



A importância do reforço das cerâmicas avançadas em projetos espaciais

The importance of reinforcing advanced ceramics in space projects

10.56238/isevmjv3n3-002

Recebimento dos originais: 27/04/2024

Aceitação para publicação: 17/05/2024

Tamires da Silva Claro

Fatec Victor Civita – Tatuapé

E-mail: tamires.claro@fatec.sp.gov.br

RESUMO

Este artigo aborda o papel das cerâmicas avançadas na exploração espacial, destacando sua importância para enfrentar os desafios únicos do ambiente extraterrestre. Iniciando com uma análise do desastre do Ônibus Espacial Columbia em 2003, são discutidas as lições aprendidas e as medidas de segurança implementadas na sequência do incidente. São exploradas as propriedades das cerâmicas avançadas, incluindo resistência a temperaturas extremas, estabilidade química e capacidade de isolamento térmico, e sua aplicabilidade em missões espaciais, como proteção contra radiação, resistência a detritos e propulsão. Estratégias para maximizar a resistência das cerâmicas em ambientes espaciais são examinadas, incluindo técnicas de fabricação avançadas e sistemas de monitoramento contínuo. Por fim, são discutidas aplicações específicas das cerâmicas em componentes espaciais, como bicos de foguetes, sistemas de propulsão e conversão de calor em eletricidade, enfatizando a necessidade contínua de inovação para garantir o sucesso das futuras missões espaciais.

Palavras-chave: Projetos espaciais com materiais cerâmicos, Exploração espacial, Cerâmicas avançadas, Projetos espaciais.

1 INTRODUÇÃO

À medida que a humanidade se aventura cada vez mais longe de nossa casa planetária, a busca por materiais que possam resistir às condições extremas do espaço se torna uma prioridade crítica. Nesse contexto, as cerâmicas avançadas emergem oferecendo uma combinação única de propriedades que as tornam candidatas ideais a enfrentar os rigores do ambiente extraterrestre com uma variedade de aplicações em projetos espaciais. Com sua alta resistência a temperaturas extremas, estabilidade química, capacidade de isolamento térmico e notável resistência à radiação, esses materiais têm demonstrado potencial para enfrentar os desafios inerentes à exploração do cosmos. A análise cuidadosa dessas propriedades é imperativa para compreender como tais materiais podem ser eficazmente incorporados em projetos espaciais, proporcionando não apenas resistência, mas também eficiência e segurança. O artigo é dividido em tópicos inter-relacionados,



que permite cognição abrangente do aporte da cerâmica avançada nestas circunstâncias. Em Missões espaciais e Desafios Atmosféricos, abordaremos a complexidade das missões espaciais, e como as cerâmicas avançadas podem auxiliar. Em Desastre do Ônibus Espacial Columbia, abordaremos uma descrição da Missão STS-107; uma análise do acidente do Ônibus Espacial Columbia em 2003, incluindo as causas prováveis dos eventos que levaram à perda da espaçonave e da tripulação, e uma revisão das investigações realizadas após o acidente, destacando as descobertas e recomendações feitas para melhorar a segurança das futuras missões espaciais. Em Maximizando a Resistência das Cerâmicas Avançadas em Ambientes Espaciais, abordaremos meios de abstenção de falhas estruturais nas cerâmicas avançadas que podem ocasionar catástrofes e meios de prolongar a vida útil das aplicações desses materiais. Exploraremos como esses materiais podem executar um papel importante na funcionalidade dos trajes espaciais. Investir em cerâmicas avançadas não apenas atende às necessidades práticas das missões espaciais, mas também impulsiona o avanço tecnológico. A inovação nesse campo pode resultar em novas aplicações, métodos de fabricação mais eficiente e conseqüentemente, no progresso contínuo da exploração espacial. Ao criar camadas de isolamento térmico, essas cerâmicas atuam como escudos protetores contra as adversidades climáticas do espaço, garantindo condições ideais para as explorações espaciais. Em Papel da Cerâmica Avançada na Propulsão Espacial, abordaremos a utilização e importância das cerâmicas avançadas nesta conjuntura de propulsão espacial.

2 MISSÕES ESPACIAIS E DESAFIOS ATMOSFÉRICOS

2.1 ATRAVESSANDO A ATMOSFERA TERRESTRE

No lançamento de um foguete, para que ele realize a saída da atmosfera terrestre e supere a reação de empuxo devido a força gravitacional, são necessários esforços consideráveis. Esses esforços levam a mudanças significativas de temperatura no foguete. Durante a reentrada de um foguete na atmosfera terrestre, a velocidade torna-se calor, aquecendo por exemplo, o escudo térmico (principal parte projetada para suportar temperaturas extremas durante a reentrada atmosférica), o nariz da espaçonave (a primeira parte a entrar na atmosfera), e a superestrutura e casco da nave espacial, devido a fricção com a atmosfera, pode ser necessário o uso de *carbeto de silício* (SiC), altamente resistente a altas temperaturas, o *carbeto de boro* (B4C), pode ser utilizado em combinação ao carbeto de silício em determinadas aplicações para garantir ainda mais a proteção ao calor extremo gerado durante o processo de reentrada atmosférica.



2.2 ENFRENTANDO A RADIAÇÃO ESPACIAL

No geral, a radiação espacial pode comprometer a vida útil das espaçonaves e outros projetos espaciais. Radiação cósmica pode causar degradação de materiais ao longo do tempo, incluindo cabos e componentes estruturais do transporte espacial. A radiação ionizante pode acelerar processos de corrosão em componentes metálicos. Radiação eletromagnética e ionizante (como raios-x e raios gama) podem causar erros nos sistemas elétricos das espaçonaves, devido à ionização de átomos nos componentes, ou até mesmo interferência eletromagnética. A exposição à radiação solar pode causar degradação dos painéis solares. Para auxiliar contra a radiação espacial, são utilizados alguns materiais cerâmicos como; *óxido de berílio* (BeO), pode ser usado em várias formas, incluindo chapas e discos, para criar camadas de proteção em componentes e revestimentos de espaçonaves, ajudando a minimizar a exposição dos ocupantes à radiação nociva no espaço. Essa aplicação é um exemplo notável de como materiais cerâmicos, como o óxido de berílio, desempenham um papel crucial na segurança e no sucesso das missões espaciais, também é usado o *Carbeto de Silício* (SiC), embora seja mais conhecido por sua capacidade de resistir ao calor extremo, também pode oferecer alguma resistência à radiação em determinadas aplicações, como; componentes eletrônicos, sensores e instrumentação espacial.

2.3 PROTEÇÃO E COLISÃO A IMPACTOS A DETRITOS ESPACIAIS

Devido à alta velocidade dos foguetes, acabam ficando vulnerável a impactos com detritos espaciais, por isso é necessário a utilização de mecanismos de proteção contra impactos, como por exemplo, escudo de blindagem e blindagem de painéis solares, para isso, o uso de material cerâmico reforçado, como o *Carbeto de Boro* (B₄C), material com excelentes propriedades de dureza, além de ser usado como proteção a impactos, também pode ser aplicado como proteção térmica devido suas altas propriedades térmicas.

2.4 VÁCUO DO ESPAÇO

É especialmente relevante quando se considera a fase de reentrada na atmosfera, durante essa reentrada, a nave espacial viaja do vácuo de volta à atmosfera terrestre. Esse processo pode gerar temperaturas extremas devido à fricção com a terra. A utilização de *carbeto de silício* (SiC), material de alta resistência a temperaturas e corrosão é usada como compósito ou revestimento em escudos de proteção, desempenha um papel vital na proteção contra o calor gerado nesse processo. No vácuo do espaço pode haver desafios significativos em relação à regulação da temperatura a bordo da espaçonave devido ao fato de não haver ar para a condução de calor. Um aspecto menos



conhecido, é que no vácuo do espaço não há um meio para propagação de ondas sonoras, isso ocorre porque o som é uma forma de energia mecânica que se propaga através de vibração de partículas de um meio material, como sólidos, ar ou água. No espaço sideral, não há um meio material suficientemente denso para que as ondas sonoras possam se propagar, uma vez que o espaço interestelar é um vácuo quase

completo, com uma densidade extremamente baixa de partículas. É importante citar que, embora no vácuo espacial não tenha um meio de propagação de som, em naves ou estações espaciais, onde há uma atmosfera controlada e pressurizada, o som pode se propagar normalmente, como na terra. No entanto, a utilização de material cerâmico pode ser necessária para minimizar o impacto do som e ruído, visto que em um ambiente pressurizado, o som alto pode acarretar um incômodo auditivo na tripulação presente, os materiais cerâmicos que auxiliam juntamente a outros materiais podem incluir; Fibras de *Alumina*, utilizadas em conjunto a outros materiais em aplicações de isolamento acústico em espaçonaves, é resistente ao calor e pode ajudar na atenuação do som; *Espuma Cerâmica*, como espumas de alumina ou espumas de carvão de silício, são frequentemente usadas em painéis de isolamento acústico. Essas espumas têm uma estrutura porosa que ajuda na absorção e dispersão do som.

2.5 COMUNICAÇÃO INTERPLANETÁRIA

Podem existir alguns problemas em que o uso de cerâmica avançada pode auxiliar, como; oscilação de sinal, à medida que uma nave espacial se move em sua órbita ou se afasta da Terra, a distância entre a nave e a estação terrestre varia. Quanto maior a distância, maior o atraso de propagação do sinal. Essas variações na distância podem resultar em oscilações no tempo de ida e volta do sinal, afetando a comunicação, onde *Cerâmicas Ferroelétricas* que incluem compostos à base de *titanato de bário* ($BaTiO_3$) e *titanato de chumbo* ($PbTiO_3$), que podem ser úteis em dispositivos de comunicação, como osciladores de frequência e filtros. Eles são usados para geração de sinais de frequência estável e seleção de frequência em radiofrequência (RF) e comunicações sem fio; integridade de cabos e equipamentos de comunicação, o espaço pode apresentar grandes variações de temperatura, indo de extremamente quente à luz solar direta a extremamente frio na sombra. Essas variações de temperatura podem causar estresse mecânico nos cabos e equipamentos, levando a rachaduras e falhas, onde pode ser usado *alumina* (*óxido de alumínio* Al_2O_3), em invólucros e embalagens para circuitos integrados, devido à sua excelente capacidade de isolamento elétrico e resistência térmica; A variação de temperatura que afeta o alinhamento de antenas, quando uma espaçonave está exposta à luz solar direta, as temperaturas



na superfície da espaçonave podem aumentar significativamente. Isso ocorre porque não há atmosfera para dissipar o calor ou fornecer isolamento térmico. Em órbita terrestre baixa, a temperatura na luz solar direta pode subir para centenas de graus Celsius e quando a espaçonave entra na sombra do planeta, da lua ou de outro corpo celeste, as temperaturas podem cair rapidamente para centenas de graus Celsius negativos. A falta de uma atmosfera para reter o calor resulta em uma rápida perda de temperatura na sombra. Materiais cerâmicos avançados, como o *óxido de zircônia (ZrO₂) estabilizado com ítrio (YSZ)*, têm alta resistência térmica e podem ser usados para isolar componentes críticos da antena, ajudando a manter a estabilidade térmica e o alinhamento preciso.

3 DESASTRE DO ÔNIBUS ESPACIAL COLUMBIA

O Desastre do Ônibus Espacial Columbia foi um evento trágico que ocorreu em 1º de fevereiro de 2003, resultando na perda da espaçonave e de toda a sua tripulação durante a missão STS- 107 da NASA. A missão STS-107 foi a 28ª missão do Ônibus Espacial Columbia e tinha como objetivo principal realizar uma série de experimentos científicos em microgravidade.

3.1 MISSÃO STS-107

A missão STS-107 foi lançada em 16 de janeiro de 2003, a partir do Centro Espacial Kennedy, na Flórida. A tripulação era composta por sete membros: Rick D. Husband, Comandante; William C. McCool, Piloto; Michael P. Anderson, Especialista de Carga; Ilan Ramon, Especialista de Carga (primeiro astronauta israelense); Kalpana Chawla, Especialista de Missão; David M. Brown, Especialista de Missão; Laurel B. Clark, Especialista de Missão. Durante a missão de 16 dias, a tripulação conduziu mais de 80 experimentos científicos em áreas como biologia, física, materiais e ciências. Eles também realizaram várias atividades de educação pública, incluindo transmissões ao vivo para escolas.

3.2 O ACIDENTE

No retorno à Terra, durante a fase de reentrada atmosférica, uma peça de espuma isolante se despreendeu do tanque externo do Ônibus Espacial durante o lançamento e atingiu o bordo de ataque da asa esquerda, danificando as telhas protetoras. Este dano permitiu que gases superaquecidos penetrassem na asa durante a reentrada, levando à desintegração da espaçonave. O Ônibus Espacial Columbia se desintegrou sobre o estado do Texas, causando a morte de todos os sete membros da tripulação. O acidente chocou a NASA e o mundo, levando a uma extensa

investigação sobre suas causas e consequências.

3.3 INVESTIGAÇÃO E CONSEQUÊNCIAS

A investigação após o acidente revelou várias falhas no sistema de gerenciamento de riscos da NASA e nas práticas de segurança. Foi determinado que a NASA estava ciente do potencial de danos causados pela espuma isolante, mas subestimou o risco de um impacto significativo. As recomendações resultantes da investigação incluíram melhorias no processo de inspeção das asas dos ônibus espaciais durante a missão, bem como mudanças nos protocolos de comunicação entre a NASA e outras agências governamentais. Além disso, foram feitas recomendações para aprimorar a segurança das espaçonaves e fortalecer a cultura de segurança dentro da NASA. O desastre do Ônibus Espacial Columbia serviu como um momento de reflexão e aprendizado para a NASA, levando a uma reavaliação de suas práticas de segurança e à implementação de medidas para reduzir o risco de acidentes futuros. Embora tenha sido uma tragédia devastadora, também inspirou mudanças significativas destinadas a melhorar a segurança das futuras missões espaciais.

Figura 1 - Membros do Conselho de Investigação de Acidentes de Columbia examinam pedaços de destroços de Columbia no Hangar RLV. NASA, 2003.



4 MAXIMIZANDO A RESISTÊNCIA DAS CERÂMICAS AVANÇADAS EM AMBIENTES ESPACIAIS

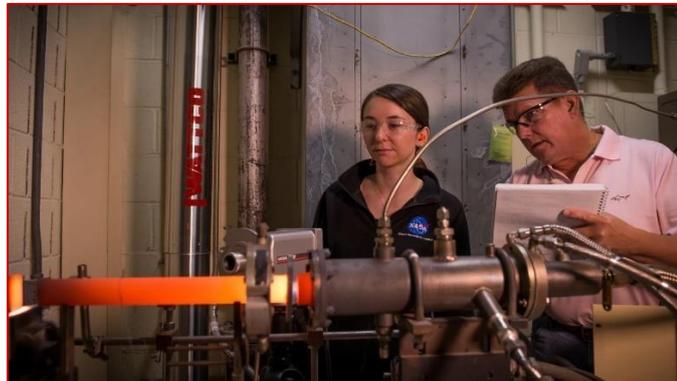
Embora as cerâmicas avançadas sejam conhecidas por sua excepcional resistência térmica e estabilidade química, é importante ressaltar que ainda requerem cuidados específicos para garantir sua eficácia em ambientes espaciais hostis, as flutuações extremas de temperatura e a exposição a partículas carregadas e radiações intensas representam desafios significativos para qualquer material, incluindo cerâmicas avançadas. Portanto, mesmo com suas propriedades notáveis, é essencial implementar medidas de monitoramento e manutenção adequadas para



garantir a integridade estrutural desses materiais ao longo do tempo. Isso pode incluir a utilização de sistemas de monitoramento contínuo para detectar sinais precoces de danos ou falhas, bem como a realização de manutenção preventiva conforme necessário. As variações extremas de temperatura no espaço podem causar expansão e contração em cerâmicas, levando a tensões térmicas. Se as cerâmicas não forem projetadas para lidar com essas variações, podem ocorrer falhas estruturais devido ao estresse térmico, comprometendo a integridade dos materiais, como; Fissuras e trincas, as variações extremas de temperatura podem resultar em fissuras e trincas nas cerâmicas, comprometendo sua integridade composta, resultando em falhas estruturais; Delaminação, o estresse térmico pode levar a separação das camadas ou delaminação em materiais compostos, resultando em falhas estruturais; Deformação permanente, variações extremas de temperatura podem causar deformações permanentes nas cerâmicas, afetando sua forma original e comprometendo a funcionalidade estrutural; Perda de resistência, a exposição prolongada a condições térmicas extremas pode resultar na perda de resistência mecânica das cerâmicas, tornando-as mais suscetíveis a rupturas; Falhas por fadiga térmica, ciclos repetidos de aquecimento e resfriamento podem contribuir por fadiga térmica, enfraquecendo gradualmente os materiais ao longo do tempo; Quebra catastrófica, em casos extremos, as tensões térmicas podem levar a uma quebra catastrófica das cerâmicas, resultando em uma falha estrutural significativa. Garantir que as cerâmicas sejam compatíveis com as variações térmicas e condições específicas é crucial para evitar essas falhas estruturais. Para abster-se dessas possíveis falhas e visar melhorar a resistência das cerâmicas a variações extremas de temperatura, garantindo assim sua integridade estrutural e funcionalidade em ambientes hostis do espaço, pode ser considerado; A Utilização de técnicas de fabricação avançadas: Implementar técnicas avançadas de fabricação, como sinterização controlada, processamento de pós de alta pureza e controle preciso da microestrutura, para produzir cerâmicas com propriedades mais homogêneas e maior resistência a altas temperaturas; A Implementação de sistemas de monitoramento contínuo como: Sensores de deformação ou tensão: Sensores colocados estrategicamente nas cerâmicas para medir deformações ou tensões. Variações anormais nesses parâmetros podem indicar possíveis problemas estruturais; Termografia infravermelha: Câmeras termográficas podem ser usadas para medir e visualizar variações de temperatura na superfície das cerâmicas. Anomalias de temperatura podem indicar pontos quentes associados a falhas ou danos; Ultrassom: Técnicas ultrassônicas podem ser empregadas para detectar defeitos internos nas cerâmicas, como trincas ou delaminações; Análise de vibração: Sensores de vibração podem ser usados para monitorar a resposta vibratória das cerâmicas durante a operação. Mudanças na resposta vibratória podem indicar falhas ou desgaste; Análise de emissão

acústica: Sensores de emissão acústica podem ser usados para detectar sinais acústicos associados a processos de falha em desenvolvimento nas cerâmicas; Sistemas de monitoramento remoto: Implementação de sistemas de monitoramento remoto baseados em I.T (Internet das Coisas) que permitem monitorar continuamente o estado das cerâmicas a partir de uma localização remota; Desenvolvimento de revestimentos protetores: Pesquisar e desenvolver revestimentos protetores que possam ser aplicados às superfícies das cerâmicas avançadas para fornecer isolamento térmico adicional e proteção contra danos causados por variações extremas de temperatura. Todos esses meios ajudam a evitar falhas catastróficas e prolongar a vida útil dos materiais.

Figura 2: Valerie Wiesner, da NASA Glenn, trabalha com o engenheiro Michael Cuy para testar os componentes do CMC nas instalações do queimador. NASA, 2016



3 O engenheiro de pesquisa de materiais Bryan Harder examina revestimentos depositados em peças de carboneto de silício na plataforma de deposição física de vapor por spray de plasma na NASA Glenn. NASA, 2015.



5 PAPEL DAS CERÂMICA AVANÇADA NA PROPULSÃO ESPACIAL

A propulsão espacial é uma das áreas mais críticas e desafiadoras da exploração espacial. Para impulsionar naves espaciais e sondas a grandes velocidades e em ambientes hostis, é necessário o uso de materiais avançados. As cerâmicas avançadas podem desempenhar um papel como



compósito crucial na propulsão espacial, garantindo que os sistemas de propulsão funcionem eficazmente sob condições extremas de temperatura, estresse mecânico e eletricidade estática, contribuindo para o sucesso das missões espaciais. Cerâmicas refratárias, como o *carbeto de tântalo* (TaC), podem ser usadas na fabricação de bicos de foguetes. Esses bicos são expostos a temperaturas extremamente altas durante a queima do propelente, e as cerâmicas refratárias resistem a essas condições. O TaC é capaz de suportar temperaturas extremamente elevadas, sendo uma escolha sólida para componentes expostos a altas temperaturas, como bicos os de foguetes. Em motores de foguetes, o TaC é utilizado em isolamentos térmicos para proteger componentes sensíveis do calor gerado pela queima de propelentes. Componentes estruturais feitos de TaC são leves e robustos, contribuindo para a redução do peso da carga útil. Componentes eletrônicos a bordo de naves espaciais geram calor, e cerâmicas avançadas, como o *nitreto de silício* (Si₃N₄), podem ser usadas para isolar e proteger esses componentes dos efeitos térmicos do espaço. Pode ser usado em rolamentos para reduzir o atrito e melhorar a eficiência dos sistemas mecânicos em espaçonaves. Pode também ser usado para isolar e proteger componentes eletrônicos, garantindo seu funcionamento em ambientes de alta temperatura. Pode ser empregado na fabricação de bicos de foguetes devido à sua resistência ao calor extremo. Isso melhora a eficiência da conversão de energia térmica em energia cinética, resultando em maior empuxo. Alguns sistemas de propulsão espacial, como geradores termoelétricos de radioisótopos (RTGs), onde uma fonte de energia de longa duração e confiável é necessária, usam cerâmicas termoelétricas para converter o calor gerado pelo decaimento de radioisótopos em energia elétrica. Alguns dos materiais cerâmicos termoelétricos comuns utilizados em aplicações espaciais incluem: *Telureto de Chumbo e Estanho* (PbTe) e (SnTe), conhecidos por sua alta eficiência na conversão de calor em eletricidade. *Telureto de Antimônio* (Sb₂Te₃), empregado em RTGs e sistemas de resfriamento termoelétrico para eletrônicos espaciais. Em sistemas de propulsão que envolvem combustíveis líquidos ou sólidos, cerâmicas, como a *alumina*, podem ser usadas para isolar eletricamente componentes críticos e evitar descargas elétricas indesejadas. A alumina é usada para isolar condutores elétricos em componentes-chave, como sistemas de ignição e controle, onde os fios elétricos precisam ser protegidos de contato direto com outros componentes condutores, combustíveis ou materiais corrosivos. Isso evita que as descargas elétricas ocorram de forma não controlada, o que poderia levar a explosões ou falhas no motor. Em missões de coleta de amostras, cerâmicas são usadas para coletar e armazenar amostras de asteroides e planetas, resistindo a condições adversas no espaço, como por exemplo; *óxido de Berílio* (BeO), é um composto cerâmico usado em certas aplicações de coleta e armazenamento de amostras no espaço, pois pode resistir a condições



extremas. É usado em braços robóticos e em componentes de sondas espaciais para manipular e coletar amostras de asteroides e planetas e; *alumina*, podendo ser usado em cápsulas de retorno de amostras para proteger as coletas contra as condições adversas durante a reentrada na atmosfera terrestre.

6 REFERENCIAL TEÓRICO

Revisão das propriedades das cerâmicas avançadas, suas aplicações e utilidades. É crucial destacar a relevância de testes rigorosos em condições simuladas do espaço, garantindo a validação das propriedades das cerâmicas avançadas em ambientes extremos. A implementação de sistemas de monitoramento contínuo nos projetos pode contribuir para uma abordagem proativa na identificação de desgastes e potenciais falhas estruturais.

7 DISCUSSÃO

A aplicabilidade das cerâmicas avançadas em sistemas de propulsão espacial foi destacada, pois esses materiais podem ser ideais para componentes como bicos de foguetes e sistemas de conversão de calor em eletricidade. A utilização eficiente dessas cerâmicas pode melhorar significativamente o desempenho e a eficácia dos sistemas de propulsão, contribuindo para o avanço da exploração espacial. Além das aplicações diretas em espaçonaves e sistemas de propulsão, as cerâmicas avançadas têm potencial para impulsionar a inovação em outras áreas da tecnologia espacial. A colaboração entre instituições acadêmicas, agências espaciais e empresas privadas é fundamental para impulsionar essa inovação e garantir o sucesso das futuras missões espaciais.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A exploração espacial continua a desafiar os limites do conhecimento humano e tecnológico, exigindo materiais que possam resistir às condições extremas do espaço. Nesse contexto, as cerâmicas avançadas emergem como uma solução crucial, oferecendo propriedades excepcionais que as tornam ideais para aplicações espaciais. Desde a proteção térmica aos componentes estruturais dos foguetes, as cerâmicas avançadas desempenham um papel fundamental no sucesso das missões espaciais. No entanto, é essencial reconhecer que esses materiais também enfrentam desafios, como variações extremas de temperatura e exposição à radiação, que podem comprometer sua integridade estrutural. Portanto, medidas de monitoramento contínuo e desenvolvimento de técnicas de fabricação avançadas são necessárias para maximizar



a resistência e eficácia das cerâmicas avançadas no espaço. A tragédia do Ônibus Espacial Columbia serviu como um lembrete sombrio da importância da segurança e da necessidade contínua de inovação e aprimoramento no campo da exploração espacial. Ao avançarmos na jornada para além da Terra, o papel das cerâmicas avançadas se tornará ainda mais crucial, impulsionando nosso progresso e garantindo o sucesso das futuras missões espaciais.

APÊNDICE A

- **CMC** – Compósitos de matriz cerâmica.
- **Nasa glenn** – NASA Glenn Research Center (centro de pesquisa), ou simplesmente NASA Glenn, é um centro de pesquisa e desenvolvimento da NASA localizado em Cleveland, Ohio, nos Estados Unidos. O centro foi nomeado em homenagem a John H. Glenn, um astronauta pioneiro e senador dos Estados Unidos. A NASA Glenn desempenha um papel fundamental no avanço da pesquisa aeroespacial e no desenvolvimento de tecnologias para a exploração espacial. Suas áreas de foco incluem propulsão avançada, sistemas de energia, materiais inovadores, tecnologias de comunicação e pesquisa espacial. O centro colabora com outras instalações da NASA, instituições acadêmicas, indústrias e parceiros internacionais para realizar pesquisas e desenvolver tecnologias que impulsionam as missões espaciais da NASA. A pesquisa realizada no NASA Glenn Research Center contribui para o desenvolvimento de aeronaves mais eficientes, sistemas de propulsão avançados, tecnologias de exploração espacial e muito mais. Essas contribuições têm impacto não apenas nas missões espaciais da NASA, mas também na inovação e avanço tecnológico em diversas áreas relacionadas à aviação e exploração espacial.

APÊNDICE B

Material	Densidade (g/cm ³) (~)	Temperatura de fusão(°C)(~)
B4C	2.52	~2450
SiC	3.21	~2730
BeO	2.85	~2530
BaTiO3	6.02	~1300
PbTiO3	7.9	~490
Ai2O3	3.97	~2050
ZrO2	5.68	~2700
YSZ	5.8	~2700
TaC	14.5	~3880
Si3N4	3.2	~1900
PbTe	8.16	~924
SnTe	6.5	~1050
Sb2Te3	6.5	~630



Os valores da tabela acima podem variar dependendo das condições específicas, da pureza do material ou o composto em que será aplicado:

- **SiC** – refere-se a Carbetos de Silício. É um composto de silício e carbono. É conhecido por sua dureza e propriedades semicondutoras, tornando-o útil em uma variedade de aplicações industriais, incluindo eletrônicos, automotivos e aeroespaciais.
- **B₄C** – Refere-se ao carbetos de boro. É uma substância química composta por boro (B) e carbono (C). O carbetos de boro é conhecido por suas propriedades excepcionais de dureza e resistência à abrasão, tornando-o um material cerâmico de alta performance. Além disso, ele também tem boas propriedades térmicas.
- **BeO** – Refere-se ao óxido de berílio. É uma substância química composta por berílio (Be) e oxigênio (O). O óxido de berílio é conhecido por suas propriedades térmicas e elétricas excepcionais, tornando-o útil em várias aplicações industriais.
- **BaTiO₃** – refere-se ao óxido de bário e titânio. É um material cerâmico que exibe propriedades ferroelétricas, o que significa que pode ter uma polarização elétrica reversível quando sujeito a um campo elétrico. Esta característica faz do BaTiO₃ um material útil em uma variedade de aplicações tecnológicas, incluindo dispositivos piezoelétricos, capacitores de alta constante dielétrica e memórias ferroelétricas. Em dispositivos piezoelétricos, o BaTiO₃ é usado para converter energia mecânica em energia elétrica e vice-versa, tornando-se essencial em microfones, sensores de pressão e atuadores. Além disso, sua alta constante dielétrica o torna útil em capacitores de alta densidade de armazenamento de carga.
- **PbTiO₃** – Refere-se ao composto óxido de chumbo e titânio. É um material ferroelétrico que compartilha propriedades semelhantes ao BaTiO₃. Assim como o BaTiO₃, o PbTiO₃ é usado em uma variedade de dispositivos eletrônicos, como capacitores de alta constante dielétrica e memórias ferroelétricas. Sua capacidade de manter uma polarização elétrica mesmo na ausência de um campo elétrico externo o torna útil em aplicações de armazenamento de dados e como material de base para filmes finos em dispositivos eletrônicos.
- **Al₂O₃** – Refere-se ao óxido de alumínio, também conhecido como alumina. É um composto cerâmico amplamente utilizado devido à sua alta dureza, resistência à corrosão, e boa condutividade térmica e elétrica. O Al₂O₃ é usado em uma variedade de aplicações, como revestimentos cerâmicos para proteção contra corrosão e desgaste em equipamentos industriais.



- **ZrO₂** – Refere-se ao dióxido de zircônio, também conhecido como zircônia. É um material cerâmico extremamente resistente, com alta resistência mecânica, resistência à corrosão e estabilidade térmica.
- **YSZ** – Refere-se ao óxido de ítrio estabilizado por zircônia, um material cerâmico composto por ítrio (Y), zircônio (Zr) e oxigênio (O). Este material é conhecido por suas propriedades únicas e é frequentemente utilizado em diversas aplicações de alta tecnologia.
- **TaC** – Refere-se ao composto cerâmico que consiste em tântalo e carbono. É conhecido por sua extrema dureza e alta resistência à temperatura, tornando-o um material valioso em aplicações de engenharia de alta performance. O TaC é frequentemente utilizado em revestimentos para ferramentas de corte de alta velocidade, em componentes para reatores nucleares e em outras aplicações que exigem resistência à abrasão, corrosão e alta temperatura.
- **Si₃N₄** – Refere-se ao nitreto de silício, uma substância química composta por silício (Si) e nitrogênio (N). O Si₃N₄ é conhecido por suas propriedades cerâmicas e é frequentemente utilizado em aplicações que exigem materiais de alta resistência mecânica, boa resistência térmica e estabilidade química.
- **PbTe** – Refere-se ao telureto de chumbo, um composto químico formado pelos elementos chumbo (Pb) e telúrio (Te). O PbTe é um semicondutor intrínseco, o que significa que não possui impurezas intencionais adicionadas para alterar suas propriedades elétricas. Esse material tem propriedades semicondutoras interessantes e é estudado por suas aplicações em dispositivos eletrônicos e, mais especificamente, em dispositivos termoelétricos. A principal característica do PbTe que o torna interessante para aplicações termoelétricas é seu alto índice de eficiência termoelétrica, o que significa que é capaz de converter eficientemente a diferença de temperatura em eletricidade. Isso faz com que o PbTe seja útil em dispositivos termoelétricos, que têm aplicações em recuperação de calor, refrigeração termoelétrica e outras áreas relacionadas.
- **SnTe** – Refere-se ao telureto de estanho, um composto químico formado pelos elementos estanho (Sn) e telúrio (Te). Temperatura de Fusão (°C): Densidade (g/cm³): O SnTe é um semicondutor intrínseco, o que significa que não possui impurezas intencionais adicionadas para alterar suas propriedades elétricas. Este material tem propriedades semicondutoras específicas que o tornam interessante para estudos em física de materiais e eletrônica.
-



- **Sb₂Te₃** – Refere-se ao telureto de antimônio, formado por átomos de antimônio (Sb) e telúrio (Te). Este material é conhecido por suas propriedades semicondutoras e é amplamente utilizado em dispositivos eletrônicos devido à sua capacidade de mudar de fase de forma reversível em resposta a pulsos elétricos, tornando-o crucial para tecnologias de armazenamento de dados nãovoláteis.

APÊNDICE C

- **RTG** – É a sigla para "Radioisotope Thermoelectric Generator" em inglês, que pode ser traduzido como "Gerador Termoelétrico de Radioisótopos". Um RTG é um dispositivo que converte o calor gerado pela decadência radioativa de isótopos em eletricidade por meio do efeito termoelétrico. Essa tecnologia é frequentemente usada em missões espaciais para fornecer energia elétrica em ambientes onde outras fontes de energia podem ser impraticáveis.

Principais características dos RTGs:

- **Fonte de Energia Duradoura:** RTGs são conhecidos por sua longa durabilidade. Eles podem fornecer uma fonte constante de energia por períodos estendidos, muitas vezes décadas, dependendo do isótopo utilizado.
- **Efeito Termoelétrico:** O calor produzido pela decadência radioativa é convertido em eletricidade pelo efeito termoelétrico. Isso é feito usando materiais termoelétricos que geram uma corrente elétrica quando há uma diferença de temperatura.
- **Aplicações Espaciais:** RTGs foram amplamente utilizados em missões espaciais, incluindo sondas planetárias, sondas lunares e missões interplanetárias. A distância ou a falta de luz solar constante em alguns ambientes espaciais torna os painéis solares menos práticos, tornando os RTGs uma opção viável.

Um exemplo notável de uso de RTGs foi nas missões Voyager, que exploraram os planetas exteriores do nosso sistema solar. Além disso, sondas como o rover Curiosity em Marte utilizaram RTGs para garantir uma fonte contínua de energia em ambientes desafiadores.



REFERÊNCIAS

Artigo: Avaliação da resistência à erosão a quente de revestimentos cerâmicos YSZ depositados por aspersão térmica, Góes, Wellington Uczak de. 2016. Disponível em: <https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/2438>

Artigo: Caracterização estrutural de Bi₂Te₃ e Sb₂Te₃ em função da temperatura usando técnicas de difração de nêutrons em pó (NPD) e estrutura fina de absorção de raios X estendida (EXAFS), Alan Thompson, Azzam Mansour, Jeff Sharp, Qingzhen Huang, Weihua Tang, Winnie Wong-Ng, 2014. Disponível em: <https://www.nist.gov/publications/structural-characterization-bi2te3-and-sb2te3-function-temperature-using-neutron-powder>

Artigo: Carbetto de boro (B₄C): revisão acadêmica acerca das propriedades e principais características, Denise Dantas Muniz, Normando Perazzo Barbosa, Eliandro Pereira Teles, Edvaldo Amaro Santos Correia, Letícia Dantas Muniz Alves, Eduardo Braga Costa Santos, Paulo Roberto Ribeiro Marques. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/35479>

Artigo: Desenvolvimento de Cerâmicas a base de Si₃N₄ para Aplicações Estruturais, JOAQUIM LOPES PEREIRA. Disponível em: https://sites.unifoa.edu.br/portal_ensino/mestrado/memat/arquivos/dissertacao/joaquim-pereira.pdf

Artigo: Estudo das Propriedades de Cerâmicas do Sistema Si₃N₄ -AlN- Y₂O₃ para Aplicações Estruturais, J.V.C DE SOUZA, M.A LANNA, C.SANTOS, C.R.M SILVA, O.M.M SILVA, S.J CRMKOVIC. Disponível em: <https://www.ipen.br/biblioteca/cd/cbc/2004/artigos/48cbc-9-17.pdf>

Artigo: Propriedades eletrônicas e estruturais do PbTiO₃: teoria do funcional de densidade aplicada a modelos periódicos, Armando Beltran, Elson Longo, Júlio Ricardo Sambrano, Sérgio Ricardo de Lázaro. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/WbZcV8NZPKc9yjMxLVVqZkM/?lang=pt#>

Cerâmicas à base de SiC: Al₂O₃:Y₂O₃ com adição de polímeros precursores, A. H. A. Bressiani, A. L. E. Godoy, J. C. Bressiani. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ce/a/XmWg8TPn9ZBwCrTXNXQ3dBF/?lang=pt#>

Compósitos SiC /SiC utilizados em sistemas de proteção térmica, C. A. A. Cairo, K. Iha, L. E. Carvalho, M. Florian, M. L. A. Graça. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ce/a/ZD6vH69tSMdfJK8QBPgbc7x/#>

Discussão da NASA sobre as lições aprendidas com a recuperação e reconstrução do Columbia após a sua trágica perda, e como essas lições foram incorporadas em novas naves espaciais.



Disponível em: https://youtu.be/A_tiOZVnzAw

Estudo Teórico de Defeitos Intrínsecos em Nanofios de Telureto de Estanho, Tainá Metendal de Souza, 2018. Disponível em: <https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/24429/1/defeitosnanofiosteluretoestanho.pdf>

JOSÉ R. V. COSTA e FLORA I. MATTOS Olarias Espaciais. Disponível em: <https://zenite.nu/olarias-espaciais>

JOHN URI 20 Anos Atrás: Lembrando da Columbia e Sua Tripulação. Disponível em: <https://www.nasa.gov/history/20-years-ago-remembering-columbia-and-her-crew/>

Livro: CIÊNCIA DOS MATERIAIS. James F. Shackelford. Capítulo 12, Cerâmicas e vidros.

NASA, Acidente Columbia. Disponível em: <https://www.nasa.gov/remembering-columbia-sts-107/>

NASA, Avançando Revestimentos Cerâmicos para a Vida Útil e Eficiência do Motor. Disponível em: <https://www.nasa.gov/aeronautics/advancing-ceramic-coatings-for-engine-life-and-efficiency/>

NASA, Compósitos cerâmicos revolucionam a eficiência do motor. Disponível em: <https://www.nasa.gov/aeronautics/ceramic-composites-revolutionize-engine-efficiency/>

NASA, Biblioteca de imagens. Disponível em: <https://images.nasa.gov>

NASA, Investigação e Recomendações. Disponível em: <https://www.nasa.gov/history/columbia-accident-investigation-board-synopsis/> <https://www.nasa.gov/wp-content/uploads/2024/03/columbia-recommendation-spreadsheet.pdf?emrc=ed3f8b>
<https://www.nasa.gov/wp-content/uploads/static/history/columbia/Troxell/Columbia%20Web%20Site/CAIB/CAIB%20Website/news/FOAMIM~1.PDF?emrc=662059da1b6c3>

PROF. MARIA ISMENIA SODERO Aula 1 A Ciência e Engenharia dos Materiais. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/1629954/mod_resource/content/0/2primeira%20aula.pdf

PUC GOIAS. Materiais Cerâmicos. Disponível em: <https://professor.pucgoias.edu.br/sitedocente/admin/arquivosUpload/17341/material/Cer%C3%A2micas.pdf>

Titanato de Bário como material ferroelétrico. Disponível em: <https://www.electricity-magnetism.org/pt-br/titanato-de-bario-como-material-ferroeletrico/>

Website de Fornecedor de Cerâmica Avançada QINGDAO CBC Co.,Ltd. O QUE É CERÂMICA AVANÇADA. Disponível em: <https://aluminaceramics.wordpress.com/ceramica-avancada/>