

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DOS FUROS NA USINAGEM DE COMPÓSITOS À BASE DE RESINA EPÓXI COM E SEM CARGA DE PÓ-DE-FERRO

Gustavo Gaertner Eberhardt
Lourival Boehs, boehs@emc.ufsc.br¹
Gean Vitor Salmoria, gsalmoria@emc.ufsc.br¹

¹Universidade Federal de Santa Catarina, EMC - Centro Tecnológico | Florianópolis - SC - Brasil,

Resumo: Os materiais compósitos vêm, a cada dia, ganhando mais espaço dentro da indústria, principalmente para aplicações de alto desempenho como aeroespaciais, automotivas, militares e esportivas. As razões da sua crescente utilização estão ligadas às suas propriedades características, tais como o seu baixo peso, a elevada resistência, rigidez, propriedades térmicas e elétricas. Para aplicações como em moldes de injeção utilizados na produção de protótipos ou peças e estruturas para a proteção eletromagnética de equipamentos, é necessário conhecer as características de usinagem do material compósito que está sendo utilizado. Isto porque, nas referidas peças, os furos requerem uma qualidade da superfície compatível com a função e aplicação, caso contrário, pode ocorrer a ruptura do molde pela propagação de trincas ou deformações e irregularidades na peça injetada. Sendo assim, na usinagem, o processo de furação é o responsável pela qualidade dos furos obtidos com as brocas helicoidais. O objetivo do presente trabalho é apresentar e discutir os resultados obtidos na furação de compósitos à base de resina epóxi, com e sem carga, de pó-de-ferro. Foram utilizadas brocas helicoidais de metal duro com geometria especial e brocas de aço rápido com geometria convencional. A furação foi realizada numa máquina CNC. A qualidade dos furos foi analisada em relação à rugosidade, danos na parede dos furos, arrancamento de carga metálica, bem como, lascamentos e rebarbas nas bordas de entrada e saída dos furos. Dentre os vários aspectos relevantes da pesquisa, podemos citar que a velocidade de corte e a característica da geometria da ferramenta têm uma grande influência na qualidade dos furos produzidos nesta pesquisa.

Palavras-chave: furação, qualidade, usinabilidade, compósitos, epóxi, pó-de-ferro.

1. INTRODUÇÃO

A atual realidade de mercado exige que os ciclos de desenvolvimento de produtos sejam cada vez menores, de modo a se flexibilizar a produção, obter ganhos em produtividade e competitividade. Além disso, hoje percebe-se uma necessidade crescente de se produzir pequenos lotes com uma elevada diversificação de produtos (GARCIA, 2001).

Diante deste fato, surgem novos processos de prototipagem rápida com o objetivo de se minimizar o tempo de obtenção de um protótipo para teste. Um desses processos é a confecção de molde em resina epóxi com adição de carga metálica, para a injeção de termoplásticos. Tais compostos trazem vantagens para o processo de injeção, pois reduzem o custo de produção da peça em razão da otimização de moldes e da diminuição do custo de sua fabricação. Outra aplicação de grande importância é a blindagem eletromagnética de equipamentos eletrônicos, tanto para não sofrerem como para não causarem interferências em outros equipamentos. Tratando-se de materiais recentemente desenvolvidos, constata-se a falta de estudos mais aprofundados sobre a usinagem dos referidos compósitos, mais especificamente no que tange à furação, que ocupa um lugar destacado dentre os processos de usinagem.

A usinagem de materiais compósitos surge da necessidade de se efetuar montagens de diversas peças num conjunto para formar um produto final ou da necessidade de se cumprir tolerâncias apertadas, que não possam ser obtidas pelos meios tradicionais de fabricação destes materiais. Então, a usinagem deverá propiciar a qualidade da superfície produzida e a precisão específica requerida para assegurar a estabilidade dimensional e obter um melhor desempenho do componente resultante. A furação é uma operação essencial para a montagem de estruturas de automóveis e aviões. A vida da união dos componentes pode ser criticamente afetada pela qualidade dos furos. Por exemplo, mais de 100.000 furos são feitos para a montagem de um pequeno avião; em um grande avião de passageiros, milhões de furos são necessários, a maioria para rebites, porcas e parafusos (SONBATY; KHASHABA; MACHLY, 2004; DURÃO et al, 2006; MOHAN et al, 2007).

Westrupp (2008) efetuou um estudo com a mesma categoria de material utilizado no presente trabalho, porém, com processo de torneamento. Em sua pesquisa, concluiu que o compósito com 20% de carga metálica, avanço de 0,2 mm e v_c de 400 m/min proporciona o melhor desempenho para o uso em moldes de injeção.

Outros autores realizaram pesquisas em materiais semelhantes ao estudado, como resina epóxi com carga de fibra de vidro e fibra de carbono. Lachaud et al. (2001) classificaram os danos da furação de materiais compósitos poliméricos em quatro categorias: delaminação na entrada do furo, defeitos geométricos, danos relacionados à temperatura e delaminação na saída do furo produzido pela broca.

Outro problema que pode surgir nos compósitos são os danos causados pelo efeito térmico, isto é, pelo aumento da temperatura do material. Isto acontece em decorrência do atrito entre as fibras e também do atrito da ferramenta com a parede do furo. O atrito e a ação mecânica da ferramenta podem acarretar o rompimento das fibras do material, trazendo conseqüências indesejáveis para a qualidade da superfície da peça. O acúmulo de calor ao redor do gume destrói a estabilidade da matriz e produz uma superfície crespa e rugosa (SONBATY; KHASHABA; MACHLY, 2004).

Piquet et al (2000) investigaram os efeitos da geometria da ferramenta na qualidade da furação em lâminas de carbono/epóxi. Seus estudos mostraram que, utilizando uma broca convencional helicoidal, para se obter bons resultados, é preciso fazer um pré-furo a fim de minimizar o efeito dos gumes da broca.

As recentes pesquisas têm revelado que, para a usinagem de materiais compósitos reforçados com fibras de vidro/carbono ou com partículas de alumínio, existe uma tendência para o uso de brocas de metal-duro e principalmente com geometrias especiais. A utilização de metal-duro nas ferramentas é importante devido à natureza abrasiva das cargas aplicadas na matriz epoxilica, além do que, o uso de diamante para a usinagem de materiais compósitos torna-se caro.

Assim, verifica-se que ainda há uma série de desafios a serem superados pelos pesquisadores no que diz respeito à usinagem de materiais compósitos, dentre os quais, a otimização das ferramentas e dos parâmetros de usinagem, bem como a relação destes com a qualidade das superfícies produzidas. É neste contexto que o presente trabalho procura dar suas contribuições.

2. MATERIAIS E MÉTODOS UTILIZADOS NA PESQUISA

2.1 MATERIAL DOS CORPOS DE PROVA

Os materiais escolhidos para a realização deste trabalho baseiam-se na pesquisa de Jesus (2005), que desenvolveu um compósito de resina epóxi com carga de pó-de-ferro para ser utilizado na fabricação de moldes de injeção de materiais poliméricos. Foi usada a resina epóxi sem carga e com 10% e 30% de carga de pó-de-ferro. Para a preparação de tais formulações que resultam nos corpos de prova para a presente pesquisa, valeu-se da resina epóxi TCR 550 e do endurecedor XR 435, da empresa *DOW CHEMICAL COMPANY*. Para a carga particulada, foi utilizado o pó-de-ferro HD177, fornecido pela BELGO BRASILEIRA. Os corpos de prova foram preparados em molde de vidro plano. A resina epóxi foi misturada com uma porcentagem de 45% de endurecedor. Os componentes do corpo de prova foram misturados a vácuo para evitar o aparecimento de bolhas na resina. Em princípio, faz-se vácuo por cinco minutos até chegar a -720 mmHg, então inicia-se a mistura em baixa rotação, para evitar o surgimento de bolhas, auxiliado por um agitador mecânico por mais vinte minutos. Desta forma, a resina já está pronta para ser vazada nos moldes, que é feito com muito cuidado para não gerar bolhas Fig. (1). Contudo, antes do vazamento, é aplicado um desmoldante no molde. Após a etapa de preparação e vazamento, é feita a cura da resina por 24 horas à temperatura ambiente, mais 4 horas a 80°C e mais 4 horas a 100°C, conforme trabalhos já realizados no CIMJECT-UFSC.

Por fim, o corpo de prova foi desmoldado e faceada a parte superior livre da peça vazada, para controle dimensional e para evitar que houvesse um menisco na superfície da resina moldada. Em todos os ensaios, a saída da broca está no lado em que os corpos de prova foram faceados. Na parte inferior da peça vazada, que não foi faceada, corresponde à entrada da broca no corpo de prova. Tal lado não foi faceado, pois se valeu das qualidades do vidro no que à baixa rugosidade e planeza que foram transferidas para a face do corpo de prova durante o vazamento da resina epóxi.

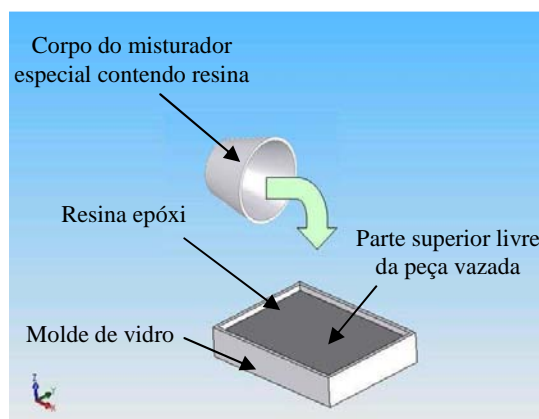


Figura 1. Vazamento da resina epóxi no molde de vidro.

A Figura 2 apresenta uma microestrutura típica dos mencionados compósitos. Para isso, foram realizados um corte horizontal e outro transversal, em cada uma das composições de material em estudo, com o propósito analisar a distribuição da carga metálica e a presença de vazios ao longo da seção dos corpos de prova. Vale observar que as partículas de pó-de-ferro apresentam uma boa uniformidade de distribuição e possuem um tamanho médio de 100 µm. A carga metálica são as partículas mais claras. Não se percebe a presença de vazios.

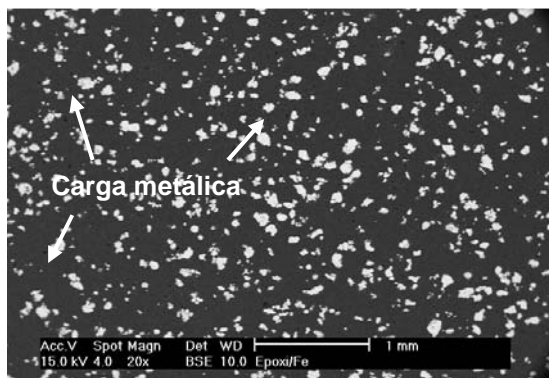


Figura 2. Distribuição da carga metálica – partículas de ferro – em um corte horizontal no centro da espessura do corpo de prova de resina epóxi com 10% de carga metálica (MEV – BSE)

O corte vertical tem como objetivo verificar a sedimentação da carga metálica e a presença de vazios, se houver, ao longo do plano vertical do corpo de prova. Observando a Figura 3, é possível perceber que a carga está bem distribuída e que não há evidências de sedimentação.

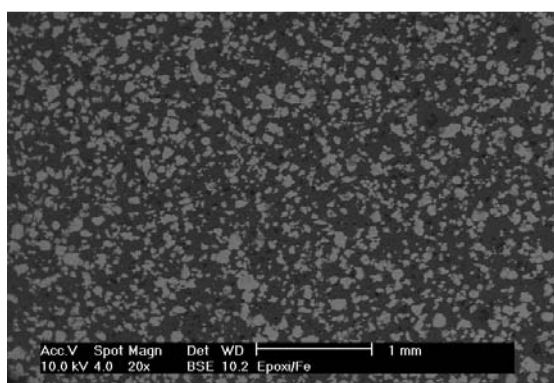


Figura 3. Distribuição da carga metálica na resina epóxi para o corpo de prova com 30% de carga metálica.

Quanto às principais propriedades, os referidos materiais exibem os seguintes valores médios para a resina sem carga metálica (Tab. 1):

Tabela 1. Propriedades mecânicas da resina sem carga (JESUS, 2005).

Material	Tensão Máxima (MPa)	Módulo de Elasticidade (GPa)	Dureza (Shore D)
TCR 550	59	2,8	76

Na Tabela 2, encontram-se os valores médios das propriedades mecânicas da resina com carga de pó-de-ferro.

Tabela 2. Propriedades mecânicas da resina com carga de pó-de-ferro (JESUS, 2005).

Formulações (Pó-de-ferro)	Tensão Máxima (MPa)	Módulo de Elasticidade (GPa)	Dureza (Shore D)
10%	47,0	4,4	84
30%	35,2	6,1	85

Os corpos de prova anteriormente citados, empregados nos experimentos de usinagem, têm as seguintes dimensões: 135 mm de comprimento, 113 mm de largura e 25 mm de espessura.

2.2 FERRAMENTAS DE USINAGEM

Dois tipos de brocas foram usadas, uma de metal duro com geometria especial e a outra de aço rápido com geometria convencional. No entanto, a broca de aço rápido foi utilizada somente para efeitos de comparação de resultados, ou seja, para se conhecer as vantagens da broca de metal duro. A geometria da ponta das brocas, Fig. (4), para materiais compósitos foi desenvolvida especificamente para reduzir o impacto durante o corte nesses materiais. O flanco possui três planos (três ângulos), reduzindo assim drasticamente o tamanho do gume transversal. O gume principal possui dois ângulos formando um “w”, com a finalidade de facilitar o corte das fibras ou partículas do compósito, auxiliado pelo ângulo de cunha, que é menor que uma broca convencional. O desenho especial da ponta da broca tem como intuito: (a) diminuir a pressão em materiais compostos, (b) reduzir o esforço e o torque, os quais melhoram a eficiência do corte – isso, por sua vez, pode reduzir significativamente o lascamento e a delaminação na saída do furo, (c) baixar a temperatura gerada na área de corte. O diâmetro nominal das brocas é de 8,0 mm.

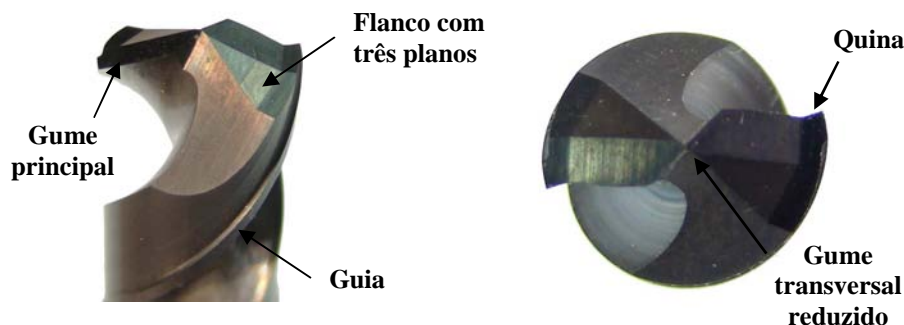


Figura 4. Geometria da ponta da broca de metal duro.

A título de comparação, foram feitos alguns testes preliminares com uma broca de aço rápido convencional, Fig. (5). O objetivo é comparar os dois casos, levados ao extremo. A broca de aço rápido convencional tem um diâmetro de 8,0 mm, não possui geometria especial ou qualquer tipo de revestimento.



Figura 5. Geometria da ponta da broca de aço rápido.

Os principais ângulos desta broca são: ângulo do gume transversal com 145° , ângulo da ponta de 118° e ângulo de quina da 120° .

2.3 Métodos utilizados na pesquisa

Os experimentos de usinagem, processo de furação, com as brocas apresentadas na seção 2.2, foram realizados numa fresadora CNC – Polaris F400. A furação foi feita com um avanço constante de 0,3 mm e a velocidade de corte, de 50 e 100 m/min. Considerando as dimensões já citadas, foi possível efetuar um total de 120 furos em cada corpo de prova, com 8,0 mm de diâmetro cada um. O espaçamento entre os furos foi de 3 milímetros para minimizar os efeitos do processo de usinagem nas paredes dos furos vizinhos.

Para a medição dos parâmetros de textura, valeu-se de um rugosímetro da marca Mahr, modelo Perthometer S2, com faixa de medição/resolução de $\pm 25\mu/0,8\text{nm}$ - $\pm 250\mu/8\text{nm}$ - $\pm 2500\mu/80\text{nm}$ e comprimento de medição de 25 mm. Foram utilizadas a sonda mecânica da marca Perthen, modelo RHT 6-50, e a ponta do estilete com raio de $5\mu\text{m}$ e ângulo de 90° . Os parâmetros de rugosidade R_a (rugosidade média) e R_z (profundidade média de rugosidade) foram medidos na parede do furo, após o corte do corpo de prova.

A microscopia eletrônica de varredura, feita com um microscópio fabricado pela Philips, modelo XL 30, foi usado para estudar os defeitos na parede, entrada e saída dos furos. Como característica deste equipamento, as amostras devem ser condutoras, e para isso foram metalizadas com uma fina camada de ouro.

A análise da qualidade dos furos ocorre com base na rugosidade da parede destes, assim como em relação aos lascamentos e arrancamentos nas bordas de entrada e saída dos furos.

3. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

3.1 Análise da rugosidade na parede dos furos

A rugosidade da superfície usinada é uma informação importante e que pode ser utilizada para caracterizar a microgeometria e a qualidade da superfície dos furos. Na presente pesquisa foram usados os parâmetros R_a e R_z . A medição destes parâmetros ocorreu no meio da parede dos furos e o deslocamento do apalpador do rugosímetro se deu paralelamente ao eixo do furo, portanto, em princípio, na direção em que se obtêm as maiores imperfeições. A medição da rugosidade na entrada e saída dos furos ficou comprometida em função da presença de imperfeições nessas regiões. Os resultados constantes nas figuras a seguir representam a média de três medições realizadas nos corpos de prova. O comprimento de medição foi de 12,5 mm, proporcionando uma análise quase integral da parede do furo. O maior desvio padrão encontrado nas médias foi 0,4, assim, os valores medidos não foram muito discrepantes. Analisando os resultados da Fig. (6), pode-se afirmar que o aumento da rugosidade está diretamente associado com o aumento da velocidade de corte e com a diminuição do percentual de carga metálica presente na resina. O avanço da broca não foi alterado (0,3 mm).

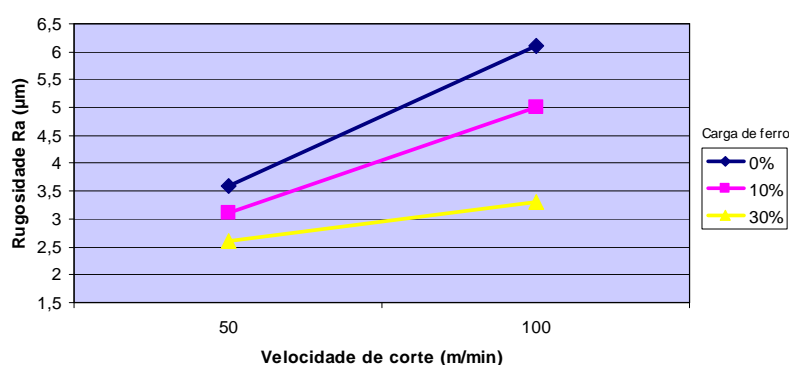


Figura 6. Gráfico mostrando os valores de rugosidade R_a , para as velocidades de corte de 50 e 100 m/min para todas as composições de resinas epóxi.

Na Figura 7 é apresentado o comportamento da rugosidade R_z .

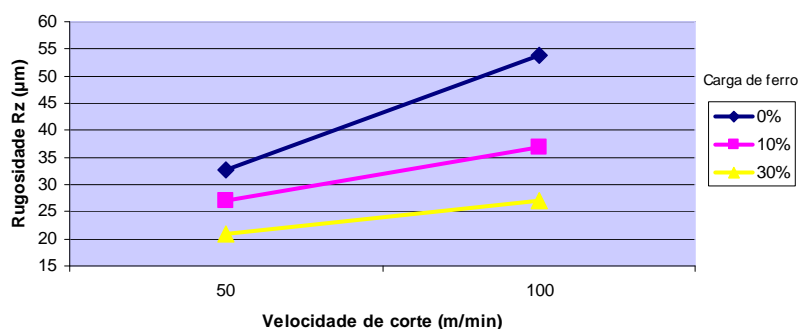


Figura 7. Gráfico mostrando os valores de rugosidade R_z , para as velocidades de corte de 50 e 100 m/min para todas as composições de resinas epóxi.

Percebe-se que, para o parâmetro R_z , o aumento da quantidade de carga metálica também proporcionou uma redução na rugosidade da parede do furo, como aconteceu com o parâmetro R_a . Nos dois parâmetros apresentados, nota-se que os furos realizados na resina sem carga de pó-de-ferro são mais afetados pelo efeito da velocidade de corte, fato este que certamente está fortemente atrelado ao efeito térmico imposto à matriz do material. Este comportamento também foi constatado em outros trabalhos (DURÃO et al., 2006; ARAÚJO; ABRÃO; FARIA, 2005). As conclusões apontam que isto ocorre devido ao aumento da condutividade térmica do material compósito, já que, para a resina epóxi sem carga, com 10% de carga e com 30% de carga, tem-se, respectivamente, 0,157 - 0,218 - 0,368 W/mK, (JESUS, 2005). Segundo Sonbaty et al. (2004) e Araújo, Abrão e Faria, (2005), a condutividade térmica da resina sem carga é menor, isso gera o acúmulo de calor ao redor dos gumes da ferramenta, o que compromete seriamente a estabilidade da matriz e produz uma superfície crespada e rugosa.

Após exibidos os resultados de rugosidade, a seção seguinte dará continuidade à análise da qualidade dos furos obtidos na presente pesquisa, abordando principalmente as bordas na entrada e saída.

3.2 Avaliação da qualidade dos furos nas bordas de entrada e saída da broca

É frequente a presença de danos na entrada e saída de furos obtidos por usinagem com brocas helicoidais. Isto ocorre por várias razões, dentre as quais, geometria incorreta da broca e condições de usinagem não apropriadas para o material em que estes furos estão sendo realizados. Dentre os dados, podemos mencionar a presença de deformação plástica, formação de rebarba e lascamentos. Tais danos se constituem no principal objeto de estudo nesta seção.

Para a análise da textura e microestrutura, isto é, a qualidade da parede dos furos, foi usado um microscópio eletrônico de varredura. Quatro casos são apresentados: o primeiro, a furação na resina epóxi sem carga metálica, utilizando uma broca especial de metal duro e velocidade de corte de 50 m/min; no segundo, também a furação de resina epóxi sem carga metálica e velocidade de corte de 50 m/min, porém com uma broca convencional de aço rápido; no terceiro, resina epóxi com 30% de pó-de-ferro, ferramenta especial de metal duro e velocidade de corte de 50 m/min e, no quarto caso, resina epóxi com 30% de pó-de-ferro, ferramenta especial de metal duro e velocidade de corte de 100 m/min.

A Figura 8 mostra uma cavidade típica que foi identificada na parede do furo, após a realização da furação da resina epóxi sem carga metálica, uso de velocidade de corte de 50 m/min e broca especial de metal duro. Tais cavidades tendem a elevar a rugosidade da superfície. O processo de formação das cavidades se dá por arrancamento frágil, devido à presença de microtrincas, que surgem em decorrência da ação mecânica e térmica da ferramenta sobre esta superfície do furo.

Analisando a Figura 9, que representa uma vista superior na borda de entrada do furo, pode-se observar grandes lascamentos, na ordem de 345 μm , o que mostra o comportamento frágil da matriz epóxi.

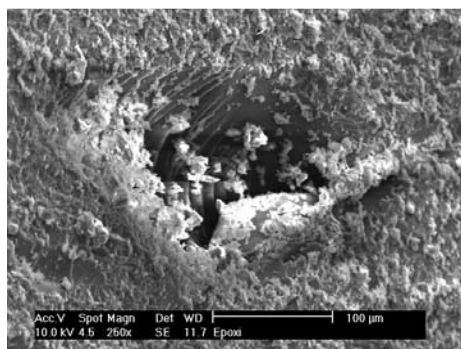


Figura 8. Microestrutura da resina epóxi na parede do furo com aumento de 250x. Resina sem carga metálica e Vc 50 m/min.

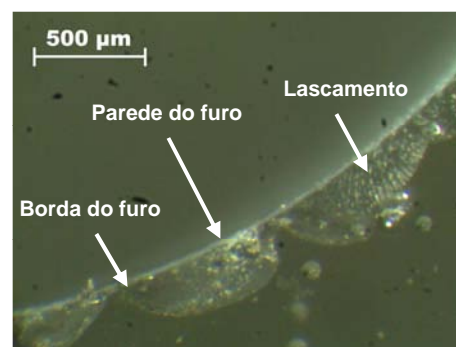


Figura 9. Resina epóxi com 0% de carga metálica, Vc 50 m/min, entrada do furo

Para efeito comparativo, também foram realizados experimentos usando uma broca de aço rápido comum, ou seja, sem nenhuma preparação especial no que tange à geometria ou revestimento da ferramenta. Na Figura 10, é possível verificar uma ampliação na parede do furo, com a presença de cavidades com dimensões até de 900 μm de largura. Dois fatos são predominantes na textura da parede do furo, o primeiro é o tamanho das cavidades e o segundo é a grande quantidade de cavidades presentes na parede. Isto compromete seriamente a qualidade dos furos. A Figura 11 mostra uma vista superior da borda de entrada do furo, furação com broca de aço rápido convencional, onde podem ser vistos grandes lascamentos na entrada do furo, da ordem de 880 μm . Neste caso, também ocorrem grandes lascamentos na saída dos furos. Portanto, a geometria especial da broca trouxe benefícios para a qualidade dos furos, pois, apesar da presença de lascamentos, estes são menores (345 μm x 880 μm). É importante salientar que, quando usada a broca com geometria especial, não foram presenciados lascamentos na saída do furo.

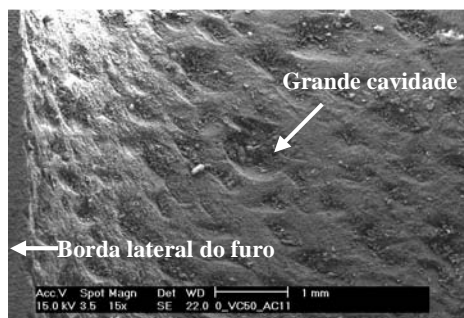


Figura 10. Micrografia do centro do furo, na resina epóxi sem carga, broca de aço rápido convencional, velocidade de corte de 50 m/min

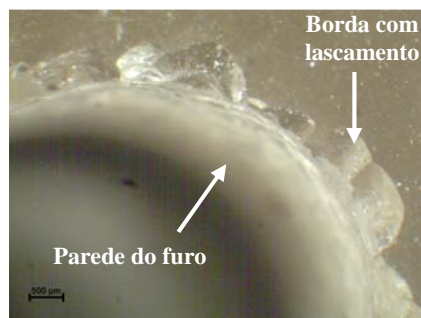


Figura 11. Resina epóxi com 0% carga de metálica, Vc 50 m/min, entrada do furo.

Nas Figuras 12 e 13, visualiza-se a microestrutura/textura da parede do furo realizado na resina epóxi com adição de carga metálica, isto é, 30% de pó-de-ferro, usinagem com uma velocidade de corte de 50 m/min. A Figura 12 exibe a superfície no centro da parede do furo. Esta figura indica que há uma boa ancoragem das partículas de ferro e que houve poucos arrancamentos, caracterizados por cavidades dispersas na superfície. Outro ponto que chama a atenção é a presença de ranhuras (estrias) sobre as partículas metálicas. Tais ranhuras resultam do atrito de partículas arrancadas e da ação da broca sobre a parede do furo. Na Figura 13, pode-se observar isto com maior clareza. É importante mencionar que as partículas metálicas têm uma característica dúctil, facilitando assim a transferência da microgeometria da superfície da ferramenta para a partícula metálica, na região onde há o forte contato físico entre ferramenta/partícula metálica. A Figura 13 também são visualizadas cavidades, que podem ter sido originadas pelo arrancamento de partículas de ferro.

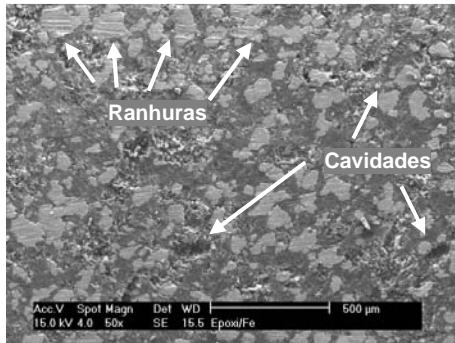


Figura 12. Micrografia da resina epóxi/Fe na metade do furo com aumento de 50x. Resina com 30% de carga metálica e Vc 50 m/min.

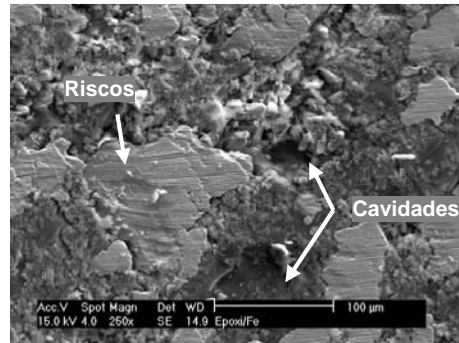
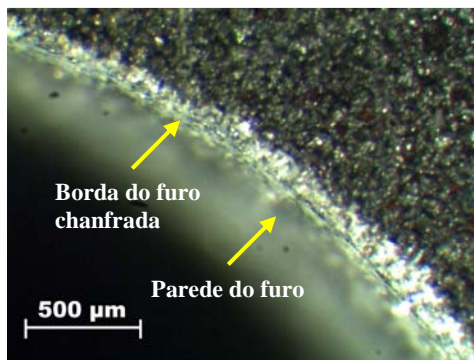


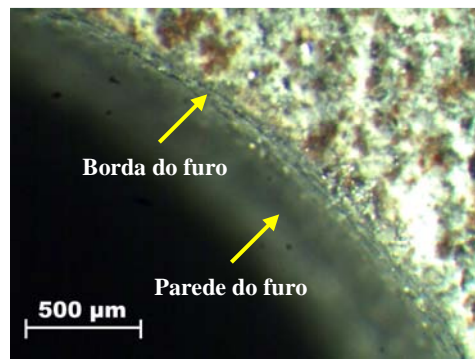
Figura 13. Microestrutura da resina epóxi/Fe na metade do furo com aumento de 250x. Resina com 30% de carga metálica e Vc 50

Para o material compósito com 30% de carga metálica e velocidade de corte de 50 m/min, foi visto um pequeno chanfro, com microlascamentos, na borda de entrada do furo, com largura de 60 µm Fig. (14a). Na saída do furo Fig. (14b), a borda manteve-se sem rebarbas, trincas ou arrancamentos.

Por conseguinte, é relevante enfatizar que a presença da carga metálica de pó de ferro proporciona uma diminuição da rugosidade dos furos, bem como a redução de lascamentos nas borda de entrada e saída.



(a)



(b)

Figura 14. Resina epóxi com 30% de carga de pó-de-ferro, v_c 50 m/min. (a) entrada do furo, (b) saída do furo.

Nas Figuras 15 e 16, observa-se a microestrutura da resina epóxi com adição de carga de pó de ferro em 30%, com uma velocidade de corte de 100 m/min. Na Figura 15, percebe-se que houve uma redução nos riscos causados pelas guias da ferramenta nas partículas de ferro, porém ocorreu o surgimento de ranhuras profundas na matriz. Tais ranhuras provavelmente ocorreram com a fricção de partículas arrancadas, alojadas entre a guia da broca e a parede do furo. Outro ponto a ser observado são as cavidades formadas. A Figura 16 exibe, no destaque, um corte com características de arrancamento frágil com microtrincas na matriz polimérica. E no mesmo destaque é possível ver uma característica de corte dúctil com escoamento plástico na partícula de ferro. Essas duas características de corte são predominantes na usinagem do referido material compósito.



Figura 15. Microestrutura da resina epóxi/Fe na metade do furo com aumento de 100x. Resina com 30% de carga metálica e v_c 100 m/min.

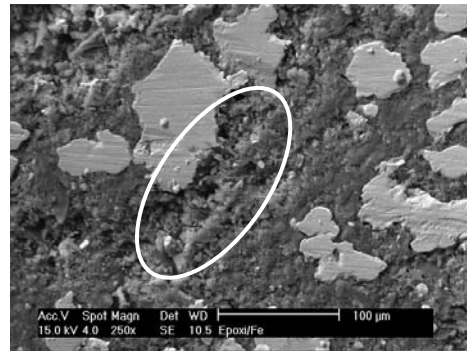
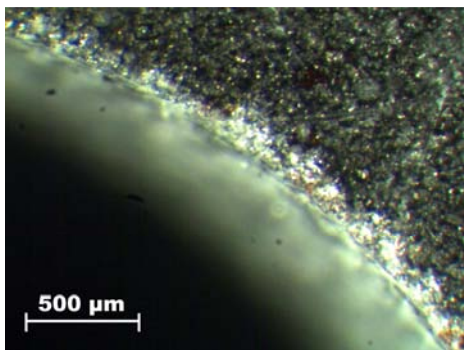
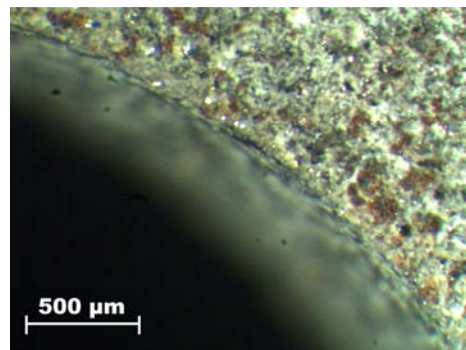


Figura 16. Microestrutura da resina epóxi/Fe na metade do furo com aumento de 250x. Resina com 30% de carga metálica e v_c 100 m/min.

No material compósito com 30% de carga metálica e velocidade de corte de 100 m/min, pode ser visto um aumento da parte chanfrada em relação a velocidade de corte de 50m/min, ficando assim com uma borda chanfrada de 90 µm de comprimento Fig. (17a). Na saída do furo Fig. (17b), a qualidade da borda se manteve igualmente aos casos anteriores, ou seja, sem trincas, rebarbas e lascamentos.



(a)



(b)

Figura 17. Resina epóxi com 30% de carga de pó de ferro, v_c 100 m/min. (a) entrada do furo, (b) saída do furo.

Portanto, nesta pesquisa constatou-se que a maior concentração de lascamentos ocorre na entrada dos furos. Na saída destes, os lascamentos observados encontram-se numa escala bem menos relevante, diferentemente ao que tem sido observado em outros trabalhos de pesquisa. Conforme aumentada a quantidade de carga no material compósito, existe um progresso na definição da borda do furo, isto é, uma redução no chanfro e lascamentos. Isto ocorre, como já visto anteriormente, pelo incremento nas propriedades mecânicas do material compósito, conseqüentemente nas características de usinabilidade do material. Referindo-se às rebarbas, não foi constatada a sua formação, já que são mais frequentemente encontradas em materiais dúcteis.

4. CONCLUSÕES

Na grande maioria dos processos de usinagem de materiais metálicos, a mudança dos parâmetros de usinagem age diretamente nas variáveis de saída desses processos. No caso dos materiais compósitos, isso não é muito diferente, e para a pesquisa em questão, cabe destacar os seguintes resultados e conclusões.

- Nos corpos de prova do material compósito em questão, as partículas da carga de pó-de-ferro encontravam-se relativamente bem distribuídas e não foram constatadas bolhas (vazios) na microestrutura do compósito. As partículas da carga metálica se mantiveram bem ancoradas na matriz, o que levou à pequena quantidade de arrancamentos e favoreceu a qualidade das superfícies dos furos.
- Duas características são marcantes na usinagem deste material compósito: uma com formação de microtrincas e arrancamento frágil na matriz polimérica, e no outro caso, é possível ver um corte com características de material dúctil, com escoamento plástico na partícula de ferro.

- Na usinagem dos furos com velocidade de corte de 100 m/min, as ranhuras na parede do furo, que provavelmente ocorrem com a fricção de partículas arrancadas, alojadas entre a guia da broca e a parede do furo, possuem uma profundidade maior que as encontradas nos furos usinados com velocidade de corte de 50 m/min. Esse é um dos motivos que elevam os valores R_a e de R_z para velocidade de corte de 100 m/min.
- O aumento da quantidade de carga metálica proporciona uma redução da rugosidade da parede do furo. Isto acontece devido à melhora da condutividade térmica do material compósito, pois o acúmulo de calor ao redor dos gumes da ferramenta destrói a estabilidade da matriz polimérica, produzindo uma superfície crespada e rugosa.
- Lascamentos ocorreram nas bordas de entrada dos furos. Entretanto, eles são significativamente menores quando da utilização da broca com geometria especial e quando há carga metálica na matriz da resina. Portanto, estes também são fatores importantes a considerar em termos de obtenção de furos com melhor qualidade.
- Quando o propósito dos furos for para moldes de injeção de polímeros e para blindagem eletromagnética de equipamentos, a qualidade pode ser considerada muito boa, principalmente com velocidade de corte de 50 m/min e resina epóxi com 30% de carga metálica.
- Por fim, também vale assinalar que esta pesquisa abriu novas perspectivas para o material em questão e que existe a necessidade de ampliar e aprofundar uma série de questões que não foram abordadas no presente trabalho, tendo em vista fatores com o custo do material, a disponibilidade de ferramentas, dentre outros.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem às equipes dos laboratórios CIMJECT e GRUCON-USICON da UFSC, ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica da UFSC e à DORMER TOOLS, pelo fornecimento das ferramentas utilizadas nesta pesquisa.

6. REFERÊNCIAS

- Araújo R.A B., Abrão A.M., Faria, P.E., 2005, “Influência dos Parâmetros de Corte sobre a Rugosidade na Furação de um Compósito Polimérico” Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Minas Gerais.
- Durão, L.M.P. et al, 2006 “Estudo da Furação de Laminados Carbono/Epóxido com Diferentes Brocas” Departamento de Engenharia Mecânica, Instituto Superior de Engenharia do Porto, Portugal.
- Garcia J.P., J.D.C., 2001 “Ferramental Rápido – Uma Nova Tecnologia no Desenvolvimento de Produtos” COBEF Proceedings.
- Jesus, M.S., 2005 “Desenvolvimento de um Compósito Polímero-Metal à Base de Resina Epóxi para Aplicações em Moldes Rápidos” Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) – Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC.
- Lachaud F., Piquet R., Collombet F., Surcin L., 2001 “Drilling of composite structures” Compos. Struct. 52 (3–4) 511–516.
- Mohan N.S., Ramacandra A., Kulkarni S.M., 2005 “Machining of Fiber-Reinforced Thermoplastics: Influence of Feed and Drill Size on Thrust Force and Torque during Drilling” Journal of REINFORCED PLASTICS AND COMPOSITES, Vol. 24, No. 12
- Sonbaty, E., Khashaba, U.A., Machly, T., 2004 “Factors affecting the machinability of GFR/epoxy composites” Composite Structures, 63, p. 329-338.
- Westrupp F.L., 2008 “Análise da viabilidade da usinagem de compósito de matriz de epóxi com cargas de ferro visando a sua utilização em moldes de injeção” 81 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Pós-graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

7. DIREITOS AUTORAIS

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

EVALUATION OF HOLE QUALITY IN THE MACHINING OF EPOXY RESIN BASED COMPOSITES WITH AND WITHOUT IRON POWDER CHARGE.

Gustavo Gaertner Eberhardt

Lourival Boehs, boehs@emc.ufsc.br¹

Gean Vitor Salmoria, gsalmoria@emc.ufsc.br¹

¹Universidade Federal de Santa Catarina, EMC - Centro Tecnológico | Florianópolis - SC – Brasil.

Abstract: Composite materials are gaining more space in the industry over the past years, mainly in high performance applications such as aerospace, automotive, military and sports equipment. The reasons for their increasing use are linked to their characteristic properties, such as low weight, high mechanical resistance, strength, electrical and thermal properties. In applications of composite materials such as an injection mold for the production of prototypes or parts and structures for the electromagnetic protection of equipments, it is necessary to know the machining characteristic of the composite material being used. An important feature in such injection molds are holes as part of the geometry of the parts being produced. Therefore, in the referred parts, such holes require a surface finishing quality compatible with the function and application to which they are aimed. Otherwise, cracks can spread and cause the breakage of the mold or deformities and irregularities in the injected part can appear. In this case, the drilling process is the responsible of the holes quality using twist drill bits. The objective of this work is to present and discuss the results obtained in the drilling of epoxy resin based composites, with and without iron powder charge. Carbide drill bits without coating and with special geometry were used in the experiments. For a comparative effect, a conventional high speed steel drill bit was also used. Drilling was performed in a CNC machine. The quality of the hole was thoroughly analyzed for roughness, damage on the wall of the hole and pull-out of the metallic charge as well as chippings and burrs. Among the several relevant aspects of the research, it can be said that the cutting speed and the tool geometric characteristics have a great influence in the quality of the holes machined.

Keywords: drilling, quality, machinability, epoxy, iron powder.

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