

ESTUDO SOBRE A RESISTÊNCIA AO DESGASTE A SECO DE UMA LIGA AlNiBi SOLIDIFICADA DIRECIONALMENTE

Helder Caldas Rodrigues¹
Marília das Chagas Lima²
Tamires Isabela Mesquita Botelho³
Hugo André Magalhães de Azevedo⁴
Fernando Sousa da Rocha⁵
Thiago Antônio Paixão de Sousa Costa⁶
Otávio Fernandes Lima da Rocha⁷

Instituto Federal do Pará – IFPA, Faculdade de Engenharia de Materiais. Av. Alm. Barroso, 1155 - Marco, Belém - PA, 66093-020

¹heldercaldasrodrigues@gmail.com – autor para correspondência

²mariedlima@bol.com.br

³tamiresisabela@yahoo.com.br

⁴hugo_azevedo@hotmail.com

⁵nandosrocha12@hotmail.com

⁶thiago.costa@fem.unicamp.br

⁷otavio.rocha@ifpa.edu.br

Resumo. Ligas AlNiBi são materiais promissores para aplicações estruturais e tribológicas sob exigências de altas temperaturas. Nesse sentido, neste trabalho experimentos de solidificação direcional transiente foram realizados com a liga Al3Ni1Bi e amostras do lingote resultante submetidas ao ensaio de desgaste a seco. Um dispositivo de solidificação horizontal refrigerado à água e um máquina de ensaio de desgaste micro-abrasivo do tipo esfera rotativa foram utilizados. Os parâmetros de solidificação e desgaste investigados são a taxa de resfriamento de solidificação (T_R), espaçamentos dendríticos terciários (λ_3) e o volume de desgaste (V_D). Expressões matemáticas experimentais foram propostas para caracterizar a dependência de λ_3 como uma função de T_R , bem como V_D como uma função de λ_3 e T_R . Essas expressões mostraram que altas taxas de resfriamento proporcionam microestruturas de solidificação mais refinadas e que a liga investigada exibe maior resistência ao desgaste para maiores e menores valores de T_R e λ_3 , respectivamente.

Palavras chave: Solidificação horizontal, Parâmetros térmicos e microestruturais, Desgaste a seco, Ligas AlNiBi.

1. INTRODUÇÃO

Os fenômenos de fricção e desgaste são tão antigos quanto a humanidade. Entre os séculos 14 e 15, Leonardo da Vinci introduziu a definição de coeficiente de atrito e o estabeleceu como sendo a razão entre a força de atrito e a força normal (Coza, 2011; Freitas, 2013; Costa, 2016). Da Vinci foi ainda pioneiro no estudo dos problemas de desgaste em mancais, sendo um dos primeiros a recomendar uma liga metálica que possuiria boa resposta tribológica: Sn-30%Cu (Zum Gahr, 1987). Portanto, como pode ser observado, o estudo da ciência responsável pelos fenômenos relacionados às interações de superfícies em movimento relativo, a tribologia, vem sendo desenvolvido há séculos, no entanto, nas últimas décadas, trabalhos mais aprofundados têm sido realizados visando a otimização de materiais, sobretudo de ligas metálicas.

Na indústria de modo geral, o desgaste de peças em equipamentos tem sido um fator de extrema preocupação por parte de técnicos e engenheiros devido à redução da vida útil de máquinas e componentes, além de gerar custos associados à interrupção da produção. Dentre os mecanismos de desgastes estudados na literatura, destaca-se o de abrasão que é um mecanismo rápido e severo de desgaste e pode resultar em custos consideráveis se não for controlado de maneira adequada (Coza, 2011; Freitas, 2013; Costa, 2016).

Até a década de 40 a maioria dos materiais metálicos utilizados em aplicações tribológicas resumiam-se às ligas à base de estanho e chumbo (*white metals*) e ligas à base de cobre. Devido às exigências por materiais que resistssem às condições impostas em sistemas mecânicos motorizados de mais elevada potência, as ligas de alumínio passaram a ser vastamente utilizadas em aplicações tribológicas (Costa, 2016). Dentre as ligas de alumínio, destacam-se atualmente aquelas com adição de metais de mais baixa dureza tais como estanho, chumbo, cádmio, bismuto e índio, as quais atendem às características desejáveis para ligas com aplicações em mancais e rolamentos.

Sabe-se que os parâmetros de solidificação, tais como a taxa de resfriamento e os espaçamentos dendríticos, exercem forte influências sobre as propriedades mecânicas dos materiais (Souza et al, 2018). No entanto, a grande maioria dos

trabalhos reportados na literatura abordam a interconexão entre esses parâmetros com propriedades de tensão e dureza, e poucos investigam a resistência ao desgaste (Coza, 2011; Freitas, 2013; Costa, 2016). Outro destaque importante, é que poucos são os trabalhos que investigam os espaçamentos dendrítico terciários (λ_3) (Azevedo et al, 2018; Souza et al, 2018) assim como se desconhece na literatura estudos que correlacionam a dependência da resistência ao desgaste de ligas à base alumínio sobre λ_3 . Nesse sentido, o objetivo principal deste trabalho estabelecer, para a liga multicomponente Al3Ni1Bi solidificada horizontalmente, uma correlação experimental entre o volume de desgaste (V_D) com T_R e λ_3 .

2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Os experimentos sobre a preparação da liga investigada, bem como a obtenção do lingote resultante via processo de solidificação horizontal e sua caracterização em escalas macro e microestrutural, se encontram detalhadas em nossa recente publicação (Azevedo et al, 2018). Amostras do lingote resultante foram selecionadas para investigação microestrutural e submetidas ao ensaio de desgaste micro-abrasivo a seco. As posições analisadas foram 2, 6, 10, 15, 30 e 80 mm a partir da base refrigerada. O parâmetro de desgaste investigado neste trabalho foi o volume desgastado (V_D), que é uma importante grandeza a ser analisada para a caracterização da resistência ao desgaste de determinado material (Coza, 2011; Freitas, 2013; Costa, 2016), e pode ser obtida a partir da análise geométrica da impressão deixada na forma de uma calota esférica pela esfera rotativa sobre o corpo de prova. O cálculo do volume desgastado pode ser obtido pela Eq. (1), conforme metodologia proposta pela literatura (Coza, 2011; Freitas, 2013; Costa, 2016). A máquina de desgaste, o cálculo do diâmetro médio da calota, e a metodologia para medição de λ_3 estão esquematizados na Figura 1.

$$V_D = \pi \frac{D^4}{64R} \quad (1)$$

Sendo R o raio da esfera rotativa (Figura 1a) e D o diâmetro médio da cratera de desgaste (calota, conforme Figura 1b).

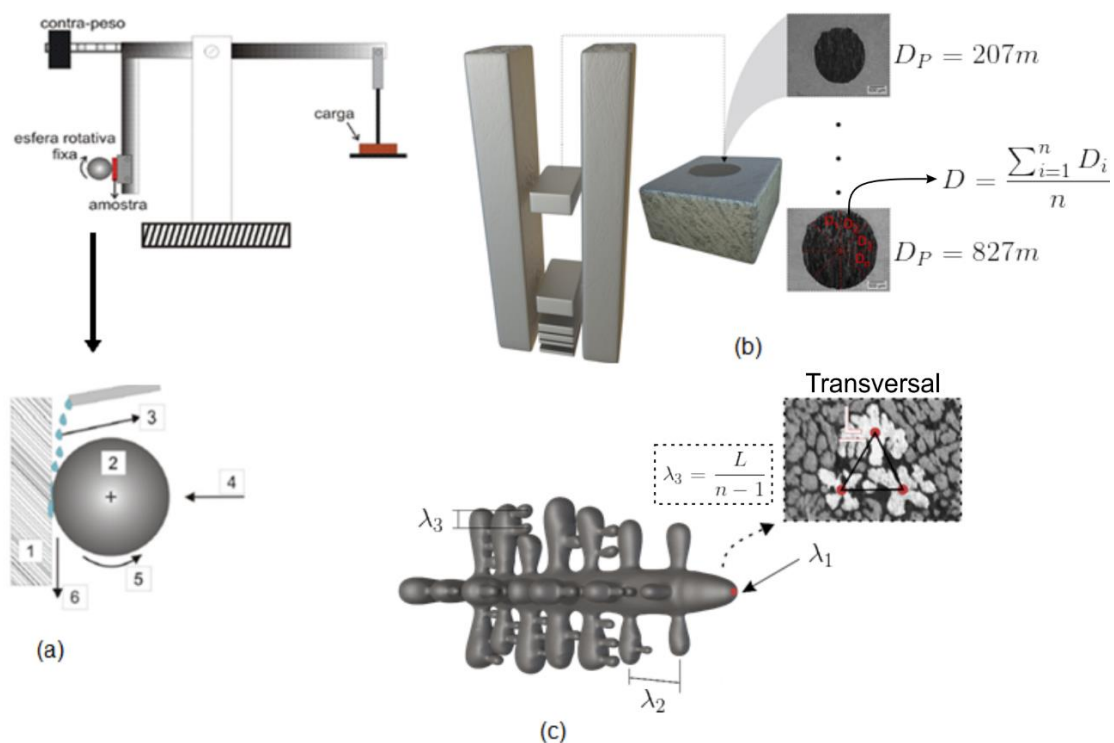


Figura 1. Representação esquemática: (a) máquina de desgaste; 1- Corpo de prova, 2 - Esfera do ensaio, 3- Solução Abrasiva, 4 - Força Normal, 5 - Sentido de rotação da esfera, 6 - Força de Atrito (Cruz, 2008); (b) esquema de extração das amostras do lingote solidificado; (c) técnica de mediação de λ_3 .

3. RESULTADOS

A Figura 2 apresenta os resultados experimentais da macroestrutura e microestruturas resultantes da solidificação horizontal transiente (Figura 2a), bem como a dependência dos espaçamentos dendríticos terciários como uma função da taxa resfriamento. Observa-se claramente que altas de resfriamento produzem microestruturas mais refinadas. Uma

expressão matemática experimental caracteriza a variação de $\lambda_3=f(T_R)$, como observada na legenda do interior da Figura 2b.

Os resultados experimentais sobre a variação do volume de desgaste em função da distância deslizada, para cada amostra ensaiada, assim como em função da taxa de resfriamento e espaçamento dendrítico terciário são apresentados na Figura 3. Observa-se que os valores de V_D aumentam com o aumento da distância de deslizamento e para maiores e menores valores de T_R e λ_3 , respectivamente. A dependência de V_D como uma função de T_R e λ_3 é caracterizada por expressões matemáticas dadas por $V_D=0,007(t)x(T_R)^{-0,07}$ e $V_D=0,004(t)x(\lambda_3)^{0,2}$, respectivamente. A Figura 4 apresenta, para a posição mais afastada da base refrigerada ($P = 80$ mm), a evolução do diâmetro (D) da cratera de desgaste. Observa-se o aumento gradativo de D com o aumento de D_p . É importante destacar que este comportamento foi observado para todos as posições analisadas.

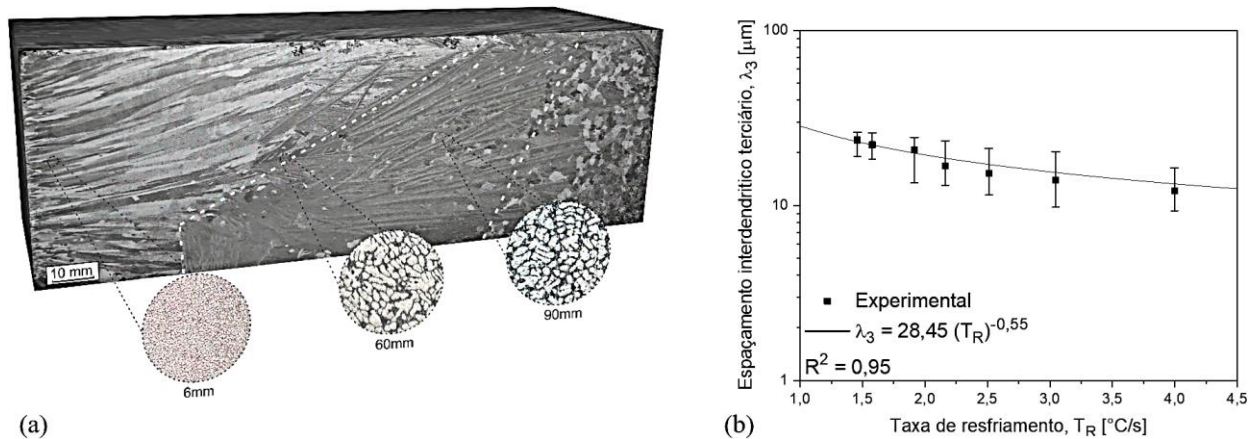


Figura 2. (a) Macroestrutura típica de solidificação e evolução da microestrutura; (b) Dependência de λ_3 como uma função de T_R

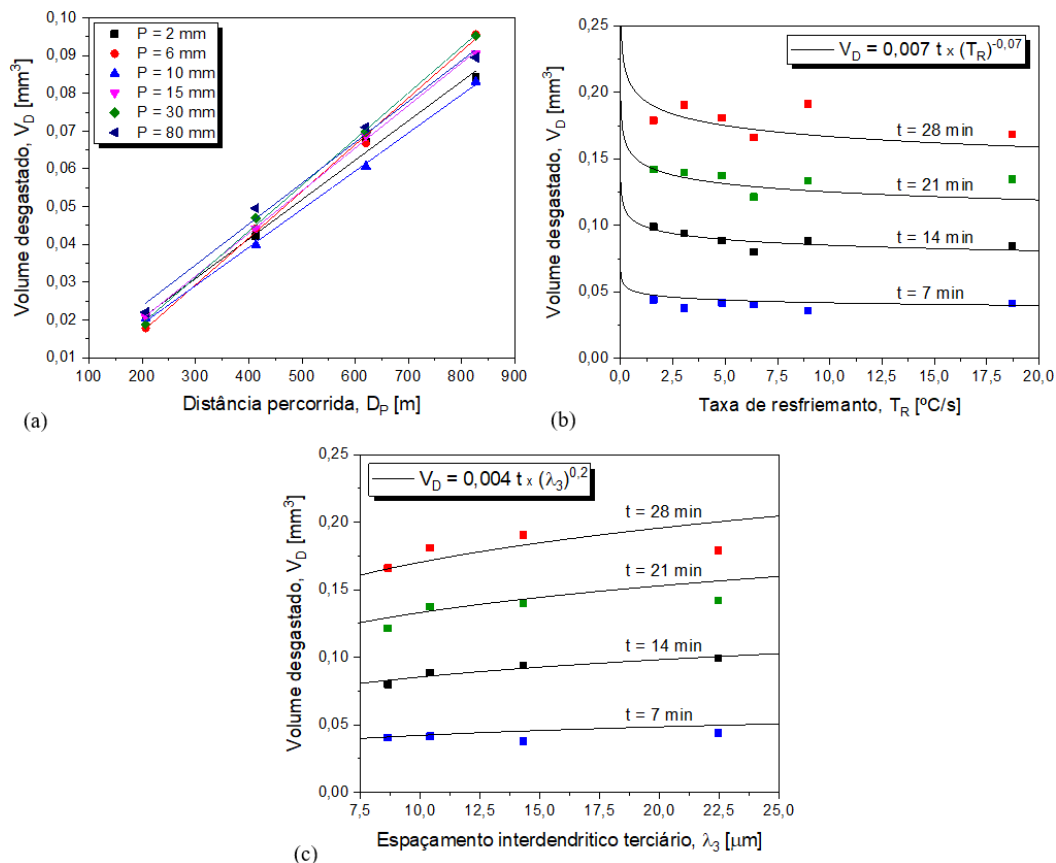


Figura 3. Variação do volume de desgaste em função de: (a) distância de deslizamento; (b) taxa de resfriamento e (c) espaçamento dendrítico terciário.

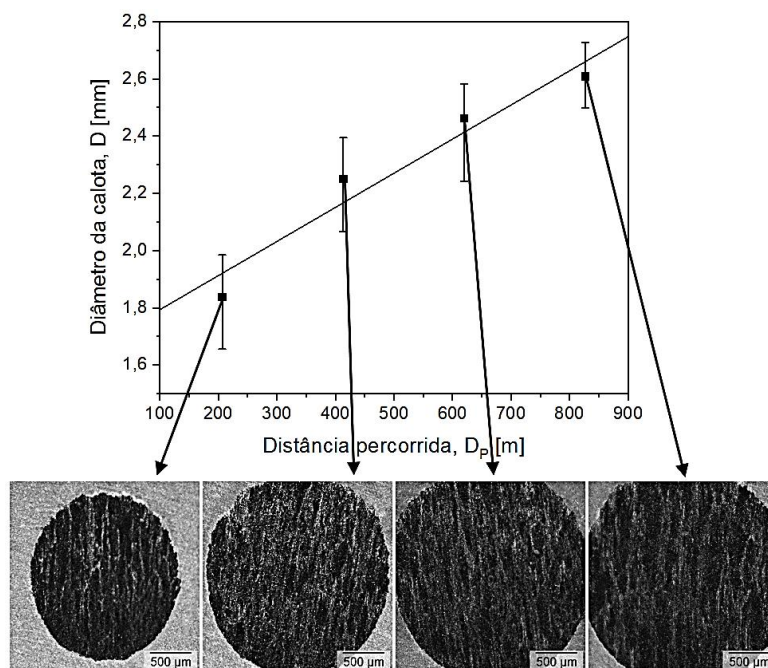


Figura 4. Evolução do diâmetro da cratera de desgaste com a distância de deslizamento.

4. CONCLUSÕES

Os estudos experimentais desenvolvidos nas amostras da Al3Ni1Bi solidificada horizontalmente e submetidas ao ensaio de desgaste a seco por micro-abrasão, permitiram-nos estabelecer neste trabalho, as seguintes conclusões:

- (1) Altas taxas de resfriamento promovem microestruturas mais refinadas, e a dependência de $\lambda_3 = f(T_R)$ pode ser caracterizada pela seguinte equação matemática: $\lambda_3 = 28,45 (T_R)^{-0,55}$;
- (2) Maiores e menores valores da taxa de resfriamento e do espaçamento dendrítico terciário, respectivamente, aumentam a resistência ao desgaste da liga investigada, e a variação do volume de desgaste em função T_R e λ_3 pode ser estabelecida por expressões matemáticas experimentais dadas por: $V_D = 0,007(t)x(T_R)^{-0,07}$ e $V_D = 0,004(t)x(\lambda_3)^{0,2}$.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores reconhecem o apoio financeiro disponibilizado pelo IFPA – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará-IFPA Campus Belém (Edital 03-2018 – PIBICTI/DPI), a UFPA – Universidade Federal do Pará, o CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (Processos: 302846/2017-4 e 400634/2016-3), e a CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior.

6. REFERÊNCIAS

- AZEVEDO, H. M. MACHADO, G. H., BARBOSA, C. R., ROCHA, F. S., COSTA, R. B., COSTA, T. A. ROCHA, O. L., 2018. “Microstructural Development of an AlNiBi Alloy and Influence of the Transient Horizontal Solidification Parameters on Microhardness”. *Metallurgical and Materials Transaction A*, Vol. 49, p. 4722-4734.
- COSTA, T.A.P.S., 2016. *Microestruturas de solidificação e resistência ao desgaste de ligas monotéticas Al-Bi-Sn*. Tese de doutorado, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- COZZA, R.C., 2011. *Estudo do desgaste e atrito em ensaios micro-abrasivos por esfera rotativa fixa em condições de força normal constante e pressão constante*. Tese de doutorado, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- FREITAS, E. S. F. 2013. *Desenvolvimento de Correlações entre Microestruturas de Solidificação e Resistências ao Desgaste e à Corrosão*. Tese de doutorado. Universidade Estadual de Campinas.
- HARNOY, A, 2003. *Bearing Design in Machinery: Engineering Tribology and Lubrication*, CRC Press, 1ª edição.
- SOUZA, F., LIMA, J., RIZZIOLLI, C., MAGNO, I., BARROS, A., MOREIRA, A., ROCHA, O, 2018. “Microstructure and microhardness in horizontally solidified Al–7Si–0.15Fe–(3Cu; 0.3Mg) alloys”. *Materials Science and Technology*, 34:10, p. 1252-1264.

7. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

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

STUDY ON DRY WEAR RESISTANCE OF A DIRECTIONALLY SOLIDIFIED AlNiBi ALLOY

Helder Caldas Rodrigues¹

Marília das Chagas Lima²

Tamires Isabela Mesquita Botelho³

Hugo André Magalhães de Azevedo⁴

Fernando Sousa da Rocha⁵

Thiago Antônio Paixão de Sousa Costa⁶

Otávio Fernandes Lima da Rocha⁷

Federal Institute of Pará – IFPA, Faculty of Materials Engineering, 1155 Almirante Barroso Ave. - Marco, Belém - PA, 66093-020.

¹heldercaldasrodrigues@gmail.com – corresponding author

²mariedlima@bol.com.br

³tamiresisabela@yahoo.com.br

⁴hugo_azevedo@hotmail.com

⁵nandosrocha12@hotmail.com

⁶thiago.costa@fem.unicamp.br

⁷otavio.rocha@ifpa.edu.br

Abstract. AlNiBi alloys are promising materials for structural and tribological applications under high temperature requirements. In this sense, in this work, transient directional solidification experiments were carried out with the Al₃Ni₁Bi alloy and samples of the resulting ingot were subjected to dry wear tests. A water-cooled horizontal solidification device and a rotary/ball-type micro-abrasive wear test machine were used. The solidification and wear parameters investigated are the cooling rate (T_R), tertiary dendritic spacings (λ_3) and the wear volume (V_D). Experimental mathematical expressions have been proposed to characterize the λ_3 dependence as a function of T_R , as well as V_D as a function of λ_3 and T_R . These expressions showed that high cooling rates provide finer solidification microstructures and that the investigated alloy exhibits higher wear resistance for higher and lower values of T_R and λ_3 , respectively.

Keywords: Horizontal solidification, Microstructural and thermal parameters, Dry wear test, AlNiBi alloys.

RESPONSIBILITY NOTICE

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