cbecimat26
26° Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais
22 a 26 de novembro de 2026
Costão do Santinho
Florianópolis-SC

Estudo da influência de combustível e catalisador nas propriedades mecânicas de motores-foguete

Juan P. B. Magalhães[1]; Ana P. da Silva[2]; Sarah B. Veiga[3]; João G. P. Rodrigues[4]; Maurício F. Lemos[5]; Fernanda S. da Luz[6]; Priscila S. T. Amaral[7]; Roberta J. Rocha[8]; Luiz E. N. de Almeida[9]

1 – 7. Instituto de Pesquisas da Marinha (IPqM) ; 8, 9. Sistemas Integrados de Alto Teor Tecnológico (SIATT).

Introdução

O desenvolvimento da propulsão aeroespacial moderna, focado na otimização da entrega de energia, está atrelado à evolução dos motores-foguetes em mísseis táticos e veículos lançadores de satélites (Sutton; Biblarz, 2017). Nos motores e propelentes sólidos compósitos, oxidantes, combustível metálico e aditivos são misturados em estado sólido na câmara de combustão (Beckstead et al., 2007). Para maximizar a eficiência propulsiva, utiliza-se a configuração de duplo estágio: uma unidade de maior capacidade de impulso inicial (para vencer a inércia e o arrasto atmosférico sob altas pressões) e uma unidade de maior capacidade de sustentação (para manter velocidade e altitude em voo de cruzeiro), exigindo requisitos físico-químicos e mecânicos distintos (Galfetti et al., 2005).

Objetivos

O presente trabalho tem como objetivo avaliar o efeito da variação nos teores de combustível metálico (Al) e de catalisador (Fe_2O_3) sobre o comportamento mecânico, por meio da resistência à tração (σ) e do módulo de elasticidade (E), em duas diferentes formulações de propelentes sólidos compósitos: uma com maior capacidade de impulso inicial, denominada F1, e outra com maior capacidade de sustentação, denominada F2.

Metodologia

Foram processadas duas formulações (F1 e F2) de propelentes sólidos compósitos, sob controle térmico e vácuo. O processamento consistiu na homogeneização da matriz polimérica líquida com plastificante, extensor de cadeia, agente dispersante e catalisador balístico (Fe_2O_3), seguida da adição fracionada de oxidante sólido com distribuição granulométrica trimodal e de combustível metálico (Al). Finalizou-se o processamento com a incorporação do agente de cura e do catalisador de reticulação.

Na unidade de maior capacidade de impulso inicial (F1), priorizaram-se maiores teores de combustível metálico e de catalisador balístico. Em contrapartida, na formulação de maior capacidade de sustentação (F2), reduziu-se expressivamente a fração de ambos os componentes, compensando-se o teor de sólidos com maior proporção de oxidante. Após a cura, os corpos de prova foram submetidos a ensaios de tração uniaxial em Máquina Universal de Ensaios Mecânicos.

Resultados e Discussão

Tabela 1: Comparativo entre as propriedades mecânicas das formulações F1 e F2.

Propriedade mecânica	Formulação F1 (referência)	Formulação F2
Módulo de Elasticidade (E)	1,00	0,90
Resistência à tração (σ)	1,00	1,11

Conclusões

Foi possível verificar uma relação positiva e direta entre o ajuste de composição (teores de Al e Fe_2O_3) e a resposta mecânica exigida para cada regime de voo analisado. A formulação de maior capacidade de impulso inicial (F1) combinou maior rigidez (+10% no valor do Módulo de Elasticidade) com menor resistência à tração (-11%), o que, por sua vez, confirma a maior capacidade de prevenção de trincas sob pressurização abrupta, enquanto a formulação de sustentação (F2) apresentou menor rigidez estrutural e maior resistência à tração, tornando-a mais apta a absorver variações de tensão durante o voo prolongado, o que confirma sua maior capacidade de preservação da geometria do grão a longo prazo.

Referências e Agradecimentos

BECKSTEAD, M. W.; PUDUPPAKKAM, K. V.; THAKRE, P.; YANG, V. Modeling of combustion and ignition of solid-propellant ingredients. Progress in Energy and Combustion Science, v. 33, n. 6, p. 497-551, 2007.

GALFETTI, L.; DE LUCA, L. T.; SEVERINI, F.; MAGGI, F.; MARRA, G.; MEDA, L. Ballistic and mechanical properties of composite solid propellants. Combustion, Explosion and Shock Waves, v. 41, n. 6, p. 680-692, 2005 (ref original 2003).

SUTTON, G. P.; BIBLARZ, O. Rocket Propulsion Elements. 9. ed. Hoboken; John Wiley & Sons, 2017.

SIATT
Finep INOVAÇÃO E PESQUISA
CNPq Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico