

Fatores de correção

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

Até este ponto os motores de propelente sólidos foram tratados de forma ideal. Para se obter valores mais próximos do comportamento real são usados fatores de desempenho, obtidos pela relação entre seu valor ideal e o medido em ensaios. Em conjunto com a eficiência densiométrica e a fração de carga volumétrica formam um conjunto de fatores que aproximam o projeto do comportamento real do motor.

Condições na câmara

As perdas de calor pelas paredes da câmara e a eficiência na combustão levam a uma diminuição da pressão, em relação ao previsto pela teoria nas condições ideais. A perda de eficiência de combustão geralmente é muito pequena, considerando que o propelente foi produzido com cuidado e as partículas de oxidante ou aditivo forem bem finas. A eficiência da combustão pode ser medida pela relação entre a velocidade característica medida e a ideal:

Equação 72

O valor de c^* barra pode ser medido com o uso de equipamentos de caracterização de propelentes como o UEP ou a partir de dados de testes estáticos de motores, para propelentes amadores preparados com critério os valores de η^* ficam entre 0,98 e 0,99 como testado por Nakka, (2). A eficiência da combustão é dependente, em pequeno grau, do tamanho do motor. Motores maiores em volume ou mais longos geralmente têm uma eficiência maior. As perdas de calor para o ambiente também são dependentes do tamanho do motor, materiais, isolamentos, etc. A temperatura efetiva dos gases na câmara pode ser obtida através da eficiência da combustão, sendo:

Equação 73

Como motores amadores, no sentido de propelentes e matéria prima, geralmente apresentam um tempo de queima curto, uma porção significativa do impulso total vem de seus regimes transientes, justamente quando a pressão influencia mais no I_S , como pode ser observado na Figura 35.

Figura 35 - A pressão influencia significativamente no impulso, principalmente no regime de baixa pressão (pressurização e despressurização), Nakka, (2).

Isso afeta sensivelmente o resultado do impulso específico real. A eficiência da pressão é dada pela relação entre a ideal (ou de projeto) e a medida, portanto:

Equação 74

Em motores amadores de configuração equivalente o valor típico é de 0,95, (2). De modo a simplificar o cálculo do impulso total é considerando que o motor opera em regime permanente até o fim de todo propelente. A perda na fase de compressão pode ser desconsiderada por conta de um bom sistema de ignição, como discutido no artigo Pressão, já a fase de descompressão pode ser vista como uma sobra de propelente após o fim da combustão. De fato, sempre há sobra de propelente, mas para se corrigir o cálculo idealista do impulso total usa-se uma sobra teórica ainda maior. O valor prático para projeto preliminar do motor é de 5% de sobra de propelente, (8) e (7).

Perdas na tubeira

Diversos fatores contribuem para as perdas na tubeira, como: atrito, gases imperfeitos, fluido de duas fases, inércia térmica e de momento das partículas sólidas, etc. A perda devido à geometria em tubeiras cônicas pode ser demonstrada por, de acordo com a NASA, (9):

Equação 75

Onde α ; é o ângulo entre o eixo de simetria da tubeira e a parede da seção divergente. As perdas geralmente são muito baixas, como pode ser visto na Figura 36, só se tornando significativas em motores onde o desempenho é fundamental e seções divergentes possuem uma curva mais complexa.

Figura 36 - Gráfico do fator de perda por geometria da tubeira versus ângulo da seção divergente.

O fator de correção de descarga, σ_D , demonstra as perdas de vazão da tubeira e é dado pela relação entre as vazões reais e ideais:

Equação 76

O que mais influencia esse fator é o contorno entre a seção convergente e a garganta da tubeira e a rugosidade. Essa influencia é menos evidente em propelentes profissionais, onde a quantidade de partículas sólidas é muito pequena. A descarga pode ganhar eficiência devido ao aumento da densidade do gás por causa da perda de calor nas paredes da tubeira, como demonstrado por Saad, (21), e Nakka, (2), e pela mudança nas características do gás ao longo dele. Para propelentes amadores e em tubeiras cônicas de contorno suave e superfícies internas polidas o valor típico é $\sigma_D=0,91$, Nakka, (2).

Esse fator é relacionado a eficiência do coeficiente de empuxo, CF , portanto pode ser usado como fator de correção do coeficiente:

Equação 77

Correção do Impulso Específico

O impulso específico efetivo, I_s barra, pode ser obtido a partir dos fatores de correção das condições da câmara e tubeira, sendo:

Equação 78