

Um Estudo das Influências do Tratamento Superficial, da Quantidade e da Inclinação de Pinos em Juntas Híbridas Metal-Compósito

Lucas Pisa Carnio, Pedro Albertinase Franzoni, Igor Oliveira Felice, Iaroslav Skhabovskiy*, Núbia dos Santos Saad, Ruham Pablo Reis

* LAPROSOLDA – Laboratório para o Desenvolvimento de Processos de Soldagem, i.skhabovskiy@ufu.br

Palavras-chave

Juntas híbridas metal-compósito, tratamento superficial, quantidade dos pinos, inclinação dos pinos, CMT (*Cold-Metal Transfer*) PIN

1. INTRODUÇÃO

O uso de materiais compósitos de matriz polimérica tem se tornado cada vez mais frequente no universo da engenharia moderna. Dentro da manufatura aeronáutica, a aplicação destes materiais é nítida e crescente devido ao destaque na redução de peso estrutural e à similar (ou até mesmo superior) eficiência mecânica que apresentam quando comparados com estruturas puramente metálicas. Apesar de possuírem algumas propriedades distintas, metais e compósitos constantemente interagem entre si. Sendo assim, uma análise da união entre estruturas metálicas e compósitas precisa ser amplamente estudada. Historicamente, a junção entre estruturas metálicas e não-metálicas em aeronaves vem sendo realizada por fixadores puramente mecânicos como rebites, porcas e parafusos. A razão para isto é que a união feita apenas por colagem adesiva apresenta limitações de carga suportada (Graham et al., 2014). Estima-se que cerca de 2,7 milhões de fixadores (mecânicos e não-mecânicos) estão presentes em um único avião modelo 777 da fabricante Boeing (Gradinger et al., 2011). Isso evidencia a importância desses fixadores na montagem de estruturas de aeronaves.

A utilização exclusiva de fixadores mecânicos na união entre chapas metálicas e compósitos de matriz polimérica apresenta uma série de problemas relacionados à distribuição de carga na junção (concentração de tensão em furos) e também à integridade das fibras do material compósito (Ucsnik et al., 2010). Sendo assim, uma solução alternativa híbrida, tema de estudo deste trabalho, foi desenvolvida para aplicações em estruturas leves e aeronáuticas, combinando o método de colagem adesiva ao uso de fixadores mecânicos (Ucsnik et al., 2010), no caso pinos soldados pelo processo CMT PIN. Estas três formas de fixação são ilustradas na Figura 1.

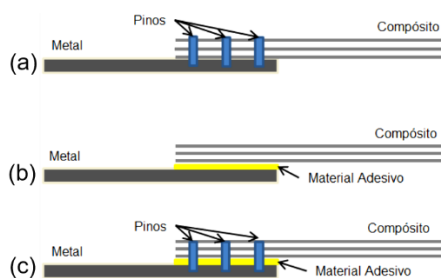


Figura 1: Representação de fixação por método de união: (a) mecânica (pinos); (b) adesiva; (c) híbrida

Assim, o presente trabalho tem como objetivo estudar a influência de tratamento superficial da parte metálica, quantidade e inclinação dos pinos em união híbrida metal-compósito em junta sobreposta, simulando um carregamento comum presente em juntas de aeronaves. Para isso, foram fabricadas juntas de aço e compósito polimérico reforçado com fibra de vidro unidas pelo método híbrido e adesivo (para comparar). Para testar as juntas, foi realizado teste de cisalhamento por tração e posteriormente analisados valores de carga máxima, curva carga aplicada *versus* deslocamento. O acréscimo de massa também foi considerado.

2. METODOLOGIA, RESULTADOS E CONCLUSÕES

Para fabricar as juntas foram utilizadas chapas de aço ABNT 1020 (125,0 × 60,0 × 1,5 mm), largamente utilizado na indústria devido ao seu custo benefício e por apresentar ótima soldabilidade. Vale ressaltar que apesar de não ser um material de construção aeronáutica, o mesmo foi escolhido como prova de conceito. Assim, o papel dos pinos em juntas híbridas pode ser estudado com um material de baixo custo e depois no futuro os resultados estendidos a materiais mais

nobres e tipicamente utilizados em aeronaves. Todas as superfícies metálicas antes de depositar os pinos pela técnica CMT PIN (com mais detalhes descritos em Fronius, 2014), independentemente de tratadas ou não tratadas, foram limpas com auxílio de um pano úmido com acetona industrial para remover graxa e outras partículas indesejadas. Após o processo de limpeza, foi feita a deposição dos pinos utilizando um robô da Motoman modelo HP20-A0, fonte de soldagem Fronius TPS5000 CMT com alimentador de arame-eletrodo VR7000 CMT. Os pinos foram depositados a partir de arame-eletrodo do tipo AWS ER309 LSi com diâmetro de 1,0 mm e utilizando uma mistura de Ar + 3,6%CO₂ como gás de proteção a vazão de 8 L/min. Os pinos soldados ficaram com 1 mm de diâmetro, aproximadamente 3 mm de altura e com cabeça abaulada de cerca de 1,2 mm. Após a deposição dos pinos as partes metálicas foram limpas (novamente com pano úmido com acetona industrial) e em seguida foi feito o processo de laminação manual, utilizando resina de poliéster insaturada da marca “Max Rubber” para laminação (monômero de estireno com concentração de 30 % a 40 %) juntamente com um catalisador (aproximadamente 10 gotas do catalisador para cada 100 gramas da resina). Em função do baixo custo e disponibilidade, o material de reforço escolhido foi a fibra de vidro do tipo E com densidade de 200 g/m² e trama do tipo “plain weave”. A Figura 2 mostra um exemplo de corpo de prova após fabricação.

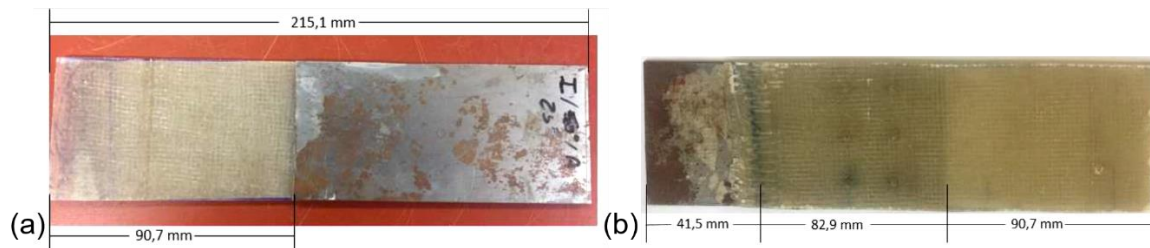


Figura 2: Exemplo de corpo de prova da junta sobreposta metal-compósito com as dimensões médias obtidas para cada segmento, onde: (a) vista superior e (b) vista inferior

O tratamento superficial da parte metálica da junta metal-compósito foi feito antes de depositar os pinos pela técnica CMT PIN com auxílio de uma lixadeira manual com disco com granulação 80. Neste caso, foram fabricadas as juntas com (híbrida) e sem (adesiva) pinos com superfícies metálicas mecanicamente tratadas e não tratadas para fins de comparação, mantendo a mesma quantidade de 6 pinos por junta híbrida. Já para fazer estudo variando a quantidade dos pinos (sem tratamento superficial), foram depositados 15 pinos por junta e as mesmas foram comparadas com as juntas híbridas com 6 pinos. Finalmente, no caso da inclinação dos pinos em juntas híbridas, foram variados ângulos de 0° (pino reto = perpendicular à superfície metálica), 15°, 25° e 35°, mantendo a mesma quantidade de 6 pinos por junta. O sentido da inclinação dos pinos foi ao contrário da força de cisalhamento (tração) aplicada através do ensaio de mecânico. Para os ensaios mecânicos utilizou-se uma máquina MTS Landmark® Servohydraulic. A velocidade de ensaio definida foi de 2 mm/min e os testes foram realizados até que se atingisse a ruptura total da junta (decaimento da curva tensão *versus* deformação) ou até que não houvesse mais travamento entre os pinos e material compósito. Cada condição de junta foi ensaiada 3 vezes para observar a repetibilidade do ensaio através seus valores médios e desvio padrão.

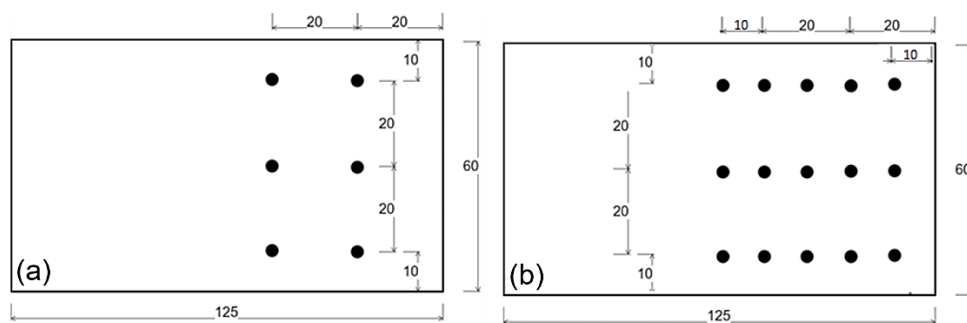


Figura 3: Ilustração da vista superior de distribuição dos pinos nas partes metálicas das juntas híbridas, onde: (a) com 6 pinos e (b) 15 pinos (dimensões em mm)

Baseado nos resultados dos ensaios mecânicos das juntas metal-compósito concluiu-se:

- O tratamento da superfície forneceu uma adesão maior dos pinos à chapa metálica, fazendo com que estes realizassem o travamento da junta de maneira mais eficiente, suportando uma carga máxima maior (33 % maior), significando maior resistência ao cisalhar. Também foi observado que o tratamento superficial não apresentou melhorias quanto à junção adesiva (sem pinos), fornecida pela resina. Foi possível inferir que o tratamento superficial utilizado apresenta melhorias apenas na fixação dos pinos às chapas metálicas. Assim, para se aumentar a resistência fornecida pela junta adesiva, outras técnicas devem ser estudadas para avaliar a sua utilização juntamente com a técnica utilizada neste trabalho. Pela medição da massa adicionada aos corpos de prova foi possível verificar que, apesar de se adicionar massa pela soldagem dos pinos (adição de menos de 0,5 %), o aumento na resistência mecânica obtido é largamente vantajoso;
- A quantidade dos pinos (6 e 15) por junta metal-compósito sem tratamento superficial influenciou pouco, pois amostras contendo quinze pinos responderam à resistência mecânica com valores muito próximos das amostras

que não continham pinos, revelando que talvez não haja uma relação linear entre quantidade de pinos e resistência mecânica e/ou que o processo de laminação manual do compósito teve interação determinante com as quantidades de pinos utilizadas. Uma possível explicação para tal fato é que uma grande quantidade de pinos diminui a área superficial de contato entre os materiais compósito e o metálico e possivelmente esta diferença de área contribua para a redução da resistência mecânica;

- A inclinação dos pinos em 15° favoreceram ligeiramente melhores resultados em relação às outras inclinações avaliadas (0°, 25° e 35°). Parece existir um ponto de inclinação ótima, que ao analisar os resultados, pode-se inferir que está entre 10° e 20°. Já os pinos inclinados a 35° não apresentaram vantagens e os pinos inclinados a 25° apresentaram um benefício pouco significativo.
- Para todos os casos com presença de pinos nas juntas, a massa adicionada ficou em torno de 0,5 %, ou seja, não houve acréscimo de massa significativo.

3. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos grupos do Laboratório para o Desenvolvimento de Processos de Soldagem (LAPROSOLDA) e do Laboratório de Mecânica de Estruturas Prof. José Eduardo Tannús Reis (LMEst) da FEMEC-UFU, pela disponibilidade de facilidades laboratoriais e infraestrutura para confecção das juntas metal-compósito, assim como à FAPEMIG e ao CNPq, pelas bolsas de pós-graduação e pesquisa dos autores.

4. REFERÊNCIAS

Fronius CMT Welding Technology "Current Welding Practice: CMT Technology", English Edition Volume 11, DVS Media GmbH, Dusseldorf, 1st Edition 2014, Fronius International GmbH, 2014.

Gradinger, R.; Ucsnik, S.; Scheerer, M. Innovative Principles of Design for Lightweight Composite Compounds in Aeronautical Structures. In: *Austria Aerodays*, 2011.

Graham, D. P.; Rezai, A.; Baker, D.; Smith, P.A.; Watts, J.F. "The Development and Scalability of a High Strength, Damage Tolerant, Hybrid Joining Scheme for Composite–Metal Structures". *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*. Vol. 64, 2014, pp. 11-24. Doi: 10.1016/j.compositesa.2014.04.018

Ucsnik, S.; Scheerer, M.; Zarembo, S.; Pahr, D.H. "Experimental Investigation of a Novel Hybrid Metal-Composite Joining Technology". *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*. Vol. 41, 2010, pp. 369-374. Doi: 10.1016/j.compositesa.2009.11.003

5. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.