

CARACTERIZAÇÃO MICROESTRUTURAL DE LIGA DE COBRE PARA COMPONENTES ANTIFRICÇÃO*

Cássio Barbosa¹

Sheyla Santana de Carvalho²

Ibrahim de Cerqueira Abud³

Lisiane Gonçalves de Lima⁴

Denise Souza de Freitas⁵

Resumo

O desenvolvimento da indústria metal-mecânica nos últimos anos tem levado à demanda de materiais com propriedades mecânicas e de resistência à corrosão cada vez melhores, com o objetivo de suportar severas condições de uso e assim garantir melhor desempenho para equipamentos e estruturas que utilizam os componentes fabricados com estes materiais. Neste contexto, é de fundamental importância conhecer bem a microestrutura destes materiais, que influencia consideravelmente suas propriedades. O propósito deste trabalho é realizar uma caracterização preliminar de ligas não ferrosas (de alumínio e de cobre) utilizadas na fabricação de componentes antifricção. Com esta finalidade, técnicas como microscopia ótica, microscopia eletrônica de varredura (MEV), envolvendo análises de EDS e de EBSD, assim como ensaios de microdureza foram utilizadas para caracterizar a microestrutura do material (liga Cu-Sn-Bi). Os resultados obtidos neste estudo permitiram a identificação das fases presentes neste material.

Palavras-chave: Caracterização microestrutural; Cobre; Fricção.

MICROSTRUCTURAL CHARACTERIZATION OF COPPER ALLOY FOR ANTIFRICTION COMPONENTS

Abstract

In the last years the development of the mechanical and metallurgical industry has led to the search for materials with even better mechanical properties and corrosion resistance, with the purpose of withstanding severe conditions of use and thus assesses better performance for equipments and structures that use components fabricated with such materials. In this context it is very important to know in detail the microstructure of these materials that influence considerably their properties. The purpose of this work is to achieve an initial characterization of non ferrous alloys (aluminum and copper based alloys) used in the fabrication of antifriction components. With focus on this aim, techniques such as optical microscopy, scanning electron microscopy (SEM), comprising EDS and EBSD analysis procedures were used to characterization the microstructure of the alloy (Cu-Sn-Bi). The results obtained in this study allowed the identification of the phases present in this material.

Keywords: Microstructural characterization; Aluminum; Copper; Friction.

¹ Engenheiro Metalúrgico, D.Sc., Tecnologista, DEMP/LACPM, Instituto Nacional de Tecnologia - INT, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

² Engenheira Mecânica, M.Sc., Tecnologista, DCOR/LACOR, INT, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

³ Engenheiro Metalúrgico, M.Sc., Tecnologista, DEMP/LACPM, INT, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

⁴ Química Industrial, M.Sc., Tecnologista, DCOR/LACOR, INT, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

⁵ Engenheira Química, Ph.D., Tecnologista, DCOR/LACOR, INT, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

Componentes antifricção são utilizados em motores e outros tipos de dispositivos, nos quais atuam carregamentos dinâmicos em condições de atrito entre superfícies metálicas, como no caso de mancais que envolvem eixos rotatórios. Nessas condições, além de resistência mecânica adequada às solicitações o componente antifricção deve apresentar características de superfície deslizante que minimize o atrito com o eixo girante ou algum outro elemento que lhe transmita esforços mecânicos que exijam considerável resistência ao desgaste e fadiga na superfície, além de adequada lubricidade, que favoreça o deslizamento entre o eixo, ou peça semelhante, e o mancal, ou componente de suporte.

Ao longo de várias décadas de evolução da indústria mecânica, foram propostas e desenvolvidas ligas metálicas à base de alumínio e de cobre, às quais foram adicionados determinados elementos com o propósito de conferir lubricidade e resistência mecânica. Este é o caso das ligas Al-Sn-Si-Cu e Cu-Sn-Bi, temas deste estudo. Estas ligas apresentam uma favorável combinação de resistência mecânica adequada com lubricidade compatível com esta aplicação.

Para aplicação em componentes antifricção, o bismuto tem sido utilizado como alternativa de elemento de liga com efeitos lubrificantes ao uso do chumbo, cuja utilização tem sido cada vez mais limitada devido aos efeitos tóxicos para a saúde de trabalhadores em atividades nas quais ocorre a emissão de vapores de chumbo, como a fundição e a soldagem, por exemplo.

A microestrutura da interface entre Cu e o eutético Sn-Bi se caracteriza pela presença da fase rica em Sn em tonalidade escura e a fase rica em Bi na tonalidade clara. Na interface o Sn reage com o Cu para formar uma fina camada de composto intermetálico Cu_6Sn_5 (fase η) com espessura de aproximadamente 1,2 μm . Com o envelhecimento, esta camada de fase η cresce para 6 μm . Existe também uma camada muito fina (aproximadamente 0,5 μm de espessura) de outro composto intermetálico, Cu_3Sn , também conhecido como fase ϵ , que se forma entre Cu e a fase η , e que só pode ser observado com maiores aumentos em MEV [1].

O consumo preferencial de Sn para formar a fase η grosseira leva à formação de uma rede de fase rica em Bi na interface entre a matriz e a fase intermetálica Cu-Sn [2].

O Bi não forma fases intermetálicas com o Sn, e apresenta solubilidade muito limitada no Sn e também nos intermetálicos Cu-Sn. O Bi se apresenta predominantemente no eutético bifásico. Assim como o Pb, o Bi se acumula na interface entre o intermetálico Cu-Sn e a matriz. Entretanto, o Bi é mais duro e frágil que o Pb, apresentando efeito diferente nas propriedades mecânicas do material. O Bi pode causar fragilização de contornos de grãos no Cu [2]. Se for adicionado em teores excessivos (bem acima de 5 %) o Bi forma partículas grosseiras, prejudicando as propriedades mecânicas [3].

A exposição de bronze ao ar por longos períodos leva à formação de uma camada de óxido protetora, que evita a corrosão, mas a presença de compostos sulfetados ou cloretados acelera a corrosão do bronze [1]. Em geral, bronzes de estanho apresentam boa resistência mecânica e dureza combinadas com boa ductilidade, mas se for adicionado em teores excessivos (bem acima de 5%) o Bi forma partículas grosseiras, prejudicando as propriedades mecânicas [2]. Entretanto, a presença de outros elementos de liga pode alterar o comportamento de segregação do Bi nas ligas de cobre [2].

2 MATERIAL E METODOLOGIA EXPERIMENTAL

A Tabela 1 mostra a composição química da liga Cu-Sn-Bi, utilizadas em componentes antificção.

Tabela 1. Composição química da liga Cu-Sn-Bi.

Elemento	Sn	Bi	Ni	Fe	Pb	Outros cada	Outro total	Cu
% em massa	3,5-4,5	3,0-5,0	0,7-1,3	0,7 máx.	0,1 máx.	0,3 máx.	0,7 máx.	Restante

Três tipos de ensaios foram realizados: microscopia ótica, incluindo análise visual em estéreo-microscópio, ensaio de microdureza, e microscopia eletrônica de varredura (MEV).

Amostras foram submetidas à preparação metalográfica convencional: corte, embutimento, lixamento (100 malhas a 1200 malhas) e polimento (pasta de diamante com granulometria de 6 μm , 3 μm e 1 μm) [4-6]. A amostra de liga Cu-Sn-Bi foi atacada com solução de 30 ml de HCl e 15 g de FeCl_3 em 300 ml de etanol. Deste modo foram obtidas imagens em microscópio ótico Olympus, modelo BX 51M. As mesmas amostras analisadas em microscopia ótica foram observadas com os mesmos ataques metalográficos em um microscópio eletrônico de varredura (MEV), marca FEI, modelo Quanta FEG 450 com canhão de emissão por campo elétrico ("field emission gun": FEG) operando a 20 kV, equipado com um detector de EDS (dispositivo de espectroscopia de energia dispersiva de raios X) e outro de EBSD ("electron back scattering diffraction: difração de elétrons retroespalhados).

Foi medida a microdureza na escala Vickers com carga de 25 gf (0,245 N) em ambas as ligas, utilizando um microdurímetro LECO-Akashi modelo 400-M-H e de acordo com a Norma ISO 6507-1 [7].

3 RESULTADOS

A microestrutura da liga (Cu-Sn-Bi), obtida por microscopia ótica, é mostrada na figura 1.



Figura 1. Microestrutura da liga Cu-Sn-Bi por microscopia ótica, com FeCl_3 e HCl em etanol.

As figuras 2 e 3 mostram imagens de MEV e espectros de EDS da amostra de liga Cu-Sn-Bi, revelando as partículas claras como partículas de bismuto situadas nos contornos dos grãos da matriz (Cu-Sn), inclusive pontos triplos.

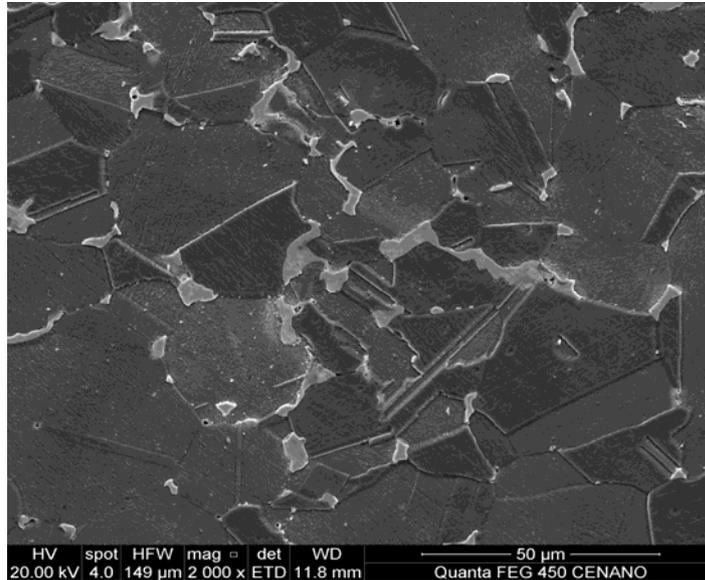
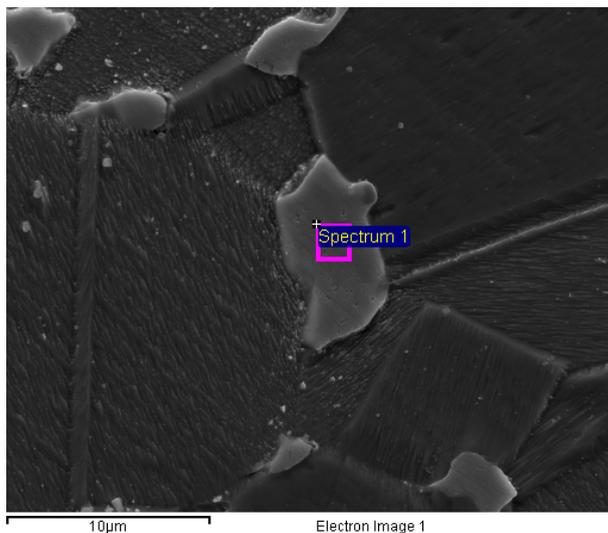


Figura 2. Microestrutura da liga Cu-Sn-Bi observada em MEV: matriz escura: bronze (Cu-Sn) e partículas mais claras: bismuto.



Element	Weight%	Atomic%
Cu K	7.33	20.64
Bi M	92.67	79.36
Totals	100.00	

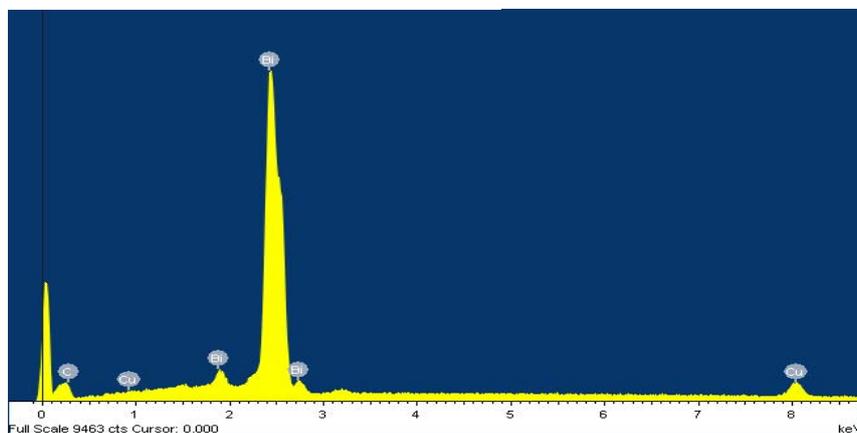


Figura 3. Imagem de MEV e espectro de EDS: partícula de bismuto.

A figura 4 mostra uma pequena partícula rica em cobre, cujo espectro de EDS é mostrado na figura 5

A figura 6 mostra um mapa de EBSD da mesma amostra, que confirma a matriz do bronze (Cu-Sn) como os grãos mais grosseiros, representados no mapa pela coloração azul e as partículas de bismuto como a fase representada pela cor amarela. Adicionalmente, pela definição da estrutura cristalográfica, indica as pequenas partículas como sendo exclusivamente de cobre.

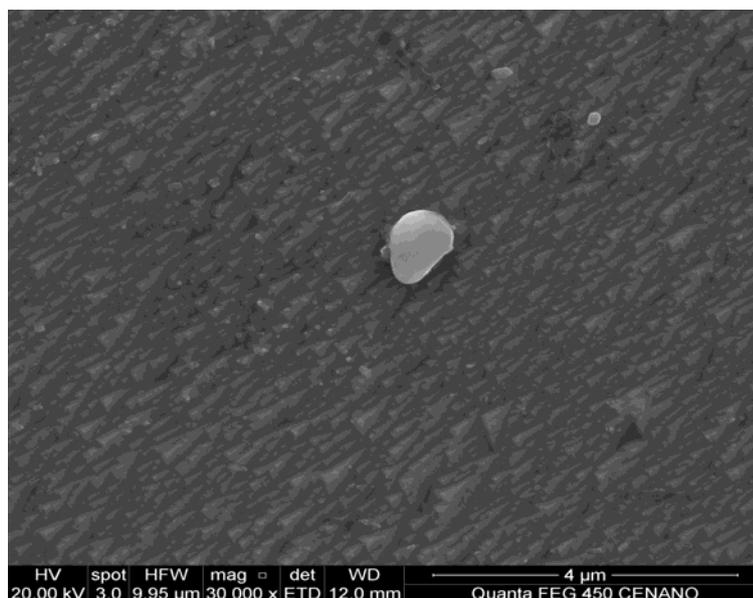
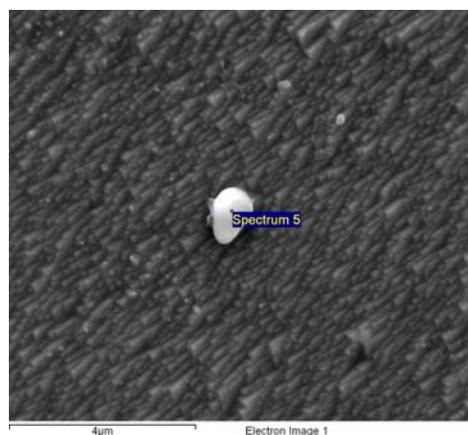


Figura 4. Imagem de MEV: partícula pequena rica em cobre.



Element	Weight%	Atomic%
C K	11.84	36.94
Al K	0.29	0.41
P K	13.83	16.72
Fe K	30.83	20.68
Ni K	6.74	4.30
Cu K	34.45	20.31
Sn L	2.03	0.64
Totals	100.00	

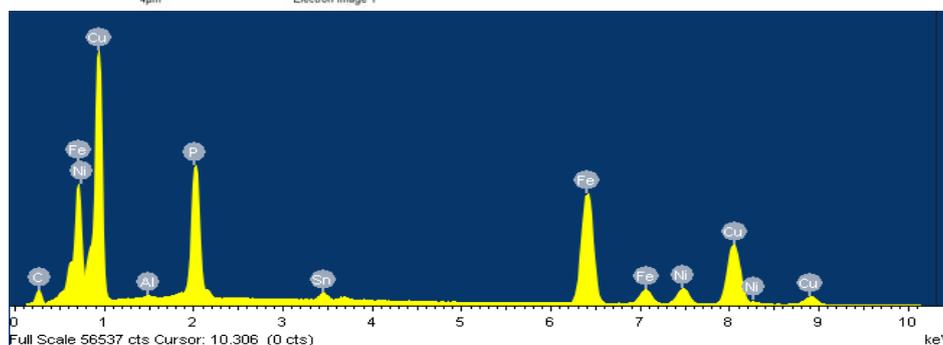


Figura 5. Espectro de EDS da partícula pequena rica em cobre.

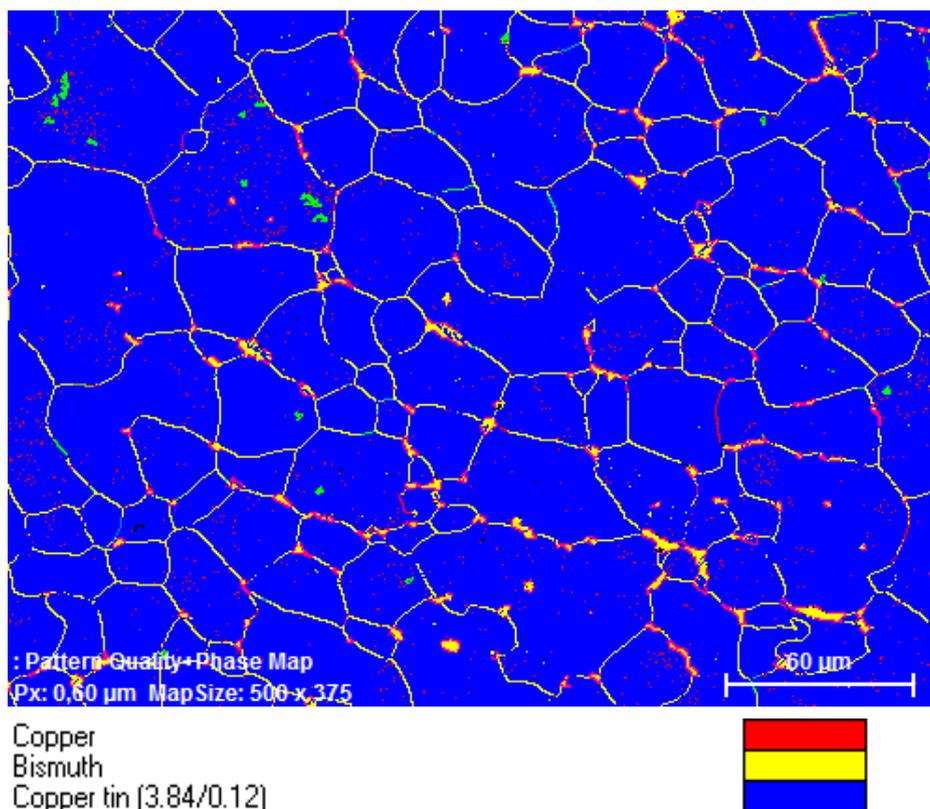


Figura 6. Mapa de EBSD para identificação de fases: matriz de Cu-Sn, partículas relativamente grandes de bismuto nos contornos e partículas pequenas de cobre.

A tabela 2 apresenta os valores de microdureza na escala Vickers com carga de 25 gf (0,245 N), na matriz rica em cobre e estanho e nas partículas mais grosseiras, ricas em bismuto.

Tabela 2. Microdureza na matriz e nas partículas mais grosseiras da liga Cu-Sn-Bi.

Região	Matriz (HV0,25)	Partículas (HV0,25)
1	94,00	86,00
2	109,00	83,00
3	102,00	85,00
4	98,00	86,00
5	95,00	86,00
Média	99,60	85,20

4 DISCUSSÃO

A análise da liga Cu-Sn-Bi por microscopia ótica revelou a presença de partículas relativamente grosseiras distribuídas principalmente nos contornos de grãos da matriz.

Por microscopia eletrônica de varredura (MEV), contando com um detector de espectroscopia dispersiva de raios X (EDS), determinou-se que estas partículas grosseiras são constituídas por bismuto. As mesmas técnicas, com maior ampliação, permitiram a identificação de partículas muito menores, ricas em cobre.

A análise por difração de elétrons retroespalhados (EBSD), confirmou a presença destas mesmas fases, matriz de bronze (Cu-Sn) com partículas grosseiras de bismuto nos contornos e pequenas partículas dispersas de cobre. Não foi encontrada na literatura nenhuma referência específica relatando a presença dessas pequenas partículas ricas em cobre, mas duas técnicas diferentes (EDS e EBSD) confirmaram a presença desta fase.

Os ensaios de microdureza, consideradas as limitações intrínsecas da técnica, evidenciaram a menor dureza das partículas ricas em bismuto. Embora as indentações parcialmente abranjam a matriz, uma vez que são maiores do que estas partículas, mesmo assim o menor valor médio de dureza obtido na partícula (85,20 HV), quando comparado ao obtido na matriz (99,60 HV) pode ser considerado significativo. Talvez o uso de um nanoindentador permita a obtenção de indentações ainda menores, contidas completamente dentro das partículas, eliminando a interferência da matriz, observada mesmo com baixa carga.

De um modo geral é possível dizer que a liga Cu-Sn-Bi reúne características microestruturais que favorecem sua utilização em componentes antifricção de aplicação industrial, conjugando boa resistência mecânica com boa lubricidade.

5 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos, com o uso de técnicas como microscopia ótica, MEV e microdureza, revelaram a microestrutura da liga Cu-Sn-Bi, constituída por uma matriz rica em cobre e estanho (bronze) e várias partículas de diferentes fases secundárias.

Entre estas fases/partículas observou-se a presença de bismuto sob a forma de partículas relativamente grosseiras, localizadas principalmente nos contornos dos grãos da matriz. Estas partículas, bem mais macias que a matriz, contribuem para a boa lubricidade do material aplicado em componentes antifricção.

Partículas bem menores de cobre foram observadas por MEV com maiores aumentos (em torno de 30.000 X) e identificadas por EDS e EBSD. Embora não tenha sido encontrada referência sobre esta fase na literatura, duas técnicas diferentes (EDS e EBSD) confirmaram sua presença.

Agradecimentos

Os autores agradecem à FAPERJ e ao CNPq pelo apoio financeiro e a Rafael de Abreu Vinhosa pela participação nas atividades experimentais do trabalho.

REFERÊNCIAS

- 1 Liu, P.I.; Shang, J.K.; "Interfacial embrittlement by bismuth segregation in copper/tin-bismuthPb free solder interconnect", Journal of Materials Research, v. 16, (6), June, 2001, 1651-1659.
- 2 La Fontaine, A.; Keast, V.J.; "Compositional distributions in classical and lead free brasses", Materials Characterization, v. 57, 2006, 424-429.
- 3 Saxton, D.M.; Carpenter, J.M.; Sevenski, G.W.; Schmitt, H.; Andler, G.; "Wear resistant lead free alloy bushing and method of making"; United States patent Applications Publication, US2008/0166578 A1, July, 10, 2008.
- 4 ASTM E 3-11, "Standard Guide for Preparation of Metallographic Specimens", American Society for Testing Materials, 2011, 13 p.

- 5 ASTM E 407-07e1, “Standard Practice for Microetching Metals and Alloys”, American Society for Testing Materials, 2011, 23 p.
- 6 Andrews, S.; Rückert, M.; “Metallographic preparation of bearing materials”, Struers, Journal of Materialography, 12;2006, 3-6.
- 7 ISO 6507-1:2005, “Metallic materials -- Vickers hardness test -- Part 1: Test method”, International Organization for Standardization, 19 p.
- 8 Pathak, J.P.; Mohan, S.; “Tribological behaviour of conventional Al-Sn and equivalent Al-Pb alloys under lubrication”, Bulletin of Materials Science, 26, (3), 2003, 315-320.