

ANÁLISE DOS PARÂMETROS DE CORTE NA USINAGEM DE COMPÓSITOS REFORÇADOS COM FIBRA DE CARBONO: INTEGRAÇÃO ENTRE ENSAIOS NÃO-DESTRUTIVOS E REMOÇÃO DA RESINA SUPERFICIAL

Marlon Mendes de Oliveira – oliveira.m.marlon@gmail.com

Palavras-chave: Emissão Acústica, Termografia, Compósitos reforçados com fibra de carbono

1. INTRODUÇÃO

Os materiais compósitos podem alcançar resistência mecânica elevada, podendo ser empregados em aplicações de alto desempenho, onde a redução de peso é essencial para o projeto e design do produto final. A adequação do projeto de modo a manter o peso mínimo necessário para se alcançar a resistência requerida exige que o material seja dimensionado de forma que a estrutura trabalhe com cargas próximas às críticas (NAYAK, 2014).

A diferença de contração entre a resina e as fibras durante a reação de polimerização (cura), podem resultar em depressões desiguais na superfície moldada formando regiões ricas em resina causando falhas por delaminação do material (ROTHON, 1995).

O material compósito pode sofrer danos por processamento inicial, tanto na fabricação do próprio material quanto em processamentos posteriores como a usinagem (KARBHARI, 2013).

A delaminação do material pode ocorrer por fatores diversos e está muito relacionada aos parâmetros de usinagem, então o controle das regiões ricas em resina pode reduzir a delaminação provenientes do processo de usinagem (GREENHALGH, 2009).

A delaminação do material pode ocorrer por fatores diversos e está muito relacionada aos parâmetros de usinagem, o controle das regiões ricas em resina pode reduzir a delaminação provenientes do processo de usinagem. Neste trabalho propões avaliar a influência do excesso de resina nos parâmetros de corte da usinagem de compósitos reforçados com fibra de carbono, empregando sinais de emissão acústica e termografia para correlacionar o excesso de resina a resistência do material, para que haja redução dos defeitos advindos do processo de usinagem.

2. DESENVOLVIMENTO

Tendo em vista as vantagens na utilização de materiais com menor peso e que provenham a mesma resistência estrutural. Todavia, a usinagem desses materiais não está claramente definida, principalmente quanto a danos provenientes durante o processo.

2.1 Referencial teórico

A maioria dos materiais compósitos consiste numa mistura de um material de reforço ou de enchimento (ou fibras), devidamente selecionado, com outro material compatível que serve de ligante (ou matriz), os diferentes constituintes dos compósitos podem estar presentes em fases macroscopicamente distintas, como no caso de materiais laminados. As propriedades dos materiais compósitos podem ser superiores, ou melhores, que às propriedades de cada um dos componentes isolados (RIBEIRO, 2000).

O material compósito pode sofrer danos por processamento inicial, tanto na fabricação do próprio material quanto em processamentos posteriores como a usinagem. Métodos de avaliação e controle da qualidade dessas estruturas tem se desenvolvido, principalmente os ensaios não destrutivos, com ênfase em detectar

defeitos nos estágios iniciais e nos efeitos sobre a vida útil do componente (KARBHARI, 2013).

A diferença de contração entre a resina e as fibras durante a reação de polimerização (cura), podem resultar em depressões desiguais na superfície moldada formando regiões ricas em resina (ROTHON, 1995).

Quando as regiões ricas em resina estão em áreas sujeitas à carregamentos elevados, o excesso de resina tornam-se crítico ao desempenho estrutural do compósito. Muitas vezes, uma falha por delaminação tem origem nesses locais e se propaga para o interior das fibras. As regiões ricas em resina podem ter influência contrária sobre as propriedades mecânicas do laminado (GREENHALGH, 2009).

A usinagem de materiais compósitos se apresenta como um processo menos previsível se comparável ao dos demais materiais. Diferentes fenômenos, como delaminação, resina queimada e falha da aresta de corte tornam a previsão dos parâmetros de processo, tanto em relação a vida da ferramenta quanto aos danos causados ao material, um processo desafiador (Chibane *et al* ,2013).

Torneamento, fresamento e furação, bem conhecidos na usinagem de metais, também fazem parte dos processos de usinagem frequentemente aplicados a materiais. Os compósitos reforçados com fibra de carbono difere dos metais devido à estrutura anisotrópica e não homogênea (HENERICHS *et al*, 2015).

A análises de temperatura e as características do sinal de emissão acústica podem ser empregadas na detecção de defeitos durante a usinagem de materiais compósitos, permitindo o monitoramento do processo em tempo real (OLIVEIRA *et al*, 2020).

A delaminação do material pode ocorrer por fatores diversos e está muito relacionada aos parâmetros de usinagem, com o controle das regiões ricas em resina espera-se reduzir a delaminação provenientes do processo de usinagem.

Com isso, essa pesquisa objetiva a compreensão da fenomenologia da remoção de resina superficial em materiais compósitos de fibra de carbono e resina epóxi, com foco na melhora do material para que haja a redução dos defeitos advindos do processo de usinagem.

2.2 Metodologia

O tratamento dos dados será realizado computacionalmente, selecionando os dados corretamente para evitar ruídos nos sinais e o uso de dados mal tratados. Em todos os testes devem ser feitas três réplicas, no mínimo. Como variáveis de resposta serão obtidos os sinais emitidos pelo material durante a usinagem, monitorados pela emissão acústica antes e após remoção de resina superficial, também poderá ser utilizada a termográfica infravermelha durante a usinagem.

O jato de água ou jato abrasivo, pode ser usados na remoção de resina, na figura 1 podemos ver o corpo de prova pós remoção da resina superficial.

Figura 1 – Corpo de prova pós remoção da resina superficial.



Fonte: Autor (2025).

O fresamento poderá ser utilizado nos ensaios de usinagem.

O monitoramento do fresamento se dará através da emissão acústica e da termografia infravermelha. A emissão acústica tem como objetivo a identificação das emissões do material durante o processamento, já a termografia infravermelha monitorará a variação da temperatura do corpo de prova.

Fabricação dos Corpos de Prova

O processamento dos materiais compósitos será realizado através do processo VARTM. Os laminados de fibra de carbono receberam a infusão da matriz de resina termoplástica líquida epóxi. A fabricação se dará de forma padronizada, isso

é essencial para garantir a mínima variabilidade das propriedades do material e aumentar a confiabilidade da pesquisa.

Tratamento dos Dados

Tendo em vista que o monitoramento de materiais e processos de fabricação gera uma quantidade significativa de bancos de dados, sendo necessário o tratamento estatístico com o auxílio de programas de computador. Além disso, os ensaios não destrutivos muitas vezes contêm sinais residuais, inerentes a muitos dos ensaios, necessitando de posterior tratamento dos dados para determinar a relevância das respostas aos estímulos.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste trabalho propões avaliar a influência do excesso de resina de resina nos parâmetros de corte, empregando sinais de emissão acústica e termografia para correlacionar variáveis do processo a resistência do material, para que haja redução dos defeitos advindos do processo de usinagem.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com isso, essa pesquisa objetiva a compreensão da fenomenologia da usinagem em materiais compósitos de fibra de carbono e resina epóxi, com foco na redução dos danos advindos do processo de usinagem pos remoção da resina superficial. Ou seja, se espera que ao final da pesquisa seja possível encontrar a relação entre o tipo de dano causado pelo excesso de resina, definido pós-fresamento junto ao monitoramento durante a usinagem. Isso poderá permitir a delimitação do comportamento de falha do material pela utilização de ensaios não-destrutivos, correlacionando o tipo de falha com os sinais obtidos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a FAPEMIG, CAPES, CNPq e a UNIFEI. Pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS

CHIBANE, H. . E. A. Optimal milling conditions for carbon/epoxy composite material using damage and vibration analysis. **International Journal Advanced Manufacturing Technology**, Londres, v. 68, p. 1111-1121, Abril 2013.
DOI: <https://doi.org/10.1007/s00170-013-4903-3>

Greenhalgh, E. S. - **Failure Analysis and Fractography of Polymer Composites**", **Woodhead Publishing Limited**, Cambridge (2009).

HENERICHS M.; VOB R., KUSTER F.; WEGENER K.; Machining of carbon fiber reinforced plastics: Influence of tool geometry and fiber orientation on the machining forces, **CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology**, v 9, p136-145, Maio 2015.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cirpj.2014.11.002>

KARBHARI, V. M. Introduction the future of non-destructive evaluation (NDE) and structural health monitoring (SHM). In: KARBHARI, V. M. **Non-Destructive Evaluation (NDE) of Polymer Matrix Composites**. 1a. ed. Arlington, EUA: Woodhead Publishing Limited, v. 1, 2013. Cap. 1.

NAYAK, N. V. **Composite Materials in Aerospace Applications**, v. 9, n. 4, 2014.

OLIVEIRA, T.L.L.; Zitoune R.; Antônio A.C.Jr.; Cunha S. S. Jr. Smart machining: Monitoring of CFRP milling using AE and IR. **Composite Structures**, v.249, n. 112611, 2020.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2020.112611>

RIBEIRO, R. P., **Utilização de Reforço de Fibra de Vidro em Matriz Epóxi no Reparo de Tensores de Fuselagem de Aeronaves com Estrutura de Madeira**, Belo Horizonte, Escola de Engenharia da UFMG, 2000, (Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica).

ROTHON, R., **Particulate-Filled Polymer Composites**, Polymer Science and Tecnology Series, Longman Scientific & Technical, England, 1995.