

FURAÇÃO DE MATERIAL SANDUÍCHE: AVALIAÇÃO DA INTEGRIDADE DO FURO, FORÇA DE AVANÇO E ALTURA DA REBARBA UTILIZANDO BROCAS DE GEOMETRIAS ESPECIAIS

Michele Lisboa Silveira, michelesilveira1991@gmail.com¹

Bruna Aparecida Rezende, brunarezende12@yahoo.com.br¹

Luciano M.G. Vieira, lucianomgv@yahoo.com.br¹

Juan C. Campos Rubio, juancarlos681@gmail.com

Paulo Eustaquio Faria, paulofaria@ufmg.br

¹Universidade Federal de Minas Gerais, Avenida Antônio Carlos, 6627, Pampulha, Belo Horizonte MG, CEP: 31270-901, Brasil.

Resumo: Geralmente, painéis de material compósito tipo sanduíche são desenvolvidos de forma a apresentarem características como baixo peso, rigidez e resistência elevadas, que justificam a aplicação destes em diferentes indústrias. São assim denominados por apresentarem duas faces e um núcleo. Uma das operações comumente utilizadas em painéis sanduíche é a furação, que permite a junção de materiais por meio de parafusos e rebites. A presença de rebarbas e danos no interior do furo são problemas que podem ocorrer durante a operação de furação. O presente trabalho consiste na furação de um material sanduíche, com faces de alumínio e um núcleo de polietileno. A força de avanço, altura da rebarba na saída e a classificação dos cavacos foram avaliados utilizando-se brocas de geometrias especiais (Brad & Spur, helicoidal com duas e helicoidal com três arestas), velocidades de corte de 24, 48 e 72 m/min e avanços de 0,05; 0,10; 0,15 e 0,25 mm/rev. A integridade superficial dos furos também será analisada para a identificação de possíveis danos e a influência dos parâmetros de corte.

Palavras-chave: Furação, painéis sanduíche, força de avanço, altura da rebarba, integridade do furo.

1. INTRODUÇÃO

Materiais sanduíche têm sido cada vez mais utilizados na indústria manufatureira devido às características especiais como baixo peso e alta resistência. As estruturas sanduíche consistem de três elementos principais, sendo duas faces externas e um núcleo (WENNEBERG, 2011). Dentre as operações a que os materiais sanduíches podem ser submetidos tem-se a furação. O processo de furação de materiais compósitos é um dos mais utilizados na indústria devido à necessidade de efetuar montagens por meio da junção mecânica com parafusos e rebites, como, por exemplo, nas aplicações aeroespaciais (KHORAN *et al.*, 2015).

Brocas com geometrias diferentes podem ser utilizadas para a operação de furação, tais como a broca helicoidal com duas arestas, helicoidal com três arestas e a broca *Brad & Spur*, projetada especialmente para a furação de materiais compósitos. A geometria especial da broca *Brad & Spur* é mostrada na Fig. (1).



Figura 1. Geometria da broca *Brad & Spur*

Diversos fatores são estudados na operação de furação. Dentre estes se tem as forças de furação, rebarbas, delaminação, circularidade, formação de cavacos, entre outros. Muitas pesquisas sobre forças de furação têm sido feitas a fim de reduzir a potência necessária de corte, evitar danos desnecessários na operação e melhorar a qualidade dos furos. A força de usinagem depende de uma série de fatores, como material da peça, geometria, material e afiação da ferramenta, velocidade de corte, lubrificação, entre outros (FERRARESI, 1977). A formação do cavaco também influencia diversos fatores ligados à usinagem, como o desgaste da ferramenta, os esforços de corte, o calor gerado na

usinagem, a penetração do fluido de corte, dentre outros. Estão ainda relacionados com o processo de formação do cavaco aspectos econômicos e de qualidade da peça, segurança do operador, utilização adequada da máquina-ferramenta, etc. (DINIZ *et al.*, 2012).

Gaitonde *et al.* (2011) estudaram a furação de poliamida sem reforço (PA66) e poliamida reforçada com 30% de fibra de vidro (PA66 GF30), utilizando ferramentas de metal duro. Segundo os autores, durante a furação de materiais compósitos e estruturais, várias camadas de material são cortadas e, conseqüentemente, diferentes mecanismos de formação de cavacos podem ser identificados. Para o PA66, sob baixos avanços, os cavacos são contínuos e o cisalhamento ocorre no sentido das fibras do material de reforço. Para avanços altos, os cavacos são descontínuos, e o cisalhamento ocorre na direção perpendicular às fibras. Na Figura (2), a mudança na forma do cavaco é evidenciada quando o avanço aumenta.



Figura 2. Cavacos obtidos na furação de PA66 para a velocidade de corte 63 m/min sob diferentes avanços: a) 900 mm/min b) 1000 mm/min (GAITONDE *et al.*, 2011).

Durante a furação de materiais compósitos e estruturais, uma característica importante a ser observada é o acabamento na parede do furo, já que seu processamento pode gerar alguns defeitos, como acontece em qualquer outro material. As rebarbas podem ser encontradas na entrada quanto na saída do furo.

Kim *et al.* (2001) relataram, em sua pesquisa, diferentes classificações quanto à forma das rebarbas. São elas: as rebarbas uniformes (rebarba uniforme alta ou baixa), a rebarba uniforme com formação de “cap” (boina ou quipá), rebarba coroa e rebarba de transição. A rebarba uniforme consiste em uma rebarba com um acabamento único em toda a superfície do furo. A rebarba do tipo coroa apresenta fragmentos elevados sobre o furo, enquanto a rebarba de transição combina as características das outras duas. A Figura (3) representa esquematicamente o mecanismo de formação das rebarbas uniforme, uniforme com formação de “cap” e a rebarba coroa em um material sanduíche.

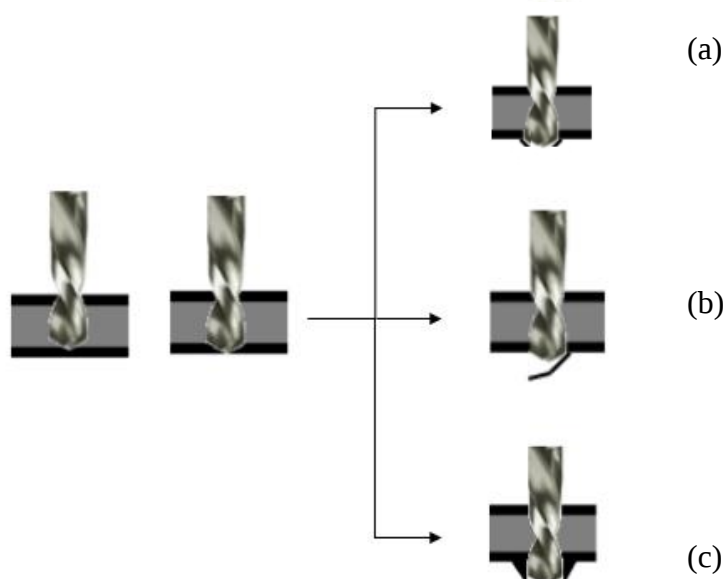


Figura 3. Mecanismo de formação de rebarba: a) rebarba uniforme b) rebarba uniforme com formação de “cap” c) rebarba coroa.

Estudos têm mostrado que a temperatura pode causar danos nos materiais compósitos e estruturais. Polímeros termoendurecíveis, tais como policarbonatos, polimetilmetacrilato (vidro acrílico), polieteretercetona e outros materiais semicristalinos termoplásticos, devem ser usinados dentro de uma faixa de temperatura específica (temperatura de transição vítrea), para evitar danos na superfície, uma vez que a microestrutura dos materiais é significativamente afetada pela transferência de calor (REZENDE *et al.*, 2016).

Lizardo *et al.* (2015) destacam que a temperatura apresenta uma função importante na usinagem de materiais poliméricos, já que influencia diretamente na taxa de desgaste da ferramenta e no acabamento final da superfície do material da peça de trabalho.

Yang *et al.* (2015) avaliaram o comportamento de painéis sanduíche constituídos de carbono/epóxi laminados submetidos a baixas velocidades de impacto. Constataram que o tamanho do dano no recheio do material sanduíche aumentou com a elevação da temperatura, devido à redução do módulo de elasticidade no núcleo para as temperaturas elevadas.

Pilipchuk *et al.* (2013) também identificaram danos em material sanduíche, como apresentado na Fig. (4). A característica dos danos está relacionada a diferentes cargas de flexão, o que pode modificar a temperatura e induzir alguns defeitos.

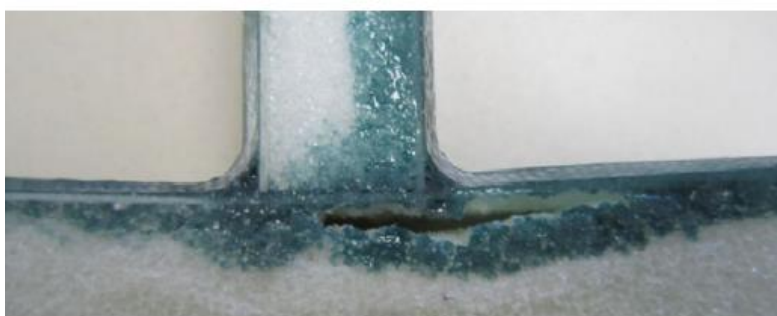


Figura 4. Dano em material sanduíche (PILIPCHUK *et al.*, 2013).

2. MATERIAS E MÉTODOS

2.1. Montagem Experimental

A Figura (5) mostra a montagem experimental utilizada. Para a medição da força de avanço durante a furação do PEALL foi usado um dinamômetro extensométrico com célula de carga. Para a medição da altura das rebarbas foi utilizado um microscópio Askania, modelo GSZ 2T Germany.

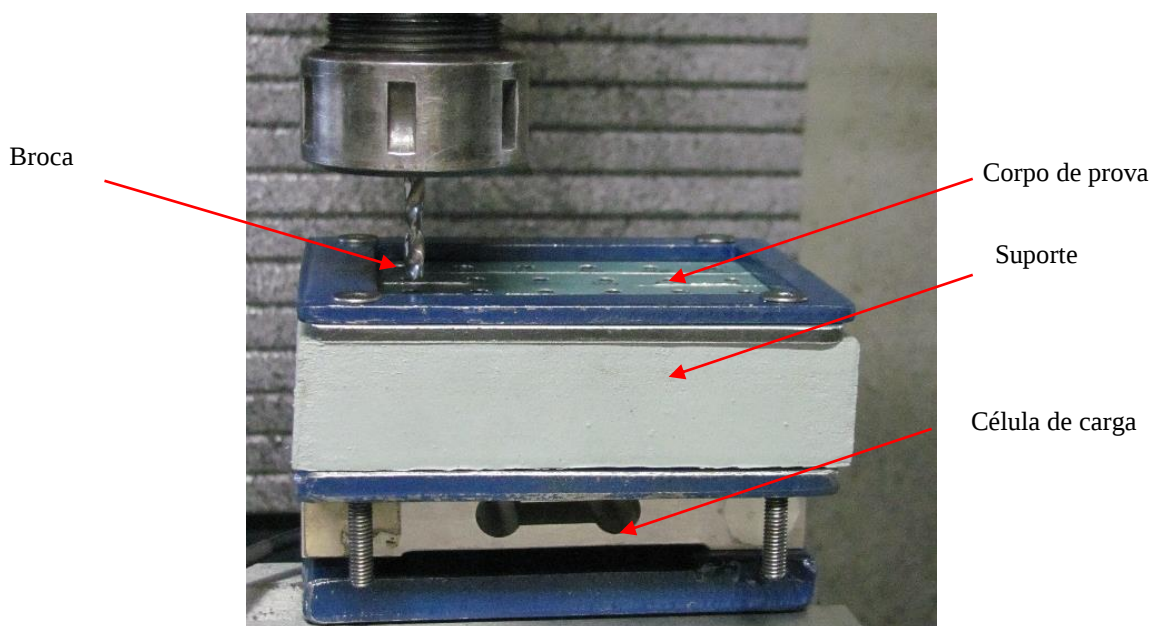


Figura 5. Dinamômetro extensométrico.

Os parâmetros e os respectivos níveis que foram utilizados na furação do material sanduíche constam na Tab.(1).

Tabela 1. Condições experimentais.

Parâmetros	Níveis			
	1	2	3	4
Ferramenta	<i>Brad & Spur</i>	Helicoidal com duas arestas	Helicoidal com três arestas	-
Velocidade de corte (m/min)	24	48	72	-
Avanço (mm/rev)	0,05	0,10	0,15	0,25

Cada teste foi realizado duas (2) vezes e foram obtidos os valores de força de avanço e altura da rebarba.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. Força de avanço

A Figura (6) ilustra o gráfico 3D da força de avanço para as brocas *Brad & Spur*, helicoidal com duas arestas e helicoidal com três arestas. Por meio desta observa-se que a força de avanço tende a diminuir com o aumento da velocidade de corte, e aumentar com o aumento do avanço.

Com o aumento da velocidade de corte ocorre um maior aquecimento da peça de trabalho, o que aumenta sua ductilidade e diminui sua resistência. Por outro lado, para avanços maiores são necessários maiores esforços, uma vez que é retirada uma maior quantidade de material por volta. As menores forças de avanço encontradas foram para a broca *Brad & Spur*, pois este tipo de broca é projetada especialmente para a furação de materiais compósitos e estruturais. Sua geometria faz com que a aresta central de corte entre primeiro em contato com a peça de trabalho, enquanto as arestas de corte laterais cisalham o material.

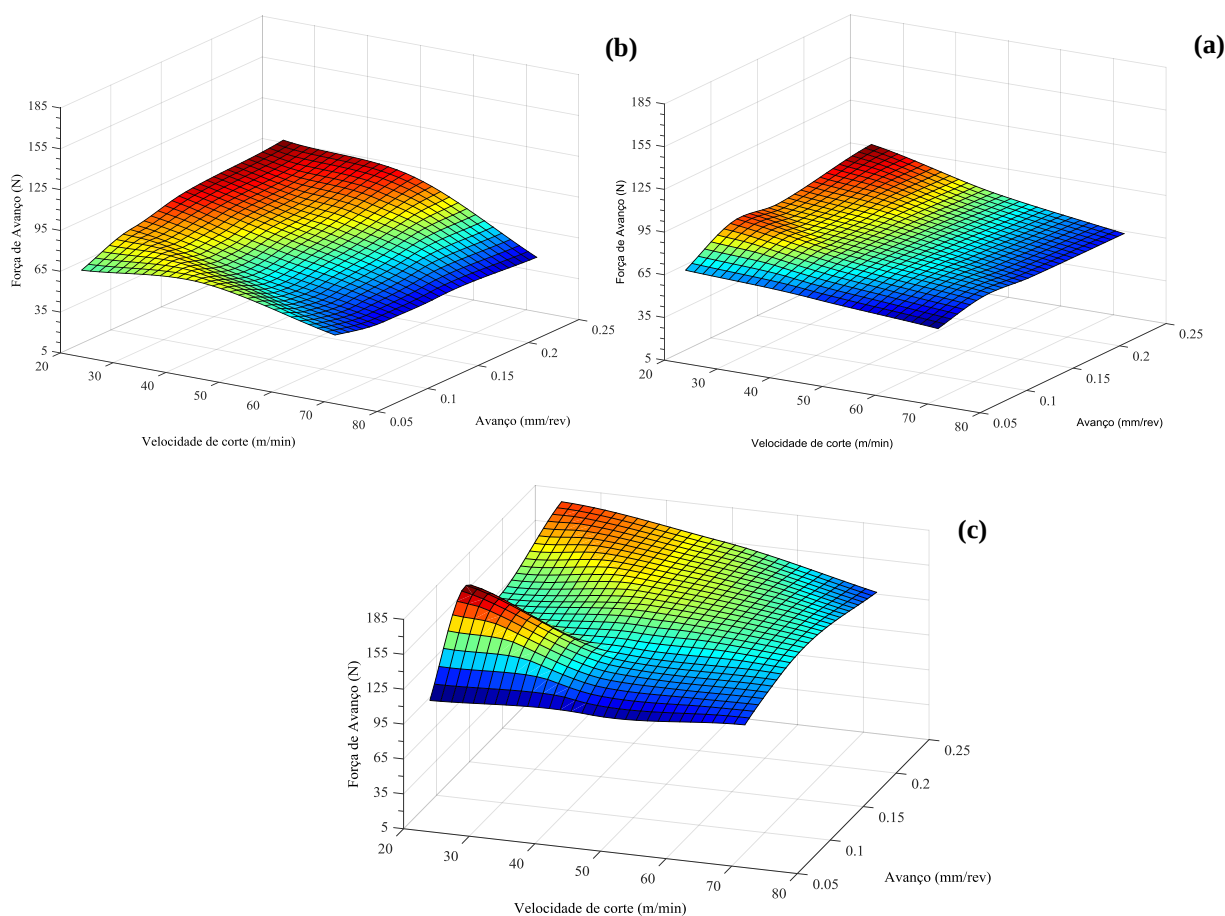


Figura 6. Gráfico 3D da força de avanço para as brocas (a) *Brad & Spur*, (b) helicoidal com duas arestas e (c) helicoidal com três arestas.

3.2. Altura da rebarba

A Figura (7) ilustra o gráfico 3D da altura da rebarba para as brocas *Brad & Spur*, helicoidal com duas arestas e helicoidal com três arestas. A velocidade de corte e o avanço não apresentaram influências significativas para a altura da rebarba, e o fator de maior contribuição foi a geometria da ferramenta. Desta forma, uma afirmação que pode ser feita é que as menores rebarbas foram obtidas pela broca *Brad & Spur*, enquanto que as maiores rebarbas foram obtidas pela broca helicoidal com duas arestas.

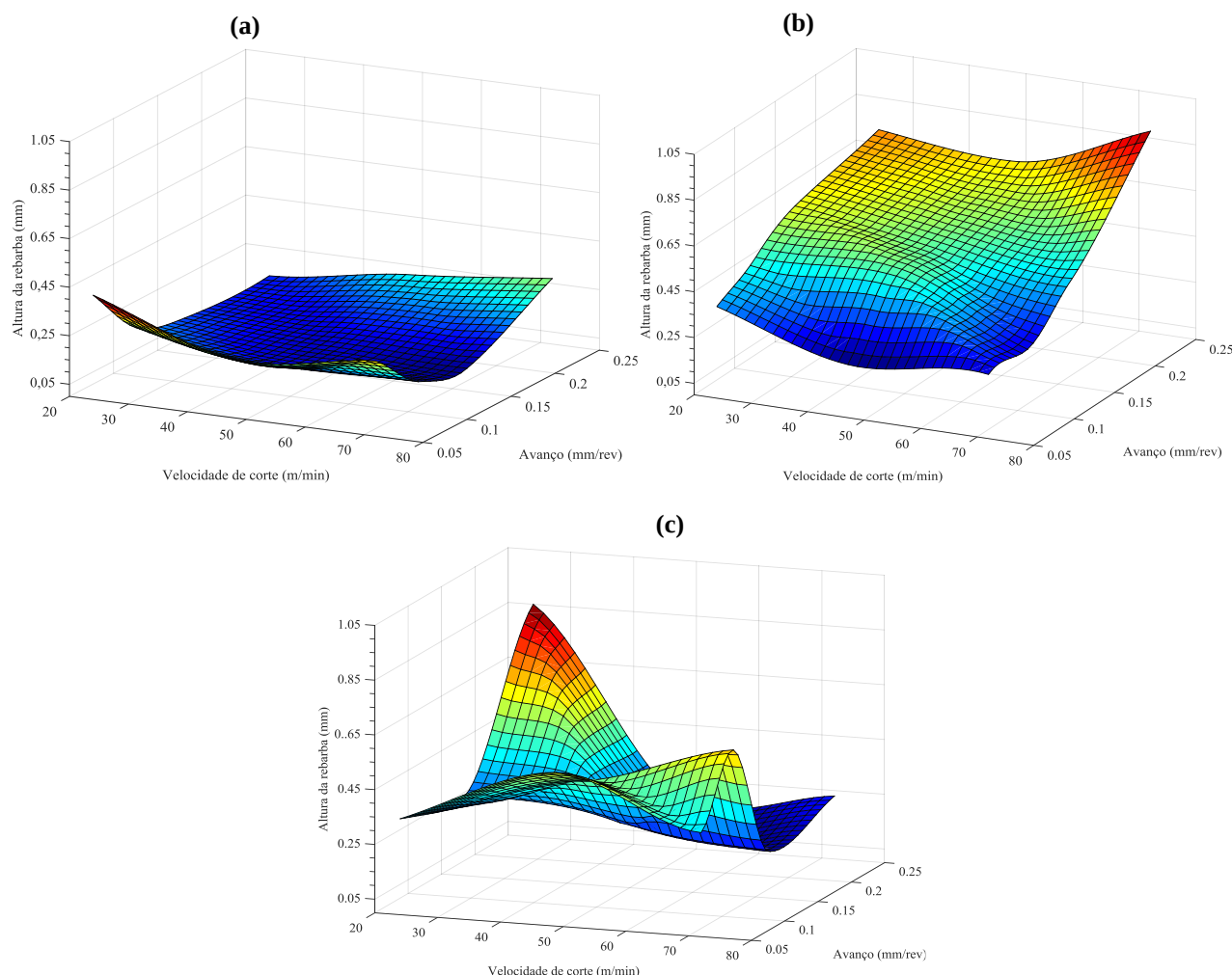


Figura 7. Gráfico 3D da altura da rebarba para as brocas (a) *Brad & Spur*, (b) helicoidal com duas arestas e (c) helicoidal com três arestas.

3.3. Análise de cavacos

Os cavacos gerados pelas brocas *Brad & Spur*, helicoidal com duas arestas e helicoidal com três arestas são mostrados nas Tab. (2), Tab. (3) e Tab. (4). Para os cavacos da Tabela (2), produzidos na furação com a broca *Brad & Spur*, observa-se que para avanços menores, os cavacos tenderam a apresentar a forma de fita emaranhados, e para avanços altos, foi predominante o cavaco em fita longos. Não foi observada influência significativa da velocidade de corte sobre a forma do cavaco.

De acordo com a Tabela (3), os cavacos gerados pela broca helicoidal com duas arestas também não tiveram influência significativa da velocidade de corte. De maneira geral, para avanços altos, o cavaco apresentou tendência de forma helicoidal cônico longo, enquanto que a redução do avanço gerou tendência de cavacos helicoidais cônicos emaranhados.

Por fim, na Tabela (4) são apresentados os cavacos gerados pela broca helicoidal com três arestas, cujo comportamento foi semelhante ao da broca helicoidal com duas arestas. A velocidade de corte não teve influência significativa sobre a forma dos cavacos, o aumento do avanço alterou a forma dos cavacos de emaranhados para longos.

Com relação ao tipo de cavaco, as três brocas apresentaram cavacos do tipo contínuo.

Uma comparação pode ser feita entre os cavacos gerados pelas brocas helicoidais. Os cavacos da broca helicoidal com três arestas apresentaram maior comprimento que os da broca helicoidal com duas arestas. Isto ocorreu devido ao aumento do número de arestas de corte, que fez com que fosse retirada maior quantidade de material, em vez de empurrá-lo, formando rebarbas.

Tabela 2. Cavacos gerados na furação com broca Brad & Spur (escala em cm).

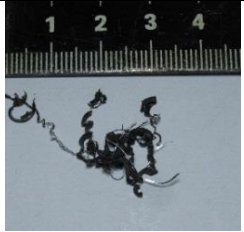
$v_c = 24 \text{ m/min}$ $f = 0,05 \text{ mm/rev}$	$v_c = 24 \text{ m/min}$ $f = 0,25 \text{ mm/rev}$	$v_c = 72 \text{ m/min}$ $f = 0,05 \text{ mm/rev}$	$v_c = 72 \text{ m/min}$ $f = 0,25 \text{ mm/rev}$
			

Tabela 3. Cavacos gerados na furação com broca helicoidal com duas arestas (escala em cm).

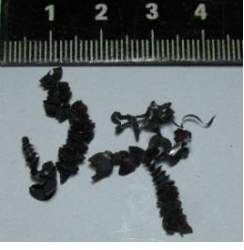
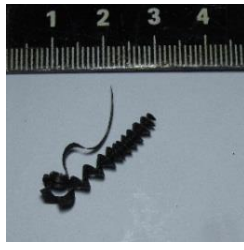
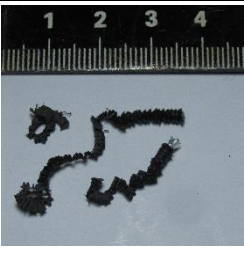
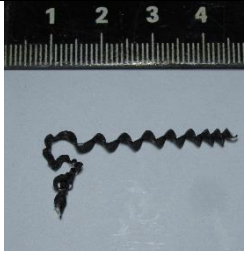
$v_c = 24 \text{ m/min}$ $f = 0,05 \text{ mm/rev}$	$v_c = 24 \text{ m/min}$ $f = 0,25 \text{ mm/rev}$	$v_c = 72 \text{ m/min}$ $f = 0,05 \text{ mm/rev}$	$v_c = 72 \text{ m/min}$ $f = 0,25 \text{ mm/rev}$
			

Tabela 4. Cavacos gerados na furação com broca helicoidal com três arestas (escala em cm).

$v_c = 24 \text{ m/min}$ $f = 0,05 \text{ mm/rev}$	$v_c = 24 \text{ m/min}$ $f = 0,25 \text{ mm/rev}$	$v_c = 72 \text{ m/min}$ $f = 0,05 \text{ mm/rev}$	$v_c = 72 \text{ m/min}$ $f = 0,25 \text{ mm/rev}$
			

3.1. Análise da integridade do furo

Conforme pode ser observado nas Tab. (5), Tab. (6) e Tab. (7), não foram identificados danos que comprometessem a integridade dos furos. Desta forma, os parâmetros de corte utilizados na furação não foram suficientes para causar danos à integridade dos furos.

Tabela 5. Furos gerados pela broca Brad & Spur

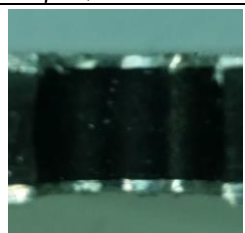
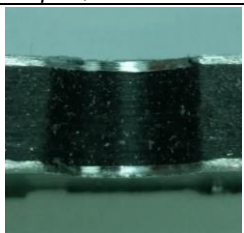
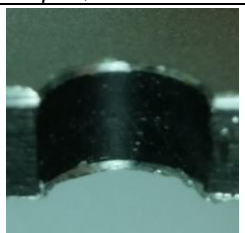
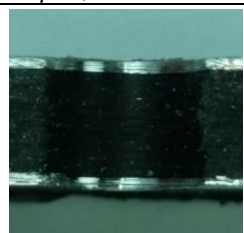
$v_c = 24 \text{ m/min}$ $f = 0,05 \text{ mm/rev}$	$v_c = 24 \text{ m/min}$ $f = 0,25 \text{ mm/rev}$	$v_c = 72 \text{ m/min}$ $f = 0,05 \text{ mm/rev}$	$v_c = 72 \text{ m/min}$ $f = 0,25 \text{ mm/rev}$
			

Tabela 6. Furos gerados pela broca helicoidal com duas arestas

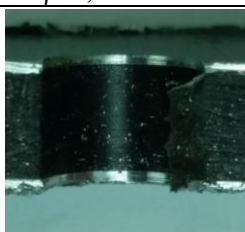
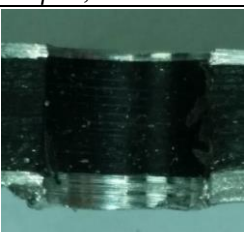
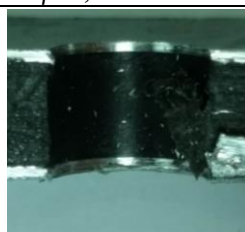
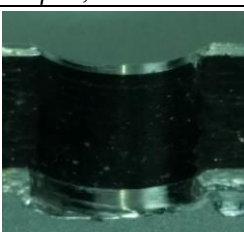
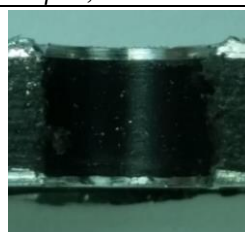
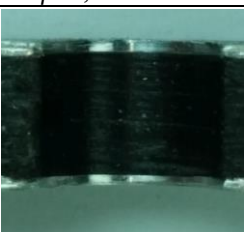
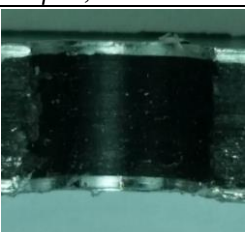
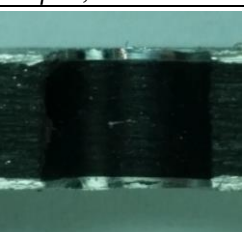
$v_c = 24 \text{ m/min}$ $f = 0,05 \text{ mm/rev}$	$v_c = 24 \text{ m/min}$ $f = 0,25 \text{ mm/rev}$	$v_c = 72 \text{ m/min}$ $f = 0,05 \text{ mm/rev}$	$v_c = 72 \text{ m/min}$ $f = 0,25 \text{ mm/rev}$
			

Tabela 7. Furos gerados pela broca helicoidal com três arestas

$v_c = 24 \text{ m/min}$ $f = 0,05 \text{ mm/rev}$	$v_c = 24 \text{ m/min}$ $f = 0,25 \text{ mm/rev}$	$v_c = 72 \text{ m/min}$ $f = 0,05 \text{ mm/rev}$	$v_c = 72 \text{ m/min}$ $f = 0,25 \text{ mm/rev}$
			

4. CONCLUSÕES

Os resultados demonstraram que tanto a velocidade de corte quanto o avanço apresentaram efeito significativo na força de avanço. A força de avanço diminuiu com o aumento da velocidade de corte e para avanços maiores esta força tendeu a aumentar. As menores forças foram observadas para a furação com a broca *Brad & Spur*.

Com relação à altura da rebarba o que se pode afirmar é que as menores rebarbas foram obtidas com a broca *Brad & Spur*.

Por meio da análise dos cavacos foi possível observar que os cavacos produzidos na furação com a broca *Brad & Spur*, tenderam a apresentar a forma de fita emaranhados e em fita longos. Com relação à furação com broca helicoidal com duas arestas o cavaco apresentou tendência de forma helicoidal cônico longo e helicoidal cônico emaranhado. Para a furação com a broca helicoidal com três arestas o comportamento foi semelhante ao da broca helicoidal com duas arestas. As três brocas apresentaram cavacos do tipo contínuos.

Com os parâmetros de corte e ferramentas utilizados não foram observados danos à integridade dos furos.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), CNPQ (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) e Fapemig (Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais) por concessão de bolsas de estudos.

6. REFERÊNCIAS

- Diniz, A.E., Marcondes, F. C., Coppini, N. “Tecnologia da usinagem dos materiais”. 8ª edição. São Paulo: Artliber, 270 p., 2012.
- Ferraresi, D. “Fundamentos da Usinagem dos Metais”. São Paulo: Edgard Blucher, 1977, 754 p.
- Gaitonde, V., Karnik, S.R., Rubio, J.C., Abrão, A.M., Correia, A.E., Davim, J.P. “Surface roughness analysis in high-speed drilling of unreinforced and reinforced polyamides.” Journal Of Composite Materials, v. 46, n. 21, p.2659-2673, 2011.
- Khoran, M. et al. “Investigation of drilling composite sandwich structures.” Int J Adv Manuf Technol (2015) 76:1927–1936.
- Kim, J., Min, S., Dornfeld, D.A. “Optimization and control of drilling burr formation of AISI 304L and AISI 4118 based on drilling burr control charts.” International Journal of Machine Tools & Manufacture, v.41, n.7, p.923-936, 2001.
- Lizardo, B.F., Vieira, L. M. G., Rubio, J. C. C., Câmara, M. A. “Influence of Machining Parameters of the Drilling Polymers UHMW-PE and PTFE.” Advanced Materials Research, v. 1120-1121, p. 1297-1301, 2015.
- Pilipchuk, V.N., Ibrahim, R.A., Grace, I. “Low temperature brittle debond damage under normal compression of sandwich plates: Analytical modeling and experimental validation.” Composite Structures, v. 98, p.24-33, 2013
- Rezende, B.A., Silveira, M.L., Vieira, L.M.G., Abrão, A.M., Faria, P.E., Rubio, J.C.C. “Investigation on the Effect of Drill Geometry and Pilot Holes on Thrust Force and Burr Height When Drilling an Aluminium/PE Sandwich Material.” Materials, v.9, n. 9, p.774, set, 2016.
- Wennberg, D. “Light-Weighting Methodology in Rail Vehicle Design through Introduction of Load Carrying Sandwich Panels. Design Department of Aeronautical and Vehicle Engineering”, 2011.
- Yang, P., Shams, S.S., Slay, A., Brokate, B., Elhajjar, R. “Evaluation of temperature effects on low velocity impact damage in composite sandwich panels with polymeric foam cores.” Composite Structures, v. 129, p. 213-223, 2015.

7. DIREITOS AUTORAIS

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

DRILLING OF SANDWICH PANEL: EVALUATION OF INTEGRITY OF HOLE, THRUST FORCE AND HEIGHT OF BURR USING SPECIAL GEOMETRY DRILLS

Michele Lisboa Silveira, michelesilveira1991@gmail.com¹
Bruna Aparecida Rezende, brunarezende12@yahoo.com.br¹
Luciano M.G. Vieira, lucianomgv@yahoo.com.br¹
Juan C. Campos Rubio, juancarlos681@gmail.com
Paulo Eustaquio Faria, paulofaria@ufmg.br

¹Universidade Federal de Minas Gerais, Avenida Antônio Carlos, 6627, Pampulha, Belo Horizonte MG, CEP: 31270-901, Brasil.

Resumo: Usually, composite sandwich panels are developed in order to present characteristics such as low weight, stiffness, and high resistance, which justify their application in different industries. They are so named because they have two faces and a core. One of the operations commonly used in sandwich panels is the drilling, which allows the joining of materials by means of screws and rivets. The presence of burrs and damage inside the hole are problems that can occur during the drilling operation. The present work consists of the drilling of a sandwich material, with aluminum faces and a polyethylene core. The thrust force, height of burr and the chip classification were evaluated using special geometry tools (Brad & Spur, twist drill with two edges and twist drill with three edges), cutting speeds of 24, 48 and 72 m/min and feed of 0,05; 0,10; 0,15 and 0,25 mm/rev. The surface integrity of holes is also analysed for identification of possible damages, and the influence of cutting parameters.

keywords: Drilling, sandwich panels, thrust force, height of burr, integrity of hole.