

OBTENÇÃO DE TOLERÂNCIAS ESTREITAS EM FUROS PASSANTES PARA O ALUMÍNIO 6061

Leandro Leite, leandro.leite@academico.ifpb.edu.br¹
Leandro Luttiane da Silva Linhares, leandro.luttiane@ifpb.edu.br¹
João Vitor de Queiroz Marques, joao.marques@ifpb.edu.br¹
Francisco Augusto Vieira da Silva, francisco.vieira@ifpb.edu.br¹
Francisco Mendes de Abreu, francisco.abreu@ifpb.edu.br¹
Tayla Fernanda Serantoni da Silveira, tayla.silveira@ifpb.edu.br¹
Joab Sobreira de Andrade, joab.andrade@ifpb.edu.br¹

¹Instituto Federal de Ciência, Educação e Tecnologia da Paraíba (IFPB), Laboratório Cajazeirense de Processos de Produção (LC2P), Campus Cajazeiras, Paraíba, Brasil.

Resumo: No processo de usinagem, é difícil obter peças com medidas exatas, por causa dos diversos fatores que influenciam este processo. A temperatura é um desses fatores, pois o atrito entre o cavaco e a superfície de saída, as deformações plásticas, os fatores ambientais/climáticos, a geração interna de calor dos mancais e motores, entre outros, promovem gradientes térmicos no processo afetando o desempenho do sistema de usinagem. Por consequência destes gradientes, deformações térmicas afetarão o objeto a ser usinado, fazendo com que os resultados da medição apresentem erros. O objeto de estudo deste trabalho, que é a liga de alumínio 6061, apresenta alta condutibilidade térmica, o que agrava as condições das tolerâncias. Deste modo, o trabalho teve por objetivo obter, para a operação de furação, melhorias na qualidade dos furos em liga de alumínio 6061, observando os aspectos da tolerância de forma. Neste sentido, foram avaliadas as geometrias dos furos obtidos por uma furação em um centro de usinagem – de tal modo que, duas metodologias foram abordadas: a primeira, utilizando a estratégia de quebra-cavaco, e a segunda, utilizando a estratégia de retração de cavaco. Todos os processos foram executados para uma usinagem à seco, com fluido de corte e aplicando a técnica MQF. As geometrias dos furos foram avaliadas por uma Máquina de Medir por Coordenadas, verificando características metrológicas de cilindridade. Constatou-se que o modelo de furação aplicando a técnica MQL obteve resultados favoráveis a sua aplicação em furações com retração.

Palavras-chave: Furação, Usinagem, Cilindridade, Alumínio 6061, MQF.

1. INTRODUÇÃO

Pesquisas realizadas no setor automobilístico revelam que o alumínio oferece cerca de 60% de redução de peso comparado com aço e ferro fundido na fabricação de veículos. Isso na prática significa que o uso desses materiais contribui significativamente na economia de combustíveis e redução da emissão de poluentes no meio ambiente global (Okimura *et al.*, 2007). Em geral, as ligas de alumínio apresentam boa usinabilidade para vários critérios de avaliação. A força exigida na ferramenta, quando se usina as ligas de alumínio, é baixa, e tende a diminuir com o aumento da velocidade de corte.

A produção de furos é um processo amplamente utilizado na área de usinagem devido a sua grande importância. Chassis, guindastes, equipamentos agrícolas e demais estruturas mecânicas, terão uma quantidade razoável de furos. O furo, em qualquer componente mecânico, possui sua importância vinculada à função e aplicação, podendo este furo ter a finalidade de guiar um componente específico, acoplar um parafuso ou uma outra peça, função de lubrificação, dentre outras. No processo de furação, conhecer e estabelecer parâmetros que influenciam em uma melhor qualidade de acabamento de sua peça se torna importante quando se deseja aumentar a vida útil da ferramenta, diminuir o tempo de trabalho ou mesmo evitar um eventual retrabalho da peça por problemas tais como as rebarbas. Além disso, um furo que apresente defeitos graves, como elevados erros de cilindridade, não tem solução a não ser o descarte, gerando assim, prejuízo ao seu fabricante.

Uma alternativa a esses problemas, são os fluidos lubri-refrigerantes convencionais, que desempenham diversas funções no processo produtivo. A sua utilização resulta, na maioria das vezes, em maior vida útil da ferramenta e em uma melhor qualidade da peça usinada. Todavia, o uso desse fluido traz consigo alguns problemas, tais como: dificuldade e custo da reciclagem do fluido e dos cavacos molhados por ele, poluição ambiental e doenças de pele e pulmão nos

operadores das máquinas. Em alguns processos, a usinagem sem fluido de corte não é possível ou econômica. Logo, nestes casos, uma alternativa ao corte a seco é o corte com Mínima Quantidade de Fluido – MQF. Este nome é dado ao procedimento de se pulverizar uma quantidade mínima de óleo (menos de 500 ml/h) por meio de um fluxo de ar comprimido. Esta mistura ar-óleo, apesar de não possuir alta capacidade de refrigeração do processo, muitas vezes tem alta capacidade de lubrificação da região de corte (Cardoso, 2014).

Uma redução volumétrica importante dos fluidos é concebível, passando de lubri-refrigeração abundante para óleo em spray ou névoa. Embora seja incapaz de remover o calor da zona de corte, devido a pequenas quantidades aplicadas, o fluido pode fornecer lubrificação suficiente para minimizar o atrito entre o cavaco e a ferramenta, evitando a geração de calor nos primeiros instantes. No fresamento, o óleo com características lubrificantes toca a ferramenta enquanto a mesma se encontra fora da peça e é levado para as interfaces cavaco-ferramenta e ferramenta-peça pela própria ferramenta, sendo uma operação em que o uso da MQF é bastante apropriado, já que o ar tem baixa capacidade de refrigeração e a pequena quantidade de óleo presente é capaz de proporcionar um bom efeito lubrificante (Diniz *et al.*, 2006; Lawal *et al.*, 2012; Cardoso., 2014).

Deste modo, este trabalho tem por objetivo obter, para a operação de furação, melhorias na qualidade dos furos na liga de alumínio 6061, observando os aspectos da tolerância de forma.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Este tópico traz uma descrição dos materiais, ferramentas, equipamentos e métodos utilizados na realização dos experimentos, assim como da sistemática utilizada para sua realização. A metodologia deste trabalho foi baseada no desenvolvimento experimental de ensaios sistemáticos, reproduzindo situações encontradas no meio industrial.

2.1. Material Utilizado

O material usinado foi a liga de Alumínio 6061. Este material apresenta cavacos tipo fita durante a usinagem com elevada resistência à quebra. A Tab. 1 mostra a composição química do material, constatando que os corpos de prova estão de acordo com as especificações.

Tabela 1. Composição química do material.

Limites de composição química (%)	
Silício	0,40 a 0,80
Ferro	0,70
Cobre	0,15 a 0,40
Manganês	0,15
Magnésio	0,80 a 1,20
Cromo	0,04 a 0,35
Zinco	0,25
Titânio	0,15
Outros	0,15
Alumínio	restante

A Tab. 2 mostra as propriedades físicas apresentadas por essa liga de alumínio.

Tabela 2. Propriedades físicas do material.

Propriedades físicas	
Densidade a 20°C (g/cm³)	2,71
Temperatura de Fusão (°C)	580-650
Calor Específico 0 a 100°C (cal/g °C)	0,22
Coefficiente de Expansão Térmica 20° a 100°C(10 ⁻⁶ °C)	24
Condutibilidade Térmica à 25 °C (cal/cm/cm²/seg °C)	0,37
Condutibilidade Elétrica à 20 °C (%IACS)	43
Módulo de Elasticidade (MPA)	70.000
Módulo de Rigidez (MPa)	26.500

2.2. Máquina Ferramenta

Nos testes, foi empregado um centro de usinagem ROMI D600, comando FANUC MC0i, e fuso com rotação máxima de 7500 rpm. As ferramentas foram acopladas a um mandril de fixação hidráulica a fim de reduzir ao máximo o batimento

da broca montada na máquina.

2.3. Sistema MQF

O sistema MQF utilizado no experimento empregou um Nebulizador V Tapmatic, conforme a Fig 1. Nos experimentos realizados neste trabalho, o equipamento atua com pressão de 6 bar e vazão de óleo de 110ml/h. A tubulação de saída da mistura ar e óleo foram ligados e direcionados à região onde ocorria o processo de furação.



Figura 1. Sistemas MQF

2.4. Meios Lubri-Refrigerantes

O fluido lubri-refrigerante convencional utilizado nos testes com fluido de corte foi o EcoCut 610B integral mineral de viscosidade 10 mm²/s a 40°C e o fluido lubri-refrigerante utilizado nos testes com MQF foi o LubriOil E47, éster sintético de viscosidade 47 mm²/s a 40°C, segundo o fabricante.

2.5. Broca

Foi utilizada uma broca HSS para todas as etapas do experimento com diâmetro de 6,3 mm e afiação tipo “S”. Esta broca de aço rápido não possuía canais para refrigeração interna e nem revestimento.

Para realização dos pré-furos foi utilizado uma broca HSS com diâmetro de 3 mm e afiação tipo “S”. Estabroca de aço rápido não possuía canais para refrigeração interna e nem revestimento.

2.6. Equipamento Para Medição de Erros de Cilindricidade

Para realização da medição de erros de cilindridade foi utilizado uma Máquina de Medição por Coordenadas (MMC) micro-hite 3D da empresa Tesa, com resolução de 0,001mm e com erro de esfericidade de 3 µm.

2.7. Metodologia Dos Experimentos

O trabalho experimental teve início com a preparação dos 6 corpos de prova nomeados de A a F e submetendo-os a processos de faceamento e torneamento em um torno mecânico, a fim de que os mesmos obtivessem formatos circulares e medidas pré-determinadas de 35mm de diâmetro e 16mm de largura. Logo após o projeto experimental foi dividido em duas etapas, onde foi realizado ciclos de furação utilizando dois tipos, um ciclo utilizando a furação contínua e outro utilizando a furação com retração (pica-pau), onde em cada ciclo foi empregado três diferentes sistemas de lubrificação, sendo eles: fluido de corte, MQF e furação a seco. Além disso, durante a realização dos ciclos de furação, cada corpo de prova foi furado três vezes em diferentes lugares, sendo realizado um pré-furo de centro em cada um dos furos, mantendo os parâmetros de corte fixos em cada ciclo, como pode ver na Tab. 3 abaixo.

Tabela 3. Ciclos de furação.

Furação contínua					Furação com retração(pica-pau)					
Peça	Parâmetros de corte			Sistema	Peça	Parâmetros de corte				Sistema
	Vc (m/min)	Vf (mm/min)	Rot (rpm)			Vc (m/min)	Vf (mm/min)	Rot (rpm)	R (mm)	
A	10	100	500	SECO	D	10	100	500	1,5	MQF
B	10	100	500	FLUIDO	E	10	100	500	1,5	FLUIDO
C	10	100	500	MQF	F	10	100	500	1,5	SECO

Para a realização desses ciclos de furação foi utilizado uma broca HSS de 6,3 mm de diâmetro sendo acoplada a um mandril para reduzir os batimentos e assim conseguir uma melhor qualidade do furo realizado, de maneira que todo o sistema broca-mandril obteve o comprimento de 141,670 mm, sendo 65,536 mm a medida da parte exposta da broca, medidas essas obtidas através da máquina de medição por coordenadas.

Para a realização dos pré-furos foi utilizado uma broca HSS de 3 mm de diâmetro sendo acoplada a um mandril. Todo o sistema broca-mandril obteve o comprimento de 96,134 mm, sendo 22,5 mm a medida da parte exposta da broca, medidas essas obtidas através da máquina de medição por coordenadas.

Esses sistemas broca-mandril foi acoplado no centro de usinagem para que fosse utilizado nos ciclos de furação, como pode ser observado na Fig 2.



Figura 2. Sistema broca-mandril.

Após a fixação do sistema broca-mandril no centro de usinagem, deu-se início aos ciclos de furação, começando com a furação contínua e depois com a furação com retração.

2.8.1 Furação Contínua

Os ciclos de furação contínua tiveram início utilizando o método de furação a seco na peça “A”, efetuados três furos nesta peça, sendo um furo central, outro a 12 mm em relação ao eixo y do centro de usinagem, e por fim, um último furo a -12 mm em relação ao mesmo eixo. Antes da realização de cada furo, foi feito um pré-furo nas posições que os furos passantes seriam realizados, facilitando assim o processo.

Em seguida foi aplicado o método de furação com fluido de corte na peça “B”, fluido esse que foi utilizado externamente em relação à broca através do próprio sistema de lubri-refrigeração disponível no centro de usinagem e utilizando do mesmo processo descrito anteriormente para a furação da peça “A”.

Por fim, o ciclo de furação contínua terminou utilizando o método de furação com o sistema MQF na peça “C”. Esse sistema foi instalado no centro de usinagem, já que ele não apresentava um próprio sistema de MQF embutido, como pode ser visto na Fig 1. O processo de furação aplicado foi semelhante aos processos anteriormente descritos e executados para as peças “A” e “B”.

Vale ressaltar que todos os furos realizados no ciclo de furação contínua mantiveram os parâmetros de corte constantes, parâmetros esses que podem ser observados na Tab 3.

2.8.2 Furação Com Retração (pica-pau)

Os ciclos de furação com retração tiveram início utilizando o método de furação com o sistema MQF na peça “D”. Semelhantemente aos outros processos de furação, foram realizados três furos, sendo um furo central, outro a 12 mm em

relação ao eixo y do centro de usinagem, e por fim, um último furo a -12 mm em relação ao mesmo eixo, sendo que antes da realização de cada furo, foi feito um pré-furo nas posições que os furos passantes seriam realizados. Porém, diferentemente do ciclo de furação contínua, nesse ciclo, durante o processo de furação, a broca realizou pequenas retrações de 1,5 mm (representadas na Tab. 3 pela letra R), que dentre outras coisas serviu para quebrar o cavaco e auxiliar em uma melhor qualidade do furo.

Na segunda fase dos ciclos de furação com retração, foi empregado o método de furação com fluido de corte na peça “E” e utilizado o mesmo processo descrito na peça “D” para a realização dos furos.

Por fim, na última parte do ciclo de furação com retração, foi utilizado o método de furação a seco na peça “F” e utilizado o mesmo processo descrito na peça “D” e “E” para a realização dos furos.

Vale ressaltar que todos os furos realizados no ciclo de furação com retração mantiveram os parâmetros de corte constantes, parâmetros esses que podem ser observados na Tab. 3.

2.8.3 Medição Dos Erros De Cilindricidade

Após ter sido realizado todos os ciclos de furação, as peças foram cortadas em uma cortadora metalográfica para que fosse possível analisar com mais precisão os erros de cilindridade de cada furo em uma máquina de medição por coordenadas.

Realizado o processo, as peças foram levadas ao laboratório para que pudessem ser medidas. Essas medições dos erros de cilindridade foram realizadas da seguinte forma:

- Cada furo de cada peça foi analisado em uma máquina de medir por coordenadas por meio de uma ponta de medição de rubi com precisão de 0,001 mm e com $\varnothing 2$ mm.
- Para cada furo foram realizadas 5 medições para garantir uma boa qualidade dos resultados, sendo analisados um total de 12 pontos em cada furo para que se obtivesse uma medição.
- Foram realizadas um total de 90 medições ao todo, já que para cada furo foram realizadas 5 medições e tendo em vista que cada uma das 6 peças apresentava 3 furos.
- Foi utilizado uma morsa para auxiliar na fixação e evitar erros manuais. Conforme a Fig. 3 a seguir.

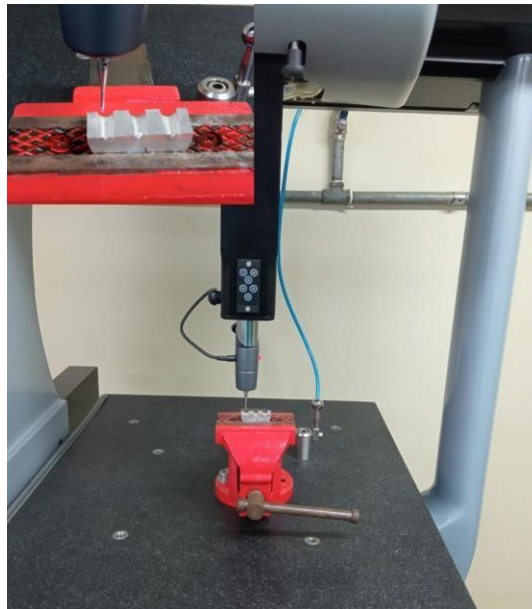


Figura 3. Sistema De Medição De Erros De Cilindricidade.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Tabela 4 mostra os resultados obtidos relativos aos erros de cilindridade dos furos das peças que foram submetidas aos ciclos de furação contínua e furação com retração, empregando os métodos de: furação a seco, furação com fluido de corte e furação com o sistema MQF.

Nesta tabela, os valores de A1, A2 e A3 representam os três furos que foram realizados na peça A, ele vale para as peças B, C, D, E e F. Além disso, os valores de X1, X2, X3, X4 e X5 representam as cinco medições que foram realizadas para cada furo de cada peça, sendo obtido um valor referente a média desses cinco valores, que foi representado na tabela por $M(x)$.

O valor referente a $M(mx)$ se refere a média dos valores de $M(x)$ em cada peça.

Tabela 4. **Resultados Obtidos**

ERROS DE CILINDRICIDADES (mm)										
TIPO DE FURAÇÃO	MÉTODO	PEÇA	FURO	X1	X2	X3	X4	X5	M(x)	M(mx)
FURAÇÃO CONTÍNUA	FURAÇÃO A SECO	A	A1	0,013	0,014	0,028	0,027	0,016	0,020	0,016
			A2	0,015	0,012	0,017	0,014	0,012	0,014	
			A3	0,015	0,010	0,007	0,017	0,018	0,013	
	FURAÇÃO COM FLUIDO	B	B1	0,011	0,016	0,019	0,016	0,025	0,017	0,020
			B2	0,018	0,022	0,021	0,027	0,028	0,023	
			B3	0,019	0,013	0,023	0,023	0,016	0,019	
	FURAÇÃO COM MQL	C	C1	0,018	0,018	0,021	0,017	0,010	0,017	0,025
			C2	0,018	0,014	0,032	0,025	0,038	0,025	
			C3	0,027	0,029	0,039	0,035	0,033	0,032	
FURAÇÃO COM RETRAÇÃO	FURAÇÃO COM MQL	D	D1	0,018	0,020	0,020	0,022	0,010	0,018	0,017
			D2	0,015	0,014	0,012	0,011	0,016	0,014	
			D3	0,018	0,016	0,018	0,015	0,019	0,017	
	FURAÇÃO COM FLUIDO	E	E1	0,015	0,013	0,018	0,025	0,018	0,018	0,024
			E2	0,031	0,035	0,015	0,038	0,032	0,030	
			E3	0,026	0,024	0,026	0,021	0,020	0,023	
	FURAÇÃO A SECO	F	F1	0,080	0,065	0,121	0,141	0,116	0,105	0,067
			F2	0,058	0,060	0,053	0,070	0,054	0,059	
			F3	0,061	0,046	0,076	0,054	0,042	0,056	

Ao analisar a Tab. 4, é possível observar que para a furação contínua, o método que apresentou o menor erro de cilindridade para sua respectiva peça usinada, foi a furação a seco, obtendo o valor de M(mx) de 0,016 mm. Todavia, quando analisamos a furação com retração, é possível perceber que o método que mais apresentou resultado satisfatório em relação aos outros métodos no mesmo tipo de furação é a furação com MQF, obtendo um valor de M(mx) de 0,017 mm.

4. CONCLUSÃO

A partir da realização deste trabalho foi possível chegar às seguintes conclusões:

- O método de furação com MQF se mostrou eficaz quando utilizado na furação com retração;
- Na furação contínua, o método que apresentou o menor erro de cilindridade foi a furação a seco;
- O método de furação com fluido de corte se mostrou razoável em ambos os experimentos.

Esses resultados viabilizam a utilização do MQF como método para se obter melhores resultados com relação à cilindridade de furos em processos de furação com retração. Não só isso, mas também nos leva a concluir que o motivo que levou o método de furação a seco a obter os melhores resultados na furação contínua está relacionado a maneira como os equipamentos de lubri-refrigeração utilizados no experimento atuam. Diferentemente da furação com retração, a furação contínua não permite que o MQF e o fluido de corte possam atuar diretamente na região do corte, uma vez que eles são aplicados externamente ao processo. Isso fica ainda mais evidente quando observamos que o método de furação a seco obteve os piores resultados com relação à cilindridade dos furos na furação com retração, pois, na furação com retração, o movimento de retrain a broca permite com que o fluido e o MQF possam adentrar diretamente na região principal do corte.

5. AGRADECIMENTOS

Agradecemos o apoio financeiro do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, Campus Cajazeiras.

6. REFERÊNCIAS

- CARDOSO, MARLON JOSÉ., 2014. Análise do processo de furação profunda no aço SAE 4144M endurecido utilizando MQL e broca helicoidal revestida. 2014. 135 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica e de Materiais) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba.
- DINIZ, A.; MARCONDES, F.; COPPINI, N., 2006. Tecnologia da Usinagem dos Materiais. 5. ed., São Paulo: Artliber Editora LTDA., 255 p.

LAWAL S. A., CHOUDHURY I. A., NUKMAN Y. A., 2012. Critical assessment of lubrication techniques in machining processes: a case for minimum quantity lubrication using vegetable oil-based lubricant. *Journal of Cleaner Production*, v. 41, p. 210 - 221.

OKIMURA, H., *et al.*, 2007. Usinagem da liga de alumínio ASTM AA 7050 por torneamento. In: IV Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação, São Pedro. Anais do IV COBEF. São Paulo: USP.

7. RESPONSABILIDADE AUTORAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

OBTAINING TIGHT TOLERANCES IN THROUGH HOLES FOR ALUMINUM 6061

Leandro Leite, leandro.leite@academico.ifpb.edu.br¹

Leandro Luttiane da Silva Linhares, leandro.luttiane@ifpb.edu.br¹

João Vitor de Queiroz Marques, joao.marques@ifpb.edu.br¹

Francisco Augusto Vieira da Silva, francisco.vieira@ifpb.edu.br¹

Francisco Mendes de Abreu, francisco.abreu@ifpb.edu.br¹

Tayla Fernanda Serantoni da Silveira, tayla.silveira@ifpb.edu.br¹

Joab Sobreira de Andrade, joab.andrade@ifpb.edu.br¹

¹Instituto Federal de Ciência, Educação e Tecnologia da Paraíba (IFPB), Laboratório Cajazeirense de Processos de Produção (LC2P), Campus Cajazeiras, Paraíba, Brasil.

Abstract. *In the machining process, it is difficult to obtain parts with exact measurements, because of the many factors that influence the machining process. Temperature is one of these factors, since both the friction between the chip and the exit surface, as well as plastic deformations, environmental/climatic factors, the internal heat generation of bearings and motors, among others, promote thermal gradients. in the process affecting the performance of the machining system. Because of these gradients, thermal deformations will affect the object to be machined, causing the measurement results to present errors. For the object of study of this work, which is the aluminum alloy 6061, they present high thermal conductivity, which aggravates the tolerance conditions. Thus, the objective of this work was to obtain, for the drilling operation, improvements in the quality of the holes in the aluminum alloy 6061, observing the aspects of shape tolerance, therefore, the geometries of the holes obtained by drilling in a center of machining – in such a way that two methodologies were approached: the first using the chip breaking strategy and the second using the chip retraction strategy. All processes were performed for a spouted dry machining and applying the MQF technique. The geometries of the holes were evaluated by a Coordinate Measuring Machine, verifying metrological characteristics of cylindricity. It was found that the drilling model applying the MQF technique, obtained favorable results for its implementation in drilling with retraction.*

Keywords: *Drilling, Machining, Cylindricity, Aluminum 6061, MQF.*