

PROJETO DE UM MOTOR-FOGUETE DE COMBUSTÍVEL LÍQUIDO PARA A REALIZAÇÃO DE ENSAIOS DE NOVOS MATERIAIS CERÂMICOS.

AUTORES

Filiação

Área de conhecimento (Tabela CNPq):

Apresentado no

RESUMO: Bancada para ensaios de motor-foguete de combustível líquido podem ser utilizadas de forma eficiente para a realização de ensaios de novos materiais cerâmicos, a fim de analisar seu comportamento quando sujeito a escoamento de alta temperatura e pressão. O elemento principal desse tipo de equipamento consiste em um motor-foguete. Dessa forma, foi realizado um estudo para dimensionar o motor utilizando-se aplicativos matemáticos para a execução dos cálculos. Os elementos principais utilizados para os cálculos consistiram na escolha de uma mistura de oxigênio gasoso e gasolina como os propelentes. Os resultados demonstraram a possibilidade da realização dos cálculos das dimensões do motor-foguete a partir da determinação das características dos elementos propelentes que se pretende utilizar.

PALAVRAS-CHAVE: Bancada; Motor-foguete; Propelentes; Dimensionamento.

DESIGN OF A LIQUID FUEL ROCKET ENGINE FOR TESTING OF NEW CERAMIC MATERIALS.

ABSTRACT: Rocket engine rocket test bench can be efficiently used for testing new ceramic materials to analyze their behavior when subjected to high temperature and pressure flow. The main element of this type of equipment consists of a rocket motor. Thus, a study was performed to size the engine using mathematical applications to perform the calculations. The main elements used for the calculations consisted in choosing a mixture of gaseous oxygen and gasoline as the propellants. The results demonstrated the possibility of calculating the rocket motor dimensions by determining the characteristics of the propellant elements to be used.

KEYWORDS: Test bench; Rocket engine; Propellants; Sizing.

INTRODUÇÃO

Segundo Kozlov (2011) avanços no desenvolvimento de materiais cerâmicos compósitos para revestimentos de alta temperatura possibilitaram sua aplicação no setor aeroespacial e outros ramos da engenharia. Atualmente, materiais compósitos são utilizados como revestimentos protetores de elementos de motores de turbina a gás de aeronaves, motores de foguetes líquidos, produtos de tecnologia hipersônica, proteção de naves espaciais, tubeira de motores de combustível sólido e outros campos técnicos, onde o problema mais agudo da estrutura de proteção em alta temperatura em um ambiente oxidante.

Um dos meios mais adequados para o ensaio de novos materiais cerâmicos para propulsão são os motores de foguete a combustível líquido. Consistem em dispositivos relativamente simples, nos quais os propulsores são queimados e os gases de alta pressão produzidos são expandidos através de um tubo especialmente formado para produzir empuxo. Desta forma, pretende-se projetar uma bancada com um motor-foguete a propulsão líquida para a realização de ensaios com novos materiais cerâmicos.

MATERIAIS E MÉTODOS

Testes de novos materiais cerâmicos utilizando um motor-foguete necessitam da construção de uma bancada de testes que dará ao motor uma base física de apoio, fornecimento de propelentes e recursos de medição de parâmetros e extinção de incêndio. Para a construção da bancada é necessário

o dimensionamento dos componentes e estudo do funcionamento de motores a propelente líquido para que os cilindros e estruturas da bancada de testes atendam corretamente as necessidades do motor.

Optou-se pela utilização de uma mistura oxigênio gasoso e gasolina líquida, pois apresenta uma maior facilidade de manuseio, visto que isso acarreta um menor custo e maior margem de segurança. A modelagem dos componentes da bancada e do motor-foguete se deu, inicialmente, pelas características dos elementos propulsivos (propelentes) que são apresentados na Tabela 1.

TABELA 1. Dados termodinâmicos da mistura dos propelentes

Propelentes	Pressão na câmara de combustão	Temperatura na câmara de combustão	Razão de mistura	Impulso específico
Oxigênio gasoso + gasolina	2,068x10 ⁶ Pa	3445K	2,5	261 s
Oxigênio gasoso + gasolina	3,447x10 ⁶ Pa	3512K	2,5	279 s

As equações utilizadas foram encontradas no trabalho realizado por Krzycki et al (1967). Apesar de possuírem um aspecto extremamente simplificado fornecem resultados satisfatórios para a escala trabalhada. Dessa forma, foi possível utilizar equações matemáticas simples, mas que permitiriam um dimensionamento aceitável. Utilizando dos dados da Tabela 1, pode-se determinar a temperatura na garganta da tubeira do motor através da seguinte relação:

$$T_t = T_c \left[\frac{1}{1 + \frac{\gamma-1}{2}} \right] \quad (1)$$

em que,

T_t – temperatura na garganta da tubeira, K;

T_c – temperatura na câmara de combustão, K, e

$\gamma = 1,2$ – razão entre os calores específicos.

Da mesma forma, utilizando os dados da Tabela 1, é possível determinar a pressão na garganta da tubeira através das propriedades da combustão no interior do motor-foguete, ou seja.

$$P_t = P_c \left[1 + \frac{\gamma-1}{2} \right]^{\frac{\gamma}{\gamma-1}} \quad (2)$$

em que,

P_t – pressão na garganta da tubeira, Pa, e

P_c – pressão na câmara de combustão, Pa.

A seguir, calcula-se o número de Mach na saída da tubeira, M_e :

$$M_e^2 = \frac{2}{\gamma-1} \left[\left(\frac{P_c}{P_{atm}} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1 \right] \quad (3)$$

P_{atm} – pressão atmosférica, Pa.

De posse dos valores obtidos pelas equações anteriores, é possível obter a área da garganta da tubeira através da seguinte relação,

$$A_t = \frac{w_t}{P_t} \sqrt{\frac{R_c T_t}{\gamma g}} \quad (4)$$

em que,

w_t – vazão em massa dos propelentes, kg/s;

$R_c = 346,42$ – constante dos gases obtidos na combustão, K, e

$g = 9,80665$ – aceleração da gravidade, m/s².

Em sequência, é possível determinar, o valor da área da saída da tubeira,

$$A_e = \frac{A_t}{M_e} \left(\frac{1 + \frac{\gamma-1}{2} M_e^2}{\frac{\gamma+1}{2}} \right)^{\frac{\gamma+1}{2(\gamma-1)}} \quad (5)$$

Obtidos os valores das áreas da garganta e saída da tubeira, pode-se determinar os respectivos diâmetros e, dessa forma, obter dimensões de extrema importância para a construção do motor-foguete da banda de testes.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com a utilização do aplicativo matemático *Scilab* (www.scilab.org), foi possível modelar todas as equações mostradas anteriormente e, dessa forma, realizar os cálculos em função dos parâmetros de entradas. Os resultados calculados, bem como as variáveis de entrada, são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Variáveis de entrada e resultados calculados para as dimensões do motor-foguete.

Nome da propriedade	Variável	Valor
Pressão atmosférica	P_{atm}	101,325 kPa
Temperatura na câmara de combustão	T_C	3447 K
Pressão na câmara de combustão	P_C	2,068 MPa
Impulso específico	I_{sp}	261 s
Empuxo esperado	E	90 N
Temperatura na garganta da tubeira	T_T	3132 K
Pressão da garganta da tubeira	P_T	1,129 MPa
Mach na saída tubeira	M_E	4,65
Diâmetro da garganta da tubeira	D_T	10,9 mm
Diâmetro da saída da tubeira	D_E	20,6 mm

CONCLUSÕES

Até o atual momento, foi possível realizar, de forma adequada, o dimensionamento das características geométricas básicas do motor-foguete. Com esses dados, principalmente os diâmetros da garganta e saída da tubeira, será possível proceder ao dimensionamento do comprimento e contorno da tubeira. Assim, espera-se, em breve, obter todos os dados e iniciar a construção do motor.

REFERÊNCIAS

- KOZLOV, Alexander A. et al. Development Liquid Rocket Engine of Small Thrust With Combustion Chamber from Carbon-Ceramic Composite Material. In: **Nanocomposites with Unique Properties and Applications in Medicine and Industry**. InTech, 2011.
- KRZYCKI, Leroy J. **How to Design, Build and Test Small Liquid-fuel Rocket Engines**. Rocketlab, 1967.