cbecimat26
26° Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais
22 a 26 de novembro de 2026
Costão do Santinho
Florianópolis-SC

Estudo da Microestrutura e Comportamento Mecânico em Temperaturas Elevadas de Liga de Bronze Silício-Alumínio com Adição de Zircônio

Suzana N. F. Ribeiro[1]*; Fernanda N. Santos[1]; Vinicios T. Santos[3]; Gisele F. C. Almeida[1];Paulo H. T. Nascimento[1]; Flávia L.[3]; Marcio R.[3]; Anibal M.[4]; Givanildo A.[5]; Antonio A. Couto[1,2]

[1] Universidade Presbiteriana Mackenzie (UPM), Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais e Nanotecnologia, São Paulo, Brasil | [2] IPEN-CNEN/SP | [3] Termomecanica Ltda., São Bernardo do Campo, SP | [4] Universidade Federal do ABC (UFABC), São Paulo, | [5] Instituto Federal de São Paulo (IFSP), São Paulo

*suzana.ferreira@mackenzie.br

Introdução

As ligas de bronze alumínio-silício (CuAl6Si2Fe) apresentam elevada resistência mecânica e à corrosão, sendo amplamente utilizadas em aplicações navais. A adição de zircônio (Zr) pode promover o refinamento microestrutural e modificar o comportamento mecânico dessas ligas. Entretanto, seus efeitos durante a deformação a quente ainda são pouco explorados. Assim, este estudo investiga a influência do Zr na evolução microestrutural e no comportamento mecânico da liga, sob diferentes temperaturas e taxas de deformação, visando contribuir para a otimização dos processos de conformação a quente.

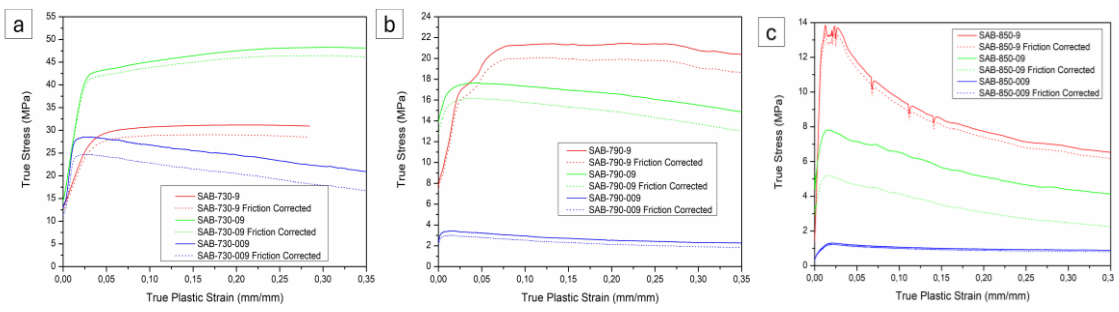


Figura 5. Curvas tensão-deformação plástica verdadeiras com correção do atrito das amostras sem adição de zircônio (a) SAB-730 (b) SAB-790 (c) SAB-850

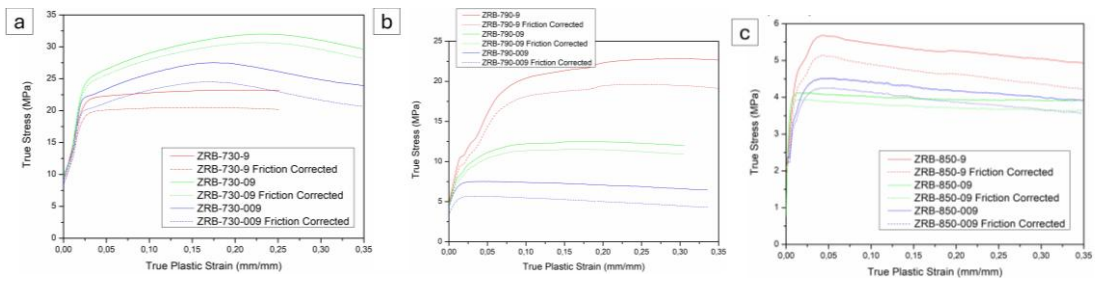


Figura 6. Curvas tensão-deformação verdadeiras com correção do atrito das amostras com adição de zircônio (a) ZRB-730 (b) ZRB-790 (c) ZRB-850

Metodologia

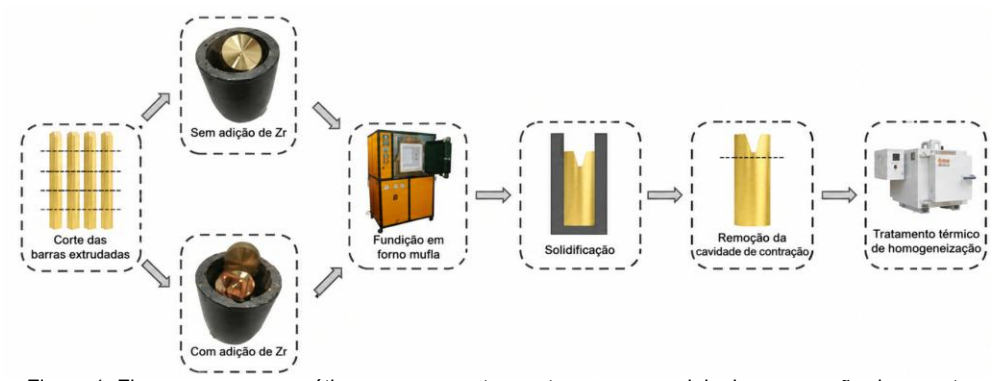


Figura 1. Fluxograma esquemático que apresenta as etapas sequenciais de preparação da amostra.

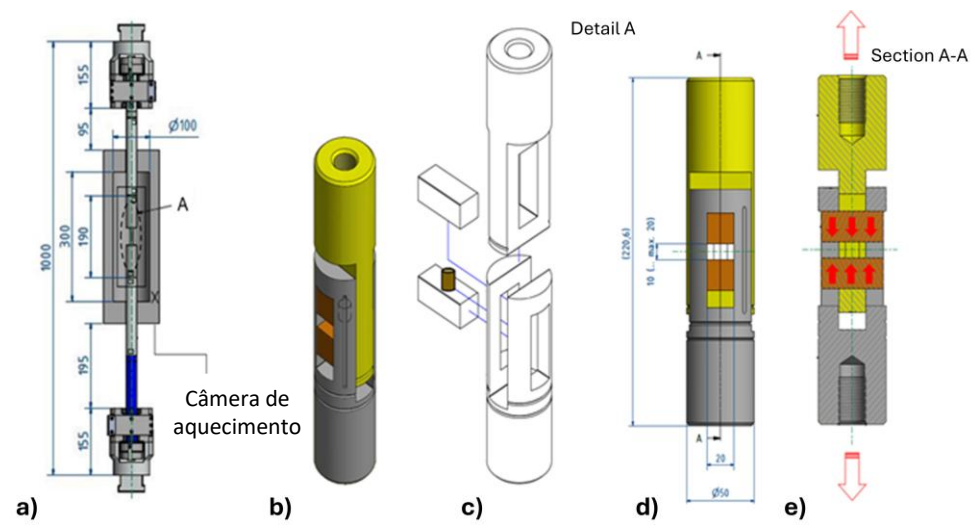


Figura 2. Desenho do equipamento com o dispositivo para ensaios de compressão a quente, mostrando: (a) câmara de aquecimento acoplada às hastes axiais; (b) vista 3D da gaiola de reversão (*Reversal Cage*); (c) posição do corpo de prova no equipamento; (d) detalhes dimensionais do dispositivo de compressão (seção A-A); e (e) dinâmica de conversão de tensões de tração em compressão.

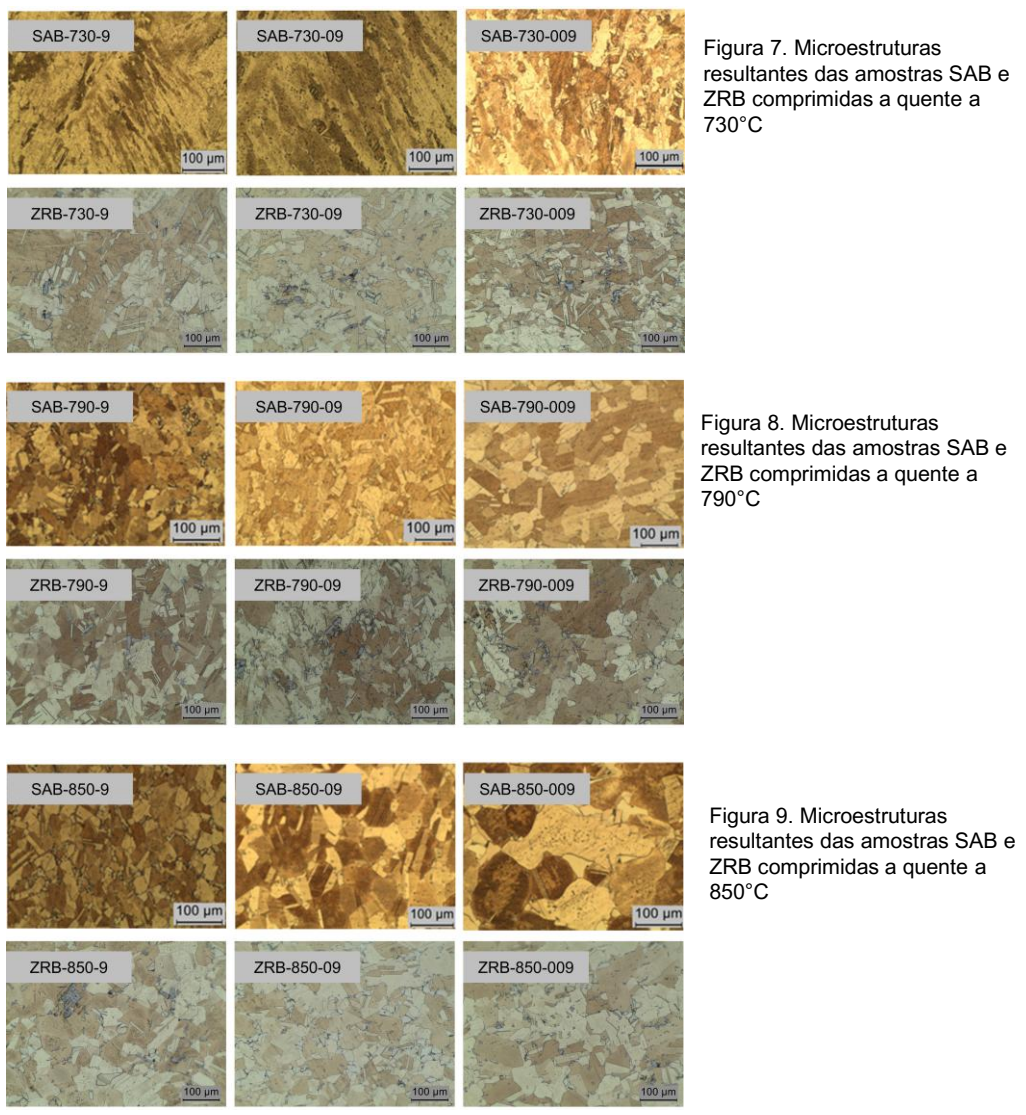


Figura 7. Microestruturas resultantes das amostras SAB e ZRB comprimidas a quente a 730°C

Figura 8. Microestruturas resultantes das amostras SAB e ZRB comprimidas a quente a 790°C

Figura 9. Microestruturas resultantes das amostras SAB e ZRB comprimidas a quente a 850°C

Resultados e Discussão

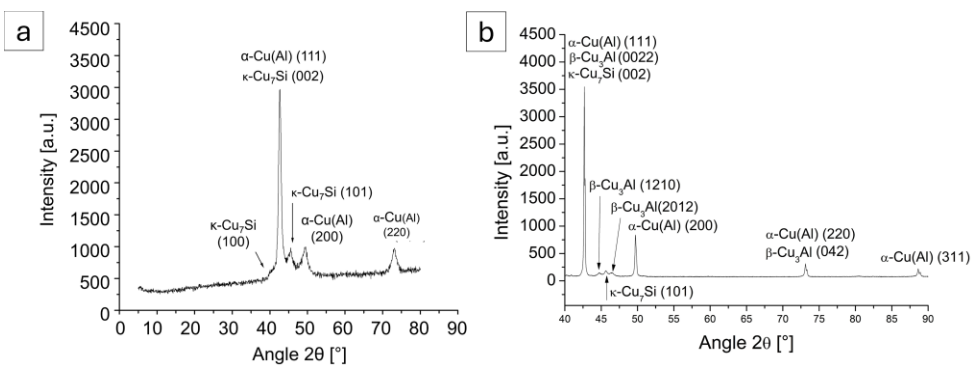


Figura 3. Padrões de difração de raios X das amostras de bronze de alumínio fundidas e homogeneizadas: (a) SAB e (b) ZRB

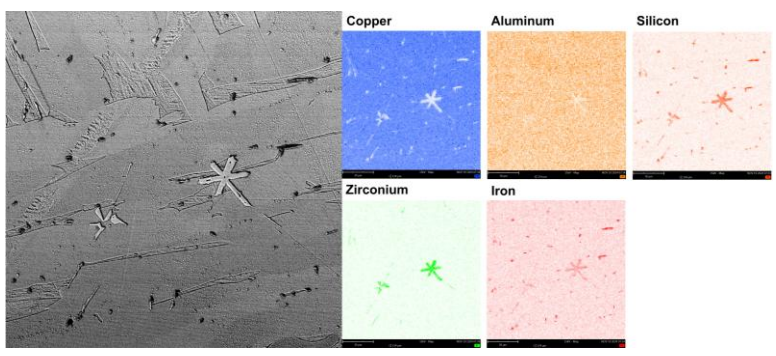


Figura 4. Microscopia eletrônica de varredura da amostra ZRB-Fundido e análise por EDS.

Conclusões

A adição de Zr à liga CuAl6Si2Fe (CW301G) promoveu o refinamento da microestrutura lamelar, reduzindo a largura média das lamelas da fase α de 66 para 34 µm e possivelmente aumentar a dureza. O Zr também modificou o comportamento de deformação a quente, favorecendo a recristalização dinâmica (DRX), especialmente em maiores temperaturas e menores taxas de deformação. As energias de ativação foram de 507,88 kJ/mol para a liga base e 702,37 kJ/mol para a liga com Zr. O modelo constitutivo baseado na lei do seno hiperbólico apresentou boa capacidade de descrever o comportamento de fluxo das ligas. As condições mais favoráveis para o processamento a quente ocorreram entre 790 e 850 °C, em menores taxas de deformação, com maior estabilidade e menor tendência à instabilidade do fluxo.

Referências

[1] Soliman, H. N.; Habib, N. Effect of ageing treatment on hardness of Cu-12.5 wt% Al shape memory alloy. Indian Journal of Physics, v. 88, p. 803-812, 2014.

[2] Zeng, Siqi; Hu, Shubing; Peng, Bo; Hu, Ke; Xiao, Ming. The constitutive relations and thermal deformation mechanism of nickel aluminum bronze. Materials & Design, [S.L.], v. 220, p. 110853, ago. 2022.

[3] Nascimento, Paulo Henrique Tedardi do et al. Effects of Solidification Thermal Variables on the Microstructure and Hardness of the Silicon Aluminum Bronze Alloy CuAl6Si2. Metals, v. 14, n. 10, p. 1134, 2024.

Agradecimentos

Mack Pesquisa
CNPq
CAPES
Zwick Roell