

ESTUDO DA FORMAÇÃO DE REBARBAS NA FURAÇÃO DA LIGA DE ALUMÍNIO 6063 T5 COM BROCA HELICOIDAL

Nathan Bitencourt Pereira¹

Gil Magno Portal Chagas¹

Gabriel Costa Sousa²

Delcio Luis Demarchi¹

¹Instituto Federal de Santa Catarina, Rua dos Imigrantes, 445 – Rau, Jaraguá do Sul – SC

²Instituto Federal de Santa Catarina, Av. Mauro Ramos, 950 - Centro, Florianópolis - SC

nathanbitencourt@hotmail.com

gilchagas@ifsc.edu.br

gabrielcosta@ifsc.edu.br

delcio.demarchi@ifsc.edu.br

Resumo. No processo de furação de ligas de alumínio dúcteis ocorre uma tendência de formação de rebarbas na peça. A remoção dessas rebarbas aumenta o custo de fabricação do produto e, caso não seja executada adequadamente, pode causar sérios danos ao produto final. Dessa forma, foi elaborado um estudo para analisar a formação de rebarbas na furação da liga de alumínio 6063 T5 em diferentes condições de corte. Foram utilizadas brocas helicoidais de aço rápido do tipo N e W, com 10 mm de diâmetro. A broca tipo N possui ângulo de hélice de 30° e ângulo de ponta de 118° com afiação normal; a broca tipo W possui ângulo de hélice de 40° e ângulo de ponta de 135°, com afiação tipo cruz. O planejamento experimental foi realizado com três velocidades de corte e três avanços. As rebarbas geradas foram classificadas conforme o tipo e realizada a medição das suas alturas. Os resultados foram avaliados por análise de variância. O tipo de broca e o avanço foram os fatores que influenciaram de forma significativa na formação das rebarbas. A furação com broca tipo W obteve as menores rebarbas, por outro lado, as maiores rebarbas foram obtidas no maior avanço, independentemente do tipo de broca ou velocidade de corte utilizada.

Palavras chave: Furação. Usinagem. Rebarbas. Broca helicoidal. Alumínio 6063 T5.

1. INTRODUÇÃO

Um dos problemas da usinagem é a geração de rebarbas, que são materiais indesejáveis fixos nas bordas das peças, provenientes dos processos de fabricação. A presença das rebarbas gera grandes impactos econômicos, isso porque um processo posterior para remoção, denominado de rebarbação, deve ser realizado. Os processos de furação e rebarbação são realizados nas etapas finais da produção, desta forma, um erro nessas etapas pode gerar grandes perdas (Kilickap, 2010).

De acordo com Lekkala *et al.* (2011), as rebarbas, quando não removidas, podem gerar problemas ao se romperem durante o funcionamento ou montagem da peça. O desprendimento de uma rebarba dentro de um equipamento em funcionamento pode causar graves danos e comprometer o seu funcionamento, além de gerar risco físico ao operador ou montador durante a usinagem ou montagem, devido às arestas cortantes formadas.

Em muitos casos, o aumento da formação das rebarbas também gera um maior desgaste das ferramentas (Aurich *et al.*, 2009). Segundo Kim, Min e Dornfeld (2001), para avaliar a formação das rebarbas é importante determinar quais são os tipos formados, pois de acordo com o tamanho e formato, o custo para removê-las pode aumentar. Dessa forma, os autores apresentaram uma classificação de cinco diferentes tipos de rebarbas geradas na furação. As rebarbas tipo 1 e 2 são uniformes e apresentam altura e espessura pequenas ao redor da periferia do furo. A rebarba tipo 3 também apresenta aspecto uniforme, porém há a formação de uma tampa ao fim da perfuração, quando o material que sobra é dobrado e empurrado para fora formando a tampa de broca. A rebarba tipo 4, denominada de coroa, possui altura irregular e é maior que as uniformes. Por fim, as rebarbas transitórias, que possuem uma grande seção irregular distribuída ao redor do furo.

Os principais fatores que favorecem a formação das rebarbas são as propriedades plásticas do material usinado, os parâmetros de corte do processo e o percurso realizado pela ferramenta de corte. A deformação plástica dos materiais dúcteis, como o alumínio, é um fator que afeta diretamente a formação das rebarbas (Aurich *et al.*, 2009). Na furação, o avanço da ferramenta está diretamente relacionado à força de empuxo, que determina a deformação plástica do material no fim do processo. Portanto, quanto maior o avanço, maior será a força de empuxo. Já a velocidade de corte afeta a geração de calor na aresta de corte e as temperaturas têm efeitos nas propriedades do material, além de afetar o desgaste da ferramenta. Dessa forma, tais fatores influenciam a formação das rebarbas no processo de furação (Kim; Min; Dornfeld, 2001).

Alguns autores têm buscado estabelecer relações entre as geometrias das brocas e a formação das rebarbas. Soares Filho (1995), ao avaliar a furação do alumínio 6063-0, verificou que com o aumento do ângulo de hélice da broca, a altura e a espessura das rebarbas tendem a diminuir consideravelmente. Ko e Lee (2001) realizaram um estudo com a furação de alumínio puro e das ligas SM20C, Al6061 e SM45C, e obtiveram uma diminuição dos tamanhos das rebarbas quando o ângulo de ponta da broca foi aumentado de 118° para 140°. Lauderbaugh (2009) estudou a formação das rebarbas nas ligas de alumínio 2024-T351 e 7075-T6 e concluiu que o ângulo de ponta tem efeito significativo na altura das rebarbas.

Bahc e Özdemir (2019) avaliaram a furação com broca helicoidal em uma peça com superfície curva de uma liga de alumínio Al 7075. Os autores concluíram que o avanço, a velocidade de corte e a inclinação da superfície curva na saída do furo têm efeitos significativos na formação das rebarbas. Pramanik *et al.* (2019) avaliaram os efeitos do avanço, da velocidade de corte e do ângulo de ponta na furação de um aço carbono grade 350. Os autores verificaram que a altura da rebarba é reduzida com um aumento da velocidade e com a diminuição do avanço e do ângulo de ponta da ferramenta. Eltaggaz e Deiab (2019) apresentaram um estudo que avaliou a formação das rebarbas em uma liga de Titânio Ti-6Al-4V. Foram utilizadas duas estratégias de furação, uma direta e outra intermitente, em três etapas. Os resultados mostraram que a furação direta gera maiores rebarbas, o que foi atribuído ao maior aquecimento da peça, uma vez que na furação intermitente ocorre um melhor efeito da lubrificação no processo, com efeito na redução da temperatura.

O processo de remoção das rebarbas tem um custo elevado, não agrega valor ao produto, e muitas vezes é difícil ou mesmo impossível de ser realizado. Por este motivo, o ideal é diminuir sua formação e, se possível, evitá-la. Quando a furação é aplicada em ligas de alumínio com alta ductilidade, a formação das rebarbas é praticamente inevitável, por isso, a escolha adequada dos parâmetros de corte e geometrias das ferramentas a serem aplicadas é de fundamental importância.

Dessa forma, este trabalho tem o objetivo de avaliar o efeito da geometria da ferramenta e dos parâmetros de corte na furação da liga de alumínio 6063 T5 utilizando dois diferentes tipos de brocas helicoidais de aço rápido e considerando aspectos como tamanho e tipo de rebarbas geradas.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Materiais

O material utilizado neste trabalho foi a liga de alumínio Al6063 T5, fornecido na forma de barra chata, com as medidas de 12,7x25,4x3000mm. A Tabela 1 indica a composição química da amostra fornecida pelo fornecedor Shock Metais, segundo o certificado de qualidade 000182780/01. A Tabela 2 indica as propriedades mecânicas certificadas. É possível verificar o valor do alongamento percentual, de 23,32%, que caracteriza a elevada ductilidade do material.

Tabela 1. Composição Química do Alumínio 6063 T5 (Shock Metais®, 2017)

Composição (%)								
Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Si	Ti	Zn	Al
0,010	0,010	0,220	0,490	0,020	0,480	0,020	0,000	Restante

Tabela 2. Propriedades Mecânicas do Alumínio 6063 T5 (Shock Metais®, 2017)

Propriedades Mecânicas	
Alongamento (%)	Limite de resistência (Mpa)
23,32	232,81

2.2 Ferramentas de corte

Foram selecionados dois tipos de brocas helicoidais de aço rápido para realização dos experimentos, ambos com diâmetro de 10 mm. A primeira foi a broca tipo N, a mais comum do mercado e mais utilizada pelas indústrias em geral. A segunda, tipo W, é indicada para furação em alumínio, porém se trata de uma ferramenta com maior custo e menor utilização no mercado.

A broca tipo N, da marca Irwin®, apresenta uma geometria com ângulo de hélice de 30° e ângulo de ponta de 118° com afiação normal. A tipo W possui ângulo de hélice de 40° e ângulo de ponta de 135° com afiação tipo cruz, da fabricante Rocast®.

As brocas foram utilizadas conforme fornecidas, sem haver qualquer modificação na sua forma, como afiação ou revestimento especial.

2.3 Equipamentos

Os corpos de prova foram usinados em um centro de usinagem de três eixos da marca Romi®, modelo D600. O equipamento possui eixo-árvore vertical, com rotação máxima de 7000rpm com potência de 15kw / 20cv, cone do eixo árvore ISO 40 e comando Fanuc™ Series Oi-MC.

A avaliação das rebarbas foi realizada em um estereoscópio do fabricante Zeiss®, modelo Stemi 2000-C, com uma câmera acoplada Axio Cam ER5s e ampliação de 5 vezes.

2.4 Métodos

Os corpos de provas foram cortados em barras de 12,7 x 25,4 x 100 mm e foram realizados 5 furos para cada variação de parâmetro. A posição de cada furo foi realizada conforme Fig. 1.

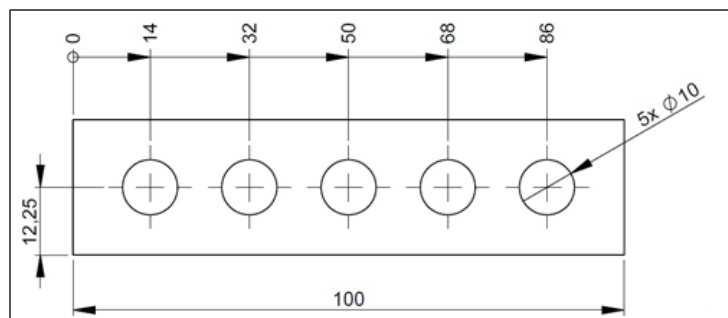


Figura 1. Corpo de prova

Os parâmetros de corte foram selecionados conforme recomendações dos fabricantes e da literatura. SKF® (1989), traz algumas faixas de velocidade de corte, onde, para furação de ligas de alumínio sem silício, com geração de cavacos longos, recomenda-se de 63 a 100m/min e para geração de cavacos curtos de 40 a 63m/min. Weingaertner e Schoroeter (1990) recomendam para a furação com brocas helicoidais e ligas de alumínio com teor de silício menor que 12% velocidades de corte de 80 a 120m/min e avanço de 0,02 a 0,5mm/rot. A tabela 3 traz o número de ensaios, os parâmetros de corte e o tipo de broca utilizado em cada amostra do corpo de prova. Deve-se ressaltar que foram realizados 5 furos em cada amostra, conforme Fig. 1.

Tabela 3. Parâmetros de corte

nº Amostra	f (mm/rot)	vc (m/min)	Tipo Broca
1	0,05	40	N
2	0,05	63	N
3	0,05	100	N
4	0,15	40	N
5	0,15	63	N
6	0,15	100	N
7	0,30	40	N
8	0,30	63	N
9	0,30	100	N
10	0,05	40	W
11	0,05	63	W
12	0,05	100	W
13	0,15	40	W
14	0,15	63	W
15	0,15	100	W
16	0,30	40	W
17	0,30	63	W
18	0,30	100	W

Para a realização dos testes foi adotado como critério de vida da ferramenta a abertura de 15 furos, devido ao baixo nível de desgaste da broca em relação ao alumínio. Todo ensaio de usinagem foi realizado com refrigeração. O fluido de corte utilizado foi do tipo solúvel semi-sintético Lub Kort do fabricante Aylvore®, com diluição de 10%.

Foram avaliadas apenas as rebarbas de saída, sendo adotado como critério de medição a altura máxima de cada furo. A classificação das rebarbas foi realizada de acordo com o método desenvolvido por Kim, Min e Dornfeld (2001) que atribuiu cinco diferentes tipos: a uniforme tipo 1, uniforme tipo 2, uniforme com tampa de broca, coroa e transitória.

Foi gerada uma média das alturas das rebarbas dos cinco furos de cada corpo de prova e utilizado este valor como resultado. Com os resultados gerou-se uma análise de variância (ANOVA) por meio do software Minitab™, com os dados das alturas das rebarbas obtidas em cada furo.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura 2 mostra os cinco diferentes tipos de rebarbas obtidos nos ensaios realizados e sua classificação. É possível observar a grande diferença das alturas das rebarbas, em função do tipo de rebarba gerada.

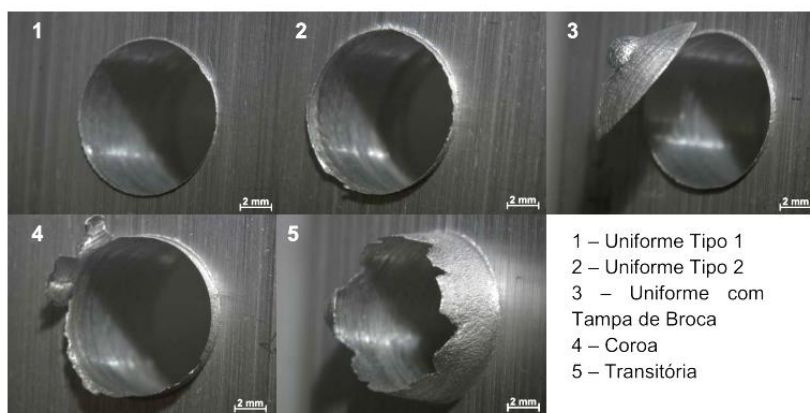


Figura 2. Tipos de rebarbas obtidas

Para medição da altura das rebarbas foram consideradas apenas o ponto mais alto da rebarba de cada furo, como mostra a Fig. 3. Os valores foram tabelados e geradas as médias e desvio padrão de cada amostra.

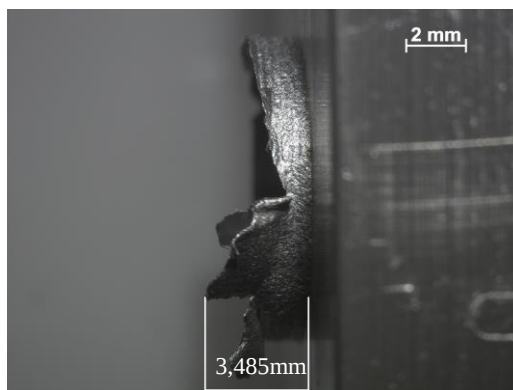


Figura 3. Método de Medição da Altura da Rebarba

A partir dos resultados obtidos, foi realizado uma análise de variância (ANOVA) com nível de confiança de 95%, para verificar a importância dos fatores tipo de broca, avanço e velocidade de corte na formação das rebarbas durante a furação. De acordo com os resultados obtidos pela ANOVA, os fatores tipo de broca e avanço obtiveram um P-valor inferior a 0,05, o que indica com 95% de confiabilidade que estes fatores influenciam na altura da rebarba. Por outro lado, o fator velocidade de corte obteve um P-valor de 0,268, o que indica que não há evidências suficientes para afirmar que este fator tem influência na formação de rebarbas.

A Figura 4 traz o gráfico gerado a partir da ANOVA, que permite comparar o efeito de cada fator avaliado em relação à altura das rebarbas geradas.

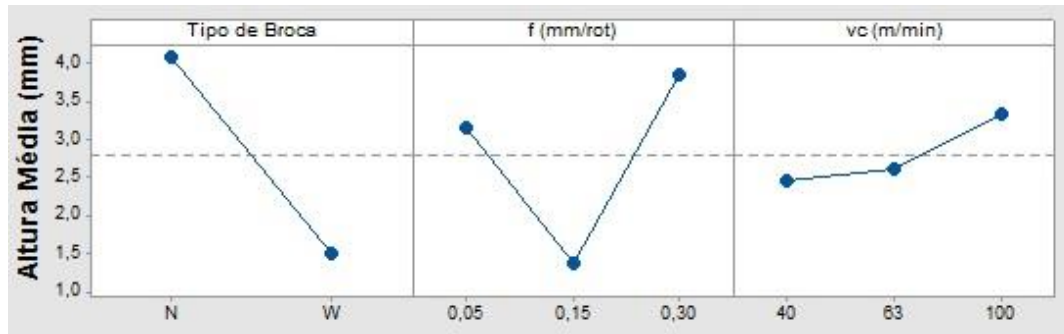


Figura 4. Efeito dos Fatores na Formação de Rebarbas

Conforme análise da Fig. 4, o tipo de broca tem um grande efeito na formação das rebarbas, pois além da variação do ângulo de hélice de 30° (broca tipo N) para 40° (broca tipo W), tem-se a variação do ângulo de ponta, que na broca N é 118° e na broca W 135°. Este resultado está de acordo com os obtidos por Soares Filho (1995), no qual mostra que o aumento do ângulo de hélice tem grande influência na diminuição das rebarbas geradas. Também corrobora com os resultados obtidos neste estudo o trabalho de Ko e Lee (2001) que apresentaram uma redução do tamanho das rebarbas com o aumento do ângulo de ponta da broca.

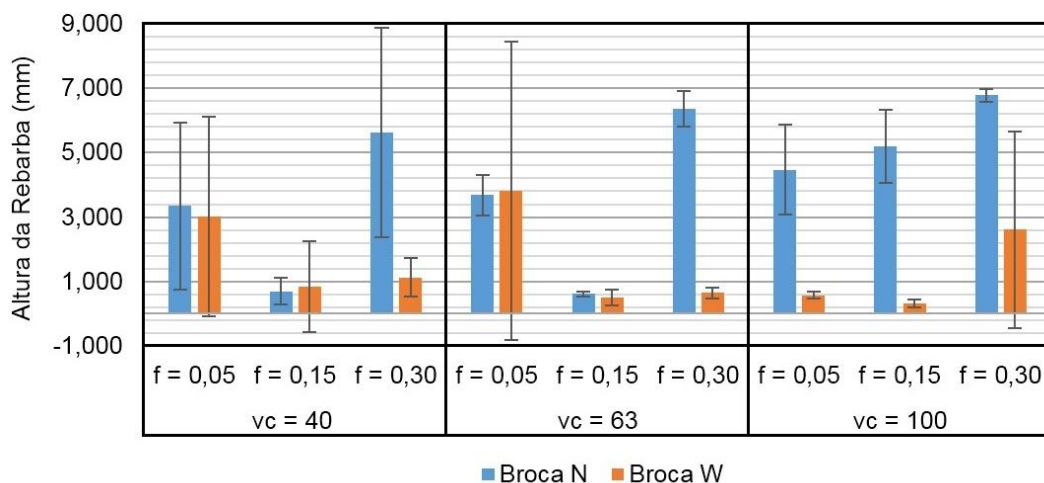
Em relação ao avanço, as menores rebarbas foram obtidas quando foi utilizada a taxa de 0,15 mm/rot. Com taxa de avanço de 0,05mm/rot obteve-se uma rebarba intermediária e com 0,30mm/rot uma rebarba maior. Este resultado está de acordo com o obtido por Abdelhafeez et al. (2015), em que os valores intermediários de avanço proporcionaram as menores rebarbas, tanto na liga de alumínio Al 7010, quanto na liga Al 2024, e em ambos os materiais, para a menor taxa de avanço (0,08mm/rot) foram encontradas as maiores rebarbas.

As maiores rebarbas, que ocorreram na maior taxa de avanço utilizada neste trabalho, podem ser explicadas pelo maior valor da força aplicada na direção do movimento de avanço. Por outro lado, os valores elevados das alturas das rebarbas para a taxa de avanço mais baixa pode ser explicado por outro tipo de mecanismo. Neste caso, segundo Abdelhafeez et al. (2015), existe uma tendência de formação de rebarba no sentido do corte, devido ao valor do avanço estar próximo ou abaixo do raio da aresta de corte da broca, o que induz a uma deformação plástica localizada em um mecanismo denominado de *ploughing* (sulcamento).

A velocidade de corte não apresentou influência significativa na formação das rebarbas. Neste caso, o efeito do aumento da temperatura, devido a maior velocidade corte, não promoveu um aumento significativo da altura das rebarbas. Este resultado confirma o estudo de Abdelhafeez et al. (2015), que também não encontrou grande influência da velocidade de corte na formação das rebarbas durante a furação em alumínio.

A partir dos resultados coletados, foi gerado um gráfico, apresentado na Fig. 5, com um comparativo das alturas médias e desvio padrão encontrados e os respectivos parâmetros de corte, a fim de verificar quais combinações de fatores obtiveram as menores rebarbas.

Figura 5. Altura da Rebarba – Tipo de Broca x Avanço (mm/rot) x Velocidade de Corte (m/min)



Conforme análise, a melhor combinação de parâmetros para evitar a formação de rebarbas foi a utilização da broca tipo W, com avanço de 0,15mm/rot e velocidade de corte de 100 m/min. Neste caso, o maior ângulo de hélice, 40°, e maior ângulo de ponta, 135°, da broca W se mostrou eficaz.

As variações do tipo de broca e avanço estão de acordo com os obtidos na ANOVA, onde a broca W e avanço médio são os fatores mais indicados para obter uma menor rebarba. As maiores rebarbas foram encontradas quando foi utilizada a broca tipo N.

4. CONCLUSÕES

Após a realização dos ensaios de furação da liga de alumínio 6063 T5, e análise dos resultados, pode-se concluir que:

- a) O tipo de broca e o avanço tem grande influência na formação de rebarbas na furação da liga avaliada;
- b) A broca W mostrou-se muito eficiente na diminuição da rebarba formada, quando compara a tipo N, tanto no tipo da rebarba quanto na altura;
- c) Os maiores valores na altura da rebarba foram obtidos quando foi utilizado o avanço máximo (0,30 mm/rot), devido ao maior valor da força aplicada para promover o movimento na direção do avanço. Dessa forma, é confirmada a tendência relatada na literatura;
- d) A menor rebarba ocorreu quando foi utilizada a broca tipo W, com avanço intermediário de 0,15mm/rot e velocidade máxima de 100 m/min.

4. REFERÊNCIAS

- ABDELHAFEEZ, A.M. et al., 2015. "Burr Formation and Hole Quality When Drilling Titanium and Aluminium Alloys". *Procedia CIRP*. Vol. 37. p. 230-235.
- AURICH, J.C. et al., 2009. "Burrs Analysis, Control and Removal". *Cirp Annals - Manufacturing Technology*. Vol. 58. p. 519-542.
- BAHÇE, E.; ÖZDEMİR, B., 2019. "Investigation of the burr formation during the drilling of free-form surfaces in al 7075 alloy". *Journal of Materials Research and Technolog*. Vol. 8, n. 5, p. 4198-4208.
- ELTAGGAZ, A.; DEIAB, I., 2019. "Comparison of between direct and peck drilling for large aspect ratio in Ti-6Al-4V alloy". *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. Vol. 102, n. 9-12, p. 2797-2805.
- KILICKAP, E., 2010. "Modeling and Optimization of Burr Height in Drilling of Al-7075 Using Taguchi Method and Response Surface Methodology". *Int J Adv Manuf Technol.*, p. 911-923.
- KIM, J.; MIN, S.; DORNFELD, D. A., 2001. "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*. Berkeley, CA, USA, p. 923-936. 2001.
- KO, S.; LEE, J., 2001. "Analysis of burr formation in drilling with a new-concept drill". *Journal of Materials Processing Technology*. Seoul, p. 392-398.
- LAUDERBAUGH, L. K., 2009. "Analysis of the Effects of Process Parameters on Exit Burrs in Drilling Using a Combined Simulation". *Journal of Materials Processing Technology*. Colorado Springs, USA, p. 1909-1919.
- LEKKALA, R. et al., 2011. "Characterization and modeling of burr formation in micro-end milling". *Precision Engineering*. Vol. 35, n. 4, p. 625-637.
- PRAMANIK, A. et al., 2019. "Burr formation during drilling of mild steel at different machining conditions". *Materials and Manufacturing Processes*. Vol. 34, n. 7, p. 726-735.
- SKF, Ferramentas S.A., 1989. *Manual Técnico SKF*. 2. ed. São Paulo: SKF Ferramentas, 261 p.
- SOARES FILHO, M., 1995. *Estudo da Formação de Rebarbas no Processo de Furação*. 1995. 159 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC.
- WEINGAERTNER, W. L.; SCHROETER, R. B., 1990. *Tecnologia de Usinagem do Alumínio e Suas Ligas*. São Paulo: Alcan Alumínio do Brasil, 73 p.

5. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

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

STUDY OF BURR FORMATION WHEN DRILLING ALUMINUM 6063 T5 ALLOY WITH TWIST DRILL

Nathan Bitencourt Pereira¹
Gil Magno Portal Chagas¹
Gabriel Costa Sousa²
Delcio Luis Demarchi¹

¹Instituto Federal de Santa Catarina, Rua dos Imigrantes, 445 – Rau, Jaraguá do Sul – SC

²Instituto Federal de Santa Catarina, Av. Mauro Ramos, 950 - Centro, Florianópolis - SC

nathanbitencourt@hotmail.com

gilchagas@ifsc.edu.br

gabrielcosta@ifsc.edu.br

delcio.demarchi@ifsc.edu.br

Abstract. *In the drilling process of ductile aluminum alloys, there is a tendency for burrs formation. Removing these burrs increases the cost of manufacturing the product and, if not performed properly, can cause serious damage to the final product. Thus, a study was carried out to analyze the formation of burrs when drilling the aluminum 6063 T5 alloy in different cutting conditions. Twist drills type N and W with a diameter of 10 mm were used. The type N drill has a helix angle of 30° and a tip angle of 118° with normal sharpening and the type W drill has a helical angle of 40° and a 135° tip angle with cross-type sharpening. The experimental procedures were carried out with three cutting speeds and feeds. The burrs generated were classified according to the type and their height was measured. The results were evaluated by analysis of variance. The type of drill and the feed were the factors that significantly influenced the formation of burrs. Drilling with a W-type drill obtained the smallest burrs, on the other hand, the largest burrs were obtained with the greatest feed rates.*

Keywords: Drilling. Machining. Burrs. Twist drill. Aluminum 6063 T5

RESPONSIBILITY NOTICE

The authors are the only responsible for the printed material included in this paper.