

DESEMPENHO DE ADESIVOS A BASE DE PU, EPÓXI E SILANO NA INTERFACE KEVLAR® / ALUMINA

K. F. Noronha, F. C. L. Melo, C. M. A. Lopes

Pça. Mal do ar Eduardo Gomes, 50, 12228-904 – São José dos Campos – SP

E-mail: cmoniz@iae.cta.br

Divisão de Materiais, Instituto de Aeronáutica e Espaço (IAE)

Divisão de Engenharia Mecânica-Aeronáutica, Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA)

Compósitos híbridos polímero/cerâmica são utilizados em painéis de blindagem balística por serem materiais que possuem boa capacidade de absorver impactos de alta velocidade. A escolha de um adesivo adequado para unir à cerâmica e o polímero é um dos pontos essenciais para o desenvolvimento do painel híbrido devido a sua influência no desempenho da blindagem. Neste trabalho foi realizado um estudo de adesão em materiais híbridos constituídos de compósitos de fibras de aramida (Kevlar®) e a cerâmica alumina. Foram avaliados adesivos de natureza química distinta, a base de poliuretano, epóxi e silano. A caracterização da interface adesiva foi realizada com o teste de resistência ao descolamento (T-Peel) e por microscopia óptica das superfícies pós-teste. Em todas as amostras a falha ocorreu na interface. O adesivo à base de silano apresentou baixa interação com o polímero, enquanto que o adesivo PU “hot melt” resultou na maior força de adesão.

Palavra chave: adesão; blindagem balística; compósitos híbridos, interface

INTRODUÇÃO

As blindagens híbridas têm sido estudadas por várias décadas com o intuito de desenvolver novos equipamentos de proteção como coletes, capacetes e blindagens de veículos utilizados por militares e empresas de automóveis ⁽¹⁾. O intuito principal é a necessidade de se desenvolver equipamentos cada vez mais leves e que proporcionem aos usuários maior conforto, segurança e mobilidade.

As blindagens híbridas mais utilizadas são compostas por uma cerâmica e um polímero. A cerâmica é utilizada na parte frontal do painel balístico, pois estas são capazes de absorver grande parte da energia cinética do projétil. As cerâmicas mais estudadas para este fim é a alumina, carbeto de silício e carbeto de boro, porém isoladamente estes materiais são incapazes de suportar a propagação da onda de impacto ⁽²⁾. Dessa forma, o painel balístico é composto também por um material polimérico, posicionado na parte posterior, que é capaz de absorver o restante da

energia cinética e transformá-la em deformação plástica. Os polímeros mais utilizados são poliésteres, poliamida, aramidas e polietilenos. As fibras de aramida apresentam excelente resistência ao impacto, além de suportar altas temperaturas e serem significativamente mais leves que os metais ⁽³⁾.

Além da seleção adequada dos materiais, outro fator importante no desenvolvimento do painel é a interface adesiva responsável por unir a cerâmica e o polímero. Marshall ⁽⁴⁾ evidencia que a energia residual do projétil após o impacto é influenciada pelo tipo de adesivo utilizado nesta interface cerâmica/polímero. A adesão adequada dos materiais pode minimizar a geometria do “calombo” resultante da deformação plástica.

Os adesivos mais utilizados neste tipo de painel são à base de poliuretanos e epoxídicos. Os adesivos epoxídicos e poliuretanos principalmente os *hot melts* possuem boas propriedades mecânicas, suportam altas temperaturas e, sobretudo possuem alta resistência química e térmica. Estes são utilizados por diversas indústrias por apresentarem boa processabilidade em materiais compósitos ⁽⁵⁾. Além disso, é essencial que o adesivo utilizado na interface do compósito tenha afinidade química com as superfícies em questão para que se possa ocorrer adesão satisfatória dos materiais e assim garantir que o painel suporte o impacto do projétil e os efeitos colaterais do mesmo.

Este trabalho teve por objetivo avaliar o desempenho de diferentes adesivos na interface do compósito híbrido Kevlar® / alumina para fins balísticos.

EXPERIMENTAL

Materiais e métodos

Os materiais utilizados neste estudo estão descritos na Tab. 1.

Tabela 1: Materiais utilizados na preparação dos corpos de prova

Adesivos / Fornecedores	Polímeros	Cerâmica
PU <i>Hot melt</i> / 3M		
PU siloc / Anaeróbicos	Kevlar® - Du Pont	Alumina CT 3000-
Epóxi / Maxepoxi	Kevlar® com PU (matriz)	Almatis
Epóxi com pó de alumina		
Silano / Henkel		

Preparação da alumina

Para a preparação da barbotina adicionou-se alumina, água destilada, carboxi metil celulose e poliácrito de amônia, sendo a mistura mantida sob agitação em um moinho de bolas por 48h e em seguida, realizou-se a secagem da mesma em estufa a 100°C por 24h.

Após este período realizou-se a desaglomeração das partículas e a peneiração do pó. Logo após adicionou-se o Poli (álcool vinílico) como ligante, peneirou-se novamente e prensaram-se todos os corpos de prova, os quais foram submetidos à pré-sinterização a 1000°C por 1h e à sinterização a 1600°C por 1h.

Caracterização da alumina

Para o ensaio de massa específica foi utilizada a técnica baseada no princípio de Arquimedes, segundo a norma ASTM C343-82. A difração de raios-X foi realizada utilizando um Difratorômetro de Raios-X Panalytical MPD XPERT PRÓ 3060, com velocidade de varredura de 1º/s. Para estes ensaios foram utilizados corpos de prova em barra (39,0 / 5,90 / 5,0 mm).

Preparação dos CDPs híbridos para o ensaio de adesão

Os corpos de prova (CDPs) para ensaio de adesão foram preparados com dois tipos de tecido de aramida. Para o primeiro grupo de amostras, uma camada de tecido de aramida (Kevlar®) foi cortada em tiras de 2,5x15 cm. Para um segundo grupos foram utilizadas duas camadas de Kevlar® intermediadas por poliuretano (PU *hot melt*). Este material, designado Kevlar® com PU foi processado em autoclave a uma temperatura de 120°C e em seguida o painel foi cortado também em retângulos de 2,5x15 cm.

Os corpos de prova híbridos foram montados utilizando a cerâmica alumina (9placas de 90,0 / 50,0 / 4,7 mm), o Kevlar®, Kevlar® com PU e os adesivos. Os adesivos de silano, PU siloc e epóxi foram colados sob vácuo com pressão de aproximadamente 10 MPa. O adesivo epóxi com alumina foi preparado misturando-se aproximadamente 3% de pó de alumina em massa e em seguida as amostras foram coladas também sob vácuo.

O adesivo PU *hot melt* foi colado utilizando-se de uma prensa, a temperatura de 130° C e pressão de 30 MPa.

A Fig. 1 mostra um esquema da montagem do corpo de prova híbrido.

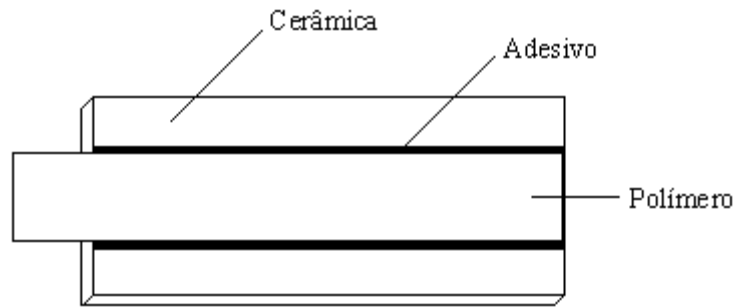


Figura 1: Vista superior do corpo de prova híbrido preparado para o ensaio de adesão.

Teste de adesão

O teste de adesão (T-Peel) foi realizado para medir a resistência ao descolamento dos adesivos (ASTM D6862-04). Foi utilizado o equipamento universal de ensaio ZWICK 1474, com temperatura de ensaio de 23°C, umidade relativa de 41% e com velocidade constante de 12,5 mm/min.

Após o ensaio de adesão foi realizada a caracterização das superfícies da alumina e do Kevlar® em todas as amostras utilizando-se o estereoscópio (Zeiss Stemi SV-II), com um aumento de 6x.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tab. 2 representa o resultado na análise de massa específica volumétrica, porosidade aparente e da absorção de água da alumina preparada neste estudo.

Tabela 2: Dados da massa específica, porosidade e absorção de água da alumina obtida pelo princípio de Arquimedes

Absorção de Água (%)	Massa específica volumétrica (g/cm ³)	Porosidade Aparente (%)
0,55	3,90	0,42

A partir da massa específica teórica da alumina, que é de 3,98 g/cm³ ⁽⁶⁾ pode-se calcular a massa específica das amostras, onde se obteve um valor de 98%, ou seja, a alumina utilizada em todas as amostras encontra-se com massa específica bem próxima dos padrões ideais.

A Fig. 2 mostra o resultado da análise de difração de raios-X onde é possível visualizar somente a presença de picos característicos da alumina, indexados de

acordo com o Powder Diffraction File N. 10-0173(ICDD), confirmando a ausência de contaminantes na amostra.

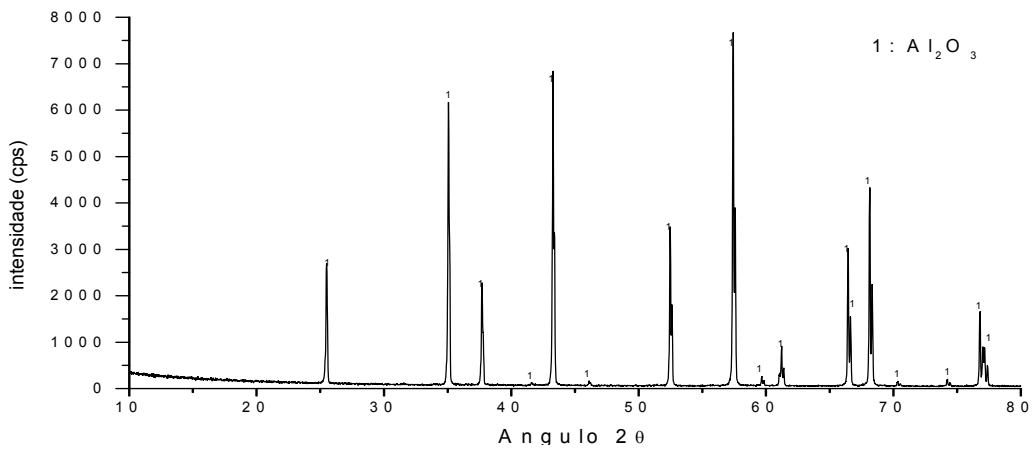


Figura 2: Difratograma da alumina.

A Fig. 3 apresenta uma comparação entre as resistências ao desprendimento obtidas para os diferentes adesivos utilizados nas interfaces polímero/cerâmica.

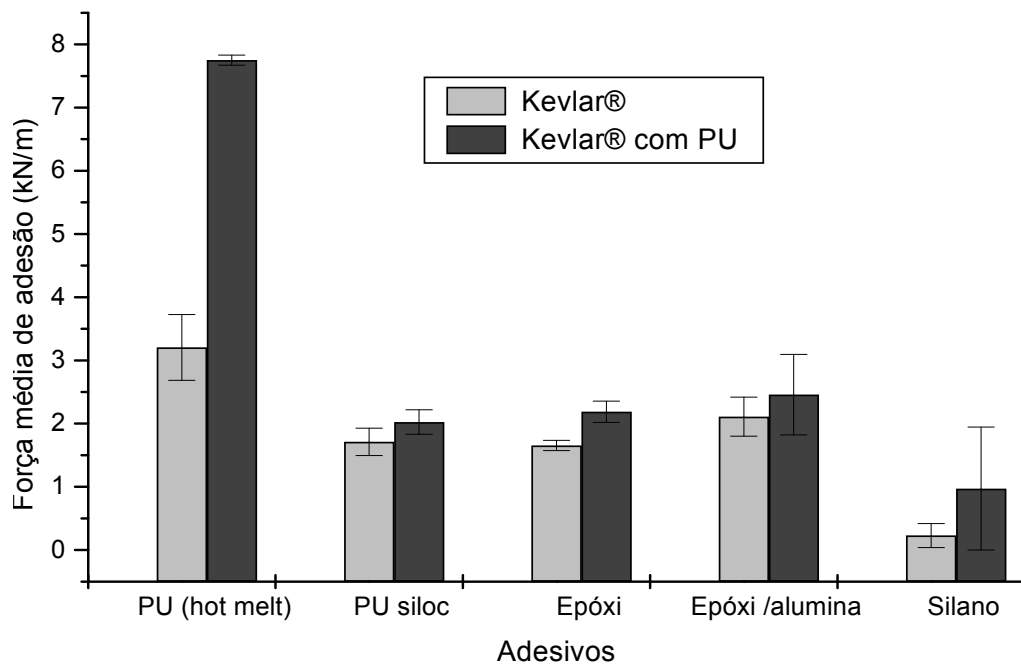


Figura 3: Relação da força média dos adesivos nas interfaces Kevlar® / alumina e Kevlar® com PU / alumina.

A Fig. 3 mostra claramente que o Kevlar® com PU teve um desempenho bem maior quando comparado a somente uma camada de Kevlar®, pois neste caso houve forte interação dos grupos poliuretanos do filme na superfície da fibra com o

PU (hot melt), por se tratar do mesmo material. Porém, no caso do PU Siloc essa interação maior, que também seria esperada já que os grupos químicos são os mesmos, não foi verificada. Portanto, comparando-se todos os adesivos, o que apresentou maior eficiência foi o PU *hot melt*, sendo o adesivo à base de silano aquele que resultou em menor força de adesão. Os demais adesivos tiveram força de adesão similar entre eles.

As superfícies do polímero nas amostras contendo Kevlar® com PU, caracterizadas após o ensaio de T-Peel, podem ser visualizadas na Fig. 5.

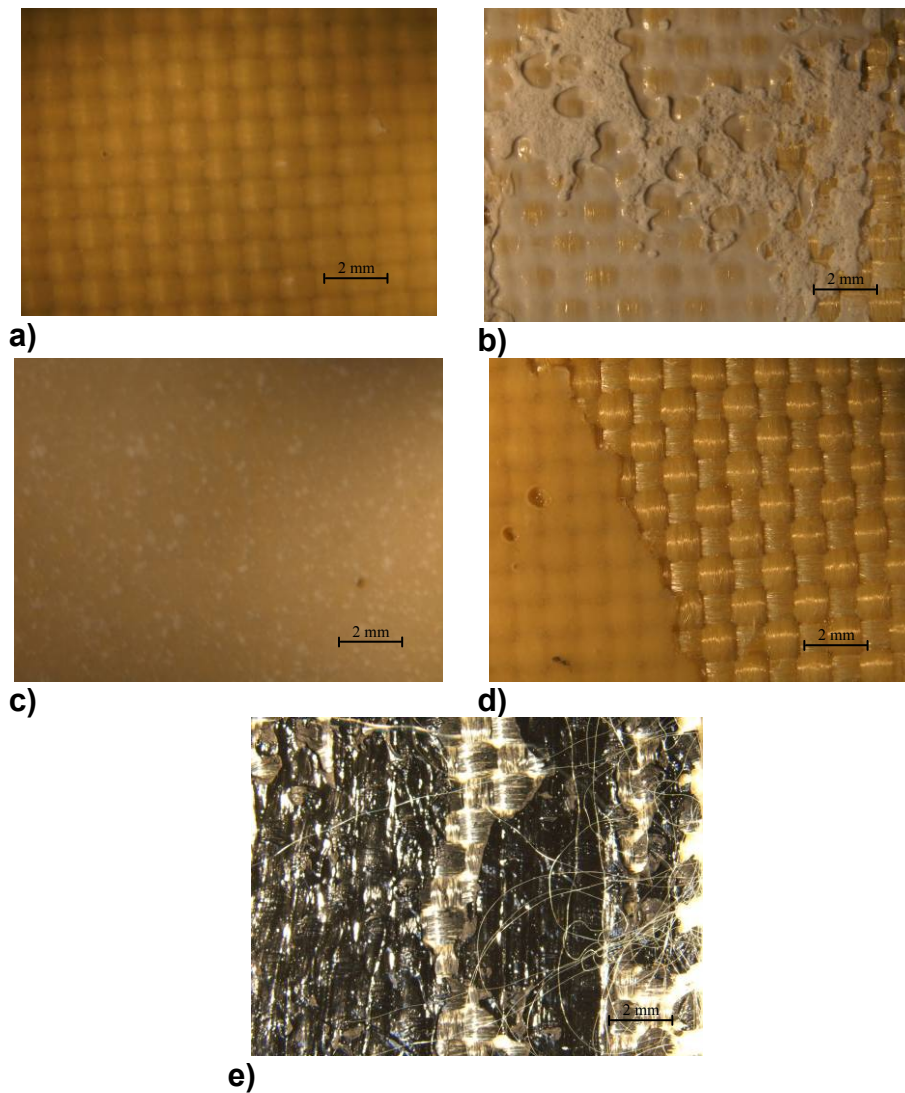


Figura 5: Morfologia da superfície do tecido de Kevlar com PU após o ensaio T-Peel do híbrido polímero/cerâmica unidos por diferentes adesivos: a) PU *hot melt*; b) PU siloc; c) epóxi com alumina; d) epóxi; e) silano.

Essa análise foi feita com o intuito de verificar a distribuição dos adesivos entre as superfícies polimérica e cerâmica, após o despelamento. Observa-se que os adesivos PU *hot melt*, PU *siloc* e epóxi com alumina apresentaram maior afinidade com o tecido de Kevlar do que com a cerâmica, pois praticamente todo o adesivo ficou aderido na superfície polimérica (Figs. 5a - 5c). Já o adesivo epóxi e o silano apresentaram menor afinidade com Kevlar®, tendo ficado preferencialmente aderidos na alumina (Figs. 5d e 5e).

CONCLUSÃO

Observou-se que o Kevlar® possui maior afinidade com os adesivos a base de epóxi e poliuretano. A resistência ao despelamento do compósito Kevlar/PU foi bastante aumentada em relação ao tecido de Kevlar puro quando o adesivo PU *hot melt* foi utilizado, sendo esse o adesivo que resultou no compósito híbrido com maior força de adesão. Já o adesivo a base de silano apresentou afinidade muito baixa com o Kevlar® não sendo recomendável para este tipo de aplicação.

AGRADECIMENTOS

Finep (01.06.1201.00) e CNPq.

REFERÊNCIAS

1. LÓPEZ- PUENTE, J. et al. The effect of the thickness of the adhesive layer on the ballistic limit of ceramic/metal armours. An experimental and numerical study. **International Journal of Impact Engineering**, v.32, p. 321-336, 2005.
2. YADAV, S.; RAVICHANDRAN, G. Penetration resistance of laminated ceramic/polymer structures. **International Journal of Impact Engineering**, v.28, p. 557-574, 2003.
3. CHEESEMAN, B. A; BOGETTI, T.A. Ballistic impact into fabric and compliant composite laminates. **Composites structures** v.61, p. 161-173, 2003.
4. MARSHALL, J. Composite ballistic armour. In: PROCEEDINGS OF THE FIRST INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPOSITES ENGINEERING, ICCE/1, New Orleans, 1994.
5. BRISON, H.F.; **Adhesives and selants**. Engineered Materials Handbook, Ed. ASM international, v. 3, p. 73-75, 1990.
6. KINGERY, W. D. **Introduction to ceramics**. John Wiley & Sons, New York, p. 788, 1976.

PERFORMANCE OF ADHESIVES BASED ON PU, EPOXY AND SILANE IN THE KEVLAR® / ALUMINA INTERFACE

Hybrid ceramic/polymer composites are used for ballistic protection due to the good high-velocity impact absorption properties. The choice of the proper adhesive used to bond ceramic and polymer layers is one of the major issues for hybrid armor development due to its influence in the ballistic resistance behaviour. This work presents an adhesion study in composites of aramid textile (Kevlar®) and alumina. Adhesives of different chemical nature, based on polyurethane, epoxy and silane were evaluated. T-Peel test was performed for the interface characterization and the post- failure surfaces were examined by optical microscopy. In all samples the failure occurred at the interface. The silane-based adhesive showed no interaction with the polymer, while the PU *hot melt* adhesive presented the highest adhesion strengths.

Key-words: adhesion, ballistic resistance, hybrid composites, interface