

Resistência Mecânica

Contribuição de Bruno Ferreira Porto
03 de December de 2007
Última Atualização 12 de December de 2007

Um motor foguete de propelente sólido é muito simples, geralmente possui apenas duas ou três peças principais e pode ser tratado simplesmente como um vaso de pressão de parede fina.

As configurações de peças mais comuns são:

- Tubeira e corpo (a extremidade oposta à tubeira faz parte do corpo), duas peças;
- Tubeira e corpo como uma peça e cabeçote, duas peças;
- Tubeira, corpo e cabeçote, três peças, Figura 37.

Figura 37 - Motor foguete MJ510, veja mais em Projetos , e seus componentes principais,.

A configuração desde projeto é a terceira, mais simples e barata de se produzir. As duas primeiras configurações têm vantagens quanto a diminuir o risco de vazamentos por conter apenas uma junção. O fator de segurança comumente utilizado em motores foguete é de $CS=1,5$. A tubeira e o cabeçote, por suas geometrias complexas, são mais facilmente dimensionados com o auxílio de softwares FEA básicos. Para o corpo do motor é basicamente um tubo sob pressão interna pode-se usar o seguinte conjunto de equações, encontradas nas publicações de Blake, (22) e Young, (23):

Relação das resistências mecânicas do material:

Equação 79

Pressão de projeto:

Equação 80

Pressão de rompimento:

Equação 81

Coefficiente de segurança de rompimento:

Equação 82

Varição do diâmetro sob P_P:

Equação 83

Varição do comprimento sob P_P:

Equação 84

Onde τ_{esc} , τ_{ult} , E e ν são propriedades do material do corpo. Os valores D_E e t são o diâmetro externo e a espessura do tubo, respectivamente. O fator de rompimento para cilindros pressurizados, B_E, é empírico e pode ser determinado pela curva polinomial (22) e (23):

Equação 85

Onde A=9,5833, B=-33,528, C=44,929, D=-28,479 e E=8,6475. A curva pode ser vista na Figura 38.

Figura 38 - Fator de rompimento em função de beta.

Existe um fator de concentração de tensão nos pontos de fixação da tubeira e do cabeçote. O material sofre deformação plástica e tem sua resistência mecânica aumentada conseqüentemente.

"The holes for the bulkhead attachment screws are subjected to high bearing stress. Some minor elongation of these holes normally occurs after the first firing of the motor. This is not detrimental and occurs only once, as the material consequently strain hardens locally due to this deformation." (2)

A falha por fadiga é improvável, pois o motor foguete apresenta poucos ciclos de vida, basicamente ensaio

hidrostático e uso. Como pode ser reafirmado pela citação:

"In the case of ductile materials that are subject only to one load cycle during their lifetime (fairly unusual in Mechanical Engineering) it is not necessary to use stress concentration factors as local plastic flow and work hardening will prevent failure provided the average stress is below the yield stress." (25)

Para se limitar o efeito da concentração de tensão a solução mais simples é o aumento do diâmetro dos furos no corpo do motor. Isso se deve ao fato do corpo geralmente ser um tubo de paredes finas, portanto o aumento do furo de fixação no corpo reduz drasticamente o efeito da concentração de tensão. O uso de parafusos com cabeça do tipo panela permite fazer isso com simplicidade, o ombro do parafuso fica apoiado diretamente na peça em que é atarraxado e a transferência dos esforços se dá entre a cabeça do parafuso e o furo no corpo. O tubo tem seu diâmetro aumentado, mas é em escala muito pequena em comparação a espessura da cabeça do parafuso, portanto, os principais esforços serão apenas no sentido axial do tubo, dado pela pressão exercida no cabeçote e o equilíbrio entre empuxo e força da pressão na tubeira, como pode ser visto na Figura 39.

Figura 39 - Distribuição de pressão no cabeçote e tubeira e a força de empuxo.

Os pontos de concentração de tensão da montagem serão os corpos dos parafusos, mais precisamente na interface do ombro. Com pode-se determinar o número de parafusos a serem usados em cada uma das peças com base na resistência mecânica e dimensões dos parafusos.

Força exercida pela pressão no cabeçote, F_c , é o produto da pressão pela área resultante do diâmetro interno do corpo, D_{i_c} , sendo:

Equação 86

Essa força é distribuída pelo número de parafusos instalados, N , conhecendo o diâmetro dos mesmos, D_p , para se determinar a área de sua seção é possível determinar a tensão de cisalhamento de cada um dos parafusos, τ_P :

Equação 87

Adicionando o coeficiente de segurança, CS, e a tensão última suportada pelo material do parafuso e isolando N tem-se:

Equação 88

É uma prática comum projetar o número de parafusos do cabeçote para que cisalhem antes do rompimento do corpo do motor, evitando assim o lançamento de fragmentos no sentido lateral em caso de falha e funcionando como dispositivo de segurança. Na tubeira os esforços são reduzidos, pois a força de empuxo está em sentido contrário à força exercida pela pressão interna na tubeira. A força de empuxo é muito pequena se comparada à força exercida pela pressão da câmara, portanto a Equação 88 pode ser usada, desde que a fluência do material por conta da temperatura local seja considerada. A fluência também deve ser levada em conta no cálculo de resistência mecânica do corpo do motor, principalmente no caso de um grão tipo livre, onde o corpo pode ficar exposto à frente de chama. O efeito da temperatura sobre a resistência mecânica em diversos materiais metálicos pode ser conhecido através da referência (25).