

Avaliação da Ondulação e da Rugosidade das Superfícies de Painéis Laminados Metal-Compósito Enrijecidos por Pinos Depositados por Soldagem

Iaroslav Skhabovskiy*, Ruham Pablo Reis, Edson Cocchieri Botelho, Américo Scotti

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

Palavras-chave

Desvio de forma, perfil macrogeométrico, rugosidade, laminados metal-compósito (LMC), CMT-PIN

1. INTRODUÇÃO

Laminados Metal-Compósito (LMC) são conhecidos na literatura também como Laminados Metal-Fibra (*Fiber-Metal Laminates*). De acordo com Asundi & Choi (1997), consistem de chapas finas de ligas de alumínio de alta resistência, alternadamente unidas a lâminas de compósitos pré-impregnado. Esta definição pode ser expandida para chapas de outros materiais e com somente uma camada de pré-impregnado entre duas chapas finas de metal. Por sua vez, este pré-impregnado (*pregreg*) é um compósito polimérico composto de fibras de reforço (carbono, vidro, aramida ou boro) com resina epóxi. Botelho et al. (2006) citam que esta combinação de chapas metálicas e lâminas de compósito de matriz polimérica pode criar um efeito sinérgico em muitas propriedades, comparado a ligas metálicas e materiais compósitos individualmente. De acordo com Salve et al. (2016), os LMC trazem diversas vantagens, tais como melhorias no comportamento de material (maior resistência de fadiga, elevada resistência, alta resistência a fratura e ao impacto, alta capacidade de absorção de energia), em propriedades físicas (baixa densidade), na segurança (resistência ao fogo), na durabilidade (excelente resistência a umidade, a corrosão e baixa degradação do material) e em economia de custo (menor peso e número de peças de uma estrutura, menor número de reparos e inspeções). Ou seja, para Asundi & Choi (1997), os LMC combinam as melhores características da matriz de compósito com as das chapas finas de metal, sem compartilhar as desvantagens individuais.

Em trabalhos anteriores a este (Skhabovskiy et al., 2016; Skhabovskiy et al., 2017), pinos foram soldados nas partes metálicas (aço AISI 430 de 0,4 mm de espessura) de painéis do tipo LMC pela técnica CMT-PIN, com objetivo de melhorar a resistência mecânica destes painéis. Pela Figura 1 é possível perceber marcas escuras na superfície metálica dos painéis laminados metal-compósito (PLMC), as quais representam os pinos depositados do lado oposto da chapa. Estas marcas se caracterizam por uma deformação localizada (pico e vale) e uma acentuada oxidação induzida pelo calor da soldagem dos pinos (o efeito estético da oxidação poderia ser evitado com aplicação de purga com gás inerte ou redutor), ou seja, um efeito termomecânico. A formação da deformação localizada se deve ao modo operacional do CMT-PIN, que deposita os pinos por processo ao arco (efeito térmico), criando uma pequena poça de fusão (não atingi o lado oposto). Em seguida, o ponta do arame-eletrodo penetra na poça, possivelmente atingindo o fundo da mesma e empurrando a superfície da chapa, deformando-a (efeito mecânico), caracterizando o pico no centro da marca (para fora do painel). Em seguida, a corrente é desligada e o arame se solidifica na superfície da chapa. Em sequência, é imposta uma corrente pelo arame soldado na chapa, o qual está em curto-circuito, promovendo o aquecimento por efeito Joule do mesmo, e um movimento de retração do arame, para rompê-lo e formar um pino. Acredita-se, que esta retração do arame deforma a chapa (já enrijecida pelo pino), criando um vale concêntrico ao pico (para dentro do painel). Concorrentemente, algum efeito de expansão e contração também vai haver, mas aparentemente de forma secundária.

Fontes bibliográficas (Laliberte et al., 2000; Marsh, 2004; Botelho et al., 2006) destacam que a maior parte dos LMC, devido as suas vantagens, são utilizados em aeronaves modernas, tais como, em fuselagem, asas, etc. Os PLMC são usados como fabricado ou após aplicação de pintura. Neste contexto, a qualidade da superfície torna-se um fator relevante. Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar a influência da deposição dos pinos na superfície metálica dos PLMC, mensurando-se características, tais como, ondulação e rugosidade da superfície, de forma comparativa a um PLMC sem pinos (painel convencional).

2. METODOLOGIA, RESULTADOS E CONCLUSÕES

A Figura 1 mostra os tipos de PLMC miniaturizados, com suas respectivas seções transversais, utilizados neste trabalho. Foram fabricados cinco tipos de painéis, sendo quatro com e um sem pinos (convencional). Foram utilizados dois padrões de deposição de pinos distintos, o Hexagonal e o Quadrado, com dois valores diferentes para o espaçamento entre os pinos (5 e 10 mm). O procedimento de fabricação, materiais, equipamentos e as características dos PLMC

miniaturizados, com e sem pinos, já foram descritos em trabalhos anteriores (Skhabovskiy et al., 2016; Skhabovskiy et al., 2017).

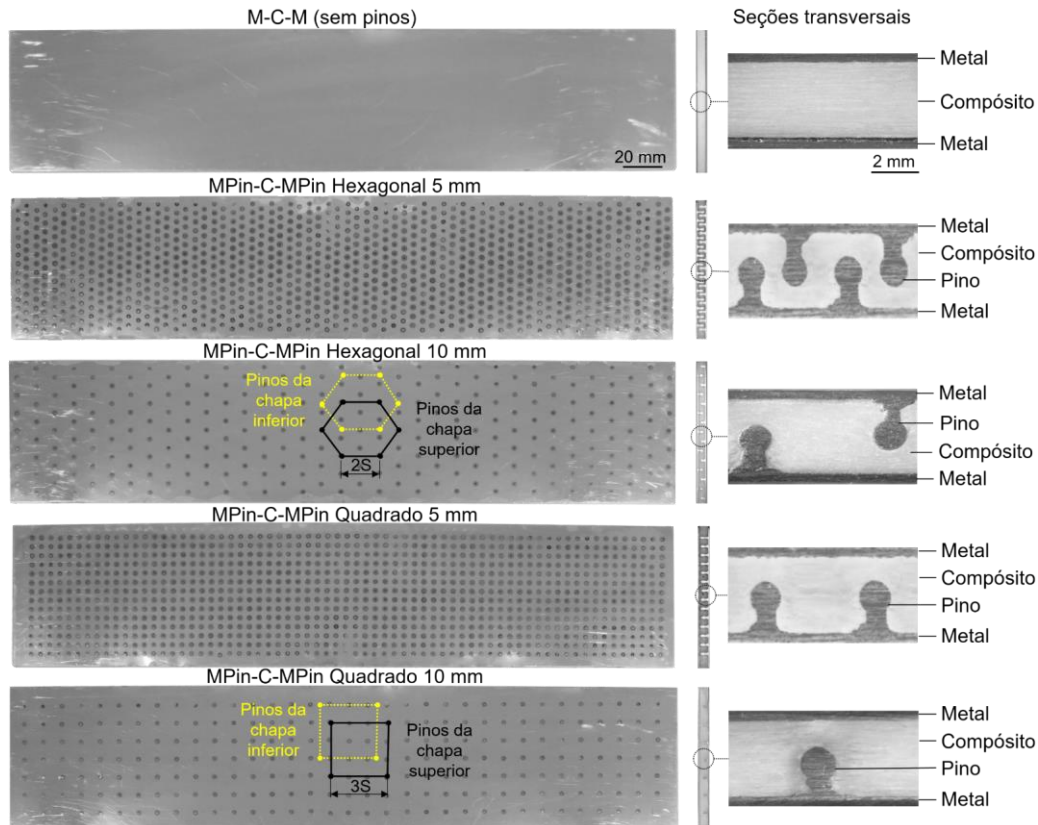


Figura 1: Vista de cima de PLMC miniaturizados reforçados com pinos ($350 \times 80 \times 4$ mm), fabricados com chapas de aço AISI 430 e fibra de vidro/epóxi, com respectivas seções transversais (S – espaçamento entre os pinos)

Para realizar as medições da ondulação e da rugosidade das superfícies, foi utilizado um perfilômetro do fabricante Taylor Hobson®, modelo Form Talysurf Intra com resolução de 16 nm numa faixa de medição de 1 mm. Foram fixados os parâmetros de medição, tais como, velocidade de medição igual a 0,25 mm/s, comprimento de medição igual a 10 mm, temperatura ambiente de 20 ± 2 °C (norma ABNT NBR NM ISO 1, 1997) e valor de comprimento de amostragem “cut-off” igual a 0,8 mm (determinado conforme a norma ABNT NBR ISO 4288, 2008, em função da rugosidade do material). Lembrando que o valor de “cut-off” representa um segmento de comprimento de medição, usado em algumas representações de medições da rugosidade. É importante destacar que nas medições dos painéis com pinos, a ponteira do perfilômetro foi posicionada para somente medir sobre algumas das regiões de marcas deixadas pela deposição dos pinos (acrescidas de 2 a 3 mm de cada lado), cruzando-as radialmente. Nos painéis sem pinos, escolheu-se áreas de mesma dimensão. Para ter valor estatístico, foram analisadas três amostras de superfícies para cada tipo de painel, escolhidas aleatoriamente. Em todos os casos, foram determinados os perfis de ondulação (escala macrogeométrica) e os perfis de rugosidades (escala microgeométrica) das regiões avaliadas. A Figura 2(a) e (b) apresentam os perfis de ondulação típicos das superfícies de painéis com e sem pinos, respectivamente, e ilustra a região medida associada. A quantificação da ondulação foi feita a partir das distâncias máximas entre o pico e o vale da ondulação (ΔZ da Figuras 2(a)) de cada marca do pino depositado. Observou-se que o pico máximo do perfil de ondulação de superfície está localizado no centro do pino depositado na superfície oposta da chapa e os dois picos mínimos, aparecem deformando a superfície ao redor do pino, conforme a Figura 2(a). Como os pinos são feitos com os mesmos parâmetros, os valores de ΔZ são próximos, resultando num valor médio de $26,92 \pm 2,35$ μm . Para fins de comparação, o mesmo critério foi aplicado no PLMC sem pino, portanto sem ondulação por efeito térmico, resultando em uma média $1,40 \pm 0,40$ μm .

A Figura 2(c) mostra os resultados médios das rugosidades média (R_a), média parcial (R_z) e total (R_t) das regiões amostradas das superfícies dos painéis. Lembrando que a R_a é a média aritmética dos valores absolutos dos picos de rugosidade em relação a uma linha média, dentro do comprimento de medição. R_z é definido como o maior valor das rugosidades (picos), ou seja, rugosidade medida em segmentos definido pelo “cut-off”, que se apresenta no percurso de medição. Finalmente, a R_t corresponde à distância vertical entre o pico mais alto e o vale mais profundo no comprimento de medição, obtidos dentro dos segmentos definidos pelo “cut-off”. Estas representações de rugosidades foram escolhidas baseadas nos estudos de De Chiffre et al. (2000) apud De Chiffre (1999), que demonstrou os parâmetros mais utilizados em indústrias. Os resultados mostram que todos os tipos de painéis com pinos têm aproximadamente os mesmos valores de rugosidades R_a , R_z e R_t (considerando-se o desvio padrão médio). Porém, a deposição de pinos promoveu um aumento de rugosidade nas regiões das marcas, em relação ao painel convencional.

Assim, concluiu-se que a técnica de deposição dos pinos CMT-PIN, através do seu princípio termomecânico (arco voltaico com avanço e recuo do arame), altera o perfil da superfície de uma chapa fina (0,4 mm de espessura) no local

dos pinos, mas apenas em escala microscópica (menos do que 30 μm em termos de ondulação e em pouco mais de 0,20 μm em termos de rugosidade). Desta forma, a eliminação da coloração por processo de purga durante a disposição dos pinos já retira em grande parte as desvantagens da aplicação dos pinos.

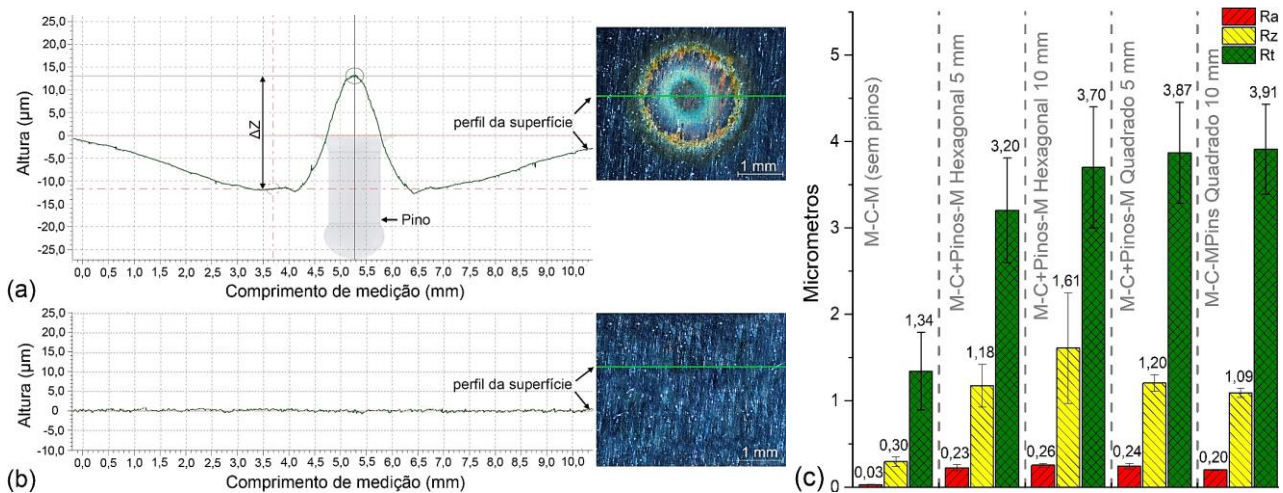


Figura 2: Perfis típicos da ondulação das superfícies de PLMC miniaturizados, onde: (a) com pinos (mostrando ondulação acentuada) e (b) sem pinos (sem ondulação); (c) resultados médios dos perfis das rugosidades média (Ra), média parcial (Rz) e total (Rt) das superfícies de PLMC miniaturizados

3. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem os grupos do Laboratório para o Desenvolvimento de Processos de Soldagem (LAPROSOLDA) e o Laboratório de Ensino e Pesquisa em Usinagem (LEPU) da FEMEC-UFU, pela disponibilidade de facilidades laboratoriais. Também o Laboratório de Análises Químicas e Térmicas do Departamento de Materiais e Tecnologia da UNESP (UNESP-Guaratinguetá) pela infraestrutura para confecção dos painéis miniaturizados, assim como à FAPEMIG e CNPq, pelas bolsas de pós-graduação e pesquisa dos autores.

4. REFERÊNCIAS

- ABNT NBR ISO 4288 (2008).
 ABNT NBR NM ISO 1 (1997).
 Asundi, A.; Choi, Alta Y.N. “Fiber metal laminates: An advanced material for future aircraft”. *Journal of Materials Processing Technology*. Vol. 63, 1997, pp. 384-394. Doi: 10.1016/S0924-0136(96)02652-0
 Botelho, E.C.; Silva, R.A.; Pardini, L.C.; Rezende, M.C. “A Review on the Development and Properties of Continuous Fiber / epoxy / aluminum Hybrid Composites for Aircraft Structures”. *Materials Research*. Vol. 9, Nº 3, 2006, pp. 247-256. Doi: 10.1590/S1516-14392006000300002
 De Chiffre, L. “Industrial survey on ISO surface texture parameters”. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*. Vol. 48/3, 1999, pp. 74-77.
 De Chiffre, L.; Lonardo, P.; Trumpold, H.; Lucca, D.A.; Goch, G.; Brown, C.A.; Raja, J.; Hansen, H.N. “Quantitative characterization of surface texture”. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, Vol. 49, Nº 2, 2000, pp. 635-352. Doi: 10.1016/S0007-8506(07)63458-1.
 Laliberte, J.F.; Poon, C.; Straznicky, P.V.; Fahr, A. “Applications of fiber-metal laminates”. *Polymer Composites*. Vol. 21, Nº 4, 2000, pp. 558-567. Doi: 10.1002/pc.10211
 Marsh, G. “Composites lift off in primary aerostructures”. *Reinforced Plastics*, Elsevier, p.32, April, 2004. Doi: 10.1016/S0034-3617(04)00193-6
 Salve, A.; Kulkarni, R.; Mache, A. “A Review: Fiber Metal Laminates (FML's) -Manufacturing, Test methods and Numerical modeling”. *International Journal of Engineering Technology and Sciences (IJETS)*. Vol. 6, 2016, pp. 71-84. Doi: 10.15282/ijets.6.2016.10.2.1060
 Skhabovskiy, I.; Batista, N.L.; Damato, C.A.; Reis, R.P.; Botelho, E.C.; Scotti, A. “Appraisal of fiber-metal laminate panels reinforced with metal pins deposited by CMT welding”. *Composite Structures*. In press. Doi: 10.1016/j.compstruct.2017.07.043
 Skhabovskiy, I.; Reis, R.P.; Botelho, E.C.; Scotti, A. “Avaliação de Painéis de Laminados Fibra-Metal Enrijecidos por Pinos Depositados por Soldagem”. In: *Simpósio do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica (POSMEC 2016)*. 2016.

5. DIREITOS AUTORAIS

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