

CARACTERIZAÇÃO ÓPTICA, ELETRÔNICA E MECÂNICA DA LIGA Cu-Ni-Be PARA FINS ELETRO-ELETRÔNICOS.

Jesus, S. L.; Monteiro, W. A.

IPEN – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares

Caixa Postal 11049 – CEP 05422-970, São Paulo – SP – e-mail sljesus@net.ipen.br

Abstract

Cu-Be alloys are extensively useful as electrical contacts and heat conductors. To electrical applications the contact area is fundamental in as much as the current will flow through this point. This area is divided in effective contact and apparent contact area. A relation involving hardness is expressive in consonance with resistivity and contact area. To adjust these two properties consists in choosing right strengthening mechanism since the addition of alloying elements to improve the strength yield to lower conductivity. A TTM was developed to Cu-Ni-Be alloy conciliating these two properties.

Palavras-chave

Ligas de cobre, condutividade elétrica, caracterização microestrutural e resistência mecânica.

Introdução

Ligas a base de Cu-Be são largamente utilizadas como contatos elétricos ou dissipadores de calor por apresentarem boa condutividade térmica e elétrica [1]. Porém, nos materiais desenvolvidos para aplicações elétricas a sua área de contato é um item fundamental já que a corrente irá transitar por essa região [2]. Essa área é dividida em área de contato aparente e a área de contato efetiva. A área de contato efetivo de um elemento condutor é muito menor do que a área de contato aparente, produzindo, assim, uma área de passagem de corrente ainda menor, já que parte da área de contato efetiva não apresenta plena eficácia devido à presença de isolamentos ou maus contatos. Todavia, a área de contato efetiva tem estreita relação com a pressão de contato aplicada ao metal que pode ser expressa por $A = P \cdot H^{-1}$ (equação 1). Onde A é a área de contato efetiva, P a pressão sobre o metal e H a dureza do material utilizado como conector. Da expressão conclui-se que com o aumento de pressão há um aumento da área de contato efetiva diminuindo a resistividade da liga dada pela equação: $R = \rho \cdot L \cdot A^{-1}$ (equação 2). Em que R é a resistência da liga, ρ sua resistividade, L o comprimento linear do conector e A sua área de contato. Raciocínio análogo permite concluir que para uma pressão de contato constante o decréscimo da dureza do conector resulta em menor resistência elétrica, mas, simultaneamente, leva a diminuição de uma outra propriedade igualmente importante: a durabilidade mecânica. Diante dessas considerações, estabelece-se uma situação

limite de dureza e pressão imposta aos conectores justamente para conciliar a melhor passagem de corrente, ainda que, devido a um suposto valor de baixa dureza, os conectores sejam mais bem envolvidos pelos pontos de contato. Para otimizar essas duas propriedades: dureza e condutividade, um tratamento termomecânico tem sido desenvolvido para a liga Cu-Ni-Be [3]. Este tratamento consiste em laminações a frio intercaladas por envelhecimentos a temperaturas entre 380°C e 425°C.

Material e métodos

Botões da liga Cu 2%Ni x%Be (x equivalendo a 0,1 ou 0,6%) foram laminados em 35%, tratados termicamente a 400 °C durante 3 horas, laminados a 60% e envelhecidos em duas temperaturas diferentes: 380°C e 425°C durante 6 horas. Ao longo desse tratamento termomecânico (TTM) foram retiradas amostras do material e, após o embutimento, efetuados os testes de microdureza Vickers e microscopia óptica. Foi realizada também microscopia eletrônica de transmissão, pelo método de folhas finas polidas mecânica e eletroliticamente (Tenupol/Struers) em solução de metanol e ácido nítrico (na razão de 2:1) a -30°C e ddp de 12V.

Resultados e discussão

O tratamento termomecânico utilizado produziu aumento de dureza com desempenho da condutividade elétrica da liga conforme os gráficos das figuras 1 (a) e (b).

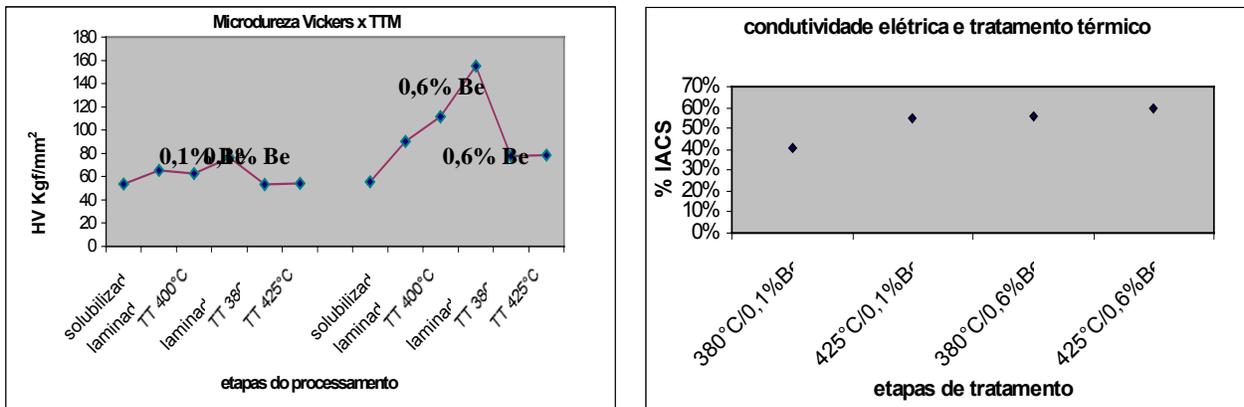


Figura 1 (a) – gráfico de dureza da liga Cu-Ni-Be mostrando as etapas de tratamento termomecânico

Figura 1 (b) – condutividade elétrica da liga Cu-Ni-Be após os dois TTM finais para diferentes concentrações.

Para os aumentos de dureza nas duas concentrações (0,1% e 0,6%Be) na condição de tratamento de 425°C/h seria esperado menor condutividade conforme a relação entre dureza e resistividade exposto na introdução, o que não ocorre. Isso sugere que outro mecanismo concorre para o desempenho elétrico da liga. De fato o tratamento térmico mais elevado colabora para a retirada de soluto da solução proporcionando precipitados maiores. Numa situação anterior, portanto, há ocorrência de precipitação fina demonstrando que o TTM mais intenso induzirá a formação desses precipitados. A micrografia da figura 2 (a) corrobora essa previsão. A resistividade da liga é fortemente influenciada pela adição de soluto, já que o distúrbio do arranjo cristalino será maior, incorrendo na deflexão dos transportadores de carga. Assim, excessiva precipitação contribuirá para o aumento da dureza mas também promoverá perda de condutividade. Alocar estes precipitados de forma a otimizar a dureza sem comprometer a condutividade elétrica ocorrerá ao serem distribuídos nos contornos de grãos e com o crescimento maximizado. Tanto é que após o processamento termomecânico observa-se o posicionamento dos precipitados nessa região como demonstra a micrografia da figura 3.

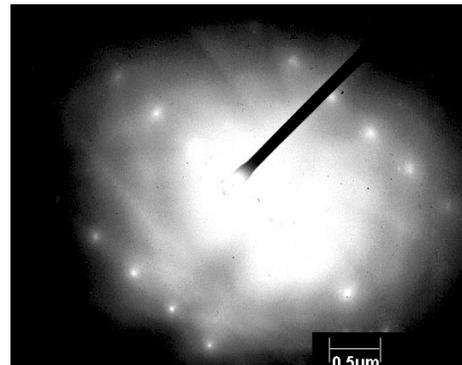
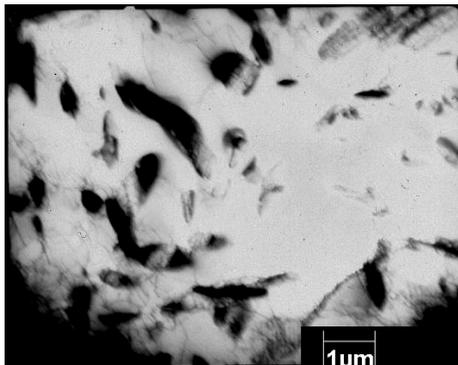


Figura 2 (a) – liga Cu-2,2%Ni-0,6%Be – TTM final 380°C/6h observa-se intensa precipitação no interior dos grãos
 Figura 2 (b)– liga Cu-2,2%Ni-0,6%Be – TTM final 380°C/6h - padrão de difração da área anterior

Já a microscopia óptica fornece um forte indicativo da modificação na estrutura da liga. Inicialmente, grãos poligonais irregulares representam o estado da liga solubilizada. Ao ser laminada (35% redução) grão colunares evidenciam a intensa deformação imposta ao material.

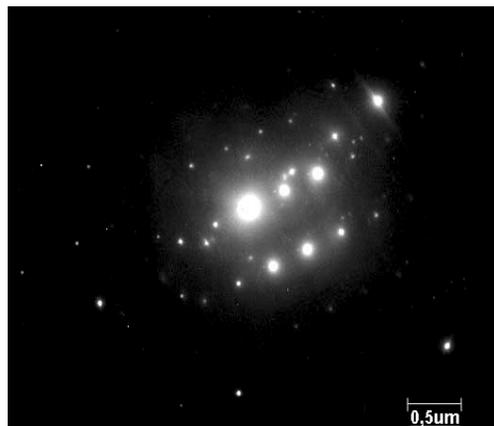
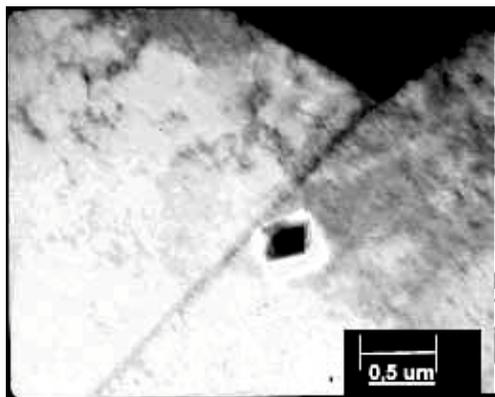


Figura 3 (a)-liga Cu-2,2%Ni-0,6%Be– TTM Figura 3 (b) – liga Cu-2,2%Ni-0,6%Be – padrão final 425°C/6h corte longitudinal – precipitado de difração da matriz e do precipitado da figura em contorno de grão anterior.

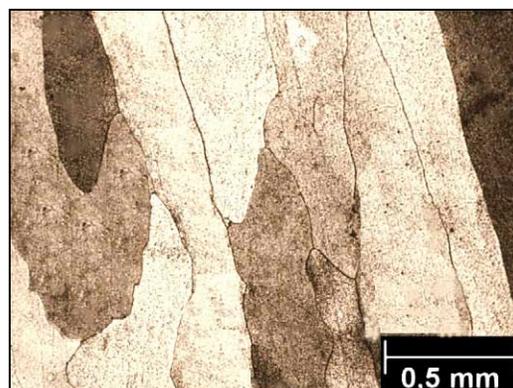
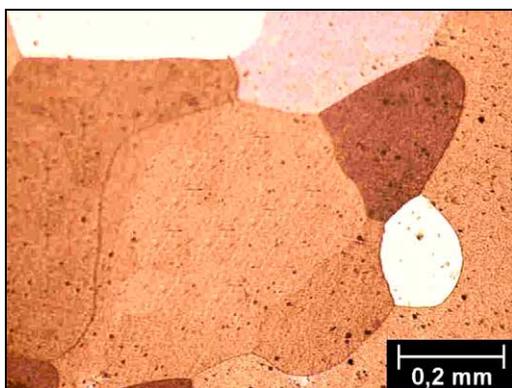


Figura 4 (a) - liga Cu-2,2%Ni-0,1%Be – Figura 4 (b) – liga Cu-2,2%Ni-0,6%Be – solubilizada– corte longitudinal – Ataque: Nital laminada 35% corte longitudinal à laminação - 15% por imersão. Ataque: Nital 15% por imersão.

Embora não seja possível através da MO a distinção da porcentagem de berílio nas ligas, é possível avaliar a influência do tratamento termomecânico aplicado. As micrografias ópticas nas figuras 5 (a) e 5 (b) exemplificam tal situação. Estruturas semelhantes foram obtidas entre as diferentes concentrações de berílio, demonstrando que os incrementos produzidos na dureza sem prejuízo da condutividade devem ser avaliados com o auxílio da microscopia eletrônica de transmissão.

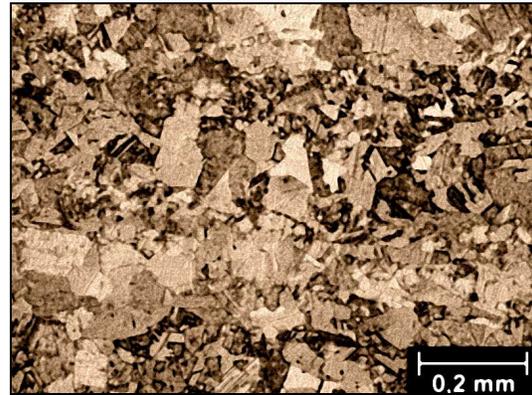
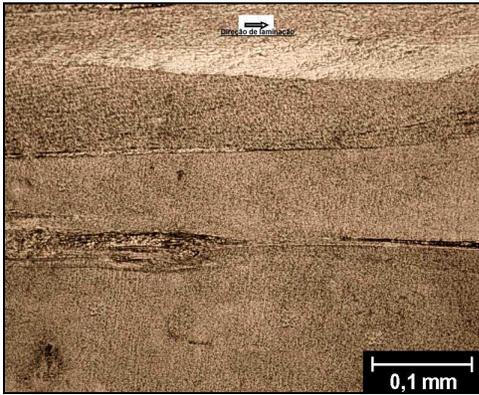


Figura 5 (a) - liga Cu-2,2%Ni-0,1%Be – Figura 5 (b) – liga Cu-2,2%Ni-0,6%Be – após TTM laminada 60% – corte longitudinal – Ataque: final 425°/6h corte transversal à laminação - Ataque: Nital 15% por imersão. Nital 15% por imersão.

Conclusões

O tratamento termomecânico desenvolvido para a liga Cu 2%Ni x%Be (x equivalendo a 0,1 ou 0,6%) proporciona o aumento da dureza mantendo a condutividade elétrica da liga. A relação entre dureza e resistividade é diretamente proporcional, entretanto, o aumento de dureza pode ser obtido baseado na retirada de soluto da solução sólida. Visto que a resistividade é fortemente dependente da presença de soluto a retirada deste com um tratamento térmico final mais elevado (425°C/6h) possibilitou a otimização das duas propriedades, dureza e condutividade, simultaneamente. Este processo, endurecimento por precipitação, é o mais recomendado quando se deseja a obtenção de ligas com valores intermediários nessas propriedades. A caracterização óptica e eletrônica demonstrou ser fundamental na interpretação do processo e acompanhamento do tratamento termomecânico.

Bibliografia

1. ANNUAL BOOK OF ASTM STANDARDS, 1975, part 44, “Metallic Materials for Thermostats and for Electrical Resistance, Heating and Contacts”, pp. 249-251.
2. ROSSITER, P. L., The Electrical Resistivity of Metals and Alloys, Cambridge, U.K.: Cambridge University Press, 1987.
3. JESUS, S. L.; MONTEIRO, W. A.; Silva, L. C. E.: Electrical Conductivity and Micro structural analysis of Cu-Ni-Be Alloy for Electronic Devices, Acta Microscopica, vol. 8-A, October 1999.

Agradecimentos

Os autores são gratos ao suporte financeiro da FAPESP.