cbecimat26
26° Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais
22 a 26 de novembro de 2026
Costão do Santinho
Florianópolis-SC

Influência do Recobrimento de Ferramentas e Parâmetros de Corte na Delaminação e Consumo de Potência na Usinagem de Compósito Termoplástico

LIMA, Murilo Alves[1]; SILVA, Lucca Zappa[2]; ALVES, Manoel Cleber de Sampaio[1]...
1.Faculdade de Engenharia e Ciências de Guaratinguetá (FEG) – Universidade Estadual Paulista (UNESP); 2. Colégio Técnico Industrial de Guaratinguetá “Prof. Carlos Agusto Patrício Amorim” (CTIG)

Introdução

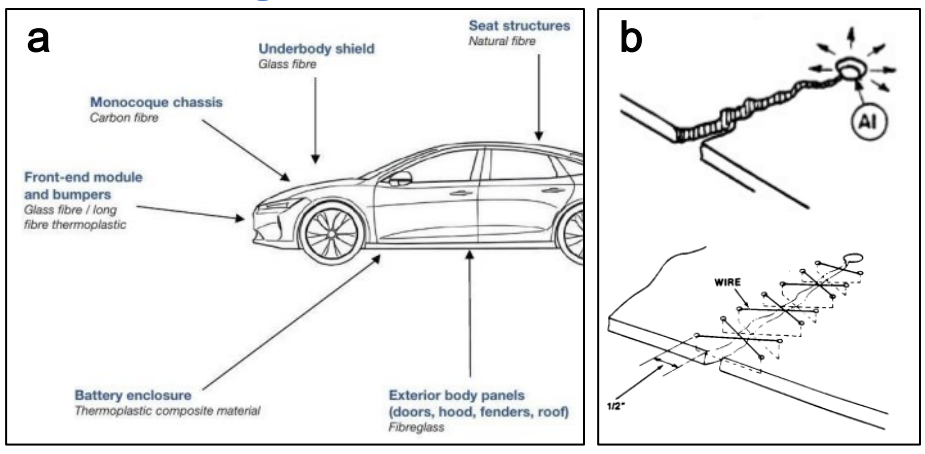


Figura 1. (a) Automóveis elétricos com CFRP [1], (b) Reparo de plásticos.

Com o crescimento da produção e popularização do uso de compósitos poliméricos, como no crescimento da produção de veículos elétricos que causou um aumento de 42% na taxa de crescimento anual composta do consumo global de de compósitos em volume, entre os anos de 1980 e 2025 [3]. O estudo da usinagem contribui com a eficiência no uso dos recursos pelo aumento da vida de estruturas CFRP por meio do reparo.

Objetivos

O presente trabalho teve como objetivo analisar se o recobrimento e a velocidade de avanço afetam a qualidade do furo da fresa de topo e consumo da máquina.

Metodologia

O compósito polimérico de matriz termoplástica reforçado com fibra de carbono da Toray Cetex TC910 PA6 com espessura de 4,3 mm foi furado por uma fresadora CNC marca EMCO modelo F1. As fresas utilizadas tem a mesma geometria com diâmetro de 6 mm, mas se diferenciam pelo recobrimento e dureza.

Shazam HRC50-D6.0x15xD6x50L-4F (AlTiN)
Shazam HRC55-D6.0x15xD6x50L-4F (TiSiN)
Shazam HRC65-D6.0x15xD6x50L-4F (AlTiSiN)

Os parâmetros de corte foram padronizados com rotação do eixo-árvore em 2000 rpm , mas variando a velocidade de avanço em 50, 100 e 150 mm/min. O experimento teve 2 corpos de prova num fatorial completo com dados do fator de delaminação convencional 1D [4], coletados por meio da luz de campo claro do sistema óptico da Mitutoyo do modelo QS-LBZ visual quick scope série 359, conforme Figura 2.

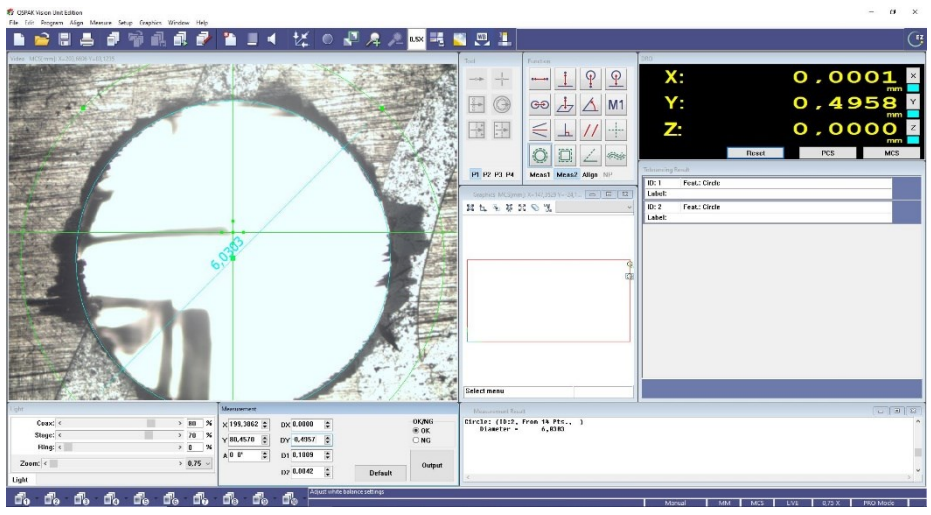


Figura 2. Coleta dos dados de delaminação pelo sistema de medição óptico.

Os dados de potência foram coletados por um transdutor de corrente alternada LEM AT 100 B10 e uma placa de aquisição da National Instruments USB-6212 com uma taxa de aquisição de 4800 Hz e convertidos para potência em watts, usando a seguinte formula:

$$Potência = Sinal\ x\ 10\ x\ 220\ x\ 0{,}92\ x\ \sqrt{3}$$

Nos dados padronizados utilizou a análise multivariada não paramétrica do PERMANOVA com 4999 permutações com análise dos tratamentos por pairwise e das variáveis respostas por Kruskal-Wallis com correção de Benjamini-Hochberg (FDR). A análise foi verificada por um teste de homogeneidade de disperções e correlação entre as variáveis respostas.

Resultados e Discussão

O PERMANOVA deu significativo para a existência de um contexto multivariado (p-value 0,0002), pairwise significativo para todas as ferramentas (p-value 0,0039-0,0246) e não significativo para a velocidade de avanço (p-value 0,2598-0,3192) e o Kruskal-Wallis corrigido significativo apenas para a potência consumida pela usinagem (p-value 0,0109).

Os testes de validação resultou na presença de heterogeneidade de dispersões multivariadas no tratamento de ferramentas (p-value 0,0452), mas as correlações simples entre as variáveis respostas não teve nenhum valor em modulo acima de 0,38.

- Ferramenta AlTiN: 442-687 Watts
- Ferramenta TiSiN: 887-1329 Watts
- Ferramenta AlTiSiN: 498-894 Watts

Conclusões

A velocidade de avanço (50, 100 e 150 mm/min) não teve influência nos dados, mas o recobrimento influência na potência consumida, com ressalva para a heterogeneidade das dispersões multivariadas.

Referências e Agradecimentos

[1] ESTIN & CO; LUCINTEL. Overview of the global composites market 2025-2030. JEC Composites Magazine, v. 17, n. especial edition, fev. 2026.

[2] ESTADOS UNIDOS. Federal Aviation Administration (FAA). Advisory Circular AC 43.13-1B: Acceptable Methods, Techniques, and Practices — Aircraft Inspection and Repair. Title 14 of the Code of Federal Regulations (14 CFR) Guidance Material. Initiated by: AFS-640. Change 1. Washington, DC: FAA, 8 set. 1998.

[3] ESTIN & CO; LUCINTEL. 2Overview of the composites industry in 2025. JEC Composites Magazine, v. 17, n. especial edition, fev. 2026.

[4] XU, Jinyang et al. A review on CFRP drilling: fundamental mechanisms, damage issues, and approaches toward high-quality drilling. Journal of Materials Research and Technology, v. 24, p. 9677-9707, 2023.