

INFLUÊNCIA DA ADESÃO E ADERÊNCIA EM ADESIVOS COMPÓSITOS DE MATRIZ EPÓXI REFORÇADAS COM PÓS METÁLICOS

Jonh Yago Erikson Santos, jonhyagoo@yahoo.com.br¹
Brenno Lima Nascimento, brenno.limanasc@gmail.com¹
Matheus Vinicius Linhares Barbosa, matheusvini94@gmail.com¹
Ana Cristina Ribeiro Veloso, anacrisveloso@yahoo.com.br¹
Zora Ionara Gama dos Santos, zora.ufs@gmail.com¹
Jaqueline Dias Altidis, jaquelinealtidis@yahoo.com.br¹

¹ Universidade Federal de Sergipe. São Cristóvão – SE – Brasil.

Resumo: Os materiais compósitos têm ganhado cada vez mais espaço tanto na indústria automobilística quanto aeronáutica. Isso se deve ao fato deste tipo de material apresentar características muito interessantes para estas indústrias tais como boa resistência, baixas densidade e boa adesão. A colagem em materiais metálicos vem crescendo nos últimos anos devido à necessidade de união de materiais e o uso de adesivos vem se disseminando cada vez mais no ambiente industrial como uma alternativa à utilização de uniões por elementos mecânicos ou por soldagem por conta de suas características específicas de adesão, menor dano aos materiais unidos e baixo custo agregado. Diante de tal realidade e como forma de contribuir para a disseminação de conhecimento sobre a colagem, o presente trabalho tem o objetivo de avaliar a resistência ao cisalhamento de juntas coladas com adesivo compósito de matriz epóxi, com fase dispersa, pó de alumínio e pó de cobre e os resultados demonstraram que para 25% de volume de alumínio e 15% de volume de cobre as propriedades adesivas melhoraram em comparação com adesivo sem reforço metálico.

Palavras-chave: Compósitos, epóxi, resistência ao cisalhamento

1. INTRODUÇÃO

O alto nível de exigência dos diversos segmentos da indústria tem gerado uma crescente necessidade de desenvolvimento de novas tecnologias, as quais buscam o aumento de produtividade e qualidade com permanente redução de custos. Vinculada a essa necessidade está a tecnologia de adesivos, cuja gama de aplicações abrange aplicações não estruturais nas quais serve unicamente para fixação de materiais leves a uma determinada superfície, e propósitos estruturais, cujos substratos experimentam elevadas cargas tensionais que, por conseguinte, exigem um comportamento suficientemente estável do adesivo (Ebnesajjad, 2008).

As juntas adesivas são amplamente utilizadas em diferentes indústrias, como engenharia civil, aeroespacial e civil, bem como outros setores industriais. Seu uso aumentou em relação às juntas mecânicas, porque existem excelentes propriedades nas juntas adesivas, como boas resistências à corrosão, alta relação carga / peso e seu processo de fabricação é relativamente mais fácil. Pesquisas foram realizadas para entender as propriedades mecânicas e estruturais dessas articulações (Kleffel, 2017). Demonstrou-se que as propriedades mecânicas das juntas adesivas dependem de um grande número de fatores, incluindo o tipo de adesivo e substrato utilizados, o método de limpeza do substrato, os métodos de realização da colagem, a preparação da superfície, a temperatura e tempo de cura, a rugosidade do substrato e os parâmetros geométricos da camada adesiva (Budhe; Banea; Barros e Silva, 2017). As juntas coladas, quando comparadas com os métodos de união convencionais, possuem como vantagens a melhor distribuição de esforços (redução dos concentradores de tensão), boa resistência à corrosão, redução dos níveis de vibração, custo de produção reduzido, entre outras (Mendes, 2005).

Uma das matrizes mais utilizadas no processo de colagem são as epóxidas. Segundo Neto *et. al.* (2011), os adesivos epóxis são talvez a família mais versátil de adesivos porque aderem bem a muitos substratos. Estes têm uma excelente resistência à tração e ao corte, mas uma fraca resistência ao arrancamento.

Uma característica significativa de adesivos de matriz epóxi é a elevada afinidade com reforços, como plastificantes, modificadores de resina, diluentes e pós metálicos. A adição de componentes metálicos tem o intuito de alterar propriedades físicas, mecânicas ou físico-químicas do adesivo, como peso, trabalhabilidade, resistência coesiva e a cisalhamento. Adicionados à mistura adesiva em forma de pó, os metais podem facilmente modificar o

comportamento da interface substrato-adesivo, propiciando fenômenos como o ancoramento mecânico, elevação da resistência ao cisalhamento e modos de falha distintos dos observados originalmente (Altidis, 2013).

Com o progressivo aumento do emprego de adesivos na indústria, surge a evidente necessidade de analisar as propriedades adesivas de juntas coladas, especialmente para fins de otimizá-las. Para tal, ensaios de cisalhamento Single Lap Joints (SLJ) podem ser realizados, avaliando sua resistência ao cisalhamento. O objetivo do seguinte trabalho é analisar e comparar as propriedades mecânicas - resistência ao cisalhamento, de amostras normatizadas de aço 1020 coladas com resina epóxi reforçadas com 25% em volume de pó de alumínio e 15% em volume de cobre. As análises das propriedades adesivas foram realizadas por meio de ensaio de cisalhamento simples em juntas de sobreposição simples do tipo Single Lap Joints.

2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

2.1. Preparação dos Corpos de Prova

Os corpos de prova utilizados como substrato, para o ensaio de cisalhamento das juntas coladas, foram fabricados em aço carbono SAE 1020 com as dimensões normatizadas pela ASTM D1002-99 para testes Single LapJoints. As placas possuem 102 mm de comprimento, 25,4 mm de largura e 1,6 mm de espessura.

Em seguida, foi feita a limpeza das superfícies dos corpos de prova metálicos utilizando-se a acetona como solvente, que proporciona a limpeza e secagem rápida do substrato, permitindo a colocação do adesivo sobre sua superfície quase imediatamente. A Figura 1 ilustra a configuração de uma junta single-lap com as dimensões.

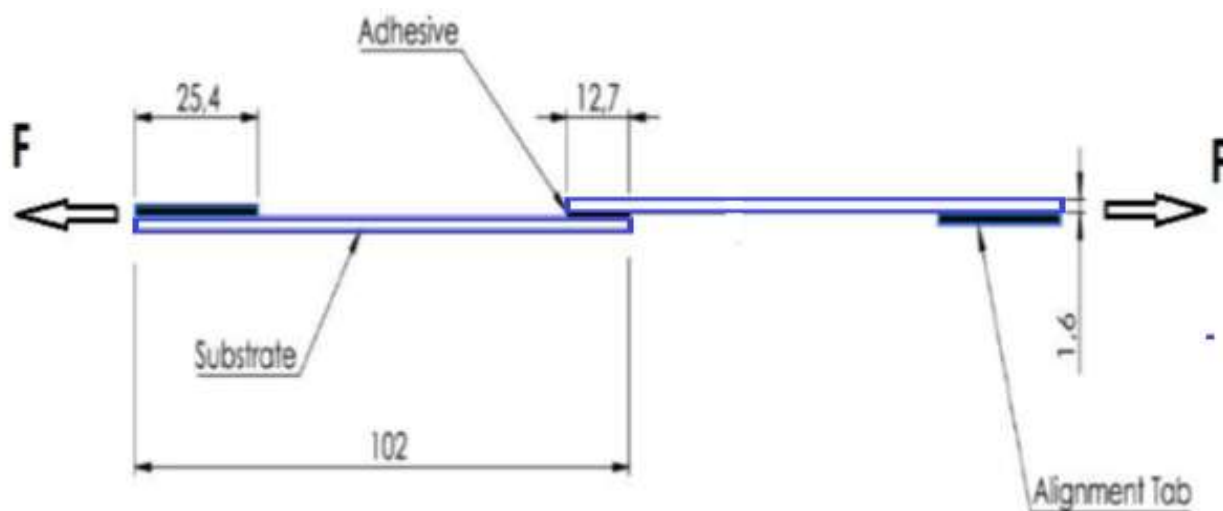


Figura 1. Modelo dos testes de cisalhamento SLJ com a geometria dos corpos de prova, de acordo com a ASTM D1002-99 (dimensões em milímetros).

2.2. Materiais Utilizados e Preparação dos Adesivos

Foi utilizada a resina epóxi Epoxiglass P-30-A e o endurecedor Epoxiglass P-30-B. A preparação da resina utilizou a proporção 1: 0,6 resina/endurecedor sugerida pelo próprio fabricante. Para o adesivo de epóxi puro, essa proporção foi mantida até se chegar aos 100% do volume da junta adesiva. A granulometria do pó de alumínio utilizado foi de *mesh* 400 (38 μm) já o pó de cobre foi passado na peneira ABNT de 75 μm .

Os pós-metálicos foram misturados a resina epóxi nas proporções de 25% de pó de alumínio em volume e o outro adesivo compósito de matriz epóxi reforçado com 15% de pó de cobre em volume formando dois novos tipos de adesivo compósitos um reforçado com pó de alumínio e pó de cobre.

Foram confeccionados três tipos de adesivos: o epóxi puro (somente resina misturada ao endurecedor), um compósito de matriz epóxi (formada pela mistura resina/endurecedor) com a adição de 25% em volume de pó de alumínio e um compósito de matriz epóxi com a adição de 15% em volume de pó de cobre. A escolha do teor de fase dispersa, no caso alumínio, teve como base o trabalho de Altidis *et. al.* (2013), o qual oferece os melhores resultados em termos de propriedades adesivas. Já no caso do adesivo com 15% de pó de cobre em volume na matriz epóxi, teve como base o trabalho de Santos *et. al.* (2017), que mostrou melhores resultados em termos de propriedades adesivas.

Na Figura 2 (a) mostra a mistura apenas com o epóxi e o endurecedor na proporção 1/0,6 resultando na primeira amostra adesiva. Na Figura 2 (b) podemos observar o adesivo compósito com 15% de volume de cobre.



Figura 2. (a) adesivo puro (b) adesivo compósito com 15% de cobre

Após a adição do adesivo sobre a superfície dos corpos de prova metálicos (área colada de 322,58 mm²) os mesmos foram acoplados no dispositivo de colagem, e submetidos a um processo de cura de 24 horas. Os processos de cura dos adesivos foram realizados à temperatura ambiente (24 ± 3 °C) e umidade relativa de $65 \pm 5\%$ UR.

Para controlar a espessura da camada adesiva (0,5 mm) foi utilizado um dispositivo de colagem especificamente projetado para a confecção de juntas de sobreposição simples com base na ASTM D1002-99. A Figura 3 mostra os corpos de provas acoplados no molde que controla a espessura da camada colada, o dispositivo possui capacidade para 28 corpos de provas. O dispositivo permite, além do controle com boa precisão da espessura da junta, a fixação e a acomodação adequadas dos corpos de prova colados, de forma a evitar possíveis deslizamentos entre as placas e a minimizar os esforços sofridos pela junta durante o processo de cura.



Figura 3. Dispositivo que controla a espessura da camada colada

2.3. Ensaios de Cisalhamento

A avaliação da resistência das juntas coladas foi feita através do ensaio mecânico de cisalhamento simples do tipo Single Lap Joints foram realizados cinco corpo de prova para cada adesivo testado. Para os ensaios foi utilizada a máquina Servohidráulica MTS BionixLandmark 370.02, de carga máxima de 15KN. A resistência mecânica foi expressa em MPa, tendo sido calculado pela divisão do valor da carga na ruptura pela área de colagem.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados referentes aos ensaios mecânicos de cisalhamento realizados para as juntas de sobreposição simples unidas por adesivos epóxi puro, adesivos compósitos com 15% cobre e 25% alumínio estão mostrados na Tab. 1.

Tabela 1. Resultados dos ensaios mecânicos de cisalhamento.

	Epóxi puro	15% Cu	25% Al
Resistência ao cisalhamento (MPa)	2,944	3,151	3,77
Desvio	0,072	0,063	0,191
Tipo de falha	Adesiva	Adesiva	Adesiva

Os resultados dos ensaios de cisalhamento mostram que com acréscimo de pó metálico não acarretou perda significativa nas propriedades adesivas e o desvio padrão foi menor que 1 para todos os compósitos estudados sendo aceitável nos testes de adesão e aderência. Os resultados apontam que o compósito reforçado com pó metálico não perdeu suas propriedades de adesão e aderência com a inclusão do reforço metálico esses resultados estão de acordo com a literatura. Segundo Kahraman; Sunar e Yilbas *et. al.* (2007) as propriedades adesivas do compósito constituído de epóxi e pó de alumínio foram estudadas e a adição de 50% de volume de pó de alumínio não causou uma diminuição significativa nas propriedades adesiva e foi observado o tipo predominante de falha coesiva para epóxi com 25% de volume de alumínio. Esses resultados merecem uma atenção especial uma vez que a falha constatada nesse trabalho foi do tipo adesiva.

Na Figura 4 podemos observar o adesivo de epóxi puro, o adesivo com 15% de cobre e o adesivo com 25% de alumínio.

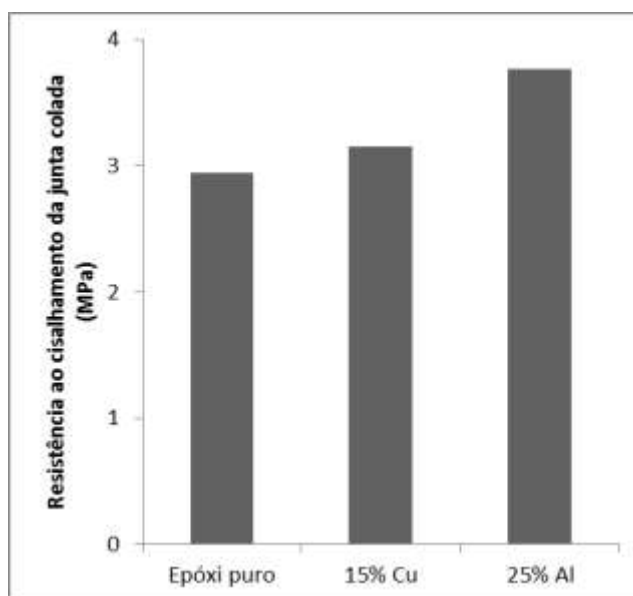


Figura 4. Gráfico da resistência ao cisalhamento da junta colada em MPa.

No gráfico da Fig. 4, é possível observar que o adesivo compósito apresenta propriedades adesivas superiores ao adesivo puro com um aumento de 7,03% nas propriedades adesivas adicionando 15% de pó de cobre e aumento de 28,06% nas propriedades adesivas adicionando 25% de pó de alumínio comparadas com o adesivo sem reforço metálico.

Pode-se observar claramente que o adesivo contendo 25% de alumínio apresentou um pequeno aumento nas propriedades adesivas superiores ao puro e ao reforçado com cobre.

4. CONCLUSÕES

Neste trabalho foram desenvolvidos e estudados adesivos compósitos constituídos de matriz epóxi reforçado com pó de cobre e reforçado com pó de alumínio. As propriedades adesivas desses compósitos foram especificamente investigadas e os resultados foram satisfatórios. Os resultados dos ensaios dos adesivos compósitos constituídos de matriz epóxi reforçados com 15% de pó de cobre e 25 % de pó de alumínio em proporções em volume, respectivamente, não ocorreu perdas significativas nas propriedades de adesão e aderência testado através do ensaio de cisalhamento simples do tipo Single Lap Joints.

Em relação à adesão do compósito a substratos metálicos, os resultados obtidos em juntas de aço apontam que foi observado uma falha do tipo adesiva para todos os adesivos estudados levando a crer que o adesivo e o substrato possuem certa incompatibilidade, que provavelmente pode ser corrigida com a aplicação de um tratamento superficial mecânico no substrato.

Os resultados desse estudo indicam que há uma possibilidade de adesivos compósitos de matriz epóxi reforçados com pó de cobre reforçado com 15% em volume e pó de alumínio com 25% de volume oferecem melhores propriedades adesivas quando comparados ao epóxi puro.

5. AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi apoiado por CNPq e a UFS.

6. REFERÊNCIAS

- Altidis, J. D. Propriedades Adesivas de Compósitos de Matriz Epóxi Reforçados com Pós-Metálicos. Tese de Doutorado em Engenharia Mecânica - Universidade Federal da Paraíba, 76 p., 2013.
- Budhe, S., Banea M. D., Barros, S. e Silva, L.F.M. An updated review of adhesively bonded joints in composite materials. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, Vol. 72, pp. 30-42, 2017.
- Ebnesajjad, Sina. *Adhesives Technology Handbook*. 2ª Edição. William Andrew, 2008. 475p.
- Kahraman, R., Sunar, M. e Yilbas, B., “ Influence of adhesive thickness and filler content on the mechanical performance of aluminum single-lap joints bonded with aluminum powder filled epoxy adhesive” *Journal of Material Processing Technology*, 2007.
- Kleffel, T. D. D. Investigating the suitability of roughness parameters to assess the bond strength of polymer-metal hybrid structures with mechanical adhesion. *Composites Part B*, 20-25. 2017
- Mendes, C. N. R. P. Contribuição ao desenvolvimento de projeto de carrocerias automotivas utilizando adesivo estrutural para junção de chapas metálicas. Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, SP, 2005.
- Neto, J. A. B. P. Estudo Paramétrico de Juntas Adesivas em Material Compósito. Dissertação de mestrado em Engenharia Mecânica- Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2011.
- Santos, J. Y. E., Altidis, J. D., Veloso, A. C. R., Costa, A. L. M. e Santos, Z. I. G. Análise do comportamento das propriedades adesivas de compósitos de matriz epóxi reforçados com pó de cobre. In: XVII Congresso Nacional de Engenharia Mecânica e Industrial, 2017, Aracaju.

7. RESPONSABILIDADE AUTURAL

“Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho”.

INFLUENCE OF ADHESION AND ADHERENCE IN COMPOSITES OF EPOXY MATRIX REINFORCED WITH METAL POWDER

Jonh Yago Erikson Santos, jonhyagoo@yahoo.com.br¹
Brenno Lima Nascimento, brenno.limanasc@gmail.com¹
Matheus Vinicius Linhares Barbosa, matheusvini94@gmail.com¹
Ana Cristina Ribeiro Veloso, anacrisveloso@yahoo.com.br¹
Zora Ionara Gama dos Santos, zora.ufs@gmail.com¹
Jaqueline Dias Altidis, jaquelinealtidis@yahoo.com.br¹

¹ Universidade Federal de Sergipe. São Cristóvão – SE – Brasil.

Abstract. *Composite materials have gained more and more space in both the automotive and aeronautics industries. This is due to the fact that this type of material presents very interesting characteristics for these industries such as good strength, low density and good adhesion. Bonding in metallic materials has been growing in recent years due to the need for bonding of materials and the use of adhesives has been spreading more and more in the industrial environment as an alternative to the use of unions by mechanical elements or by welding because of their specific characteristics of adhesion, less damage to bonded materials and low added cost. In view of this reality and as a way to contribute to the dissemination of knowledge about bonding, the present work has the objective of evaluating the shear strength of bonded bonded epoxy matrix composite adhesives with dispersed phase, aluminum powder and copper and the results demonstrated that for 25% aluminum volume and 15% copper volume the adhesive properties improved compared to adhesive without metal reinforcement.*

Keywords: *Composites, epoxy, shear strength.*