bộ các mẫu. Vì vậy, ảnh hưởng của độ mỏi là có thể quan sát được ở mức độ ứng suất phá hủy thấp hơn. Hơn thế, việc tăng mức độ ứng suất sẽ có thể làm đứt tất cả các mẫu nằm trong khoảng thời gian dự kiến được nhờ vào độ bền tĩnh. Vì vậy, phương pháp thử nghiệm mới đồng thời cũng giúp giải quyết bài toán khó trong thí nghiệm truyền thống khi thời gian tuổi thọ mỏi là quá dài dẫn đến quá trình thực nghiệm có thể phải dừng lại trước khi có phá hủy mỏi xảy ra do số chu kỳ vượt quá giới hạn thời gian cho phép.



Hình 1.3 Biểu đồ ứng suất theo thời gian trong (a) thí nghiệm mỏi truyền thống và (b) thí nghiệm mỏi với biên độ ứng suất tăng dần

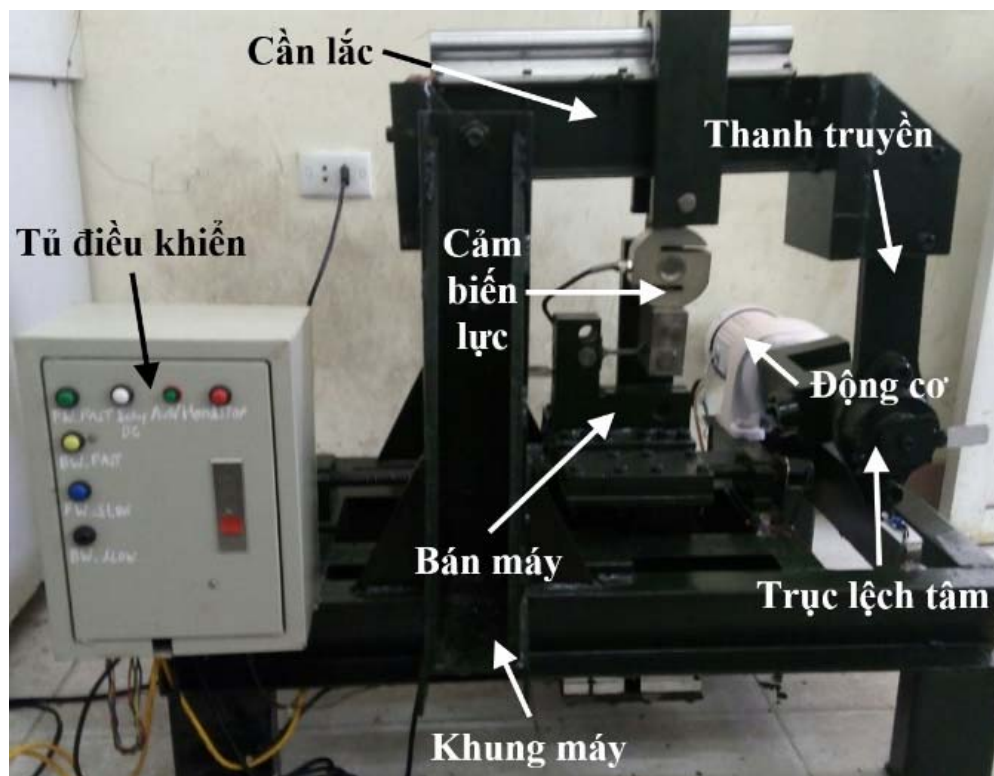
Dựa trên cơ sở lý thuyết của nghiên cứu trên và máy thí nghiệm đã có, trong đề tài này sẽ tập trung vào nghiên cứu, thiết kế mẫu thí nghiệm mỏi kéo bằng thép với phân bố ứng suất không đều sử dụng trong thí nghiệm mỏi kéo với biên độ ứng suất không đổi và tăng dần. Kết quả thí nghiệm được dùng để thiết lập các tham số trong định luật Paris và

từ đó đánh giá khả năng xây dựng đường cong mỏi và dự báo tuổi thọ của vật liệu thép bằng phương pháp thí nghiệm mỏi với biên độ ứng suất tăng dần.

CHƯƠNG II: MÁY THÍ NGHIỆM

2.1. Máy thí nghiệm

Máy thí nghiệm mới như trên hình 2.1 đã được thiết kế, chế tạo với các thông số chi tiết được giới thiệu trong nghiên cứu trước đây. Trong nghiên cứu này sẽ thực hiện thiết kế mẫu thử kéo bằng thép sử dụng trên máy thí nghiệm đã được chế tạo đó. Máy thí nghiệm đã được thiết kế để có thể thực hiện được các thí nghiệm kéo và uốn với các phép thử độ bền tĩnh, độ bền mỏi với ứng suất có biên độ không đổi và tăng dần. Máy thí nghiệm được thiết kế với sơ bộ tiết diện của mẫu là $5 \times 5 \text{ mm}^2$. Vật liệu làm mẫu thí nghiệm được chọn theo vật liệu có cơ tính tốt thường được dùng trong các chi tiết máy, chẳng hạn vật liệu trong chế tạo bánh răng [1,2] là thép 40XH [8] có khối lượng riêng 7850 kg/m^3 , phương pháp nhiệt luyện là tôi, cơ tính sau nhiệt luyện đạt độ cứng $48 \div 54 \text{ HRC}$, giới hạn bền $\sigma_b = 1600 \text{ MPa}$, giới hạn chảy $\sigma_{ch} = 1400 \text{ MPa}$, modul đàn hồi $E = 2,1 \times 10^{11} \text{ Pa}$, hệ số Poisson là 0,3.

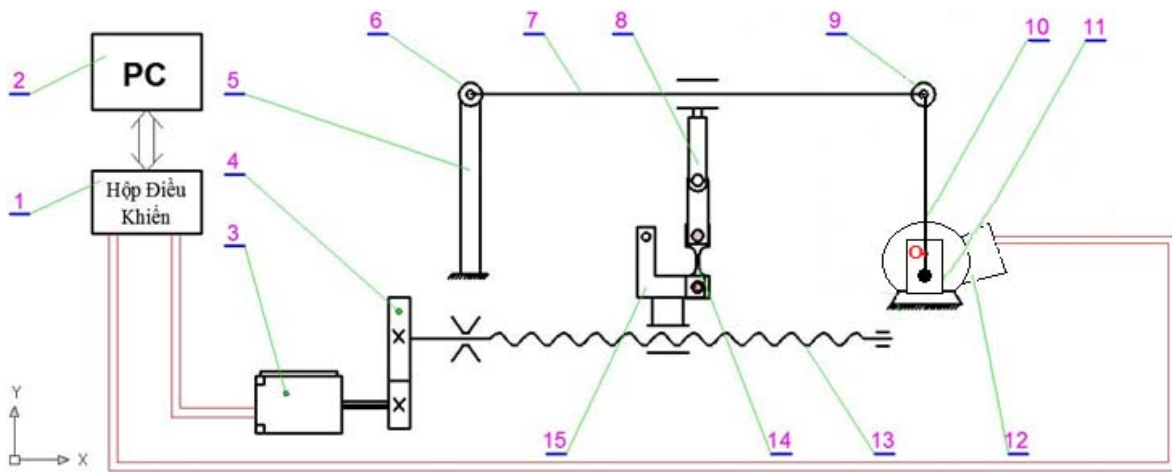


Hình 2. 1: Máy thí nghiệm đã được chế tạo

2.2. Cấu tạo của máy thí nghiệm

Máy thí nghiệm đo độ bền mỏi của vật liệu với phương pháp thí nghiệm biên độ ứng suất tăng dần có sơ đồ động được đề xuất như Hình 2.2 và máy gồm có 3 cụm chính:

- Cụm điều khiển trung tâm bao gồm máy tính chứa chương trình tính toán, điều khiển và hộp điều khiển chứa vi điều khiển, mạch điều khiển, mạch động lực của máy.
- Cụm bàn máy chứa cơ cấu kẹp mẫu thí nghiệm phía trên được truyền động bởi động cơ bước, qua cặp bánh răng trụ răng thẳng, và được dẫn động bởi vít me - đai ốc bi cùng hai thanh dẫn hướng đặt song song, đối xứng hai bên.
- Cụm cơ cấu 4 khâu bản lề phía trên gồm có khâu một cố định (chi tiết 5), khâu hai là thanh-ray dẫn hướng đặt trên thanh thép chữ I (chi tiết 7), khâu ba là thanh thép có tác dụng truyền lực từ động cơ chính (động cơ điện xoay chiều ba pha) qua chi tiết lệch tâm. Các khớp bản lề ở đây dùng các cặp ổ lăn quả trám (như trên sơ đồ máy). Tất cả các cụm này được đặt trên đế máy là các tấm thép định hình ghép lại với nhau.



Trong đó:

- | | |
|-----------------------------------|-------------------------------------|
| 1-Hộp điều khiển của máy | 2-Máy tính điều khiển trung tâm |
| 3-Động cơ bước | 4-Cặp bánh răng trụ răng thẳng |
| 5-Khâu 1 cố định (thanh chữ C) | 6-Cặp ổ trám số 1 |
| 7-Thanh và ray dẫn hướng (khâu 2) | 8-Loadcell gắn với thanh kẹp mẫu |
| 9-Cặp ổ trám số 2 | 10-Thanh truyền lực (khâu 3) |
| 11-Chi tiết lệch tâm | 12- Động cơ điện xoay chiều một pha |
| 13-Cụm vít me-đai ốc bi | 14- Mẫu thí nghiệm |
| 15-Bàn máy | |

Hình 2. 2: Sơ đồ động của máy

2.3. Nguyên lý hoạt động của máy

Ban đầu, bàn máy (15) ở vị trí giới hạn hành trình phía bên trái, cả hai động cơ (3,12) chưa làm việc và do đó mẫu thí nghiệm chưa chịu tác dụng của lực ngoài. Nhấn nút khởi động, chương trình điều khiển từ máy tính (2) gửi mã lệnh tới hộp điều khiển, vi điều khiển tính toán, xuất tín hiệu tới mạch điều khiển, tác động tới mạch động lực để phối kết

hợp điều khiển hoạt động của hai động cơ (3, 12) truyền động. Động cơ truyền động bàn máy (15) dịch chuyển từng bước nhỏ tương ứng với bước của vít me-đai ốc bi (13) trong từng khoảng thời gian xác định được đặt trước từ chương trình điều khiển, đưa bàn máy kẹp mẫu thí nghiệm dịch chuyển từ vị trí giới hạn hành trình bên trái chuyển động sang phải với mục đích làm tăng dần biên độ ứng suất tác dụng lên mẫu thí nghiệm. Động cơ chính quay truyền lực và mômen qua chi tiết lệch tâm (11) tới cơ cấu bốn khâu bản lề (5, 7, 10) gây nên ứng suất thay đổi theo từng chu kỳ xác định tác dụng lên mẫu thí nghiệm. Trong quá trình hoạt động luôn có sự phản hồi trạng thái làm việc của máy về bộ điều khiển trung tâm thông qua các tín hiệu từ các cảm biến. Khi mẫu thí nghiệm bị phá hủy, máy dừng ngay, các dữ liệu cần thiết (tốc độ động cơ, thời gian hoạt động, ...) được gửi về máy tính làm dữ liệu cho chương trình tính toán.

Với cấu tạo và nguyên lý hoạt động của máy như vậy, để thực hiện các thí nghiệm mới và thực hiện tính toán ra các kích thước của máy thì đầu tiên ta cần thiết kế mẫu thí nghiệm dùng cho máy này, từ đó xác định ra được lực và chuyển vị làm thông số đầu vào cho máy

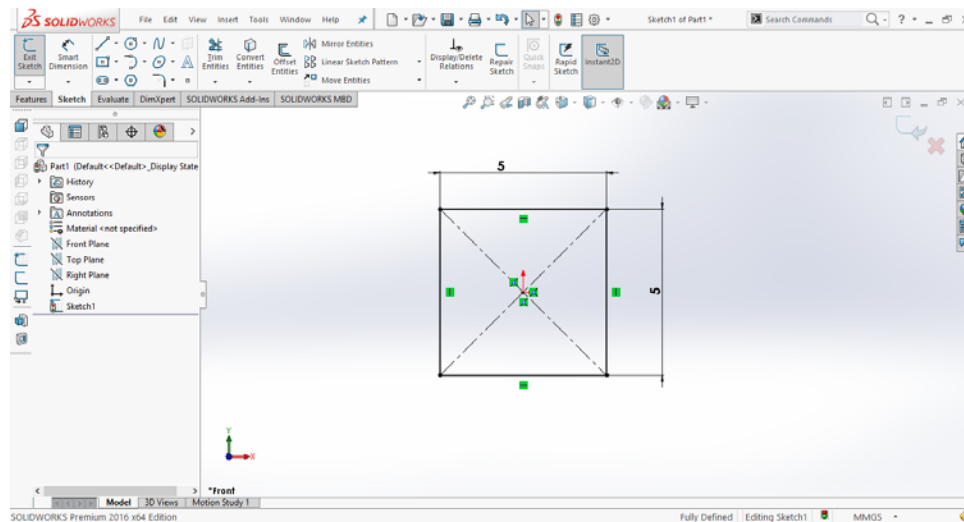
CHƯƠNG III: MẪU THÍ NGHIỆM

3.1. Thiết kế mẫu không có tập trung ứng suất

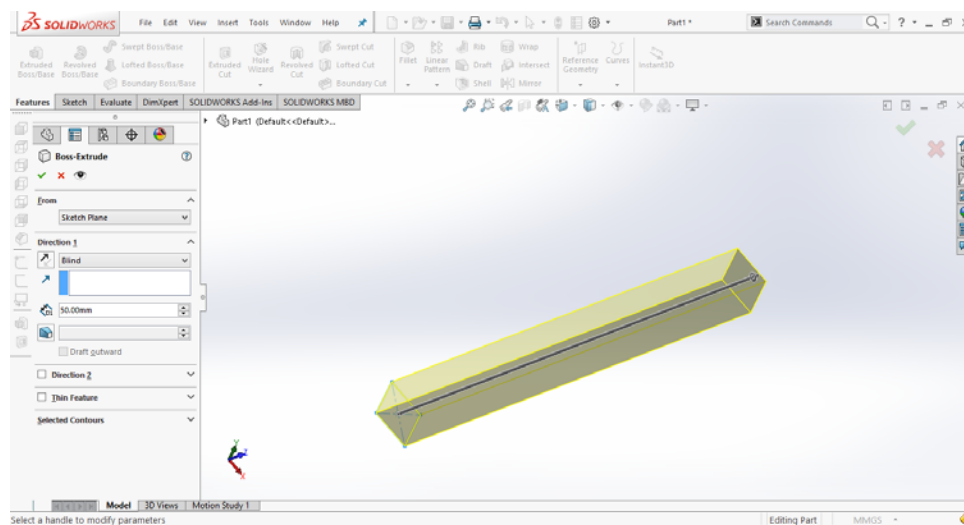
Hình dạng ban đầu của mẫu thí nghiệm được xây dựng trên phần mềm SolidWork 2020 như sau :

- Dùng lệnh *Extrude* tạo mẫu có dạng là một thanh thép dài 50 (mm)

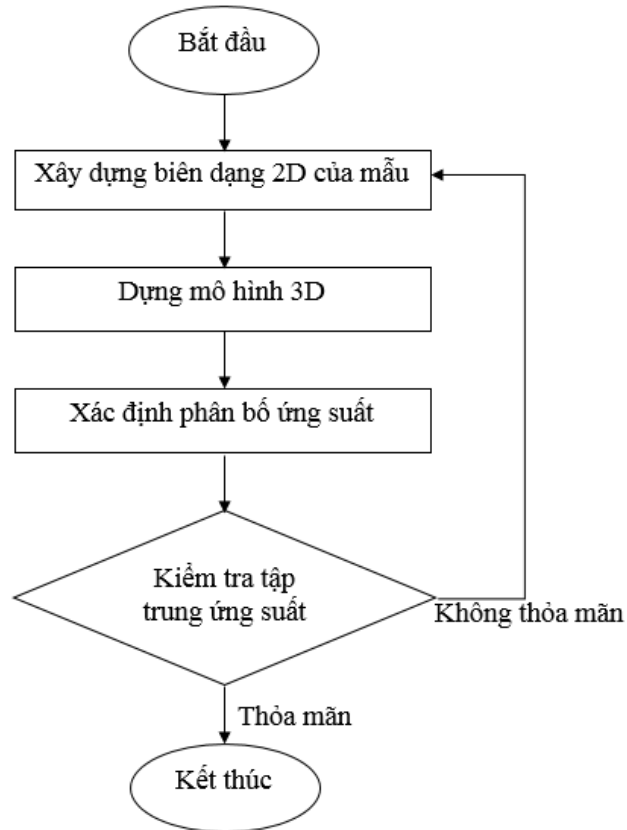
Để thực hiện thí nghiệm với mẫu có phân bố đều ứng suất và có biên dạng sao cho tránh được sự tập trung ứng suất tại chân mẫu, phần mềm vẽ biên dạng 2D mẫu thí nghiệm được sử dụng để xây dựng biên dạng mẫu. Quá trình thiết kế mẫu được thực hiện theo sơ đồ ở *Hình 3.1*. Trong đó việc xây dựng biên dạng 2D của mẫu được thực hiện bằng phần mềm có giao diện như *Hình 3.2*.



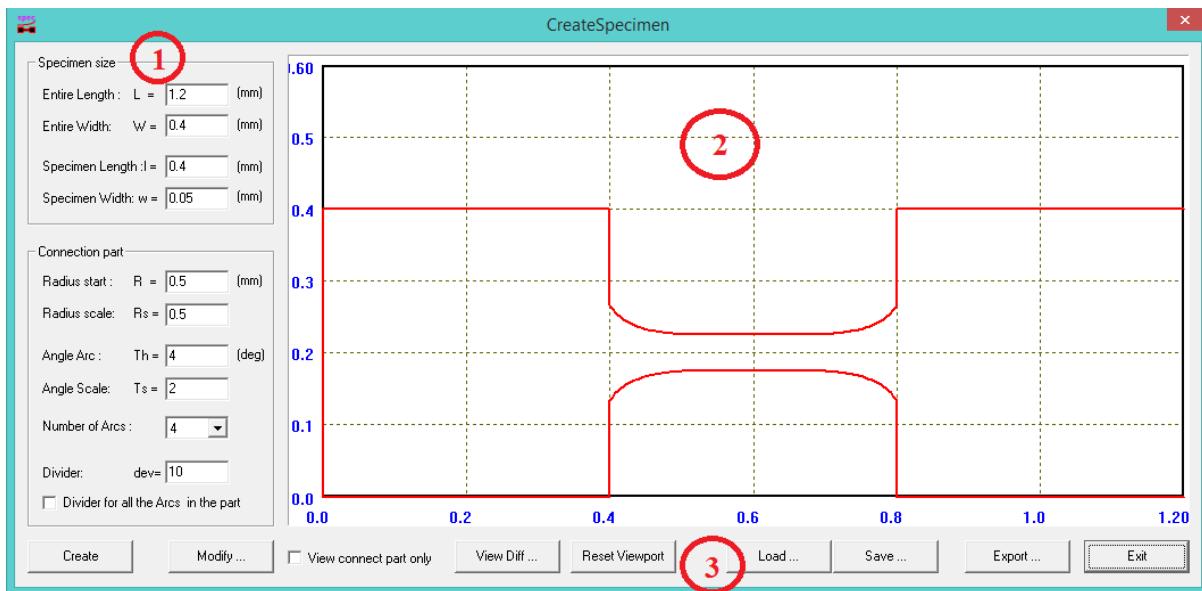
Hình 3. 1: Hình dạng hình học của mặt cắt ngang



hình 3. 2: Dùng lệnh Extrude tạo khối



Hình 3. 3: Quá trình thiết kế mẫu



Hình 3. 4: Giao diện phần mềm vẽ biên dạng 2D của mẫu

Giao diện gồm có 3 phần chính:

a) *Vùng 1*: thanh tác vụ bên trái dùng để định nghĩa các thông số kích thước của mẫu.

- Phân định nghĩa các tham số kích thước chung (Specimen size):
 - + Entire Length: chiều dài bao của mẫu thí nghiệm.
 - + Entire Width: chiều rộng bao của mẫu thí nghiệm.
 - + Specimen Length: chiều dài tại đoạn có biên dạng đặc biệt của mẫu.
 - + Specimen Width: chiều rộng tại đoạn có biên dạng đặc biệt của mẫu.
- Phân định nghĩa các tham số liên kết giữa phần có biên dạng đặc biệt với các phần khác của mẫu:
 - + Radius start: bán kính bắt đầu cung bo tròn tại vùng chuyển tiếp
 - + Radius scale: tỉ lệ bán kính lượn sau so với bán kính trước đó
 - + Angle Arc: góc bắt đầu cung tròn
 - + Angle scale: tỉ lệ góc lượn sau so với góc lượn trước đó
 - + Number of arcs: số lượng cung lượn bo giữa từng phần chuyển tiếp
 - + Divider: chia từng đoạn ra làm nhiều phần tử nhỏ hơn

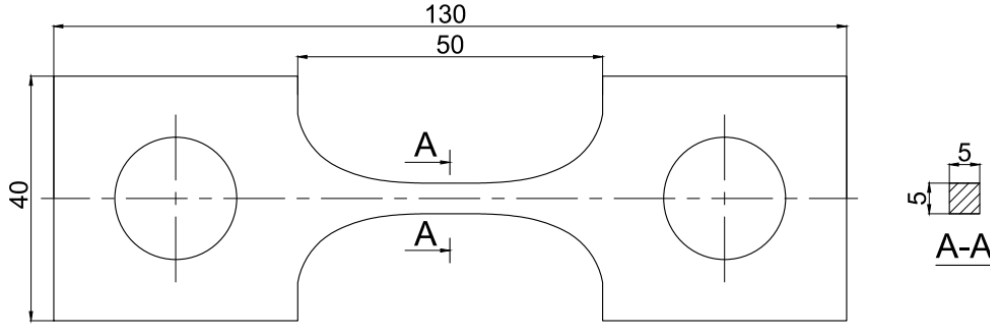
b) *Vùng 2*: Cửa sổ thể hiện hình dạng mẫu sau khi định nghĩa

c) *Vùng 3*: Thanh công cụ tạo biên dạng 2D mẫu sau khi đã định nghĩa, bao gồm các tác vụ cơ bản: tạo mẫu, chỉnh sửa các thông số định nghĩa, lưu trạng thái các thông số đã định nghĩa, xuất dữ liệu ra file .txt hoặc file autolisp chạy trong phần mềm AutoCad.

Sau khi thiết kế mẫu trên phần mềm thu được các thông số của mẫu thực hiện trong đề tài được thể hiện ở *Bảng 3.1*.

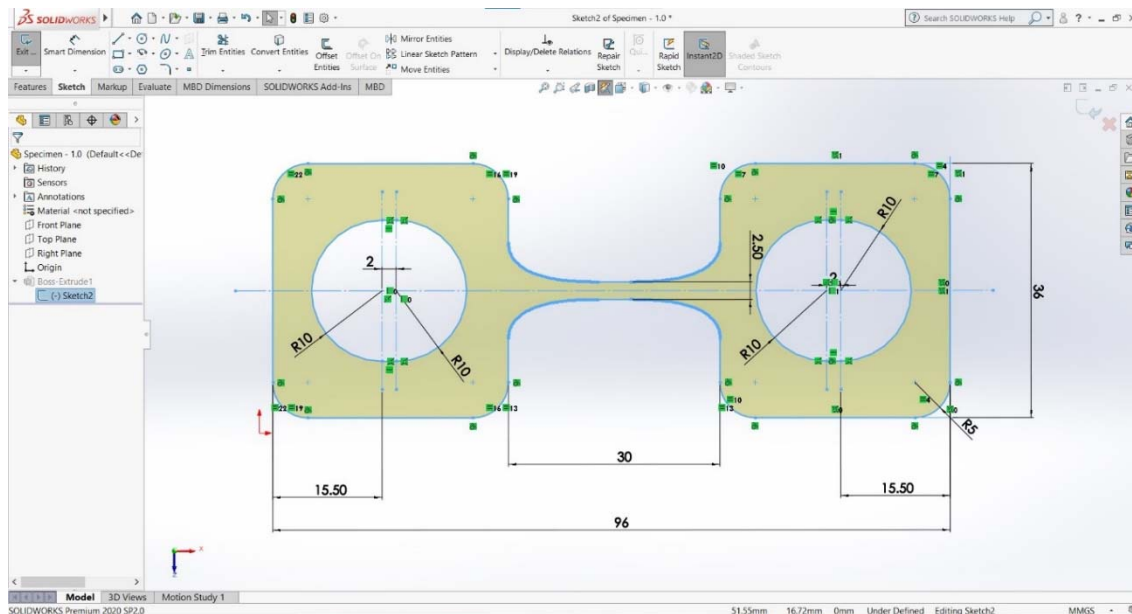
Bảng 3.1: Thông số cơ bản của mẫu

Thông số	Giá trị
Chiều dài mẫu	130 mm
Chiều rộng bao của mẫu	40 mm
Chiều dài phần biên dạng đặc biệt	50 mm
Chiều rộng phần biên dạng đặc biệt	5 mm
Bán kính bắt đầu cung lượn	60
Góc bắt đầu cung lượn	6 ⁰

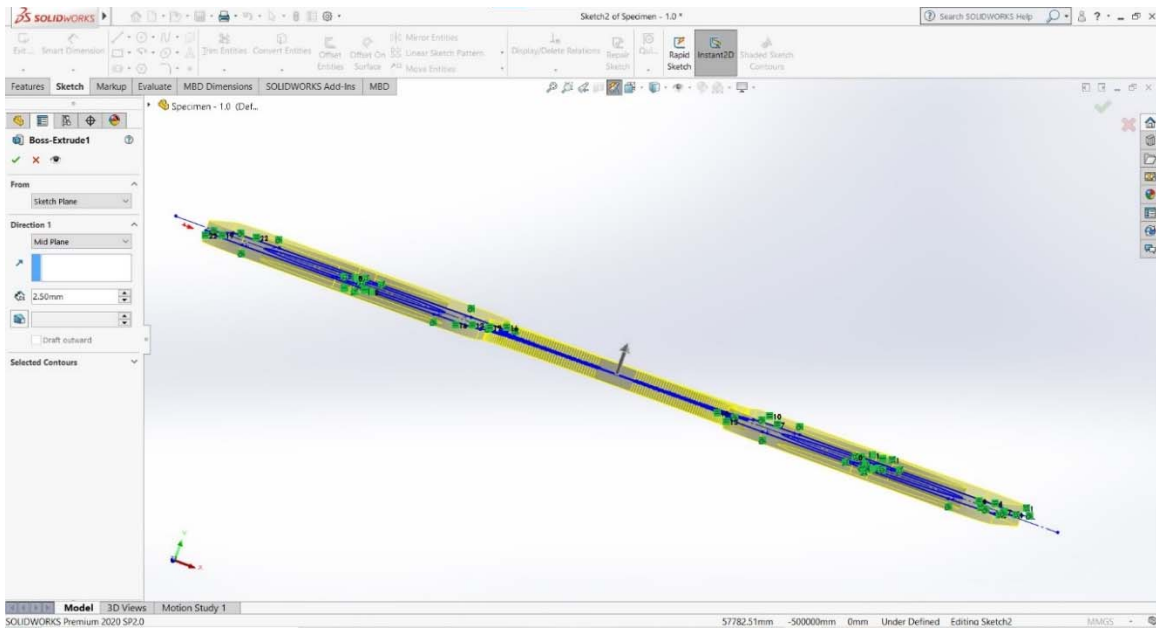


Hình 3. 5: Biên dạng 2D của mẫu thí nghiệm

Mẫu thí nghiệm cần được thiết kế để phù hợp với máy thí nghiệm, máy được thiết kế dựa trên kích thước tiết diện mẫu tối đa được đề suất là $5 \times 5 \text{ mm}^2$. Tuy nhiên để cho máy hoạt động tốt và ổn định, kích thước tiết diện mẫu được lựa chọn thiết kế trong nghiên cứu này là $2,5 \times 2,5 \text{ mm}^2$. Hình dáng mẫu thí nghiệm được thiết kế như thể hiện trên hình 3.7 (mẫu này được gọi là Kiểu A), trong đó hai đoạn dài 33 mm cuối mỗi đầu dùng để kẹp vào bàn máy thí nghiệm. Mẫu thí nghiệm được gá lên các chốt trụ đường kính 20 mm qua 2 lỗ hạt đậu ở 2 đầu nhằm tránh cho mẫu bị nén trong quá trình giảm ứng suất trong một chu trình ứng suất do hiện tượng biến dạng dẻo khi biên độ ứng suất lớn. Đoạn giữa có chiều dài 30 mm với tiết diện danh nghĩa $2,5 \times 2,5 \text{ mm}^2$ là phần thử nghiệm độ bền. Hình dáng của đoạn giữa được thiết kế với hai đầu loe ra với biên dạng được ghép từ nhiều cung tròn với bán kính tăng dần nhằm đảm bảo không xảy ra hiện tượng trung ứng suất trên mẫu.



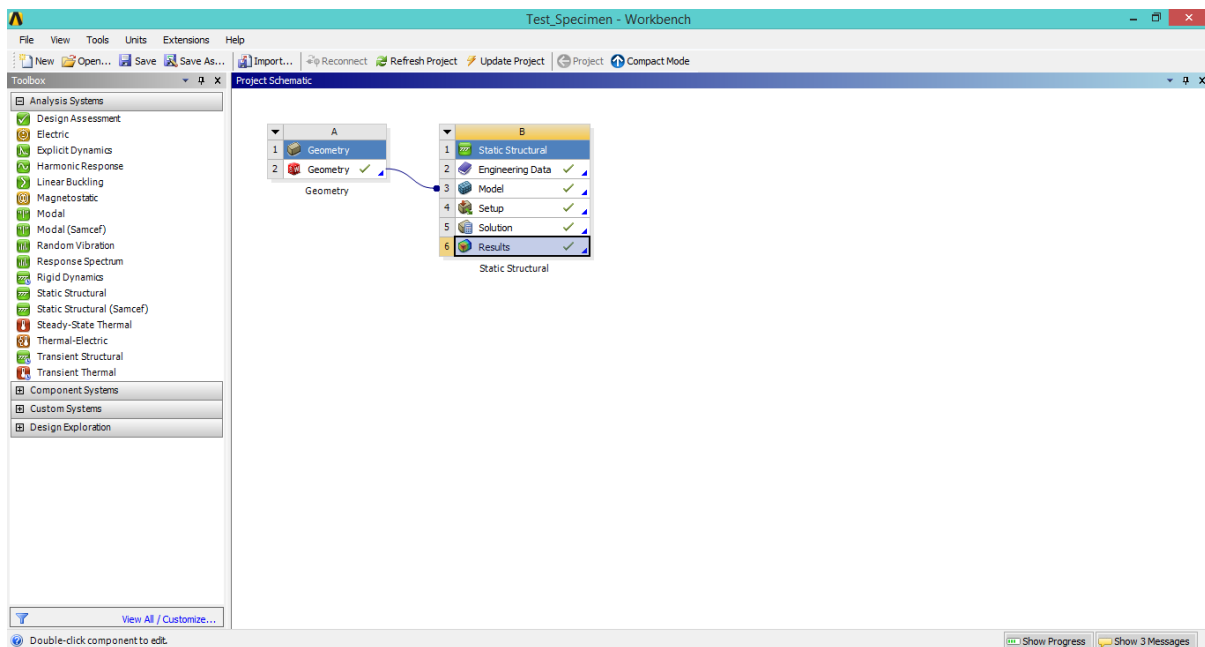
Hình 3. 6: Kích thước của mẫu thử kéo Kiểu A



Hình 3. 7: Dùng lệnh Extrude tạo khối 3D

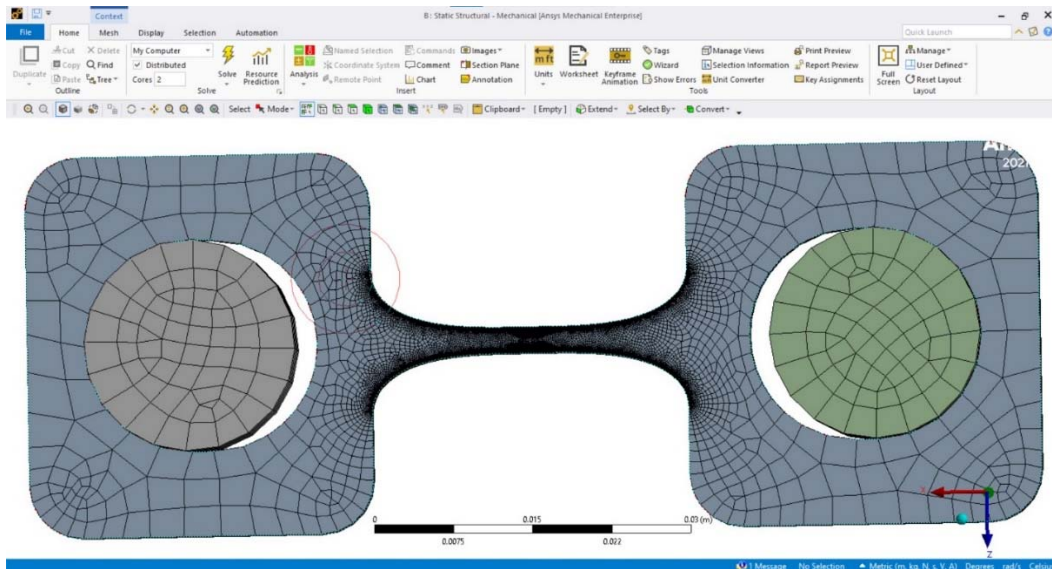
3.2. Xác định phân bố ứng suất trên mẫu thí nghiệm

Đưa mô hình 3D của mẫu trong phần mềm SolidWork sang phần mềm ANSYS Workbench và chọn môi trường Static Structural như Hình 3.9 để thực hiện xác định phân bố ứng suất theo phương pháp phần tử hữu hạn.

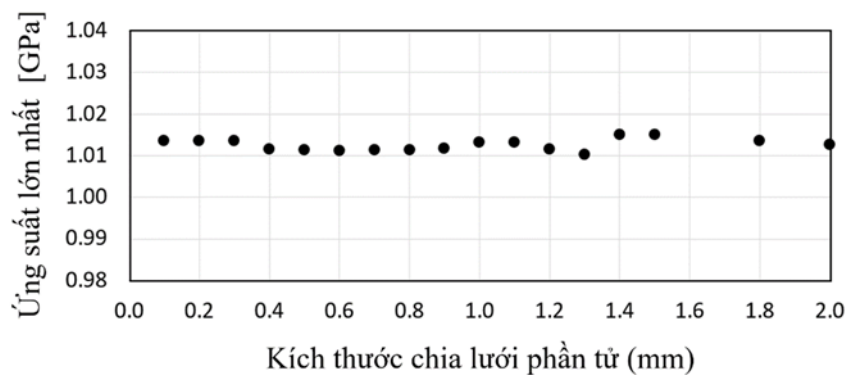


Hình 3. 8: Giao diện phần mềm ANSYS Workbench

Phân bố ứng suất trên mẫu đã được kiểm tra bằng phương pháp phần tử hữu hạn (FEM) trên phần mềm ANSYS (*hình 3.9*) với lực kéo tác dụng lên mẫu là 6250N tương ứng với ứng suất danh nghĩa trên tiết diện ngang ở đoạn giữa của mẫu là 1 GPa. Mô hình tính toán được thực hiện với mẫu được kéo bởi 2 chốt trụ, trong đó một chốt được giữ cố định, một chốt chỉ dịch chuyển theo phương kéo mẫu (trục X trên mô hình ở *hình 3.10*) được đặt lực tác dụng. Bề mặt ở đoạn giữa (đoạn dài 30 mm) của mẫu được kiểm soát kích thước chia lưới phần tử nhằm có kích thước phần tử đủ nhỏ là 0,1 mm. Kích thước chia lưới phần tử cũng đã được tiến hành khảo sát với sự thay đổi của ứng suất lớn nhất trên mẫu được thể hiện trên *hình 3.10*. Trong *hình 3.10*, trục hoành thể hiện kích thước phần tử được đặt tại đoạn giữa của mẫu, trục tung thể hiện giá trị ứng suất lớn nhất xuất hiện trên mẫu. Kết quả thể hiện rõ ràng rằng khi kích thước phần tử giảm dần, giá trị ứng suất gần như không thay đổi, tức là kết quả bài toán hội tụ. Do vậy việc sử dụng phân bố ứng suất trong trường hợp chia lưới với kích thước 0,1 mm đạt kết quả hội tụ là phù hợp.



Hình 3. 9: Mẫu thí nghiệm sau khi chia lưới

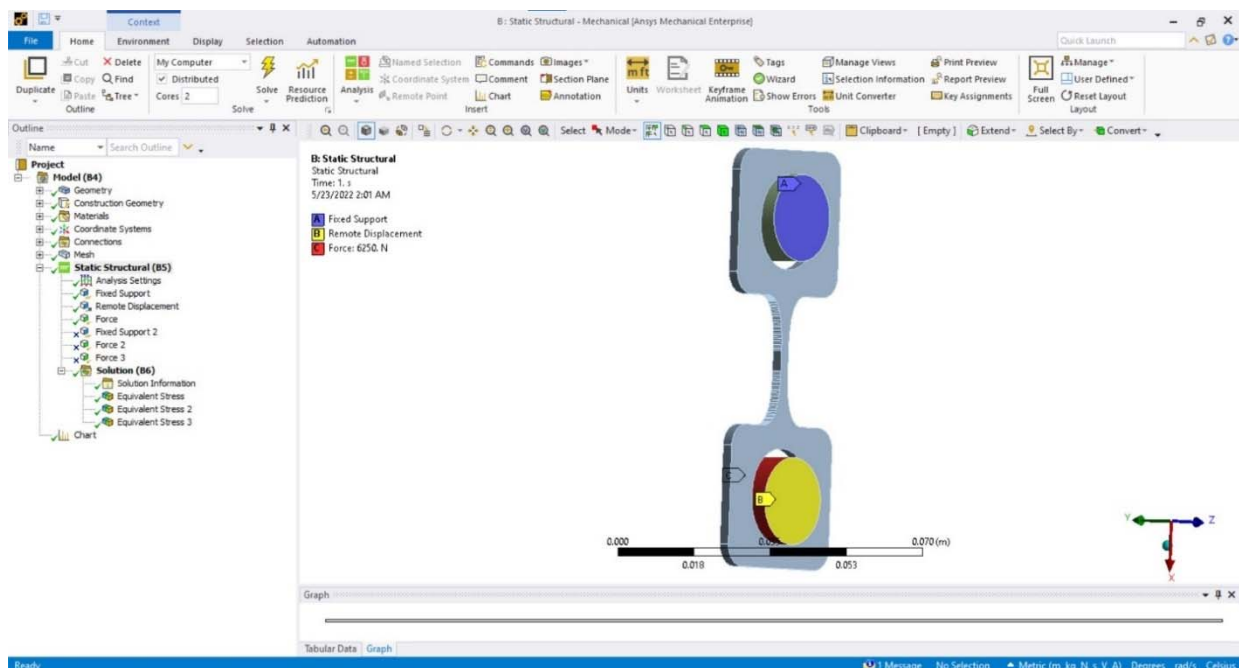


Hình 3. 10: Sự hội tụ của kết quả tính FEM

Để kiểm nghiệm phân bố ứng suất trên mẫu dưới tác dụng của tải trọng kéo, cần phải cố định một đầu của mẫu, đầu còn lại chịu tải trọng kéo với lực tới hạn gây nên phá hủy mẫu theo điều kiện bền kéo:

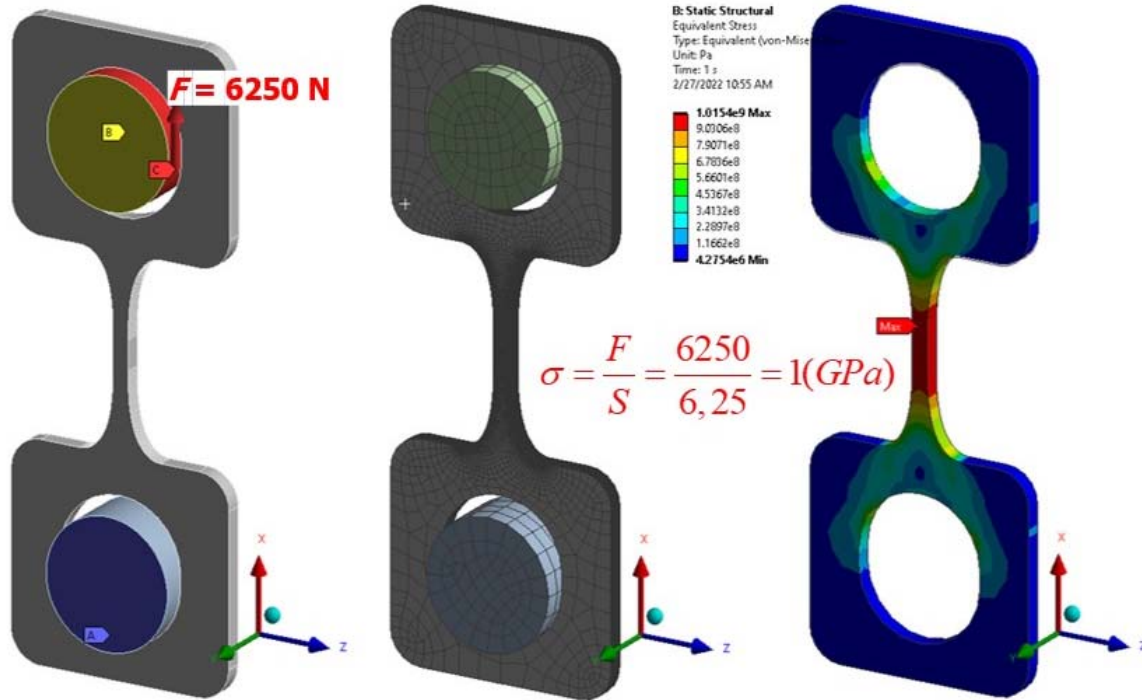
- Đặt ràng buộc cố định cho chốt tại A
- Đặt lực F tác dụng lên mẫu tại chốt B với lực F có chiều theo phương Z như Hình 3.11.

Với mô hình tính toán được thể hiện trên mẫu như ở đây Chốt bên dưới cố định chốt bên trên để thực hiện đặt tải để kéo mẫu với tải ở đây được lựa chọn là 6250N với kích thước tiết diện là 2,5.2,5mm thì với lực tác động đó sẽ sinh ra ứng suất danh nghĩa ở trên mẫu là 1 Gpa



Hình 3. 11: Điều kiện đặt biên cho mẫu

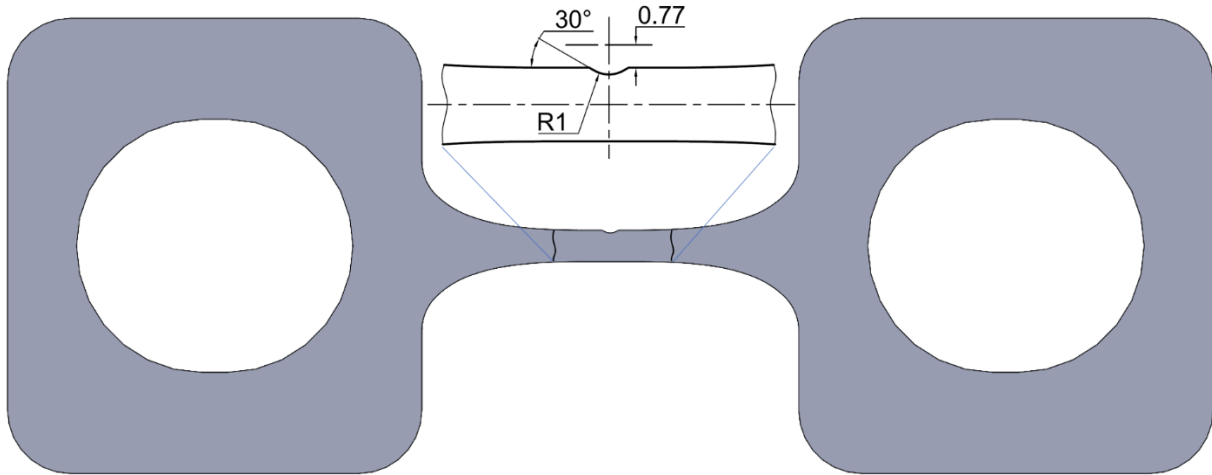
Với mẫu có hình dáng đã được vẽ nhóm đã thu được ứng suất lớn nhất là 1,0154 Gpa Tương ứng sấp xỉ hệ số tập trung ứng suất là 1 như vậy hình 3.12 dáng mẫu này đạt yêu cầu về phân bố ứng suất.



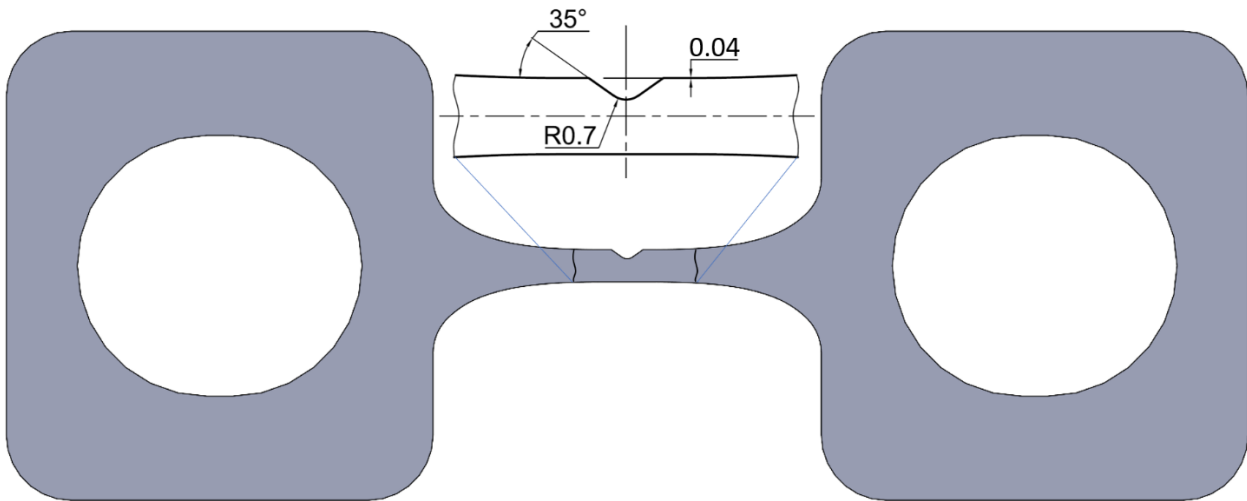
Hình 3. 12: Phân bố ứng suất trên mẫu thí nghiệm

3.3. Mẫu có tập trung ứng suất

Trong thực tế hình dạng và kích thước của các chi tiết máy rất đa dạng, chúng được thay đổi để phù hợp về kết cấu, khả năng chịu tải cũng như công nghệ chế tạo. Khi hình dáng, kích thước thay đổi sẽ gây ra hiện tượng tập trung ứng suất tại những vị trí thay đổi đó [1,2]. Như vậy các chi tiết thường xuyên chịu ứng suất phân bố không đều và xác suất phá hủy tại các vị trí chịu ứng suất khác nhau sẽ khác nhau. Để thực hiện thí nghiệm cho trường hợp phân bố ứng suất không đều nhằm có thể dự đoán được độ bền của chi tiết máy trong thực tế, mẫu có rãnh được xem xét và xây dựng đường cong mỏi cho các trường hợp đó. Ở nghiên cứu này thực hiện thiết kế hai kiểu mẫu kéo có hình dáng kích thước tương tự như trên hình 3.9 nhưng có rãnh ở đoạn giữa tạo ra sự phân bố ứng suất không đều với hệ số tập trung ứng suất là 2 và 4 như thể hiện trên hình 3.13 và được gọi tương ứng là Kiểu B và Kiểu C. Phân bố ứng suất trên các mẫu này cũng được thực hiện khảo sát bằng FEM với phần mềm ANSYS. Hình 3.14 thể hiện giá trị ứng suất tương đương lớn nhất thu được tại đáy rãnh khi thực hiện khảo sát với các kích thước chia lưới khác nhau.

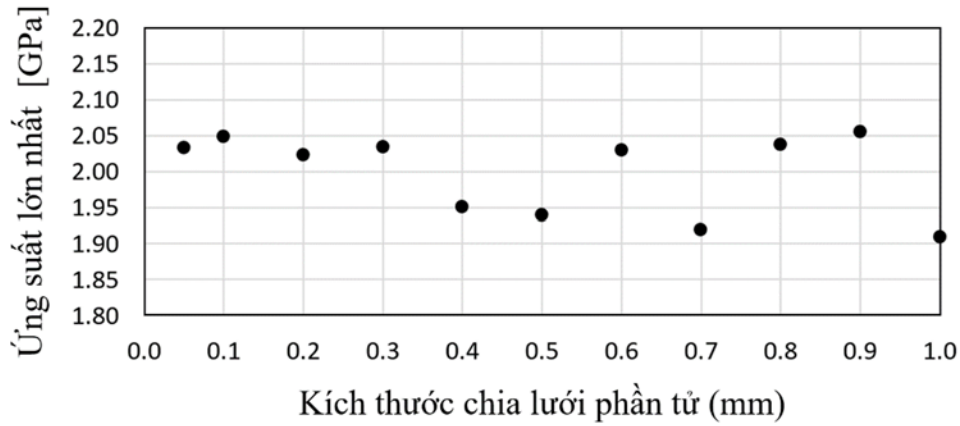


(a) Kiểu B

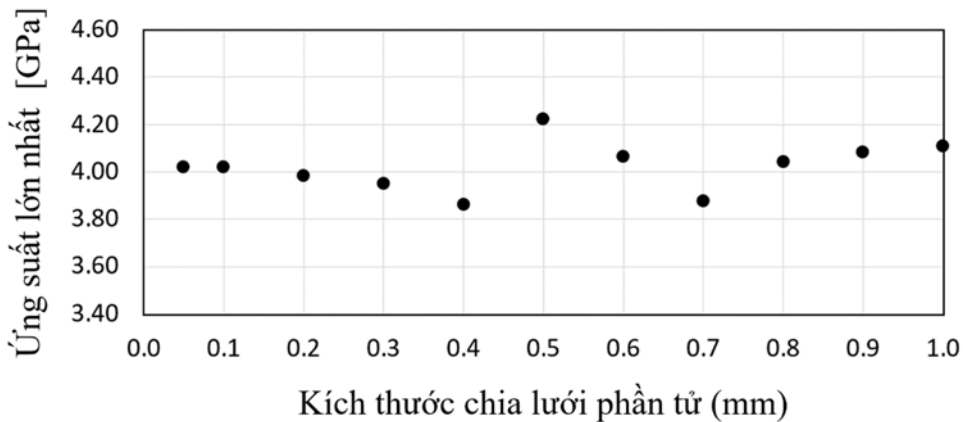


(b) Kiểu C

Hình 3. 13: Thiết kế của mẫu có phân bố ứng suất không đều



(a) Kiểu B

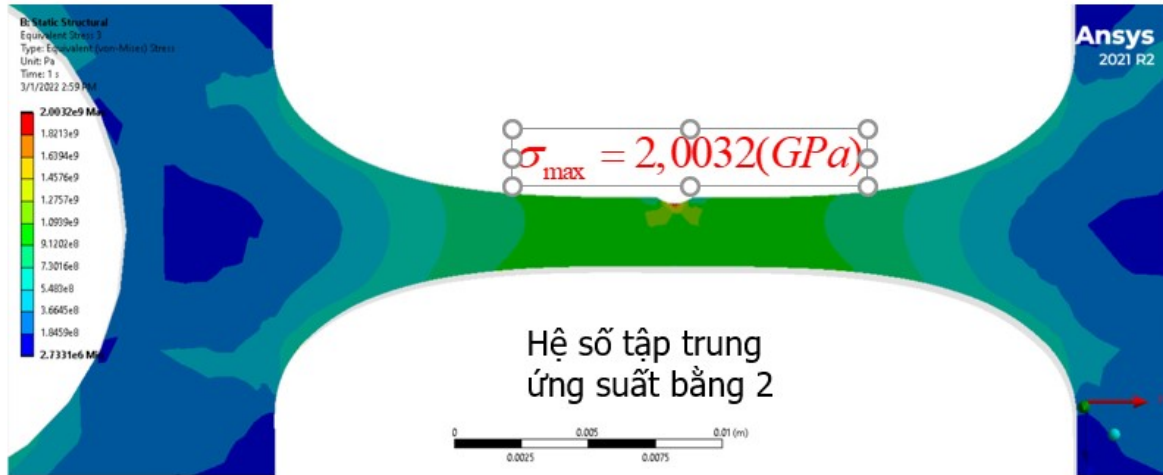


(b) Kiểu C

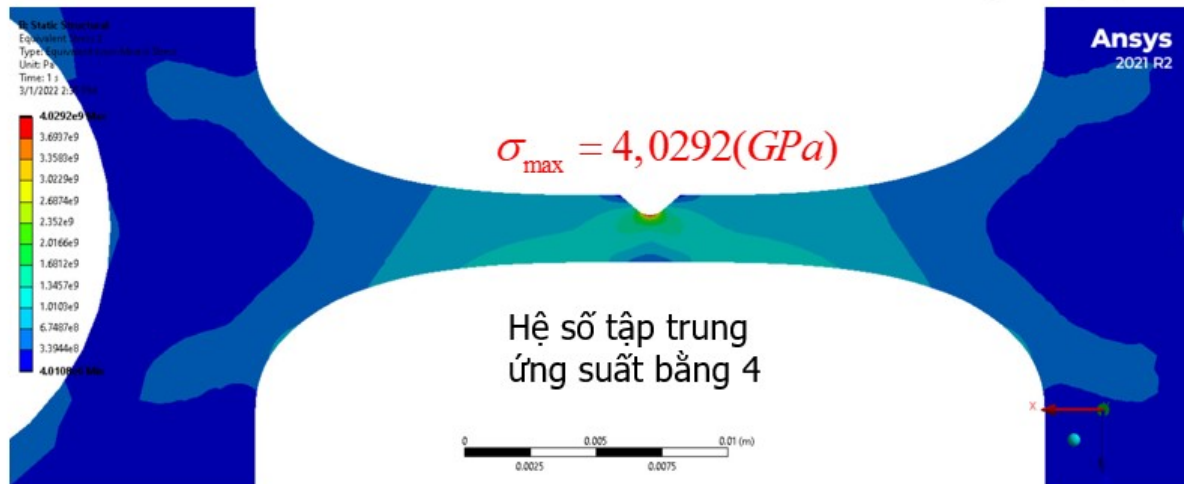
Hình 3. 14: Sự hội tụ của kết quả tính FEM với mẫu có rãnh

Với mô hình tính toán được thể hiện trên mẫu như ở đây Chốt bên dưới cố định chốt bên trên để thực hiện đặt tải để kéo mẫu với tải ở đây được lựa chọn là 6250N với kích thước tiết diện là 2,5.2,5mm thì với lực tác động đó sẽ sinh ra ứng suất danh nghĩa ở trên mẫu là 1 Gpa

. Dựa trên kết quả khảo sát này có thể thấy chia lưới phần tử với kích thước 0,1 mm cho phần giữa của mẫu là phù hợp. Ứng suất lớn nhất tại đáy rãnh của hai kiểu mẫu lần lượt là 2,049 GPa và 4,029 GPa, tương ứng hệ số tập trung ứng suất là 2,049 và 4,029. Các giá trị đạt được này có thể coi như mẫu đã đạt yêu cầu thiết kế với hệ số tập trung ứng suất là 2 và 4 như hình 3.15 và hình 3.16



Hình 3. 15: Phân bố ứng suất tại mẫu vật B



Hình 3. 16: Phân bố ứng suất tại mẫu vật C

CHƯƠNG IV: Kết quả và thảo luận

4.1. Phân tích thống kê công thức thí nghiệm truyền thống

Người ta thường chấp nhận rằng độ bền của vật liệu như thép được mô tả rõ ràng bởi Phân phối Weibull [9, 10]. Trong nghiên cứu này, giả định rằng sự bắt đầu từ các khuyết tật phân bố trên bề mặt đã gia công của các chi tiết máy hoặc mẫu thử và các vết nứt mở ra ở chế độ I. Do đó, xác suất phá hủy tích lũy F của các bề mặt được gia công của mẫu thử với phân bố ứng suất không đồng đều được định nghĩa ở dạng tổng thể [9]

$$F = 1 - \exp \left[- \int_{V_0} \left(\frac{\sigma_a}{\sigma_0} \right)^m \frac{dV}{V_0} \right] \quad (1)$$

trong đó m biểu thị mô-đun Weibull đại diện cho phân tán dữ liệu, σ_0 biểu thị tỷ lệ tham số liên quan đến cường độ trung bình của thể tích vô số dV và σ_a là giá trị được áp dụng căng thẳng. Ký hiệu V_0 cho biết thể tích của toàn bộ phần mẫu đã được gia công. Cho trường hợp của mẫu phẳng, sự phân bố ứng suất theo hướng chiều dày là đồng nhất, phương trình (1) có thể được viết lại thành

$$F = 1 - \exp \left[- \int_{A_0} \left(\frac{\sigma_a}{\sigma_0} \right)^m \frac{dA}{A_0} \right] \quad (2)$$

trong đó ký hiệu A_0 cho biết thể tích của toàn bộ bề mặt đã gia công của mẫu thử. Nếu sự phân bố của ứng suất σ_a tác dụng lên các mẫu thử có hình dạng tùy ý thì thu được bằng các bài kiểm tra sau đó là phương trình (1) và (2) có thể được sử dụng. Đối với tính toán trong nghiên cứu này, phương trình (2) là được viết lại dưới dạng tùy ý

$$F = 1 - \exp \left[- \sum_e \left(\frac{A_e}{A_0} \right) \left(\frac{\sigma_e}{\sigma_0} \right)^m \right] \quad (3)$$

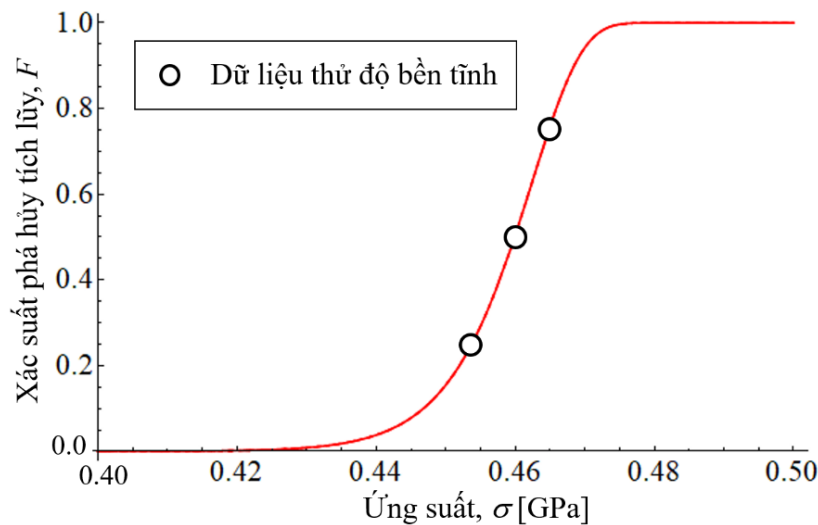
trong đó A_e là diện tích và σ_e là ứng suất trung bình trong mỗi phần tử bề mặt như được minh họa trong Hình 3.10. Nó được tưởng tượng rằng bề mặt gia công của một mẫu được bao gồm các phần tử nhỏ, trong đó ứng suất σ_e trong mỗi phần tử là đồng nhất. Ứng suất σ_e được giả định bởi biến dạng đàn hồi tuyến tính đối với được tương quan với ứng suất lớn nhất σ trong mẫu bằng tỷ số $k_e = \sigma_e / \sigma$. Căng thẳng phân bố trên các sepcimen và do đó tỷ lệ k_e có thể được ước tính bằng phần tử hữu hạn phương pháp (FEM). Bên cạnh đó, tỷ lệ giữa diện tích của phần tử bề mặt A_e với diện tích A_0 được ký hiệu như γ . Bằng cách thay thế ứng suất σ_e và diện tích A_e trong phương trình (3) với các ký hiệu k_e và γ , tương ứng, nó nhận được một hàm của một biến σ là

$$F = 1 - \exp \left[- \left(\frac{\sigma}{\sigma_0} \right)^m \sum_e \gamma k_e^m \right] \quad (4)$$

Trong nghiên cứu này, mẫu Kiểu A đã được tiến hành thí nghiệm kiểm nghiệm độ bền tĩnh (Bảng 4.1) với kết quả thí nghiệm được biểu diễn bằng các chấm tròn trên đồ thị ở Hình 4.1. Các tham số m và σ_0 trong phương trình (2) được xác định từ dữ liệu thí nghiệm này và có giá trị tương ứng là 65.1 và 0.4625 GPa. Đường cong biểu diễn phân bố độ bền tĩnh được vẽ trên Hình 4.1 bằng phương trình (2) với giá trị m và σ_0 đã thu được.

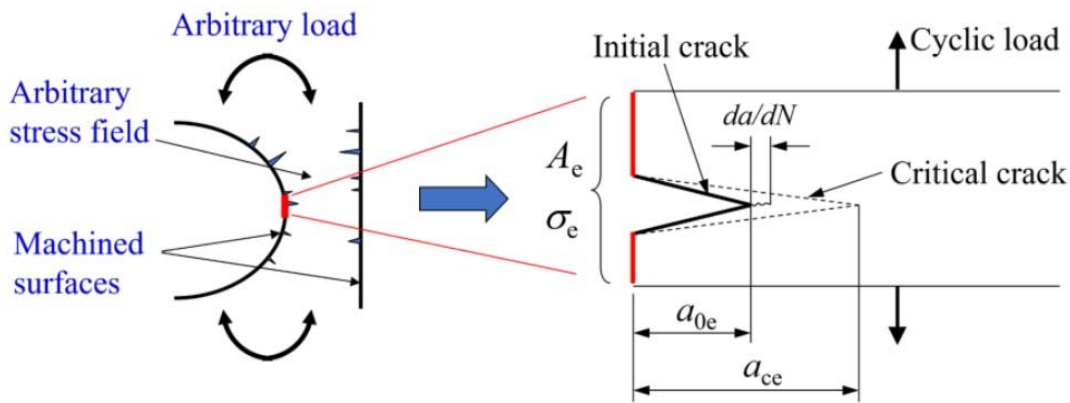
Bảng 4.1: Kết quả thí nghiệm

Tên thí nghiệm		Fmax (N)	σ (Mpa)	N (chu kì)
Tĩnh	Mẫu 1	2806	453,7	
	Mẫu 2	2844	459,9	
	Mẫu 3	2875	464,8	
Mỏi với biên độ không đổi	Mẫu 1	1478	238,9	34808
	Mẫu 2	1430	231,2	51326
	Mẫu 3	1032	166,9	97935
	Mẫu 4	1512	244,5	22130
	Mẫu 5	1560	252,2	22950
Mỏi với biên độ tăng dần	Mẫu 1	2342	378,8	5408
	Mẫu 2	2008	324,7	14908
	Mẫu 3	2186	353,5	18127
	Mẫu 4	2135	345,2	24097
	Mẫu 5	2025	326,9	68686
	Mẫu 6	2022	326,4	55238



Hình 4. 1: Kết quả thử độ bền tĩnh

Đã biết rằng cả độ bền tĩnh cũng như tuổi thọ mỏi đều tương quan với cùng các khuyết tật ban đầu, do quá trình gia công tạo ra. Các khuyết tật đã được mô tả như các vết nứt tương đương trên các bề mặt được gia công như mô tả trong Hình 4.2. Tải trọng tuần hoàn tác dụng lên các mẫu trong các thử nghiệm mỏi có dạng hình sin, trong đó biên độ ứng suất nhỏ hơn độ bền tĩnh. Điều này dẫn đến việc các mẫu thử bị vỡ sau một số chu kỳ tải N mà được gọi là tuổi thọ mỏi của các mẫu vật. Trong quá trình áp dụng tải trọng, các vết nứt tương đương trong một phần tử truyền từ độ dài ban đầu a_{0e} của chúng đến độ dài tới hạn a_c . Tỷ lệ gia hạn của vết nứt tương đương khi chịu tải tuần hoàn, được đặt tên là tốc độ phát triển vết nứt da/dN , được xây dựng bằng công thức Luật Paris [1-3] ở dạng chuẩn hóa bằng độ bền đứt gãy K_{Ic} như sau



Hình 4. 2 Mô tả sự kéo dài mỏi của các vết nứt tương đương bắt đầu từ các khuyết tật ban đầu

$$\frac{da}{dN} = C \left(\frac{\Delta K}{K_{Ic}} \right)^n \quad (5)$$

trong đó C, n là các tham số chưa biết trong luật Paris, cần được xác định từ và, ΔK là biên độ của hệ số cường độ ứng suất. Vì σ_e là biên độ ứng suất tác dụng trong mỗi phần tử, ΔK đối với phần tử ở chế độ I được xác định là [2]

$$\Delta K = \beta \sigma_e \sqrt{\pi a_e} \quad (6)$$

trong đó a_e là chiều dài vết nứt tương đương ở chu kỳ N , β là hằng số không thứ nguyên của hệ số hiệu chỉnh phản ánh dạng hình học của cả vết nứt và kết cấu. Điều cần trông đợi là hệ số cường độ ứng suất tại đỉnh của vết nứt tới hạn bằng độ bền K_{Ic} , do đó chiều dài tương đương của vết nứt tới hạn được công thức như

$$a_c = \left(\frac{K_{Ic}}{\beta \sigma_e \sqrt{\pi}} \right)^2 \quad (7)$$

Bằng cách thay thế phương trình (6) vào phương trình (5) và sau đó tích phân nó tương ứng với a từ a_{0e} đến c và N từ 0 đến số chu kỳ N mà chiều dài vết nứt tới hạn đạt được, độ dài vết nứt ban đầu a_{0e} thu được là

$$a_{0e} = \left(\frac{K_{Ic}}{\beta \sigma_e \sqrt{\pi}} \right)^2 \left[1 + \frac{C(n-2)}{2} \left(\frac{\beta \sigma_e \sqrt{\pi}}{K_{Ic}} \right)^2 N \right]^{2/(2-n)} \quad (8)$$

Bằng cách sử dụng mối tương quan của ứng suất với chiều dài vết nứt $\sigma = K_{Ic}/\beta(\pi a)^{1/2}$, xác suất phá hủy tích lũy F trong phương trình (2) được viết lại theo chiều dài vết nứt như sau

$$F = 1 - \exp \left[- \sum_e \gamma \left(\frac{a_{0e}}{a_{\sigma 0}} \right)^{-m/2} \right] \quad (9)$$

$a_{\sigma 0} = (K_{Ic}/\beta \sigma_0 \pi^{1/2})^2$ là hằng số. Do đó, xác suất phá hủy tích lũy F của toàn bộ bề mặt đã gia công được cấu tạo như một hàm của cả ứng suất lớn nhất σ trong mẫu vật và số chu kỳ N như

$$F = 1 - \exp \left\{ - \left(\frac{\sigma}{\sigma_0} \right)^m \sum_e \gamma k_e^m \left[1 + \frac{C(n-2)}{2} \left(\frac{\beta \sigma k_e \sqrt{\pi}}{K_{Ic}} \right)^2 N \right]^{m/(n-2)} \right\} \quad (10)$$

Ứng xử môi của các mẫu thử có hình dạng tùy ý có thể được ước tính ở tải trọng tác dụng tùy ý bằng cách sử dụng phương trình này. Có nghĩa là đường cong S-N thể hiện mối quan hệ giữa σ và N được xây dựng bởi phương trình (10). Bằng cách phù hợp với phương trình (10) với dữ liệu thử nghiệm mỗi thì các giá trị của C , n sẽ thu được, và do đó có thể vẽ đường cong môi S-N.

4.2. Phân tích thống kê công thức thí nghiệm RAMPING

Như mô tả trong Hình 1.3 (b), giá trị lớn nhất của ứng suất tác dụng σ tại số chu kỳ N trong các thử nghiệm biên độ tăng dần là $\sigma = N \Delta \sigma$, trong đó $\Delta \sigma$ là gia số tăng dần trên mỗi chu kỳ, có nghĩa là ứng suất tác dụng trong mỗi phần tử là $\sigma_e = k_e \sigma = k_e N \Delta \sigma$. Vì vậy

$$\Delta K = \beta \sigma_e \sqrt{\pi a_e} = \beta k_e N \Delta \sigma \sqrt{\pi a_e} \quad (11)$$

Bằng cách thay ΔK từ phương trình (11) vào phương trình (5), sau đó phương trình (5) được viết lại thành

$$\frac{da}{a_e^{n/2}} = C \left(\frac{\beta k_e N \Delta \sigma \sqrt{\pi}}{K_{Ic}} \right)^n dN \quad (12)$$

Kết hợp phương trình (12) với chiều dài vết nứt trong phần tử từ chiều dài vết nứt ban đầu a_{0e} đến độ dài tới hạn $a_{ce} = (K_{Ic}/\beta\sigma_e\pi^{1/2})^2$ tương ứng với số chu kỳ từ 0 đến N , chiều dài vết nứt ban đầu trong mỗi phần tử thu được là

$$a_{0e} = \left[\frac{C(n-2)}{2(n+1)} \left(\frac{\beta\sigma k_e \sqrt{\pi}}{K_{Ic}} \right)^2 \frac{\sigma}{\Delta\sigma} + \left(\frac{k_{Ic}}{\beta k_e \sigma \sqrt{\pi}} \right)^{2-n} \right]^{2/(2-n)} \quad (13)$$

Theo cách tương tự như đã đề cập trong phương pháp truyền thống, bằng cách kết hợp các phương trình (9) và (13), xác suất phá hủy tích lũy F trong các thử nghiệm mỗi khi dốc được xây dựng dưới dạng hàm của tăng ứng suất tối đa σ như

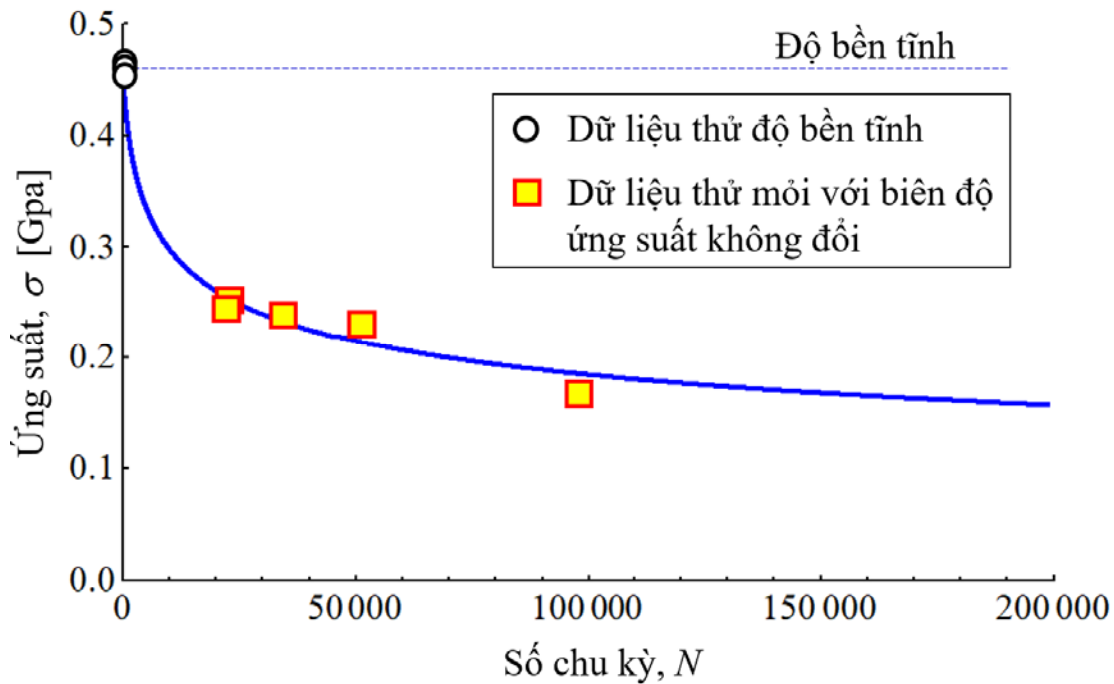
$$F = 1 - \exp \left\{ - \left(\frac{\sigma}{\sigma_0} \right)^m \sum_e \gamma k_e^m \left[1 + \frac{C(n-2)}{2(n+1)} \left(\frac{\beta\sigma k_e \sqrt{\pi}}{K_{Ic}} \right)^2 \frac{\sigma}{\Delta\sigma} \right]^{m/(n-2)} \right\} \quad (14)$$

khi độ tăng ứng suất $\Delta\sigma$ đến vô cùng, thì phương trình (14) trở nên giống với phương trình (4) hiển thị sự phân bố độ bền tĩnh. Bằng cách phù hợp phương trình (14) với dữ liệu thử nghiệm mỗi thu được bởi phương pháp thực nghiệm mới, có thể thu được giá trị của các tham số C và n . Sử dụng những giá trị của C và n đối với phương trình (10), có thể vẽ đường cong mỏi S-N.

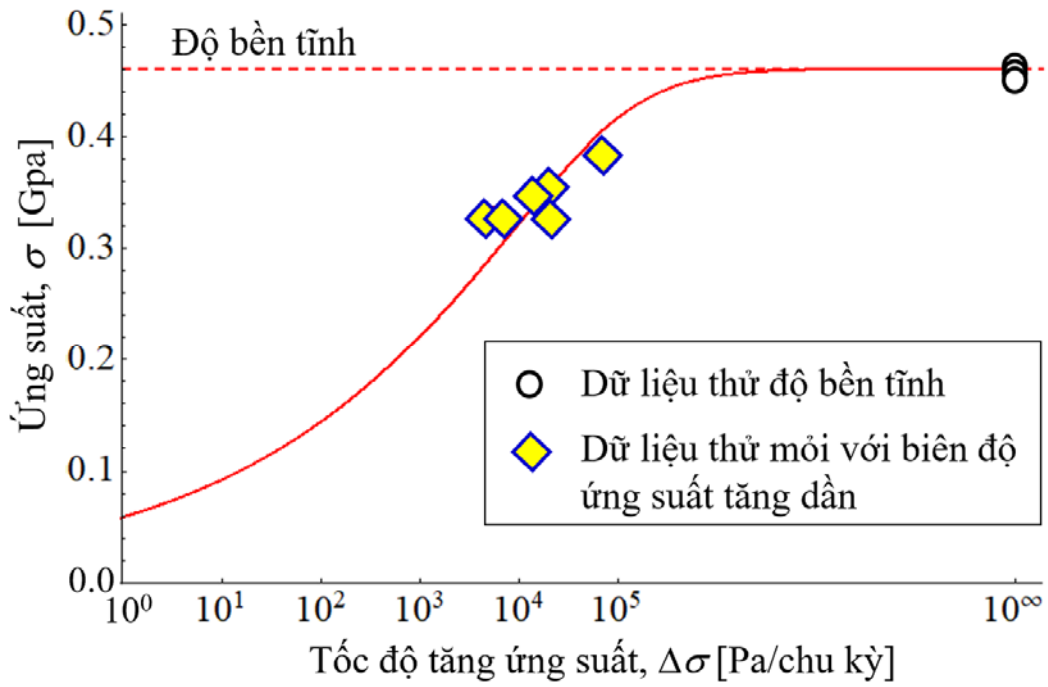
4.3. Dữ liệu thí nghiệm và đường cong mỏi

Trong nghiên cứu này, do hạn chế thời gian thí nghiệm nên kết quả thí nghiệm mới chỉ được tiến hành với mẫu Kiểu A với số liệu kết quả thí nghiệm được thể hiện trong Bảng 4.1. Thí nghiệm mỏi truyền thống, tức là sử dụng ứng suất thay đổi có chu kỳ với biên độ không đổi, đã được thực hiện với 5 mẫu có kết quả được thể hiện ở Hình 4.3 bằng các hộp vuông. Mỗi điểm thể hiện biên độ ứng suất được đặt lên trên mẫu (dóng theo trục tung) và số chu kỳ ứng suất tác dụng đến khi mẫu bị phá hủy (theo trục hoành). Thí nghiệm mỏi với ứng suất có biên độ tăng dần cũng đã được thực hiện với 6 mẫu và kết quả thí nghiệm được thể hiện bằng các hình thoi trên Hình 4.4. Mỗi điểm dữ liệu trên Hình 4.4 thể hiện biên độ ứng suất tác dụng lên mẫu tại thời điểm mẫu bị phá hủy (dóng theo trục tung) và tốc độ tăng biên độ ứng suất $\Delta\sigma$ (dóng theo trục hoành) trong thí nghiệm của mẫu đó.

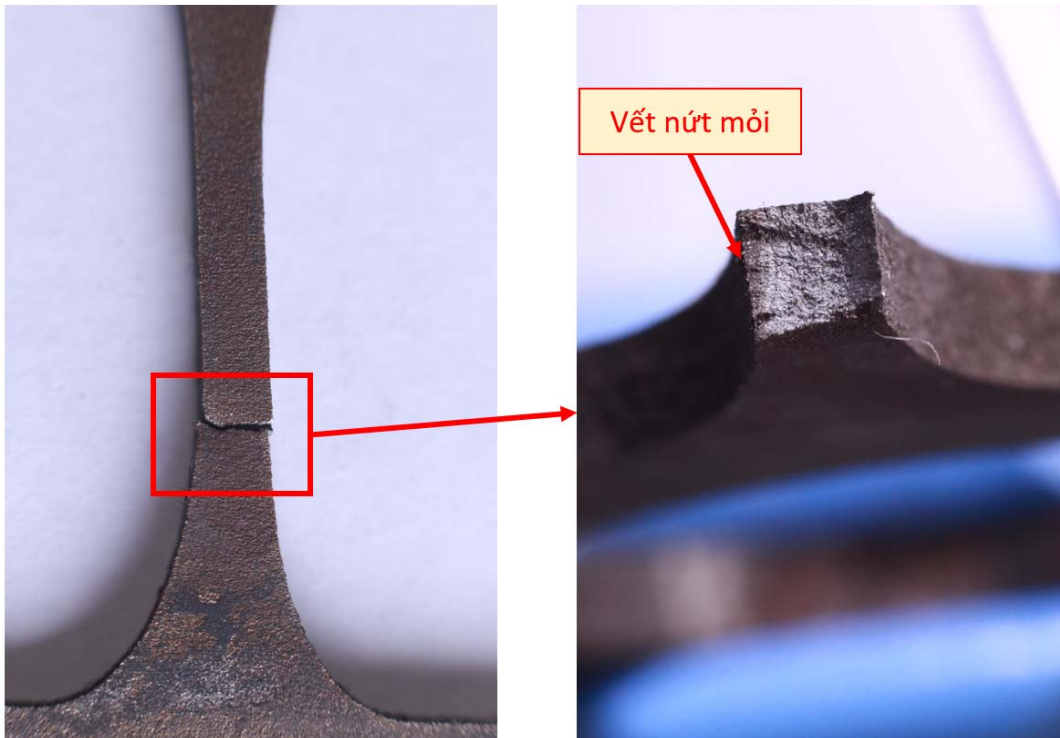
Trong Hình 4.3 và Hình 4.4, dữ liệu thí nghiệm tĩnh cũng được hiển thị bằng các chấm tròn để đối chiếu mức biên độ ứng suất tác dụng so với độ bền tĩnh. Hình Hình 4.5 thể hiện hình ảnh của một mẫu đã được thực hiện thí nghiệm mỏi với vết nứt mỗi được thể hiện rõ ràng xuất phát từ vết nứt khởi tạo trên bề mặt được gia công tạo hình của mẫu. Để thực hiện tính được các tham số C và n thì số dữ liệu thí nghiệm ở đây là chưa đủ, do vậy giá trị của tham số n được tham khảo trong tài liệu [11] cho vật liệu thép là $n = 4$. Áp phương trình (7) vào dữ liệu thí nghiệm và thu được giá trị của $C = 1.42 \times 10^{-6}$ m/chu kỳ. Sử dụng các tham số C và n nêu trên, vẽ được các đường cong trong H.13 sử dụng công thức (5) và trong Hình 4.4 sử dụng công thức (7) ở mức xác suất phá hủy tích lũy là $F = 0,5$. Qua kết quả đồ thị được vẽ ở cả Hình 4.3 và Hình 4.4 sử dụng cùng bộ giá trị tham số C và n đều khớp với dữ liệu thí nghiệm mỏi, có thể nói rằng việc xây dựng đường cong mỏi với các chi tiết chịu ứng suất có biên độ không đổi hoàn toàn có thể thiết lập từ dữ liệu thí nghiệm mỏi với biên độ tăng dần. Mặc dù kết quả tính toán và thí nghiệm mới chỉ được thực hiện trên mẫu Kiểu A, nhưng trong các công thức tính đã xét đến phân bố ứng suất trên toàn chiều dài mẫu, nên kết quả đạt được là cơ sở để áp dụng với mẫu có tập trung ứng suất Kiểu B và C đã thiết kế cũng như áp dụng cho các chi tiết máy trong thực tế.



Hình 4. 3: Kết quả thử mỏi với biên độ ứng suất không đổi



Hình 4. 4: Kết quả thử mỏi với biên độ ứng suất tăng dần



Hình 4. 5: Mẫu đã được thực hiện thí nghiệm mỏi

Kết luận và kiến nghị

a) Phần kết luận:

Nhóm sinh viên nghiên cứu đã thực hiện tìm hiểu về hiện tượng phá hủy mỏi và các vấn đề liên quan.

Tiếp nối những nghiên cứu trước đã thực hiện thiết kế chế tạo thành công máy thử mỏi với biên độ tăng dần, đề tài này đã thực hiện tính toán thiết kế mẫu thí nghiệm bằng thép thử mỏi kéo với ứng suất phân bố không đều và biên độ tăng dần.

Mẫu thí nghiệm đã được chế tạo theo thiết kế và thực hiện thí nghiệm bước đầu với một số dữ liệu đã thu được với phép thử độ bền tĩnh, độ bền mỏi với biên độ không đổi và tăng dần.

Kết quả tính toán và so sánh cho thấy đường cong mỏi theo công thức đã được thiết lập phù hợp với dữ liệu thí nghiệm.

Mẫu đã được thiết kế được sử dụng tốt trong thí nghiệm xây dựng đường cong mỏi của thép trong phép thử mỏi kéo với ứng suất phân bố không đều và biên độ tăng dần, thể hiện khả năng xây có thể ứng dụng phương pháp thử mỏi với biên độ tăng dần để thiết lập đường cong mỏi cho các mẫu thử cũng như các chi tiết máy và kết cấu bằng thép.

b) Phần kiến nghị

Nghiên cứu thực nghiệm đòi hỏi kinh phí lớn, kính mong nhà trường tăng hỗ trợ kinh phí máy móc thiết bị và vật tư thí nghiệm.

Mong muốn nhà trường triển khai kế hoạch hoạt động NCKH sinh viên sớm để có thêm thời gian thực hiện nghiên cứu đạt kết quả tốt hơn.

Do kinh nghiệm và thời gian còn hạn chế, chắc chắn không tránh khỏi sai sót, kính mong nhận được các góp ý của các thầy cô và các bạn để nhóm nghiên cứu đạt được kết quả tốt hơn trong tương lai.

Tài liệu tham khảo

- [1] Nguyễn Trọng Hiệp (2002). Chi tiết máy, Tập 1, Nhà xuất bản Giáo dục.
- [2] Broek, D. (1984). Elementary Engineering Fracture Mechanics. Martinus Nijhoff.
- [3] Pook, L. (2007). Metal Fatigue - What It Is, Why It Matters. Springer.
- [4] Dung, N.D., Huy, V.L., Bao, H.V. (2020). Creating fatigue curve for steel machine elements using fatigue test method with gradually increasing stress amplitude. Vietnam Journal of Science and Technology, 58 (3), 355-364.
- [5] Perez, N. (2004). Fracture Mechanics. Kluwer Academic Publishers.
- [6] Vũ Lê Huy, Hoàng Văn Báo (2019). Tính toán thiết kế máy thí nghiệm mỏi kéo và uốn cho mẫu thử bằng thép với biên độ ứng suất tăng dần. Tuyển tập Hội nghị Cơ học kỹ thuật toàn quốc, Tập 2, 248-255.
- [7] Dung, N.D., Huy, V.L., Bao, H.V. (2019). Design and manufacture of a tensile and bending fatigue testing machine for steel specimens in experimental method with gradually increasing stress amplitude. The 5th International Conference on Engineering Mechanics and Automation (ICEMA 5), 263-270.
- [8] Trịnh Chất, Lê Văn Uyển (2006). Tính toán thiết kế hệ dẫn động cơ khí (tập 1), Nhà xuất bản Giáo dục.
- [9] Weibull W (1939). A statistical theory of the strength of materials. Ingeniörsvetenskapsakademiens Handlingar Nr 151, Generalstabens Litografiska Anstalts Förlag, Stockholm.
- [10] Weibull W (1951). A statistical distribution function of wide applicability. J. Appl. Mech. 18:293-297.
- [11] Ciavarella M., Paggi M., Carpinteri A. (2008). One, no one, and one hundred thousand crack propagation laws: A generalized Barenblatt and Botvina dimension analysis approach to fatigue crack growth. Journal of the Mechanics and Physics of Solids, 56: 3416–3432