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

O EFEITO DO REFINAMENTO MICROESTRUTURAL DA PRATA NA FASE Cu_3P EM BRASAGEM DE TUBULAÇÕES DE COBRE FOSFOROSO

A. A. Sgobbi[1,2]; M. D. M. das Neves [1]; L. C. E. Silva[1]; R. R. Oliveira[1]
1. Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN-CNEN), São Paulo – SP
2. Enebras Refrigeração e Ar Condicionado, São Paulo, Brasil.
aasgobbi@hotmail.com

Introdução

Tubulações de cobre fosforoso (MB) brasadas com ligas Ag-Cu-P são utilizadas em *Heating, Ventilation, and Air Conditioning* - HVAC-R. A baixa solubilidade do fósforo no cobre sólido resulta na formação da fase intermetálica Cu_3P, de estrutura hexagonal e frágil, essa fase forma redes no contorno de grão propensas a trincas sob vibração mecânica.

Objetivos

Avaliar em juntas de cobre brasadas, o efeito do material de adição (MA) com diferentes teores de prata (0%, 5% e 15% Ag) no refinamento da fase frágil Cu_3P em juntas de cobre brasadas por meio de diversas técnicas de caracterização.

Metodologia

Execução das Amostras
- Brasagem oxicombustível de tubulação de cobre
- Ligas: AWS BCuP-2/3/5 (0, 5 e 15% Ag)

Metalografia
- Embutimento e Lixamento (#600 #800 #1200)
- Polimento com alumina (0,3 µm e 1,0 µm)
- Ataque químico: Persulfato de Amônio $(NH_4)_2S_2O_8$

Caracterização Microestrutural e Mecânica
- MO / MEV / EDS
- DRX: Varredura 2θ 25° a 80° (Cu-Kα)
- Microdureza Vickers: HV0,1 MB e HV0,3 MA

Resultados e Discussão

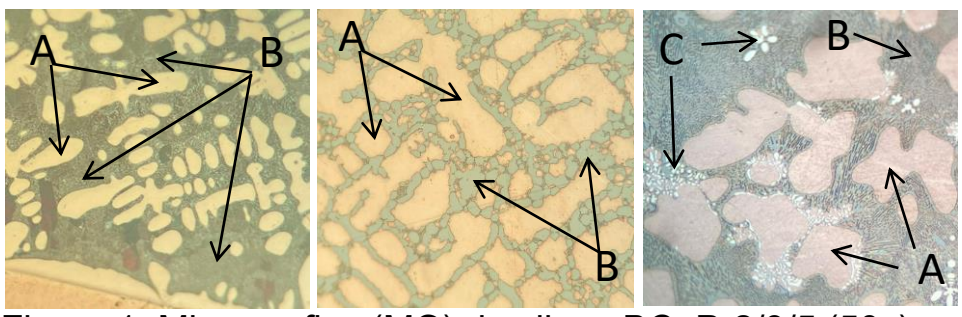


Figura 1. Micrografias (MO) das ligas BCuP-2/3/5 (50x) (conforme setas A=α-Cu, B=Cu_3P, C=α-Ag)

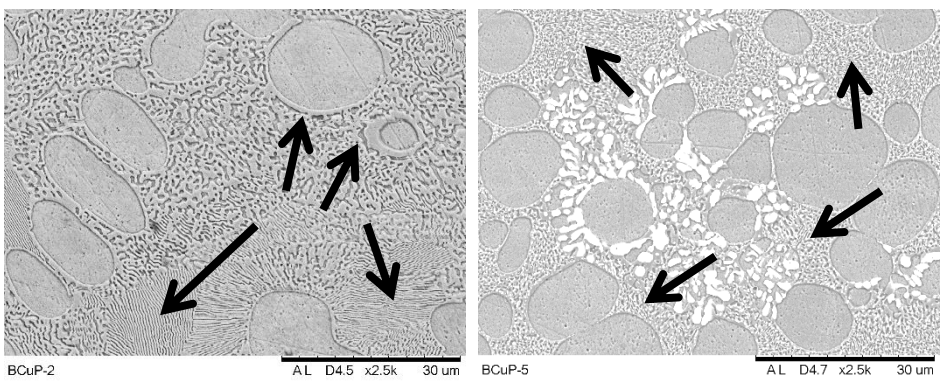


Figura 2. Colônia eutética e placas contínuas nos contornos dos grãos do BCuP-2. Descontinuidade das placas de Cu_3P na amostra BCuP-5 (MEV).

Liga / Amostra	Teor de Prata	Tubo-MB (HV)	Zona Fundida MA (HV)
BCuP-2	0% Ag	75,2 ± 1,1	145,2 ± 8,4
BCuP-3	5% Ag	71,4 ± 0,8	136,2 ± 7,9
BCuP-5	15% Ag	79,8 ± 3,2	146,4 ± 3,8

Tabela 1. Microdureza Vickers.

Os resultados indicaram que a liga BCuP-2 apresentou uma rede contínua de fosfeto de cobre grosseiro (fig. 1) nos contornos de grão e matriz (fig. 2), resultando em elevados picos de dureza (tab. 1). Na liga BCuP-3, os 5% de prata promoveram o início do refinamento lamelar (fig. 1). O MA BCuP-5 exibiu a microestrutura com menor espaçamento interlamelar em uma matriz rica em prata (figura 2), conforme visto por MEV/EDS (fig. 3). Pelas análises por DRX foi possível observar que, o aumento do teor de prata (fig. 4) permitiu o refino da matriz ternária (Cu-Ag-P), confirmado pelas micrografias em MO e MEV, com a quebra da continuidade da rede grosseira de Cu_3P com base nas imagens da Figura 3.

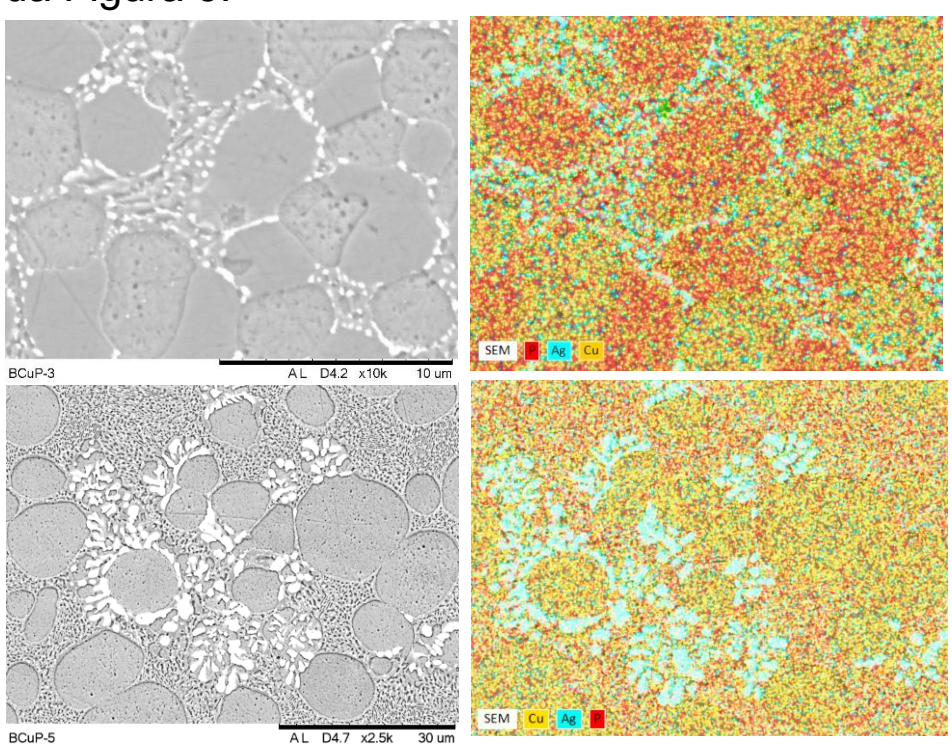


Figura 3. EDS BCuP-3 e BCuP-5

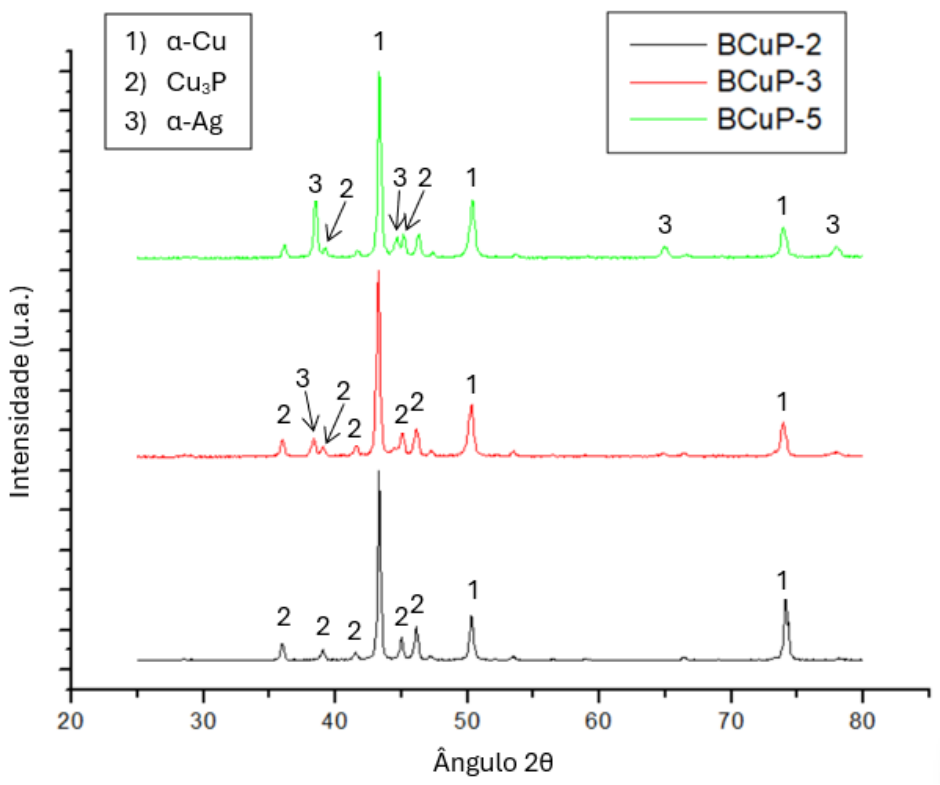


Figura 4. Difratrograma (DRX) das três amostras evidenciando o aumento do teor de Ag no BCuP-5.

Conclusões

Concluiu-se que o acréscimo de prata nas ligas BCuP-3 (5% Ag) e BCuP-5 (15% Ag) é fundamental para garantir o refinamento microestrutural das juntas brasadas em tubulações de cobre fosforoso.

Referências

AWS A5.8: Specification for Filler Metals for Brazing and Braze Welding. Miami, FL, 2019
AKHLAGHPOOR, G. Microstructure and Mechanical Properties of Cu-Cu Brazed Joints. 2024. 92 f. Dissertação – (TU Wien), Viena, 2024
KARAMIS, M. B. et al. Microstructural analysis and discontinuities in the brazed zone of copper tubes. Journal of Materials Processing Technology, v. 147, n. 3, 2004.
CULLITY, B. D.; STOCK, S. R. Elements of X-Ray Diffraction. 3. ed. Harlow: Pearson Education Limited, 2014.