

**TRƯỜNG ĐẠI HỌC BÁCH KHOA**

**KHOA CƠ KHÍ**

**000000000**



**ĐỒ ÁN TỐT NGHIỆP**

**NGÀNH: KỸ THUẬT CƠ KHÍ**

**CHUYÊN NGÀNH: CƠ KHÍ HÀNG KHÔNG**

**ĐỀ TÀI :**

**DESIGN OF TECHNOLOGICAL PROCESS FOR  
MANUFACTURING AND SIMULATION TORQUE  
LINK MECHANISM**

**Giáo viên hướng dẫn: PGS.TS. Tào Quang Bảng**

**Sinh viên thực hiện: Phan Bá Xuân Trường**

**Mã số sinh viên: 101200467**

**Lớp : 20CKHK**

**Đà Nẵng, 06/2025**

**\*\*\*\*\***

## LỜI NÓI ĐẦU

Trong thời kỳ cách mạng khoa học kỹ thuật, sự phát triển lan rộng và đạt được những thành tựu vĩ đại trong nhiều lĩnh vực, trong đó có lĩnh vực phân tích, thiết kế và tối ưu sản phẩm. Phần mềm CAE (Computer-Aided Engineering) đóng vai trò quan trọng trong việc thiết kế và phát triển các sản phẩm hiện đại. Với sự tiến bộ của công nghệ, các công cụ CAE ngày càng trở nên phổ biến và không thể thiếu trong các lĩnh vực kỹ thuật cơ khí, xây dựng và nhiều lĩnh vực khác. Các phần mềm CAE cho phép các kỹ sư và nhà thiết kế mô phỏng, phân tích và tối ưu hóa các mô hình 3D trước khi chế tạo thực tế, giúp tiết kiệm thời gian và chi phí phát triển sản phẩm. Hơn nữa, các công cụ CAE còn giúp cải thiện chất lượng và độ tin cậy của các sản phẩm, đáp ứng tốt hơn các yêu cầu về an toàn và hiệu suất. Với sự phát triển không ngừng của phần mềm CAE, các kỹ sư và nhà thiết kế có thể tận dụng tối đa những lợi ích mà công nghệ này mang lại, góp phần vào sự tiến bộ của các ngành công nghiệp ...

Với đề án tốt nghiệp **Thiết kế, phân tích và chế tạo cơ cấu máy bay** mục tiêu chính của đề án môn học này là giúp sinh viên áp dụng kiến thức đã học, sử dụng phần mềm CAE để thiết kế mô phỏng và phân tích, tối ưu hoá các cơ cấu trong máy bay. Do thời gian hoàn thành đề án hạn chế và lĩnh vực này còn mới mẻ, chắc chắn sẽ còn một số thiếu sót. Rất mong nhận được ý kiến đóng góp từ các thầy để ngày càng hoàn thiện hơn. Cuối cùng, em xin chân thành cảm ơn Thầy giáo Tào Quang Bằng đã hướng dẫn và hỗ trợ chúng em rất nhiều trong quá trình thực hiện đề án này.

Đà Nẵng 10 tháng 6 năm 2025

Sinh viên thực hiện

Phan Bá Xuân Trường

---



---

## MỤC LỤC

<b>LỜI NÓI ĐẦU.....</b>	<b>1</b>
<b>MỤC LỤC .....</b>	<b>2</b>
<b>MỤC LỤC HÌNH ẢNH.....</b>	<b>4</b>
<b>MỤC LỤC BẢNG.....</b>	<b>6</b>
<b>CHƯƠNG I: GIỚI THIỆU CHUNG.....</b>	<b>7</b>
<b>1.1. Giới thiệu cơ cấu máy bay.....</b>	<b>7</b>
1.1.1. Các dạng cơ cấu tham khảo .....	7
1.1.2. Đặt vấn đề .....	7
1.1.3. Giới thiệu về cơ cấu hàng không .....	8
1.1.4. Lựa chọn cơ cấu.....	8
<b>1.2. Phân tích kỹ thuật và điều kiện làm việc.....</b>	<b>9</b>
1.2.1. Giới thiệu về cụm chi tiết.....	9
1.2.2. Giới thiệu về cơ cấu .....	10
1.2.3. Điều kiện làm việc, yêu cầu kỹ thuật của cơ cấu.....	11
1.2.4. Chọn vật liệu.....	13
1.2.5. Các yêu cầu kỹ thuật của cơ cấu.....	15
<b>1.3. Thiết kế chi tiết và lắp ráp bằng các phần mềm CAD/CAE.....</b>	<b>15</b>
1.3.1. Phần mềm thiết kế.....	15
1.3.2. Thiết kế và lắp ráp cơ cấu Torque Link.....	15
<b>CHƯƠNG II: MÔ PHỎNG VÀ PHÂN TÍCH CƠ CẤU.....</b>	<b>16</b>
<b>2.1. Giới thiệu phần mềm sử dụng phân tích .....</b>	<b>16</b>
<b>2.2. Thiết lập sơ bộ sơ đồ động lực học tác dụng lên cơ cấu .....</b>	<b>17</b>
2.2.1. Phân tích động lực học .....	17
2.2.2. Phân tích lực tác dụng lên cơ cấu .....	19
2.2.3. Mô hình hoá và phương pháp tính toán.....	21

<b>2.3. Trình tự phân tích kỹ thuật cơ cấu bằng phần mềm CAD/CAE(Abaqus) .</b>	<b>23</b>
2.3.1. Tạo Part.....	23
2.3.2. Định vật liệu cho chi tiết.....	28
2.3.3. Lắp ráp cơ cấu .....	29
2.3.4. Tạo bước phân tích cho cơ cấu.....	30
2.3.5. Tạo interaction cho cơ cấu.....	31
2.3.6. Thiết lập điều kiện biên và tải trọng.....	34
<b>CHƯƠNG III: XỬ LÝ VÀ PHÂN TÍCH KẾT QUẢ .....</b>	<b>38</b>
<b>3.1. Kết quả phân tích kỹ thuật bằng phần mềm.....</b>	<b>38</b>
3.1.1. Kết quả phân tích cơ cấu trên vật liệu Al 7075-T6 .....	38
3.1.2. Kết quả phân tích cơ cấu trên vật liệu Ti - 6Al .....	42
3.1.3. Kết quả phân tích cơ cấu trên vật liệu AISI 1035 .....	46
<b>3.2. Xử lý kết quả mô phỏng .....</b>	<b>50</b>
3.2.1. Kết quả ứng suất.....	50
3.2.2. Kết quả về năng lượng liên kết tại các khớp .....	51
3.2.3. Kết quả biến dạng.....	52
<b>CHƯƠNG IV: QUY TRÌNH CÔNG NGHỆ GIA CÔNG CÁC CHI TIẾT.....</b>	<b>54</b>
<b>4.1. Xác định sản lượng và dạng sản xuất:.....</b>	<b>54</b>
<b>4.2. Phân tích và lựa chọn phương pháp chế tạo phôi.....</b>	<b>55</b>
<b>4.3. Chọn máy và trình bày các thông số kỹ thuật của máy. ....</b>	<b>56</b>
<b>4.4. Phân tích, lựa chọn số lần gá, các bước công nghệ, dụng cụ cắt. ....</b>	<b>58</b>
<b>CHƯƠNG V: KẾT LUẬN.....</b>	<b>83</b>
<b>TÀI LIỆU THAM KHẢO.....</b>	<b>84</b>

## MỤC LỤC HÌNH ẢNH

Hình 1.1. Cụm chi tiết trên thực tế trên càng máy bay [6] .....	9
Hình 1.2. Cụm lắp thực tế [6] .....	10
Hình 1.3. Mô hình cơ cấu [5] .....	12
Hình 1.4. Chi tiết thiết kế trên Solidworks .....	13
Hình 2.1. Sơ đồ phân tích động lực học tác dụng lên cơ cấu .....	17
Hình 2.2. Hành trình của xylanh .....	18
Hình 2.3. Sơ đồ lực moment tác dụng lên cơ cấu [7] .....	20
Hình 2.4. Sơ đồ lực moment quán tính của xylanh giữa 2 ổ trục [7] .....	21
Hình 2.5. Tiết diện ngang của chi tiết upper torque link .....	22
Hình 2.6. Mô hình hoá chi tiết upper torque link .....	22
Hình 2.7. Part1: Lower torque link thiết kế trên abaqus .....	26
Hình 2.8. Part 2: Upper torque link thiết kế trên abaqus .....	28
Hình 2.9. Thiết lập thông số của vật liệu .....	28
Hình 2.10. Tạo section vật liệu cho chi tiết .....	29
Hình 2.11. Lắp ráp cơ cấu torque link .....	30
Hình 2.12. Thiết lập thông số cho step .....	31
Hình 2.13. Thiết lập connector section: hing type .....	32
Hình 2.14. Thiết lập connector section: Rotation type .....	32
Hình 2.15. Thiết lập connector section: Translator type .....	33
Hình 2.16. Định connector section cho cơ cấu .....	34
Hình 2.17. Thiết lập điều kiện biên cho cụm chi tiết .....	34
Hình 2.18. Lực tác dụng lên cơ cấu .....	35
Hình 2.19. Thiết lập thông số kích thước lưới cho chi tiết .....	36
Hình 2.20. Thiết lập element type cho chi tiết .....	36
Hình 2.21. Định dạng kiểu phần tử lưới cho chi tiết .....	37
Hình 2.22. Thiết lập thông số cho job .....	37
Hình 3.1. Ứng suất trên torque links vật liệu Al7075 .....	38
Hình 3.2. Ứng suất trên upper torque link vật liệu Al 7075-T6 .....	39
Hình 3.3. Ứng suất trên lower torque link vật liệu Al 7075-T6 .....	39

Hình 3.4. Biểu đồ ứng suất tại node có biến dạng lớn nhất (vật liệu Al 7075-T6) .....	40
Hình 3.5. Biến dạng của torque link (vật liệu Al 7075-T6) .....	40
Hình 3.6. Năng lượng biến dạng của cơ cấu (vật liệu Al 7075-T6).....	41
Hình 3.7. Năng lượng đàn hồi tại khớp hinge (vật liệu Al 7075-T6).....	41
Hình 3.8. Ứng suất trên torque links (Ti-6Al).....	42
Hình 3.9. Ứng suất trên upper torque link (Ti-6Al) .....	43
Hình 3.10. Ứng suất trên lower torque link (Ti-6Al) .....	43
Hình 3.11. Ứng suất tại note có ứng suất lớn nhất (vật liệu Ti-6Al).....	44
Hình 3.12. Biến dạng của torque link (vật liệu Ti-6Al) .....	44
Hình 3.13. Năng lượng biến dạng trên toàn bộ chi tiết (vật liệu Ti-6Al).....	45
Hình 3.14. Năng lượng đàn hồi tại khớp hinge (vật liệu Ti-6Al).....	45
Hình 3.15. Ứng suất trên toàn bộ cơ cấu (vật liệu AISI 1035).....	46
Hình 3.16. Ứng suất trên upper link (vật liệu AISI 1035).....	47
Hình 3.17. Ứng suất trên lower link (vật liệu AISI 1035).....	47
Hình 3.18. Biểu đồ ứng suất tại node có biến dạng lớn nhất (vật liệu AISI) .....	48
Hình 3.19. Biến dạng trên toàn bộ chi tiết (vật liệu AISI 1035) .....	48
Hình 3.20. Năng lượng biến dạng (vật liệu AISI 1035) .....	49
Hình 3.21. Năng lượng đàn hồi tại khớp hinge (vật liệu AISI 1035).....	49
Hình 3.22. Kết quả ứng suất trên 3 vật liệu khác nhau .....	50
Hình 3.23. Contact constrain elastic energy trên ba vật liệu khác nhau.....	51
Hình 3.24. Năng lượng biến dạng trên ba vật liệu khác nhau .....	52
Hình 3.25. Kết quả biến dạng trên 3 vật liệu khác nhau .....	52
Hình 4.1. Máy phay đứng CNC: VF-2-FE .....	56
Hình 4.2. Nguyên công 1 – lần gá 1 – bước 1 .....	58
Hình 4.3. Hình biểu diễn thông số dao Quattromil .....	59
Hình 4.4. Nguyên công 1 – lần gá 1 – bước 2 .....	63
Hình 4.5. Hình biểu diễn các thông số kích thước dao phay Turbo 06.....	64
Hình 4.6. Nguyên công 2 – lần gá 2 – bước 1 .....	66
Hình 4.7. Hình biểu diễn các thông số kích thước dao phay Turbo 06.....	67
Hình 4.8. Nguyên công 2 – lần gá 2 – bước 2,3.....	70

Hình 4.9. Hình biểu diễn các thông số kích thước mũi khoan .....	71
Hình 4.10. Hình biểu diễn các thông số kích thước mũi doa .....	72
Hình 4.11. Nguyên công 2 – lần gá 2 bước 4 .....	73
Hình 4.12. Hình biểu diễn các thông số kích thước dao phay Turbo 06.....	74
Hình 4.13. Nguyên công 2 – lần gá 2 – bước 5 .....	76
Hình 4.14. Hình biểu diễn thông số dao Quattromil .....	77
Hình 4.15. Nguyên công 3 – lần gá 3 – bước 1 .....	79
Hình 4.16. Hình biểu diễn thông số dao Quattromil .....	79

### MỤC LỤC BẢNG

Bảng 3.1. so sánh kết quả nghiên cứu trên ba vật liệu .....	53
Bảng 4.1. Thông số kỹ thuật máy phay đứng VF-2-FE .....	57
Bảng 4.2. Bảng thông số dao phay Quattromil .....	59
Bảng 4.3. Bảng thông số dao phay Turbo 12 .....	63
Bảng 4.5 Bảng thông số dao phay Turbo 12 .....	67
Bảng 4.6. Bảng thông số mũi khoan.....	70
Bảng 4.7. Bảng thông số mũi doa.....	71
Bảng 4.8. Bảng thông số dao phay Turbo 12 .....	73
Bảng 4.9. Bảng thông số dao phay Quattromil .....	76
Bảng 4.10. Bảng thông số dao phay Quattromil .....	79

---

---

## CHƯƠNG I: GIỚI THIỆU CHUNG

### 1.1. Giới thiệu cơ cấu máy bay

#### 1.1.1. Các dạng cơ cấu tham khảo

Với yêu cầu đề án “Thiết kế phân tích cơ cấu máy bay”, ta có thể chọn đối tượng cơ cấu thuộc một trong các dạng sản phẩm sau:

Cơ cấu gồm nhiều khâu và khớp có chuyển động tương đối với nhau như cơ cấu bản lề, tay quay con trượt.

Cơ cấu có chuyển động phức tạp, yêu cầu độ chính xác cao như: Cụm chi tiết ở càng đáp, Turbin thủy lực, khí nén, chân vịt tàu thủy....

#### 1.1.2. Đặt vấn đề

Hàng không vũ trụ là một ngành rất đa dạng bao gồm nhiều phân ngành, từ hàng không thương mại, thám hiểm không gian, công nghiệp và quân sự, giá trị của nó với tư cách là một ngành công nghiệp toàn cầu. Hàng không vũ trụ đòi hỏi nhiều loại công nghệ sản xuất, từ các kỹ thuật truyền thống như đúc và hàn cho đến các công nghệ tiên tiến như sản xuất bằng CAD/CAM/CNC.... Ứng dụng phần mềm CAE để thiết kế mô phỏng và phân tích, tối ưu hoá các cơ cấu.

Một trong những ứng dụng sớm nhất của phần mềm CAE trong hàng không vũ trụ là mô phỏng và tối ưu hoá khí động học ở cánh. Ngày nay, ứng dụng CAE được ứng dụng rộng rãi trong hàng không vũ trụ như mô phỏng và phân tích cấu trúc trên máy bay ( càng đáp, hệ thống phanh, động cơ...). Vì vậy, thiết kế và phân tích cơ cấu dưới sự hỗ trợ của máy tính ngày càng đóng vai trò quan trọng trong sản xuất các chi tiết, cơ cấu trong hàng không. Trong ngành công nghiệp hàng không, việc chế tạo các chi tiết máy bay không chỉ đòi hỏi độ chính xác và độ tin cậy cao mà còn cần một quy trình công nghệ chế tạo được tối ưu hóa để đảm bảo hiệu suất tối đa và sự an toàn cao.

Quá trình này không chỉ lựa chọn vật liệu phù hợp mà còn áp dụng kỹ thuật gia công tiên tiến, cụ thể là gia công bằng máy CNC với độ chính xác cao. Việc thiết kế phải đáp ứng các tiêu chuẩn nghiêm ngặt của ngành hàng không từ các bộ phận cấu trúc chính cho đến các chi tiết nhỏ nhất đều phải đạt được độ chính xác cao nhất để đảm bảo khả năng vận hành an toàn và hiệu quả.

Việc thiết kế quy trình công nghệ chế tạo chi tiết máy bay không chỉ đòi hỏi đội ngũ kỹ thuật phải có kiến thức chuyên sâu về mặt chuyên môn mà còn phải biết vận dụng thành thạo các phần mềm kỹ thuật liên quan về thiết kế, mô phỏng gia công để đánh giá khả năng đáp ứng của chi tiết trong điều kiện thực tế. Từ đó đưa ra các cải tiến tối ưu về mặt thiết kế, gia công chi tiết mà không cần phải chế tạo mẫu thử.

### 1.1.3. Giới thiệu về cơ cấu hàng không

Các cơ cấu hàng không có hình dạng phức tạp, vì các ứng dụng hàng không vũ trụ thường yêu cầu các cơ cấu có chức năng tích hợp.

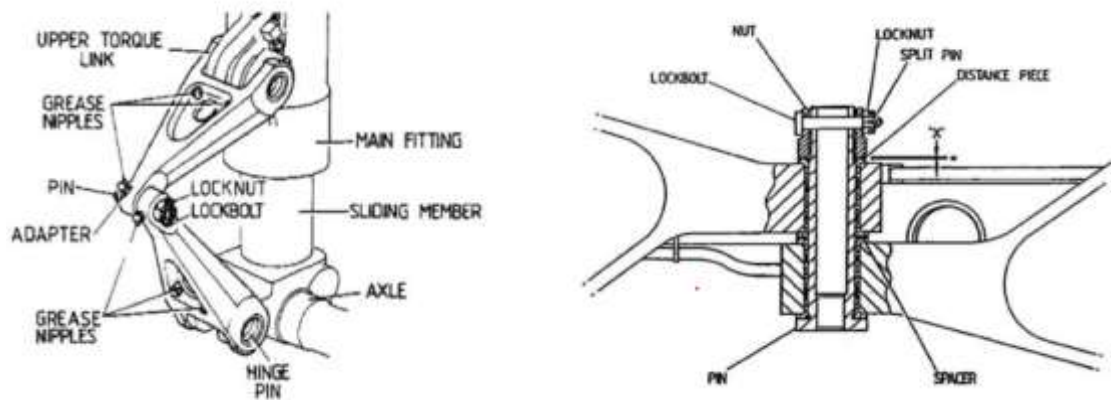
VD: Các đặc tính hình học của các bộ phận có thể được xác định bằng các công thức toán học phức tạp, ví dụ như dựa trên dòng chất lỏng. Mặt khác, nhiều thành phần hàng không có thành mỏng, chẳng hạn như buồng đốt hoặc cánh tuabin. Những đặc tính này làm cho thuật toán lập kế hoạch đường chạy dao trở nên rất phức tạp, tốn thời gian và tốn vật liệu... Các cơ cấu hàng không vũ trụ thường được chế tạo từ các vật liệu tiên tiến, chẳng hạn như hợp kim titan, siêu hợp kim gốc niken, thép đặc biệt hoặc gốm sứ nhiệt độ siêu cao, rất khó, tốn kém và tốn nhiều thời gian để sản xuất.

Các bộ phận cần thời gian hoàn thiện nhanh: Nhiều máy bay có tuổi thọ sử dụng lâu dài; một số máy bay có tuổi thọ trung bình hơn 30 năm. Việc bảo trì và thay thế các dụng cụ cũ là một khoản chi phí tồn kho đáng kể đối với các nhà sản xuất. Cần được vận chuyển và lắp đặt nhanh chóng trên một chiếc máy bay bị hỏng để giúp đưa nó bay trở lại và kiếm tiền cho hãng hàng không. Theo Airbus, thời gian kiểm tra hoặc thay thế các bộ phận hiện có thể chỉ mất 2 tuần.

Các bộ phận hiệu suất cao: Các bộ phận hàng không vũ trụ yêu cầu vật liệu phải nhẹ với tỷ lệ độ bền trên trọng lượng cao để cải thiện hiệu quả sử dụng nhiên liệu và giảm lượng khí thải. Hơn nữa, một số thành phần hàng không vũ trụ hoạt động trong điều kiện khắc nghiệt, chẳng hạn như nhiệt độ cực cao hoặc thấp hoặc môi trường hóa học khắc nghiệt. Các bộ phận của động cơ phải chịu nhiệt độ rất cao, trong đó các giải pháp làm mát tiên tiến được sử dụng và các bộ phận bên trong bắt buộc phải được chế tạo từ vật liệu chống cháy.

### 1.1.4. Lựa chọn cơ cấu

Em chọn cơ cấu *Torque Link* một cơ cấu chịu lực vô cùng quan trọng của Càng đáp (Landing Gears).



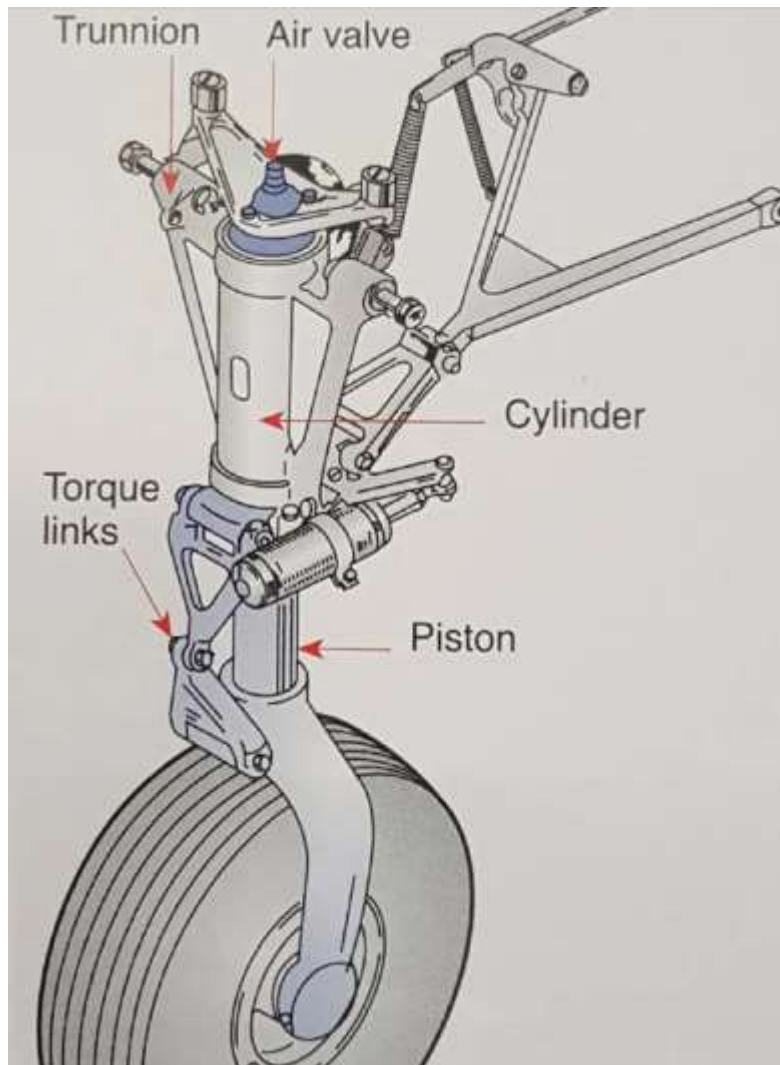
Hình 1.1. Cụm chi tiết trên thực tế trên càng máy bay [6]

## 1.2. Phân tích kỹ thuật và điều kiện làm việc

### 1.2.1. Giới thiệu về cụm chi tiết

Thiết bị hạ cánh hay càng đáp của máy bay là một bộ phận thường nằm ở phía dưới thân (theo chiều ngang) của máy bay và tàu vũ trụ được dùng để nâng đỡ máy bay khi cất cánh và hạ cánh, giảm tốc độ khi tiếp đất...Bộ phận này được chia làm hai phần đối với máy bay thương mại chở khách là càng đáp trước (Nose Landing Gear) và hai càng đáp chính (Main Landing Gear).

Thiết bị hạ cánh chính (Main Landing Gear) bao gồm sự kết hợp của bánh xe, phao, ván trượt, giảm xóc, phanh, cơ cấu nâng hạ, điều khiển và cảnh báo...



Hình 1.2. Cụm lắp thực tế [6]

### 1.2.2. Giới thiệu về cơ cấu

Một trong những bộ phận chính và quan trọng của cụm càng đạp là bộ phận giảm xóc, bao gồm:

Thanh chống sóc (shock strut) chứa thủy lực hỗ trợ máy bay trên mặt đất và bảo vệ cấu trúc bằng cách hấp thụ tải sóc lúc cất cánh, hạ cánh. Bao gồm ống xilanh và piston (telescopic cylinder) bên trong và bên ngoài.

Liên kết mô-men (Upper/ Lower Torque Link) kết nối giữa Xilanh và Piston ngăn chuyển động quay tương đối của Piston để duy trì sự thẳng hàng của bánh xe trong quá trình di chuyển trên mặt đất.

### 1.2.3. Điều kiện làm việc, yêu cầu kỹ thuật của cơ cấu

Torque link là một thành phần quan trọng trong hệ thống càng hạ cánh của máy bay, đóng vai trò kim hãm chuyển động xoay của bánh xe và giữ chúng di chuyển theo đường thẳng khi máy bay đang lăn trên đường băng. Dưới đây là yêu cầu kỹ thuật chính của torque link:

- Kim hãm chuyển động xoay của bánh xe và giữ chúng di chuyển theo đường thẳng khi máy bay đang lăn trên đường băng
- Truyền lực tác động từ bánh xe lên khung máy bay
- Cho phép chuyển động lắc ngang khi máy bay hạ cánh hoặc cất cánh

Với chức năng chính là ngăn chuyển động quay của thanh giảm sóc nên chi tiết chủ yếu chịu ứng suất uốn và cắt. Ngoài ra, chi tiết có khả năng ăn mòn cao vì làm phải làm việc trong môi trường khắc nghiệt.

Tải trọng tĩnh:

Tải trọng của máy bay: Khi máy bay đang đậu trên mặt đất, cụm càng phải chịu tải trọng của toàn bộ máy bay. Tải trọng này bao gồm khối lượng của thân máy bay, cánh, nhiên liệu, hành lý, hành khách, và hàng hóa.

Phân phối tải trọng: Tải trọng được phân phối không đều giữa các bánh càng đáp chính và càng đáp mũi (trong trường hợp máy bay có càng đáp ba điểm). Càng chính chịu phần lớn tải trọng, trong khi càng mũi chỉ chịu một phần nhỏ.

Tải trọng động:

Hạ cánh: Khi máy bay hạ cánh, cụm càng chịu tải trọng động rất lớn. Tải trọng này bao gồm các lực từ trọng lực, lực quán tính, và lực phản ứng từ mặt đất. Các lực này có thể gây ra biến dạng và va đập mạnh lên hệ thống càng.

Cất cánh: Quá trình cất cánh cũng tạo ra tải trọng động lên cụm càng khi máy bay tăng tốc để đạt được tốc độ cất cánh. Cụm càng chịu lực nén do khối lượng máy bay khi bánh xe tiếp xúc với mặt đất.

Lực ngang:

Lực ngang khi hạ cánh: Khi máy bay hạ cánh với một góc trượt ngang, càng đáp chịu một lực ngang làm cho cụm càng có xu hướng trượt hoặc xoay quanh trục. Điều này đòi hỏi các thành phần như torque links phải hoạt động hiệu quả để ngăn chặn sự xoay trục không mong muốn.

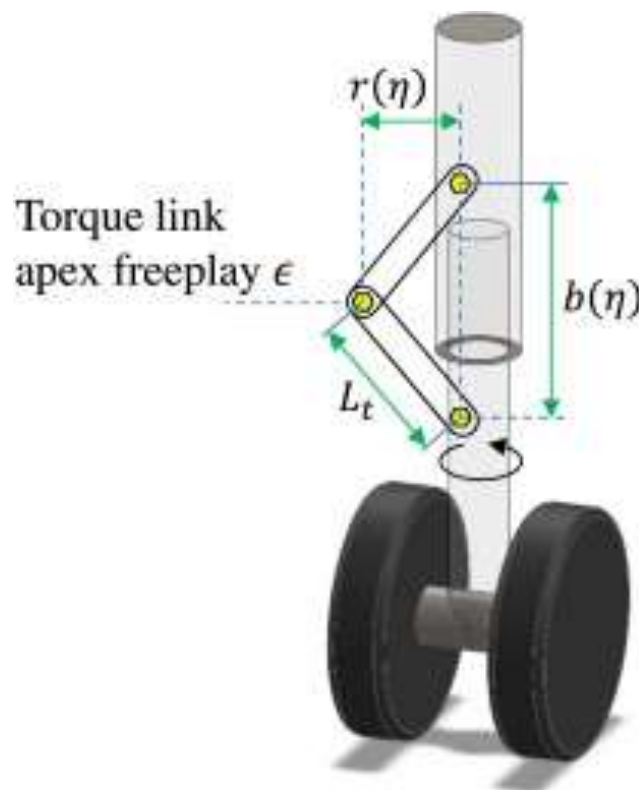
Phanh: Trong quá trình phanh khi hạ cánh, lực ma sát giữa bánh xe và mặt đất tạo ra các lực ngang rất lớn. Những lực này có thể gây ứng suất lớn lên hệ thống càng đáp, đặc biệt là các thành phần liên kết như khớp và bạc đạn.

Hệ thống giảm sóc và phuộc thủy lực:

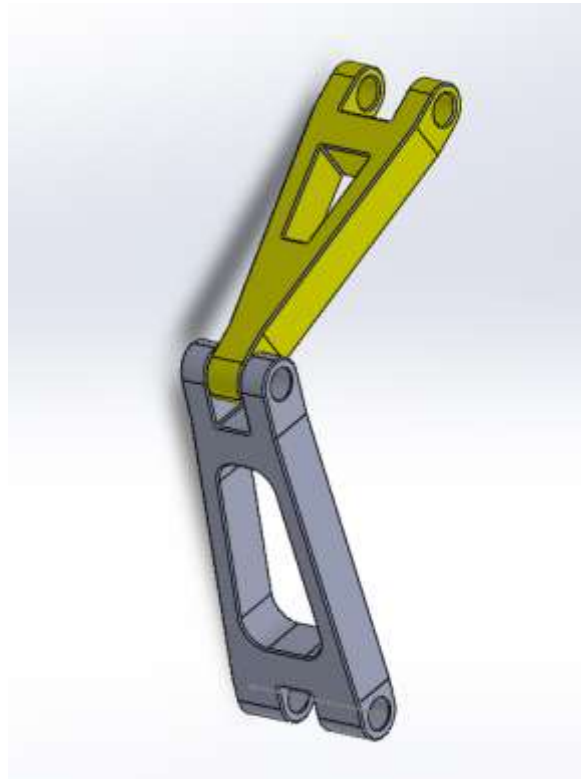
Hấp thụ lực: Hệ thống phuộc thủy lực của cụm càng giúp hấp thụ và phân tán lực tác động khi hạ cánh, giảm tải trọng truyền lên thân máy bay và đảm bảo sự ổn định của máy bay.

Áp suất dầu: Hệ thống thủy lực trong càng đáp cần được duy trì áp suất dầu phù hợp để đảm bảo hiệu suất giảm chấn. Áp suất không đúng có thể làm giảm khả năng hấp thụ lực hoặc dẫn đến hỏng hóc.

Điều kiện làm việc của cụm càng máy bay vô cùng khắc nghiệt, đòi hỏi hệ thống này phải được thiết kế và chế tạo với các vật liệu chất lượng cao, cùng với các cơ cấu giảm chấn hiệu quả để đảm bảo an toàn trong mọi tình huống hoạt động. Bảo dưỡng định kỳ và kiểm tra kỹ lưỡng cũng là yếu tố quan trọng trong việc duy trì hiệu suất và độ bền của hệ thống này.



Hình 1.3. Mô hình cơ cấu [5]



Hình 1.4. Chi tiết thiết kế trên Solidworks

#### 1.2.4. Chọn vật liệu

Ngoài việc phụ thuộc vào điều kiện làm việc, thì để chọn vật liệu cho cơ cấu, ta cần xem xét các yếu tố khác như:

- + Cơ tính: độ bền cao (giới hạn chảy), độ dai va đập lớn, giới hạn mỏi cao, chịu mài mòn.
- + Tính công nghệ: dễ biến dạng nóng, dễ gia công cơ, có thể nhiệt luyện để cải thiện cơ tính, tăng độ bền.
- + Tính kinh tế: do sản lượng lớn yêu cầu phải rẻ
- + Thành phần hóa học: Fe, C và các nguyên tố hợp kim chính – Cr, Mn, Si, Ni; các nguyên tố hợp kim phụ - Ti, Zr, V, Nb, Mo;
- + Khối lượng nhẹ, cơ tính tốt.
- + Vật liệu có tình đàn hồi
- + Khả năng chống mài mòn và chống ăn mòn hóa học.
- + Biến dạng kích thước và hình dạng khi nhiệt luyện (độ bền nhiệt).
- + Tính hàn và khả năng phục hồi chi tiết.

+ Chi phí vật liệu.

Từ những yếu tố trên, em chọn vật liệu cho chi tiết là hợp kim nhôm Al 7075.

Nhôm Al7075, còn gọi là hợp kim nhôm Al7075, là một loại hợp kim nhôm cao cấp với tỷ lệ kẽm cao nhất trong các hợp kim nhôm thương mại. Đây là một hợp kim đồng thời chứa magiê, crom và đồng làm chất tăng cứng, cùng với một lượng nhỏ sắt, silic, mangan và titan.

Tính chất của hợp kim nhôm Al7075:

Thành phần hóa học:

Theo tiêu chuẩn, thành phần hóa học của Al7075 bao gồm:

Kẽm (Zn): 5,1 - 6,1%

Magiê (Mg): 2,1 - 2,9%

Đồng (Cu): 1,2 - 2,0%

Các nguyên tố khác như Si, Fe, Cr, Mn, Ti với hàm lượng nhỏ hơn 0,5%

Nhôm (AL) chiếm phần còn lại

Giới hạn chảy:  $R_{p0.2} = 503$  MPa

Độ bền kéo:  $R_m = 572$  MPa

Độ cứng: 150 HB

Module đàn hồi: 71,7 GPa

Hệ số dẫn nở nhiệt:  $23,6 \times 10^{-6}/(^{\circ}\text{C})$

Hệ số dẫn nhiệt 130 W/m.K

Đặc Điểm Hợp Kim Nhôm Al7075: Hợp kim nhôm Al7075 có đặc tính độ bền cao, chịu được tác động lực tốt và khả năng chống ăn mòn vết nứt. Với sức bền, sức căng và khả năng chịu lực cao hơn so với nhôm 6061, Al7075 thường được ứng dụng trong việc sản xuất các bộ phận cơ cấu chịu lực cao như bộ gá máy bay, động cơ, chi tiết tên lửa, thân van, bánh răng và thiết bị quân sự

Lỗi: cơ tính tổng hợp cao để chịu uốn, xoắn, va đập (25 – 30HRC)

Bề mặt: độ cứng cao, chịu mài mòn tốt (55 – 60 HRC)

Ứng dụng của hợp kim nhôm:

Tính chất mỗi cao, đây là lý do khiến nó được sử dụng rộng rãi trong ngành hàng không, vũ trụ và quân sự. Một số ứng dụng tiêu biểu:

Khung, thân và chi tiết trong máy bay, tàu vũ trụ

Chi tiết chịu lực trong động cơ, máy móc công nghiệp

Vũ khí và đạn dược quân sự

Các ứng dụng chịu lực/áp lực cao khác

### **1.2.5. Các yêu cầu kỹ thuật của cơ cấu**

Độ cứng 40HRC- dựa vào yêu cầu làm việc của cơ cấu.

Cấp chính xác lỗ: IT7

Dung sai lắp ghép trục- lỗ: H7- Dựa vào bảng trang 29 [2]- Trị số dung sai tiêu chuẩn và tham khảo hệ thống lắp ghép thường gặp trong cơ khí.

Sai số hình dáng và vị trí tương quan, là một chi tiết dạng càng- Dựa vào bảng trang 55 [2]:

Độ nhám bề mặt các lỗ làm việc đạt Ra 1.25.

Sai lệch độ đồng tâm các lỗ: 0.01.

Sai lệch độ song song giữa 2 lỗ đối diện 0.05.

Độ nhám bề mặt không làm việc đạt Rz= 25 Tra bảng trang 65 [2]- Độ nhám bề mặt ứng với dung sai kích thước và hình dáng.

## **1.3. Thiết kế chi tiết và lắp ráp bằng các phần mềm CAD/CAE**

### **1.3.1. Phần mềm thiết kế**

Với công nghệ hiện tại, phần mềm có thể thiết kế chi tiết hàng không là rất đa dạng, có thể kể đến như: Pro\_E, Esprit, Solidworks, abaqus, analysis ...

Để thích hợp với khả năng của bản thân, em kết hợp sử dụng ba phần mềm chủ yếu cho đồ án này, đó là Solidworks và Abaqus, AutoCAD. Trong đó Solidworks và AutoCAD sử dụng cho phần thiết kế chi tiết, còn với công đoạn phân tích kỹ thuật chi tiết sẽ dùng phần mềm Abaqus.

### **1.3.2. Thiết kế và lắp ráp cơ cấu Torque Link**

Xem chi tiết ở hình 1.4

---

---

## CHƯƠNG II: MÔ PHỎNG VÀ PHÂN TÍCH CƠ CẤU

### 2.1. Giới thiệu phần mềm sử dụng phân tích

Phần mềm Abaqus là một trong những bộ phần mềm lớn rất hiệu quả trong việc mô phỏng kết cấu công trình và dự án thông qua phương pháp phần tử hữu hạn và được sử dụng cho cả mô hình hóa và phân tích các thành phần và cụm cơ học ứng suất, chuyển vị. Phần mềm này cung cấp môi trường đầy đủ để tạo mô hình, giải quyết và đánh giá kết quả mô phỏng trong nhiều lĩnh vực như kết cấu, nhiệt, động lực học, va chạm và các hiện tượng phi tuyến khác

Abaqus bao gồm các phần mềm chính sau:

Abaqus/CAE: Môi trường làm việc tích hợp đầy đủ cho việc xây dựng mô hình, phân tích, giám sát công việc và trực quan kết quả. Giao diện thân thiện và có thể tùy chỉnh cao giúp nâng cao năng suất cho cả người mới và người dùng có kinh nghiệm.

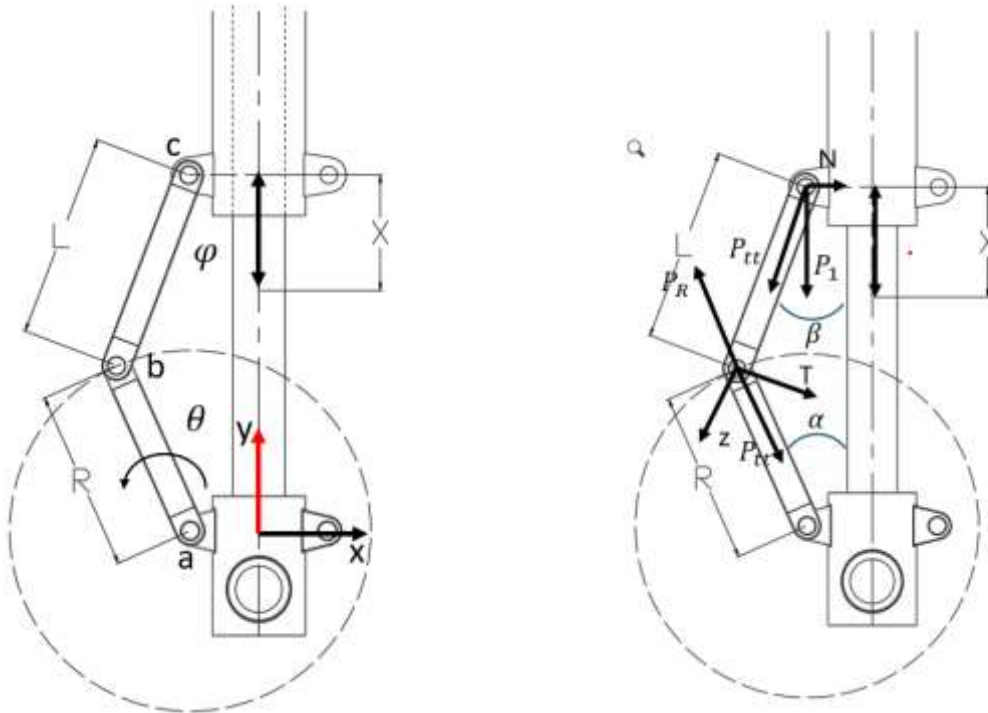
Abaqus/Standard & Abaqus/Explicit: Hai trình giải tính toán cho các bài toán tĩnh, động lực học, nhiệt và các hiện tượng phi tuyến khác.

Abaqus/CFD: Mô đun phân tích động lực học chất lỏng (CFD) để giải quyết các vấn đề liên quan đến chuyển khối và nhiệt trong chất lỏng.

Abaqus có thể mô phỏng hành vi của nhiều vật liệu khác nhau như kim loại, polyme, composit và các vật liệu thông minh. Nó được sử dụng rộng rãi trong các ngành công nghiệp ô tô, hàng không, dầu khí, xây dựng và sản xuất.

## 2.2. Thiết lập sơ bộ sơ đồ động lực học tác dụng lên cơ cấu

### 2.2.1. Phân tích động lực học



Hình 2.1. Sơ đồ phân tích động lực học tác dụng lên cơ cấu

Tay qua lower torque link có chiều dài R và quay ngược chiều kim đồng hồ với vận tốc góc không đổi là  $\omega$  quanh tâm a. Vị trí của tay quay lower torque link được xác định với góc quay  $\theta$

Thanh nối upper torque link có chiều dài L.  $\varphi$  là góc giữa thanh nối và phương thẳng đứng. Điểm khớp chốt trượt tại c bị hạn chế di chuyển dọc theo phương thẳng đứng.

Vị trí của  $x=0$  khi góc quay  $\theta = 0$  xét theo phương y

#### 2.2.1.1 Sơ đồ dịch chuyển

Khoảng cách theo phương thẳng đứng từ điểm a đến  $x=0$  bằng  $(R+L)$

Với bất kỳ góc  $\theta$  và  $\varphi$  ta có được  $x=(R+L) - (R.\cos(\theta)+L.\cos(\varphi))$  (1)

$\sin(\varphi)=\frac{R}{L}\sin(\theta)$  để thuận tiện tính toán ta đặt  $n=\frac{L}{R}$

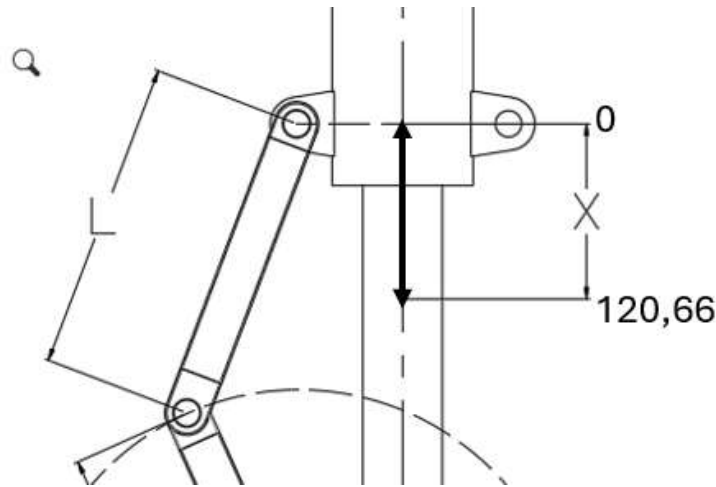
$$\Rightarrow \sin(\varphi)=\frac{\sin(\theta)}{n} \text{ do đó } \cos^2(\varphi) = 1 - \left[\frac{\sin(\theta)}{n}\right]^2$$

$$\Rightarrow \cos(\varphi) = \sqrt{1 - \left[\frac{\sin(\theta)}{n}\right]^2} \quad (2)$$

Từ phương trình (1) và (2) ta được:  $x=R \cdot (1 - \cos(\theta)) + L \cdot \left[1 - \sqrt{1 - \left[\frac{\sin(\theta)}{n}\right]^2}\right]$

$$\text{Với } n = \frac{L}{R} \text{ do đó } x = R \cdot (1 - \cos(\theta) + n \cdot \sqrt{n^2 - \sin^2(\theta)}) \quad (3)$$

Với  $L=175$ ,  $R=155$ ,  $\theta=[0; 55]$  hành trình  $x$  của xy lanh trong khoảng  $x=[0 ; 120,66]$



Hình 2.2. Hành trình của xy lanh

### 2.2.1.2 Vận tốc

Đối với vận tốc  $V$  của piston là đạo hàm của dịch chuyển  $x$  theo thời gian  $\frac{dx}{dt}$

$$\frac{dx}{dt} = \frac{dx}{d\theta} \frac{d\theta}{dt}$$

Trong đó  $\frac{d\theta}{dt}$  là vận tốc góc  $\omega$  của tay quay

Với  $\omega$  và  $R$  là hằng số do đó phương trình vận tốc của piston như sau:

$$\frac{dx}{dt} = \omega \cdot R \frac{d}{d\theta} \cdot (1 - \cos(\theta) + n \cdot \sqrt{n^2 - \sin^2(\theta)}) \quad (4)$$

$$\text{Ta có } \frac{d(\sqrt{n^2 - \sin^2(\theta)})}{d\theta} = \frac{-\sin 2\theta}{2 \cdot (n^2 - \sin^2(\theta))^2} \quad (5)$$

$$\text{Từ phương trình (4) và (5) } v = \frac{dx}{dt} = \omega \cdot R \left[ 0 + \sin\theta + 0 - \frac{-\sin 2\theta}{2 \cdot (n^2 - \sin^2(\theta))^2} \right]$$

$$\Rightarrow v = \omega \cdot R \left[ \sin\theta + \frac{\sin 2\theta}{2 \cdot (n^2 - \sin^2(\theta))^2} \right] \quad (6)$$

### 2.2.1.3 Gia tốc

Gia tốc của piston được xác định bằng đạo hàm của hàm vận tốc theo thời gian

$$\frac{dv}{dt} = \frac{dv}{d\theta} \frac{d\theta}{dt}$$

Trong đó  $\frac{d\theta}{dt}$  là vận tốc góc  $\omega$  của tay quay

$$\text{Với } v = \omega \cdot R \left[ \sin\theta + \frac{\sin 2\theta}{2 \cdot (n^2 - \sin^2(\theta)^2)} \right]$$

$$\frac{dv}{dt} = \omega \cdot R \frac{d \left[ \sin\theta + \frac{\sin 2\theta}{2 \cdot (n^2 - \sin^2(\theta)^2)} \right]}{d\theta} \cdot \frac{d\theta}{dt} \quad (7)$$

$$\text{Với } \frac{d(\sin\theta)}{d\theta} = \cos\theta \text{ và } \frac{d \left[ \frac{\sin 2\theta}{2 \cdot (n^2 - \sin^2(\theta)^2)} \right]}{d\theta} = \frac{n^2 \cdot \cos 2\theta + \sin^4 \theta}{(n^2 - \sin^2 \theta)^{\frac{3}{2}}} \quad (8)$$

Từ phương trình (7) và (8) ta có pt gia tốc:

$$a = \frac{dv}{dt} = \omega^2 R \left[ \cos\theta + \frac{n^2 \cdot \cos 2\theta + \sin^4 \theta}{(n^2 - \sin^2 \theta)^{\frac{3}{2}}} \right] \quad (9)$$

### 2.2.2. Phân tích lực tác dụng lên cơ cấu

Torque link là một cơ cấu quan trọng trong hệ thống càn máy bay, giúp truyền lực và mômen từ thân máy bay xuống bánh xe và ngược lại.

Các lực chủ yếu tác dụng lên càn máy bay gồm

Lực phản lực từ mặt đất (trên bánh xe).

Lực từ trọng lượng máy bay.

Lực ma sát: Lực này là một phần quan trọng của lực tổng trên càn máy bay và chuyển đổi năng lượng động thành năng lượng nội bộ trong quá trình hạ cánh.

Lực khí nén: Lực này xuất hiện trong bộ giảm xóc của càn và giúp giảm xóc khi máy bay hạ cánh.

Lực từ trọng lượng của máy bay tác dụng lên torque link

$$N = W_T \cdot \left( \frac{l_n + 0,4h}{l_m + l_n} \right) \cdot \frac{g}{2} \quad [4]$$

Với  $W_T$ : là khối lượng cất cánh lớn nhất của máy bay A320 (93500kg)

$l_m$ : là khoảng cách giữa càn đáp chính và trọng tâm của máy bay A320 (4,5m)

$l_n$ : là khoảng cách giữa càn mũi và trọng tâm của máy bay A320 (13,5m)

h: là khoảng cách giữa trọng tâm máy bay so với mặt đất (5 m)

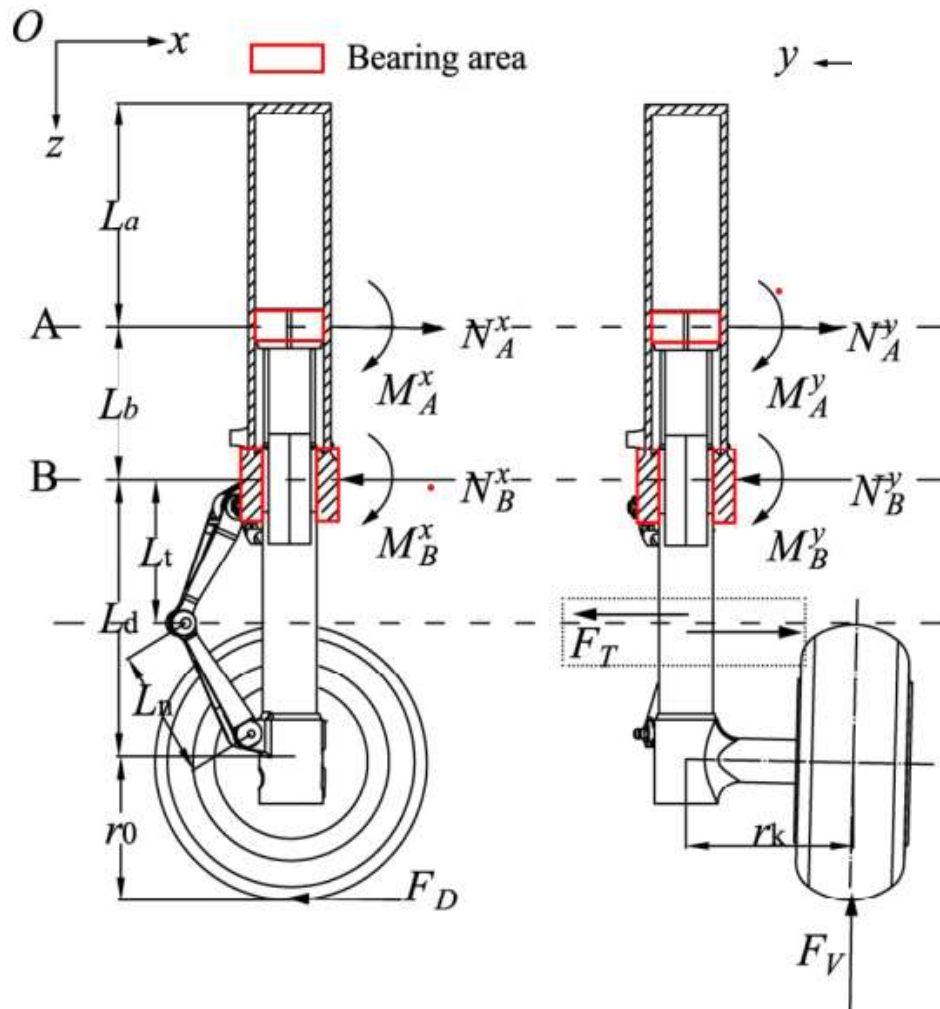
$$\text{Vậy lực tác dụng lên torque link } N = 93500 \cdot \left( \frac{13,5 + 0,4 \cdot 5}{13,5 + 4,5} \right) \cdot \frac{9,8}{2} = 394518(\text{N})$$

Lực tĩnh tác dụng lên torque link/

Lực tĩnh được tính từ trọng lượng cất cánh tối đa của máy bay, được phân bố 15% cho càn đáp ở mũi phía trước và 85% cho càn đáp chính ở phía sau. Lực này xuất hiện khi máy bay đứng yên hoặc không chuyển động.

Lực moment tác dụng lên torque link.

Các lực này sẽ làm xoay xilanh trong của trục và tạo lực momen xoắn cho torque link.



Hình 2.3. Sơ đồ lực moment tác dụng lên cơ cấu [7]

Ta có:

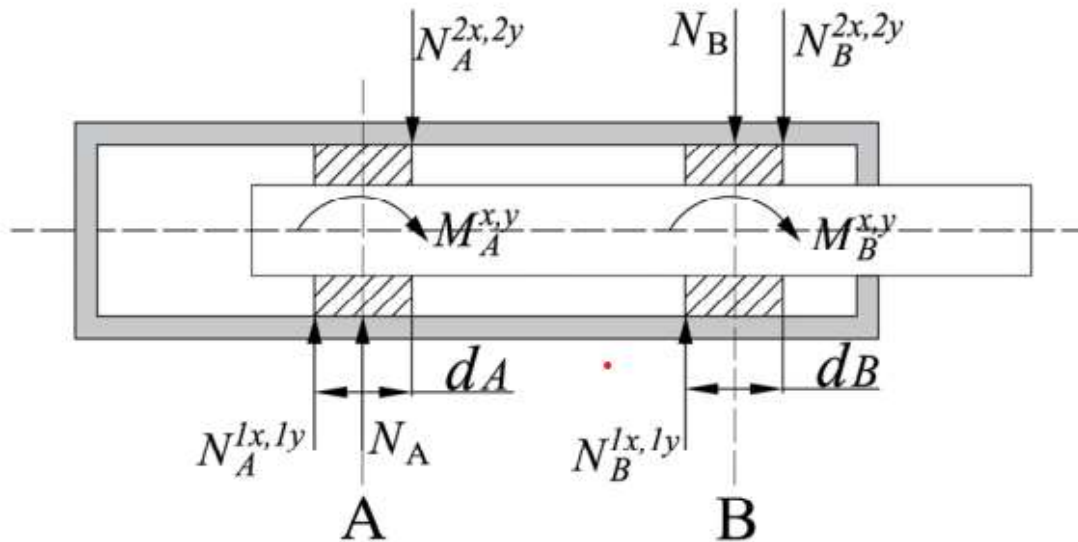
$F_V$  là phản lực của bánh xe lên càn bánh xe khi tiếp đất.

$F_D$  là lực ma sát gây ra bởi chuyển động quay tương đối của lốp bánh xe và mặt đường.

$F_T$  : là nội lực tác dụng lên liên kết giữa upper và lower torque link.

$N$  và  $M$  là phản lực và lực mômen uốn. A, B là hai điểm tại ổ đỡ trục.

Trong đó  $I_1, I_2$  là các hệ số diện tích momen quán tính tương đương của hai ổ trục tại A và B.



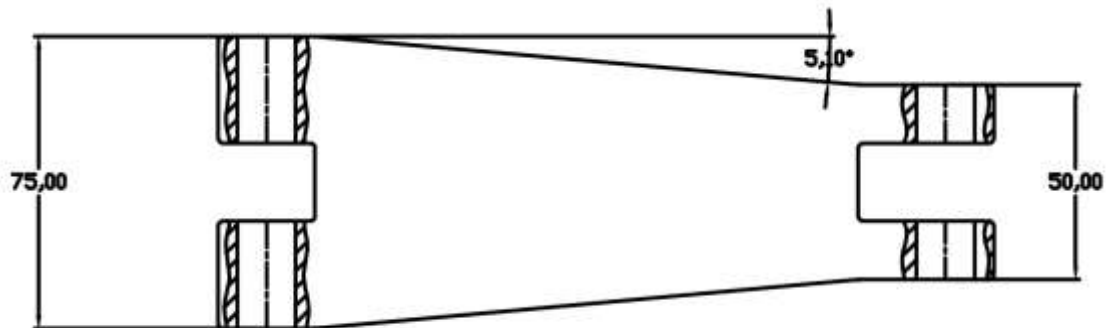
Hình 2.4. Sơ đồ lực moment quán tính của xylanh giữa 2 ổ trục [7]

Với  $d_A$  và  $d_B$  là chiều rộng của hai ổ trục lần lượt tại A và B, 1,2 là vị trí trên và dưới của từng ổ trục.

### 2.2.3. Mô hình hoá và phương pháp tính toán

Ta mô hình hoá đơn giản upper torque links thành beam có hình dạng và kích thước và hình dạng như hình bên dưới.

Giả định rằng chi tiết có liên kết momen xoắn chịu uốn là một cấu trúc dài 200 mm và có chiều rộng từ 75 ở phía trên tới 50 ở phía dưới như hình vẽ.



Hình 2.5. Tiết diện ngang của chi tiết upper torque link

Ta có tiết diện ngang của chi tiết tại x:

$$b(x) = 50 + 2x \tan(5,1^\circ) \quad (12)$$

Với chi tiết có bề dày 25, diện tích tiết diện của chi tiết tại x:

$$A(x) = 25 \cdot [50 + 2x \tan(5,1^\circ)]$$

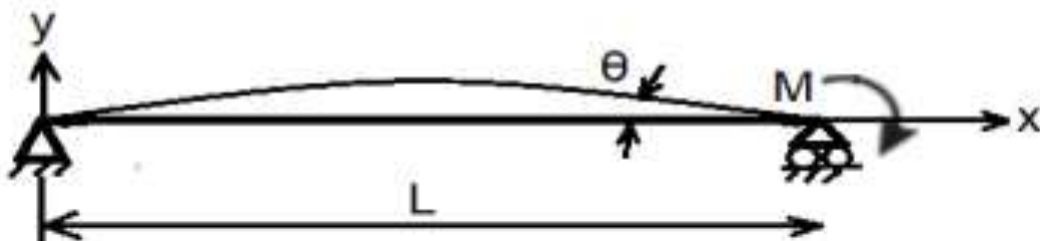
Công thức tính momen quán tính

$$I(x) = \frac{1}{12} b h^3 \quad (13)$$

Với tiết diện ngang thay đổi theo chiều dài x, vì vậy công thức momen quán tính theo x như sau

$$I(x) = \frac{1}{12} b(x) 25^3$$

Dựa trên định luật hooke, lý thuyết momen uốn trên dầm tại điểm x bất kỳ được tính theo phương trình sau



Hình 2.6. Mô hình hoá chi tiết upper torque link

$$-E \cdot I(x) \cdot \frac{d^2(y)}{dx^2} = M$$

$$-E \cdot I(x) \cdot \frac{dy}{dx} = Mx + C_1$$

$$-E \cdot I(x) \cdot y(x) = \frac{M \cdot x^2}{2} + C_1 \cdot x + C_2$$

Dựa vào hình trên ta có được biến dạng theo phương y được biểu diễn theo phương trình sau:

$$y(x) = -\frac{M \cdot x^2}{2 \cdot E \cdot I(x)} + \frac{M \cdot L \cdot x}{2 \cdot E \cdot I(x)} \quad (14)$$

Biến dạng theo phương y lớn nhất khi đạo hàm của  $y(x) = 0$ , do đó ta có phương trình biến dạng lớn nhất theo y như sau:

$$y\left(\frac{L}{2}\right)_{max} = \frac{M \cdot L^2}{8 \cdot E \cdot I\left(\frac{L}{2}\right)}$$

Sử dụng phương trình Euler để tính ứng suất tại vị trí x bất kỳ

$$\sigma(x) = \frac{M \cdot y(x)}{I(x)}$$

Với M là moment, E là module đàn hồi của vật liệu

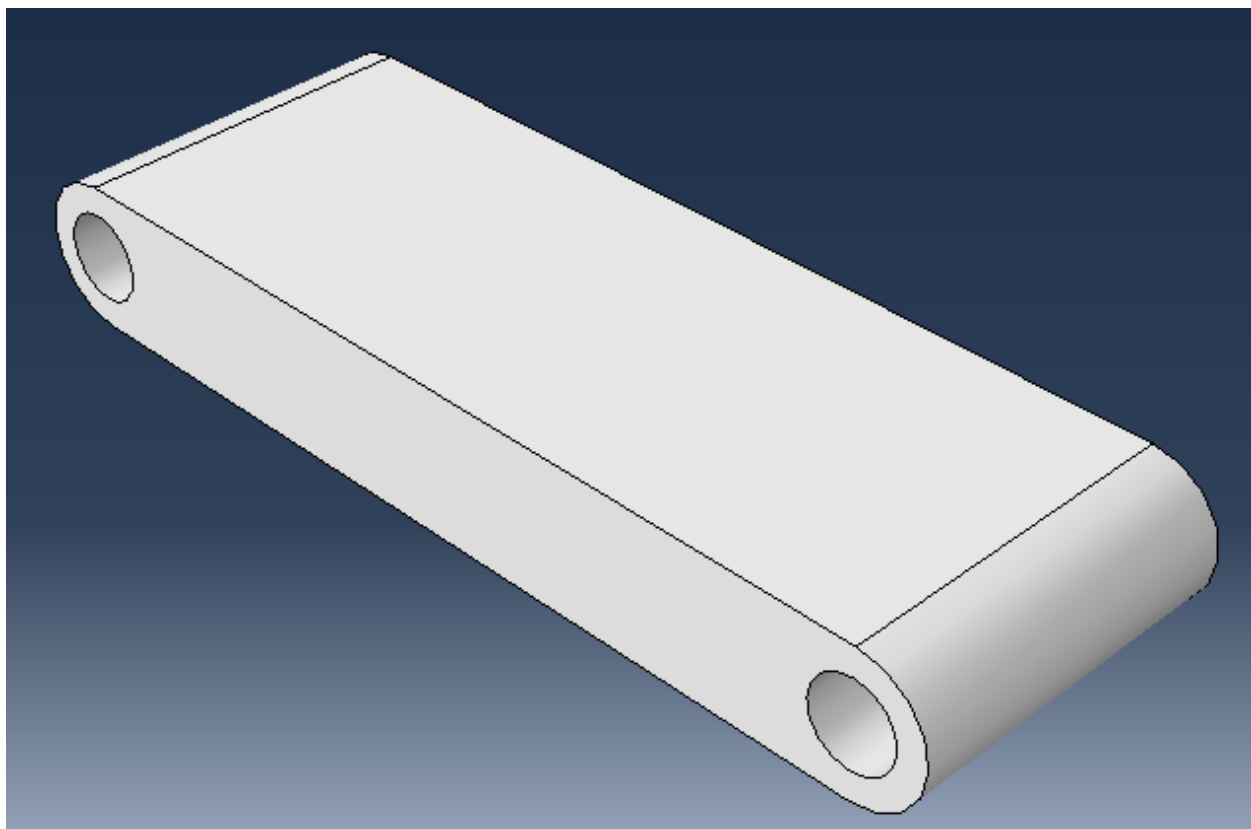
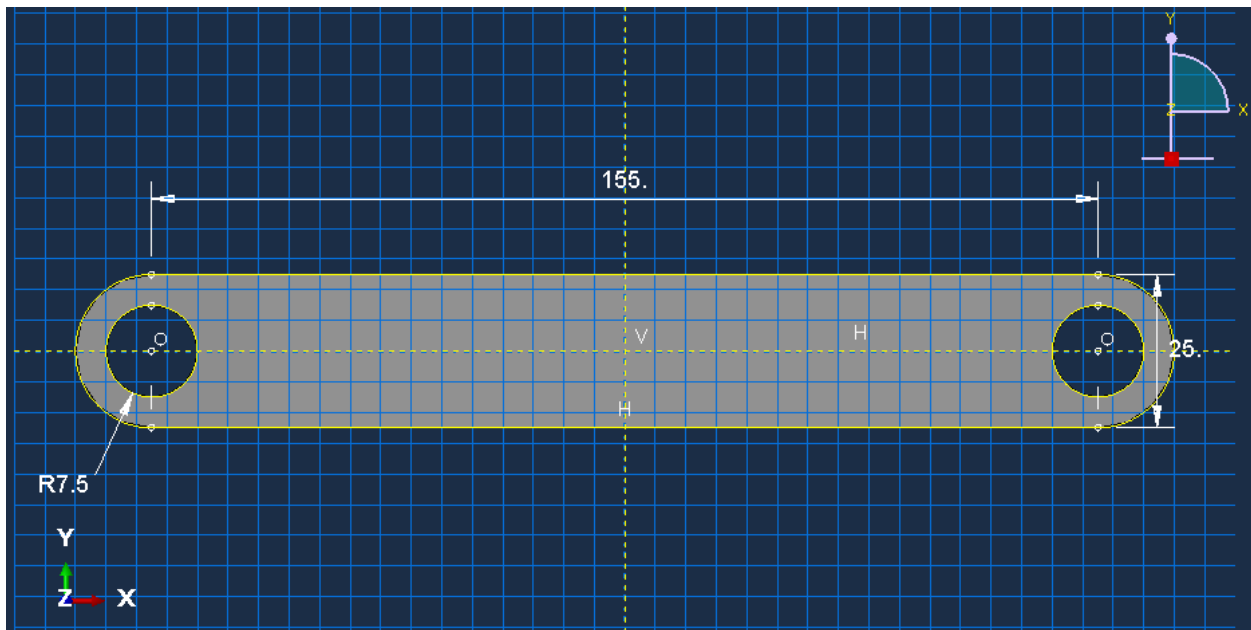
Ứng suất tại vị trí  $x = 50$

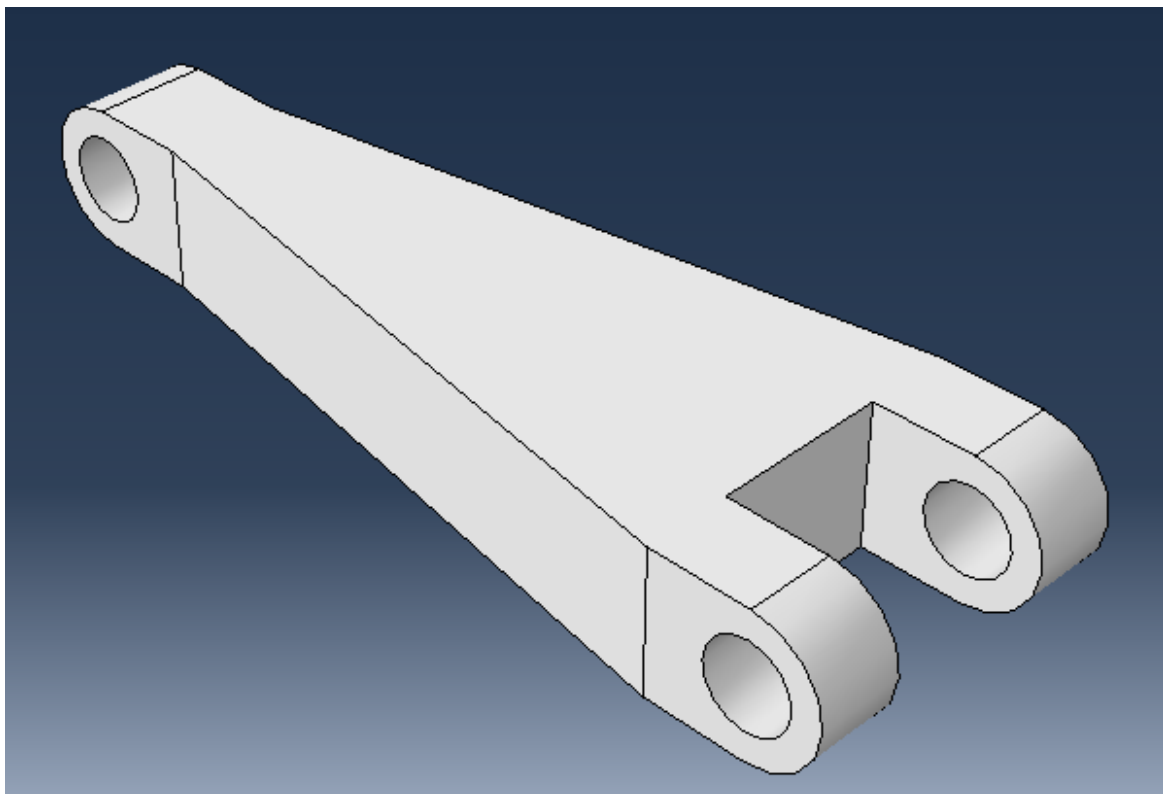
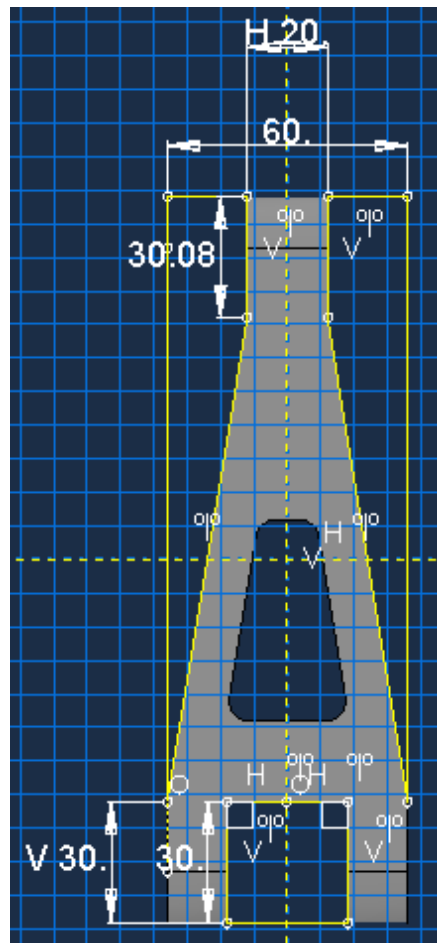
Với  $M = 100000 \text{ N}\cdot\text{mm}$ , theo phương trình 12,13 ta tính  $I(50) = 76724 \text{ mm}^2$ , theo phương trình 14 ta tính được biến dạng tại x:  $y(50) = 0.05 \text{ (mm)}$  và ứng suất tại vị trí x:  $\sigma(x) = 6,5 \cdot 10^4 \text{ (pa)}$

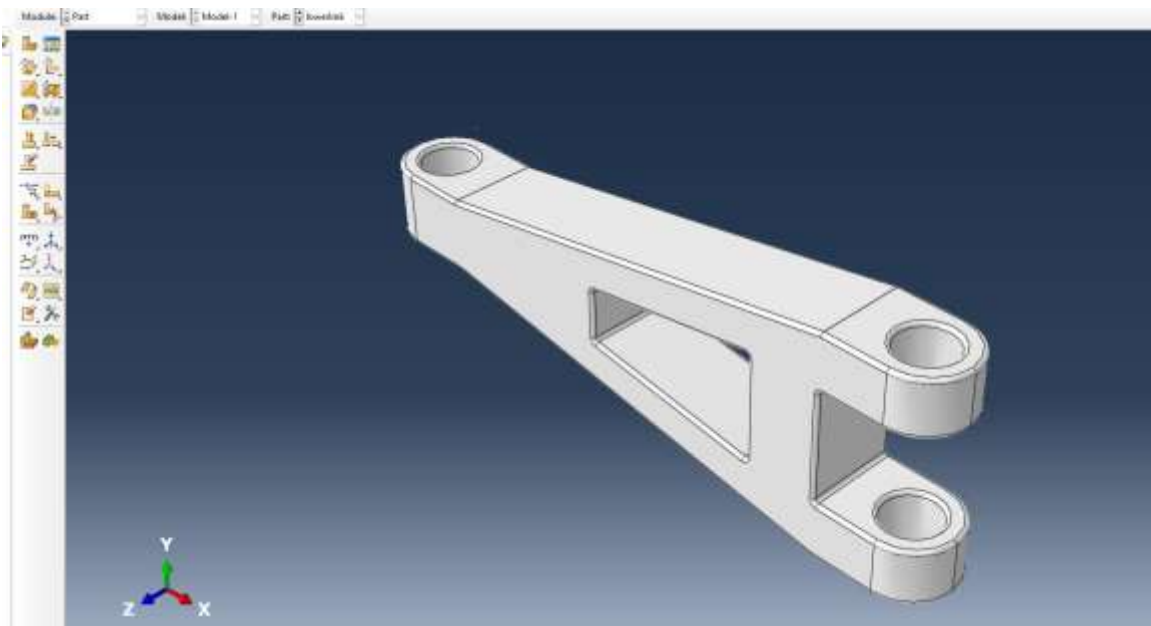
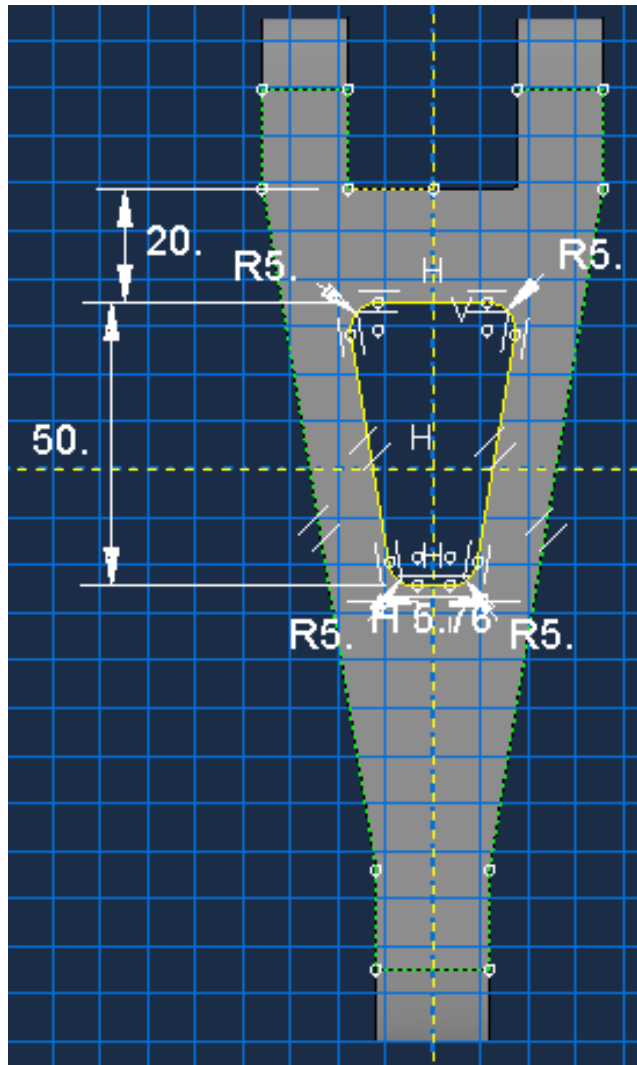
## 2.3. Trình tự phân tích kỹ thuật cơ cấu bằng phần mềm CAD/CAE(Abaqus)

### 2.3.1. Tạo Part

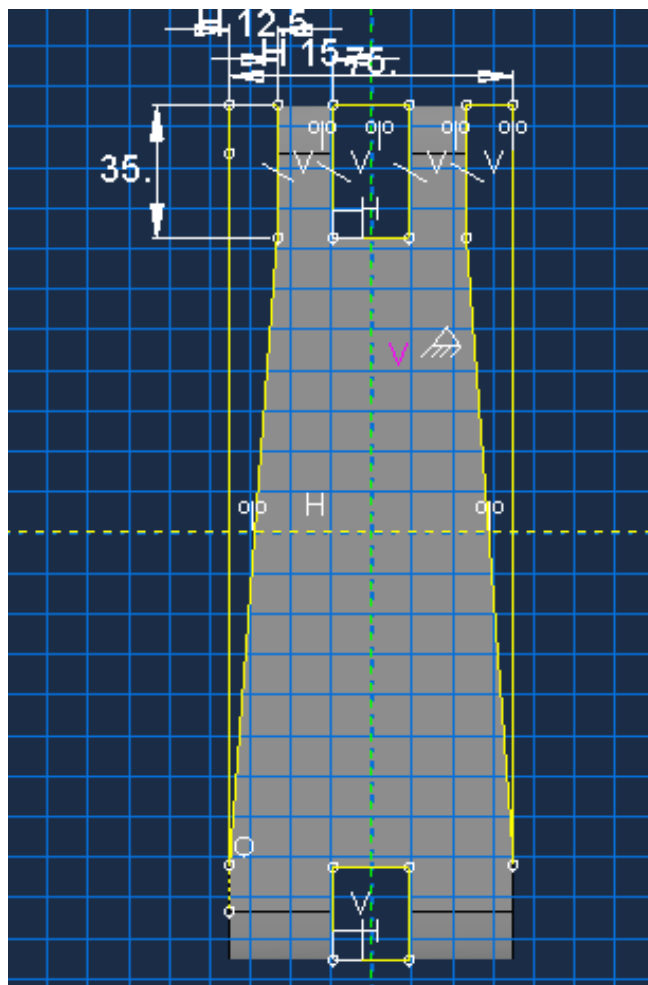
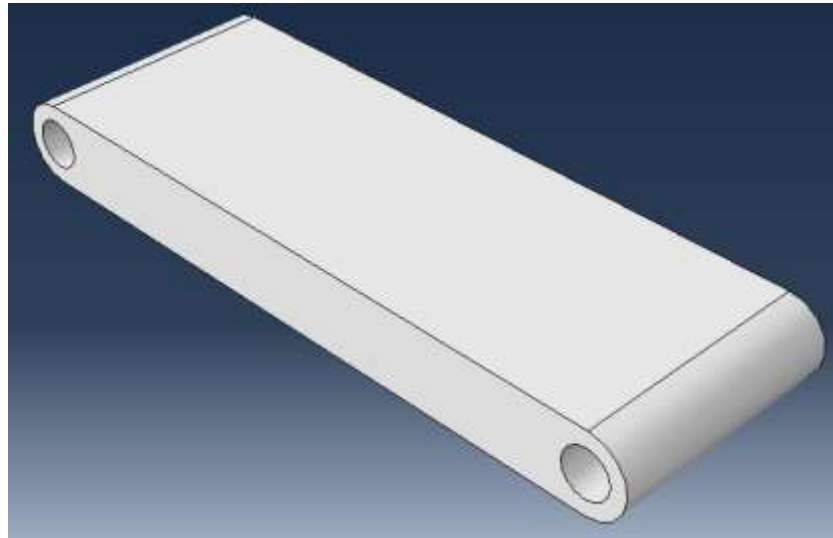
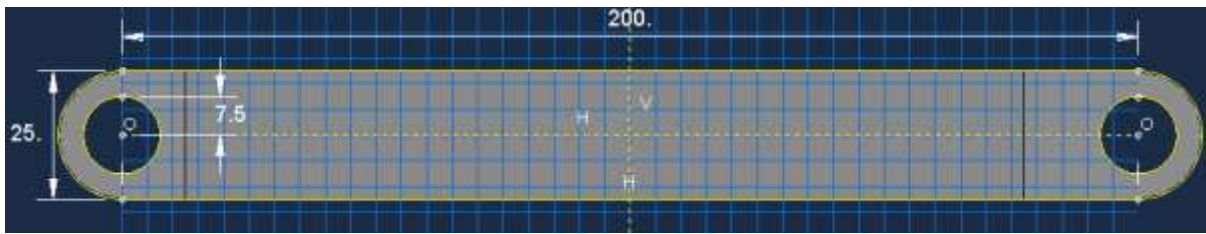
Vì hạn chế về công cụ thiết kế 3D của phần mềm Abaqus nên ta dùng một phần mềm Solidwork mạnh về thiết kế 3D để thiết kế 3D cho các part của cụm cơ cấu.

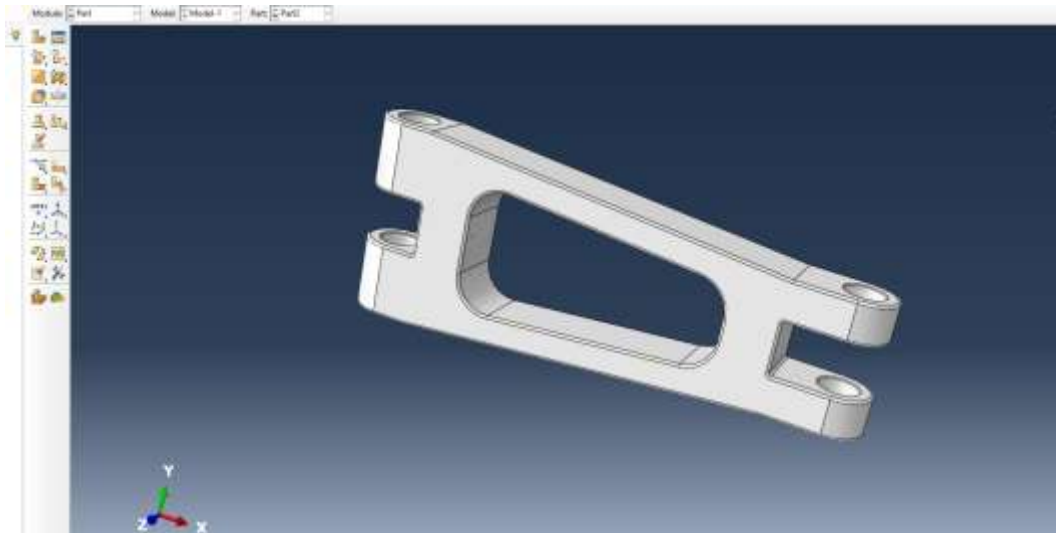






Hình 2.7. Part1: Lower torque link thiết kế trên abaqus





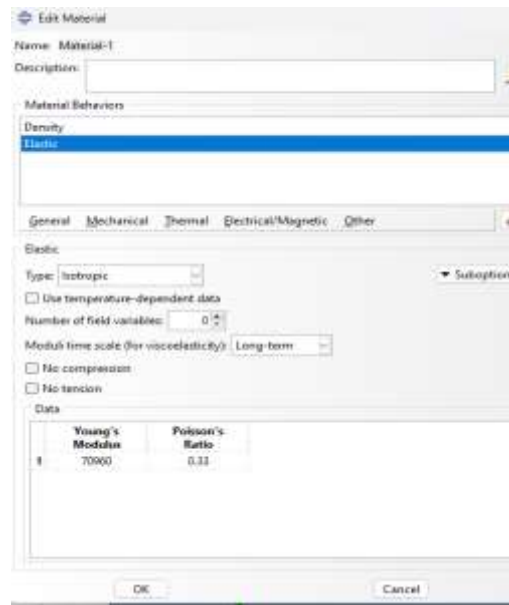
Hình 2.8. Part 2: Upper torque link thiết kế trên abaqus

### 2.3.2. Định vật liệu cho chi tiết

Chọn vật liệu Al 7075 T6 cho chi tiết:

Density (g/cm <sup>3</sup> )	Young Modulus (MPa)	Poisson Ratio	Tensile Strength (MPa)	Yield Strength (MPa)
2.81	70960	0.33	572	503

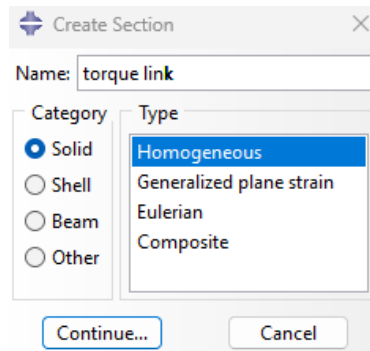
Bước 1: Tạo vật liệu mới: Trong module Property, chọn Material -> Create. Sau đó, nhập thông số vật liệu Al7075 T6 như trên cho chi tiết.



Hình 2.9. Thiết lập thông số của vật liệu

Bước 2: Chỉnh sửa thuộc tính vật liệu: Sau khi tạo vật liệu, điền các thuộc tính của vật liệu như: mô đun đàn hồi, hệ số Poisson, biểu đồ ứng suất-biến dạng, hay các thuộc tính khác tùy theo loại vật liệu

Bước 3: Tạo Section: Trong module Property, chọn Section -> Create. Tạo loại Section(solid) cho mô hình.



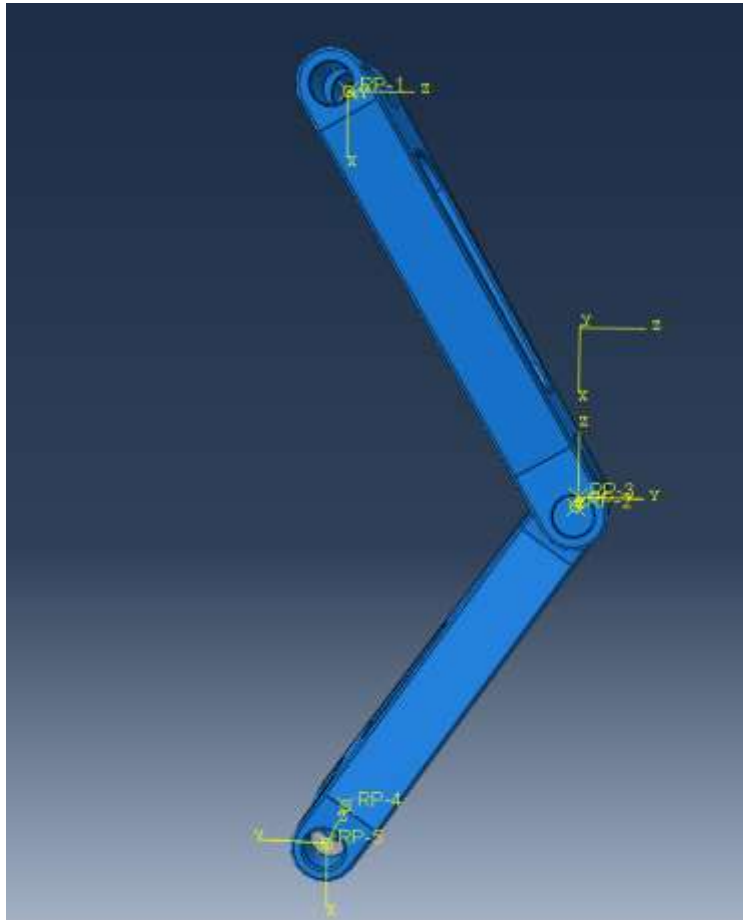
Hình 2.10. Tạo section vật liệu cho chi tiết

Bước 4: Gán Section cho mô hình: Sau khi tạo Section, chuyển sang module Part để gán section cho từng chi tiết.

### 2.3.3. Lắp ráp cơ cấu

Bước 1: Tạo Instance của các chi tiết: tạo các instance của các chi tiết đã được tạo ra trước đó. Dùng các lệnh rotate, translate Điều chỉnh vị trí, góc xoay của các instance này theo gốc toạ độ OXYZ tương đồng với nhau.

Bước 2: Dùng các lệnh ràng buộc như face to face, coaxial để lắp ráp các bề mặt của chi tiết lại thành một cơ cấu.



Hình 2.11. Lắp ráp cơ cấu torque link

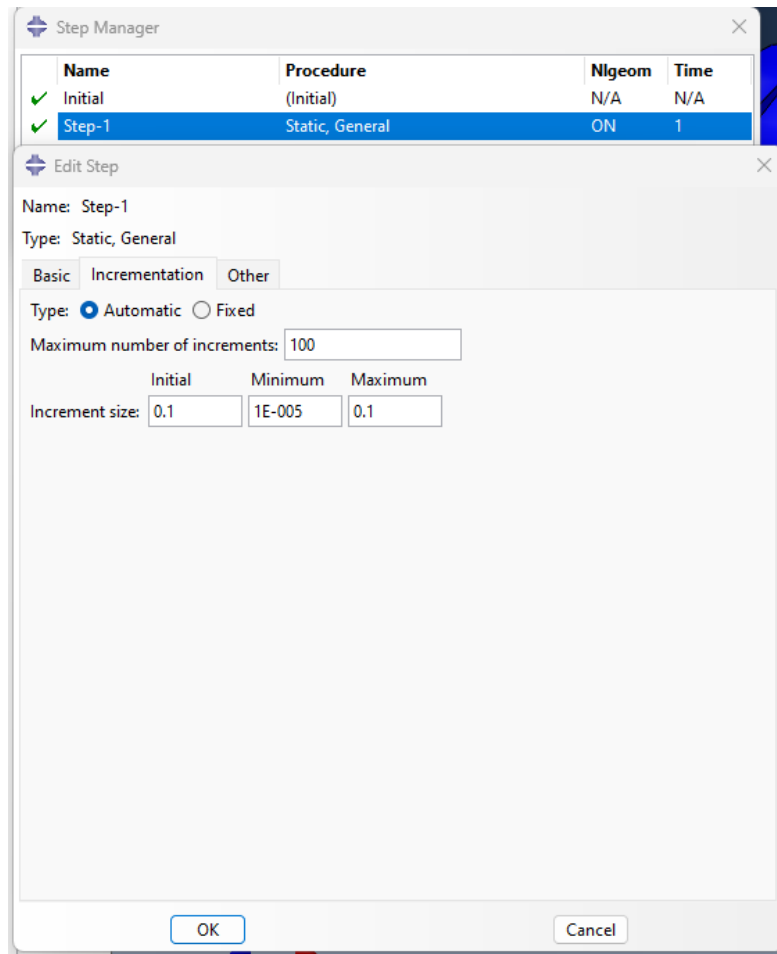
#### 2.3.4. Tạo bước phân tích cho cơ cấu

Bước 1: Chọn Module Step: Chuyển sang môi trường Step trong Abaqus bằng cách chọn "Step" từ thanh công cụ chính.

Bước 2: Tạo Step mới: Trong cửa sổ Step, nhấp đúp chuột vào biểu tượng "Create Step" để tạo một step mới.

Bước 3: Đặt tên và chọn loại Step: Đặt tên cho step là analysis landing gear và chọn loại step Static.

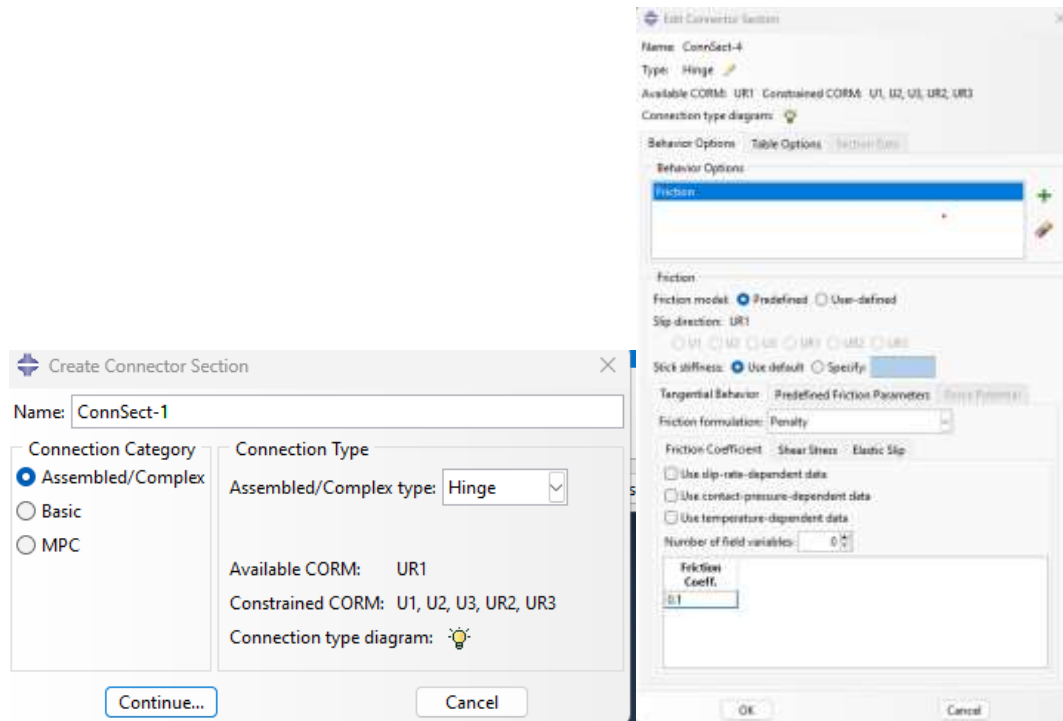
Bước 4: Cấu hình các tham số Step: Điều chỉnh các tham số của quá trình phân tích (số lượng tối đa các lần lặp, thời gian tính toán).



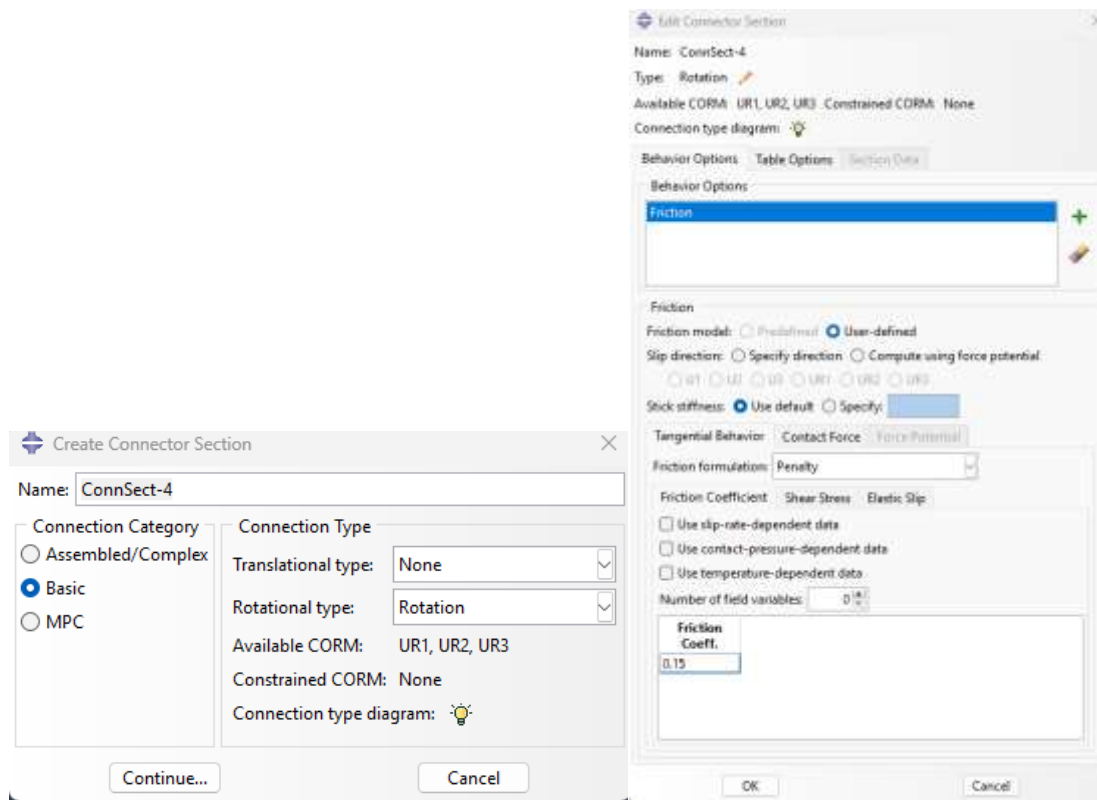
Hình 2.12. Thiết lập thông số cho step

### 2.3.5. Tạo interaction cho cơ cấu

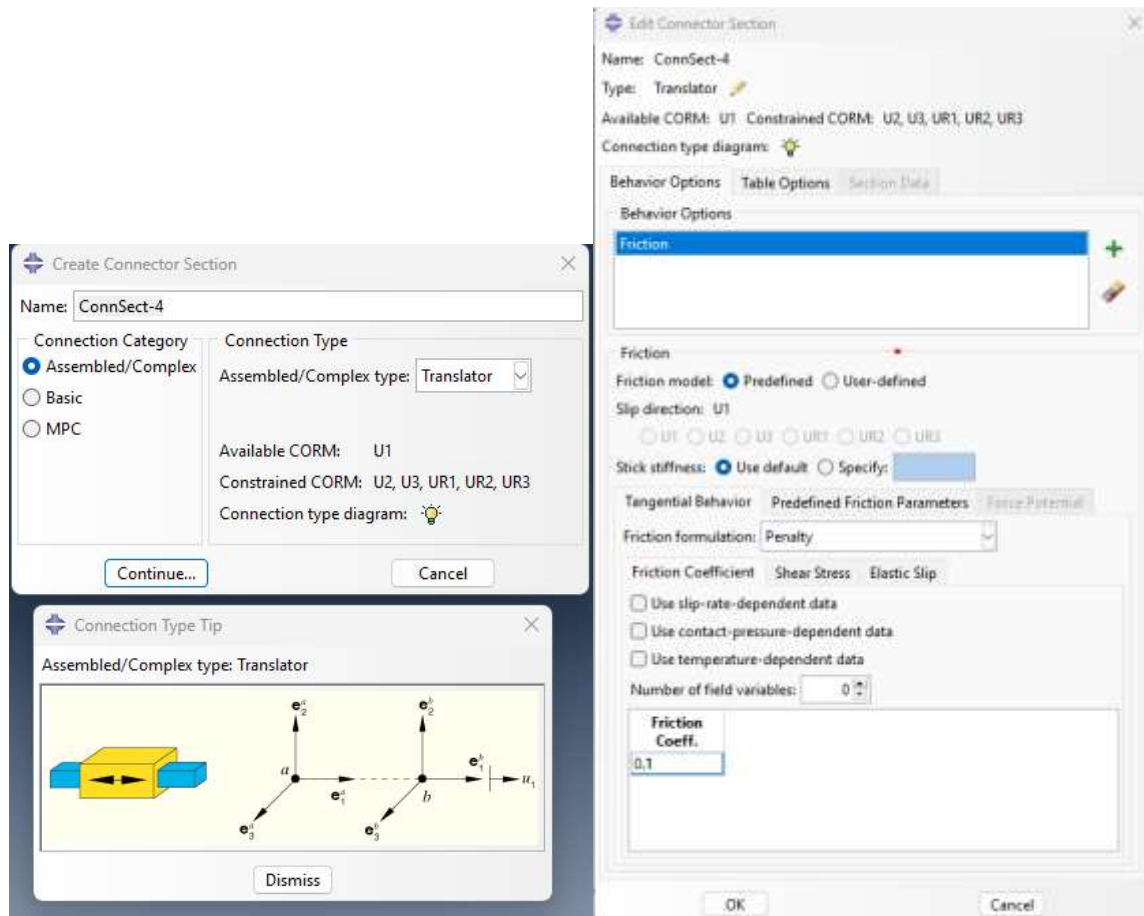
Bước 1: Chuyển qua môi trường interaction, tạo Conector section manage mới: Trong môi trường Interaction, nhấn vào Conector section manage để tạo loại conection giữa các chi tiết.



Hình 2.13. Thiết lập connector section: hing type



Hình 2.14. Thiết lập connector section: Rotation type



Hình 2.15. Thiết lập connector section: Translator type

Bước 2: Vì giữa 2 upper torque link và lower torque link sẽ là liên kết bản lề nên ta tạo kiểu connect hinge giữa 2 chi tiết. Sau đó chọn thông số ma sát cho kiểu connect. Tương tự giữa upper torque link và xy lanh là kiểu translator, và lower link và cụm xy lanh là rotate.

Bước 3: Gán kiểu connector cho cơ cấu: Tạo các reference point cho phần liên kết của chi tiết. Tạo trục toạ độ(local) của từng connector, và gán với từng kiểu connector tương ứng.



Hình 2.16. Định connector section cho cơ cấu

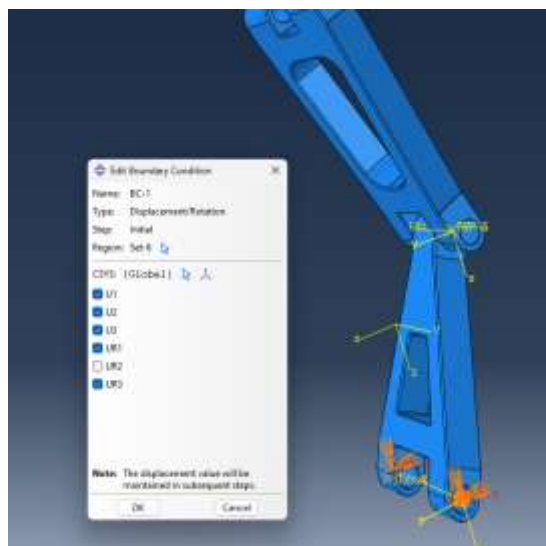
Bước 4: Tạo interaction property giữa các chi tiết trong cơ cấu:

Chọn create interaction property sau đó chọn kiểu interaction là contact và nhập thông số về ma sát cho contact.

Chọn find contact pairs để tìm các bề mặt tương tác giữa các chi tiết và gán kiểu interaction property đã tạo ở trên cho từng contact phù hợp giữa các chi tiết.

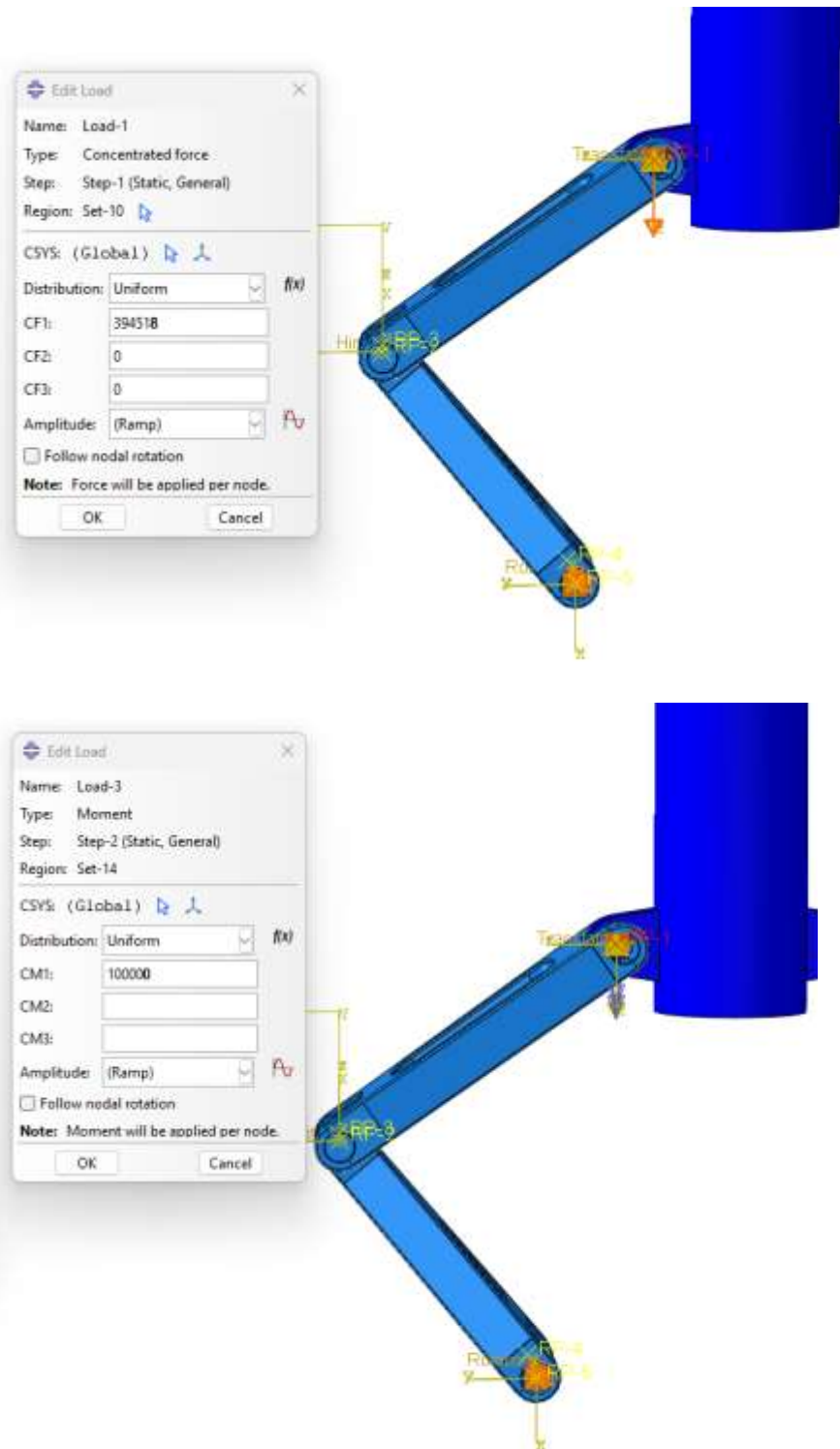
### 2.3.6. Thiết lập điều kiện biên và tải trọng

Bước 1: Tạo điều kiện biên: Vì giữa lower link và phần cụm xylanh là cố định theo 3 phương nên giới hạn điều kiện biên theo 3 phương X, Y, Z.



Hình 2.17. Thiết lập điều kiện biên cho cụm chi tiết

Bước 2: Đặt tải trọng giữa các chi tiết: Lực của cồng máy bay tác dụng lên xylanh và tác dụng vào upper link qua chốt. Nên ta tạo lực pressure lên bề mặt lắp chốt của chi tiết.

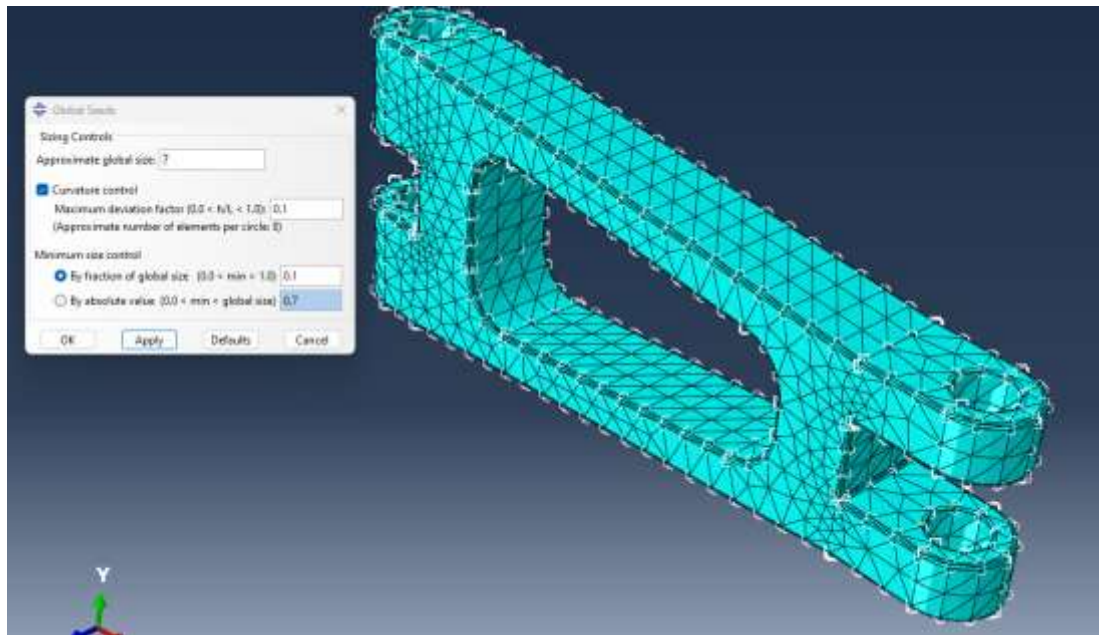


Hình 2.18. Lực tác dụng lên cơ cấu

### 2.3.7. Chia lưới

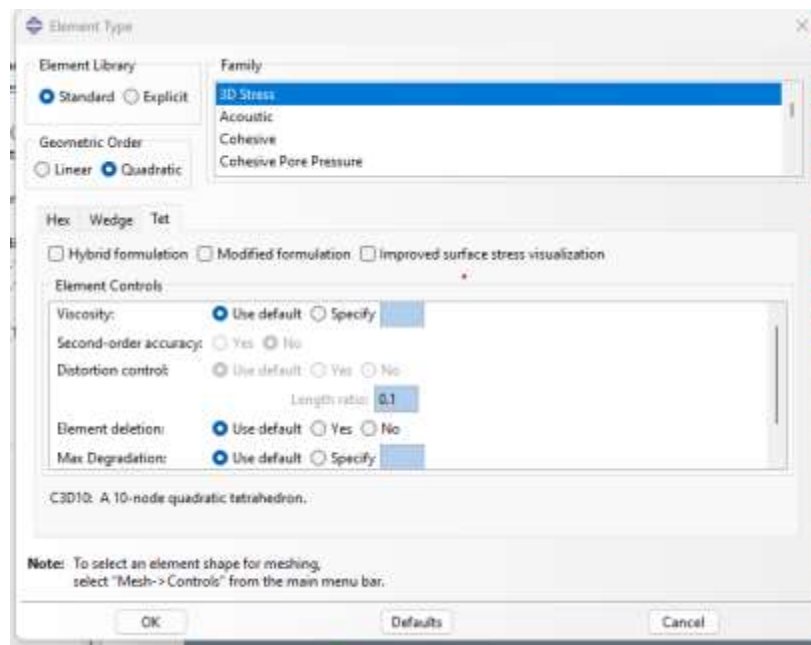
Bước 1: Phân vùng chi tiết.

Bước 2: Tạo seed part cho chi tiết.



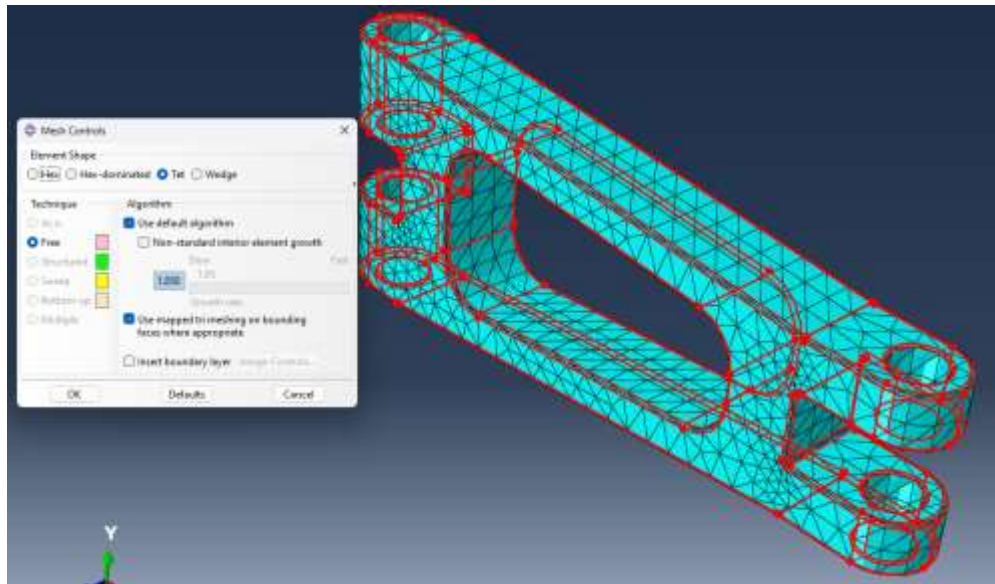
Hình 2.19. Thiết lập thông số kích thước lưới cho chi tiết

Bước 3: Tạo Element type chọn kiểu Tet



Hình 2.20. Thiết lập element type cho chi tiết

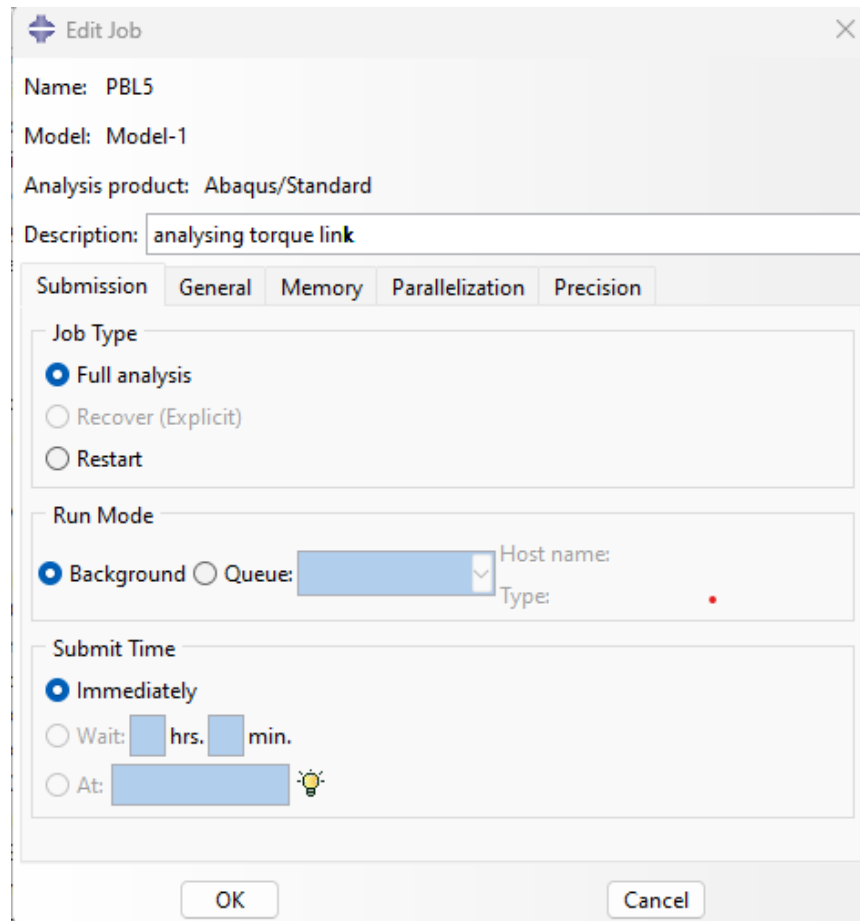
Bước 4: Gán lưới cho chi tiết



Hình 2.21. Định dạng kiểu phần tử lưới cho chi tiết

### 2.3.8. Tạo job

Đặt tên job và thiết lập thông số của job



Hình 2.22. Thiết lập thông số cho job

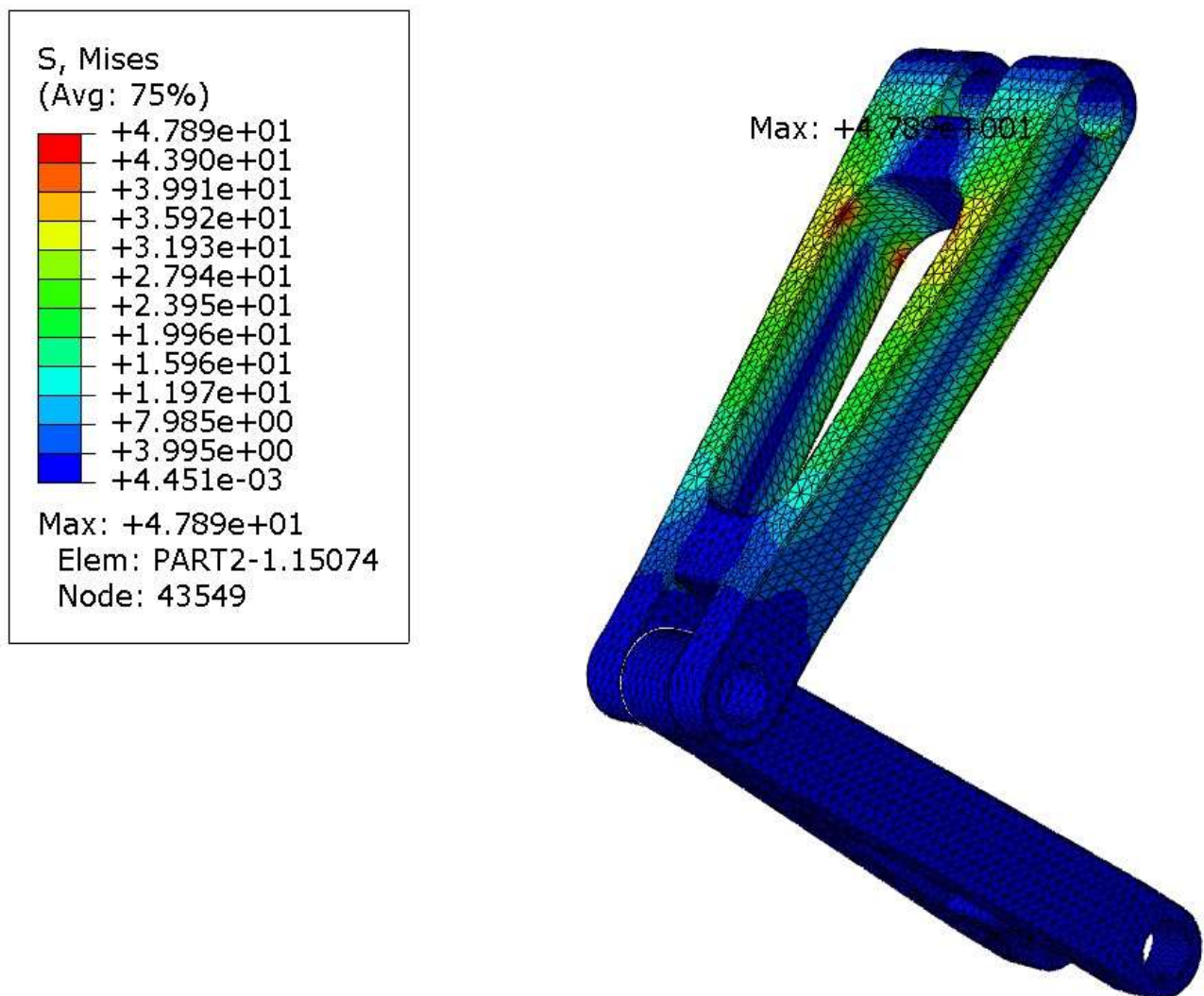
## CHƯƠNG III: XỬ LÝ VÀ PHÂN TÍCH KẾT QUẢ

### 3.1. Kết quả phân tích kỹ thuật bằng phần mềm

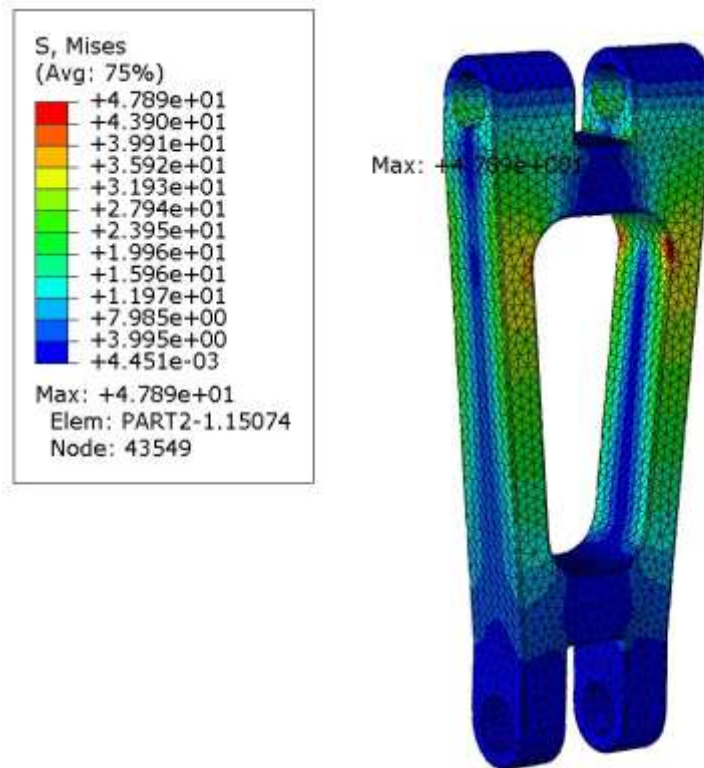
#### 3.1.1. Kết quả phân tích cơ cấu trên vật liệu Al 7075-T6

Density (g/cm <sup>3</sup> )	Young Modulus (MPa)	Poisson Ratio	Tensile Strength (MPa)	Yield Strength (MPa)
2.81	70960	0.33	572	503

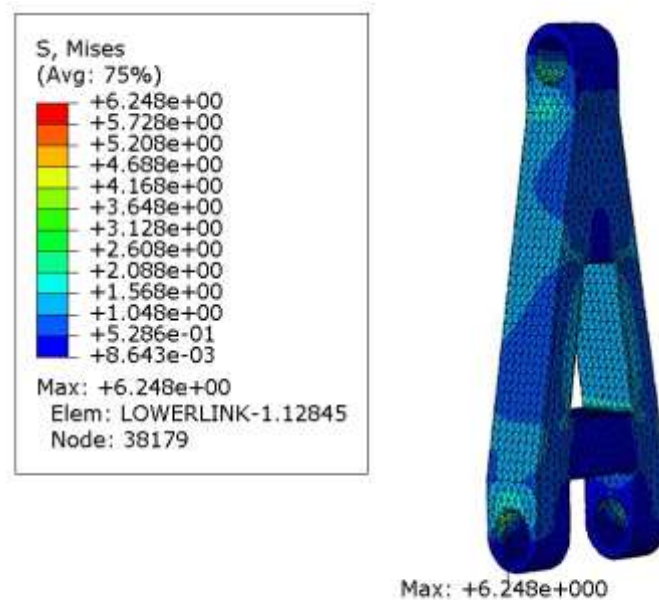
Kết quả ứng suất.



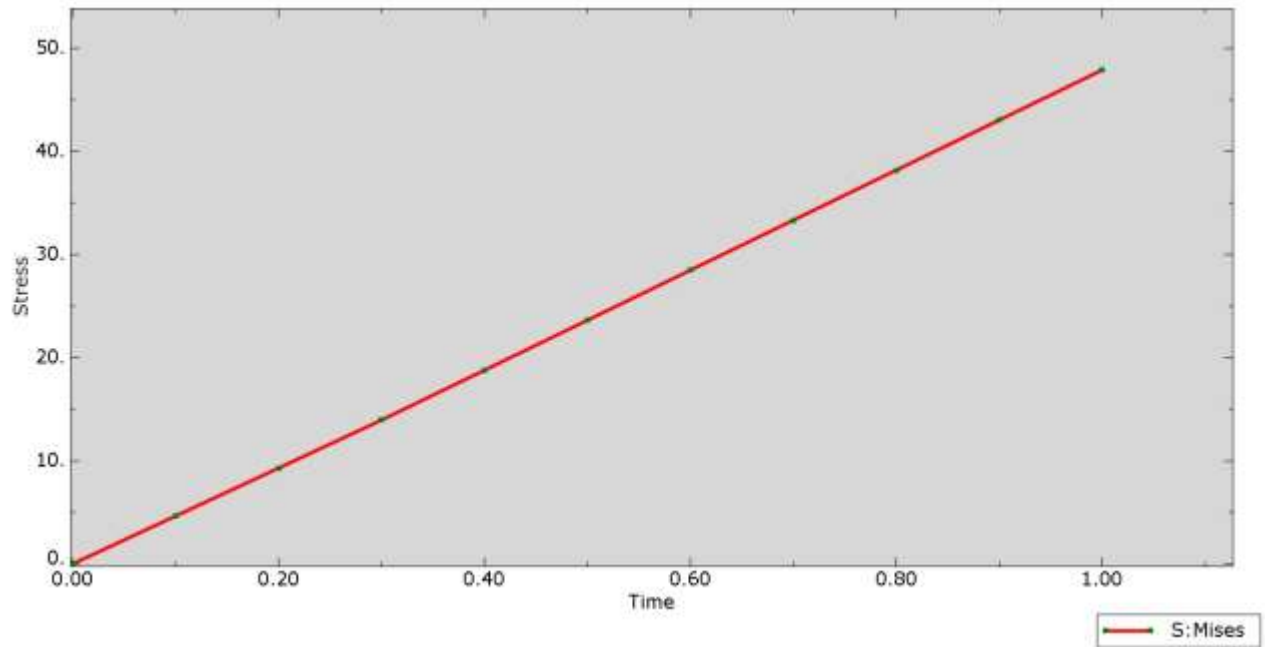
Hình 3.1. Ứng suất trên torque links vật liệu Al7075



Hình 3.2. Ứng suất trên upper torque link vật liệu Al 7075-T6

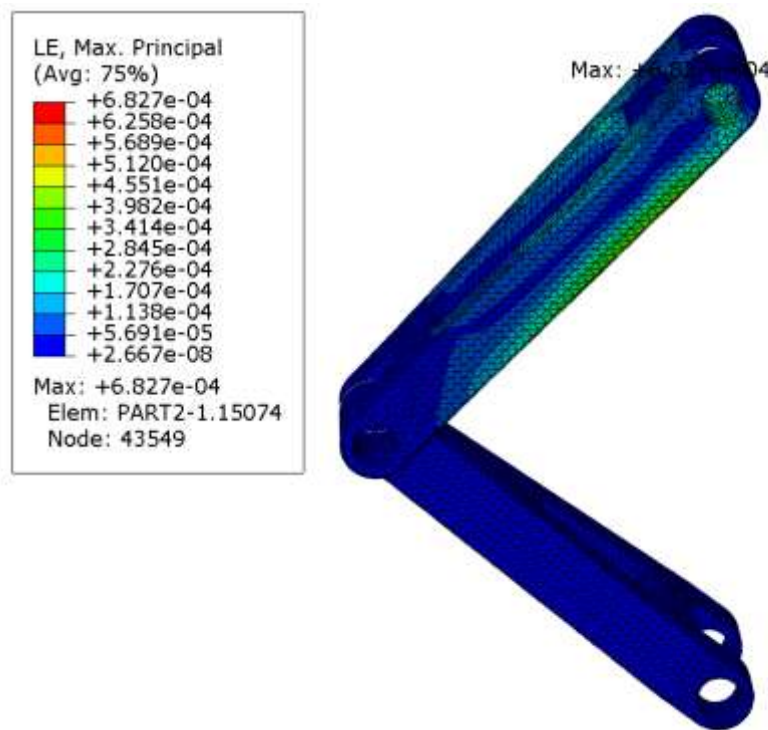


Hình 3.3. Ứng suất trên lower torque link vật liệu Al 7075-T6

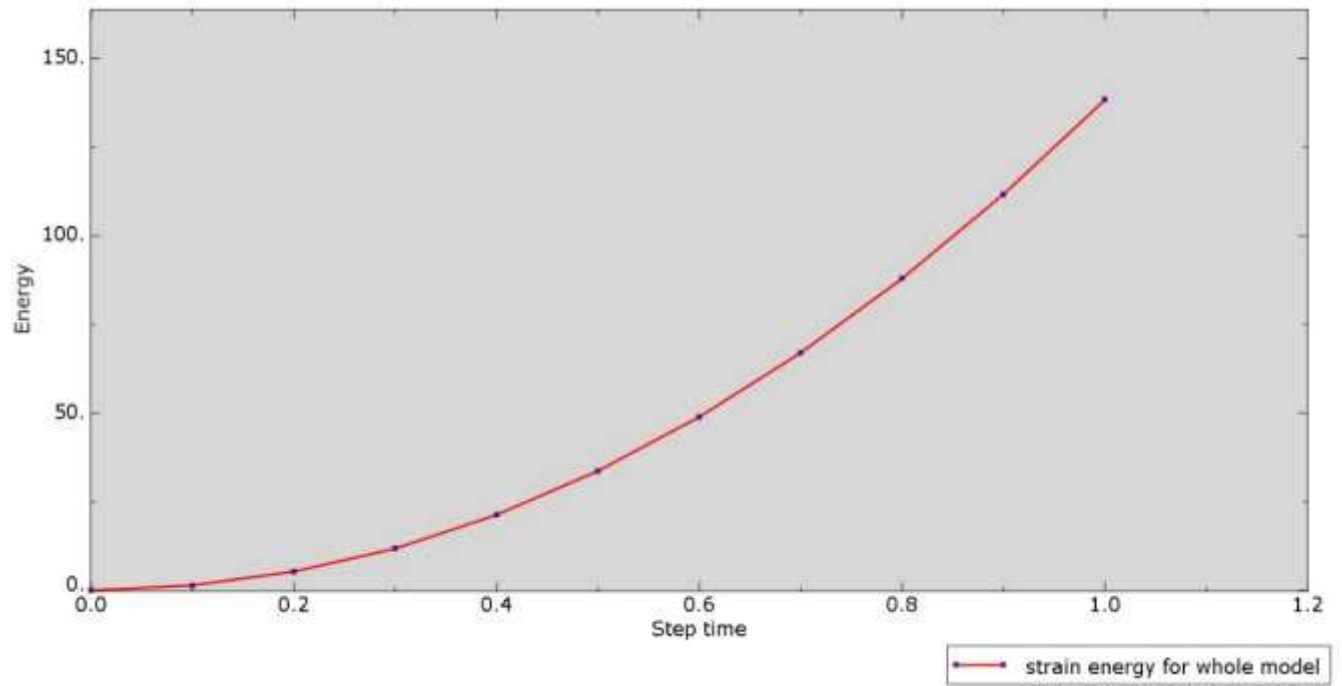


Hình 3.4. Biểu đồ ứng suất tại node có biến dạng lớn nhất (vật liệu Al 7075-T6)

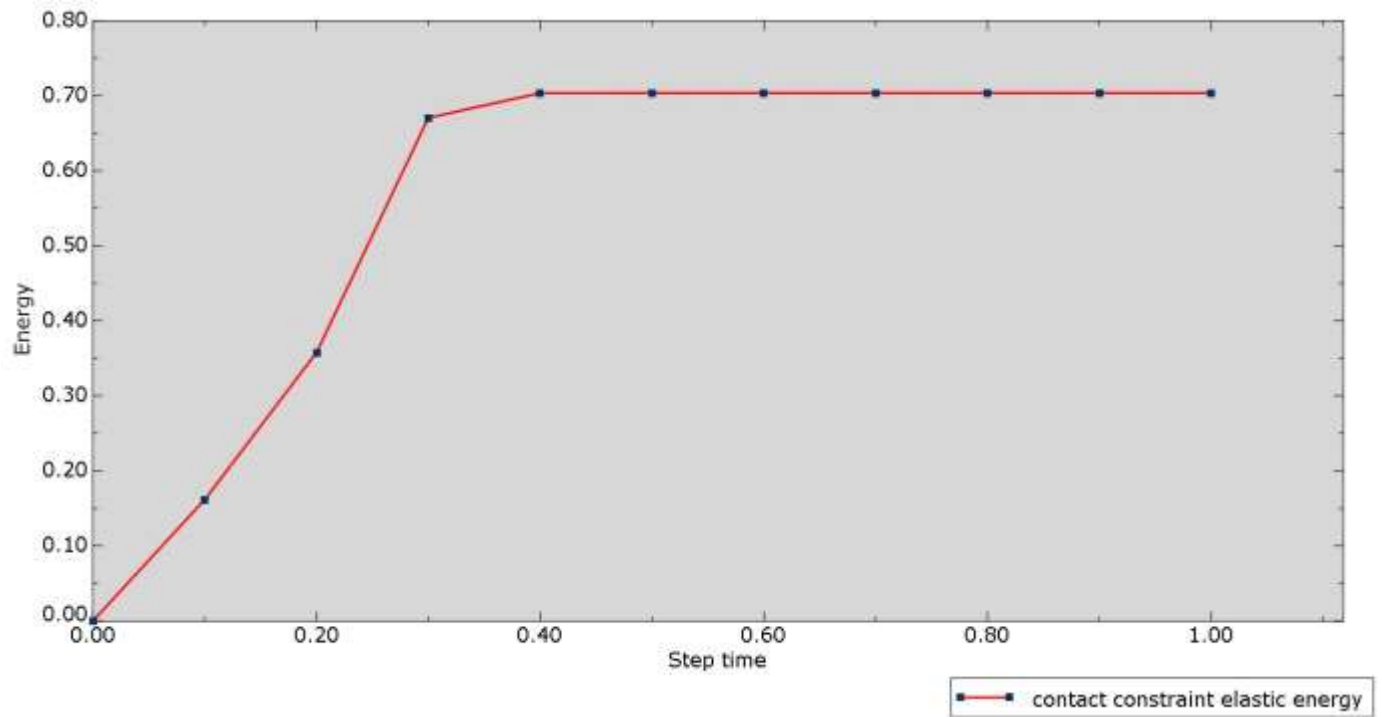
\*Biến dạng



Hình 3.5. Biến dạng của torque link (vật liệu Al 7075-T6)



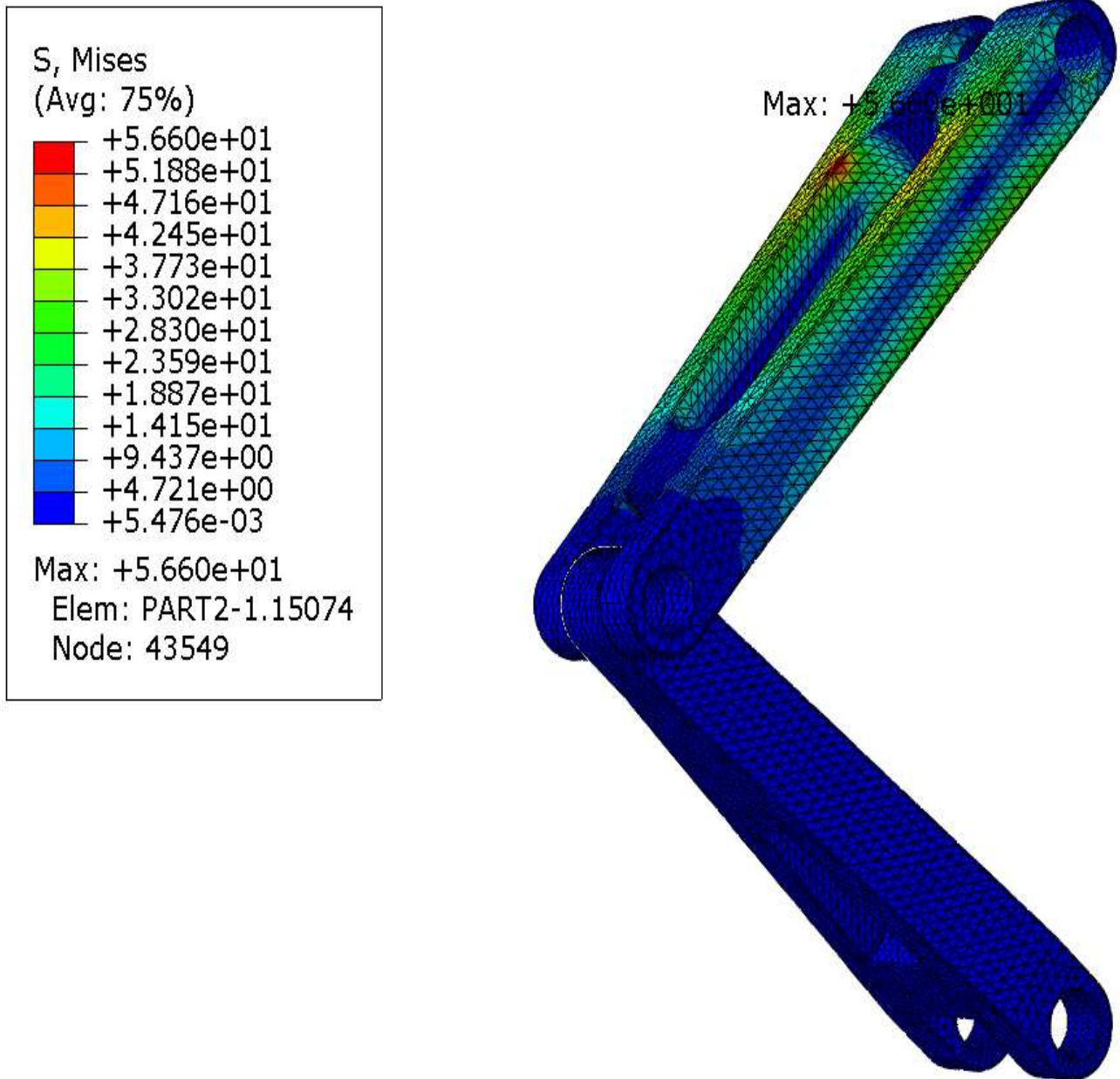
Hình 3.6. Năng lượng biến dạng của cơ cấu (vật liệu Al 7075-T6)



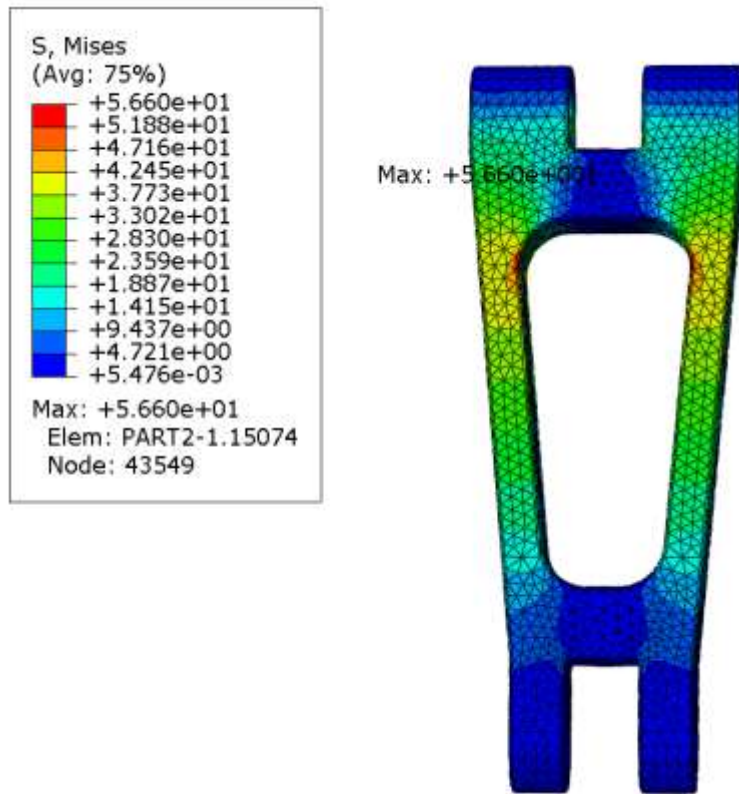
Hình 3.7. Năng lượng đàn hồi tại khớp hinge (vật liệu Al 7075-T6)

3.1.2. Kết quả phân tích cơ cấu trên vật liệu Ti - 6Al

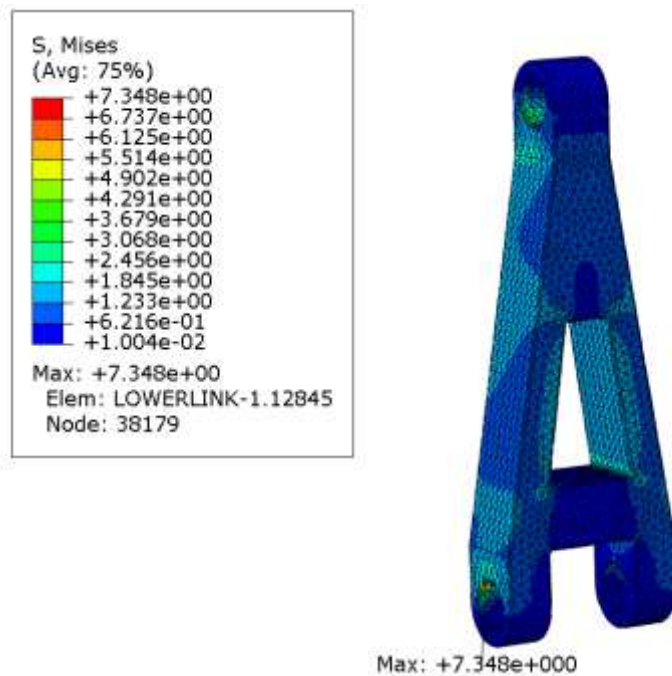
Density (g/cm <sup>3</sup> )	Young Modulus (MPa)	Poisson Ratio	Tensile Strength (MPa)	Yield Strength (MPa)
4.43	113800	0.342	960	880



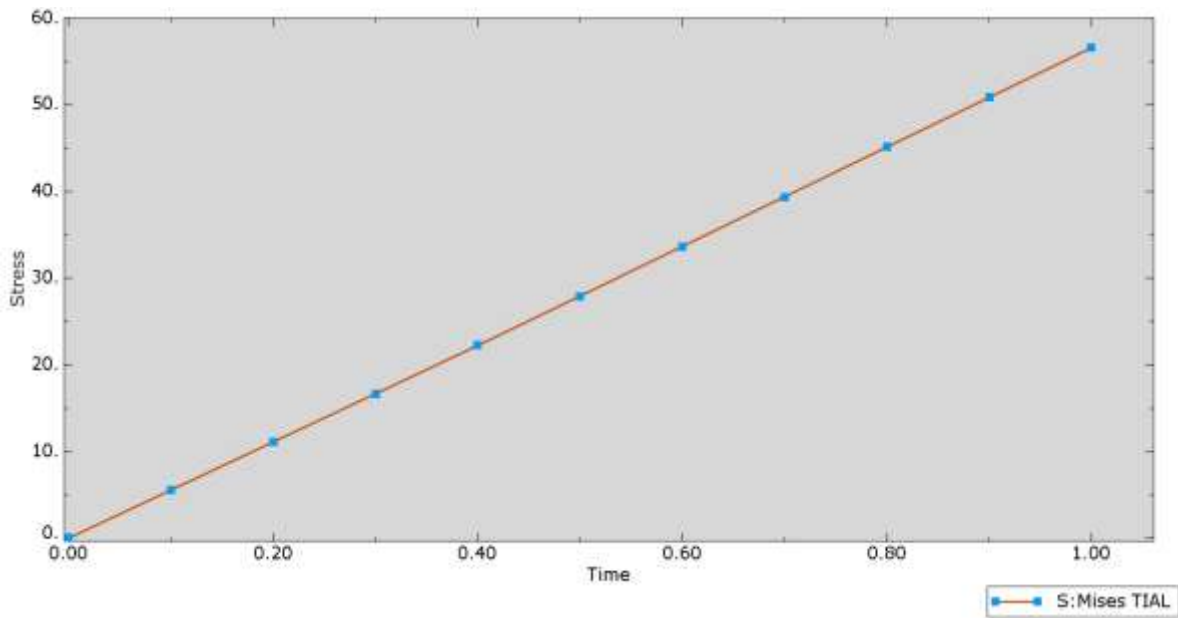
Hình 3.8. Ứng suất trên torque links (Ti-6Al)



Hình 3.9. Ứng suất trên upper torque link (Ti-6Al)

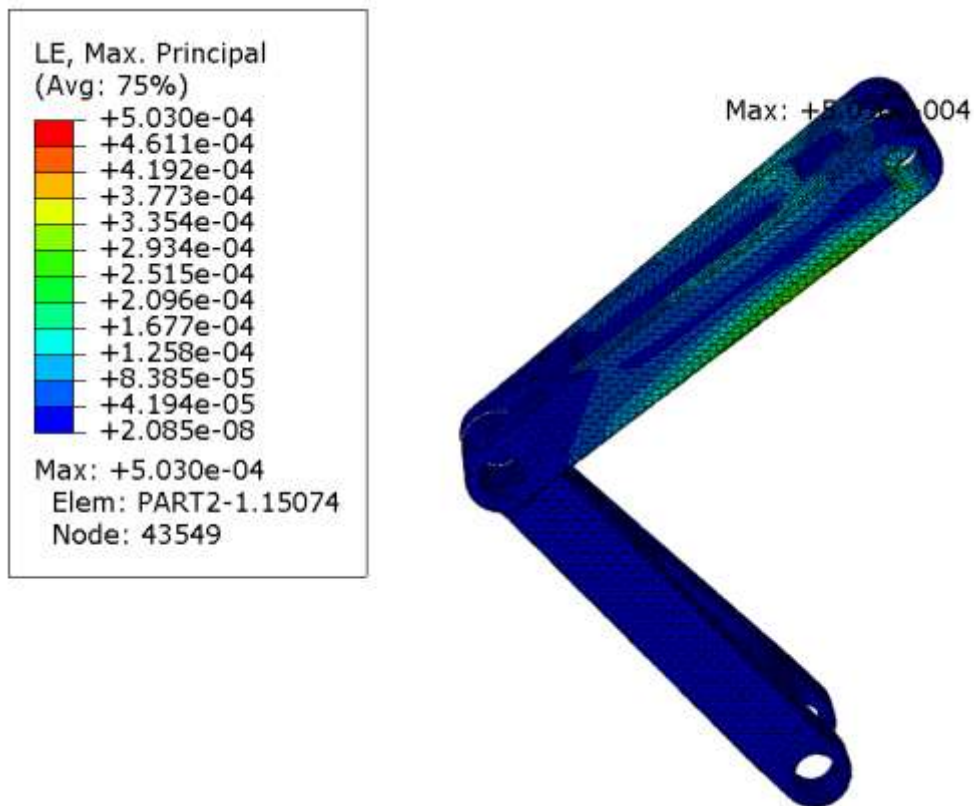


Hình 3.10. Ứng suất trên lower torque link (Ti-6Al)

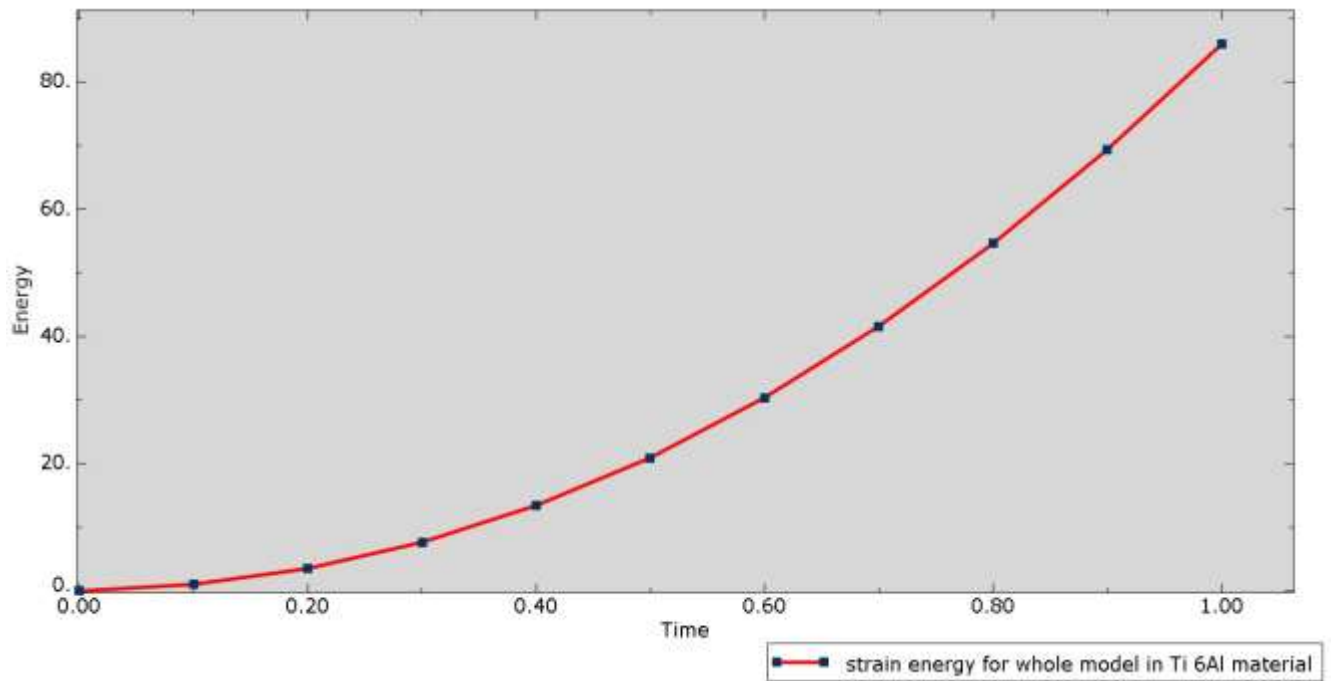


Hình 3.11. Ứng suất tại note có ứng suất lớn nhất (vật liệu Ti-6Al)

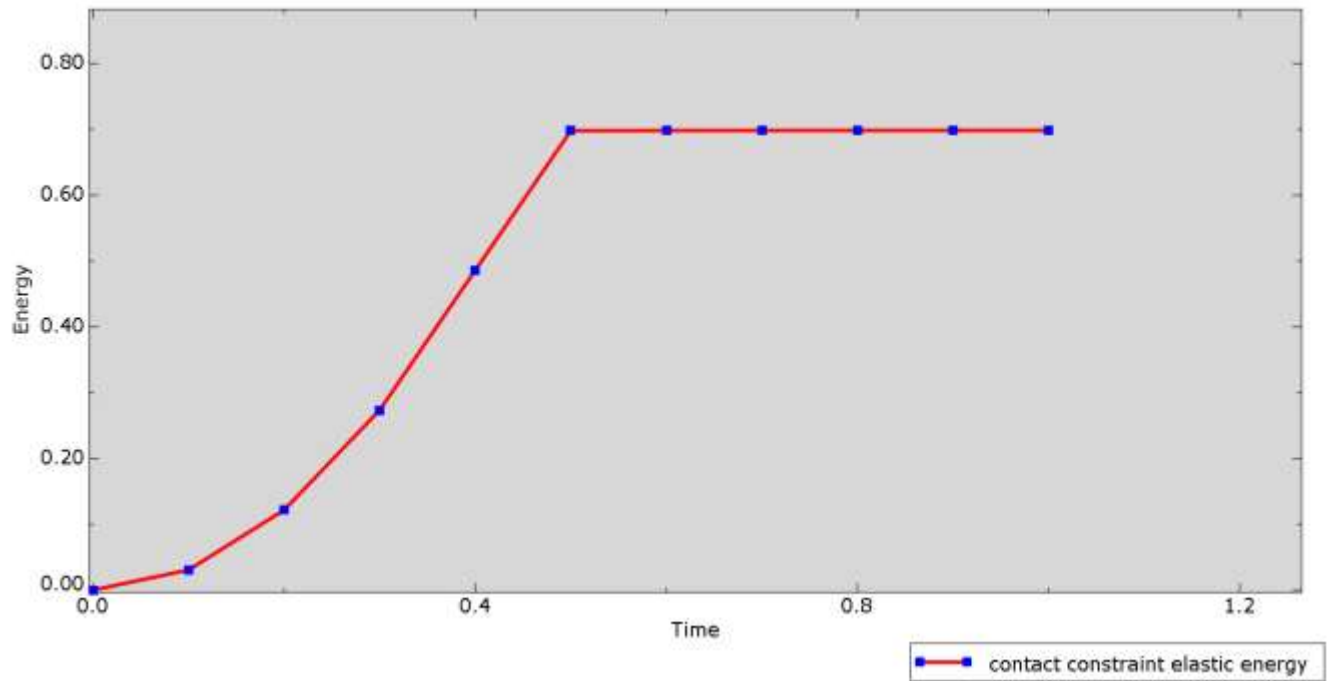
Biến dạng



Hình 3.12. Biến dạng của torque link (vật liệu Ti-6Al)



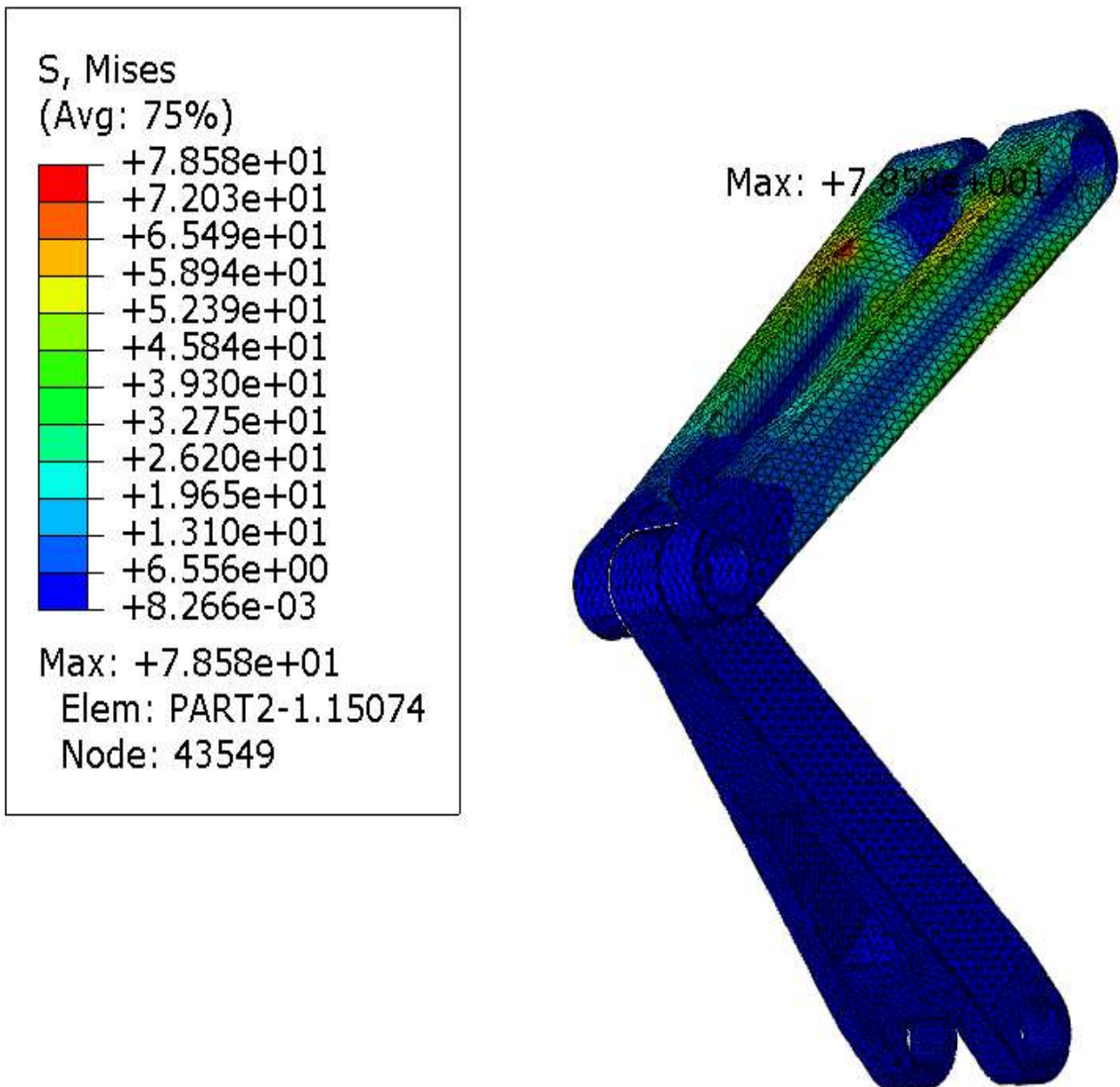
Hình 3.13. Năng lượng biến dạng trên toàn bộ chi tiết (vật liệu Ti-6Al)



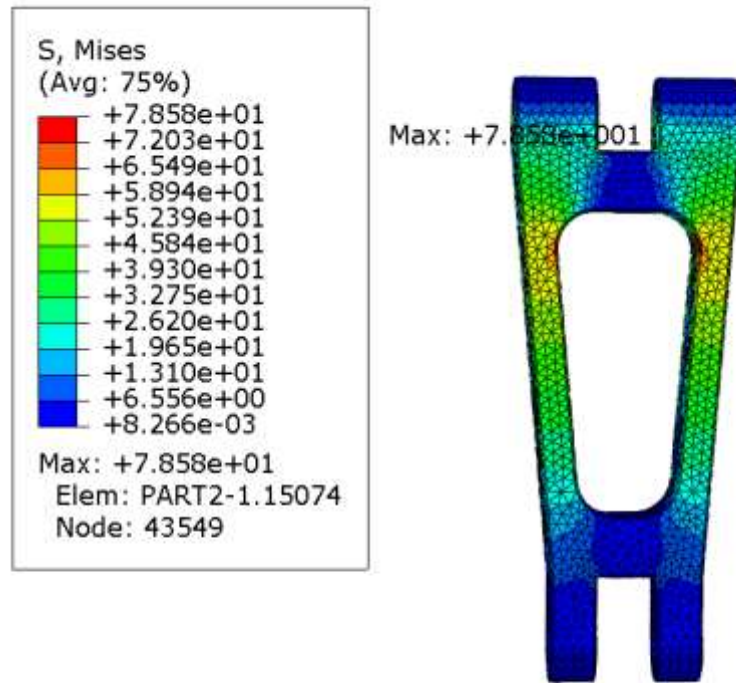
Hình 3.14. Năng lượng đàn hồi tại khớp hinge (vật liệu Ti-6Al)

3.1.3. Kết quả phân tích cơ cấu trên vật liệu AISI 1035

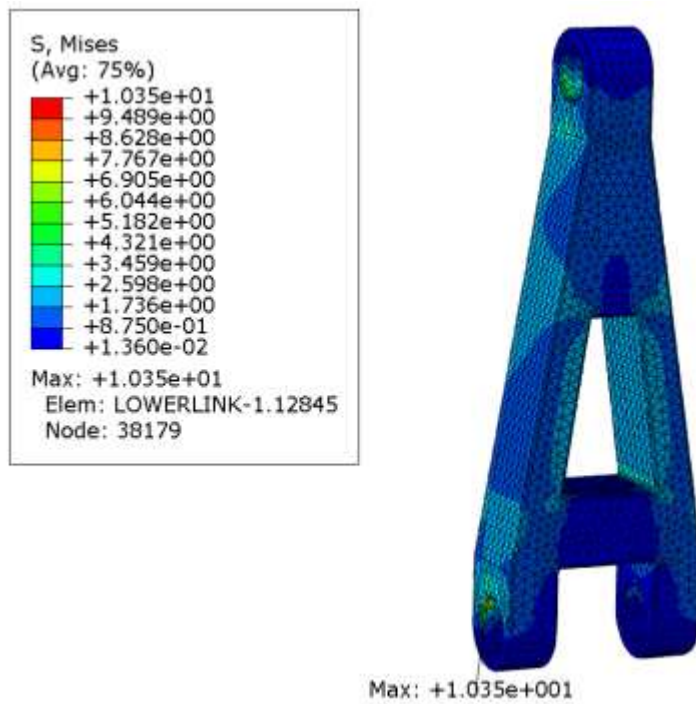
Density (g/cm <sup>3</sup> )	Young Modulus (MPa)	Poisson Ratio	Tensile Strength (MPa)	Yield Strength (MPa)
7.87	196000	0.29	620	550



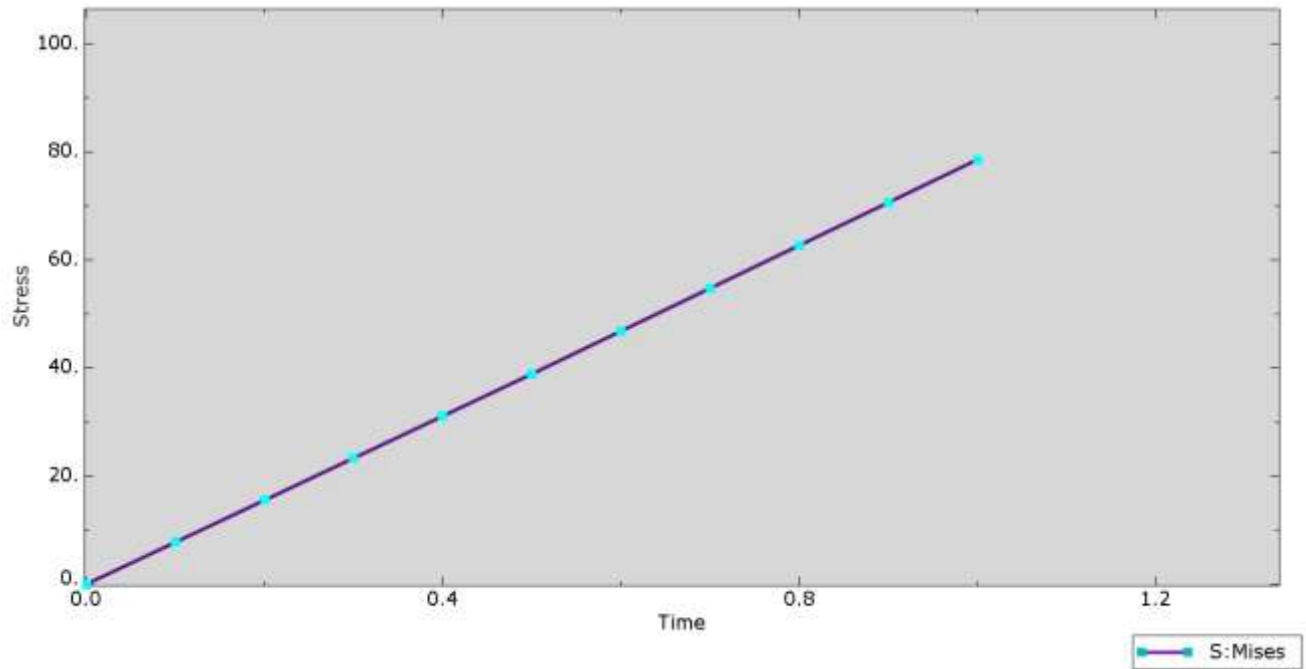
Hình 3.15. Ứng suất trên toàn bộ cơ cấu (vật liệu AISI 1035)



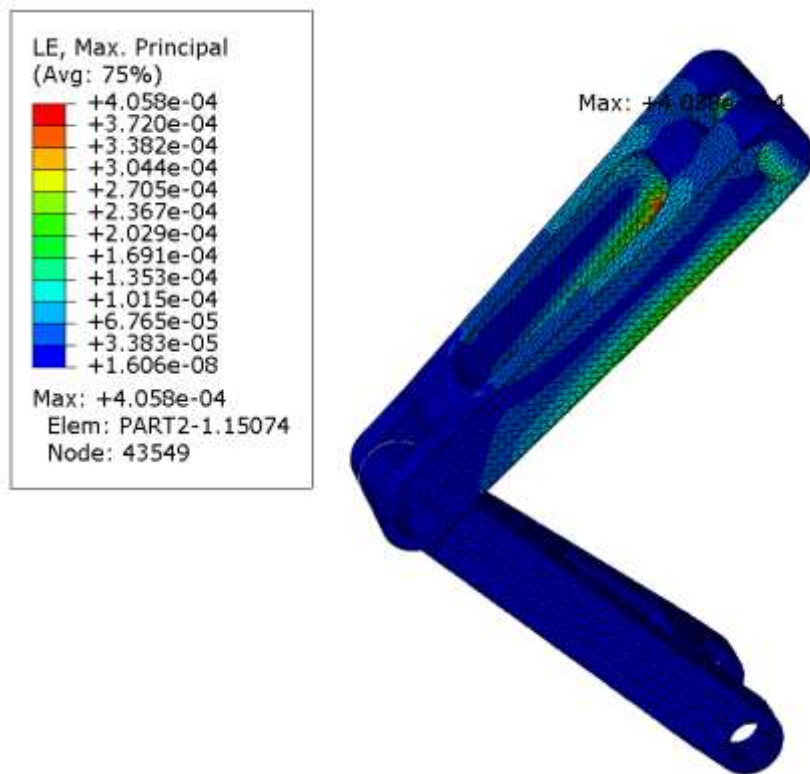
Hình 3.16. Ứng suất trên upper link (vật liệu AISI 1035)



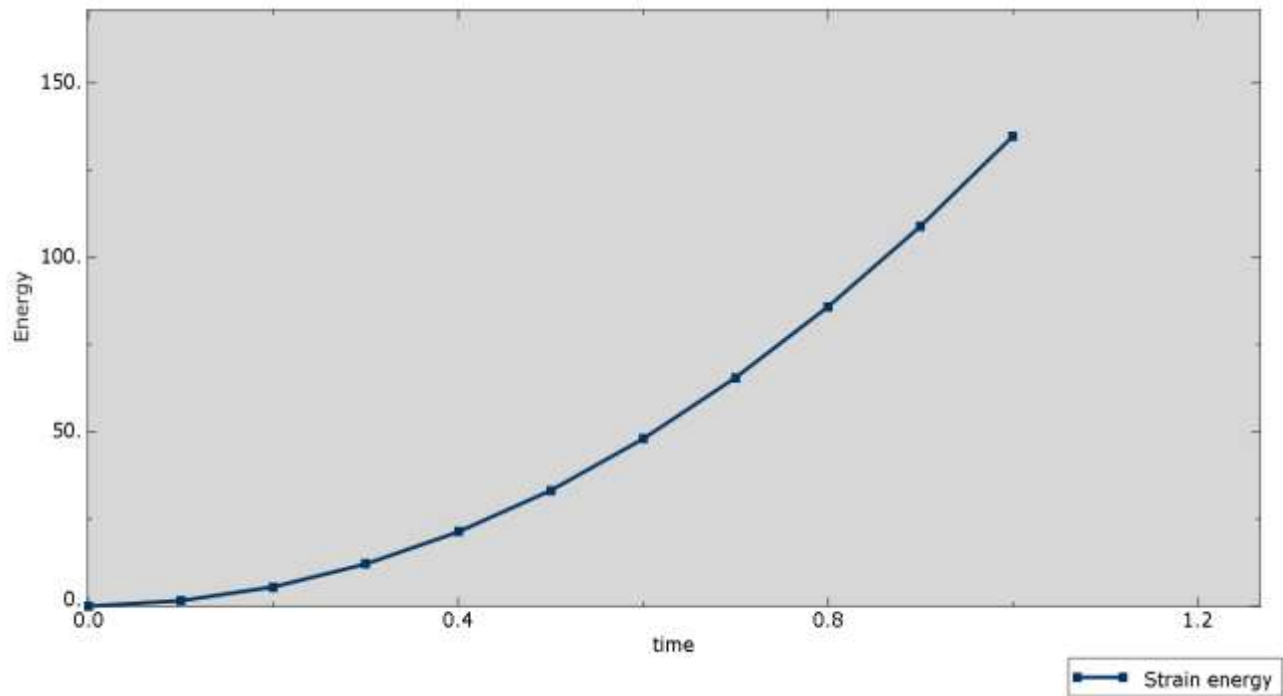
Hình 3.17. Ứng suất trên lower link (vật liệu AISI 1035)



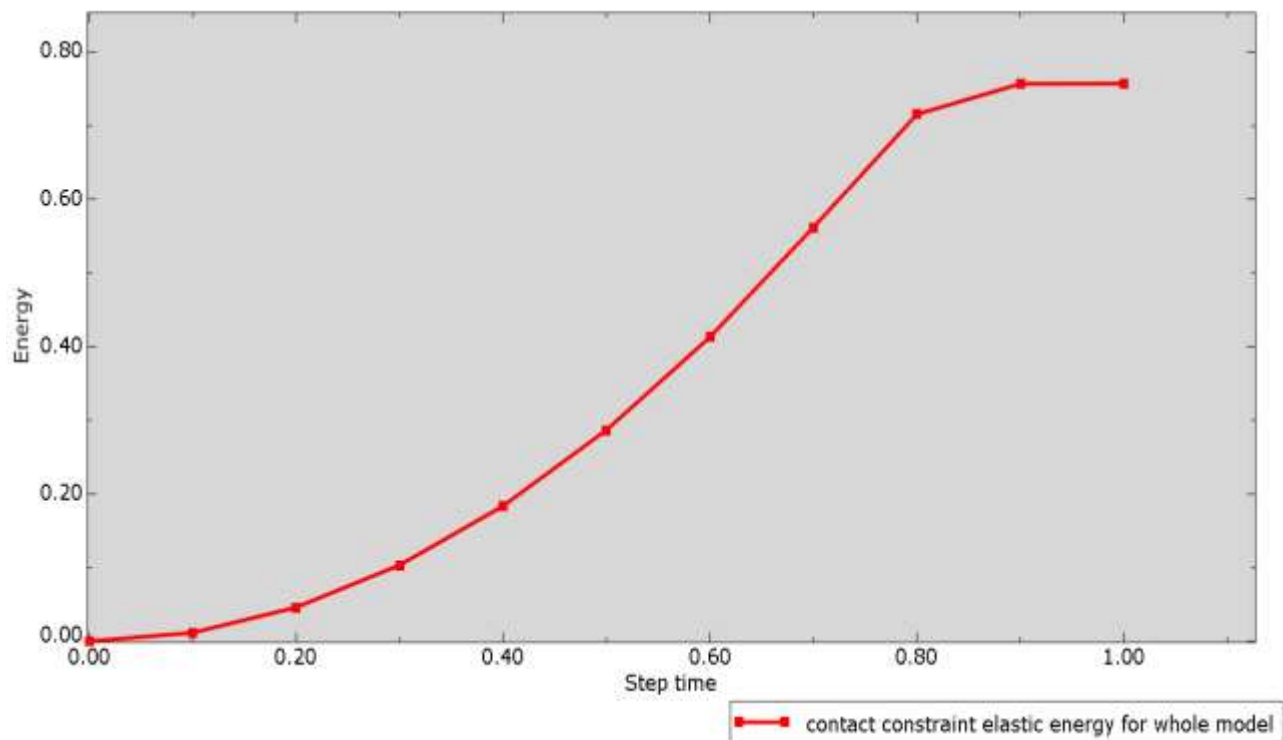
Hình 3.18. Biểu đồ ứng suất tại node có biến dạng lớn nhất (vật liệu AISI)



Hình 3.19. Biến dạng trên toàn bộ chi tiết (vật liệu AISI 1035)



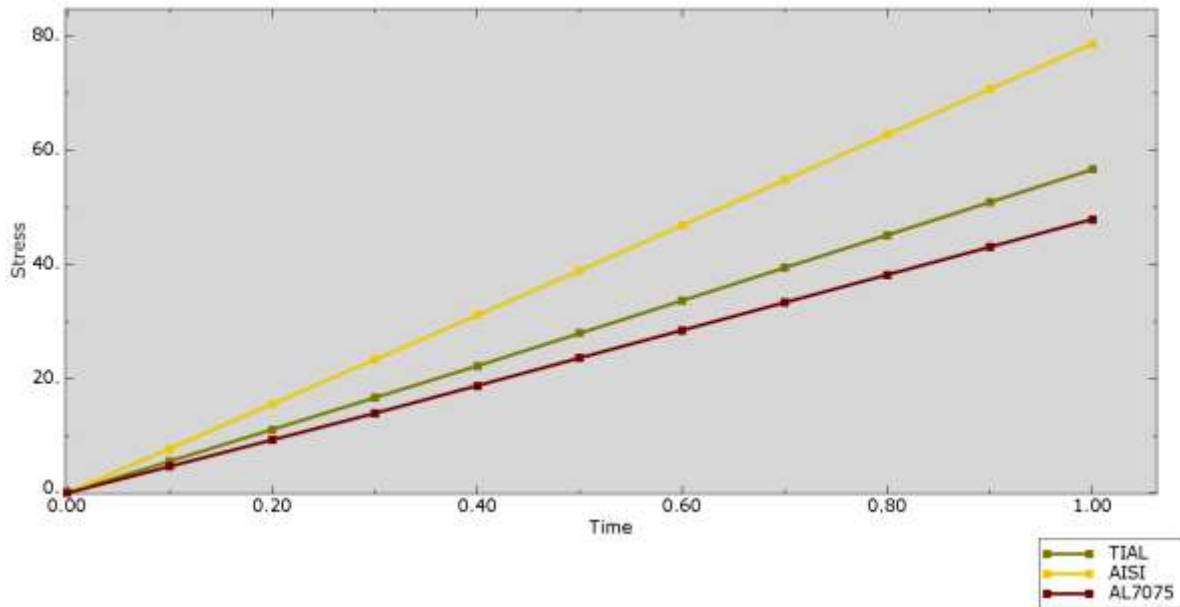
Hình 3.20. Năng lượng biến dạng (vật liệu AISI 1035)



Hình 3.21. Năng lượng đàn hồi tại khớp hinge (vật liệu AISI 1035)

## 3.2. Xử lý kết quả mô phỏng

### 3.2.1. Kết quả ứng suất



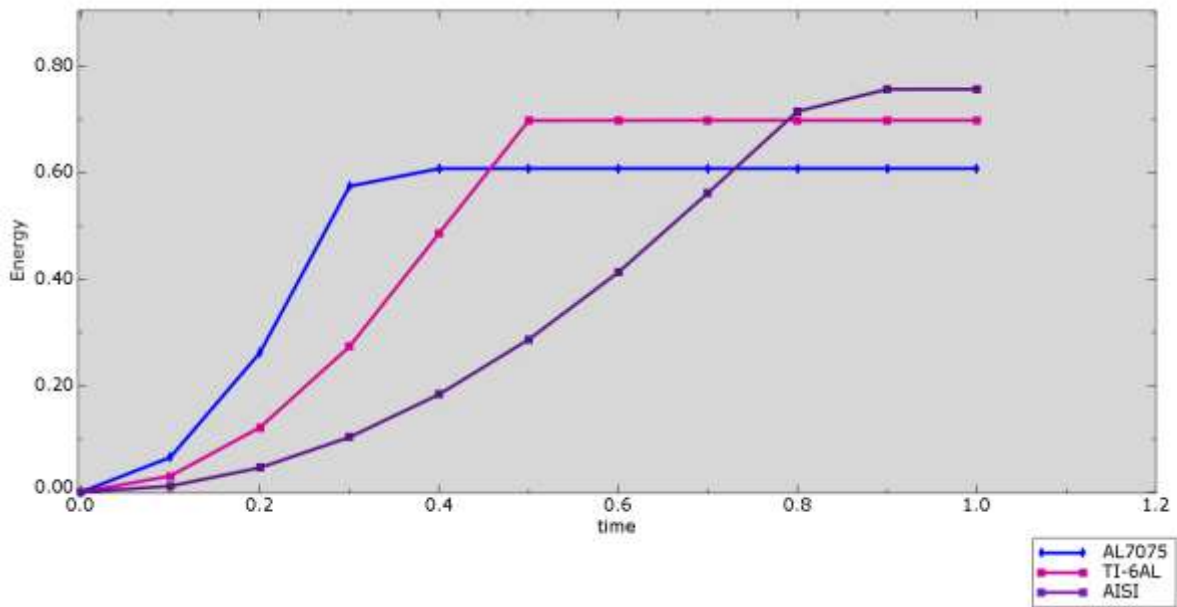
Hình 3.22. Kết quả ứng suất trên 3 vật liệu khác nhau

Hình trên là đồ thị ứng suất tại node chịu ứng suất lớn nhất tương ứng với ba vật liệu khác nhau. Ta có các kết luận sau:

Đối với cơ cấu torque link khi tác dụng cùng lực tĩnh trong khoảng thời gian một giây ta nhận thấy rằng khi mô phỏng với vật liệu Al 7075 T6 ứng suất trên cơ cấu là thấp nhất.

Khi mô phỏng cơ cấu với vật liệu AISI 1035 cho ứng suất cao nhất.

### 3.2.2. Kết quả về năng lượng liên kết tại các khớp



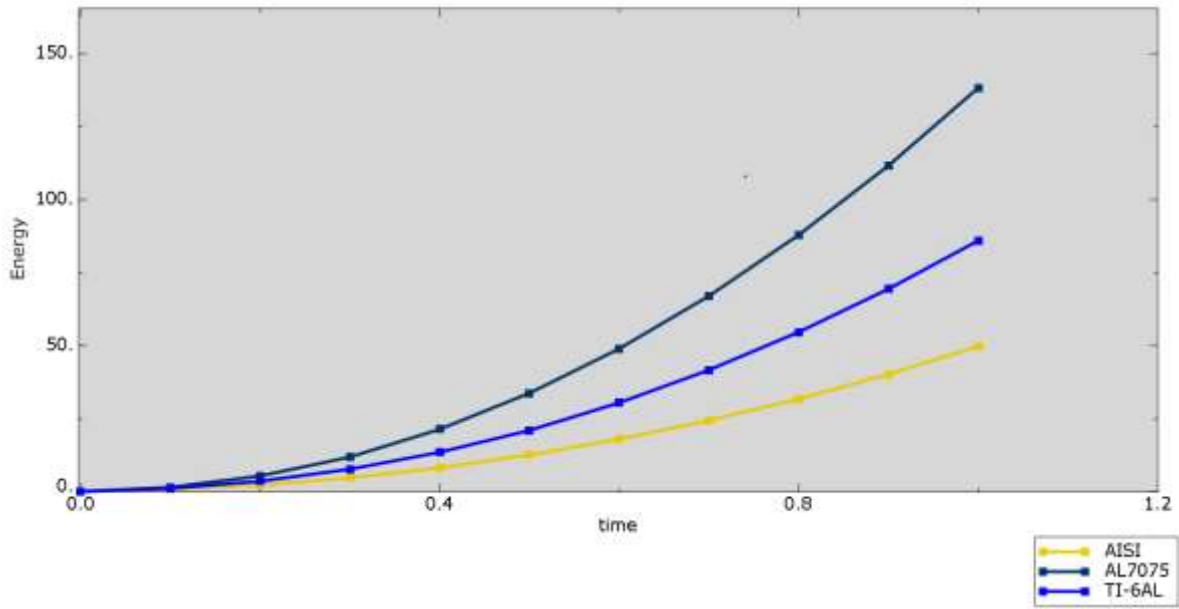
Hình 3.23. Contact constrain elastic energy trên ba vật liệu khác nhau.

Contact constrains elastic energy: là đại lượng thể hiện lượng năng lượng biến dạng xảy ra tại các khớp trong cơ cấu khi chúng chuyển động tương đối với nhau. Hệ số ma sát là nguyên nhân chính gây ra năng lượng này.

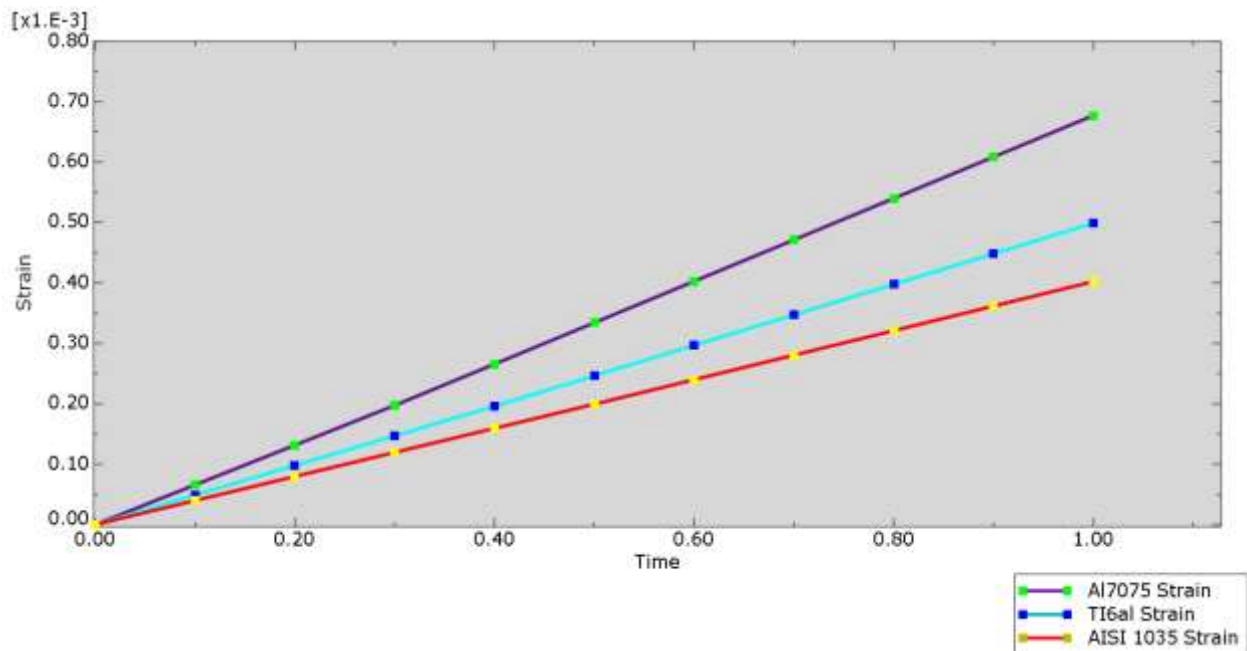
Đối với khi mô phỏng cơ cấu với vật liệu AISI 1035 năng lượng này lớn nhất nhưng vẫn chưa hội tụ.

Đối với khi mô phỏng cơ cấu với vật liệu còn lại là Al 7075 T6 và TI-6Al vật liệu có mức năng lượng thấp hơn và đã hội tụ.

### 3.2.3. Kết quả biến dạng



Hình 3.24. Năng lượng biến dạng trên ba vật liệu khác nhau



Hình 3.25. Kết quả biến dạng trên 3 vật liệu khác nhau

Khi một vật thể chịu tác dụng của một lực, năng lượng làm việc của lực đó sẽ được tích trữ trong vật thể dưới dạng năng lượng biến dạng. Hình trên cho ta thấy được năng lượng biến dạng đối với 3 vật liệu khác nhau.

Ta thấy được năng lượng biến dạng tồn tại trong cơ cấu với vật liệu Al 7075 là lớn nhất. Nó cho thấy được biến dạng ở cấu trúc torque link với vật liệu này là lớn nhất khi chịu lực tác dụng.

Năng lượng biến dạng tồn tại trong cơ cấu với vật liệu AISI 1035 là thấp nhất. Nó cho thấy được biến dạng ở cấu trúc torque link với vật liệu này là nhỏ nhất.

*Bảng 3.1. so sánh kết quả nghiên cứu trên ba vật liệu*

Material	Density( $g/cm^3$ )	Stress (Mpa)	Deformation(mm)
Al 7075	2.81	48	$0,68. 10^3$
Ti 6Al	4.43	56	$0,5. 10^3$
AISI 1035	7.87	79	$0,4. 10^3$

## CHƯƠNG IV: QUY TRÌNH CÔNG NGHỆ GIA CÔNG CÁC CHI TIẾT

### 4.1. Xác định sản lượng và dạng sản xuất:

Sản lượng là số lượng sản phẩm được chế tạo theo chương trình sản xuất hàng năm của nhà máy, còn gọi là sản lượng định hình.

Số lượng cụ thể của các loại chi tiết trong sản phẩm cần chế tạo được xác định như sau:

$$N = N_i \cdot m \cdot \left(1 + \frac{\alpha + \beta}{100}\right)$$

Trong đó: N là số lượng chi tiết được sản xuất trong 1 năm (chiếc/năm)

$N_i$  là sản phẩm (số máy) được sản xuất trong 1 năm (chiếc/năm)

m là số chi tiết trong 1 sản phẩm (một máy)

$\beta$  là tỷ lệ % số chi tiết dự trữ để phòng ngừa sự cố,  $\beta = 5 - 7\%$

$\alpha$  là tỷ lệ % số chi tiết phế phẩm, chọn  $\alpha = 3 - 5\%$

Sau khi xác định được sản lượng hàng năm của chi tiết N thì ta phải xác định khối lượng của chi tiết được tính theo công thức:

$$Q = V \cdot \gamma$$

V: là thể tích của chi tiết ( $\text{dm}^3$ )

$\gamma$ : khối lượng riêng của vật liệu ( $\text{kg}/\text{dm}^3$ )

Khi có N và Q, ta dựa vào bảng 1.1 để chọn dạng sản xuất cho phù hợp

Dạng sản xuất	Q - khối lượng của chi tiết		
	> 200 kg	4 - 200 kg	< 4 kg
	Sản lượng hàng năm của chi tiết (chiếc)		
Đơn chiếc	< 5	< 10	< 100
Hàng loạt nhỏ	55 - 100	10 - 200	100 - 500
Hàng loạt vừa	100 - 300	200 - 500	500 - 5000
Hàng loạt lớn	300 - 1000	500 - 1000	5000 - 50000
Hàng khối	> 1000	> 5000	> 50000

Ở đây, vật liệu chế tạo chi tiết là hợp kim nhôm Al7075-T6 có khối lượng riêng là  $2,81 \text{ kg}/\text{dm}^3$  và thể tích của chi tiết là  $0.023 \text{ dm}^3$  (được xác định bằng phần mềm solidworks)

$$\rightarrow Q = 2.81 \times 0.023 \approx 0.06 \text{ kg}$$

Tính sản lượng hàng năm của chi tiết:

Ở đây ta không thể biết chính xác số lượng máy sản xuất trong 1 năm ( $N_i$ ) nên ta chỉ có thể ước tính khoảng chừng nào đó, ta cho  $N_i = 150$ ,  $m = 3$

$$\rightarrow N = 150 \times 3 \left(1 + \frac{5+7}{100}\right) = 540 \text{ (chiếc/năm)}$$

Tra bảng ta xác định được dạng sản xuất là hàng loạt vừa.

#### 4.2. Phân tích và lựa chọn phương pháp chế tạo phôi

Vật liệu chế tạo phôi cho chi tiết Lower Torque Link này là hợp kim nhôm A7075-T6, là hợp kim có đặc tính cơ học phù hợp và được sử dụng nhiều trong ngành hàng không.

Hình dáng phôi được chọn dựa trên hình dạng chi tiết. Chi tiết được xác định là chi tiết dạng càng nên ta chọn phôi có dạng hình chữ nhật để phù hợp trong việc gia công.

Phôi được tạo có dạng như bên dưới, có kích thước là 161x31x66.

Trong ngành hàng không, các phương pháp chế tạo phôi cần đảm bảo độ bền cao, trọng lượng nhẹ, và khả năng chịu lực tốt để đáp ứng các yêu cầu khắt khe về an toàn và hiệu suất. Dưới đây là một số phương pháp chế tạo phôi thường được sử dụng:

**Phương pháp đúc:** Làm nóng chảy vật liệu rồi rót vào khuôn đúc, sau khi vật liệu đông đặc lại sẽ tạo ra sản phẩm có hình dáng và kích thước như khuôn mẫu. Do kim loại đông đặc từ trạng thái lỏng, dễ gặp phải các khuyết tật như rỗ khí, co ngót, hoặc nứt, nên cần kiểm soát tốt quá trình đúc và làm nguội.

**Phương pháp rèn nóng:** Phương pháp này bao gồm việc gia nhiệt hợp kim nhôm hoặc titan đến nhiệt độ cao và sau đó ép tạo hình bằng lực lớn. Rèn nóng tạo ra các phôi có cấu trúc hạt tốt, tăng cường tính cơ học và độ bền cho sản phẩm. Tuy nhiên rèn thường không đạt được độ chính xác cao về kích thước và hình dạng.

**Phương pháp dập tấm:** Sử dụng khuôn và lực dập để tạo ra các chi tiết từ tấm kim loại. Phương pháp này thích hợp cho sản xuất hàng loạt các chi tiết mỏng như vỏ hộp, nắp, các bộ phận ô tô.

**Phương pháp ép đùn:** Phương pháp ép đùn (Extrusion) là quá trình gia công áp lực, trong đó phôi được đẩy qua một khuôn có hình dạng nhất định để tạo ra sản phẩm có tiết diện không đổi. Các sản phẩm ép đùn có độ bền cao hơn so với đúc nhờ vào sự định hướng của hạt kim loại trong quá trình ép. Sản phẩm có bề mặt mịn, ít bị rỗ và khuyết tật. Phù hợp với phôi có hình dạng trụ, thanh, hộp,..

⇒ Để chế tạo phôi hợp kim nhôm Al 7075-T6 ta chọn được phương pháp chế tạo phù hợp đó là ép đùn với hình dạng hộp chữ nhật.

Chuẩn bị nguyên liệu (phôi) → Nung nóng phôi → Đưa phôi vào buồng ép → Ép phôi qua khuôn → Cắt phôi theo kích thước yêu cầu → Làm nguội sản phẩm → Kiểm tra và xử lý sau ép. Cần xử lý nhiệt để hợp kim nhôm Al7075 đạt được trạng thái T6.

Yêu cầu sau khi ép đùn phôi không bị rạn nứt, không hoặc ít bị rỗ, bề mặt phôi đạt được độ nhám  $Rz = 80 \mu m$ .

#### 4.3. Chọn máy và trình bày các thông số kỹ thuật của máy.

Để xác định được máy gia công CNC phù hợp với chi tiết thì ta phải dựa vào thông số kỹ thuật của máy như hành trình chạy dao tối đa phải lớn hơn kích thước phôi, tốc độ quay trục chính tối đa,...

Dựa vào những điều đó ta chọn được máy phay đứng CNC VF-2-FE



Hình 4.1. Máy phay đứng CNC: VF-2-FE

Bảng 4.1. Thông số kỹ thuật máy phay đứng VF-2-FE

<b>HÀNH TRÌNH</b>	<b>HỆ MÉT</b>
Trục X	762 mm
Trục Y	406 mm
Trục Z	508 mm
Mũi trục chính tới bàn máy (~ max)	610 mm
Mũi trục chính đến bàn máy (~min)	102 mm
<b>TRỤC CHÍNH</b>	<b>HỆ MÉT</b>
Công suất max	22.4 kW
Tốc độ max	10000 rpm
Momen max	122 Nm @ 2000 rpm
<b>BÀN MÁY</b>	<b>HỆ MÉT</b>
Chiều dài	914 mm
Chiều rộng	356 mm
Độ rộng rãnh chữ T	16 mm
Khoảng cách rãnh chữ T	125 mm
Số lượng rãnh chữ T	3
Trọng lượng max trên bàn (phân bố đều)	1361 kg
<b>BUỚC TIẾN</b>	<b>HỆ MÉT</b>
Bước tiến trục X	25.4 m/min
Bước tiến trục Y	25.4 m/min
Bước tiến trục Z	25.4 m/min
Tốc độ cắt max	16.5 m/min
<b>BUỚC TIẾN</b>	<b>HỆ MÉT</b>
Loại	SMTC
Số đầu dao	30+1

Đường kính dao max (trống 2 bên)	127 mm
Đường kính dao max (có dao 2 bên)	64 mm
Chiều dài dao max (từ mũi trục chính)	279 mm
Trọng lượng dao max	5.4 kg

#### 4.4. Phân tích, lựa chọn số lần gá, các bước công nghệ, dụng cụ cắt.

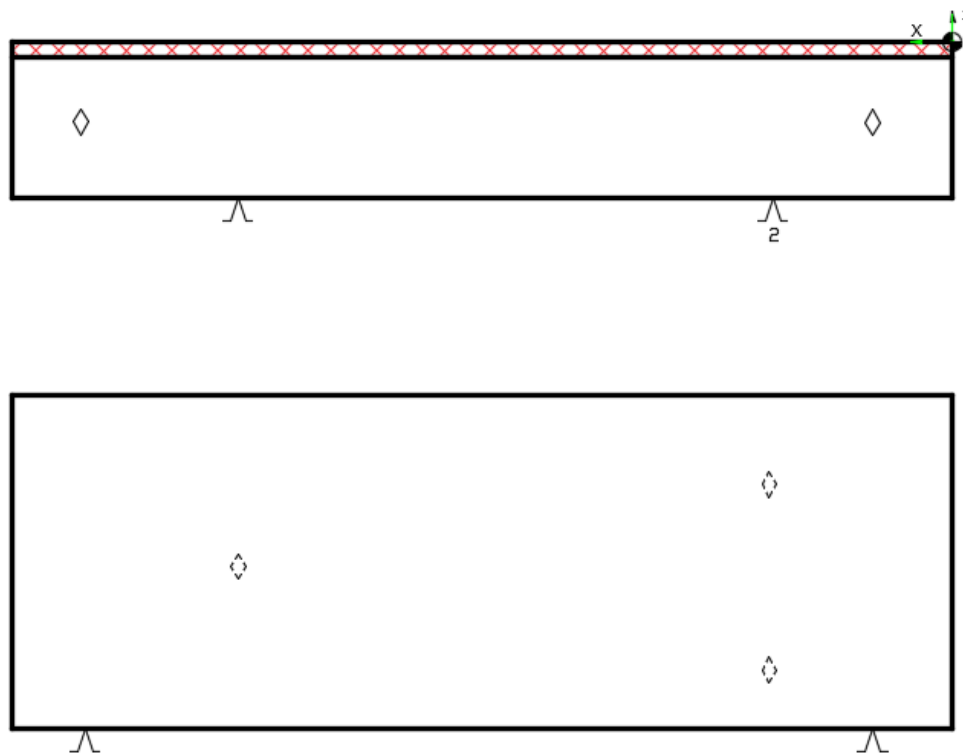
##### 1) Lựa chọn số lần gá:

Để gia công hoàn thành được chi tiết này thì ta phải gá 3 lần.

##### 2) Các bước công nghệ, thông số và dụng cụ cắt:

#### Nguyên công 1: lần gá 1

##### Bước 1: Phay mặt đầu



Hình 4.2. Nguyên công 1 – lần gá 1 – bước 1

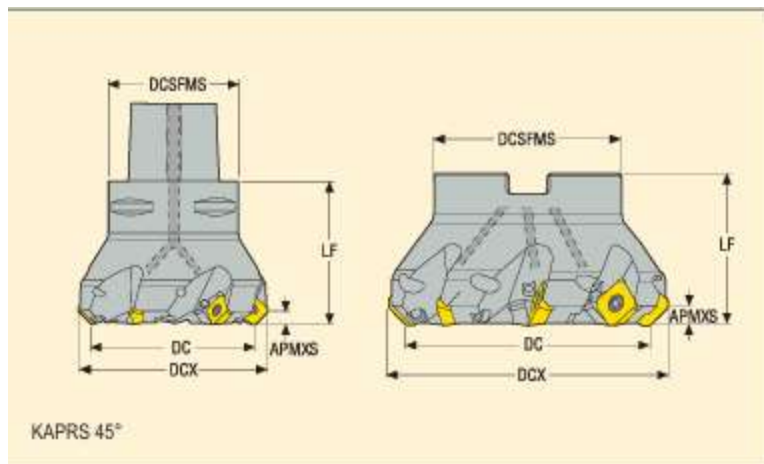
Định vị 5 bậc tự do.

Gia công đến bán tinh.

Đây là bề mặt dùng làm chuẩn định vị cho các nguyên công sau.

Bảng 4.2. Bảng thông số dao phay mặt đầu

Mã sản phẩm	Kiểu gá lắp	Kích thước theo mm					Số hạt dao
		AMPXS	DCX	DC	DCSFMS	LF	
C5-R217.53-050-12-4A	Đầu cặp dao	6	62	50	20	55	4



Hình 4.3. Hình biểu diễn thông số dao

Chế độ cắt:

Phay thô:  $t = 2,5 \text{ mm}$

Trong đó:

$t$ : Tổng chiều sâu cắt.

Theo sách AZOM – Dao Phay SECO trang 138 chiều sâu cắt tối đa trong một lần cắt là:

$a_p = 2,5 \text{ mm}$ .

Chọn chiều sâu cắt:

Chiều sâu trong một lần cắt:  $a_p = 2,5 \text{ mm}$

Tổng số lần cắt:  $\frac{t}{a_p} = \frac{2,5}{2,5} = 1 \text{ lần}$

Lượng dư gia công 0.5 mm

Tra sách AZOM – Dao Phay SECO trang 138

$$\frac{a_e}{D_c} = \%$$

Trong đó:

$a_e$ : Chiều rộng cắt (mm)

$D_c$ : Đường kính của dao (mm)

$f_z$ : Bước tiến mỗi răng (mm/răng)

$f_z = 0.11 - 0.2 \left(\frac{mm}{răng}\right)$  tương ứng  $\frac{a_e}{D_c} = 10\% - 100\%$ . Từ đó chọn:  $f_z = 0.25 \left(\frac{mm}{răng}\right)$  tương

ứng  $\frac{a_e}{D_c} = 10\%$ .

Vậy  $a_e = 5mm$

Bước tiến mỗi vòng:

$$f = z_n \times f_z$$

Trong đó:

$z_n$ : Số răng trên dao

$f_z$ : Bước tiến mỗi răng (mm/răng)

Vậy:  $f = 4 \times 0.25 = 1 mm/vòng$

Tra sách AZOM - Dao Phay SECO trang 144

$V_c = 75 m/phút$

Tra sách AZOM - Dao Phay SECO trang 707

Số vòng quay trong một phút của dao:  $n = \frac{V_c \times 1000}{\pi \times D_c} = \frac{75 \times 1000}{\pi \times 50} = 477,46$  vòng/phút

Chọn vòng quay theo thực tế:  $n = 470$  vòng/phút

Tốc độ thực tế:  $V_c = \frac{n \times \pi \times D_c}{1000} = \frac{470 \times \pi \times 50}{1000} = 73,83 m/phút$

Tốc độ tiến dao:  $v_f = n \times z_n \times f_z = 470 \times 4 \times 0.25 = 270 mm/phút$

Tỷ lệ loại bỏ kim loại:  $Q = \frac{a_e \times a_p \times v_f}{1000} = \frac{5 \times 2,5 \times 470}{1000} = 5,875 cm^3/phút$

Công suất cắt:

$$P_c = \frac{a_p \times a_e \times v_f \times K_c}{60 \times 10^6 \times \eta}$$

Trong đó:

$P_c$ : Công suất cắt (kW)

$a_p$ : Chiều sâu cắt (mm)

$a_e$ : Chiều rộng cắt (mm)

$v_f$ : Tốc độ tiến dao (mm/phút)

$K_c$ : Lực cắt riêng (MPa)

$\eta$ : Hệ số máy -  $\eta = 0.9$

Vậy: 
$$P_c = \frac{a_p \times a_e \times v_f \times K_c}{60 \times 10^6 \times \eta} = \frac{2,5 \times 5 \times 470 \times 1574}{60 \times 10^6 \times 0,9} = 0,17 \text{ (kW)}$$

Phay tinh:  $t = 0,5 \text{ mm}$

Trong đó:

$t$ : Tổng chiều sâu cắt.

Theo sách AZOM – Dao Phay SECO trang 143 chiều sâu cắt tối đa trong 1 lần cắt là:  $a_p = 2,5 \text{ mm}$ .

Chọn chiều sâu cắt:

Chiều sâu trong một lần cắt:  $a_p = 0,5 \text{ mm}$

Tổng số lần cắt  $\frac{t}{a_p} = \frac{0,5}{0,5} = 1 \text{ lần}$

Tra sách AZOM – Dao Phay SECO trang 143

$$\frac{a_e}{D_c} = \%$$

Trong đó:

$a_e$ : Chiều rộng cắt (mm);

$D_c$ : Đường kính của dao (mm);

$f_z$ : Bước tiến mỗi răng (mm/răng);

$f_z = 0,15 - 0,25 \text{ (mm/răng)}$  tương ứng  $\frac{a_e}{D_c} = 10 - 100\%$ . Từ đó chọn  $f_z = 0,16 \text{ (mm/răng)}$

tương ứng  $\frac{a_e}{D_c} = 30\%$

Vậy  $a_e = 15 \text{ mm}$ .

Bước tiến mỗi vòng:

$$f = z_n \times f_z$$

Trong đó:

$z_n$ : Số răng trên dao;

$f_z$ : Bước tiến mỗi răng (mm/răng);

Vậy:  $f = 4 \times 0,16 = 0,64$  mm/vòng.

Tra sách AZOM – Dao Phay Seco trang 144

$V_c = 60$  m/phút

Số vòng quay trong một phút của dao:  $n = \frac{V_c \times 1000}{\pi \times D_c} = \frac{60 \times 1000}{\pi \times 50} = 381,97$  vòng/ phút

Chọn vòng quay theo thực tế:  $n = 380$  vòng/phút

Tốc độ thực tế:  $V_c = \frac{n \times \pi \times D_c}{1000} = \frac{380 \times \pi \times 50}{1000} = 59,69$  m/phút

Tốc độ tiến dao:  $v_f = n \times z_n \times f_z = 380 \times 4 \times 0,16 = 243,2$  mm/phút

Tỷ lệ loại bỏ kim loại:  $Q = \frac{a_e \times a_p \times v_f}{1000} = \frac{15 \times 0,5 \times 243,2}{1000} = 1,824$  cm<sup>3</sup>/phút

Công suất cắt:

$$P_c = \frac{a_p \times a_e \times v_f \times K_c}{60 \times 10^6 \times \eta}$$

Trong đó:

$P_c$ : Công suất cắt (kW)

$a_p$ : Chiều sâu cắt (mm)

$a_e$ : Chiều rộng cắt (mm)

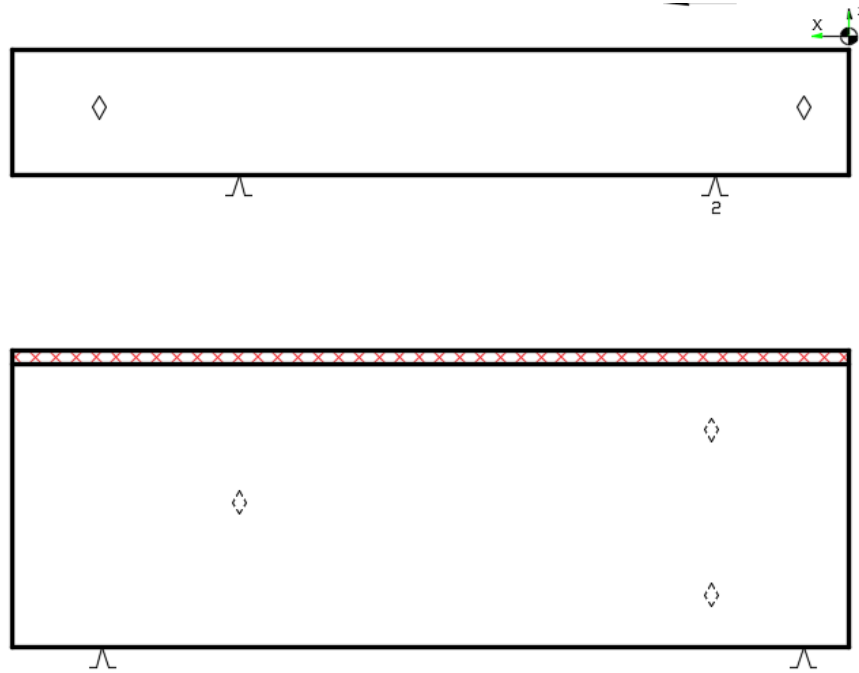
$v_f$ : Tốc độ tiến dao (mm/phút)

$K_c$ : Lực cắt riêng (MPa)

$\eta$ : Hệ số máy -  $\eta = 0.9$

Vậy:  $P_c = \frac{a_p \times a_e \times v_f \times K_c}{60 \times 10^6 \times \eta} = \frac{0,5 \times 15 \times 243,2 \times 1426}{60 \times 10^6 \times 0,9} = 0,048 \text{ (kW)}$

**Bước 2: Phay mặt bên**



Hình 4.4. Nguyên công 1 – lần gá 1 – bước 2

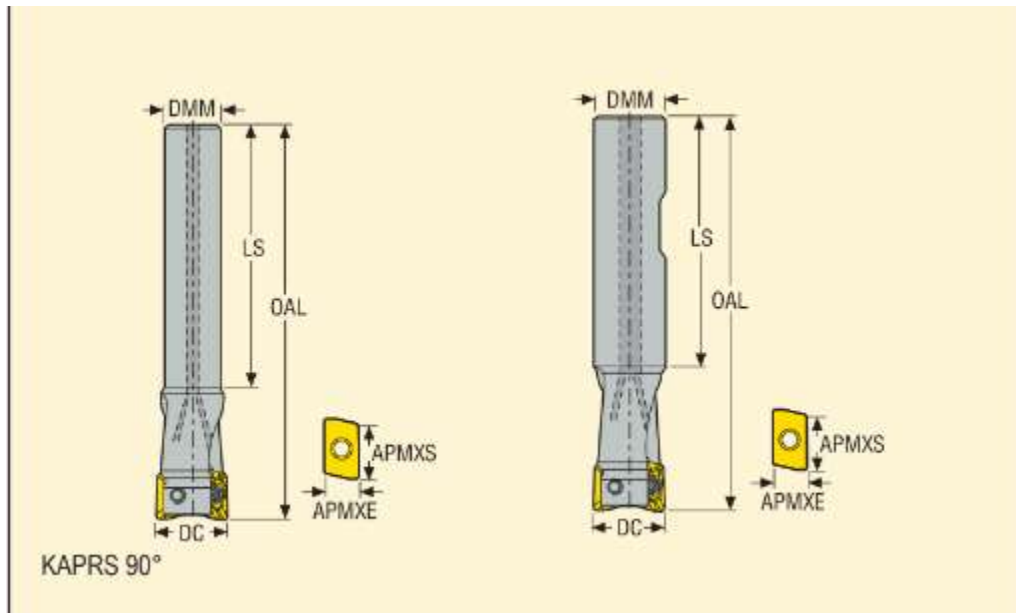
Tạo chuẩn định vị cho nguyên công 2 – lần gá 2.

Yêu cầu đến bán tinh.

Định vị 5 bậc tự do.

Bảng 4.1. Bảng thông số dao phay Turbo 12

Mã sản phẩm	Kiểu gá lắp	Kích thước theo mm					Số hạt dao
		APMXE	APMXS	DC	DMM	LS	
R217.69-0810.0-06-2N	Cán trụ	3.0	5.0	10	8	82	2



Hình 4.5. Hình biểu diễn các thông số kích thước dao phay Turbo 06

Chế độ cắt:

- Phay tinh:  $t = 26 \text{ mm}$

Trong đó:

$t$ : Tổng chiều sâu cắt.

Theo sách AZOM – Dao Phay SECO trang 23 chiều sâu cắt tối đa trong một lần cắt là:  $a_p = 2 \text{ mm}$

Chọn chiều sâu cắt:

Chiều sâu trong một lần cắt:  $a_p = 2 \text{ mm}$

Tổng số lần cắt:  $\frac{t}{a_p} = \frac{26}{2} = 13 \text{ lần.}$

Tra sách AZOM – Dao Phay SECO trang 704

$$a_e = \frac{D_o^2 - D_i^2}{4(D_i + D_c)}$$

Trong đó:

$a_e$ : Chiều rộng cắt (mm)

$D_c$ : Đường kính của dao (mm)

$D_i$ : Đường kính rãnh ban đầu (mm)

$D_o$ : Đường kính gia công (mm)

Vậy chiều rộng cắt mỗi lần đi vào phôi:  $a_e = \frac{D_o^2 - D_i^2}{4(D_i + D_c)} = 0.945 \text{ mm}$

Tra sách AZOM – Dao Phay SECO trang 26

$$\frac{a_e}{D_c} = \%$$

Trong đó:

$a_e$ : Chiều rộng cắt (mm)

$D_c$ : Đường kính của dao (mm)

$f_z$ : Bước tiến mỗi răng (mm/răng)

Vậy:  $\frac{a_e}{D_c} = 9.45\%$ . Từ đó chọn:  $f_z = 0.075 \left(\frac{\text{mm}}{\text{răng}}\right)$  tương ứng  $\frac{a_e}{D_c} = 10\%$ .

Vậy  $a_e = 1 \text{ mm}$

Bước tiến mỗi vòng:

$$f = z_n \times f_z$$

Trong đó:

$z_n$ : Số răng trên dao

$f_z$ : Bước tiến mỗi răng (mm/răng)

Vậy:  $f = 2 \times 0.075 = 0.15 \text{ mm/vòng}$

Tra sách AZOM - Dao Phay SECO trang 59

$V_c = 100 \text{ m/phút}$

Tra sách AZOM - Dao Phay SECO trang 707

Hệ số tốc độ: 1.5

Vận tốc cắt:  $V_c = 100 \times 1.5 = 150 \frac{\text{m}}{\text{phút}}$

Số vòng quay trong một phút của dao:  $n = \frac{V_c \times 1000}{\pi \times D_c} = \frac{150 \times 1000}{\pi \times 10} = 4775 \text{ vòng/phút}$

Chọn vòng quay theo thực tế:  $n = 4800 \text{ vòng/phút}$

Tốc độ thực tế:  $V_c = \frac{n \times \pi \times D_c}{1000} = \frac{4800 \times \pi \times 10}{1000} = 150.8 \text{ m/phút}$

Tốc độ tiến dao:  $v_f = \frac{(D_i + D_c) \times n \times z_c \times f_z}{D_i} = \frac{(150 - 10) \times 4800 \times 2 \times 0.075}{150} = 672 \text{ mm/phút}$

$$\text{Tỷ lệ loại bỏ kim loại: } Q = \frac{a_e \times a_p \times v_f}{1000} = \frac{1 \times 2 \times 672}{1000} = 1.344 \text{ cm}^3/\text{phút}$$

Công suất cắt:

$$P_c = \frac{a_p \times a_e \times v_f \times K_c}{60 \times 10^6 \times \eta}$$

Trong đó:

$P_c$ : Công suất cắt (kW)

$a_p$ : Chiều sâu cắt (mm)

$a_e$ : Chiều rộng cắt (mm)

$v_f$ : Tốc độ tiến dao (mm/phút)

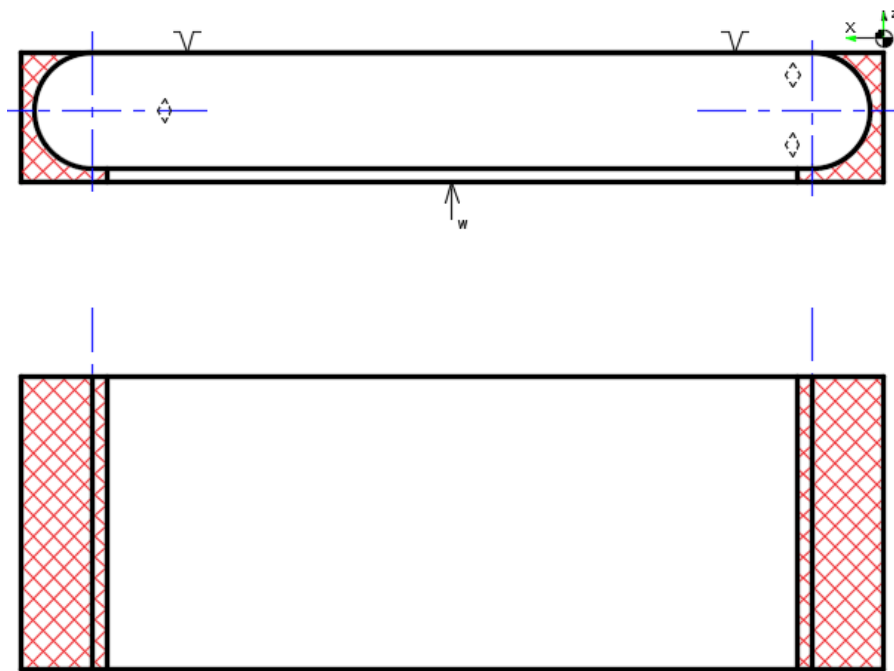
$K_c$ : Lực cắt riêng (MPa)

$\eta$ : Hệ số máy -  $\eta = 0.9$

$$\text{Vậy: } P_c = \frac{a_p \times a_e \times v_f \times K_c}{60 \times 10^6 \times \eta} = \frac{2 \times 1 \times 672 \times 2456}{60 \times 10^6 \times 0.9} = 0.06 \text{ (kW)}$$

## Nguyên công 2: lần gá 2

### Bước 1: Phay biên dạng ngoài



Hình 4.6. Nguyên công 2 – lần gá 2 – bước 1

Định vị 5 bậc tự do và có kẹp chặt.

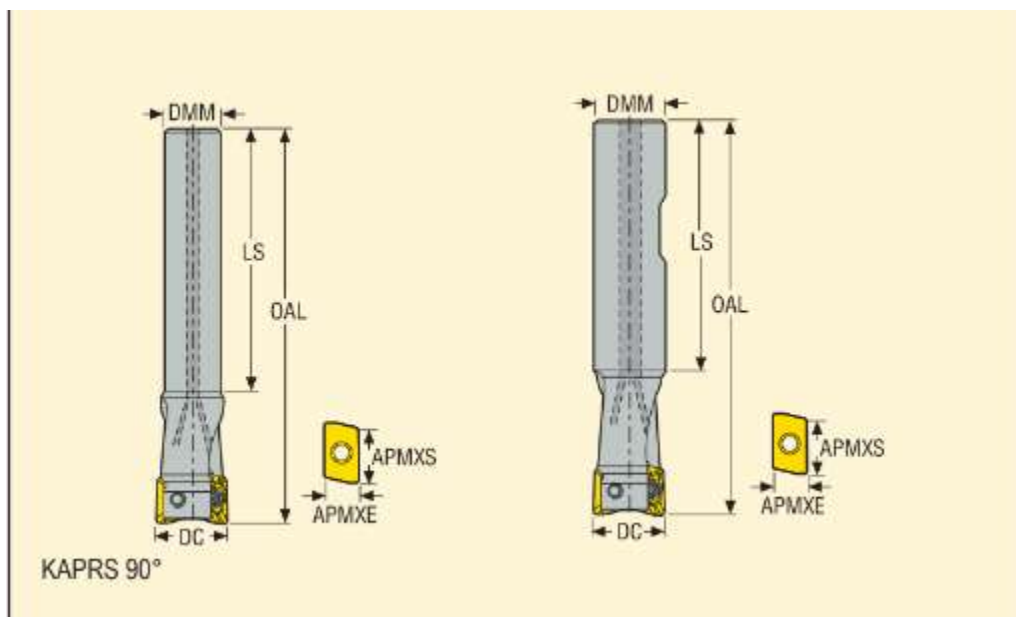
Phay biên dạng cung tròn ngoài của chi tiết.

Yêu cầu độ nhám đạt bán tinh.

Chừa lại lượng dư để định vị cho các nguyên công sau đó.

Bảng 4.5 Bảng thông số dao phay Turbo 12

Mã sản phẩm	Kiểu gá lắp	Kích thước theo mm					Số hạt dao
		APMXE	APMXS	DC	DMM	LS	
R217.69-0810.0-06-2N	Cán trụ	3.0	5.0	10	8	82	2



Hình 4.7. Hình biểu diễn các thông số kích thước dao phay Turbo 06

Chế độ cắt:

- Phay tinh:  $t = 26 \text{ mm}$

Trong đó:

$t$ : Tổng chiều sâu cắt.

Theo sách AZOM – Dao Phay SECO trang 23 chiều sâu cắt tối đa trong một lần cắt là:  $a_p = 2 \text{ mm}$

Chọn chiều sâu cắt:

Chiều sâu trong một lần cắt:  $a_p = 2 \text{ mm}$

Tổng số lần cắt:  $\frac{t}{a_p} = \frac{26}{2} = 13 \text{ lần}$ .

Tra sách AZOM – Dao Phay SECO trang 704

$$a_e = \frac{D_o^2 - D_i^2}{4(D_i + D_c)}$$

Trong đó:

$a_e$ : Chiều rộng cắt (mm)

$D_c$ : Đường kính của dao (mm)

$D_i$ : Đường kính rãnh ban đầu (mm)

$D_o$ : Đường kính gia công (mm)

Vậy chiều rộng cắt mỗi lần đi vào phôi:  $a_e = \frac{D_o^2 - D_i^2}{4(D_i + D_c)} = 0.945 \text{ mm}$

Tra sách AZOM – Dao Phay SECO trang 26

$$\frac{a_e}{D_c} = \%$$

Trong đó:

$a_e$ : Chiều rộng cắt (mm)

$D_c$ : Đường kính của dao (mm)

$f_z$ : Bước tiến mỗi răng (mm/răng)

Vậy:  $\frac{a_e}{D_c} = 9.45\%$ . Từ đó chọn:  $f_z = 0.075 \left(\frac{\text{mm}}{\text{răng}}\right)$  tương ứng  $\frac{a_e}{D_c} = 10\%$ .

Vậy  $a_e = 1 \text{ mm}$

Bước tiến mỗi vòng:

$$f = z_n \times f_z$$

Trong đó:

$z_n$ : Số răng trên dao

$f_z$ : Bước tiến mỗi răng (mm/răng)

Vậy:  $f = 2 \times 0.075 = 0.15 \text{ mm/vòng}$

Tra sách AZOM - Dao Phay SECO trang 59

$$V_c = 100 \text{ m/phút}$$

Tra sách AZOM - Dao Phay SECO trang 707

Hệ số tốc độ: 1.5

$$\text{Vận tốc cắt: } V_c = 100 \times 1.5 = 150 \frac{\text{m}}{\text{phút}}$$

$$\text{Số vòng quay trong một phút của dao: } n = \frac{V_c \times 1000}{\pi \times D_c} = \frac{150 \times 1000}{\pi \times 10} = 4775 \text{ vòng/phút}$$

Chọn vòng quay theo thực tế:  $n = 4800$  vòng/phút

$$\text{Tốc độ thực tế: } V_c = \frac{n \times \pi \times D_c}{1000} = \frac{4800 \times \pi \times 10}{1000} = 150.8 \text{ m/phút}$$

$$\text{Tốc độ tiến dao: } v_f = \frac{(D_i + D_c) \times n \times z_c \times f_z}{D_i} = \frac{(150 - 10) \times 4800 \times 2 \times 0.075}{150} = 672 \text{ mm/phút}$$

$$\text{Tỷ lệ loại bỏ kim loại: } Q = \frac{a_e \times a_p \times v_f}{1000} = \frac{1 \times 2 \times 672}{1000} = 1.344 \text{ cm}^3/\text{phút}$$

Công suất cắt:

$$P_c = \frac{a_p \times a_e \times v_f \times K_c}{60 \times 10^6 \times \eta}$$

Trong đó:

$P_c$ : Công suất cắt (kW)

$a_p$ : Chiều sâu cắt (mm)

$a_e$ : Chiều rộng cắt (mm)

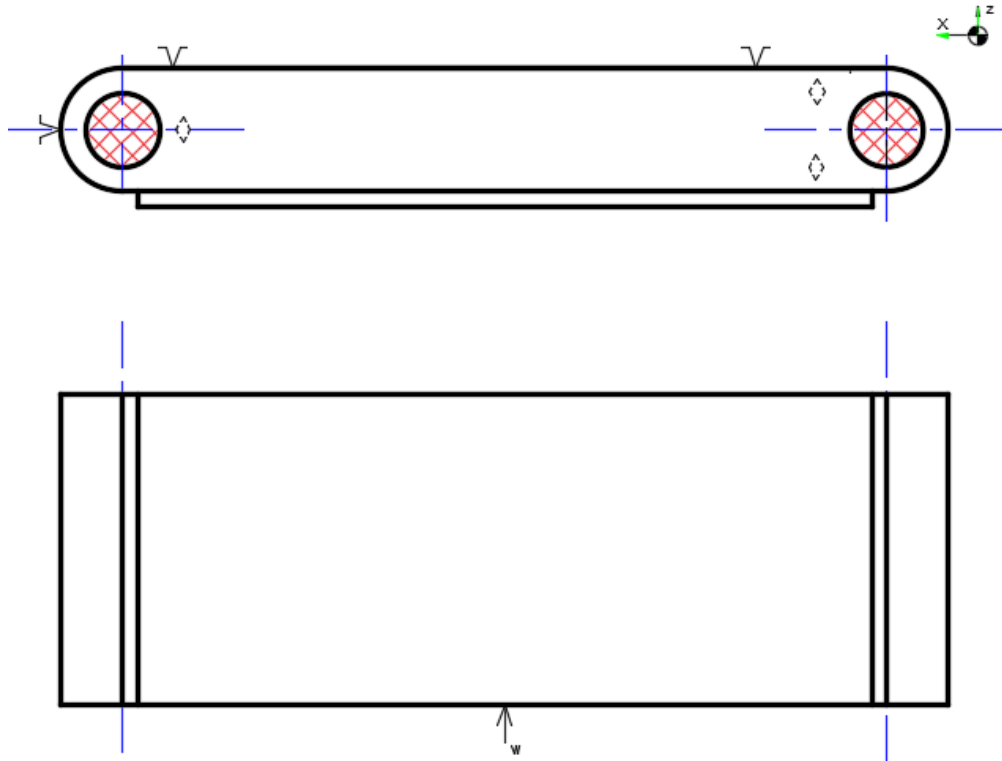
$v_f$ : Tốc độ tiến dao (mm/phút)

$K_c$ : Lực cắt riêng (MPa)

$\eta$ : Hệ số máy -  $\eta = 0.9$

$$\text{Vậy: } P_c = \frac{a_p \times a_e \times v_f \times K_c}{60 \times 10^6 \times \eta} = \frac{2 \times 1 \times 672 \times 2456}{60 \times 10^6 \times 0.9} = 0.06 \text{ (kW)}$$

**Bước 2+3: Khoan lỗ và doa**



Hình 4.8. Nguyên công 2 – lần gá 2 – bước 2,3

Đây là bề mặt làm việc chính của chi tiết.

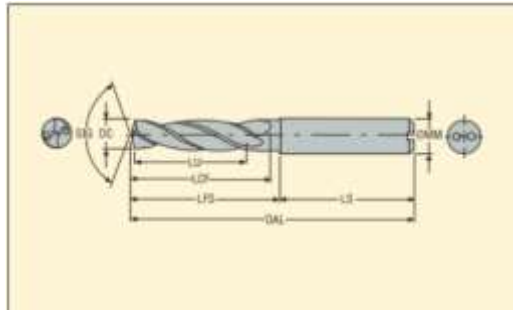
Yêu cầu đạt chuẩn tinh.

Định vị 6 bậc tự do có kẹp chặt.

Ngoài ra các lỗ phải được gia công trong cùng một bước để đảm bảo dung sai song song giữa các tâm lỗ là nhỏ nhất.

Bảng 4.2. Bảng thông số mũi khoan

Mã sản phẩm	Kiểu gá lắp	Kích thước theo mm					DMM
		DC (mm)	OAL	LFS	LS	LCF	
SD203A-3.0-14-6R1-N	Cán trụ DIN	14,5	62	26	36	20	6



Hình 4.9. Hình biểu diễn các thông số kích thước mũi khoan

Chế độ cắt:

- Khoan thô:  $t = 23 \text{ mm}$

Trong đó:

t: Tổng chiều sâu cắt.

Bước tiến mỗi vòng:  $f = 0.1 \text{ mm/vòng}$

Tra sách AZOM - Dao gia công lỗ SECO trang 123

Tốc độ cắt:  $V_c = 65 \text{ m/phút}$

Số vòng quay trong một phút của dao:  $n = \frac{V_c \times 1000}{\pi \times D_c} = \frac{65 \times 1000}{\pi \times 14.5} = 1426,34 \text{ vòng/phút}$

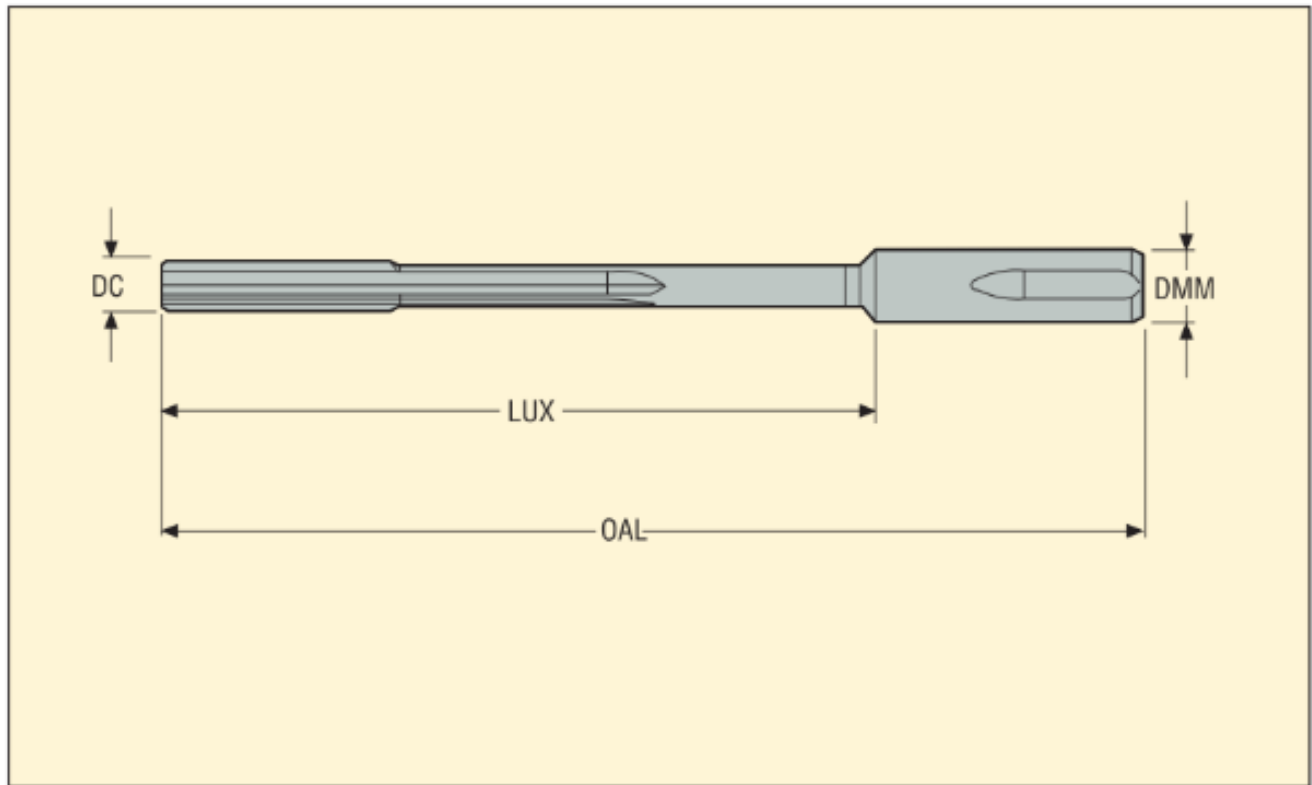
Chọn vòng quay theo thực tế:  $n = 1400 \text{ vòng/phút}$

Tốc độ thực tế:  $V_c = \frac{n \times \pi \times D_c}{1000} = \frac{1400 \times \pi \times 14,5}{1000} = 63,7 \text{ m/phút}$

Tốc độ tiến dao:  $v_f = n \times z_n \times f = 1400 \times 1 \times 0.1 = 140 \text{ mm/phút}$

Bảng 4.3. Bảng thông số mũi dao

Mã sản phẩm	Kiểu gá lắp	Kích thước theo mm				Số bánh răng Z
		DC (mm)	LUX	OAL	D <sub>mm</sub> (mm)	
NF06-3 H7-EB.	NFQF06...	15	40	60	6	4



Hình 4.10. Hình biểu diễn các thông số kích thước mũi doa

- Doa tinh:  $t = 23\text{mm}$

Trong đó:

$t$ : Tổng chiều sâu cắt.

Dựa theo thông số dao và vật liệu dao phù hợp cho gia công chi tiết, theo sách Gia công lỗ Seco ta có các thông số ban đầu như sau:

Bước tiến mỗi vòng:  $f = 0.1 - 0.2 \text{ mm/vòng}$

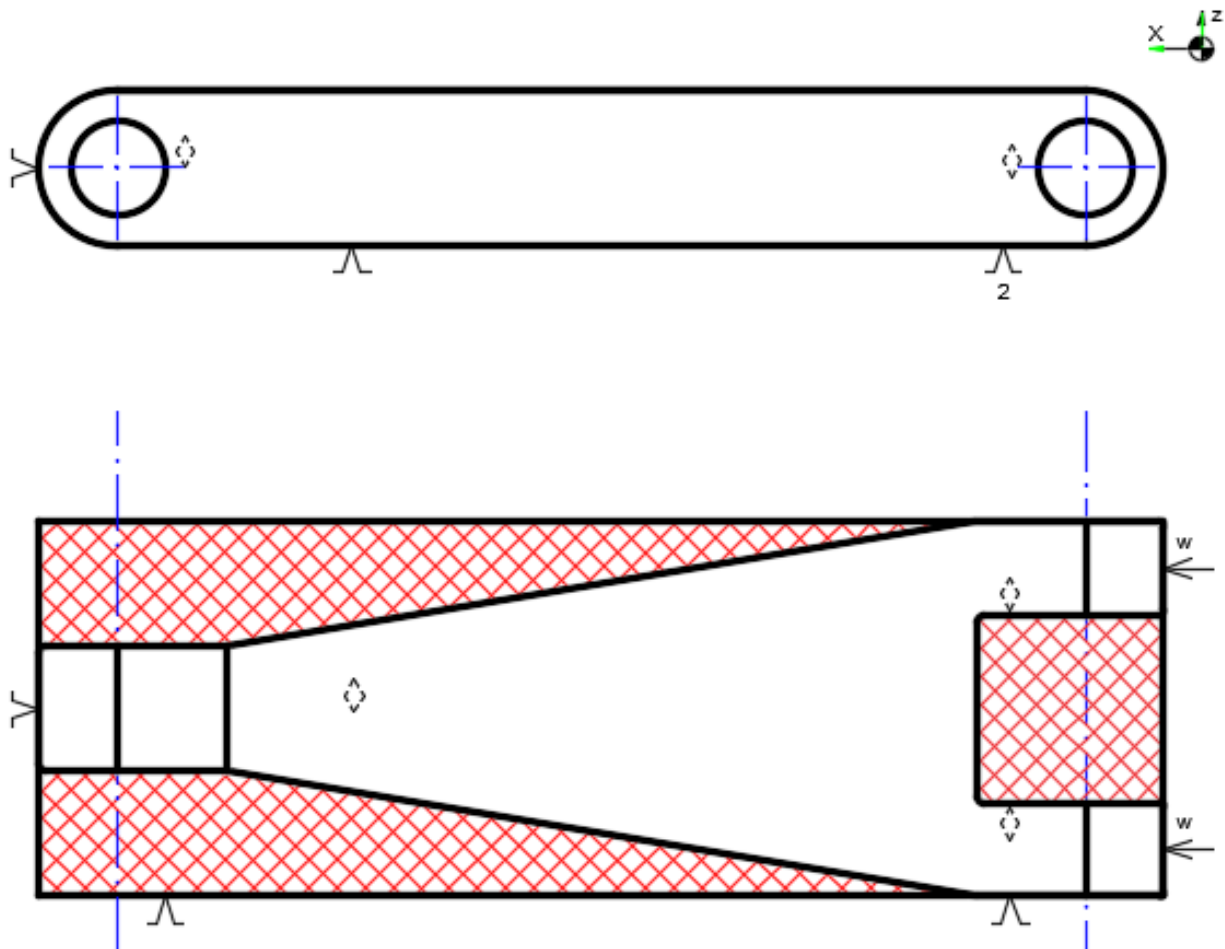
Tra sách AZOM - Dao gia công lỗ SECO, mục chế độ cắt trang 286

Tốc độ cắt:  $V_c = 10 \text{ m/phút}$

Số vòng quay trong một phút của dao:  $n = \frac{V_c \times 1000}{\pi \times D_c} = \frac{10 \times 1000}{\pi \times 3} = 1061 \text{ vòng/phút}$

Tốc độ tiến dao:  $v_f = n \times z_n \times f = 1061 \times 1 \times 0.1 = 106 \text{ mm/phút}$

**Bước 4: Phay biên dạng ngoài**



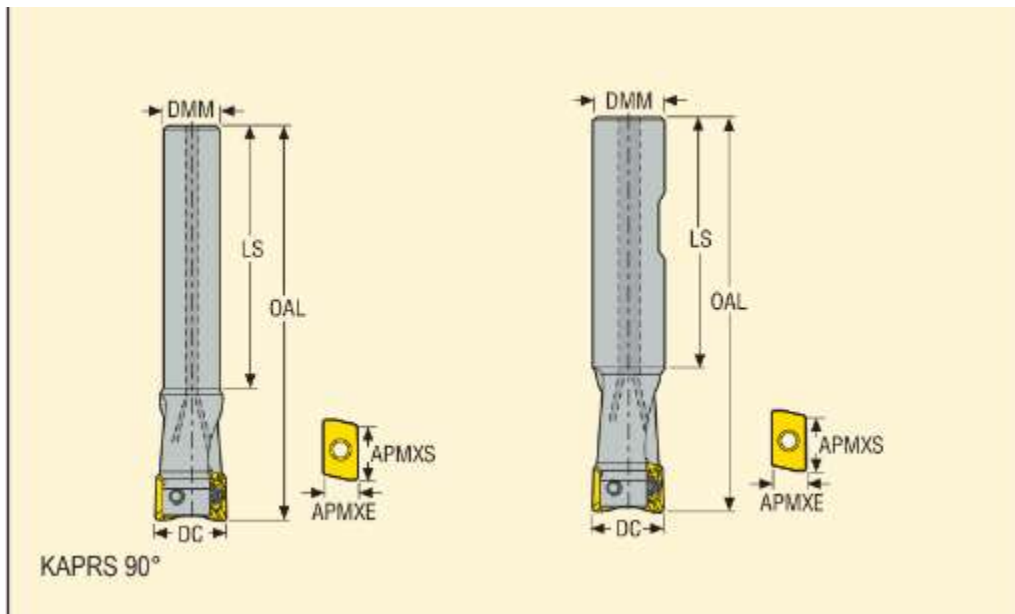
Hình 4.11. Nguyên công 2 – lần gá 2 bước 4

Định vị 6 bậc tự do.

Yêu cầu độ nhám đạt tinh.

Bảng 4.8. Bảng thông số dao phay Turbo 12

Mã sản phẩm	Kiểu gá lắp	Kích thước theo mm					Số hạt dao
		APMXE	APMXS	DC	DMM	LS	
R217.69-0810.0-06-2N	Cán trụ	3.0	5.0	10	8	82	2



Hình 4.12. Hình biểu diễn các thông số kích thước dao phay Turbo 06

Chế độ cắt:

- Phay tinh:  $t = 20 \text{ mm}$

Trong đó:

$t$ : Tổng chiều sâu cắt.

Theo sách AZOM – Dao Phay SECO trang 23 chiều sâu cắt tối đa trong một lần cắt là:  $a_p = 2 \text{ mm}$

Chọn chiều sâu cắt:

Chiều sâu trong một lần cắt:  $a_p = 2 \text{ mm}$

Tổng số lần cắt:  $\frac{t}{a_p} = \frac{20}{2} = 10 \text{ lần}$ .

Tra sách AZOM – Dao Phay SECO trang 704

$$a_e = \frac{D_o^2 - D_i^2}{4(D_i + D_c)}$$

Trong đó:

$a_e$ : Chiều rộng cắt (mm)

$D_c$ : Đường kính của dao (mm)

$D_i$ : Đường kính rãnh ban đầu (mm)

$D_o$ : Đường kính gia công (mm)

Vậy chiều rộng cắt mỗi lần đi vào phôi:  $a_e = \frac{D_o^2 - D_i^2}{4(D_i + D_c)} = 0.945 \text{ mm}$

Tra sách AZOM – Dao Phay SECO trang 26

$$\frac{a_e}{D_c} = \%$$

Trong đó:

$a_e$ : Chiều rộng cắt (mm)

$D_c$ : Đường kính của dao (mm)

$f_z$ : Bước tiến mỗi răng (mm/răng)

Vậy:  $\frac{a_e}{D_c} = 9.45\%$ . Từ đó chọn:  $f_z = 0.075 \left(\frac{\text{mm}}{\text{răng}}\right)$  tương ứng  $\frac{a_e}{D_c} = 10\%$ .

Vậy  $a_e = 1 \text{ mm}$

Bước tiến mỗi vòng:

$$f = z_n \times f_z$$

Trong đó:

$z_n$ : Số răng trên dao

$f_z$ : Bước tiến mỗi răng (mm/răng)

Vậy:  $f = 2 \times 0.075 = 0.15 \text{ mm/vòng}$

Tra sách AZOM - Dao Phay SECO trang 59

$V_c = 100 \text{ m/phút}$

Tra sách AZOM - Dao Phay SECO trang 707

Hệ số tốc độ: 1.5

Vận tốc cắt:  $V_c = 100 \times 1.5 = 150 \frac{\text{m}}{\text{phút}}$

Số vòng quay trong một phút của dao:  $n = \frac{V_c \times 1000}{\pi \times D_c} = \frac{150 \times 1000}{\pi \times 10} = 4775 \text{ vòng/phút}$

Chọn vòng quay theo thực tế:  $n = 4800 \text{ vòng/phút}$

Tốc độ thực tế:  $V_c = \frac{n \times \pi \times D_c}{1000} = \frac{4800 \times \pi \times 10}{1000} = 150.8 \text{ m/phút}$

Tốc độ tiến dao:  $v_f = \frac{(D_i + D_c) \times n \times z_c \times f_z}{D_i} = \frac{(150 - 10) \times 4800 \times 2 \times 0.075}{150} = 672 \text{ mm/phút}$

Tỷ lệ loại bỏ kim loại:  $Q = \frac{a_e \times a_p \times v_f}{1000} = \frac{1 \times 2 \times 672}{1000} = 1.344 \text{ cm}^3/\text{phút}$

Công suất cắt:

$$P_c = \frac{a_p \times a_e \times v_f \times K_c}{60 \times 10^6 \times \eta}$$

Trong đó:

$P_c$ : Công suất cắt (kW)

$a_p$ : Chiều sâu cắt (mm)

$a_e$ : Chiều rộng cắt (mm)

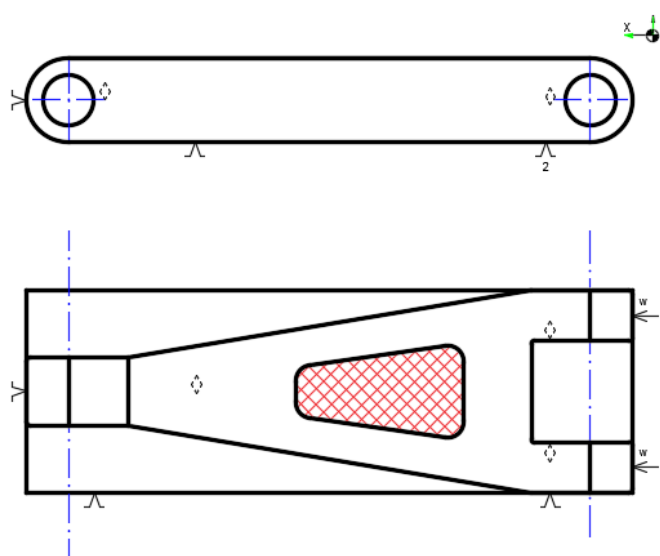
$v_f$ : Tốc độ tiến dao (mm/phút)

$K_c$ : Lực cắt riêng (MPa)

$\eta$ : Hệ số máy -  $\eta = 0.9$

Vậy:  $P_c = \frac{a_p \times a_e \times v_f \times K_c}{60 \times 10^6 \times \eta} = \frac{2 \times 1 \times 672 \times 2456}{60 \times 10^6 \times 0.9} = 0.06 \text{ (kW)}$

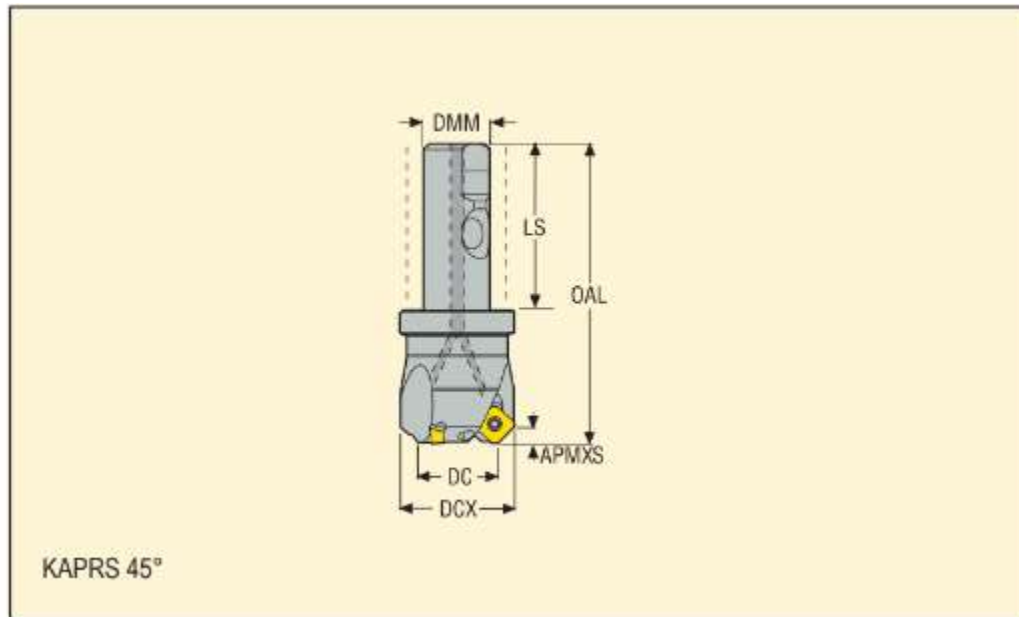
**Bước 5: Phay hốc**



Hình 4.13. Nguyên công 2 – lần gá 2 – bước 5

Bảng 4.9. Bảng thông số dao phay Quattromil

Mã sản phẩm	Kiểu gá lắp	Kích thước theo mm					Số hạt dao
		AMPXS	DCX	DC	DMM	LS	
R217.53-520.3S-09-2A	Đầu cặp dao	4,5	30	5	20	50	2



Hình 4.14. Hình biểu diễn thông số dao Quattromil

Chế độ cắt:

- Phay thô:  $t = 26 \text{ mm}$

Trong đó:

$t$ : Tổng chiều sâu cắt.

Theo sách AZOM – Dao Phay SECO trang 138 chiều sâu cắt tối đa trong một lần cắt là:

$a_p = 2 \text{ mm}$ .

Chọn chiều sâu cắt:

Chiều sâu trong một lần cắt:  $a_p = 2 \text{ mm}$

Tổng số lần cắt:  $\frac{t}{a_p} = \frac{26}{2} = 13 \text{ lần}$

Lượng dư gia công  $0.5 \text{ mm}$

Tra sách AZOM – Dao Phay SECO trang 138

$$\frac{a_e}{D_c} = \%$$

Trong đó:

$a_e$ : Chiều rộng cắt (mm)

$D_c$ : Đường kính của dao (mm)

$f_z$ : Bước tiến mỗi răng (mm/răng)

$f_z = 0.11 - 0.2 \left(\frac{mm}{răng}\right)$  tương ứng  $\frac{a_e}{D_c} = 10\% - 100\%$ . Từ đó chọn:  $f_z = 0.19 \left(\frac{mm}{răng}\right)$  tương

ứng  $\frac{a_e}{D_c} = 10\%$ .

Vậy  $a_e = 2mm$

Bước tiến mỗi vòng:

$$f = z_n \times f_z$$

Trong đó:

$z_n$ : Số răng trên dao

$f_z$ : Bước tiến mỗi răng (mm/răng)

Vậy:  $f = 2 \times 0.19 = 0.38 \text{ mm/vòng}$

Tra sách AZOM - Dao Phay SECO trang 139

$V_c = 60 \text{ m/phút}$

Tra sách AZOM - Dao Phay SECO trang 707

Số vòng quay trong một phút của dao:  $n = \frac{V_c \times 1000}{\pi \times D_c} = \frac{60 \times 1000}{\pi \times 5} = 3819,7 \text{ vòng/phút}$

Chọn vòng quay theo thực tế:  $n = 3800 \text{ vòng/phút}$

Tốc độ thực tế:  $V_c = \frac{n \times \pi \times D_c}{1000} = \frac{3800 \times \pi \times 5}{1000} = 59,7 \text{ m/phút}$

Tốc độ tiến dao:  $v_f = n \times z_n \times f_z = 3800 \times 2 \times 0.19 = 1444 \text{ mm/phút}$

Tỷ lệ loại bỏ kim loại:  $Q = \frac{a_e \times a_p \times v_f}{1000} = \frac{2 \times 2 \times 1444}{1000} = 722 \text{ cm}^3/\text{phút}$

Công suất cắt:

$$P_c = \frac{a_p \times a_e \times v_f \times K_c}{60 \times 10^6 \times \eta}$$

Trong đó:

$P_c$ : Công suất cắt (kW)

$a_p$ : Chiều sâu cắt (mm)

$a_e$ : Chiều rộng cắt (mm)

$v_f$ : Tốc độ tiến dao (mm/phút)

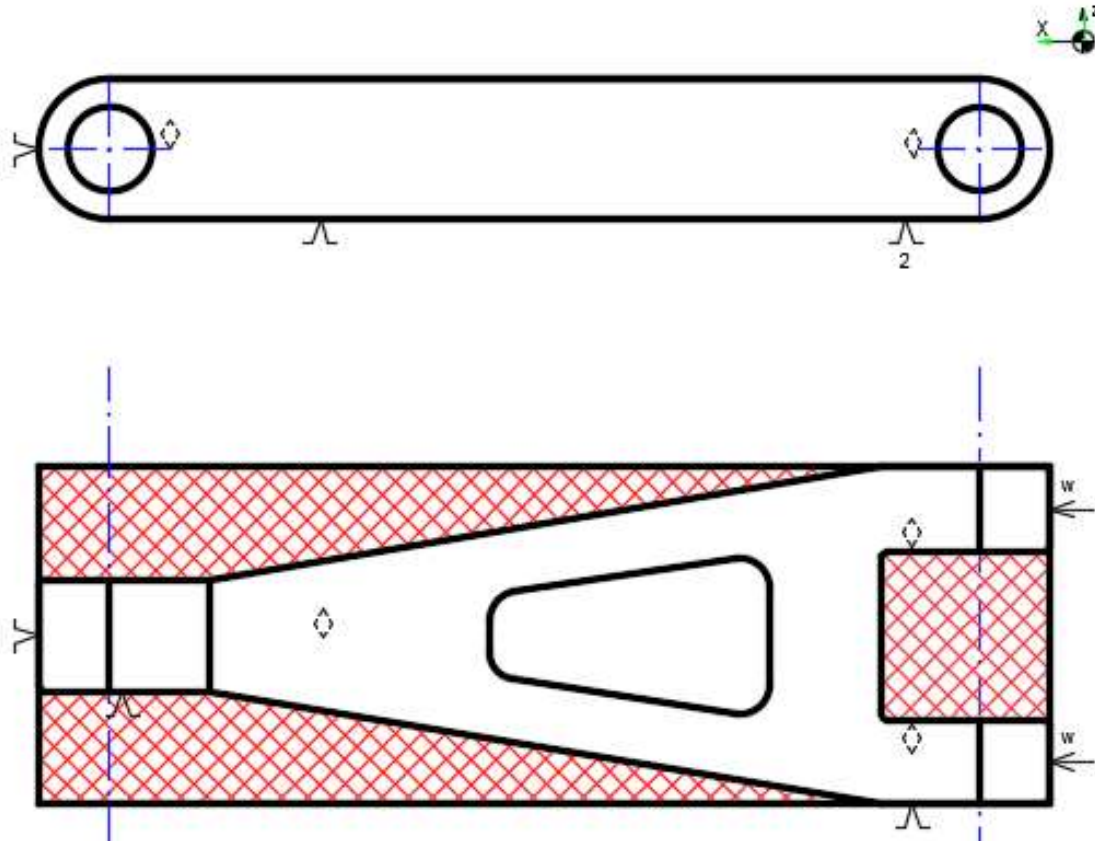
$K_c$ : Lực cắt riêng (MPa)

$\eta$ : Hệ số máy -  $\eta = 0.9$

Vậy:  $P_c = \frac{a_p \times a_e \times v_f \times K_c}{60 \times 10^6 \times \eta} = \frac{2 \times 2 \times 1444 \times 2232}{60 \times 10^6 \times 0.9} = 0.18 \text{ (kW)}$

**Nguyên công 3 – lần gá 3:**

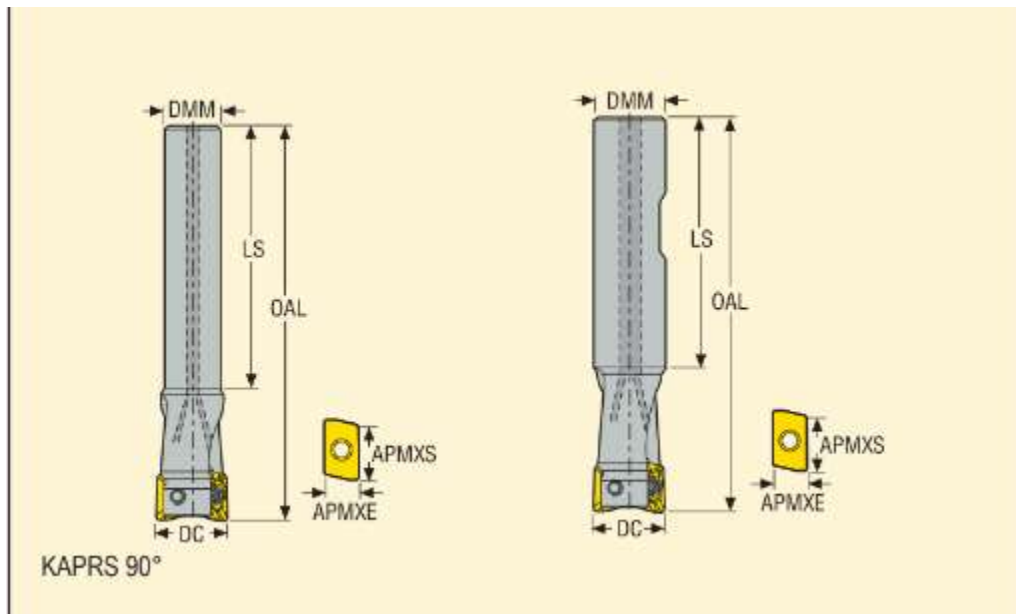
**Bước 1: Phay phần dư**



Hình 4.15. Nguyên công 3 – lần gá 3 – bước 1

Bảng 4.10. Bảng thông số dao phay Quattromil

Mã sản phẩm	Kiểu gá lắp	Kích thước theo mm					Số hạt dao
		APMXE	APMXS	DC	DMM	LS	
R217.69-0810.0-06-2N	Cán trụ	3.0	5.0	10	8	82	2



Hình 4.16. Hình biểu diễn thông số dao Quattromil

Chế độ cắt:

- Phay tinh:  $t = 20 \text{ mm}$

Trong đó:

$t$ : Tổng chiều sâu cắt.

Theo sách AZOM – Dao Phay SECO trang 23 chiều sâu cắt tối đa trong một lần cắt là:  $a_p = 2 \text{ mm}$

Chọn chiều sâu cắt:

Chiều sâu trong một lần cắt:  $a_p = 2 \text{ mm}$

Tổng số lần cắt:  $\frac{t}{a_p} = \frac{20}{2} = 10 \text{ lần}$ .

Tra sách AZOM – Dao Phay SECO trang 704

$$a_e = \frac{D_o^2 - D_i^2}{4(D_i + D_c)}$$

Trong đó:

$a_e$ : Chiều rộng cắt (mm)

$D_c$ : Đường kính của dao (mm)

$D_i$ : Đường kính rãnh ban đầu (mm)

$D_o$ : Đường kính gia công (mm)

Vậy chiều rộng cắt mỗi lần đi vào phôi:  $a_e = \frac{D_o^2 - D_i^2}{4(D_i + D_c)} = 0.945 \text{ mm}$

Tra sách AZOM – Dao Phay SECO trang 26

$$\frac{a_e}{D_c} = \%$$

Trong đó:

$a_e$ : Chiều rộng cắt (mm)

$D_c$ : Đường kính của dao (mm)

$f_z$ : Bước tiến mỗi răng (mm/răng)

Vậy:  $\frac{a_e}{D_c} = 9.45\%$ . Từ đó chọn:  $f_z = 0.075 \left(\frac{\text{mm}}{\text{răng}}\right)$  tương ứng  $\frac{a_e}{D_c} = 10\%$ .

Vậy  $a_e = 1 \text{ mm}$

Bước tiến mỗi vòng:

$$f = z_n \times f_z$$

Trong đó:

$z_n$ : Số răng trên dao

$f_z$ : Bước tiến mỗi răng (mm/răng)

Vậy:  $f = 2 \times 0.075 = 0.15 \text{ mm/vòng}$

Tra sách AZOM - Dao Phay SECO trang 59

$V_c = 100 \text{ m/phút}$

Tra sách AZOM - Dao Phay SECO trang 707

Hệ số tốc độ: 1.5

Vận tốc cắt:  $V_c = 100 \times 1.5 = 150 \frac{\text{m}}{\text{phút}}$

Số vòng quay trong một phút của dao:  $n = \frac{V_c \times 1000}{\pi \times D_c} = \frac{150 \times 1000}{\pi \times 10} = 4775 \text{ vòng/phút}$

Chọn vòng quay theo thực tế:  $n = 4800 \text{ vòng/phút}$

Tốc độ thực tế:  $V_c = \frac{n \times \pi \times D_c}{1000} = \frac{4800 \times \pi \times 10}{1000} = 150.8 \text{ m/phút}$

Tốc độ tiến dao:  $v_f = \frac{(D_i + D_c) \times n \times z_c \times f_z}{D_i} = \frac{(150 - 10) \times 4800 \times 2 \times 0.075}{150} = 672 \text{ mm/phút}$

Tỷ lệ loại bỏ kim loại:  $Q = \frac{a_e \times a_p \times v_f}{1000} = \frac{1 \times 2 \times 672}{1000} = 1.344 \text{ cm}^3/\text{phút}$

Công suất cắt:

---

---

$$P_c = \frac{a_p \times a_e \times v_f \times K_c}{60 \times 10^6 \times \eta}$$

Trong đó:

$P_c$ : Công suất cắt (kW)

$a_p$ : Chiều sâu cắt (mm)

$a_e$ : Chiều rộng cắt (mm)

$v_f$ : Tốc độ tiến dao (mm/phút)

$K_c$ : Lực cắt riêng (MPa)

$\eta$ : Hệ số máy -  $\eta = 0.9$

Vậy:  $P_c = \frac{a_p \times a_e \times v_f \times K_c}{60 \times 10^6 \times \eta} = \frac{2 \times 1 \times 672 \times 2456}{60 \times 10^6 \times 0.9} = 0.06 \text{ (kW)}$

## CHƯƠNG V: KẾT LUẬN

Sau một thời gian nghiên cứu và làm việc nghiêm túc, đề án “**Thiết kế quy trình công nghệ chế tạo và mô phỏng cơ cấu chống xoay càng đáp**” đã hoàn thành và đạt được những kết quả sau:

- Đề án đã tổng hợp và hệ thống hóa kiến thức cơ bản về kết cấu máy bay, các yêu cầu kỹ thuật và quy trình chế tạo, lắp ráp.

- Xây dựng một quy trình công nghệ chế tạo các chi tiết cho cụm giá treo động cơ máy bay dựa trên các tiêu chuẩn kỹ thuật và công nghệ. Quy trình này bao gồm từ việc chọn vật liệu, thiết bị gia công và lập trình mô phỏng gia công trong sản xuất máy bay đến mô phỏng hoạt động của cơ cấu.

- Trong quá trình thực hiện đề án, em đã có cơ hội làm quen với các công việc cụ thể mà một kỹ sư cơ khí sẽ đảm nhận trong tương lai. Điều này không chỉ giúp em hiểu rõ hơn về quy trình và kỹ năng cần thiết trong ngành mà còn rèn luyện cho em các phương pháp làm việc độc lập, sáng tạo và kỷ luật.

- Trong suốt quá trình này, em đã củng cố và mở rộng thêm những kiến thức đã học, đồng thời tiếp thu được nhiều kinh nghiệm thực tế và quý báu. Những trải nghiệm này không chỉ giúp em tự tin hơn trong công việc sau này mà còn làm nền tảng vững chắc cho các nghiên cứu và dự án tiếp theo. Tuy nhiên, do thời gian có hạn và kiến thức thực tế còn nhiều hạn chế, đề án của em chắc chắn không tránh khỏi những thiếu sót và hạn chế. Em rất mong nhận được sự góp ý và chỉ bảo từ quý thầy cô để em có thể hoàn thiện hơn nữa đề án của mình.

Cuối cùng, em xin chân thành cảm ơn sự hướng dẫn tận tình của thầy **PGS.TS Tào Quang Bảng** trong quá trình thực hiện đề án này.

Em xin chân thành cảm ơn!

---

---

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] *Sổ tay Công nghệ chế tạo máy 1, 2, 3- Nguyễn Đắc Lộc*
- [2] *Giáo trình Dung sai lắp ghép và kỹ thuật đo lường- Ninh Đức Tồn*
- [3] Gözde Aydın<sup>1</sup>, İbrahim Özkol, “Structural Analysis of the Nose Landing Gear of a Fighter Aircraft”, *European Journal of Science and Technology Special Issue 43*, pp. 126-135, November 2022
- [4] Arif Krisbudiman<sup>a</sup>, Khairu Rezqi<sup>a</sup>, Rismu Landung Gumilang<sup>a</sup>, Mohamad Dahsyat<sup>b</sup>, Harris Zenal<sup>a</sup> Andi Muhdiar Kadir<sup>a</sup>, Edy Yulianto, “Structural Design Analysis Torque Links of Nose Landing Gear on Light Aircraft”, *international journal on advanced science engineering information technology*, Vol.14 (2024) No. 2
- [5] Vishnu Srinivasan S, Vishnu K, Shoman Raj, Naveen VP, Arun Raja Kk, “Fatigue Analysis of Torque Link in Landing Gear”, *International Journal of Advances in Engineering and Management (IJAEM) Volume 3, Issue 11 Nov 2021*, pp: 54-64
- [6] CLAIRE MILLER, *Material Design Analysis of a Trunnion*, *turbofuture*, April 15, 2023, <https://turbofuture.com/industrial/Material-Design-Analysis-of-a-Trunnion>
- [7] Shengyong Gan, Xingbo Fang and Xiaohui Wei, “Parametric Analysis on Landing Gear Strut Friction of Light Aircraft for Touchdown Performance”, *Appl. Sci.* 2021
- [8] DAO PHAY SECO MANUAL