

RESPOSTA AO IMPACTO BALÍSTICO DE COMPÓSITO DE ELEVADA CONCENTRAÇÃO DE ALUMINA-PEUAPM REVESTIDO COM UMA CAMADA DE PEUAPM*

André Ben-Hur da Silva Figueiredo¹
Danúbia Bordim de Carvalho²
Letícia dos Santos Aguilera³
Monique Vital de Lima⁴
Ronaldo Sergio de Biasi⁵

Resumo

A resposta ao impacto balístico de compósitos com concentrações de 95%, 96% e 97% em massa de alumina em polietileno de ultra alto peso molecular (PEUAPM) revestidos com PEUAPM foi investigada. Os ensaios de impacto foram realizados em velocidade subsônica utilizando um sistema de ar comprimido. Os resultados mostraram que a menor profundidade de penetração (PP) em uma placa de MDF protegida pela compósito foi observada para o compósito com 97% de alumina. Imagens de microscopia eletrônica de varredura (MEV) dos compósitos mostraram mecanismos de fratura transgranular, intergranular e dúctil.

Palavras-chave: Blindagem balística; Impacto balístico; Compósito alumina-PEUAPM.

BALLISTIC IMPACT OF ALUMINA-PEUAPM HIGH CONCENTRATION COMPOSITES

Abstract

The response to ballistic impact of composites with 95%, 96% and 97% by mass of alumina in high molecular weight polyethylene (UHMWPE) coated with UHMWPE was investigated. The impact tests were carried out at subsonic speed using a compressed air system. The results showed that the lowest depth of penetration (DOP) in an MDF bulkhead protected by the composite was observed for the composite with 97% alumina. Scanning electron microscopy (SEM) images of the composites showed transgranular, intergranular, ductile fracture mechanisms.

Keywords: Ballistic shielding; Ballistic impact; Alumina-UHMWPE composite.

¹ Bacharel em Física, Mestre em Engenharia Nuclear, Doutor em Ciência dos Materiais, Professor, Curso Básico e Seção de Engenharia Mecânica e de Materiais, Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

² Bacharel em Engenharia Química, Mestre em Ciência dos Materiais, Doutoranda em Ciência dos Materiais, Seção de Engenharia Mecânica e de Materiais, Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

³ Bacharel em Engenharia de Petróleo, Mestre em Ciência dos Materiais, Doutoranda em Ciência dos Materiais, Seção de Engenharia Mecânica e de Materiais, Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

⁴ Aluna de Graduação em Engenharia de Construção, Seção de Engenharia de Fortificação e Construção, Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

⁵ Bacharel em Engenharia Elétrica, Mestre em Engenharia Elétrica, Ph.D. em Engenharia Elétrica, Professor Emérito da Seção de Engenharia Mecânica e de Materiais, Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

⁶

1 INTRODUÇÃO

Nos dias atuais, os conflitos locais e regionais são uma triste realidade. Por este motivo, é crescente a pesquisa e desenvolvimento de armamentos e de proteção balística.

Para proteção pessoal contra armamento pesado, os coletes convencionalmente usam de 30 a 50 camadas de tecido de aramida [1]. Esta proteção, no entanto, é limitada pelo seu elevado peso e custo. Atualmente, como alternativa para reduzir o peso destes coletes e aumentar a eficiência na proteção, placas de compósitos, cujos materiais constituintes estão distribuídos em camadas, formam um sistema de blindagem multicamadas (SBM) [2]. Um SBM em geral possui camada frontal de cerâmica que erode a ponta do projétil. Este mecanismo de dissipação de energia envolve não apenas a fragmentação do projétil, mas também a fragmentação da cerâmica.

Os principais materiais cerâmicos utilizados na primeira camada de proteção balística são a alumina (Al_2O_3), o carbetto de silício (SiC) e o carbetto de boro (B_4C). A alumina tem sido amplamente utilizada para todos os tipos de proteção devido à sua dureza, resistência à abrasão e inércia química. No entanto, sua baixa resistência à flexão e baixa tenacidade à fratura significam que o uso de alumina pura para proteção pode levar a falhas catastróficas [3-6].

O objetivo deste trabalho foi investigar as propriedades de compósitos de elevadas concentrações de alumina-PEUAPM revestidos com uma camada de PEUAPM, nos quais o PEUAPM serve para diminuir o peso e aumentar a resistência à flexão e tenacidade à fratura, tornando a blindagem mais adequada para proteção pessoal e evitando fraturas após o primeiro disparo [7,8]. Há também um fator econômico envolvido, uma vez que o compósito é preparado a uma temperatura relativamente baixa, 230 °C, enquanto a alumina pura deve ser preparada em pó de alumina sinterizada a altas temperaturas, da ordem de 1400 °C, um procedimento de alto custo [9].

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Materiais

Os materiais usados foram pó de alumina de 60 mesh (Fisher Scientific), PEUAPM Mipelon PM-200 (Mitsui Chemicals) e placa de MDF de 1" (Arauco do Brasil).

2.2 Preparação das Amostras

Compósitos com diferentes proporções alumina-PEUAPM-aramida foram preparados por mistura mecânica por 10 min e rotulados como A95, A96 e A97, em que 95, 96 e 97 é a porcentagem em massa de alumina. Todas as amostras foram revestidas com uma camada de 2 g de PEUAPM e produzidas na forma de discos de 5 mm de espessura e 51 mm de diâmetro. Os discos foram prensados a 230 °C por 10 min sob uma força de 90 kN.

2.3 Caracterização

Para os testes balísticos, foi utilizado um rifle de ar Gunpower modelo SSS com um supressor de ruído Padrão Armas. Foram usados projéteis calibre 22 de chumbo com uma massa estimada de 3,3 g. Para determinar a velocidade de boca para cada tiro, foi utilizado um cronógrafo balístico Air Chrony modelo MK3, com precisão de 0,15 m/s.

Após os testes balísticos, imagens dos compósitos foram obtidas em um Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV)FEI Quanta FEG 250 SEM.

2.4 Testes Balísticos

Nos testes balísticos, o rifle de ar foi posicionado a 5 m de distância do alvo, que consistiu em um disco do compósito preso com fita adesiva a uma placa de MDF e alinhado perpendicularmente ao rifle.

O supressor de ruído foi usado para aumentar a estabilidade do projétil na saída do rifle de ar, reduzindo o turbilhão causado pelo escape.

Placas de MDF foram usadas como anteparos porque o MDF é um material homogêneo, plano e denso, sem os nodos da madeira maciça.

A figura 1 mostra o resultado de um disparo típico.

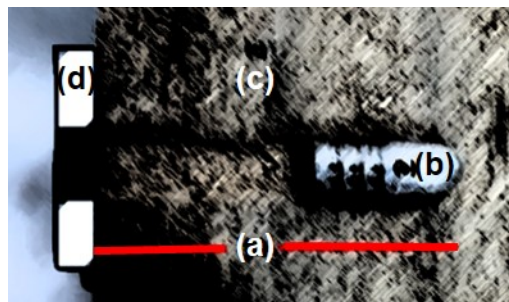


Figura 1. Resultado de um disparo típico. (a) Profundidade de penetração (PP) determinada a partir da superfície do alvo até a ponta do projétil; (b) projétil; (c) alvo de MDF; (d) disco do compósito.

Todos os disparos atravessaram totalmente o disco. Um disparo foi feito em cada experimento e quatro experimentos foram realizados para cada composição. Os resultados são mostrados na Fig. 2.



Figura 2. Amostras A95, A96 e A97, da esquerda para direita, após os testes balísticos.

A Tabela 1 mostra os valores médios da profundidade de penetração (PP), da massa dos compósitos (M_c) e do fator de mérito [$FM = 1/(PP \times M_c)$] para cada composição.

Tabela 1. Resultados médios dos testes balísticos

Compósito	PP(mm)	M_c (g)	FM (10^{-4})($g^{-1}mm^{-1}$)
A95	$6,17 \pm 0,94$	$30,24 \pm 0,54$	$53,60 \pm 0,32$
A96	$7,39 \pm 1,04$	$29,14 \pm 0,88$	$46,44 \pm 0,28$
A97	$4,55 \pm 0,96$	$40,31 \pm 0,44$	$54,52 \pm 0,42$

2.5 Imagens de MEV de Pó de Alumina e das Amostras

A Figura 4 é uma imagem de MEV do pó de alumina, mostrando a forma irregular dos grãos, o que melhora a rigidez dos compósitos.

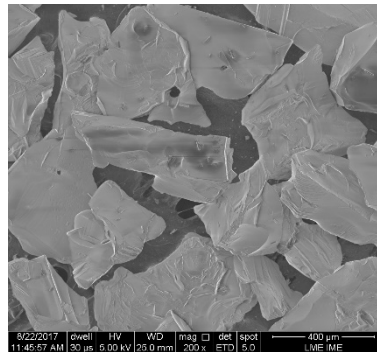


Figura 4. Imagem de MEV do pó de alumina.

A Figura 5 mostra duas imagens de MEV de uma amostra A95 onde se pode ver: (a) uma fratura transgranular frágil e (b) uma fratura dúctil, poros e regiões em que as partículas de alumina foram arrancadas da matriz de PEUAPM.

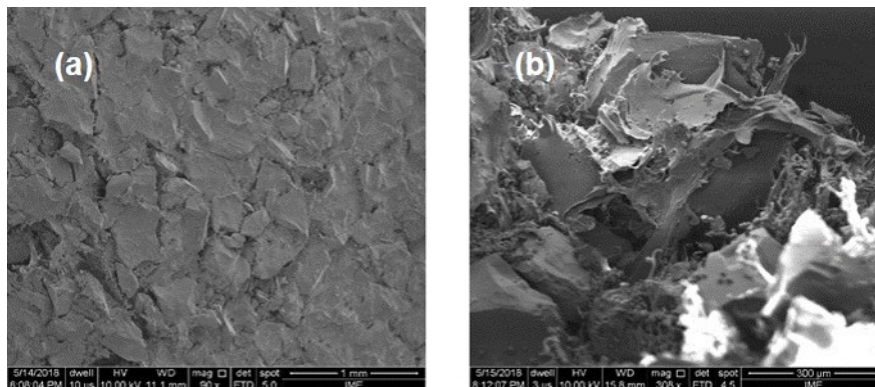


Figura 5. Imagens de MEV da amostra A95.

A Figura 6 mostra duas imagens de MEV de uma amostra A96 onde se pode ver: (a) uma região dúctil de PEUAPM e regiões em que as partículas de alumina foram arrancadas e (b) o PEUAPM cobrindo toda a superfície das partículas de alumina, o que contribui para aumentar a resistência à tração e a tenacidade [9, 15]. Tal recobrimento reforça a possibilidade de o compósito ser considerado um fluido espessante por cisalhamento (FEC) [16,17].

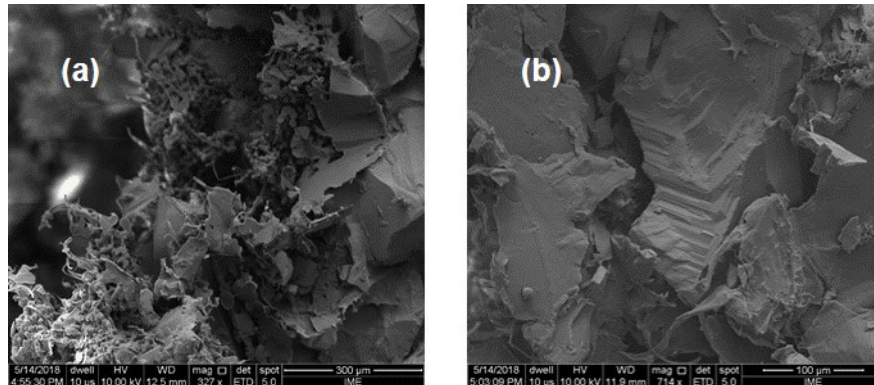


Figura 6.Imagens de MEV de uma amostra A96.

A Figura 7 mostra uma imagem de MEV de uma amostra A97 em que as partículas de alumina estão parcialmente recobertas com PEUAPM.

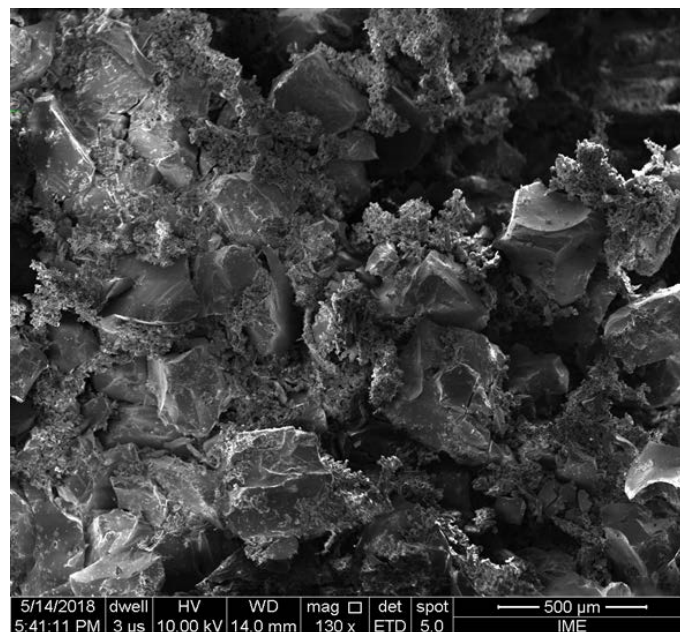


Figura 7.Imagem de MEV de uma amostra A97.

3 CONCLUSÃO

O compósito A97 foi o que produziu a menor profundidade de penetração, principalmente devido ao aumento da rigidez promovido pelo parcial recobrimento da alumina, enquanto o compósito A95, como era esperado, foi o que apresentou menor massa. O fator de mérito foi aproximadamente o mesmo para os dois compósitos. Imagens de MEV das amostras A95, A96 e A97 mostraram os diversos modos de absorção de energia do impacto do projétil.

Agradecimentos

Os autores agradecem à CAPES e ao CNPq pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS

- 1 P.V. Cavallaro, "Soft body armor: an overview of materials, manufacturing, testing, and ballistic impact dynamics," 1 August 2011, NUWC-NPT Technical Report 12,057
- 2 F.S.LUZ, E.P.L. JUNIOR, L.H.L. LOURO, S.N. MONTEIRO, "Ballistic test of multilayered armor with intermediate epoxy composite reinforced with jute fabric", Materials Research, v. 18, p. 170-177, 2015.
- 3 E. MEDVEDOVSKI, "Ballistic performance of armor ceramics: Influence of design and structure – part I", Ceramics International, v. 36, p. 2103-2115, 2010.
- 4 E. MEDVEDOVSKI, "Ballistic performance of armor ceramics: Influence of design and structure – part II", Ceramics International, v. 36, p. 2117-2127, 2010.
- 5 E. MEDVEDOVSKI, "Lightweight ceramic composite armor system", Advances in Applied Ceramics, v. 105, p. 241-245, 2006.
- 6 L.H.L. LOURO, M.A. MEYERS, "Effect of stress state and microstructural parameters on impact damage of alumina-based ceramics", Journal of Materials Science, v. 24, p.2516-2532, 1989.
- 7 F.M.B.COUTINHO, I.L. MELLO, L.C. SANTA MARIA, "Polietileno: Principais Tipos, Propriedades e Aplicações", Polímeros: Ciência e Tecnologia, v. 13, p. 1-13, 2003.
- 8 F.S. SENATOV, M.V. GORSHENKOV, V.V. TCHERDYNTSEV, S.D. KALOSHKIN, V.A. SUDARCHIKOV, "Fractographic analysis of composites based on ultra high molecular weight polyethylene", Composites: Part B, v. 56, p. 869-875, 2014.
- 9 W.TRINDADE, A.V. GOMES, L.H.L. LOURO, "Elaboração de uma Nova Rota de Eliminação de Ligante da Cerâmica de Alumina". RMCT, v.4, p. 71-79, 2013.
- 10 D.E. CARLUCCI, S.S. JACOBSON, "Ballistics: theory and design of guns and ammunition". Boca Raton [Florida]: CRC, 2008. 496p. ISBN 1420066180.
- 11 G. AZEVEDO, J.C.T. ARAGÃO, "Apontamentos sobre balística", Rio de Janeiro, 2010.
- 12 C.E. ANDERSON JR, "Analytical models for penetration mechanics: A review", Int. J. Impact Eng., v. 108, p. 3-26, 2017.
- 13 M.M. SHOKRIEH, G.H. JAVADPOUR, "Penetration analysis of a projectile in ceramic composite armor", Composite Structures, v. 82, p. 269-276, 2008.
- 14 M.E. BACKMAN, W. GOLDSMITH, "The mechanics of penetration of projectiles into targets." Int. J. Eng. Sci., v. 16, p. 1-100.
- 15 G.H. JONAS, J.A. ZUKAS, "Mechanics of penetration: analysis and experiment." Int. J. Eng. Sci., v. 16, p. 879 – 904.

- 16 F.J. GALINDO-ROSALES, F.J. RUBIO-HERNÁNDEZ, A. SEVILLA, “An apparent viscosity function for shear thickening fluids”, J.Non-Newtonian Fluid Mech., v. 166, p. 321-325, 2011.
- 17 J. DING, P.J. TRACEY, W. LI, G. PENG, P.G. WHITTEN, “Review on shear thickening fluids and applications”, Text. Light Ind. Sci. Tech., v. 2, p. 161-173, 2013.