

TRƯỜNG ĐẠI HỌC MỎ - ĐỊA CHẤT
BỘ MÔN KỸ THUẬT CƠ KHÍ



BÁO CÁO HỌC THUẬT

Đề tài: Phương pháp số trong phân tích biến dạng chi tiết cơ khí

Người thực hiện: **Trần Đức Huân**

Đơn vị: **Bộ môn Kỹ thuật Cơ khí**

Hà Nội, 6/2023

MỤC LỤC

CHƯƠNG 1. MỞ ĐẦU.....	2
1.1 Lý do chọn đề tài	2
1.2 Mục tiêu đề tài.....	2
CHƯƠNG 2. TỔNG QUAN PHƯƠNG PHÁP SỐ	3
2.1 Khái niệm phương pháp số	3
2.2 Phương pháp phần tử hữu hạn.....	3
CHƯƠNG 3. ỨNG DỤNG.....	9
3.1 Thông số chi tiết.....	9
3.2 Phân tích chi tiết bằng phần mềm ANSYS MECHANICAL.....	9
KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ.....	16

CHƯƠNG 1. MỞ ĐẦU

1.1 Lý do chọn đề tài

Với sự phát triển của các phương pháp tính toán ứng dụng trong cơ khí, sử dụng phương pháp số là một trong những lựa chọn được các kỹ sư, chuyên gia trong lĩnh vực cơ khí sử dụng rộng rãi hiện nay.

Với đề tài *Phương pháp số trong phân tích biến dạng chi tiết cơ khí* tác giả mong muốn nêu ra tổng quan về phương pháp số và một vài ví dụ ứng dụng.

1.2 Mục tiêu đề tài

- Nêu tổng quan về phương pháp số trong phân tích và mô phỏng cơ khí
- Nêu một vài ví dụ minh họa

CHƯƠNG 2. TỔNG QUAN PHƯƠNG PHÁP SỐ

2.1 Khái niệm phương pháp số

Phương pháp số là một lĩnh vực của toán học chuyên nghiên cứu các phương pháp giải các bài toán (chủ yếu là gần đúng) bằng cách dựa trên những dữ liệu số cụ thể và cho kết quả cũng dưới dạng số. Nói gọn hơn, phương pháp số như bản thân tên gọi của nó, có nghĩa là phương pháp giải các bài toán bằng những con số cụ thể.

Ngày nay phần lớn các công việc tính toán đều được thực hiện trên máy tính. Tuy vậy thực tế chứng tỏ rằng, việc áp dụng các thuật toán và phương pháp tính toán khác nhau có thể cho tốc độ tính toán và độ chính xác rất khác nhau. Lấy ví dụ đơn giản như tính định thức của ma trận chẳng hạn, nếu tính trực tiếp theo định nghĩa thì việc tính định thức của một ma trận vuông cấp 25 cũng mất hàng triệu năm (ngay cả với máy tính hiện đại nhất hiện nay); trong khi đó nếu sử dụng phương pháp khử Gauss thì kết quả nhận được gần như tức thời.

Như vậy, phương pháp số là công cụ không thể thiếu trong các công việc cần thực hiện nhiều tính toán với tốc độ tính toán nhanh và độ chính xác cao như vật lý, điện tử viễn thông, ... và dĩ nhiên trong lĩnh vực cơ khí, các mô phỏng và phân tích biến dạng chi tiết cơ khí hiện nay đã ứng dụng những thành tựu của phương pháp số để nâng cao hiệu quả, hiệu suất thực hiện.

Trong lĩnh vực cơ khí, có hai phương pháp số được sử dụng rộng rãi nhất bao gồm:

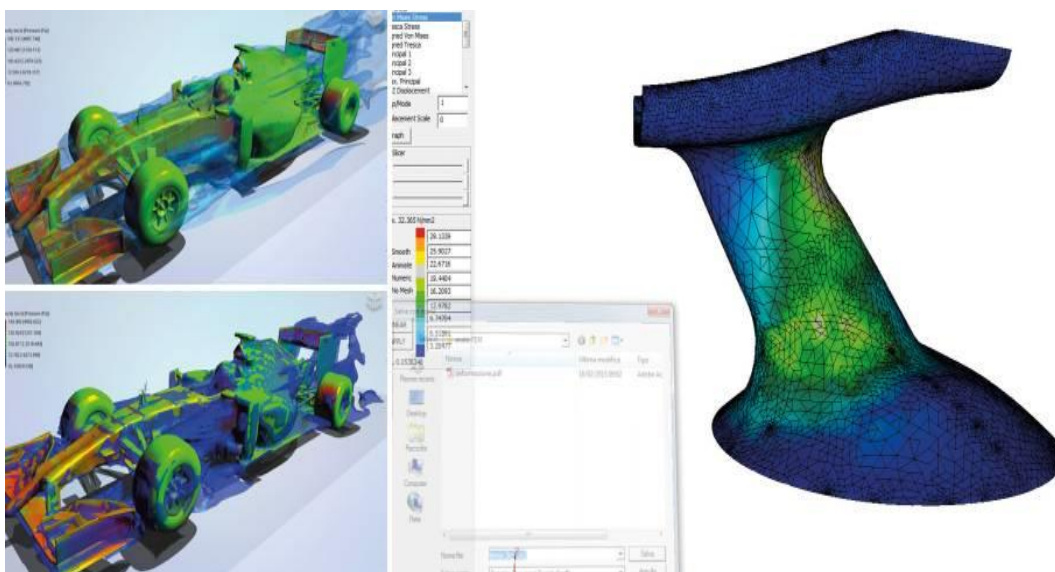
- Phương pháp phần tử hữu hạn (Finite Element Method - FEM)
- Phương pháp thể tích hữu hạn (Finite Volume Method – FVM)

tuy nhiên, phương pháp được sử dụng rộng rãi nhất là phương pháp phần tử hữu hạn.

Đề tài này tập trung vào việc giới thiệu về phương pháp phần tử hữu hạn và ứng dụng của nó.

2.2 Phương pháp phần tử hữu hạn

Phương pháp phần tử hữu hạn (FEM), là một phương pháp số gần đúng để giải các bài toán về kỹ thuật và vật lý toán học. Các vấn đề được quan tâm bao gồm phân tích kết cấu, truyền nhiệt, lưu chất, truyền khối và điện thế.



Phương pháp giải tích cho bài toán thường đòi hỏi giải pháp cho bài toán giá trị biên cho phương trình vi phân từng phần. Phương thức phần tử hữu hạn xây dựng kết quả bài toán trong một hệ phương trình đại số. Phương thức này đưa ra các giá trị gần đúng của các ẩn tại một số phần tử rời rạc trên miền xác định.[1] Để giải bài toán, chia nhỏ nó thành nhiều miền con (phần tử), đơn giản hơn được gọi là các phần tử hữu hạn. Các phương trình đơn giản mô hình hóa các phần tử hữu hạn này sau đó được tập hợp thành một hệ phương trình lớn hơn mô hình hóa toàn bộ vấn đề. Sau đó, FEM sử dụng các phương pháp biến đổi từ phép tính các biến thể để giải hệ phương trình này sẽ tìm được các giá trị của hàm xấp xỉ tại các điểm nút của mỗi phần tử, nhờ đó hàm xấp xỉ hoàn toàn được xác định trên mỗi một phần tử.

Nghiên cứu hoặc phân tích hiện tượng với FEM thường được gọi là phân tích phần tử hữu hạn (FEA).

Lịch sử ra đời và phát triển

Phương pháp phần tử hữu hạn bắt nguồn từ sự cần thiết phải giải quyết các bài toán phức tạp về lý thuyết đàn hồi, phân tích kết cấu trong xây dựng và kỹ thuật hàng không. Nó được bắt đầu và phát triển bởi A. Hrennikoff và R. Courant vào đầu những năm 1940. Một nhà tiên phong khác là Ioannis Argyris. Ở Liên Xô, sự ra đời của ứng dụng thực tế của phương pháp này thường được nhắc đến với tên của Leonard Oganessian. Ở Trung Quốc, vào những năm 1950 và đầu những năm 1960, dựa trên tính toán các công trình đập, K. Feng đã đề xuất một phương pháp số có hệ thống để giải các phương trình vi phân từng phần. Phương pháp này được gọi là phương pháp sai phân hữu hạn dựa trên nguyên tắc biến đổi, đó là một phát minh độc lập khác của phương pháp phần tử hữu hạn. Mặc dù các phương pháp tiếp cận được sử dụng bởi những người tiên phong này là khác nhau, họ đều

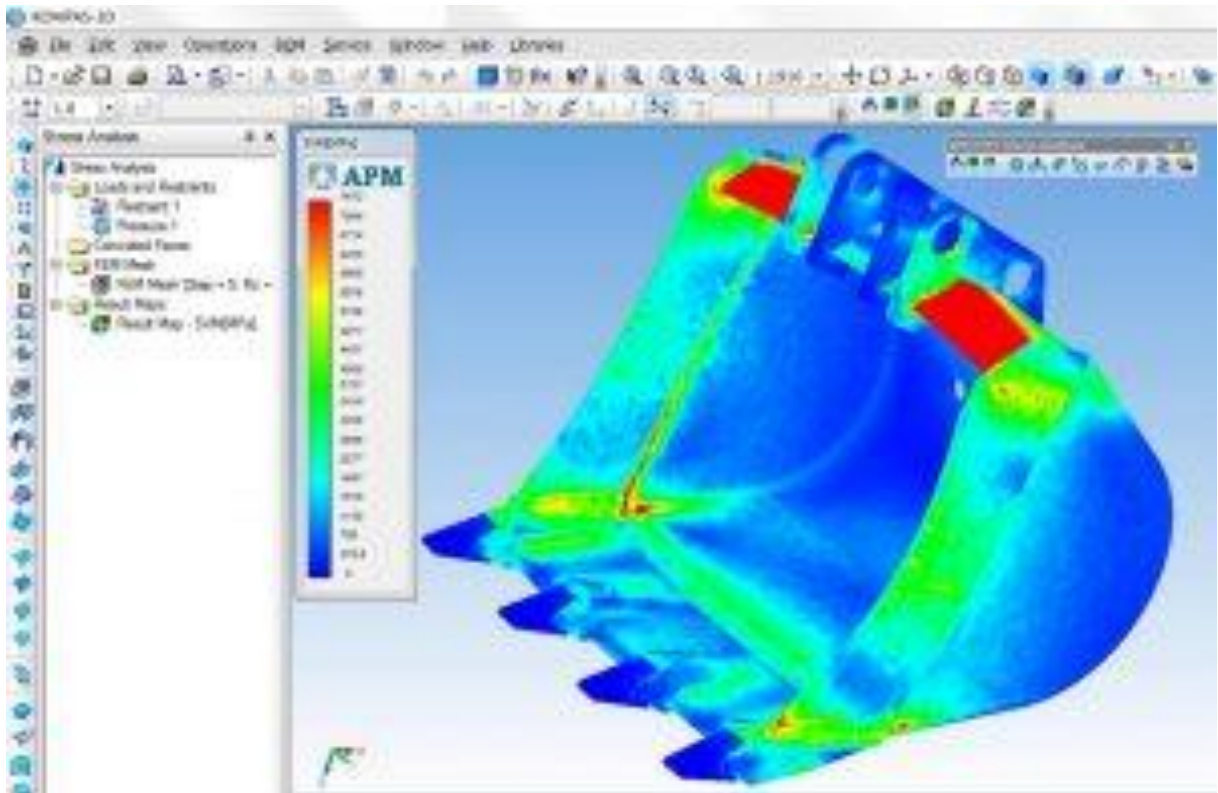
có chung một quan điểm: chia lưới của một miền liên tục thành một tập hợp các tên miền con rời rạc, thường được gọi là các phần tử.

Hrennikoff rời rạc hóa miền liên tục bằng cách sử dụng lưới tương tự, trong khi Courant chia lưới tam giác cho cách giải thứ hai của phương trình vi phân từng phần (PDEs) nó được phát sinh từ bài toán xoắn của một hình trụ. Đóng góp của Courant là là một bước tiến, từ kết quả trước đó cho các PDE được phát triển bởi Rayleigh, Ritz và Galerkin.

Phương pháp phần tử hữu hạn chính thức phát triển trong những năm 1960 và 1970 bởi sự mở rộng của JH Argyris với đồng nghiệp tại Đại học Stuttgart, RW Clough với đồng nghiệp tại UC Berkeley, OC Zienkiewicz với đồng nghiệp Ernest Hinton, Bruce Irons và những người khác tại Đại học Swansea, Philippe G. Ciarlet tại Đại học Paris 6 và Richard Gallagher cùng với các đồng nghiệp tại Đại học Cornell. Nhiều sự phát minh mới đã được đưa ra trong những năm này với sự có sẵn của những phần mềm mở có giá trị. NASA tài trợ phiên bản gốc của NASTRAN, UC Berkeley triển khai Chương trình Phần tử hữu hạn SAP IV một cách rộng rãi. Tại Na Uy, Det Norske Veritas (nay là DNV GL) đã phát triển Sesam vào năm 1969 để sử dụng trong phân tích tàu thủy. Một cơ sở toán học nghiêm ngặt cho phương pháp phần tử hữu hạn được cung cấp vào năm 1973 bằng việc xuất bản Strang và Fix. Phương pháp này đã được khái quát hóa để mô hình hóa lượng lớn phương pháp vật lý trong nhiều ngành kỹ thuật khác nhau, ví dụ như điện từ, truyền nhiệt và động lực học chất lỏng.

Ứng dụng

Một loạt các chuyên ngành thuộc lĩnh vực kỹ thuật cơ khí (như ngành hàng không, cơ khí, ô tô,..) thường sử dụng FEM tích hợp trong thiết kế và phát triển sản phẩm. Một số phần mềm FEM hiện đại bao gồm các thành phần cụ thể như môi trường làm việc nhiệt, điện từ, chất lỏng và cấu trúc. Trong một mô phỏng cấu trúc, FEM giúp rất nhiều trong việc tạo ra độ cứng và ứng suất và cũng như trong việc giảm thiểu trọng lượng, vật liệu và chi phí.



FEM cho phép hình dung chi tiết về các cấu trúc uốn cong hoặc xoắn, chỉ ra sự phân bố ứng suất và chuyển vị. Phần mềm FEM cung cấp một loạt các tùy chọn mô phỏng để kiểm soát sự phức tạp của cả mô hình hóa và phân tích của một hệ thống. Tương tự, mức độ mong muốn về độ chính xác cần thiết và các yêu cầu về thời gian tính toán liên quan có thể được quản lý đồng thời để giải quyết hầu hết các ứng dụng kỹ thuật. FEM cho phép toàn bộ các thiết kế được xây dựng, tinh chế và tối ưu hóa trước khi thiết kế được sản xuất.

FEM đã cải thiện đáng kể các tiêu chuẩn thiết kế kỹ thuật và phương pháp, quá trình thiết kế trong nhiều ứng dụng của công nghiệp. Làm giảm đáng kể thời gian để đưa một sản phẩm từ khái niệm vào sản xuất. Tóm lại lợi ích khi sử dụng FEM gồm độ chính xác cao, hiểu rõ các thông số thiết kế quan trọng, tạo mẫu ảo, ít tốn phần cứng, chu trình thiết kế nhanh hơn, ít tốn kém hơn, tăng năng suất và doanh thu.

Các khái niệm cơ bản

Chia nhỏ những miền liên tục thành những miền con rời rạc có một số ưu điểm:

- Biểu diễn chính xác hình học phức tạp
- Bao hàm các thuộc tính vật liệu không giống nhau
- Dễ dàng biểu diễn giải pháp cụ thể
- Ghi lại phản ứng cục bộ

Một công việc điển hình trong phương pháp này bao gồm phân chia miền của vấn đề thành một tập hợp các tên miền phụ, với mỗi tên miền phụ được biểu diễn bằng một tập hợp các phương trình phần tử cho bài toán gốc, sau đó (2) hệ thống kết hợp lại tất cả các phương trình phần tử vào một hệ phương trình tuyến tính cho phép tính cuối cùng. Hệ phương trình tuyến tính đã biết cách giải, và có thể được tính toán từ các giá trị ban đầu của bài toán gốc để có được một câu trả lời bằng số.

Trong bước đầu tiên ở trên, các phương trình phần tử là các phương trình đơn giản mà xấp xỉ so với phương trình phức tạp ban đầu được nghiên cứu, trong đó các phương trình ban đầu thường là phương trình vi phân từng phần (PDE). Để giải thích sự xấp xỉ đó, phương pháp phần tử hữu hạn (FEM) thường được giới thiệu như một trường hợp đặc biệt của phương pháp Galerkin. Quá trình này trong ngôn ngữ toán học là để xây dựng một tích phân của tích số bên trong của số dư và hàm trọng số và thiết lập tích phân bằng 0. Nói một cách đơn giản, nó là một phương pháp giảm thiểu sai số xấp xỉ bằng cách gắn các hàm thử nghiệm vào PDE. Phần còn lại là lỗi do các hàm thử nghiệm gây ra, và các hàm trọng số là các hàm xấp xỉ đa thức dự tính số dư. Quá trình loại bỏ tất cả các dẫn xuất không gian từ PDE, do đó xấp xỉ PDE cục bộ với:

- Một tập hợp các phương trình đại số cho các vấn đề trạng thái ổn định
- Một tập hợp các phương trình vi phân thông thường cho các vấn đề nhất thời

Các phương trình này là các phương trình phần tử. Chúng là tuyến tính nếu PDE cơ bản là tuyến tính và ngược lại. Các phương trình đại số phát sinh trong các bài toán trạng thái ổn định được giải bằng phương pháp đại số tuyến tính số, trong khi các phương trình vi phân thường phát sinh trong các vấn đề tạm thời được giải quyết bằng tích phân số bằng các kỹ thuật tiêu chuẩn như phương pháp Euler hoặc phương pháp Runge-Kutta.

Trong bước (2) ở trên, một hệ phương trình tuyến tính được tạo ra từ các phương trình phần tử thông qua việc chuyển đổi các tọa độ từ các nút cục bộ của các tên miền phụ sang các nút toàn cục của miền. Sự chuyển đổi không gian này bao gồm các điều chỉnh định hướng thích hợp như được áp dụng liên quan đến hệ tọa độ tham chiếu. Quá trình này thường được thực hiện bởi phần mềm FEM bằng cách sử dụng dữ liệu tọa độ được tạo ra từ các tên miền phụ.

FEM được hiểu rõ nhất từ ứng dụng thực tế của nó, được gọi là phân tích phần tử hữu hạn (FEA). FEA được áp dụng trong kỹ thuật như là một công cụ tính toán để thực hiện phân tích kỹ thuật. Nó bao gồm việc sử dụng kỹ thuật tạo lưới để phân chia một miền phức tạp thành các phần tử nhỏ, cũng như việc sử dụng chương trình phần mềm được mã hóa bằng thuật toán FEM. Khi áp dụng FEA, vấn đề phức tạp thường là một hệ vật lý với cơ sở dựa vào phương trình chùm Euler-Bernoulli, phương trình nhiệt, hoặc phương trình

Navier-Stokes thể hiện trong cả hai phương trình tích phân hoặc PDE, trong khi chia nhỏ phần tử của vấn đề phức tạp đại diện cho các khu vực khác nhau trong hệ thống vật lý.

FEM là lựa chọn tốt để phân tích các bài toán trên các miền phức tạp (như ô tô, đường ống dẫn dầu,...), khi miền thay đổi (như trong một phản ứng trạng thái với biên thay đổi), khi độ chính xác kỳ vọng thay đổi trên toàn bộ miền hoặc khi giải pháp thiếu độ mịn. Mô phỏng FEA cung cấp một nguồn tài nguyên có giá trị khi chúng loại bỏ trường hợp tạo và thử nghiệm các mẫu thử cứng cho các tình huống độ trung thực cao khác nhau. Ví dụ, trong một mô phỏng tai nạn ở phía trước có thể tăng độ chính xác dự đoán trong các khu vực “quan trọng” như mặt trước của xe và giảm nó ở phía sau của nó (do đó làm giảm chi phí của mô phỏng). Một ví dụ khác là ứng dụng trong dự báo thời tiết, nơi quan trọng hơn để có những dự đoán chính xác về việc phát triển các hiện tượng phi tuyến cao (chẳng hạn như lốc xoáy nhiệt đới trong khí quyển, hoặc xoáy trong đại dương) thay vì các khu vực tương đối yên tĩnh.

CHƯƠNG 3. ỨNG DỤNG

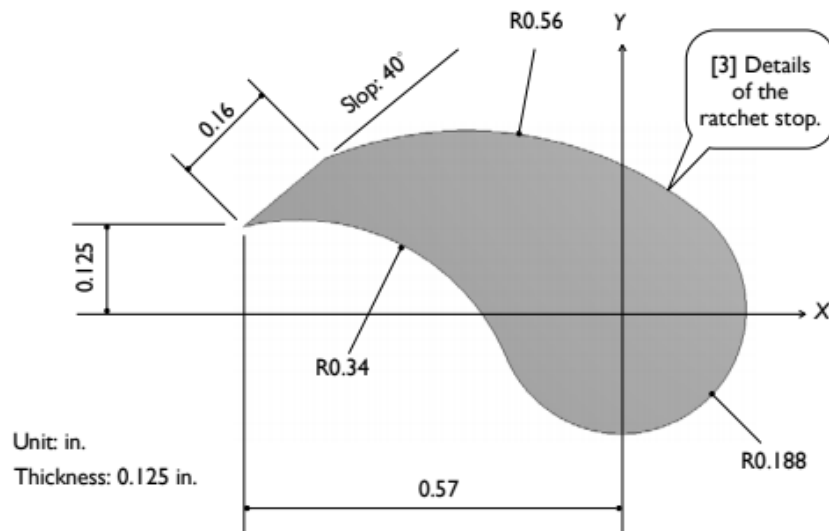
Trong phần này, tác giả đưa ra ví dụ về việc sử dụng phương pháp số, cụ thể là sử dụng FEM bằng phần mềm Ansys Mechanical trong phân tích biến dạng và kết cấu chi tiết cơ khí. Chi tiết cơ khí được sử dụng: **Cóc hãm** bánh răng.

3.1 Thông số chi tiết

Chi tiết là con cóc trong cụm chi tiết phanh một chiều bằng bánh răng. Vật liệu được chọn là thép C45 tôi cải thiện để dễ chế tạo.

Thông số :

- Độ rắn HB = (192...240)
- Giới hạn bền : $\sigma_b = 450\text{MPa}$
- Giới hạn chảy : $\sigma_{ch} = 320\text{MPa}$
- Kích thước cơ bản của chi tiết :



Hình 1: Chi tiết Cóc hãm và thông số

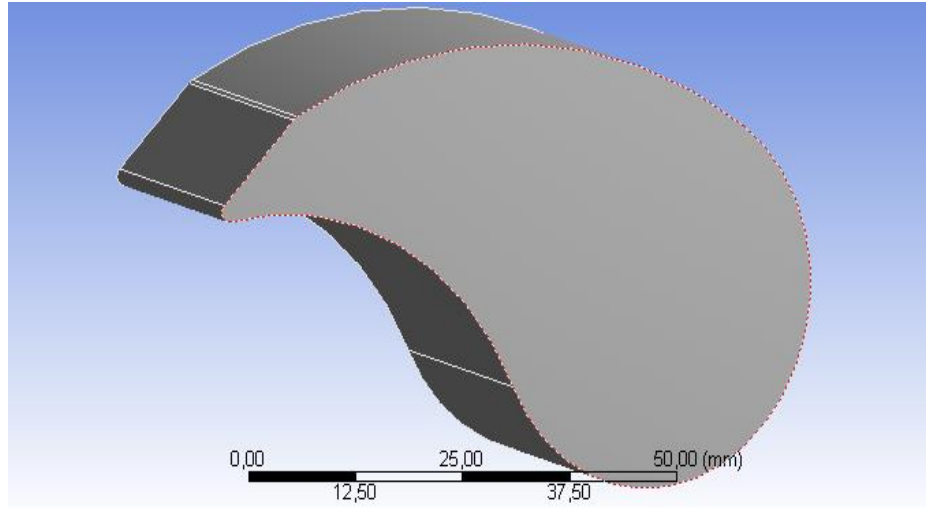
3.2 Phân tích chi tiết bằng phần mềm ANSYS MECHANICAL

Bước 1. Engineering data: Lựa chọn và thiết lập thông số vật liệu

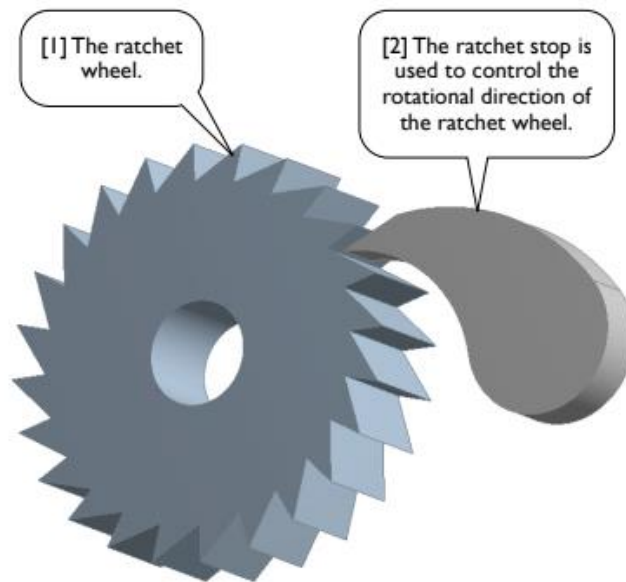
Đối với chi tiết này, ta lựa chọn vật liệu là thép kết cấu (cụ thể là thép C45)

Bước 2. Geometry: Xây dựng mô hình hình học

Với những thông số vừa tính như trên, ta xây dựng được vật thể như trên hình vẽ:



Hình 2: Hình vẽ 3D chi tiết



Hình 3: Chi tiết Cóc hãm trong cụm chi tiết

Bước 3. Model: Thiết lập mô hình phần tô hữu hạn

Trong bước này, ta quan tâm chủ yếu đến phần chia lưới (mesh).

Yêu cầu cho phân chi lưới là làm sao ta có thể đưa lưới về dạng tối ưu nhất, không quá nhiều (khó phân tích) và cũng không quá ít phần tử (phân tích không chính xác). Để giải quyết vấn đề này, ta đưa ra phương pháp tìm điểm hội tụ của lưới.

Thực hiện tìm điểm hội tụ bằng cách thay đổi size lưới dẫn đến thay đổi số phần tử. Kết quả thu được giá trị hệ số an toàn không thay đổi thì lưới đã hội tụ.

Sau quá trình chia lưới bằng phương pháp thay đổi size lưới ta thu được bảng giá trị như sau:

Bảng 1: Bảng giá trị sau khi chia lưới

Size (mm)	Số phần tử	Ứng suất lớn nhất (Mpa)	Hệ số an toàn
1,5	30382	22,68	7,05
1	51576	23,69	6,4
0,9	58559	23,9	6,2

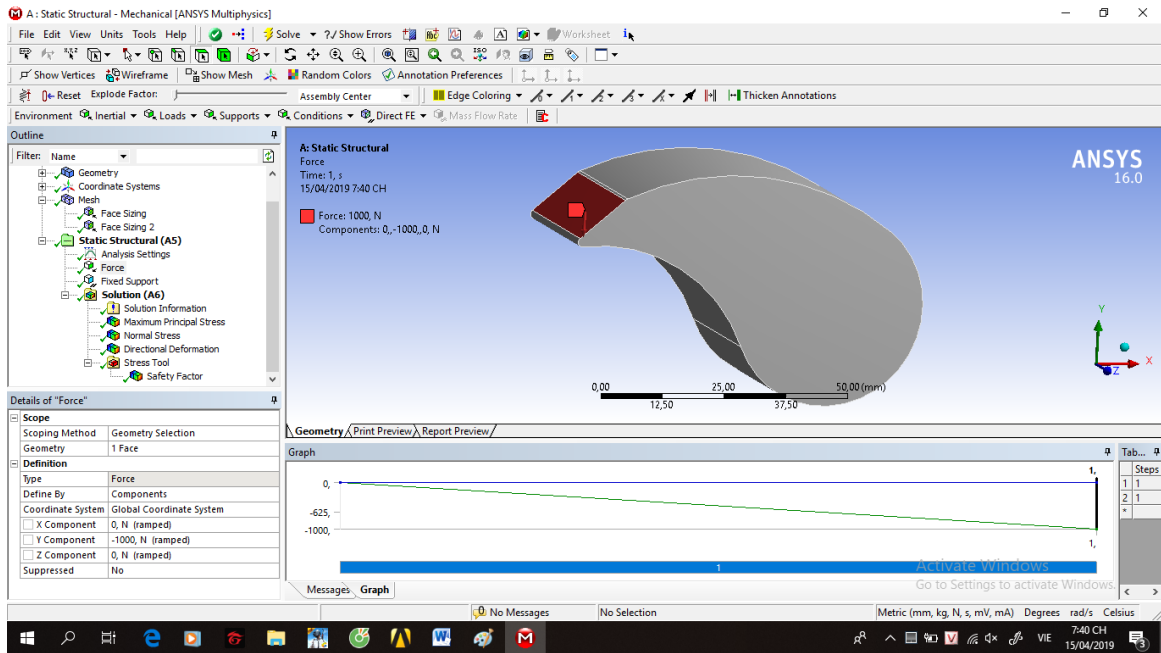
Như vậy, sau khi thực hiện tìm điểm hội tụ lưới thì ta sẽ có size lưới phù hợp là 0,9 (mm) và số phần tử lưới 58559 đáp ứng được điều kiện hội tụ lưới.

Bước 4. Thiết lập tải trọng (Đặt lực)

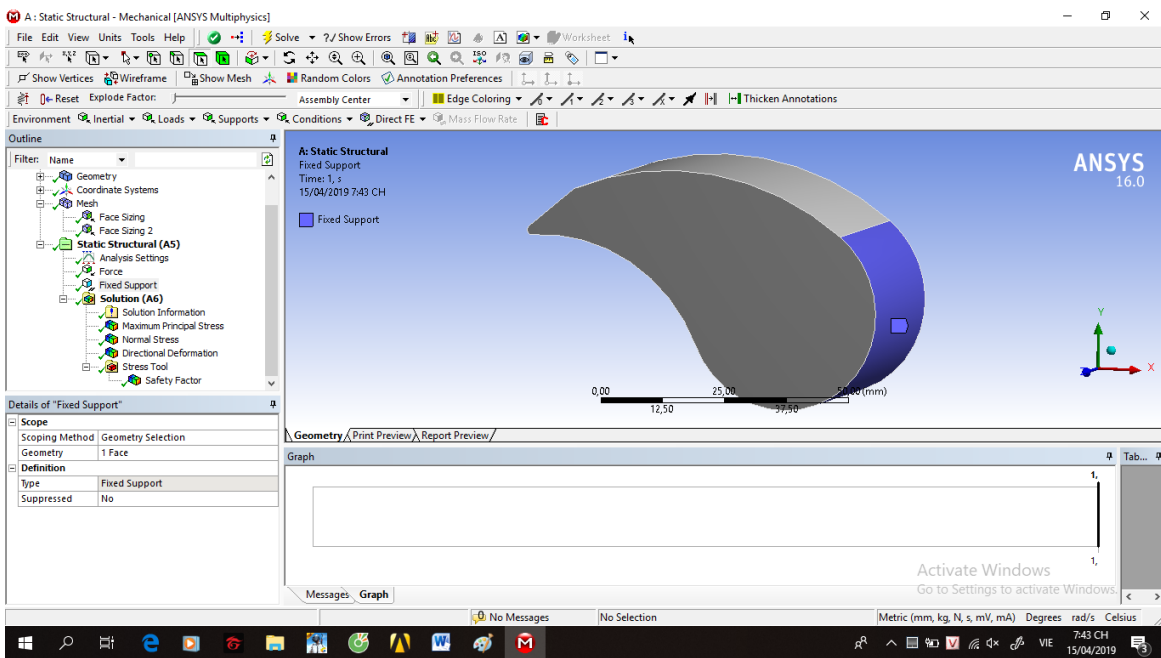
Với các lực và sơ đồ đã tính ở trên, ta tiến hành đặt lực lên chi tiết đã mô phỏng

Lực của bánh răng tác dụng vào con cóc có độ lớn $Q = 1000$ N được thể hiện qua hình

Lực của bánh răng tác dụng vào con cóc theo phương y



Sau đó, đặt một mặt cố định nhằm mục đích ràng buộc chi tiết, vì ta đang làm việc ở hệ tọa độ không gian, chi tiết không có điểm tựa.

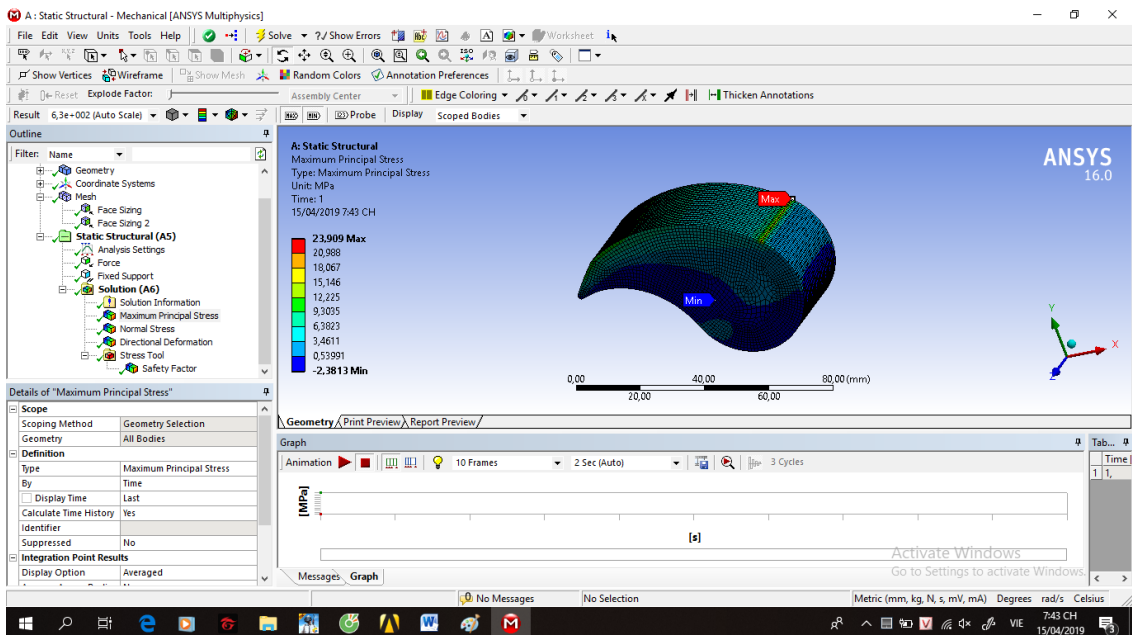


Bước 5. Solution (Chọn các yêu cầu khi giải bài toán)

- Trong cơ khí, ta quan tâm nhiều nhất là ứng suất lớn nhất khi làm việc của một chi tiết và hệ số an toàn của nó.

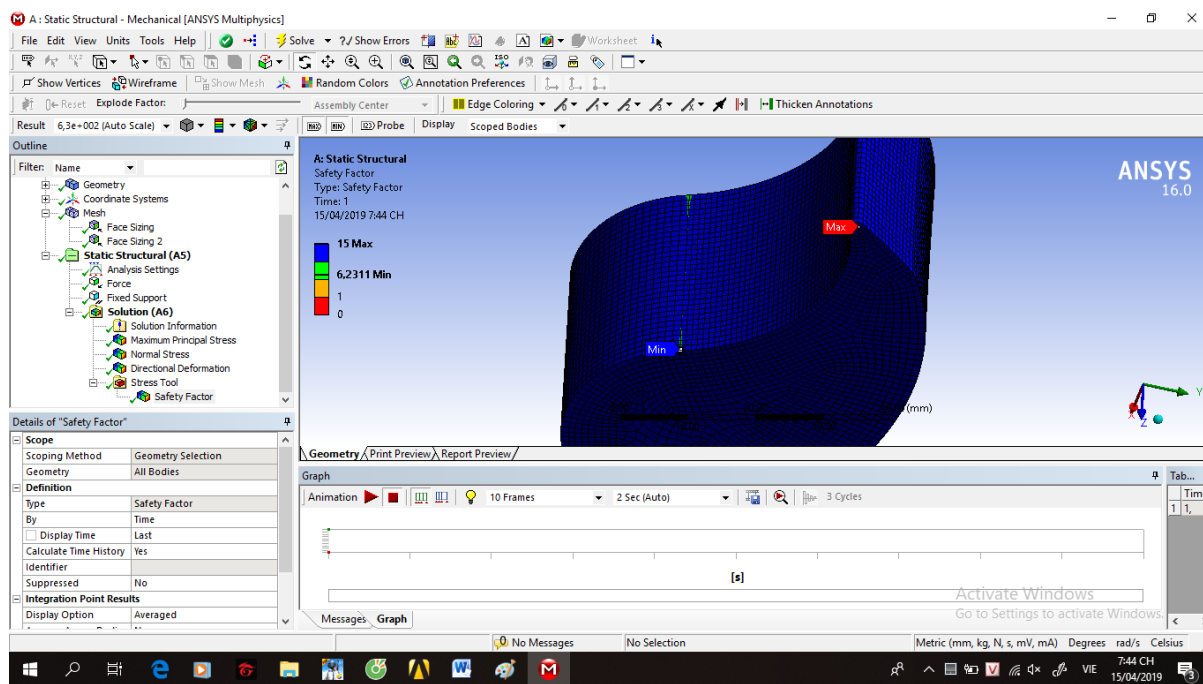
Ứng suất lớn nhất (Maximum Principal Stress- MPS)

- Khi các tải trọng tác dụng vào vật sẽ biến dạng ứng với độ biến dạng đó khi trên ansys được thể hiện rõ qua phần MPS . Chỉ rõ cho ta thấy được kết cấu vị trí nguy hiểm và an toàn trong cùng 1 kết cấu
- Nếu là vùng màu đỏ thì khu vực đó nguy hiểm nhất, dễ bị biến dạng nhất còn vùng màu xanh nước biển đậm là vùng an toàn nhất, ít bị biến dạng.
- Ứng suất bền là ứng suất biểu thị rõ nhất cho độ an toàn của vật. Theo bài ta có ứng suất bền phải ≤ 750 MPa



Công cụ an toàn (SAFETY TOOL)

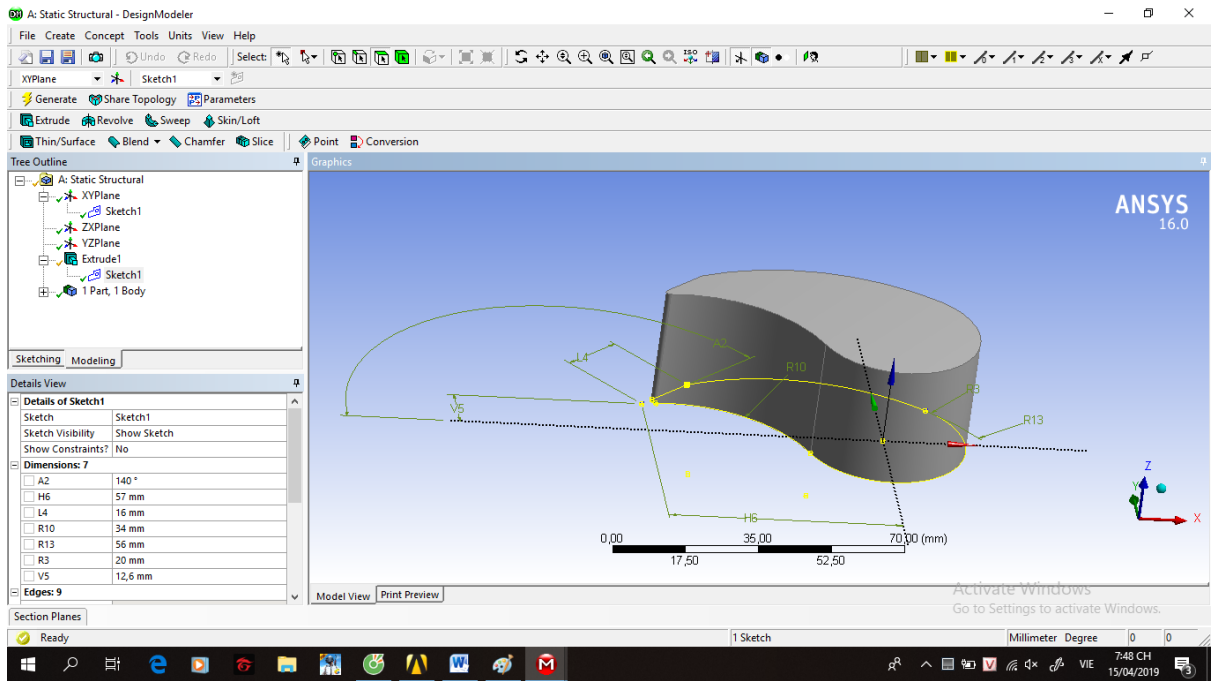
Là công cụ cho ta biết được hệ số an toàn của vật thể



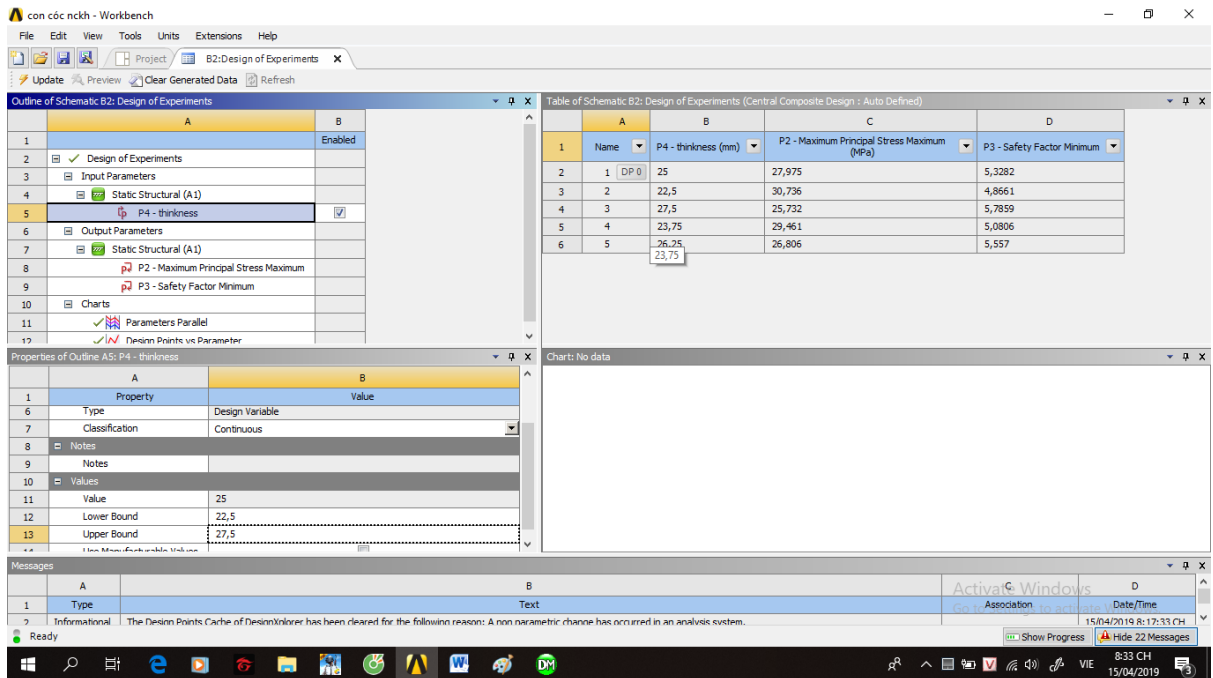
Cũng như vùng ứng suất lớn nhất, hệ số an toàn thể hiện độ an toàn qua các màu, nếu là màu xanh nước biển đậm thì vùng đó là vùng an toàn nhất, hệ số an toàn cao nhất, ngược lại vùng màu đỏ là vùng có hệ số an toàn nhỏ nhất, dễ phá hủy. Hệ số an toàn thường nằm vào khoảng 4-6

Bước 6. Đặt đầu vào (input) và đầu ra (output)

- Để thể hiện được sự tối ưu hóa, ta đưa ra những giải pháp để đảm bảo được độ bền ứng suất, hệ số an toàn của chi tiết. Trong bài, ta lưu ý đến bề dày của con cóc và bán kính cong của phần làm việc
- Giải pháp để giảm giá thành, vật liệu, giảm thời gian gia công của chi tiết, đảm bảo tính ưu việt của chi tiết là thay đổi bán kính cong và độ dày sao cho phù hợp với chi tiết
- Đáp ứng đc yêu cầu làm việc, giúp cho người chế tạo có nhiều phương án thiết kế khác nhau



Sau đó chạy và đưa ra kết quả các cặp kích thước như trên hình vẽ:



Qua đây ta thấy cặp kích thước 22,5 là tối ưu nhất với hệ số an toàn là 4,8 và ứng suất lớn nhất là 30,7, phù hợp với yêu cầu đề ra.

KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Kết luận: Như vậy, chúng ta thấy Phương pháp số và phương pháp phần tử hữu hạn có vai trò to lớn trong nhiều lĩnh vực, đặc biệt trong lĩnh vực Cơ khí. ANSYS Mechanical là giải pháp phần mềm kỹ thuật cơ khí sử dụng FEM hàng đầu trong phân tích biến dạng và tối ưu chi tiết cơ khí.

Kiến nghị: Vì đây là phương pháp tính toán hữu ích dùng trong lĩnh vực cơ khí chế tạo, tác giả mong muốn ứng dụng rộng rãi hơn nữa phần mềm vào công tác giảng dạy và nghiên cứu, với mục tiêu tất cả sinh viên đều được tiếp cận và sử dụng chúng, phục vụ cho công việc sau này.

Danh mục tài liệu tham khảo

1. **Tùng, ThS Nguyễn Thanh.** *coban, Ansys Workbench 12-*. 1987.
2. **PDS-TS Trịnh Chất, TS Lê Văn Uyển.** *Tính toán thiết kế HỆ DẪN ĐỘNG CƠ KHÍ tập 1.* 1997.
3. *Ansys mechanical APDL Introductory Tutorials.*