

Relatório Final

Título do projeto de pesquisa: Aplicação do Planejamento de Experimentos no Desenvolvimento de Blindagem Balística Terrestre
Bolsista: Guilherme Moresi Sebe
Orientador(a): Antônio Pascoal Del'Arco Júnior
Período a que se refere o relatório: Fevereiro de 2.014 a julho de 2.014

Resumo

O objetivo do trabalho é estudar as propriedades mecânicas de compostos cerâmicos de diferentes composições, para a utilização em blindagem balística terrestre. As matrizes cerâmicas foram elaboradas à base de óxido de alumínio (Al_2O_3), contendo diferentes composições de óxido de zircônio (ZrO_2) e óxido de cromo (Cr_2O_3), das quais:

1. 100% Al_2O_3 ;
2. 99% Al_2O_3 e 1% Cr_2O_3 ;
3. 97% Al_2O_3 e 3% ZrO_2 ;
4. 96% Al_2O_3 , 1% Cr_2O_3 e 3% ZrO_2 ;
5. 98% Al_2O_3 , 0.5% Cr_2O_3 e 1.5% ZrO_2 .

Experimentalmente, foram confeccionadas pastilhas cilíndricas e barras, das cinco composições mantendo a mesma porcentagem de aditivos e os mesmos parâmetros de produção e conformação. Este relatório apresenta os resultados dos ensaios iniciais: difração de raio-x, ensaio de dureza Vickers, análise de microscopia eletrônica de varredura (MEV) e densidade. Após a obtenção dos resultados destes 4 ensaios e realizado os estudos comparativos, chegou-se a conclusão de que as amostras de alumina com 1% de óxido de cromo e 3% de óxido de zircônio, sinterizadas por um período de 5 horas a 1550°C , mostraram-se mais adequadas para a utilização em blindagem automotiva, devido a uma massa específica próxima ao real, alta dureza e baixa porosidade.

1. Introdução

Durante toda a história da humanidade, com o surgimento de uma nova arma existe o esforço de se desenvolver uma forma de proteção contra a mesma. Na atualidade com o

desenvolvimento de projéteis mais potentes e com características perforantes (núcleo de aço com maior dureza, recoberto com camisa de liga de cobre) a blindagem metálica não satisfaz mais os requisitos exigidos, por ser muito espessa (e pesada) para resistir aos impactos, principalmente para aeronaves e tropas. Assim, deu-se início à pesquisa de blindagens compostas por materiais cerâmicos e compósitos.^[1]

Surge, portanto, a necessidade de estudo para obtenção de tecnologia em fabricação de blindagens modernas. Uma das combinações de grande eficiência contra munições perforantes constitui em uma placa cerâmica acoplada a um laminado polimérico. Estes sistemas de blindagem têm alta rigidez e resistência específica, com significativa redução de peso. Como exemplo tem-se a blindagem à base de alumina, que é 5 vezes mais fina e 3 vezes mais leve do que a de aço.^[2]

A função da cerâmica em uma blindagem é fornecer um revestimento rígido, capaz de fragmentar e erodir a ponta do projétil, convertendo sua energia cinética em energia de fratura, diminuindo a quantidade de movimento e reduzindo a sua capacidade de penetração.^[3] O laminado polimérico suporta a cerâmica e absorve a energia cinética residual do projétil e dos próprios fragmentos da cerâmica.^[4]

O objetivo deste projeto é estudar, por meio de uma matriz de experimentos (DOE), qual o compósito cerâmico possui melhores propriedades mecânicas para a utilização em blindagem balística terrestre.

2. Material e métodos

As matérias primas utilizadas foram o óxido de alumínio ou alumina (Al_2O_3) CT – 3000 (Almatis), com tamanho médio de partículas de 1 μm , óxido de cromo verde (Cr_2O_3) 1382-04 (B. Herzog comércio e indústria S/A) e óxido de zircônio (ZrO_2) OX40-3NSE 99.95% (Stanford Materials Corporation).

2.1 Densidade

O ensaio de densidade foi realizado em uma balança analítica da marca UniBloc. Inicialmente as amostras passaram por um processo de purificação, onde foram fervidas em água destilada por 2 horas. Inicialmente é medido a massa da amostras imersa em água destilada (M_i). Em seguida, esta é colocada em uma estufa para secagem. Após 1 hora as amostras passam por mais duas aferições de massa: a massa seca (M_s), que é o próprio valor

da massa de cada amostra e a massa úmida (Mu), onde as amostras são umedecidas com água destilada. A porosidade [%] e densidade [g/cm³] de cada amostra foram calculadas utilizando as fórmulas:

$$Pa = \left(\frac{Mu - Ms}{Mu - Mi} \right) * \rho l * 100$$

$$\rho = \left(\frac{Ms}{Mu - Mi} \right) * \rho l$$

Fórmula 1: cálculo da porosidade.

Fórmula 2: cálculo da densidade.

Onde: ρl é a densidade da água, que foi obtida através de uma tabela em função da temperatura dentro do local. No dia do ensaio das amostras de 1 a 15, a temperatura no local era de 25°C, assim o ρl é de 0,9971. No dia do ensaio das amostras de 16 a 45, a temperatura no local era de 23°C, assim o ρl é de 0,9976.

2.2 Dureza Vickers

Os processos de preparação das amostras (lixamento e polimento) foram citados no relatório anterior. O ensaio foi realizado em um Microdurômetro Futuretech, modelo FM-7. Foram realizados 5 leituras em cada amostra e calculado a média.

2.3 Difração de Raio X (DRX)

A difração de Raios X foi utilizada para analisar se houve a formação de novos compostos químicos durante a sinterização, ou seja, se houve interação da alumina com o óxido de cromo e zircônia. O equipamento utilizado foi o Difratorômetro de Raios X, marca Philips, modelo X'Pert-PW 1830/40, do laboratório da AMR (Divisão de Materiais do Instituto de Aeronáutica e Espaço – IAE).

2.4 Microscopia de Varredura Eletrônica (MEV)

O MEV foi realizado sob condições de temperatura específicas da máquina utilizada no laboratório da AMR. Foram realizadas 2 imagens de cada amostra, uma com ampliação de 5000x e outra a 10000x. Este relatório apresenta apenas as imagens da amostra escolhida como adequada para a blindagem terrestre (96% alumina, 1% óxido de cromo e 3% zircônia, 5 horas de sinterização a 1550°C).

2.5 Ensaio de Ruptura

Para a realização do ensaio de ruptura, foram confeccionadas 28 corpos de prova retangulares, sob as mesmas condições de produção das amostras cilíndricas já citadas, tomando por passos as prensagens em prensa hidráulica e isostática, assim como a sinterização, adotando as mesmas condições de pressão, temperatura e tempo de sinterização.

Para a realização do ensaio foi utilizada a máquina de ensaio Instron, marca Morh-Federraf (20t).

A fórmula utilizada para cálculo da tensão em 4 pontos foi:

$$S = \left(\frac{3 * P * L}{4 * b * d^2} \right)$$

Fórmula 3: cálculo da tensão de ruptura.

Onde: S= tensão; P= carga de ruptura; b= medida da base; d= medida da altura; L= 27 [mm];

3. Resultados e Discussões

3.1 Densidade, Porosidade e Dureza Vickers

Amostra	1500°C								
	1h			5h			10h		
	Densidd	Porosidd	Dureza	Densidd	Porosidd	Dureza	Densidd	Porosidd	Dureza
1	3,725	3,4	15,6±0,6	3,812	0,7	19,9±1,0	3,873	0,7	17,0±0,7
2	3,609	6,8	12,7±0,6	3,808	0,9	20,7±1,0	3,861	0,7	21,0±0,5
3	3,701	5,7	15,3±0,5	3,876	0,3	20,7±0,8	3,980	0,8	20,5±0,9
4	3,680	7,0	13,7±0,6	3,841	0,5	20,3±1,3	3,891	0,4	22,1±0,6
5	3,670	4,1	11,7±0,7	3,855	0,4	17,7±0,5	3,884	0,5	19,9±0,4

Amostra	1550°C								
	1h			5h			10h		
	Densidd	Porosidd	Dureza	Densidd	Porosidd	Dureza	Densidd	Porosidd	Dureza
1	3,767	0,5	19,5±0,2	3,848	1,1	20,2±0,2	3,874	1,0	17,4±0,3
2	3,853	0,6	20,1±0,5	3,826	1,6	20,2±0,2	3,900	0,4	17,2±0,2
3	3,902	0,6	19,0±0,2	3,903	0,6	20,2±0,2	3,883	0,7	17,4±0,5
4	3,874	0,8	19,4±0,1	3,900	0,4	21,1±0,2	3,897	1,0	16,4±0,3
5	3,886	0,5	18,8±0,1	3,865	1,0	20,1±0,1	3,887	0,9	18,7±0,3

Amostra	1600°C								
	1h			5h			10h		
	Densidd	Porosidd	Dureza	Densidd	Porosidd	Dureza	Densidd	Porosidd	Dureza
1	3,902	0,4	17,7±0,5	3,869	0,9	17,8±0,3	3,818	1,5	17,3±0,4
2	3,887	0,5	18,4±0,4	3,863	0,9	17,9±0,2	3,838	1,1	16,6±0,5
3	3,909	0,9	19,9±0,3	3,892	1,0	18,2±0,3	3,816	1,0	15,4±0,4
4	3,906	1,0	18,2±0,3	3,849	2,0	19,7±0,6	3,854	0,7	17,7±0,4
5	3,898	0,6	18,3±0,4	3,904	0,7	17,3±0,3	3,828	1,0	17,2±0,2

Tabela 1: Resultados dos ensaios de Densidade, Porosidade e Dureza.

Nos resultados da densidade e porosidade não foi possível obter o desvio padrão por ter sido confeccionado apenas um corpo de prova para cada condição.

3.2 Raio X

No relatório anterior foram apresentadas algumas imagens originadas no ensaio de difração de raios x. Após análise e discussão observou-se que algumas amostras estão contaminadas com zircônia.

3.3 Microscopia de Varredura Eletrônica

Com auxílio do software ImageJ, foi realizada a contagem, área e circularidade dos grãos. A figura 1 apresenta o resultado da amostra escolhida por maior dureza.

Contagem – aproximadamente 141 grãos;

Área - média de 140,2979 [mm²];

Tamanho do grão (média) = 1,54±1,02 μm;

Circularidade – 0,56±0,29 μm (quanto mais próximo de 1 mais circular).

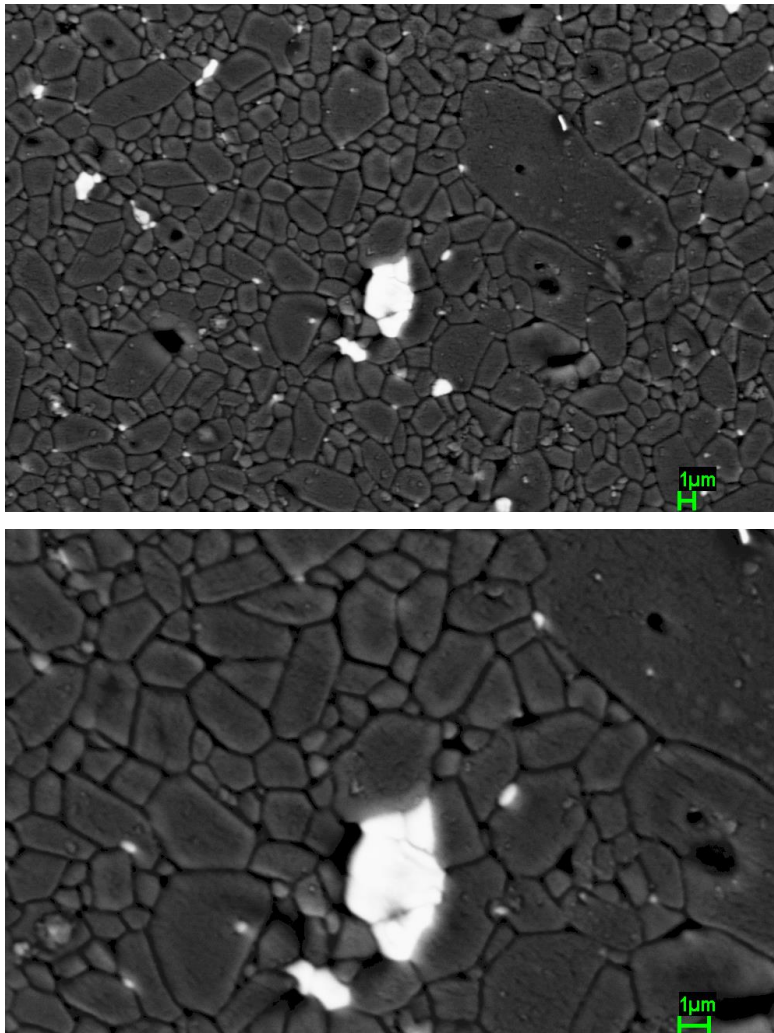


Figura 1: imagens do MEV da amostra 4 após sinterização em 5 horas a 1550°C, aumentadas 5000x e 10000x, respectivamente.

A escolha da amostra foi realizada tendo como base a que tivesse maior valor de dureza.

Assim, as amostras com maiores valores (acima de 20 GPa) foram:

- amostra 2, temperatura= 1500°C, tempo de sinterização = 10 horas;
- amostra 4, temperatura= 1500°C, tempo de sinterização = 10 horas;
- amostra 4, temperatura= 1550°C, tempo de sinterização = 5 horas.

Como a amostra 4 apresentou o melhor resultado em duas condições, foi escolhida o tempo de sinterização de 5 horas por apresentar resultado muito próximo ao obtido na temperatura de 10 horas, reduzindo também o custo de 5 horas em energia elétrica.

3.4 Ensaio de Ruptura

As amostras retangulares tiveram medidas médias na base e altura de 4,386 [mm] e 2,786 [mm] respectivamente. Com a aplicação da fórmula 3 obteve-se, para a amostra escolhida, um resultado médio de tensão igual a 274,3169 [MPa].

4. Conclusões

A escolha da amostra número 4, 5 horas de sinterização a 1550°C, como sendo a amostra adequada para utilização em blindagem, baseou-se na análise dos resultados dos ensaios de dureza Vickers, densidade, porosidade, DRX e MEV. Após a escolha dessa amostra foi realizado o ensaio de ruptura em 4 pontos para confirmar se esta amostra seria capaz de aguentar altas tensões.

A alta dureza, o baixo índice de porosidade, observado também nas imagens obtidas no MEV, à elevada densidade e a tensão de ruptura dentro do desejado, dão à amostra características satisfatórias para ser implementada como material próprio para revestimento balístico.

Os resultados da difração de raios X que foi usada para identificar as fases formadas da alumina apresentou contaminação em muitas amostras com zircônia, o que fica recomendado a trabalhos futuros maiores cuidados no manuseio dos pós.

Como recomendações ficam a realização do ensaio K1C e o ensaio balístico.

Referências

- [1] BÜRGER, D.; Customização do Carbetto de Silício para Aplicação de Blindagem Aeronáutica. 2006. 46f. Trabalho de Graduação – ITA, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos.
- [2] Gonçalves, D. P.; Melo, F. C. Lourenço. Blindagem para aeronaves, In: ETQM, 1999, Instituto de Pesquisa da Marinha, Rio de Janeiro.
- [3] Wilkins, M. L.; Mechanics of Penetration and Perforation. Int. J. Eng. Sci., v. 16, p. 793-807, 1978.
- [4] Sherman, D.; Brandon, D. G. The ballistic failure mechanism and sequence in semi-infinite supported alumina tiles. J. Mater. Res., v. 12, n.5, p.1335- 1343, mai, 1997.



[5] Motas, J. M.; Desenvolvimento de Compósitos Híbridos Polímeros/Cerâmica Para Blindagem Balística. 2010. Tese de Mestrado – ITA, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos.

[6] Silva, M. V.; Processamento e Caracterização de Cerâmica a Base de Alumina Para Uso Em Blindagem Balística. 2013. Tese de Mestrado – Universidade Federal de Santa Catarina.