

ANÁLISE ESTRUTURAL DE UM PISTÃO AUTOMOTIVO UTILIZANDO ELEMENTOS FINITOS. Danilo Roberto Barbosa, Fernando de Azevedo Silva. – Engenharia Mecânica – Departamento de Mecânica – Faculdade de Engenharia – Campus de Guaratinguetá.

Neste estudo visou conhecer toda a tecnologia envolvida com o projeto, desenvolvimento, fabricação de um pistão automotivo. Pistões são elementos de geometria complexa que são essenciais em motores automotivos, pois são componentes vitais da célula de potência.

Assim, este trabalho tem por finalidade analisar estruturalmente um pistão automotivo, utilizando o método dos elementos finitos através do software ANSYS com intuito de se obter por simulação as tensões geradas nas diversas seções provenientes da combustão.

Este método considera a estrutura dividida em partes ou elementos que não são infinitesimais, unidos entre si por pontos nodais, que se supõem concentradas todas as forças de ligação entre os elementos, sendo as solicitações e deformações discretizadas nos nós. O comportamento elástico e mecânico de cada elemento pode ter expressão matemática tão simples quanto a dos elementos infinitesimais da solução clássica. A composição desses elementos de tamanho finito, para construir a estrutura considerada, dá lugar a um sistema de equações facilmente tratado por via matricial.

Um pistão automotivo pode estar submetido a cargas estáticas, cíclicas, choques e deformações. Todas estas solicitações podem causar uma falha prematura ou um desgaste excessivo, comprometendo o desempenho de um componente fundamental. Portanto, torna-se necessário a realização de uma cuidadosa análise em termos de tensões e deformações efetivas.

O software ANSYS mundialmente conhecido e confiável foi utilizado nesta análise estrutural específica. O ANSYS é um programa computacional de grande versatilidade e confiabilidade, que possui aplicação geral da análise de engenharia através de elementos finitos. O programa oferece avançados recursos para a realização de análises estruturais estáticas e dinâmicas, lineares e não-lineares, contando com uma biblioteca de mais de 100 tipos de elementos, que o torna capaz de realizar uma vasta gama de simulações necessárias ao ambiente de projeto.

Em qualquer análise de elementos finitos, os passos básicos consistem em: fase de pré-processamento, fase de solução das equações e fase de pós-processamento.

1) Fase de pré-processamento

- Criar e discretizar o domínio de solução em elementos finitos, isto é, subdividir o domínio em elementos (barra, viga, chapa, placa, casca, etc...) e nós;
- Assumir uma função de forma para representar o comportamento físico de um elemento, isto é, assume-se uma função contínua aproximadora para representar a solução dentro do elemento;
- Desenvolver as equações para um elemento;
- Efetuar a montagem de elementos a fim de representar o domínio inteiro; construir a matriz de rigidez global do domínio;
- Aplicar as condições de carregamento, condições de contorno e condições iniciais.

2) Fase de solução das equações

- Resolver um conjunto de equações lineares ou não-lineares simultaneamente para obter os resultados nodais, tais como: valores de deslocamento nos diversos nós de uma estrutura, ou valores de temperatura nos diversos nós em um problema de transferência de calor.

3) Fase de pós-processamento

- Obter outras informações importantes, tais como: tensões principais, deslocamentos, fluxos de calor, etc...

Em geral, há vários desenvolvimentos para formular problemas utilizando elementos finitos: (1) formulação direta, (2) formulação da mínima energia potencial total e (3) formulações de métodos de resíduos ponderados. É importante observar que os passos básicos envolvidos em qualquer análise de elementos finitos serão sempre os mesmos, independentemente da formulação utilizada para se chegar às equações de elementos finitos.

Empregou-se o seguinte critério para a verificação do dimensionamento do pistão: preestabelecidas as dimensões do pistão, determinou-se às tensões de trabalho e as deformações das várias seções; as tensões de trabalho deveriam ser inferiores a tensão admissível do material utilizada para confeccionar o pistão.

Primeiramente foi realizado o dimensionamento do pistão. Utilizou-se uma mesa de desempenho de granito de 1 [m²], onde se apoiaram o pistão e o calibrador traçador de altura digital DIGIMESS; e paquímetro digital TESA; recursos disponíveis no Laboratório de Metrologia do Departamento de Materiais e Tecnologia da FEG/UNESP.

Após este dimensionamento, foram feitos tutoriais no programa ANSYS para poder ter um melhor desenvolvimento quanto às funções do programa, pois o pistão automotivo não possui uma modelagem simples. Após esta familiarização, foi possível desenvolver o projeto em cima deste pistão automotivo, começando com a modelagem. Foram feitos alguns protótipos. Sempre os melhorando, chegou-se a uma modelagem mais próxima da realidade, a qual poderíamos ter uma confiabilidade dos resultados obtidos posteriormente.

Posteriormente foi decidido o tipo de elemento finito que seria mais apropriado para este caso. Escolheram-se dois tipos de elementos, que seriam comparados para saber qual o melhor tipo para esta simulação: *SOLID 10node 92* e *SOLID 20node 95*, ambos encontrados na biblioteca do próprio programa.

Definiu-se, após esta fase, a escolha do tipo de material a ser utilizado. Através de contato com o fabricante, pode-se definir o material a ser escolhido: liga *Alumínio 201.0 -T6*, do qual eram-se conhecidas todas as suas propriedades materiais necessárias para os cálculos do programa.

O próximo passo foi à definição da malha de elementos finitos. Foi escolhido um refino muito pequeno (do nível 2, numa escala de 0 a 10) para que houvesse uma simulação confiável do programa, com relação à saída dos dados para análise.

Em seguida foi necessário fazer a aplicação das condições de contorno (nenhum grau de liberdade na região que o pino apoiava o pistão) e cargas no modelo. Para isso foi necessária a realização da análise cinemática de motores utilizando massas pontuais, calculando acelerações, força de inércia e a força dos gases de combustão. Considerou-se o instante mais crítico das forças atuantes neste pistão, instante este que envolvia a posição da biela-manivela que causasse maior pressão vinda da queima dos gases de combustão (força na direção vertical com sentido para baixo) e também a força que o pino transmitia ao pistão (força horizontal com sentido para dentro do pistão). Chegou-se a um resultado de uma força de 34.601,15 [N] (força vertical [↓] resultante dos gases) e 2.630,40 [N] (força horizontal [→] resultante do pino). Foram feitas simulações, também, somente com a força vertical atuando no pistão, para saber qual seria a influência da ação da força transmitida pelo pino.

Após partiu-se para a solução do modelo. Pode-se notar que o tempo para gerar a solução deste problema foi longo devido à geometria complexa do pistão, em torno de 2 horas cada modelo.

Baseado nas informações coletadas neste trabalho pode-se informar que este pistão automotivo 1.6 litros apresenta valores de tensões e deformações máximas de 200 [MPa] e 0,0030 [mm] e 165 [MPa]; e 0,0028 [mm] com somente a força dos gases envolvida. Nesta simulação feita com o aplicativo ANSYS, estas regiões mais críticas foram à região em que se alocam os anéis e também a parte inferior do pistão. Foi feita uma tabela para estas comparações (tabela 1) e também a influência da escolha do tipo de elemento.

Tabela 1 – Comparação entre os valores de tensões e deformações.

Tipo de carga	Tipo de elemento	Tensões máximas (MPa)	Deformações máximas (mm)
Cabeça (↓) e Corpo (→)	<i>SOLID 10node 92</i>	204	0,0030
Cabeça (↓) e Corpo (→)	<i>SOLID 20node95</i>	204	0,0030
Somente na Cabeça (↓)	<i>SOLID 10node 92</i>	165	0,0028
Somente na Cabeça (↓)	<i>SOLID 20node95</i>	165	0,0028

Concluiu-se que a escolha do tipo de elemento não influenciou no resultado obtido nesta simulação. Com relação à força que age lateralmente sobre o pistão devido ao pino, esta tem uma pequena contribuição em torno de 10% da tensão e deformação máxima atuantes.

Para a região mais crítica de todas as comparações obtivemos a figura 1.

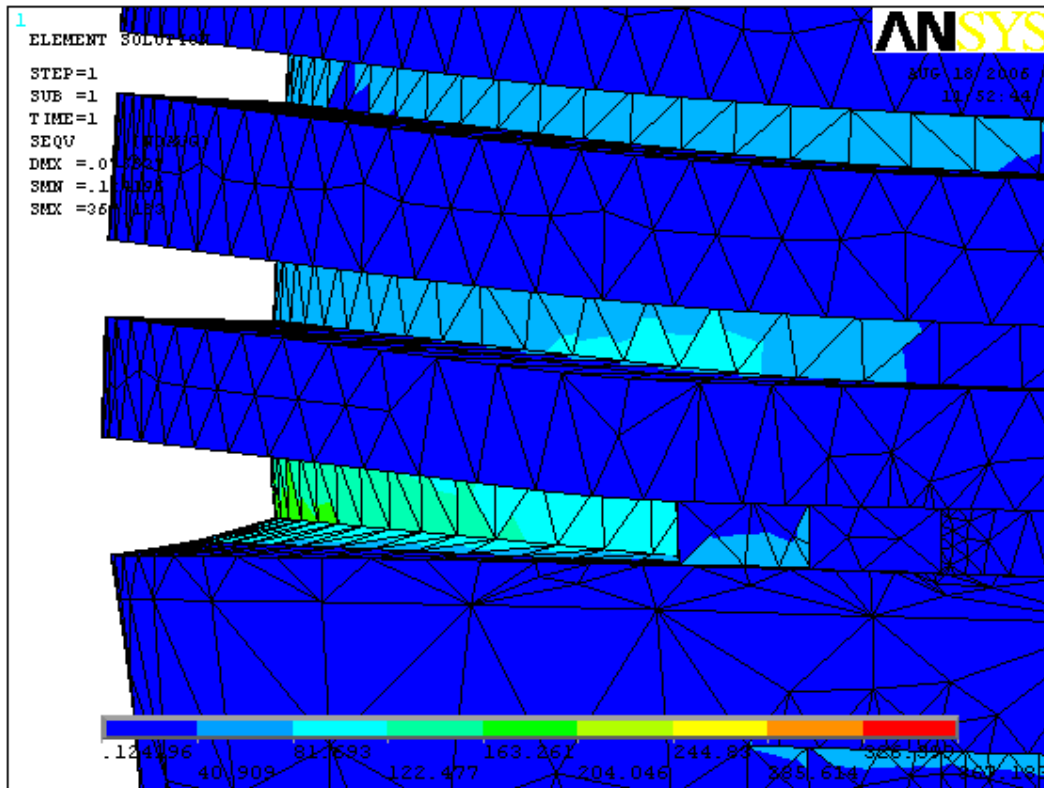


Figura 1 – Tensão equivalente de *Von Mises* na vista *FRONT* localizada (zoom).

Nestes locais podemos ter uma base do coeficiente de segurança (CS) e também da margem de segurança (MS), já que sabemos a tensão de escoamento do material utilizado.

$$CS = \frac{\text{Tensão de Escoamento do Material}}{\text{Tensão Máxima}} = \frac{485 \text{ MPa}}{200 \text{ MPa}} \cong 2,4$$

$$MS = (CS - 1) * 100\% = (2,4 - 1) * 100\% = 140\%$$

Pode-se afirmar que o motor de combustão interna foi uma grande criação do ser humano no século XX, pois temos que, em situações extremas calculadas, um pistão deste porte pode suportar uma força em sua cabeça em torno de 35.000 [N] (força vertical [↓] que atua no pistão) o que significa uma força de aproximadamente em torno 3.500 [kgf] ou 3,5 [Tf] (tonelada-força) sujeitas a cargas cíclicas, que gera fadiga. E mesmo estando sujeito à fadiga possui uma vida útil muito longa. Além de movimentar a maioria dos meios de transporte.

Referências Bibliográficas

- ALVES FILHO, A., *Elementos Finitos: a Base da Tecnologia CAE*. São Paulo. Érica, 2005.
- MABIE, H. H., *Mecanismos e Dinâmica das Máquinas*. Rio de Janeiro. EDUSP, 1967.
- SIMÕES, D. A., *O Método dos elementos Finitos e sua Aplicação com ANSYS*. Guaratinguetá. Unesp – Universidade Estadual Paulista (Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá), 2005.