

ANÁLISE DO ACABAMENTO SUPERFICIAL NA USINAGEM DE LIGA DE BRONZE-ALUMÍNIO-NÍQUEL SEM UTILIZAÇÃO DE FLUIDO DE CORTE

Givanildo Alves dos Santos
Marcos de Aguiar Guimarães
Herbert César Gonçalves de Aguiar
Maurício Silva Nascimento

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, CEP 01109-010, São Paulo, Brasil
givanildo@ifsp.edu.br, maguiar@ifsp.edu.br, herbert.cga@ifsp.edu.br, mauricio.nascimento@ifsp.edu.br

Vinícius Torres dos Santos
Márcio Rodrigues da Silva

Centro Educacional da Fundação Salvador Arena, CEP 09850-550, São Bernardo do Campo, Brasil
vinicius.ts1@hotmail.com; marcio.rdrigs.slv@gmail.com

Antonio Augusto Couto

Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, IPEN, CEP 05508-000, São Paulo, SP, Brasil
acouto@ipen.br

Gilmar Ferreira Batalha

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, CEP 05508-900, São Paulo, SP, Brasil
gfbatalha@gmail.com

Resumo. As ligas bronze-alumínio-níquel têm usinabilidade de 20 a 40% comparada com o latão de corte livre, de forma que os parâmetros de corte destas ligas podem diferir bastante dos utilizados para outras ligas de cobre e a ausência de contaminação por fluidos de corte possibilita um maior valor na venda dos cavacos, encorajando a utilização de usinagem sem refrigeração. Neste trabalho foi avaliado o comportamento quanto ao acabamento superficial na usinagem da liga bronze-alumínio-níquel CuAl10Ni5Fe5 com pastilha de metal duro em diferentes velocidades de corte, sem utilização de fluido de corte (refrigerante). Os resultados mostraram menor valor e maior estabilidade da rugosidade em condições de velocidades de corte mais altas.

Palavras chave: Usinagem, Bronze-alumínio, Acabamento superficial, Rugosidade

1. INTRODUÇÃO

O cobre e suas ligas constituem um dos principais grupos de materiais metálicos, os quais vêm sendo amplamente utilizados na indústria, devido à sua excelente condutividade elétrica e térmica, além de elevada resistência à corrosão. O cobre comercialmente puro é muito utilizado para fabricação de fios e cabos, contatos elétricos, e vários outros componentes condutores de energia elétrica. O cobre ligado a outros elementos formam ligas como os bronzes alumínio, que expandem o campo de aplicação do cobre (ASM, 1992 apud Silva, 2015). Conforme Santos (2015), a resistência mecânica do cobre puro é relativamente baixa, alcançando valores de resistência à tração na ordem de 170 MPa, porém, ao adicionar elementos de liga, as propriedades mecânicas se elevam. As ligas de cobre e alumínio são conhecidas como bronze-alumínio e junto com a adição de outros elementos de liga tem grande aplicação na indústria. Destas, a liga bronze-alumínio-níquel CuAl10Ni5Fe proporciona uma combinação de elevadas resistências mecânica, ao desgaste e à corrosão. Uma das principais aplicações dessa liga está na fabricação de buchas de rolamentos aplicados em sistemas de trem de pouso na indústria aeroespacial. A liga CuAl10Ni5Fe também é muito aplicada nos setores navais, *off-shore* e militar da Marinha, na fabricação de buchas de rolamento, componentes de propulsão e hélice de baixo ruído (Santos, *et al.*, 2017, Nascimento, *et al.*, 2019).

Destacam-se na indústria aeroespacial, as aplicações das ligas de bronze-alumínio na fabricação de buchas de mancais deslizantes e anéis de rolamento em trem de pouso, que exigem processos de usinagem com apertadas tolerâncias dimensionais e de rugosidade para atender às exigências de trabalho em altas solicitações de carga (Saha, *et al.*, 2017). Atualmente é bem conhecido nos países industrializados o efeito prejudicial dos fluidos de corte à saúde e ao meio ambiente, particularmente em relação à sua degradação, fazendo com que a disposição final seja um grande problema. Muitos países têm estabelecido rigorosos regulamentos para reduzir a poluição por fluidos industriais, fazendo com que a indústria do metal procure por processos confiáveis que possam eliminar ou prolongar a vida útil dos fluidos aplicados na usinagem, minimizando o custo de descarte ou substituindo esses fluidos (Kuram et al., 2013). Por outro lado, as ligas bronze-alumínio têm um alto valor de reciclagem, sendo economicamente interessante a usinagem sem utilização de fluido de corte para evitar a contaminação dos cavacos (Richardson, 2016). Portanto, tendo em vista o grande campo de aplicação industrial das ligas fundidas de Bronze Alumínio Níquel, torna-se indispensável à realização de estudos metalúrgicos com o intuito do desenvolvimento de processos de manufatura desses materiais de engenharia.

Neste trabalho é avaliado o comportamento da rugosidade obtida na usinagem de corpos de prova (CP) de bronze-alumínio-níquel CuAl10Ni5Fe em três diferentes velocidades de corte, sem uso de refrigeração, utilizando-se pastilha de metal duro com revestimento PVD (deposição física de vapor).

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Os experimentos foram realizados em corpos de prova de Bronze-alumínio-níquel CuAl10Ni5Fe5 extrudados e trefilados cuja composição química (% em massa) e dureza são mostrados na Tab. 1.

Tabela 1. Composição química e dureza dos corpos de prova na liga CuAl10Ni5Fe5

	Cu %	Al %	Ni %	Fe %	Outros	Dureza HB
Especificado DIN 17665	Restante	8,5-11,0	4-6	2-5	Mn-1,5 max. Pb-0,05 max. Zn- 0,5 max.	187-241
Encontrado	Restante	10,81	4,42	3,67	Mn- 0,05 Pb- 0,02	205-217

Dimensões dos corpos de prova: Diâmetro: 70 mm; Comprimento: 80 mm (Fig. 1)

2.2 Ferramentas e Máquina

Porta Pastilha	ISO-PDJNL 2020K15 (ângulo de posição $\kappa=95^\circ$; ângulo de ponta $\epsilon_r=55^\circ$; ângulo de saída $\gamma_0=12^\circ$)
Pastilha	ISO- DNGG 150408 ML TT5080 (Metal Duro ISO S05-S25) fabricante: TaeguTec (Fig. 2)
Revestimento	PVD multicamada AlTiN /TiN
Máquina	Torno CNC modelo TND200 Fabricante: ERGOMAT

2.3 Parâmetros de Corte

Profundidade de usinagem	0,3 mm
Avanço	0,08 mm/rot.
Velocidades de corte	80, 280 e 450 m/min
Tempo de usinagem estabelecido para avaliação	45 minutos

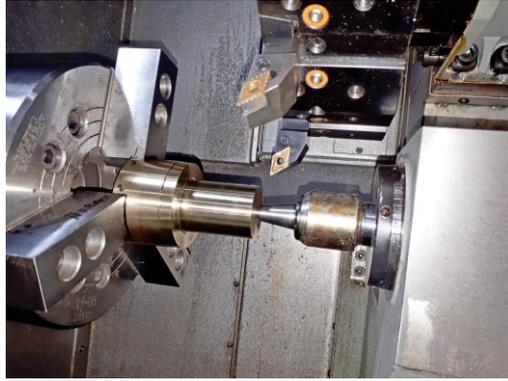


Figura 1: Corpo de Prova e Ferramenta



Figura 2: Pastilha de Metal Duro com revestimento PVD

2. RESULTADOS E DISCUSSÕES

2.1 Comportamento da rugosidade em função da velocidade de corte

Foram realizadas medições da rugosidade média (R_a) durante o tempo de usinagem estabelecido. No gráfico da Fig. 3 estão plotados os valores obtidos da média de cada conjunto de medição de 9 pontos tomados no comprimento do CP (3 medições a 120° no início, no centro e no final do comprimento de usinagem), conforme mostrado na Fig. 4.

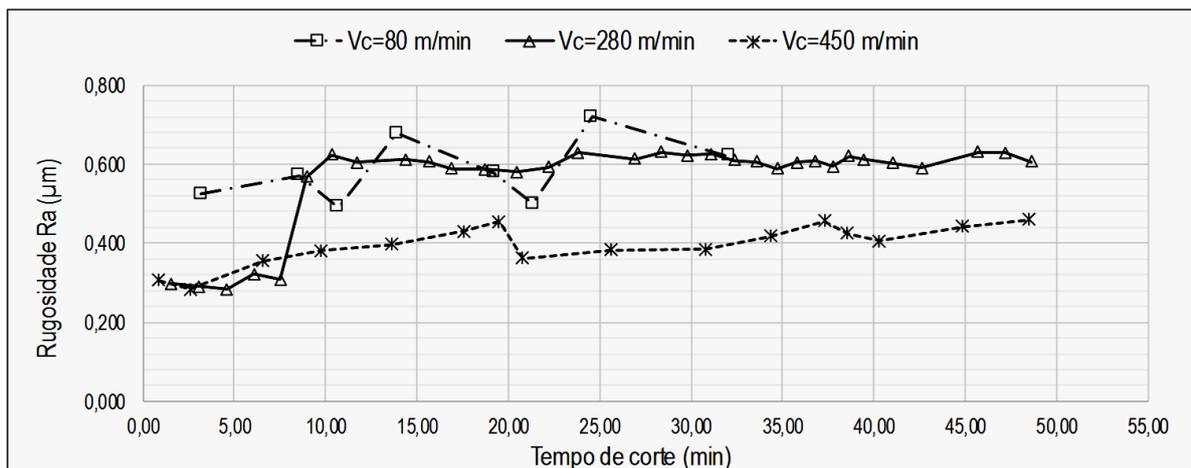


Figura 3: Variação da rugosidade com as velocidades de corte aplicadas (80, 280 e 450 m/min)

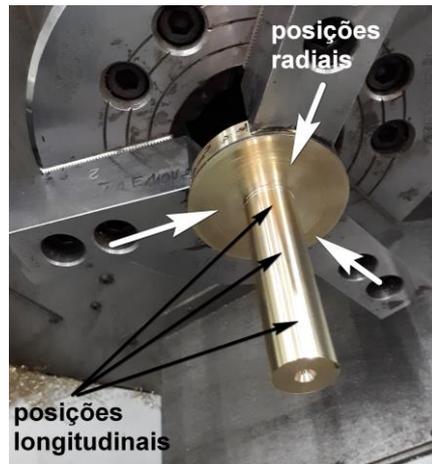


Figura 4: Posições de medição de rugosidade no corpo de prova (CP)

Observando-se o gráfico, verifica-se que na maior velocidade de corte aplicada ($v_c = 450$ m/min) os valores de rugosidade ficaram menores e mais estáveis durante a vida avaliada. A condição com $v_c = 80$ m/min apresentou os maiores valores de rugosidade e a maior variação durante a vida avaliada. A condição intermediária com $v_c = 280$ m/min apresentou baixa rugosidade inicial, porém com maior variação comparada com a $v_c = 450$ m/min devido a maior adesão de material na aresta da ferramenta. A rugosidade iniciou em valores abaixo de $R_a = 0,4 \mu\text{m}$ e, após aproximadamente 8 minutos de usinagem, ocorreu aumento acentuado da rugosidade para valores próximos de $R_a = 0,6 \mu\text{m}$. Supõe-se que este comportamento ocorreu devido ao rápido arredondamento da aresta viva da ferramenta nos primeiros minutos de usinagem, estabilizando-se em seguida.

Em condições de baixas velocidades de corte ocorreu a formação de aresta postiça de corte (APC) na ferramenta. Durante a usinagem a aresta postiça se quebra ciclicamente e é removida da área de corte. Este fenômeno afeta a superfície de saída de cavacos da ferramenta alterando a geometria de corte e conseqüentemente o acabamento superficial da peça é prejudicado (Li et al., 2003). Outro fenômeno que tende a prejudicar o acabamento superficial em baixa velocidade de corte é o fluxo lateral do cavaco. O material remanescente deixado pela aresta secundária da ferramenta exerce pressão causando um fluxo lateral de material que altera a condição da superfície usinada, aumentando sua rugosidade. O fluxo lateral de cavaco é reduzido com o aumento da velocidade de corte, similarmente a aresta postiça de corte (Diniz et al., 1989).

2.2 Estabilidade da rugosidade ao longo do Corpo de Prova (CP)

A estabilidade da rugosidade ao longo do comprimento de medição do corpo de prova (CP) pode ser verificada observando-se as barras verticais no gráfico da Fig. 5, notando-se o maior e menor valor de cada conjunto de medição, ou seja, a variação ao longo do CP para as velocidades de corte de 80; 280 e 450 m/min. Semelhante ao resultado verificado no gráfico da Figura 3, a variação de rugosidade por conjunto de medição apresentou melhor resultado para a $v_c = 450$ m/min, e $v_c = 280$ m/min. Na $v_c = 80$ m/min ocorreu maior variação da rugosidade ao longo do comprimento do CP.

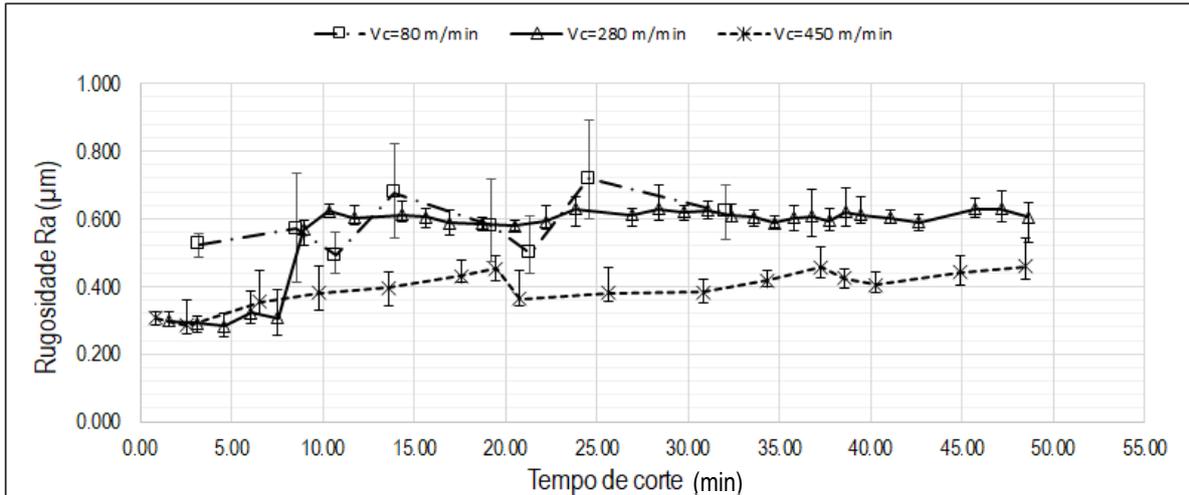


Figura 5: Gráfico mostrando as barras verticais de variação da rugosidade encontradas para cada conjunto de medição para as velocidades de corte de 80, 280 e 450 m/min.

3. CONCLUSÕES

Verificou-se pelos experimentos realizados que na velocidade de 450 m/min obteve-se valores menores de rugosidade média e menor variação durante o tempo de usinagem avaliado. As condições de 450 e 280 m/min apresentaram menor variação no conjunto de medições ao longo do CP. A condição de velocidade de 80 m/min mostrou maior valor de rugosidade média, maior variação durante o tempo de usinagem avaliado e também maior variação entre os pontos de medição ao longo do comprimento do CP.

Os resultados obtidos permitem concluir que para operação de acabamento no material e condições experimentados a velocidade de corte de 450 m/min apresenta melhores resultados tanto em valores de rugosidade como estabilidade do acabamento.

4. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao departamento de pesquisa e desenvolvimento da Termomecânica São Paulo S.A., bem como à Fundação Salvador Arena pela realização de ensaios especificamente para o desenvolvimento desse trabalho. Os autores agradecem também ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo pela disponibilização de seus laboratórios de mecânica industrial. Por fim, agradecemos o apoio financeiro da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

5. REFERÊNCIAS

- ASM Metals Handbook; volume 2, "Properties and selection: Nonferrous alloy and special-purpose materials", 1992, ASM International, 3470p.
- Diniz, A. E., Marcondes, F.C., Coppini, N.L., 2006. "Tecnologia da Usinagem dos Materiais". São Paulo: Artliber, 5. ed.
- Kuram, E., *et al.*, 2013. "Environmentally friendly machining: vegetable based cutting fluids". In Green manufacturing processes and systems (pp. 23-47). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Li, Y., Ngai, T. L., Xia, W. *et al.*, 2003. "A study of aluminum bronze adhesion on tools during turning". Journal of materials processing technology, v. 138, n. 1-3, p. 479-483.

Nascimento, M.S. et al., 2019. "Effects of Thermal Variables of Solidification on the Microstructure, Hardness, and Microhardness of Cu-Al-Ni-Fe Alloys". *Materials*, v. 12, pp. 1267.

Richardson, I., 2016. "Guide to Nickel Aluminum Bronze for Engineers". Copper Development Association publication n. 222.

Saha B. *et al* (2017) *Bronzes for Aerospace Applications*. In: Prasad N., Wanhill R. (eds) *Aerospace Materials and Material Technologies*. Indian Institute of Metals Series. Springer, Singapore.

Santos, V. T. et al., 2017. "Influência das variáveis térmicas de solidificação na microestrutura e dureza da liga bronze alumínio níquel CuAl10Ni5Fe5". In: Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação. Anais do IX Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação, v. 9, Joinville, Santa Catarina, Brasil.

Santos, G.A., 2015, "Tecnologia dos materiais metálicos: propriedades, estruturas e processos de obtenção", Editora Érica, São Paulo-SP.

Silva, M.R., 2015, "Estudo do efeito da fase β na usinabilidade de ligas de latão livres de chumbo". 132 f. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

6. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

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

ANALYSIS OF SURFACE FINISH IN MACHINING OF BRONZE-ALUMINUM-NICKEL ALLOY WITHOUT USING CUTTING FLUID

Abstract. *The bronze-aluminum-nickel alloys have machinability of 20 to 40% compared to the free machining brass, so that the cutting parameters of these alloys may differ significantly from those used for other copper alloys and the absence of contamination by cutting fluids allows a higher value in the sale of the chips, encouraging the use of machining without refrigeration. In this work, the behavior of the CuAl10Ni5Fe5 bronze-aluminum-nickel alloy machining with carbide insert at different cutting speeds without the use of cutting fluid (coolant) was evaluated. The results showed lower value and greater stability of the roughness in conditions of higher cutting speeds.*

Keywords: *Machining, Bronze-aluminum, Surface finish, Roughness*

RESPONSIBILITY NOTICE

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