

AVALIAÇÃO DA SOLDAGEM GLP PARA A JUNÇÃO HÍBRIDA DO COMPÓSITO PEI/FIBRA DE VIDRO E ALUMÍNIO 2024.

J. F. Reis^{1,*}, A. B. R. M. Abrahão^{1,2}, L. F. B. Marques²; T. P. Carvalho²; V. S. Oliveira²; C. E. F. Santos², E. C. Botelho¹.

1 UNESP, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá - Departamento de Materiais e Tecnologia – Universidade Estadual Paulista - Av. Ariberto Pereira da Cunha, 333 – Guaratinguetá/SP, CEP 12.516-540, Brasil. Telefone: (12) 3123-2800.

2 Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba - Rodovia Vereador Abel Fabricio Dias, 4010 – Pindamonhangaba/SP, CEP: 12.445-010, Brasil. Telefone: (12) 3648-8756.

*jonasfrankreis@gmail.com

RESUMO: O desenvolvimento da tecnologia dos compósitos híbridos, combinando laminados poliméricos reforçados com fibras e placas metálicas, tem como uma de suas finalidades formarem um conjunto de materiais que combine elevados valores de resistência mecânica e rigidez. Tanto a liga de alumínio 2024 T3 quanto os compósitos termoplásticos são amplamente utilizados na indústria aeronáutica devido à elevada resistência mecânica, boa ductilidade, e alta relação resistência/peso específica que apresentam. A soldagem por Oxi-gás é muito utilizada devido a seu baixo custo em diversas aplicações, e sendo também um meio versátil para a soldagem de termoplásticos. Devido à alta versatilidade desse processo, essa soldagem é aplicada em pequenas e grandes peças de estruturas e tanques. Nesse sentido, o objetivo desse trabalho é realizar o estudo da junção do alumínio 2024 e compósito PEI/fibra de carbono através da utilização do processo de soldagem por GLP.

PALAVRAS-CHAVE: Compósito PEI/fibra de vidro; Alumínio 2024 T3; Soldagem GLP.

ABSTRACT: Technology development of hybrid Composites, combining polymeric laminate reinforced with fibers and metal plates has as one of its objectives a set of materials that combine high mechanical strength and rigidity values. Both aluminum alloy 2024 T3 as the thermoplastic composites are widely used in the aviation industry due to the high mechanical strength, good ductility and high specific strength/weight ratio feature. The oxy-gas welding is widely used due to your low cost in various applications, and is also a versatile medium for welding of thermoplastics. Due to the high versatility of this process, this welding is applied in small and large pieces of structures and tanks. In this sense, the objective of this work is to carry out the study of 2024 aluminum and composite joint PEI/carbon fiber by using the process of GLP welding.

KEYWORDS: PEI/fiber glass composite; Aluminum 2024 T3; GLP welding.

1. INTRODUÇÃO

O alumínio e suas ligas são largamente empregados no cenário mundial, quando se trata da fabricação de aviões, peças de automóveis e de barcos entre outras aplicações. Isso só é possível em função de certas propriedades que as ligas de alumínio possuem, como baixa densidade, boa ductilidade, boa condutividade térmica e elétrica, além de boa resistência mecânica e boa resistência à corrosão [1].

O principal consumidor deste metal é a indústria aeronáutica e aeroespacial, no entanto não é usado puro devido à diminuição da resistência mecânica a altas temperaturas, comumente existentes no transporte aéreo. Dentre as ligas de alumínio, a série 2XXX, particularmente a 2024 T3, é extensivamente utilizada na indústria aeronáutica devido à elevada resistência mecânica, maior dureza e resistência à tração que o alumínio e, também, à alta resistência específica (razão entre resistência e peso) que apresentam se comparadas a outras ligas leves [1,2].

O desenvolvimento da tecnologia dos compósitos híbridos, combinando laminados poliméricos reforçados com fibras longas e placas metálicas, tem como uma de suas finalidades formarem um conjunto de materiais que combine elevados valores de resistência mecânica e rigidez e baixa massa específica. Atualmente, a fixação mecânica e união adesiva são as técnicas de união mais aplicadas para estruturas híbridas metal/compósitos. No entanto, devido às limitações destas técnicas, tais como o tempo de cura dos adesivos termorrígidos e a formação de concentração de tensão pela fixação mecânica, as novas tecnologias à base de soldagem foram desenvolvidos [3].

A soldagem por Oxi-gás é um processo de soldagem por fusão, no qual a união entre os metais é conseguida através da aplicação do calor gerado por uma ou mais chamas, resultantes da combustão de um gás, com ou sem o auxílio de pressão, podendo ou não haver metal de adição. O sistema é simples, consistindo dos cilindros dos gases comprimidos, reguladores de pressão, manômetros, mangueiras, válvulas de retenção e uma tocha de soldagem, com bico adequado; podem ser conseguidas diferentes atmosferas pela variação da quantidade relativa de comburente e combustível.

A possibilidade dos metais de se unirem a polímeros ou compósitos é de fato um grande desafio. Nesse sentido, o objetivo do trabalho é determinar a possibilidade de soldagem de dois materiais que apresentam um elevado grau de divergência em propriedades físico-químicas, como é o caso do metal (alumínio) e compósito (PEI/fibra de vidro) [3], utilizando-se o processo de soldagem por Oxi-gás. Após a soldagem, foram realizados o ensaio de *Lap Shear* para se determinar os valores da resistência da junta dos materiais soldados e, posteriormente, uma análise da junta através da microscopia ótica e do ensaio por Espectroscopia de Raios X por Energia Dispersiva (EDS) foram realizadas nos materiais fraturados.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Laminados e Alumínio 2024 T3

O laminado termoplástico utilizado neste trabalho foi o PEI/fibra de vidro, fornecido pela empresa holandesa *TenCate Advanced Composites*. Já o alumínio 2024 T3 foi fornecido pela empresa *Alto Parts*. Para a soldagem, as amostras de alumínio foram lixadas para a retirada de qualquer óxido que pudesse interferir na soldagem.

2.2. Soldagem Oxi-Gás

A Soldagem Oxi-gás inclui qualquer operação que usa a combustão de um gás combustível com oxigênio como meio de calor. O processo envolve a fusão do metal base e normalmente de um metal de adição, usando uma chama produzida na ponta de um maçarico. O metal fundido e o metal de enchimento, se usado, se misturam numa poça comum e se solidificam ao se resfriar. Contudo, o objetivo desse trabalho é de se obter um material híbrido proveniente da união de dois materiais muito distintos, o alumínio 2024 e o compósito PEI/fibras de vidro, através do processo de soldagem por Oxi-gás. Para se atingir esse objetivo, inicialmente foi utilizado o gás combustível acetileno, devido a sua alta intensidade de combustão, enquanto os outros gases são raramente usados para soldagem, como é o caso do hidrogênio, propileno e dentre outros.

Com o intuito de se obter a soldagem de dois materiais com propriedades distintas e pelo fato do compósito PEI/fibra de vidro não ser um material condutor, durante o processo, a chama do maçarico foi diretamente direcionada ao alumínio, devido a sua alta condução térmica. Entretanto, devido ao processo utilizar-se do cilindro de oxigênio, o alumínio se torna suscetível ao oxigênio e uma camada fina de óxido de alumínio (Al_2O_3) se forma rapidamente na superfície exposta de metal, sendo que essa camada o protege de oxidação como também dificulta a soldagem desses tipos de materiais. Dessa forma, foi determinado o uso de outro tipo de gás comburente, sem precisar da utilização do oxigênio. Para isso, o gás comburente utilizado para a realização da soldagem foi o GLP (Gás Liquefeito de Petróleo).

2.2.1 Soldagem por GLP

O equipamento de soldagem por GLP realizada no trabalho é ilustrada pela Figura 1. O processo é relativamente simples, onde uma mangueira com 1/4 de polegada e 300 psi, é colocada no regulador de válvula do registro do botijão com um maçarico convencional de 5/8 de polegada para a aplicação da chama diretamente em contato com o alumínio, sobre uma pedra de material refratário como ilustrado pela Figura 2.



Figura 1. Equipamento de soldagem por GLP utilizado no trabalho.

Pode ser observada pela Figura 2 a utilização de grampos de fixação para assegurar um melhor contato entre os materiais a serem soldados.



Figura 2. Maçarico direcionado às amostras a serem soldadas.

2.3. Lap Shear

O teste *Lap Shear* é atualmente considerado como sendo o método mais utilizado para a investigação da resistência de ruptura de juntas soldadas para compósitos. Este método consiste em aplicação de força de tração em corpos de prova soldados até a ruptura. Os ensaios foram realizados na máquina de tração marca *Shimadzu* baseando-se na norma ASTM D1002-10. A Figura 3 apresenta a máquina utilizada para o ensaio de tração e também os corpos de prova (dimensão: 100 x 25 mm) do ensaio.

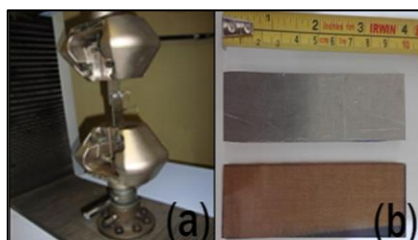


Figura 3. (a) Máquina de tração; (b) Corpos de prova do ensaio.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Avaliação dos Parâmetros de Soldagem e *Lap Shear*

Para a realização da soldagem através do processo de soldagem por GLP, foram determinados alguns parâmetros de soldadura. Esses parâmetros foram determinados por testes, mantendo-se a altura mínima e variando-se o tempo até a efetivação da soldagem dos materiais. Os valores das variáveis utilizadas no trabalho foram: distância do bico para a amostra: 2 cm; tempo de soldagem: 5 min. A Figura 4 (a) exibe o material soldado pelo processo e a Figura 4 (b) exibe o detalhe da junta soldada.

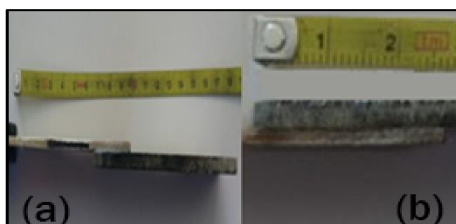


Figura 4. (a) Soldagem do alumínio 2024 e compósito PEI/fibra de vidro por GLP; (b) detalhe da junta soldada.

Com os parâmetros determinados e a soldagem feita, foi realizado o ensaio de *Lap Shear* da amostra, resultado apresentado pela Tabela 1. Por ser um processo relativamente novo para a soldagem de dois materiais com propriedades distintas, não há na literatura resultados para comparação. Entretanto, o resultado obtido da soldagem dos materiais alumínio-compósito foi comparado aos resultados obtidos de *Lap Shear* para as amostras soldadas de compósito PEI/fibra de vidro pelo processo de resistência elétrica para compósitos [5], também apresentada pela Tabela 1.

Tabela 1 – Valores obtidos pelos processos por GLP e resistência elétrica para a soldagem híbrida do alumínio e compósito PEI/fibra de vidro e compósitos PEI/fibra de vidro, respetivamente.

Processos de Soldagem	Valores de <i>Lap Shear</i> (MPa)
GLP (Alumínio-Compósito)	11,12
Resistência Elétrica (Compósito-Compósito)	12,64

Como pode ser observado pela Tabela 1, o valor obtido de *Lap Shear* pela soldagem de Oxi-gás na soldagem do alumínio/compósito obteve um valor de 11,12MPa, próximo ao valor

encontrado para o método de soldagem por resistência elétrica para a soldagem de compósito-compósito, 12,64MPa, um método já consolidado na literatura e efetivo para a união de compósitos, apesar do processo de soldagem e das juntas soldadas serem diferentes.

3.2 Ensaio EDS e Microscopia Ótica

A Figura 5 apresenta o diagrama obtido, a partir da análise de EDS, revelando os componentes químicos da amostra de alumínio referente à região da solda. Esta avaliação foi realizada na amostra após ser submetida ao ensaio de *Lap Shear*, evidenciando o contato entre o alumínio e o polímero (matriz) e as fibras. A região analisada encontra-se contida no retângulo da Figura 5.

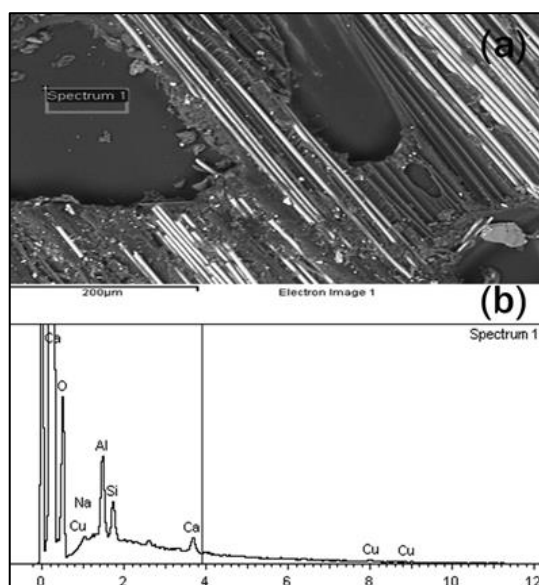


Figura 5. (a) Análise de EDS da região de interação do alumínio e do laminado da amostra soldada de alumínio; (b) espectro elementar da região analisada.

A partir dos resultados da Tabela 2 é possível observar os mesmos elementos encontrados na interação do alumínio 2024 e o laminado PEI/fibra de vidro.

Tabela 2. Análise elementar por EDS da região da amostra ilustrada pela Figura 6.

Elemento	% massa	% massa atômica
O	72,47	82,91
Na	1,84	1,47
Al	13,14	8,92
Si	6,66	4,34
Ca	4,01	1,83
Cu	1,88	0,54

Na Tabela 2 as porcentagens de massa do oxigênio, alumínio e silício são as mais elevadas na região selecionada do alumínio. O oxigênio é proveniente do polímero e do ambiente de soldagem, o alumínio é proveniente da amostra e o silício é proveniente das fibras de vidro. Todos os elementos químicos identificados neste estudo tratam de constituintes da junta soldada e dos materiais de origem, não havendo nenhuma formação de um novo constituinte que possa interferir na qualidade da solda. Já a Figura 6 apresenta a microscopia ótica do alumínio referente à região da solda após ser submetido ao ensaio de *Lap Shear*.

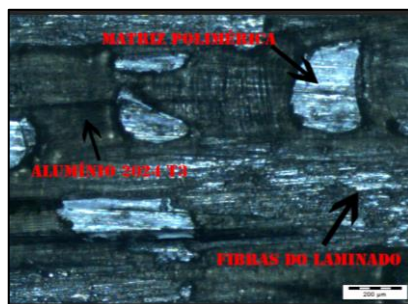


Figura 6. Microscopia com ampliação de 50x do alumínio fraturado.

Pode ser observado pela Figura 6, sendo indicados por setas, vestígios da matriz polimérica PEI, como também das fibras de vidro na amostra de alumínio 2024 fraturada. Assim como o ensaio EDS, a microscopia ótica demonstrou a efetividade da soldagem GLP entre os dois materiais, devido ao corpo de prova do alumínio conter elementos do material compósito na região soldada.

4. CONCLUSÃO

Pode-se concluir que a soldagem por GLP é um processo simples e de baixo custo para um processo de união muito complexo, pois une dois materiais que possuem discrepância de suas propriedades físico-químicas. Através da análise por EDS e microscopia ótica, demonstrou que a soldagem GLP para a união do alumínio e compósito foi efetiva, contendo elementos do compósito PEI/fibra de vidro na amostra de alumínio 2024 T3 ensaiada.

5. REFERÊNCIAS

- [1] LIU, Y. et al. *Applied Surface Science*, v. 355, p. 805–813, 2015.
- [2] PEREIRA, M. C.; DUTRA, C. A M.; NAKAZATO, E. N. C. R. Z. *Corrosion Science*, v. 20, n. 2024, p. 63–66, 2000.
- [3] ANDRÉ, N. M. et al. *Composites Part B: Engineering*, v. 94, p. 197–208, 2016.
- [4] FIGUEIREDO, K. M. Tecnologia da Soldagem. Disponível em: <https://pt.scribd.com/document/53660547/Apostila-de-Tecnologia-Da-Soldagem>. Acesso: 20/08/2017.
- [5] ABRAHÃO, A.B.R.M. *Otimização do processo de soldagem por resistência elétrica em compósitos PEI/fibras contínuas para aplicações aeronáuticas*. Tese de Doutorado em Engenharia Mecânica – Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Guaratinguetá, 2015.