

ANALISE EXPERIMENTAL DA RESISTÊNCIA DE ROSCAS M5 EM COMPÓSITOS REFORÇADOS EM FIBRA DE CARBONO

Samuel Alves de Freitas, samuelengmec@gmail.com
Kathlen Lopes Fazzion, kathlen.fazzion@hotmail.com
Jessica Tito Vieira, jessica.tito@hotmail.com
Thiago Castro Freitas, thiagocastrofreitas@hotmail.com
Waslley Amaral Coelho, waslleyamaral@hotmail.com

Universidade Federal de São João del Rei, Praça Frei Orlando, 170, Centro, São João Del Rei, Minas Gerais,
CEP 36307-352.

Resumo. Este estudo tem como objetivo investigar experimentalmente o processo de rosqueamento utilizando amostras de CFRP, todos os experimentos foram realizados usando um fatorial completo no processo de rosqueamento analisando ferramentas com revestimento, sistemas de compensação axial e velocidade de corte. Além disso, a qualidade do perfil das roscas foi verificada e a resistência das roscas ao torque foi analisada para dar uma ideia melhor sobre o processo de rosqueamento em CFRP. A resistência ao torque do perfil de rosca em CFRP variou entre 8 N.m e 10 N.m e a análise estatística apresenta a influência da velocidade de corte 15 m/min é 31,06 % menor que 5 m/min e a ferramenta revestida é 36,2% menor que a ferramenta não revestida. Além disso, a resistência do perfil de rosca é melhor quando se utiliza a maior velocidade e a compensação axial flutuante. Com base no perfil básico de rosca métrica ISO, toda a formação de roscas em CFRP foi qualificada e o sistema de compensações mostra uma importância notável.

Palavras chave: Rosqueamento, fibra de carbono, torque de aperto.

1. INTRODUÇÃO

O processo de rosqueamento pode ser considerado a operação de usinagem mais complexa e menos compreensível (CHEN e SMITH, 2011). No entanto, é um processo de usinagem comum usado para a fabricação de roscas internas e é um processo que apresenta uma operação desafiadora devido ao grande número de arestas de corte envolvidas (ARMAREGO e CHEN, 2002). A complicada sincronização entre a rotação do fuso e a taxa de avanço da ferramenta para produzir o perfil helicoidal de roscas é uma tarefa particularmente difícil quando altas velocidades são usadas (AHN et al., 2003).

Segundo Uzun e Korkut (2013) escolher a ferramenta certa em um processo industrial é muito importante. A seleção da derivação correta significa o estudo de requisitos sobre (velocidade, revolução, taxa de avanço, geometria de corte e sistemas de resfriamento) porque todos eles resultam na qualidade do fio e na economia de produção. Além disso, no que diz respeito a países como a Alemanha, as operações de usinagem na indústria de transformação cobrem ¼ de toda a produção e um resultado inesperado pode afetar o custo das peças. Atualmente, o setor de produção sabe que a concorrência industrial e a alta produtividade necessitam de rosqueamento de maior qualidade. Há poucos estudos realizados para determinar o torque de corte, a vida útil da ferramenta e o desgaste da ferramenta para o processo de rosqueamento em relação aos outros processos (UZUN e KORKUT, 2016).

A presente pesquisa tem como objetivo compreender melhor o mecanismo e a dinâmica do processo de rosqueamento interno dos compostos reforçados com fibra de carbono. Uma análise estatística robusta foi realizada para investigar o efeito do revestimento da ferramenta, velocidade de corte e compensação axial na resposta resistência da rosca ao torque. A qualidade dos perfis e superfícies das roscas também foram correlacionadas com o processo dos parâmetros.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Testes experimentais

O rosqueamento interno foi realizado em uma máquina CNC modelo ROMI Discovery 560 equipada com o software 810D Sinumeric, com motor de 12,5 kW e rotação máxima de 6.000 RPM no eixo. A distância entre a ferramenta de corte e o material de trabalho foi fixada em 10 mm para que a máquina pudesse atingir a aceleração máxima antes de iniciar o corte. A espessura do material compósito utilizado foi de 5 mm e todos os testes foram realizados em condições a seco.

2.2. Material compósito

O material compósito foi constituído de matriz polimérica (Epoxy) reforçado com fibra de carbono (200 g/m²). O reforço em fibra de carbono foi utilizado com a fração em massa de 55% e 25 lâminas foram empilhadas através do processo conhecido como *hand lay-up*. O compósito foi fabricado em autoclave e moldado em moldes.

2.3. Usinagem

As ferramentas macho de corte feitas de aço rápido especial (HSSE) com cobertura TiN deposição física de vapor em pressão (PVD) e sem cobertura do tipo (M5 ISO2/6H Rekord 1B-VA) foram usadas nos testes experimentais. Essas ferramentas tem o canal reto e chanfro de entrada entre 4-5 dentes, a geometria da ferramenta está de acordo com a norma DIN-13. A velocidade de corte variou de 5 m/min e 15 m/min.

Foram utilizados dois tipos diferentes de sistema de fixação da ferramenta, sendo um com o sistema de compensação axial A, onde a compensação ocorre de forma mais rígida e em apenas no sentido de corte da ferramenta. E com o sistema de compensação axial B, onde a compensação ocorre de forma menos resistente e em ambos sentidos de usinagem. O sistema de compensação axial para o rosqueamento é crucial devido aos pequenos erros de sincronismo entre o avanço vertical e a rotação que a máquina comete.

2.4. Teste de resistência do filete

A Figura 1 mostra um diagrama em forma de esquema explicando o teste de resistência ao torque realizado. Um parafuso de alta resistência foi aplicado para verificar a resistência do filete, o corpo de prova foi fixado em um dispositivo, mantendo o mesmo rígido e incapaz de se movimentar durante os testes. O teste de resistência foi realizado com a aplicação do torque em um parafuso M5 com passo de 0,8 mm e classe 8.8 de resistência em torno de 640 MPa. Um torquímetro que utiliza células de carregamento grava os valores do torque aplicado de acordo com o ângulo de giro empregado ao parafuso e todas as informações foram armazenadas em um computador.

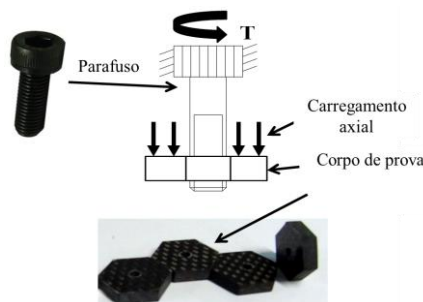


Figura 1 – Teste de Resistencia ao torque no filete.

3.RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 mostra os resultados da ANOVA para a resistência do filete da rosca. Os valores em negrito abaixo de 0,05 (5%) mostra quais condições são significantes e o parâmetro F foi calculado pela relação entre os valores dos ajustes médios de cada fator elevado ao quadrado, no qual permite analisar qual fator teve maior influência na resposta. Os valores em negrito e sublinhados na Tab.1 representa os fatores e interações que foram significativos na resposta e foram analisados. Sendo assim, é possível explicar qual fator, interação e nível teve melhor influência na resposta buscada. O coeficiente R² representa a média da variabilidade observada nos valores da resposta coletados, que pode ser explicado pela variação dos níveis dos fatores e suas respectivas interações. O coeficiente de R² próximo de 100% sugere um modelo de boa predição futura.

Tabela 1 – Análise de variância para a resistência da rosca ao torque.

Fatores	Resistencia ao torque [N]	
	F-ratio	P-valor
Velocidade de corte[m/min]	7.53	0.029
Cobertura	5.2	0.057
Compensação Axial	19.02	0.003
Velocidade de corte*Cobertura	5.48	0.052
Velocidade de corte * Compensação Axial	5.24	0.056
Cobertura * Compensação Axial	9.65	0.017

Velocidade de corte * Compensação Axial *	2.92	0.131
Cobertura		
R ² ajustado	77.44%	

Os resultados experimentais exibiram através dos gráficos de efeito principal e interação a variação e a significância dos efeitos de cada fator e interação. Os gráficos de fatores principais e interações foram representados com o objetivo de definir de forma ilustrativa o fator que influencia nos resultados experimentais e seus respectivos valores que apresentam a melhor resposta buscada. A interação entre os fatores existe quando a variação média da resposta depende do nível de um segundo fator. A representação gráfica da interação entre dois ou mais fatores na resposta através de análises gráficas permite futuras comparações e os efeitos significativos dos fatores.

3.1 Resistência ao torque de aperto

Furos rosqueados são produzidos com o objetivo de suportarem forças de tração, pois normalmente ocorre duas situações, a primeira é quando os parafusos são arrancados dos furos rosqueados devido a uma força axial máxima que foi alcançada. A segunda é quando dois mecanismos de montagem são unidos e o torque máximo de aperto é alcançado. Os valores coletados nos experimentos representam a força que representa a resistência máxima de aperto.

O ponto de ruptura do perfil rosqueado ocorre quando o parafuso é girado no furo atingindo o torque máximo. Os valores limites para o torque encontrados foram de 9,2 Nm. Sendo que os experimentos aplicaram a o torque máximo de aperto no compósito.

A Figura 2 mostra o efeito principal para o torque de aperto considerando o sistema de compensação axial. Pode ser observado que a mudança entre o sistema A para o B promove um aumento no torque de 12,93%. O sistema B permite a compensação axial em ambas direções no eixo vertical o que permite um aumento considerável se comparado com o sistema A do deslocamento vertical da ferramenta durante a usinagem. Essa pequena oscilação combinada com o corte de materiais heterogêneos pode causar danos as estruturas do compósito, sendo a resina um material mais dúctil e menos resistente a deformação de comparado com a fibra de carbono. Nesse intervalo de tempo a maior compensação representa um melhor corte dos dentes da ferramenta e a resina pode aumentar a sua resistência devido ao endurecimento gerado após o seu aquecimento.

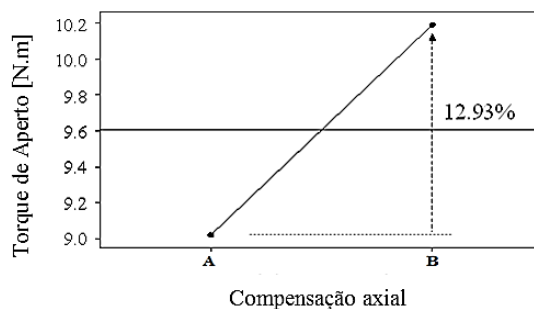


Figura 2 – Efeito da compensação axial no torque de aperto.

A Figura 3 mostra o resultado da interação entre cobertura de ferramenta e sistema de compensação axial. É possível notar uma redução de 13,21% no torque de aperto para a rosca fabricada com o sistema de compensação axial B e a cobertura de TiN. O oposto é notado quando é usado a ferramenta sem cobertura e o sistema de compensação axial A. Conforme comentado anteriormente o sistema de compensação axial B apresenta a compensação em ambas as direções e isso influencia na dureza da resina alterando a resistência dos perfis dos filetes.

Além disso, com a análise da Fig. 3 também permite notar que a cobertura da ferramenta tem influência se combinada com o sistema de compensação e o torque de aperto pode ser otimizado se combinado esses dois fatores. Sendo assim, a aplicação do sistema de compensação B com a ferramenta sem cobertura promoveu o maior valor para o torque, representada com um limite de 10,2 N.m. O uso do sistema B apresentou os maiores valores do torque de aperto.

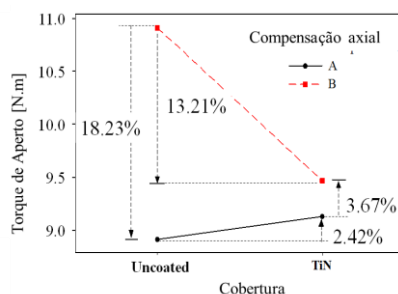


Figura 3 – Interação entre cobertura e compensação axial para o torque de aperto.

A Figura 4 mostra o efeito da velocidade de corte no torque de aperto. Apesar da pequena variação com um aumento de 7,95%. É considerado que o aumento da velocidade aumenta o torque de aperto devido ao calor gerado dentro do furo. Essa situação pode ocorrer devido as estruturas amorfas em resina que endurecem após serem aquecidas. Em materiais metálicos é conhecido que o calor afeta positivamente e negativamente as microestruturas do material. No presente trabalho podem ser observadas que o aumento da velocidade de corte aumenta a qualidade dos filetes devido a aumento da resistência ao torque de aperto.

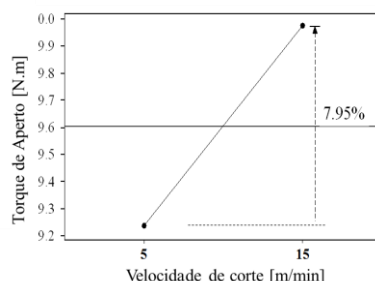


Figura 4 – Efeito da velocidade de corte no torque de aperto.

3.2 Análise qualitativa do filete da rosca

A Figura 5 mostra a imagem microscópica dos filetes no compósito reforçado em fibra de carbono. É possível notar os perfis roscados de acordo com a velocidade de corte, cobertura e sistema de compensação axial aplicado. Considerando o perfil trapezoidal de acordo com a norma ISO 68-1 e ISO 68-2 (1998), o detalhe em vermelho mostra que a ferramenta sem cobertura, sistema de compensação axial B e a velocidade de corte de 15 m/min. Já o pior resultado foi obtido com a ferramenta sem cobertura, sistema de compensação axial A e velocidade de corte de 15 m/min. Portanto, o uso do sistema de compensação axial B mostrou os melhores resultados do que o sistema de compensação axial A.

De acordo com a Fig. 5 não foi possível definir de forma geral a definição da porção da resina e da porção da fibra, entretanto, é possível notar que alguns defeitos típicos desse material como, arrancamento de fibras e deslocamentos das lâminas. Esse tipo de defeito é comum nesses materiais então apenas porque a fibra de carbono é posicionada de forma ortogonal ao corte considerando a linha de centro do furo, mas também depende do arranjo das fibras, sendo nesse caso utilizado do tipo cross-ply.

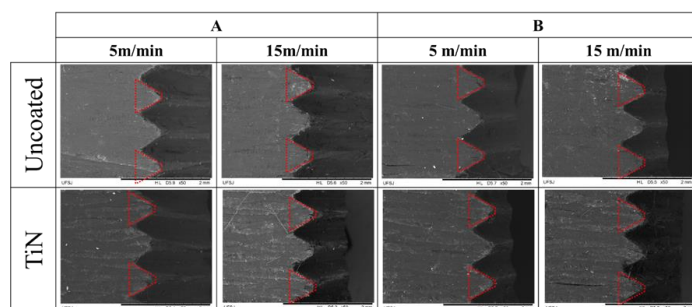


Figura 5 – MEV dos filetes em compósitos com aumento de 100X.

4. CONCLUSÃO

Este trabalho investigou o rosqueamento por corte no material compósito reforçado em fibra de carbono. As conclusões principais foram:

- A análise estatística robusta ANOVA revelou que o sistema de compensação axial foi o fator de maior influência na resistência ao torque do filete;
- O torque de aperto foi menor quando usado a ferramenta com cobertura TiN e a velocidade de corte de 15 m/min;
- O sistema de compensação axial A promoveu uma redução de 12,93% no torque de aperto;
- Os filetes produzidos pelo corte de forma geral mostraram que o uso do sistema de compensação axial B é melhor que o sistema A na análise qualitativa da qualidade do filete.

5. REFERÊNCIAS

- AHN, J. H. et al. Effects of Synchronizing Errors on Cutting Performance in the Ultra-High-Speed Rosqueamento. CIRP Annals - Manufacturing Technology, v. 52, n. 1, p. 53–56, 2003.
- ARMAREGO, E. J. A.; CHEN, M. N. P. Predictive Cutting Models for the Forces and Torque in Machine Rosqueamento with Straight Flute Taps. CIRP Annals - Manufacturing Technology, v. 51, n. 1, p. 75–78, 2002.
- CHEN, N. M.; SMITH, A. J. R. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture. 2011.
- ISO 68-1:1998, general purpose screw threads - Basic profile - Part 1: Metric screw threads, Ed. 1, pp. 1-3, 1998.
- ISO 68-2:1998, general purpose screw threads - Basic profile - Part 1: Metric screw threads, Ed. 1, pp. 1-3, 1998.
- UZUN, G.; KORKUT, I. The effect of cryogenic treatment on rosqueamento. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, v. 67, n. 1–4, p. 857–864, 2013.
- UZUN, G.; KORKUT, I. The effects of cutting conditions on the cutting torque and tool life in the rosqueamento process for AISI 304 stainless steel. Materiali in Tehnologije, v. 50, n. 2, p. 275–280, 2016.

6. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

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

EXPERIMENTAL ANALYSIS OF RESISTANCE OF M5 THREADS IN CARBON FIBER REINFORCED COMPOSITES

Samuel Alves de Freitas, samuelengmec@gmail.com
Kathlen Lopes Fazzion, kathlen.fazzion@hotmail.com
Jessica Tito Vieira, jessica.tito@hotmail.com
Thiago Castro Freitas, thiagocastrofreitas@hotmail.com
Waslley Amaral Coelho, waslleyamaral@hotmail.com

Universidade Federal de São João del Rei, Praça Frei Orlando, 170, Centro, São João Del Rei, Minas Gerais, CEP 36307-352.

Abstract: This study aims an experimental investigating of the rosqueamento process using CFRP samples, all experiments are performed using a full factorial with the objected analyzing rosqueamento process varying coating tools, axial compensation and cutting speed. Also, the threads profile quality was checked, and the torque threads resistance was verified to give a better idea about rosqueamento process in CFRP. The torque resistance of the threads profile in CFRP varying between 8 N.m and 10 N.m and the statistical analysis present the influence of the cutting speed 15 m/min is 31, 06% smaller than 5 m/min and the coated tool is 36,25% less than the uncoated tool. As well the thread profile resistance is better when using the higher speed and the floating axial compensation. Based on ISO metric thread basic profile all threads formation in CFRP was qualified and the compensations system shows a notable importance.

Keywords: rosqueamento, carbon fiber, tightening torque.

RESPONSIBILITY NOTICE

The author(s) is (are) the only responsible for the printed material included in this paper.