

ANÁLISE DO DESGASTE DE FRESAS HSS NA USINAGEM DE LAMINADOS COMPÓSITOS DE FIBRA DE CARBONO E CHAPA DE AÇO SAE 1020 LAMINADO

Victor Soares Gualberto
Ednardo Oliveira Barbosa
Ramsés Otto Cunha Lima

Universidade Federal Rural do Semi-Árido – Rua Francisco Mota, 572 – Presidente Costa e Silva, Mossoró – RN, CEP 59625-900
victorgualberto1@gmail.com
eng.ednardobarbosa@gmail.com
ramses.cunhalima@ufersa.edu.br

Pedro Lucas Serafim Fernandes

Universidade Federal do Ceará - Av. da Universidade, 2853 - Benfica, Fortaleza - CE, CEP 60020-181
pedro-lsf@hotmail.com

Resumo. Os materiais compósitos têm sido cada vez mais utilizados nas indústrias que procuram alto desempenho como a automobilística e aeronáutica, tendo em vista seu grande benefício com relação à resistência mecânica e baixo peso. Porém, por se tratar de um material que é constituído de um empilhamento de fibras, sua usinabilidade é comprometida tendo em vista o problema da delaminação. O objetivo deste trabalho é a análise do desgaste da ferramenta de corte utilizada para usinagem de compósitos fabricados com lâminas unidirecionais de epóxi/carbono com configuração $[90/30/-30]_{3s}$ visando à obtenção de uma baixa dispersão de resultados com relação ao desgaste de flanco médio e desgaste de flanco máximo, bem como a identificação de mecanismos de desgaste e a comparação dos valores de desgaste da fresa de aço rápido quando usinando aço SAE 1020 laminado nas mesmas condições de usinagem do compósito citado. Os ensaios de usinagem foram executados com fresas de aço rápido com 6mm de diâmetro, atendendo à norma ASTM D5766M. A dispersão dos desgastes de flanco médio e máximo foi baixa. O desgaste de flanco médio na ferramenta de corte que usinou o aço é 64,74% menor em comparação a fresa que usinou o compósito e o desgaste de flanco máximo é 58,93% menor na fresa que usinou o aço em relação a fresa que usinou o compósito.

Palavras chave: Usinagem. Compósitos. Desgaste. Ferramenta de corte.

1. INTRODUÇÃO

Cada vez mais as indústrias procuram por materiais mais resistentes e mais leves para compor os seus projetos, principalmente aqueles de maior desempenho, sendo essas características fundamentais para o sucesso ou fracasso de um projeto (FERNANDES, 2014). Principalmente na indústria aeronáutica e no setor de competição de alto nível, como na Fórmula 1, há uma demanda por novos materiais que proporcionem redução de massa significativa, capaz de trazer redução do consumo de combustível e aumento do desempenho do veículo (GAY; HOA, 2007).

Para ser realizada a fixação das peças, muitas vezes é necessária a realização de um processo de fabricação posterior. No caso de aviões, em que o principal meio de fixação de elementos estruturais se dá através da utilização de rebites, vários furos precisam ser confeccionados nos compósitos, de maneira a permitir o encaixe de peças, passagem de parafusos e rebites (FERNANDES, 2014). Entretanto, principalmente para o caso dos compósitos, o processo de usinagem pode trazer malefícios para integridade dessas peças, fazendo com que as mesmas fiquem danificadas e, talvez até, inutilizadas, a depender do tipo de aplicação e da responsabilidade da peça.

Em ordem para reduzir os custos, ferramentas de metal duro estão sendo utilizadas. Embora sejam mais resistentes, possuem menor dureza em relação às ferramentas de diamantes Ozkan *et al.*, (2018).

A maior dificuldade em usinagem de compósitos recai sobre a abrasividade deste material e a baixa condutividade térmica da matriz, juntamente com o acabamento final após o processo. Além disso, deve-se lidar com o desgaste das ferramentas de corte. A natureza abrasiva das fibras pode causar desgaste excessivo na aresta de corte da ferramenta, principalmente de aço carbono. Grzesik (2017) afirma que o desgaste mais provável de ocorrer é o desgaste de flanco devido à presença de material abrasivo, no caso de compósitos, as fibras, tornando esta região uma das mais afetadas pelos mecanismos de desgaste presentes no processo.

Hu *et al.*, (2019) analisou o desgaste de ferramenta na usinagem de compósito de fibra de carbono com matriz AG-80 resina Epóxi com fresa escalonada espiral revestida de diamante. Foi observado que o mecanismo de desgaste abrasivo ocorre prioritariamente na camada de revestimento da ferramenta.

Ozkan *et al.*, (2018) afirmaram que um dos problemas que freiam a utilização dos materiais compósitos é a má qualidade superficial do material quando usinado, principalmente por processo de usinagem como furação, que pode atrapalhar na montagem de peças devido a alterações dimensionais após a usinagem.

O problema da usinagem de PRFC é o elevado desgaste ocorrente nas ferramentas de corte HSS, devido a baixa característica mecânica do material. Assim, o presente trabalho trata da análise do desgaste sofrido por fresas de aço rápido durante a usinagem de PRFC em comparação com o desgaste sofrido por estas após usinagem em aço SAE 1020.

2. METODOLOGIA

Os tópicos a seguir apresentam a metodologia seguida para a fabricação e ensaio dos corpos de prova laminados, bem como, das análises de desgastes realizadas nas fresas de aço rápido após os testes de usinagem.

2.1. Fabricação das placas

O material utilizado para a confecção das placas foi *pregreg* HexPly® M19.6G/32%/UD500+8P/T620+PES/1300MM da Hexcel, o qual possui uma fração de 32% de sua massa em matriz epóxi reforçada com matriz de carbono T620 com densidade superficial de 500g/m² sendo a espessura nominal da lâmina de 0,5mm (FERNANDES, 2014).

O rolo de *pregreg* foi inicialmente retirado do *freezer* e condicionado em uma sala a uma temperatura de 17°C. Quando o *pregreg* atingiu a temperatura ambiente, foi realizado o corte das lâminas e estas foram embaladas em filme de polietileno de baixa densidade e colocadas novamente no *freezer*. (FERNANDES, 2014). As placas após o corte possuíam dimensões de 30cm x 30cm e espessura nominal de 9mm.

Para a confecção das placas foram utilizadas duas placas de alumínio de dimensões 30cm x 30cm para a acomodação do laminado. O desmoldante aplicado à superfície é a base de óleo de silicone QZ 13 da HUNTSMAN. Com a secagem do desmoldante e montagem do laminado, o material foi aplicado entre as superfícies de aquecimento da prensa (FERNANDES, 2014).

2.2. Ensaios de usinagem

Foram utilizadas 8 fresas de topo, da marca LOYAL, modelo AR 4 cortes, quatro para cada espécime idênticas de configuração [90/30/-30]_{3s} e outra utilizada para usinagem de uma chapa de aço SAE 1020 laminado. As fresas denominadas de Fresa 1 até Fresa 4, foram responsáveis por usinar as placas de compósito. Já as Fresas denominadas de 5 até 8 foram responsáveis por usinar as chapas de aço. Todas as fresas analisadas nesse trabalho realizaram um furo por chapa de aço SAE 2010 ou placa de compósito. O procedimento de usinagem para a realização dos furos foi executado com uma fresa de 6mm de diâmetro, atendendo à norma ASTM D5766M para a realização de ensaios OHT. A máquina utilizada para realização dos furos é da marca CLARK, modelo FC35A com avanço automático e velocidade ajustável (FERNANDES, 2014).

Para atender a faixa de velocidades de corte no intervalo entre 20m/min e 60 m/min, correspondendo respectivamente à 1062RPM (Rotações Por Minuto) e 3185RPM, utilizou-se a rotação de 2065RPM, que era a única oferecida pela máquina dentro deste intervalo, uma vez que a configuração de velocidade é dada por engrenamento, o fazendo com que a máquina possuía velocidades de rotação determinadas. Já a velocidade de avanço foi utilizada a de menor valor oferecida pela máquina que é de 0,1mm/rev. Os corpos de prova de PRFC possuíam uma espessura de 9mm e as chapas de aço possuíam espessura de 5mm tendo um tempo de usinagem total de, aproximadamente, 2,60 segundos para cada furação das placas de PRFC e 3 segundos para as de aço (FERNANDES, 2014).

2.3. Análise de desgaste das ferramentas

As fresas utilizadas na usinagem das placas foram cortadas perpendicularmente ao eixo longitudinal da fresa a fim de obter amostras com altura de 4mm, tomando-se como origem a superfície da aresta de corte da ferramenta, e depois analisadas em um Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV). O modelo do microscópio utilizado para as análises é o VEJA 3 LMU da marca TESCAN.

Primeiramente, cortou-se as fresas utilizando uma cortadora metalográfica da marca AROTEC, modelo Arcor 60. As amostras receberam um banho em ouro através do aparelho de modelo Q150R ES da marca QUORUM. Após o banho de ouro, as amostras foram inseridas no MEV para análise.

Após a obtenção das imagens pelo MEV, foi medido o desgaste de flanco médio e máximo através do *software* AmScope®, tendo como base a escala de imagem fornecida pelo próprio MEV no momento de captura da imagem.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 1 apresenta duas fotografias do desgaste de flanco na Fresa 2 em comparativo com o desgaste de flanco da Fresa 5.

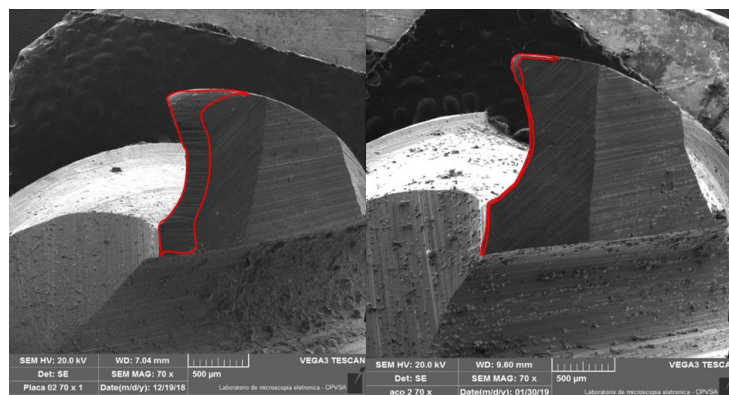


Figura 1. Desgaste de flanco na Fresa 2 (esquerda) e desgaste de flanco na Fresa 5 (direita).
(Elaborado pelos autores)

Através da Fig. 1 é possível estabelecer um parâmetro comparativo do grau de desgaste que envolve a usinagem dos dois materiais analisados. Mantendo as condições de usinagem, tanto para a placa de compósito quanto para a chapa de aço SAE 1020, o desgaste de flanco médio e máximo é bastante elevado na fresa que usinou o compósito do que a fresa que usinou o aço SAE 1020.

Um dos fatores para a ocorrência desse elevado desgaste foi observado por Ozkan *et al.*, (2018), onde afirmam que a baixa condutividade da matriz e a abrasividade das fibras são os principais fatores da redução da vida das ferramentas.

O elevado desgaste nas ferramentas de usinagem devido a usinagem de PRFC ocasiona paradas mais frequentes na linha de produção para substituição das ferramentas e também aumenta o número de ferramentas utilizadas por peça fabricada. Isso reduz a competitividade e a margem de lucro das indústrias de usinagem.

Ozkan *et al.*, (2018) também observaram que o rápido desgaste das ferramentas de corte que ocorre durante a usinagem reduz a qualidade da superfície usinada ocasionando perda de produtividade e aumento nos custos. Por isso, ferramentas de diamante, que são mais duras, são bastante utilizadas na usinagem de compósitos, entretanto essas ferramentas possuem alto valor de mercado. Em ordem para reduzir os custos, ferramentas de metal duro estão sendo utilizadas para usinar compósitos.

Em ordem para quantificar o comportamento do desgaste de flanco em fresas que usinaram PRFC e o aço SAE 1020, foram medidos os desgastes de flanco médio e máximo para as fresas 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 e 8, que são apresentados na Fig.2.



Figura 2. Representação das medidas de desgaste de flanco para cada fresa
(Elaborado pelos autores)

Como apresentado na Fig.2, o desgaste de flanco médio e desgaste de flanco máximo das fresas que usinaram a chapa de aço SAE 1020 são bem inferiores quando comparados com os desgastes de flanco médio e máximo das fresas que usinaram compósito. O desgaste de flanco médio das ferramentas que usinaram o aço é em média 64,74% menor em relação à média dos desgastes de flanco das ferramentas que usinaram PRFC. Já o desgaste de flanco máximo das fresas que usinaram o aço é em média 58,93% menor em relação a média dos desgastes de flanco máximo das fresas que usinaram compósito. Esse resultado mostra que, para os parâmetros de usinagem utilizados nesse trabalho, a

usinagem de compósitos fibrados acelera os desgastes de flanco médio e máximo a partir da ação dos mecanismos envolvidos, o que proporciona uma redução significativa na vida da ferramenta.

Teti (2002) chegou a conclusão semelhante, quando afirma que o tipo de fibra, a arquitetura do reforço e a fração de volume da matriz são os fatores mais importantes que influenciam na escolha da ferramenta e dos parâmetros de corte. Como o desgaste se manifesta de forma mais intensa na aresta de corte, a mesma deve ser resistente à abrasão e ao lascamento. Devido à suscetibilidade das fibras de fraturarem, a geometria da ferramenta corresponde aproximadamente a mesma das utilizadas para usinar metal. Em decorrência do alto desgaste, a ferramenta mais indicada para usinar fibra de carbono é a de diamante PD (Policristalino de Diamante).

Além da análise do desgaste de flanco, também foi observado mecanismo de desgaste presente na ferramenta após a operação, principalmente nas fresas que usinaram compósito. O mecanismo de desgaste detectado foi o abrasivo. O mesmo evento foi analisado por Lopresto *et al.*, (2016). Eles também observaram que o desgaste por abrasão é o mecanismo de desgaste mais influente na ferramenta de corte na usinagem de FRP (*Fibre Reinforced Plastic*), pois pequenos fragmentos de fibras que são retidos entre a superfície de corte e o flanco da ferramenta causam abrasão. Esse mecanismo é predominante principalmente devido a presença das fibras nos compósitos. A Figura 3 apresenta uma fotografia tirada da superfície de folga da Fresa 4 e Fresa 5.

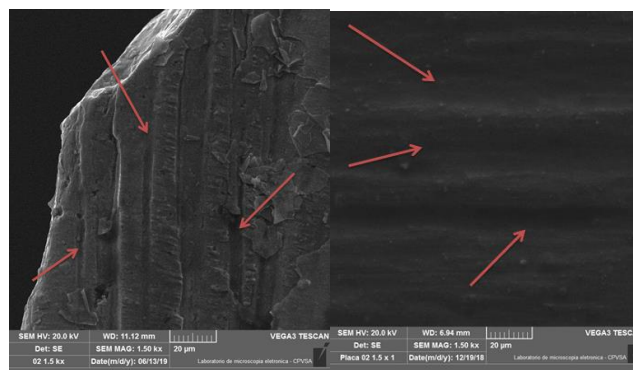


Figura 3. Mecanismo de desgaste de abrasão.
(Elaborado pelos autores)

A Figura 4 mostra a análise feita com respeito à validação dos dados de maneira estatística. Foi feita uma análise com três desvios padrões para esquerda e para direita de cada série de dados da Fig. 2. Em todos os casos, os dados se encontram dentro do limite de confiança. Pode-se, assim, validar que o desgaste de flanco médio e máximo é maior para a usinagem do compósito.

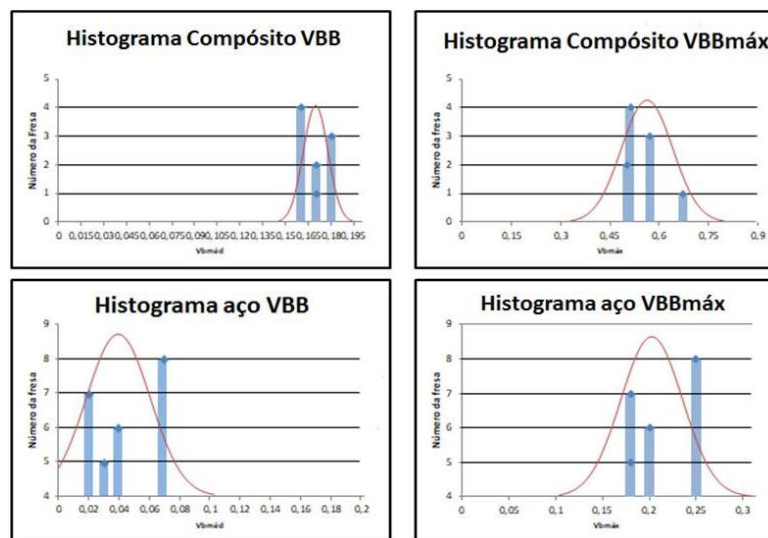


Figura 4. Análise estatística das fresas com respeito a usinagem do metal e do compósito
(Elaborado pelos autores)

4. CONCLUSÕES

Sendo assim, a usinagem em compósito se mostra como um grande desafio para a indústria que busca alta eficiência em usinagem, principalmente nos processos de fabricação envolvendo compósitos reforçados com fibras de carbono, onde devido a característica abrasiva das fibras e a baixa condutividade térmica da matriz, causam desgaste de flanco de forma mais rápida, caso a mesma ferramenta de corte com os mesmos parâmetros de usinagem fosse utilizada para usinar aço SAE 1020.

Com isso, uma forma de se reduzir o desgaste excessivo da ferramenta de corte para usinagem de compósitos PRFC é através da utilização de ferramentas com materiais duros, resistente a abrasão, como é o caso de ferramentas com pontas de diamante.

5. REFERÊNCIAS

- FERNANDES, Pedro Lucas Serafim. Influência da sequência de empilhamento nas propriedades mecânicas de laminados compósitos submetidos à tração. 2014. 93 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2014.
- GAY, Daniel; HOA, Suong. Composite Materials: Design and Applications. S.i: Crc Press, 2007.
- GRZESIK, Wit. Advanced Machining Processes of Metallic Materials: Theory, Modelling, and applications. Amsterdam: Elsevier, 2017.
- LOPRESTO, V.; CAGGIANO, A.; TETI, R.. High Performance Cutting of Fibre Reinforced Plastic Composite Materials. Procedia Cirp, [s.l.], v. 46, p.71-82, 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.procir.2016.05.079>.
- OZKAN, Dervis *et al.* Milling Behavior Analysis of Carbon Fiber-Reinforced Polymer (CFRP) Composites. Materials Today, Sevastopol, v. 9, n. 13, p.526-533, set. 2018.
- TETI, R.. Machining of Composite Materials. Cirp Annals, [s.l.], v. 51, n. 2, p.611-634, 2002. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0007-8506\(07\)61703-x](http://dx.doi.org/10.1016/s0007-8506(07)61703-x).
- HU, Meng *et al.* Experimental study on milling performance of 2D C/SiC composites using polycrystalline diamond tools. Ceramics International, Shanghai, v. 45, n. 8, p.10581-10588, jun. 2019.

6. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.

WEAR ANALYSIS OF HSS TOOL ON CARBON FIBER LAMINATED COMPOSITES AND STEEL SHEET SAE 1020

Victor Soares Gualberto
Ednardo Oliveira Barbosa
Ramsés Otto Cunha Lima

Federal Rural University of the Semi-Arid – Francisco Mota Street, 572 – Pres. Costa e Silva, Mossoró – RN, Zip code 59625-900
victorgualberto1@gmail.com
eng.ednardobarbosa@gmail.com
ramses.cunhalima@ufersa.edu.br

Pedro Lucas Serafim Fernandes

Federal University of Ceara - Av. da Universidade, 2853 - Benfica, Fortaleza - CE, Zip code 60020-181
pedro-lsf@hotmail.com

Abstract. The composite materials widely used on high performance industries like automotive and aeronautics, in because of its great benefits like mechanical resistance and low weight. However, because it is a material made by fiber stacking, its machinability is affected by delamination problem. The aim of this paper, is to analyze the wear of cutting tools used for the machining of composites made with unidirectional epoxy / carbon blades with configuration $[90/30/-30]_3s$ aiming for low dispersion results for medium flank wear and maximum flank wear and the identification of wear mechanisms and the wear values comparison of HSS milling cutter when machined laminated SAE 1020 steel on the same conditions of composites machined. The machining tests was realized with HSS milling cutter with 6mm diameter, attempt the standard ASTM D5766M. The medium and maximum wear flank dispersion were low. The medium wear of a cutting tool used to machining steel is 64,74% lower compared to the cutting tool used to machining composites and the maximum flank wear of a cutting tool used to machining steel is 58,93% lower compared to the cutting tool used to machining composites.

Keywords: Machining, Composites, Wear, Snipping tool.

RESPONSIBILITY NOTICE

The authors are the only responsible for the printed material included in this paper.