

ANÁLISE DO PROCESSO DE FURAÇÃO DE SUPORTES EM ALUMÍNIO 7075 PARA A FIXAÇÃO DE GRAMPOS PNEUMÁTICOS NA INDÚSTRIA

Felipe Arantes Brandão de Andrade, lipearantes@yahoo.com.br¹

Paulo Sérgio Martins, paulo.martins@prof.una.br¹

Elhadji Cheikh Talibouya Ba, cheikh.ba460@hotmail.com¹

Orlando Gama da Silva Júnior, orlando.silva@prof.una.br¹

Gabriel Vitor Costa Ferreira, gabrielvcostaf@hotmail.com¹

Gustavo Henrique Nazareno Fernandes, ghnfernandes@gmail.com²

Alysson Martins Almeida Silva, alysson_fisica@yahoo.com.br³

¹Centro Universitário Una, Engenharia Mecânica, Rua dos Aimorés, 1451, Lourdes, CEP: 30140-071, Belo Horizonte, Minas Gerais – Brasil.

²Universidade Federal de Minas Gerais, Engenharia Química, Av. Pres. Antônio Carlos, 6627, Pampulha, CEP: 31270-901, Belo Horizonte, Minas Gerais – Brasil.

³Universidade de Brasília - Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Mecânica – Campus Darcy Ribeiro, CEP: 70910-900, Brasília, Distrito Federal – Brasil.

Resumo: A furação das ligas de Alumínio é utilizada na indústria para a obtenção de superfícies cilíndricas e coaxiais ao eixo de rotação do movimento de corte, sendo considerado um processo preliminar para técnicas de fixação de parafusos. A usinagem da liga 7075 é possível em função de suas propriedades específicas, como boa usinabilidade e baixa densidade. Devido à relevância na fabricação de peças de alto desempenho em uma indústria automobilística, denominada no presente estudo como empresa X, foi realizada uma investigação da influência dos parâmetros de corte na qualidade dos furos usinados em liga de Alumínio 7075 T651, utilizando-se uma broca de metal-duro. Nessa empresa, utilizam-se suportes de grampos pneumáticos através desta liga, nos quais ainda não foram bem estabelecidos os parâmetros de corte adequados para execução dos furos. Deste modo, foram programados cinco parâmetros de corte em um centro de usinagem, dos quais se obtiveram meios para avaliar as tolerâncias do produto. Comprovou-se a evolução dos desvios geométricos com o aumento das velocidades de corte e avanço sobre as peças e estabilidade dos parâmetros de rugosidade superficial R_a . O melhor desempenho do processo foi obtido utilizando-se velocidade de corte de 33 m/min e velocidade de avanço de 280 mm/min.

Palavras-chave: Usinagem por furação, broca helicoidal, parâmetros de corte, alumínio aeronáutico.

1. INTRODUÇÃO

As operações de usinagem têm como propósito dar forma a materiais ou peças com dimensões que resultem na formação de cavacos. Para isso, são utilizadas ferramentas com geometrias que variam de acordo com a aplicação. As características de um material que permitem a qualidade do processo de remoção de cavaco estão diretamente associadas a suas propriedades mecânicas, conferindo certo grau de usinabilidade. Dentre os processos de usinagem tradicionais, a furação corresponde a 33% de todas as operações de usinagem e é responsável por cerca de 40% das operações de remoção de metal na indústria aeroespacial. Entre os materiais mais empregados na furação global de peças destacam-se as ligas de Al-Zn, derivadas de um metal recente na indústria. As propriedades do alumínio garantem altos níveis de resistência e boa resposta em ambientes severos, como os que apresentam agentes corrosivos (Castro, 2001; Mattos Júnior, 2010 e Martins, 2008).

A usinagem por furação da liga 7075 T651, também denominado alumínio aeronáutico, é possível em função de suas propriedades específicas, como usinabilidade e baixa densidade. Essa liga foi desenvolvida para melhorar as propriedades metalúrgicas do metal puro, garantindo propriedades mecânicas aprimoradas para a indústria aeronáutica e automobilística. A adição de zinco e magnésio, além de auxiliar o controle em ambientes corrosivos, permite obter uma alta relação resistência/peso e elevada usinabilidade. O cobre, em menor quantidade, auxilia o trabalho em altas temperaturas (Schroeter, 1989; Yamada, 2010; Mattos Júnior, 2010 e Martins, 2008).

De acordo com o princípio de independência, uma cota relativa a uma dimensão qualquer e sua tolerância limitam apenas o tamanho de um elemento geométrico. Uma tolerância linear controla apenas os tamanhos do elemento, mas

não os seus desvios geométricos de forma. Os desvios de forma das superfícies reais podem ser definidos como micrométricos (rugosidade) e macrométricos (retilidade, circularidade, cilindridade e planicidade). A aplicação do parâmetro rugosidade média (R_a) na indústria é muito grande e geralmente é usada no acompanhamento de vários processos de fabricação, sendo um indicador de possíveis variáveis desses processos, como exemplo, velocidade de corte, quantidade de fluido e velocidade de avanço. No entanto R_a é um parâmetro de natureza média, dependendo do tipo de processo é ideal que seja associado a outros parâmetros (Tavares, 2012; Taylor, 2000; Martins, 2008 e Oliveira, 2004).

Neste trabalho, foi realizado uma análise sobre a influência dos parâmetros de corte nas características de furos usinados em liga de Alumínio 7075 T651, empregados em uma indústria denominada como empresa X. Através de pesquisas bibliográficas e testes experimentais, buscou-se conceber um estudo de ferramentas e procedimentos de usinagem com melhor acabamento superficial final e controle dimensional por furação com broca de metal-duro helicoidal em um centro de usinagem. Foram estabelecidos valores de velocidade de avanço e velocidade de corte, avaliados os desvios geométricos através da medição dos erros de forma quanto à circularidade e cilindridade, estudo dos erros de batimento, análise da rugosidade superficial (R_a) resultante do processo de furação e uma avaliação da influência do material da broca nas características do produto final.

2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

2.1. Análise Química, Micrografia e Ensaio de Dureza do Objeto de Estudo

Na empresa X utiliza-se o Alumínio 7075 T651 para a obtenção de suportes de grampos pneumáticos, aplicados em operações robotizadas de pega e transporte de carrocerias, como apresentado na Fig. 1. A liga de Alumínio, após o processo de envelhecimento artificial, é usinada e são obtidos seis furos de fixação, dispostos em uma peça com dimensões de 90 x 85 x 15 mm.

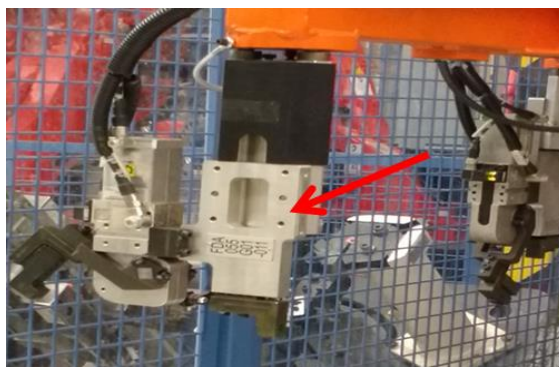


Figura 1. Grampo pneumático com suporte em Alumínio 7075 T651.

Uma amostra foi retirada de um suporte utilizado na empresa X, em que se obtiveram dimensões de 15 x 15 x 15 mm para exame químico. Com objetivo de avaliar a microestrutura, a amostra foi polida com lixas 240, 320, 400, 600 e 1000 mesh e enviada para um microscópio Leitz, com aumento de 500x. O ataque químico foi realizado com reagente Keller (2ml HF, 3ml HCl, 5ml HNO₃, 190ml H₂O) por imersão. Também foi efetuado um ensaio de dureza Brinell (HB) usando uma esfera de 10 mm e carga de 500 kgf.

2.2. Equipamentos, Instrumentos e Materiais de Trabalho

Os testes de usinagem foram realizados em um centro de usinagem Nardini Logic 195 II, com capacidade para até 3500 RPM. Para a fabricação dos furos, utilizou-se uma broca helicoidal de metal-duro da marca Sandvik Coromant, com revestimento de TiAlN, 90 mm de comprimento, 7,5 mm de diâmetro e tolerância H7. O fluido de corte utilizado foi uma emulsão de HOCUT® 795 B com concentração de 6%, aplicado a 5 bar de pressão. No laboratório de medição, os corpos de prova foram posicionados em um dispositivo de referimento geométrico Polyhedron e mensurados através de um braço tridimensional Faro modelo Edge. Os desvios de circularidade, cilindridade e diâmetro dos furos foram obtidos por meio do software PolyWorks 2016. Para avaliar a rugosidade média superficial dos furos utilizou-se um rugosímetro digital Mitutoyo modelo SJ-210.

2.3. Fabricação dos Corpos de Prova e Parâmetros de Usinagem

O processo de usinagem por furação foi realizado em um conjunto de cinco corpos de provas de Alumínio 7075 T651, com dimensões semelhantes aos suportes utilizados na empresa X, demonstrados na Fig. 2. A face posterior foi usinada em formato cilíndrico para fixação na castanha do centro de usinagem. Em cada corpo foi usinado apenas um único furo cilíndrico central.

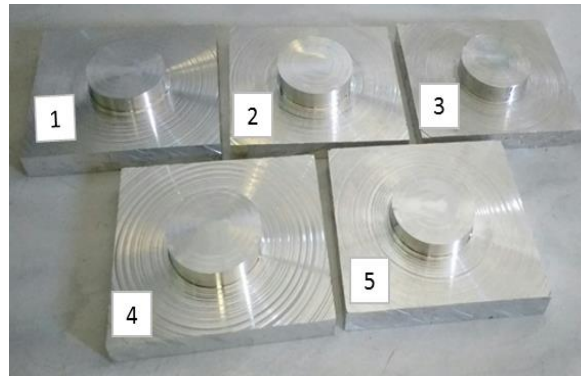


Figura 2. Corpos de prova fabricados para o estudo.

No decorrer da furação, foram escolhidos cinco parâmetros de corte distintos conforme a Tab. 1. Os parâmetros adotados para os corpos de prova 3 e 4 são normalmente empregados na empresa X. Para fins comparativos também foram utilizados parâmetros de velocidade de corte e rotação imediatamente inferiores e superiores aos padrões da empresa X, baseando-se no catálogo do fornecedor da ferramenta de corte.

Tabela 1. Parâmetros de corte utilizados em processo de furação.

Corpo de prova	Diâmetro do furo (mm)	Profundidade de corte (mm)	Avanço (mm/rot)	Rotação (rpm)	Velocidade de corte (m/min)	Velocidade de avanço (mm/min)	Tempo de corte (s)
1	$7,5^{+0,015}_{0,0}$	15	0,2	1400	33,0	280	3,21
2				1800	42,4	360	2,50
3				2200	51,8	440	2,05
4				2600	61,2	520	1,73
5				3000	70,7	600	1,50

2.4. Procedimento para Mensuração dos Furos

O procedimento de medição com braço Faro Edge permitiu estimar valores de diâmetro e desvios de forma em seis medições por peça, das quais se obtiveram os respectivos valores médios, como evidenciado na Fig. 3. O programa simplificou os dados obtidos através do braço Faro em pontos distintos do furo e calculou a média dos diâmetros através de um modelo 3D. No momento da medição, utilizou-se como referência o plano XY, ortogonal à seta em vermelho. Esse procedimento foi reproduzido em todos os corpos de prova.

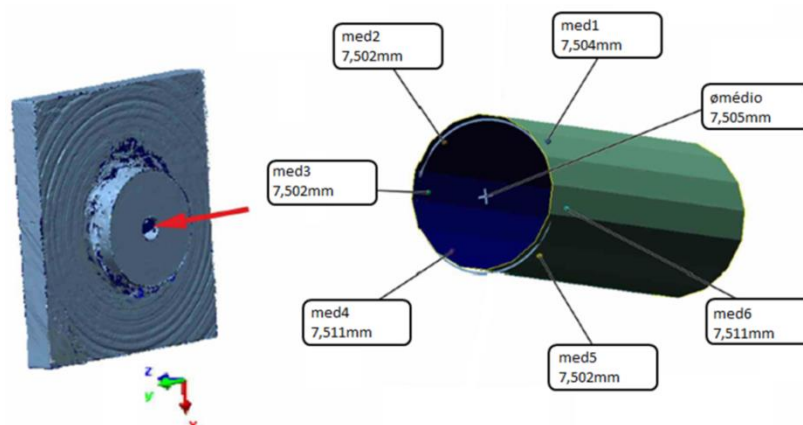


Figura 3. Layout com resultados de medição do diâmetro do corpo de prova de número 1 através do software PolyWorks 2016.

O programa permitiu a leitura de seis medições realizadas pelo metrologista em cada furo, dos quais se estimou obter um erro máximo de $\pm 0,9\%$ para condições de medição a 21°C . O erro de batimento foi aferido através de um relógio comparador Mitutoyo.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Análise da Liga de Alumínio 7075 T651

A composição química do Alumínio 7075 T651 em percentagem em peso foi verificada junto ao laboratório de materiais da empresa X, mostrada na Tab. 2. A análise permitiu verificar que a composição dos elementos de liga atendeu os limites da ABNT NBR 14227.

Tabela 2. Composição química da liga de Alumínio 7075 T651 obtida em experimento.

Elemento	%
Si	0,20
Fe	0,00
Cu	1,38
Mn	0,05
Mg	2,54
Cr	0,22
Zn	5,28
Ti	0,003
V	0,005
Al	89,98

Na Figura 4 pode-se observar a microestrutura em sentido longitudinal da liga 7075 T651, com ampliação de 500x. O material é constituído por uma matriz rica em alumínio alongado, com pequenos vazios (voids) e fases intermetálicas de $\text{Cr}_2\text{Mg}_3\text{Al}_{18}$ e FeMgAl_6 . O cromo, nesse caso, precipita-se com o alumínio e magnésio em solução sólida para a formação de dispersóides (Yamada, 2010; Schroeter, 1989 e Infomet, 2017).

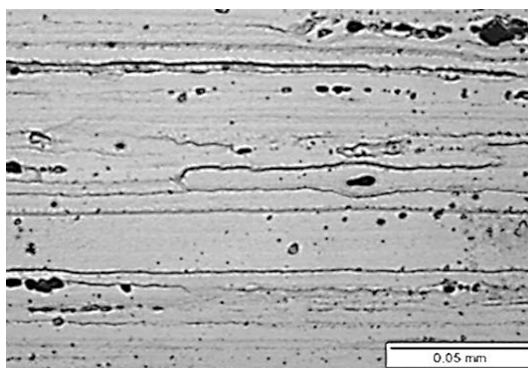


Figura 4. Microestrutura no sentido longitudinal da liga de Alumínio 7075 T651. Ref.: 500x.

No ensaio de dureza Brinell (HB) foi encontrado um valor de 158 HB, utilizando-se uma esfera de 10 mm e carga de 500 kgf. Esse valor supera o limite mínimo exigido pela NBR 14227 para o alumínio aeronáutico, estimado em 135 HB.

3.2. Análise Geométrica dos Furos

Relacionando o diâmetro dos furos com as velocidades de avanço, observa-se na Fig. 5 que o diâmetro do corpo de prova de número 1 atingiu um valor médio de 7,505 mm e apresentou-se dentro da tolerância prevista em projeto. O erro de batimento não interferiu nas dimensões do furo e na amplitude do desvio padrão. Apesar disso, nos demais corpos usinados o aumento da velocidade de avanço somado ao erro de batimento (mensurado um valor máximo de 0,05 mm no corpo 3) ocasionou erros de máximo diâmetro. O furo do corpo 3 obteve o pior resultado quando comparado ao furo do corpo 1 e alcançou um valor médio de 7,62 mm. O limite da tolerância de diâmetro para furos H7 pode ser observado nos traços em verde.

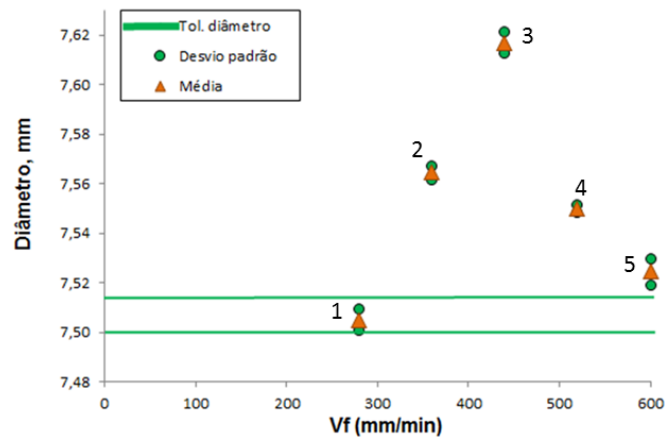


Figura 5. Diâmetro dos furos em função da velocidade de avanço.

As Figuras 6 e 7 mostram os resultados da circularidade e cilindridade em função da velocidade de avanço. Os valores apresentados nos furos dos corpos de prova número 1 e 2 atenderam a tolerância de circularidade estimada pela empresa X, de 8 μm . Quanto aos demais furos, os desvios podem estar associados à maior temperatura devido ao acréscimo da velocidade de corte e avanço, comprometendo a eficiência do fluido de corte. Além disso, foi observado um aumento de vibração da ferramenta de corte após usinagem do corpo número 3, o que causou um alargamento excessivo dos furos. O furo do corpo de prova 2 apresentou uma cilindridade até 19,3% superior ao estimado pela empresa X, com limite em 8 μm .

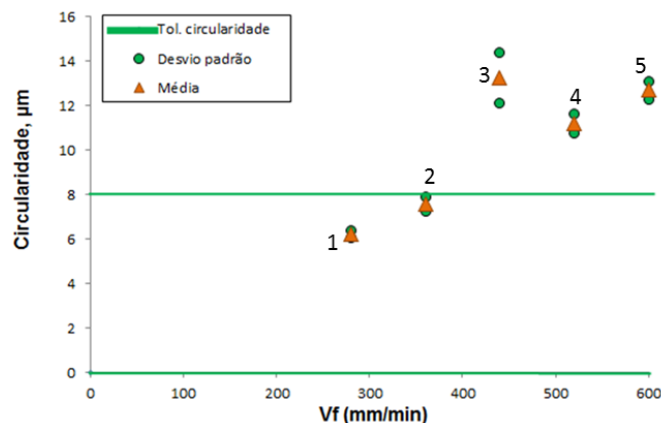


Figura 6. Circularidade em função da velocidade de avanço.

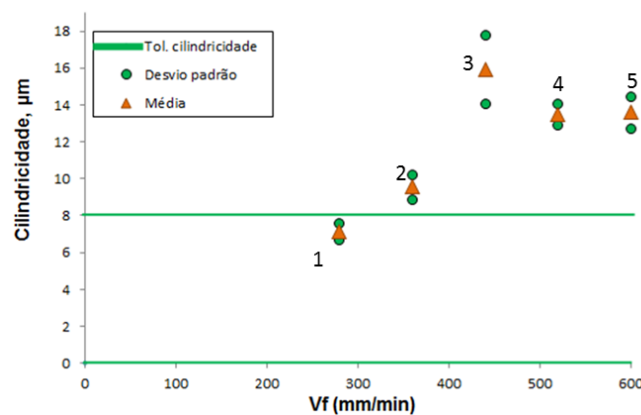


Figura 7. Cilindridade em função da velocidade de avanço.

A Figura 8 mostra os resultados da rugosidade média R_a obtidos para as velocidades de corte aplicadas na usinagem dos corpos de prova. Os parâmetros gerados ao longo do processo demonstraram que todos os furos obtiveram um resultado abaixo do limite de rugosidade, estimado pela empresa X em 6,3 μm . Apesar da estabilidade

dos valores, verificou-se maior dispersão no furo do corpo de prova 3. A rugosidade superficial desse furo atingiu um valor 82% superior quando comparado à rugosidade do furo usinado no corpo 1.

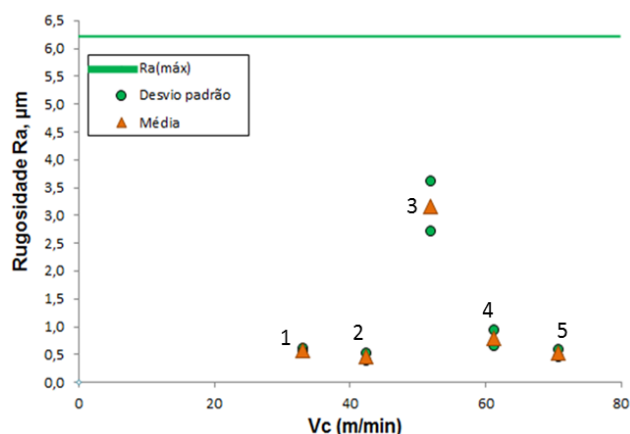


Figura 8. Análise da superfície R_a dos furos usinados.

Na avaliação de R_a , foi confirmado que as velocidades de corte não mostraram influência significativa na rugosidade superficial dos furos. Os desvios de rugosidade do corpo de prova número 3 podem ser decorrentes da ineficiência da emulsão na remoção de cavacos. Foi identificado a formação de superfície vibrada no furo de número 3, o que pode ter sido causado pelo efeito “stick-slip” devido à má lubrificação dos pontos de apoio do porta-ferramentas, ocasionando alargamento do furo. Apesar dos níveis de rugosidade obtidos dentro da tolerância do projeto, foi possível observar adesão de material metálico na superfície da ferramenta de corte, com geração de APC. O fenômeno foi observado com maior intensidade após o furo do corpo de prova 3.

4. CONCLUSÃO

O estudo teve por objetivo avaliar a influência dos parâmetros de corte nas características geométricas associadas aos desvios de forma e rugosidade superficial dos furos usinados em Alumínio 7075 T651. No ensaio não houve evolução do erro de batimento, que atingiu amplitude máxima 0,05 mm no corpo de prova 3. Em relação aos valores de diâmetro, o único furo que atendeu a tolerância H7 especificada na Tabela 1 foi o corpo de prova 1, com diâmetro médio de 7,505 mm. Os desvios de forma, representados pela circularidade e cilindridade, alcançaram valores de menor dispersão nos furos dos corpos 1 e 2. Pode-se dizer que os parâmetros macrogeométricos estudados foram influenciados negativamente com o aumento da velocidade de avanço. Justifica-se isso pelo aumento da temperatura na região de corte devido à ineficiência da aplicação da emulsão associada à alta expansão volumétrica do alumínio.

Em relação à rugosidade superficial, constatou-se que as velocidades de corte tiveram pouca influência no parâmetro R_a e todos os furos atenderam os limites estabelecidos. Constatou-se que com a elevação do número de corpos usinados, R_a atingiu o valor máximo de 3,17 μm e depois decresceu, o que pode ter sido ocasionado pelo desprendimento de aresta postiça para maiores velocidades de corte. O resultado apresentado no furo do corpo 3 mostra que a rugosidade é sensível à aplicação do fluido de corte, que por sua vez é comprometida com a formação da aresta postiça que dificulta a penetração do fluido na interface cavaco/ferramenta, principalmente em se tratando do processo de furação.

Sendo assim, a tolerância de superfície baseada nos quadros projetados pela empresa X permitiu chegar a uma boa aproximação das tolerâncias especificadas para os furos do experimento. Quanto aos desvios de circularidade e cilindridade, foi evidenciado que os parâmetros usualmente adotados na empresa X, para os corpos 3 e 4, não atenderam a qualidade do processo. Desse modo, pode-se concluir por meio do experimento que a faixa de parâmetros que se adequou as tolerâncias exigidas foi representada por $V_f = 280$ mm/min para o diâmetro, circularidade e cilindridade, e $V_c = 33$ a 70,7 /min para a rugosidade dos furos.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Ergmax Technologies pela disponibilidade do centro de usinagem CNC, ao Centro Universitário Una e a Universidade de Brasília (UnB) pelo apoio acadêmico.

6. REFERÊNCIAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas., 2007, “Alumínio na liga 7075: Produtos extrudados para fins aeroespaciais”. Requisitos NBR 14227. Rio de Janeiro, Brasil, 6p.

- Castro, P. R. A., 2001, “Aspectos tecnológicos da usinagem a seco e com mínima quantidade de fluido de corte na furação com broca helicoidal”. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, Brasil, 208p.
- Infomet., 2017, “Biblioteca de metais & ligas: Al-Zn”. Site disponível em: <<http://www.infomet.com.br/site/metais-e-ligas-conteudo-ler.php?codAssunto=55>>. Acesso: Julho de 2017.
- Martins, P. S., 2008, “Avaliação dos sistemas de fixação hidráulico e térmico de broca de metal duro em furação do cabeçote do motor fire”. Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. Belo Horizonte, Brasil, 108p.
- Mattos Júnior, P. A., 2010, “O comportamento da corrosão sob tensão da liga 7075 – T6 para futuras utilizações em projetos mecânicos”. Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. Belo Horizonte, Brasil, 90p.
- Oliveira, C. J., 2004, “Avaliação da influência de sistemas de filtragem aplicados à topografia de superfície em usinagens”. Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. Belo Horizonte, Brasil, 135p.
- Schroeter, R. B., 1989, “Alargamento de precisão em alumínio aeronáutico com ferramentas de gume único regulável”. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, Brasil, 130p.
- Tavares, J. M. R. S., 2012, “CFAC – Concepção e fabrico assistidos por computador: Toleranciamento geométrico”. FEUP. Porto, Portugal. 122p.
- Taylor Hobson Precision., 2000, “Guide to surface texture parameters”. Leicester, United Kingdom.
- Yamada, Y., 2010, “Melhoria da produtividade na obtenção de furos em liga de alumínio aeronáutico com ferramentas de aço rápido”. Universidade Estadual de Campinas. Campinas, Brasil, 122p.

7. RESPONSABILIDADE AUTORAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

ANALYSIS OF DRILLING PROCESS OF 7075 ALUMINIUM ALLOY SUPPORTS FOR ANCHORING PNEUMATIC CLAMPS IN THE INDUSTRY

Felipe Arantes Brandão de Andrade, lipearantes@yahoo.com.br¹

Paulo Sérgio Martins, paulo.martins@prof.una.br¹

Elhadji Cheikh Talibouya Ba, cheikh.ba460@hotmail.com¹

Orlando Gama da Silva Júnior, orlando.silva@prof.una.br¹

Gabriel Vitor Costa Ferreira, gabrielvcostaf@hotmail.com¹

Gustavo Henrique Nazareno Fernandes, ghnfernandes@gmail.com²

Alysson Martins Almeida Silva, alysson_fisica@yahoo.com.br³

¹Una University Center, Mechanical Engineering, Aimorés Street, 1451, Lourdes, 30140-071, Belo Horizonte, Minas Gerais – Brazil.

²Federal University of Minas Gerais, Chemical Engineering, Pres. Antônio Carlos Avenue, 6627, Pampulha, 31270-901, Belo Horizonte, Minas Gerais – Brazil.

³Brasília University – Technology College, Mechanical Engineering Department – Campus Darcy Ribeiro, 70910-900, Brasília, Distrito Federal – Brazil.

Abstract. Aluminum alloy drilling is applied in the industry to get cylindrical and coaxial surfaces to the rotation axis of the cutting movement and it is considered a preliminary process for screw fastening techniques. Machining of the 7075 alloy is possible due to its specific properties, such as good machinability and low density. Due to the relevance in the manufacture of high performance components in an automobile industry, denominated in the present study as X company, an investigation of the influence of the cutting parameters on the holes quality machined in 7075 T651 Aluminum alloy was performed, using a solid carbide drill. In this company, pneumatic clamps are used through this alloy, where the appropriate cutting parameters for the drilling of the holes have not yet been well established. In this way, five cutting parameters were programmed in a machining center to evaluate the tolerances of the product. It was verified the evolution of the geometric deviations with the increase of the cutting speed and advance speed over the parts and stability of the surface roughness parameters R_a . The best process performance was obtained using a cutting speed of 33 m/min and an advance speed of 280 mm/min.

Keywords: Drilling machine, helical drill bits, cutting parameters, aeronautical aluminum.