

ESTUDO DE PARÂMETROS PARA SOLDAGEM DE COMPÓSITO PEI FIBRA DE VIDRO PELO PROCESSO OXI-ACETILENO.

V. S. OLIVEIRA^{1*}; T. P. CARVALHO¹; E. O. FRANCA; F. F. SILVA¹, A. B. R. M. BRAHÃO¹, C. E. F. SANTOS¹, J. F. REIS^{2*}, E. C. BOTELHO².

1-Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba - Rodovia Vereador Abel Fabricio Dias, 4010 – Pindamonhangaba/SP, CEP: 12.445-010, Brasil. Telefone: (12) 3648-8756, *vitdeoliveira04@yahoo.com.br.

2- 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.

*jonasfrankreis@gmail.com

RESUMO: Atualmente há uma crescente utilização de materiais compósitos em diversas áreas, dentre as quais pode-se destacar a aeroespacial. Uma das dificuldades para ampliação do uso destes materiais em escala industrial é conseguir a união de seus componentes. Neste sentido, vem-se estudando diversos processos de união de materiais compósitos com destaque para a soldagem. A soldagem por Oxi-acetileno trata-se de um método simples e econômico que pode ser adequado a materiais poliméricos. Para avaliar a eficiência de soldagem para materiais compósitos, dentre os ensaios mais indicados pela literatura, destaca-se o ensaio de *Lap Shear*. Este trabalho visa a realização de um estudo de otimização de parâmetros na soldagem de compósitos de PEI fibra de vidro pelo processo de Oxi-acetileno. Com este propósito, as variáveis estudadas são: tempo e distância da chama.

PALAVRAS-CHAVE: Soldagem; Oxi-acetileno; Compósito; PEI.

ABSTRACT: Currently there is a growing use of polymer composites in several areas, between then can be cited the aerospace. One of the difficulties to expand the use of these materials in industrial scale is to achieve the union of its components. In this sense, several joint processes for composite materials with prominence for welding have been studied. Oxyacetylene welding is a simple and economic method that may be suitable for polymeric materials. In order to evaluate the welding efficiency for composite materials, the *Lap Shear* test is the most indicated in the literature. This work aims to make the study for optimization of parameters in the welding of PEI fiberglass composites by the Oxy-acetylene process. With this purpose the variables that will be studied are: time and flame distance.

KEYWORDS: Welding; Oxy-acetylene; composite; PEI.

1. INTRODUÇÃO

Os compósitos termoplásticos reforçados com fibras contínuas vêm sendo estudados em uma ampla variedade de aplicações desde as comerciais, com baixo custo envolvido, até as de engenharia, com maior valor agregado. Estudos nos últimos anos estão sendo direcionados em compósitos termoplásticos como alternativa a compósitos termorrígidos em algumas aplicações aeronáuticas, devido ao ganho em algumas propriedades [1,2].

Entre os polímeros termoplásticos mais utilizados como matriz para compósitos destaca-se o poli (éter-imida) (PEI), pois este apresenta características de elevados valores de resistência e

rigidez em elevadas temperaturas e apresenta propriedades elétricas e resistência química. Este polímero ainda apresenta características como boa resistência a ácidos e boa tolerância a bases, absorve pouca água e apresenta resistência a radiação ultravioleta e gama [3, 4, 5].

Especificamente para os compósitos termoplásticos, várias técnicas estão sendo estudadas e utilizadas para a união dos componentes, como aplicação de adesivos ou uso de rebites. Entretanto, recentemente novas descobertas mostraram que técnicas de soldagem oferecem grandes vantagens com a eliminação de concentrações de tensões provocadas por orifícios na estrutura quando rebitas ou na demora do processo de cura de sistemas adesivos constituídos de resinas termorrígidas [6, 7].

A inclusão de uniões em compósitos estruturais é necessária pelas limitações inerentes no processo de fabricação e de importância na inspeção, reparo e montagem para com estes materiais. Os métodos de união por fusão ou soldagem são tecnologias promissoras que vêm sendo empregadas nas indústrias dedicadas ao processamento de compósitos termoplásticos, pois a eficiência de união das peças soldadas adquire maior qualidade das juntas em um tempo menor em relação às outras técnicas disponíveis. Dentre as técnicas disponíveis para a integração de compósitos, a união por fusão ou soldagem é o método que apresenta maior potencial para aplicação em montagem, união e reparo dos componentes destes materiais. As principais vantagens associadas ao processo por fusão ou soldagem em comparação às outras técnicas citadas anteriormente incluem o reduzido tempo de processamento, reduzida preparação de amostra e baixa irregularidade na interface do material. Os principais problemas relacionados às outras técnicas de união de compósitos são a necessidade de tempos longos de processamento e a presença de áreas de concentração de tensão nas peças unidas [8, 9, 10, 2,7].

Todas as técnicas disponíveis para a soldagem de compósitos termoplásticos são adaptáveis para automação para inspeção online. Além disso, estas técnicas fornecem reprodutibilidade e necessitam de um mínimo de preparo de superfície diminuindo, desta forma, o custo do processo. Portanto, a soldagem é um processo muito atrativo para união de compósitos de matriz termoplástica, por ser um processo rápido e simples, em que a união das peças é adquirida pela fusão e consolidação na região interfacial das partes a serem soldadas. As técnicas de união por fusão podem ser classificadas de acordo com a tecnologia utilizada para gerar o aquecimento. A soldagem pelo processo Oxi-acetileno (OFW), é um processo no qual a coalescência ou junção dos materiais acontece por meio de uma chama podendo haver ou não um material de adição, com ou sem pressão. Esta união acontece por meio de uma chama produzida pela mistura de um gás combustível e oxigênio. Sendo que a maior vantagem de aplicação desta técnica é que é um processo mais acessível sendo composto de um sistema portátil com baixo custo [11, 12]. Atualmente há poucos trabalhos relacionados a esta técnica de soldagem aplicada para materiais poliméricos, neste sentido este trabalho vem apresentar determinações de parâmetros para a soldagem do compósito PEI fibra de vidro.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Laminados

Os laminados termoplásticos avaliados neste trabalho foram os compósitos PEI/fibras de vidro, processado e fornecido pela empresa holandesa TEN CATE Advanced Composites.

2.2. Soldagem Oxiacetilênica

Este processo foi utilizado devido ao seu fácil manuseio e baixo custo, porém a chama oxiacetilênica chega-se a uma temperatura de 3000°C [11]. Para a soldagem foi mantida o tipo de chama e vazões fixas de oxigênio e acetileno. Foi utilizada a chama neutra com vazões de $0,5 \text{ kgf/cm}^3$ de oxigênio e $1,0 \text{ kgf/cm}^3$ de acetileno, o conjunto de cilindro Oxi-acetileno utilizado é mostrado na Figura 1.



Figura 1. Conjunto de solda Oxi-acetileno.

2.3. Medida de Temperatura Durante a Soldagem

Após a soldagem, é de suma importância o controle de temperatura, neste caso foi utilizado um pirômetro óptico, de marca *INSTRUTHERM*.

2.4. Lap Shear

O teste *Lap Shear* (LSS) é atualmente considerado como sendo o método mais utilizado para a investigação da resistência de ruptura de juntas soldadas pelo processo de resistência elétrica. 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 *KRATOS*, série 2.000 Kgf. Baseando-se na norma ASTM D1002-10.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Adequações do Sistema para a Soldagem

Para a soldagem de material polimérico foi necessário a adaptação de um suporte para evitar a degradação do material estudado e também conservação de calor. Como a amostra de PEI/fibra de vidro apresenta a temperatura de transição vítrea (aproximadamente 180°C) e de degradação de 371°C [13], buscou-se nos experimentos o controle da temperatura na faixa de transição vítrea (T_g) e de degradação do material. O dispositivo desenvolvido como indicado pela Figura 2 para a soldagem deste estudo, consiste na adaptação de um tijolo refratário onde foi feito uma abertura para o encaixe de um material condutor (neste caso, alumínio) e o da amostra, juntamente com um orifício para focalizar a chama, garantindo a proteção da amostra e também a temperatura adequada para soldagem.

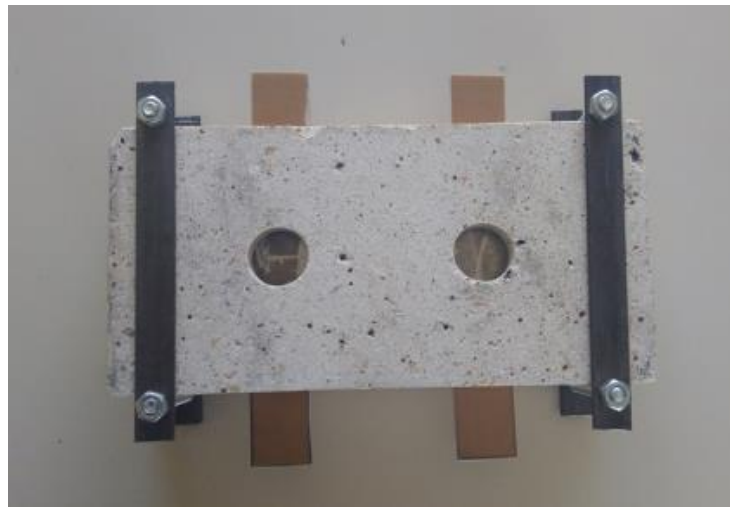


Figura 2. Sistema adaptado para soldagem por Oxi-acetileno do compósito PEI\Fibra de vidro.

Primeiramente foram realizados os primeiros testes de solda visando ser um processo mais automático com controle das variáveis a serem avaliadas. A inicial adequação consistiu em suportes de madeira para apoio do bico do maçarico da solda. Posteriormente foi adequado um dispositivo utilizando o braço de aço já disponível na bancada de solda, o que facilitou estabelecer os valores de distância da chama nas amostras. O sistema final desenvolvido com utilização do dispositivo refratário desenvolvido e utilizado para a soldagem das amostras é apresentado na Figura 3.



Figura 3. Sistema final desenvolvido para a soldagem por Oxi-acetileno de compósito PEI.

3.2. Definição de Parâmetros e Faixas de Valores

Após o desenvolvimento do sistema para soldagem foram realizados os ensaios para determinação das faixas de valores e também o estudo das principais variáveis a serem utilizadas posteriormente. Nestes ensaios foram medidos a temperatura e, principalmente, se houve a soldagem do material sem a degradação do mesmo com base nas informações de temperatura de transição vítrea do material e de degradação. As melhores faixas de parâmetros com as respectivas temperaturas dos ensaios são apresentados pela Tabela 1.

Tabela 1. Parâmetros analisados durante os testes de soldagem de Oxi-acetileno para compósito PEI/fibra de Vidro.

| Parâmetros\ Ensaio | Altura da Chama (mm) | Tempo (s) | Temperatura (°C) |
|-----------------------|----------------------------|-----------|------------------|
| 1 | 40 | 60 | 306 |
| 2 | 60 | 40 | 252 |

Com base nestes resultados pode-se, além de determinar as faixas de temperatura de soldagem para o material, determinar os valores mínimos e máximos das variáveis do processo. Na Figura 6 é mostrado as amostras soldadas referentes aos ensaio 1 e 2.

3.3. Resultados de *Lap Shear*

Com base nos resultados anteriores foram realizados os ensaios para determinação da resistência mecânica das juntas soldadas pelo ensaio de *Lap Shear*. Os valores encontrados para os ensaios 1, 2 e 3 são mostrados na Tabela 2.

Tabela 2. Resultados dos ensaios de soldagem pelo teste de *Lap Shear*.

| Ensaio | 1 | 2 |
|---------------------------|-------|------|
| <i>Lap Shear</i> (MPa) | 10,18 | 4,35 |

A partir deste estudo foi possível observar com os resultados de resistência mecânica de *Lap Shear* que os ensaios com maior tempo e distância menor da chama apresentaram-se superiores. Estes valores adquiridos são compatíveis ao trabalho realizado pelo processo de resistência elétrica [13].

4. CONCLUSÕES

Foi possível estabelecer e adequar a soldagem Oxi-acetileno para o compósito PEI/Fibra de Vidro. Com o dispositivo desenvolvido, outros tipos de compósitos poderão ser testados e também determinar a otimização deste processo para o material estudado, visando adquirir maiores valores de resistência mecânica.

5. REFERÊNCIAS

[1] DA SILVA, R. V. et al. *Matéria*, v. 13, p. 154–161, 2008.

[2] DUBÉ, M. *Static And Fatigue Behaviour Of Thermoplastic Composite Laminates Joined By Resistance Welding*. Tese de Doutorado em Engenharia Mecânica, McGill University, Montréal, 2007.



- [3] REZENDE, M. C.; COSTA, M. L.; BOTELHO, C.B.; *Compósitos Estruturais: Teoria e Prática*. São Paulo: Editora ArtLiber, 2011.
- [4] FELTRAN, M.B. *Polímeros*, v. 17, p. 276-283, 2007.
- [5] OLIVEIRA, G. H.; GUIMARÃES, V. A.; BOTELHO, E. C. *Polímeros*, v. 19, p. 305–312, 2009.
- [6] AGEORGES, C.; YE, L.; HOU, M. *Composites*, v. 32, n. 2001, 2006.
- [7] PANNEERSELVAM, K.; ARAVINDAN, S.; NOORUL HAQ, A. *Mater. & Des.*, v. 41, p. 453–459, 2012.
- [8] AMANAT, N.; JAMES, N. L.; MCKENZIE, D. R. *Medic. Eng. & Phys.*, v. 32, p. 690-699, 2010.
- [9] AGEORGES, C.; YE, L.; HOU, M. *Compo. Scienc. and Tech.*, v. 60, p. 1027–1039, 2000.
- [10] BATES, P.J. *Compo: Part A*, v. 36, p. 39–54, 2005.
- [11] WAINER, E. BRANDI, S. D. MELLO, F. D. H. *Soldagem: processo e metalurgia*. São Paulo: Editora Edgard Bluncher LTDA, 1992.
- [12] MARQUES, P.V.; MODENESI, P.J.; BRACARENSE, A.Q. *Soldagem Fundamentos e Tecnologia*. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2009.
- [13] ABRAHÃO, A.B.R.M. *Otimização do processo de soldagem por resistência elétrica em compósitos PEI/fibras contínuas para aplicações aeronáuticas*. 2014. 155 f. Tese de Doutorado em Engenharia Mecânica, Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Guaratinguetá, 2014.