

COMPORTAMENTO ELÉTRICO E MECÂNICO DE LIGAS METÁLICAS TERNÁRIAS A BASE DE COBRE NIQUEL OBTIDAS POR METALURGIA DO PÓ

W A Monteiro, J A Carrió, M A Carvalhal, I M Marques, C R da Silveira, G F Silva
Rua da Consolação, 930 - CEP 01302-907 - Consolação - São Paulo - SP – Brasil
tecnologia@mackenzie.br

Universidade Presbiteriana Mackenzie
Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares

RESUMO

As ligas metálicas que tenham alta resistência mecânica e condutividade elétrica são necessárias para se obter condutores elétricos, conectores, condutores de calor e contatos de deslizamento. As ligas metálicas ternárias Cu-Ni-Al, Cu-Ni-Cr e Cu-Ni-Sn foram fabricadas com diferentes composições e submetidas a processos de compactação, sinterização e homogeneização (metalurgia do pó) com o objetivo de estudar suas propriedades elétricas e mecânicas. Este processamento foi escolhido pelas conhecidas vantagens competitivas em aplicações industriais. Os tratamentos térmicos realizados têm criado refino de precipitados presentes, estrutura fina de grão e redistribuição homogênea dos elementos de liga na matriz. Os resultados obtidos, até o momento, com as composições utilizadas das diversas ligas ternárias a base de cobre-níquel que foram produzidas apresentam valores condizentes com a futura aplicação em contactos elétricos. A condutividade elétrica medida nas ligas estudadas tem-se situado entre 35%IACS e 65%IACS e a resistência mecânica acima de 350MPa.

Palavras-chave: ligas ternárias de cobre-níquel, metalurgia do pó, caracterização microestrutural, propriedades elétricas, propriedades mecânicas.

INTRODUÇÃO

O principal objetivo desse trabalho é obter ligas metálicas com alta resistência mecânica e alta condutividade elétrica depois de adequada sinterização e de tratamentos térmicos (processamento por metalurgia do pó) seguido de caracterização microestrutural, elétrica e mecânica de ligas Cu-y%Ni-x% Me (x e y têm valores variáveis em peso e Me = Sn, Cr ou Al). Diversos tipos de produtos baseados em ligas de cobre podem ser processados por metalurgia do pó: materiais porosos, filtros, equipamentos de fricção elétrica, contatos e partes estruturais ⁽¹⁻¹⁶⁾.

Os elementos de liga são adicionados ao cobre visando melhoria de sua resistência mecânica, ductilidade e estabilidade térmica, sem causar danos consideráveis em sua forma, condutividade térmica e elétrica e resistência à corrosão, características típicas do cobre puro. A escolha dessas ligas está relacionada aos estudos realizados previamente em ligas ternárias similares ⁽¹⁻⁸⁾.

Este trabalho enfatiza a obtenção de etapas sistemáticas da sinterização e da homogeneização das ligas ternárias de cobre-níquel utilizando metalurgia do pó (MP). Os elementos de liga são adicionados ao cobre com visando melhoria da resistência mecânica, da ductilidade e da estabilidade térmica, sem causar os danos consideráveis em sua forma, condutividade elétrica e térmica e também resistência à corrosão ⁽³⁻⁵⁾.

As principais vantagens por MP são: a possibilidade em criar finas estruturas de grãos homogêneos; confecção de formatos complicados com tolerâncias restritas e seguras; produção de peças com superior acabamento de superfície ⁽¹³⁻¹⁶⁾.

MATERIAIS E MÉTODOS

A produção e mistura de pós é um processo complexo e altamente especializado que produz misturas de pós especificados para satisfazer as necessidades de uma aplicação específica. Para a produção de componentes, os pós misturados são inicialmente compactados sob alta pressão e tem aspecto geométrico do componente pronto, mas não resistente mecanicamente. Para desenvolver propriedades mecânicas e físicas do material, ligação metalúrgica deve ocorrer via sinterização à alta temperatura em um forno adequado. A ligação ocorre

via difusão entre partículas adjacentes. Para evitar oxidação que impediria esta ligação entre partículas é conduzida em uma atmosfera protetora ou sob vácuo adequado. A ligação aumentará a densidade; assim mesmo as peças compactadas e sinterizadas geralmente conterão porosidade residual dependendo das condições iniciais.

Como a densidade da peça (compactada e sinterizada) influencia diversas propriedades como, por exemplo, resistência, ductilidade e dureza, é bastante crítica sua porosidade. Para um bom controle do processo, a metalografia é empregada para justamente avaliar a porosidade, as inclusões não metálicas e contaminações diversas.

As amostras das ligas de cobre depois de compactadas foram sinterizadas sob vácuo em um forno Carbolite que tem uma zona quente de 150 mm de comprimento. As condições mais importantes estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Parâmetros de sinterização das ligas ternárias a base de cobre - níquel

Condição	Pre-mistura		
Pressão de compactação a frio	1000 kPa		
Composição Química (% em peso)	Cu-0,5%Ni-0,5%Al; Cu-1%Ni-0,5%Al; Cu-1%Ni-1%Al; Cu-3%Ni-3%Al; Cu-4%Ni-4%Al; Cu-0,5%Ni-0,5%Sn; Cu-1%Ni-0,5%Sn; Cu-1%Ni-1%Sn; Cu-3%Ni-3%Sn; Cu-5%Ni-5%Sn; Cu-0,5%Ni-0,5%Cr; Cu-1%Ni-0,5%Cr; Cu-1%Ni-1%Cr; Cu-1,5%Ni-0,5%Cr		
Dimensão da amostra cilíndrica	Diâmetro (ϕ) = $10,2 \times 10^{-3}$ m e Altura (h) = $14,8 \times 10^{-3}$ m		
Massa da amostra	$6,5 \times 10^{-3}$ kg		
Temperatura de sinterização e condições específicas	T_s	Condição	Pressão de vácuo
	923K - 1073K	Sinterização por Estado Sólido	$1,33 \times 10^{-2}$ N / m ² ($1,33 \times 10^{-7}$ bar)
Tempo de sinterização	$1,2 \times 10^3$ s a $5,4 \times 10^3$ s		
Tempo de Homogeneização	$3,6 \times 10^3$ s a $172,8 \times 10^3$ s		

Estudos de microscopia óptica e dureza em amostras sinterizadas e homogeneizadas embutidas a frio. As amostras foram lixadas (SiC) na seqüência granulométrica de 400, 600, 800, 1000 e 1200 e seguidas de polimento especial (pastas de diamante ou alumina). As amostras polidas foram medidas em equipamento de dureza Vickers (HXD 1000TM – PANTEC, carga de 0,1kg). A microestrutura de amostras após ataque químico (cloreto férrico) foi observada por

microscopia óptica. Amostras especiais para estudos por condutividade elétrica foram medidas utilizando um Milliohmímetro Agilent 4338B.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados principais obtidos com as amostras das ligas ternárias de cobre-níquel são apresentados na Tabela 2 com relação à mistura, compactação, sinterização, tratamentos térmicos de homogeneização e também os valores obtidos de dureza e condutividade elétrica. A resistência mecânica das ligas metálicas estudadas depende da distribuição da precipitação para obter condutividade elétrica similar a do cobre puro (matriz).

Tabela 2 – Dados das propriedades mecânicas e elétricas das ligas ternárias de cobre-níquel obtidas por metalurgia do pó.

Ligas ternárias composição química	Sinterização		Homogeneização		Resistência Mecânica (MPa)	Condutividade Elétrica (% IACS)
	T(K)	tempo (10 ³ s)	T(K)	tempo (10 ³ s)		
Cu-0,5%Ni-0,5%Sn	948	9,9	773	172,8	310	52
Cu-1%Ni-1%Sn	973	5,4	773	32,4	540	37
Cu-1%Ni-0,5%Sn	948	9,9	--	--	308	38
Cu-0,5%Ni-0,5%Cr	1053	5,4	773	32,4	330	32
Cu-1%Ni-0,5%Cr	1053	5,4	--	--	460	33
Cu-1%Ni-0,5%Cr	923	5,4	773	32,4	460	65
Cu-1%Ni-1%Cr	1073	5,4	773	172,8	400	37
Cu-1,5%Ni-0,5%Cr	1053	5,4	773	32,4	370	35
Cu-1%Ni-0,5%Al	1053	5,4	--	--	420	30
Cu-1%Ni-0,5%Al	1053	5,4	773	21,6	280	35
Cu-1%Ni-1%Al	1053	5,4	--	--	240	29
Cu-1%Ni-1%Al	1053	5,4	773	32,4	370	30

Para aumentar a resistência mecânica, ductilidade e conformação, levando a boa condutividade elétrica dessas ligas, têm sido usados tratamentos térmicos especiais bem como variações na composição química das ligas metálicas produzidas. No estágio atual da pesquisa os valores da resistência mecânica (300 a 540 MPa) e condutividade elétrica (34 a 65% IACS), dependente da liga ternária de cobre- níquel estudada (Tabela 2), indicam uma aplicação nessas ligas utilizando-se o processamento por metalurgia do pó como substituto do processamento metalúrgico convencional (fusão).

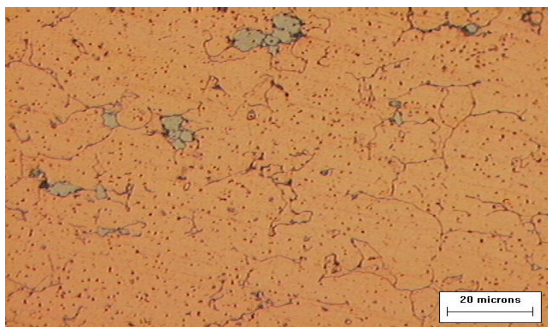


Fig.1 Liga Cu-1%Ni-0,5%Sn, compactada a frio; sinterizada a 923K por 1200s (Micrografia óptica).

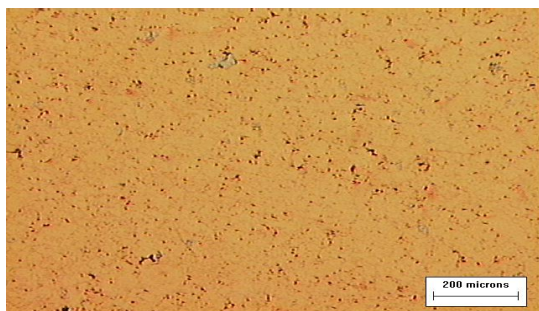


Fig.2 Liga Cu-1%Ni-1%Sn, compactada a frio; sinterizada a 923K por 5400s (Micrografia óptica)

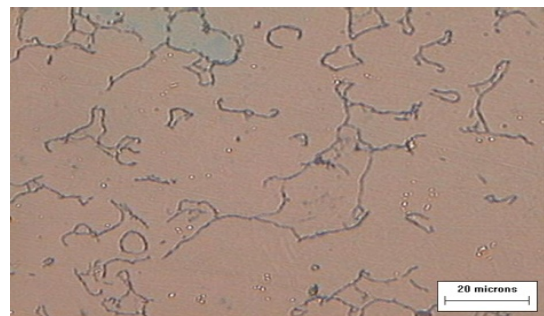


Fig.3 Liga Cu-1.0%Ni-0.5%Cr, compactada a frio; sinterizada a 1053K por 5.400s; homogeneizada a 773K por 21600 s (Micrografia óptica).



Fig.4 Liga Cu-1.0%Ni-0,5%Cr, compactada a frio; sinterizada a 1073K por 5.400s; homogeneizada a 773K por 172.800s (Micrografia óptica).



Fig.5 Liga Cu-1%Ni-0,5%Al, compactada a frio; sinterizada a 1053K por 5400s (Micrografia óptica).

As figuras de 1 a 5 apresentam microestruturas típicas observadas por microscopia óptica nas diversas ligas ternárias à base de cobre-níquel estudadas. Presenças de grãos finos, mas com inadequada porosidade e segundas fases indicam que tratamentos térmicos posteriores serão necessárias para sobrepor essa situação e também investigações já iniciadas com técnicas microestruturais por microscopia eletrônica (MEV e MET) para identificar a presença de segundas fases das ligas estudadas, visando obter as melhores condições para aplicações elétricas e mecânicas usando processamento por metalurgia do pó. A técnica de difração por raios X indicou que as quantidades de dopantes utilizadas (elementos de liga) não distorcem a estrutura da matriz de cobre significativamente ⁽¹⁷⁾.

CONCLUSÃO

As etapas de processamento nas ligas ternárias a base de cobre-níquel realizadas até agora corroboram convenientes valores de resistência mecânica de até 540 MPa e condutividade elétrica de até 65% IACS e que indicam um bom emprego com aplicabilidade dessas ligas utilizando-se processamento por metalurgia do pó em vez de metalurgia convencional (fundição).

A possibilidade de se considerar e construir estruturas homogêneas de grãos finos, a habilidade de se produzir peças com acabamento de superfície superior e a habilidade de conformar formatos complexos com tolerâncias dimensionais seguras induzem essa aplicação metalúrgica.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro ao Projeto por parte da UPM (Mackpesquisa), IPEN, CNPq e CAPES.

REFERÊNCIAS

1. CRANE, J.; WINTER, J. Copper: Properties and alloying, Encyclopedia of Materials Science and Engineering, vol 2, Ed. MB Bewer, Pergamon Press and the MIT Press 1986, p. 848 – 855.
2. TAUBENBLAT, P. W. Copper Selection of high conductivity alloys, Encyclopedia of Materials Science and Engineering, vol 2, Ed. MB Bewer, Pergamon Press and the MIT Press 1986, p. 863-866.
3. ASM SPECIALTY HANDBOOK: COPPER AND COPPER ALLOYS, Metal, chapter 1, section 1, ASM International, 2001.
4. BROOKS, C. R., "Heat Treatment, Structure and Properties of Nonferrous Alloys", ed. ASM, Metals Park, 1988, chapter 8.
5. BUTTS, A. ***Copper, the Science and Technology of the Metal, its Alloys and Compounds***, ed. Reinhold Publishing Corporation, NY, 1954, 3th printing, 1960.
6. GOSH G.; KIYAKE, J.; FINE, M. E. JOM, March (1997), p. 56-60
7. ROTEM, A.; SHECHTMAN, D.; ROSEN, A. Metall. Trans. A .1988, vol. 19A, p. 2279-2285.
8. STEINER, D.; BEDDOE, R.; GEROLD, V.; KOSTORZ, G.; SCHMELCZER, R., Scripta Metall., 1983, vol. 17, p. 733-36
9. GUHA, A.; Development of a high-strength, high-conductivity Cu-Ni-Be Alloy, high conductivity Copper and Aluminum Alloys, eds. E. Ling and P. Taubenblat W., TMS – AIME Publ. 1984, p. 133-145.
10. SAKAI, Y.; INOUE; K.; MAEDA, H., Acta Metall. Mater. 43 (1995), p. 1517.
11. MONTEIRO, W. A.; SILVEIRA, M. A. G.; JÚLIO Jr O. Metalurgia & Materiais, v. 51, 95, p. 440-444.
12. MONTEIRO, W. A.; COSANDEY, F.; BANDARU, P. The Effect Of Thermomechanical Treatment On The Microstructure Of A Cu-Ni-Be Alloy, Proceedings of THERMEC'97, Wollongong, Australia, July 1997.

13. STADTLER, W. A., Production of Metallurgy Parts ASTM, Powder Metallurgy, Ohio, p.449-463, 1989.
14. GHADIRI, M.; FARHADPOUR, F. A.; CLIFT, R.; SEVILLE, J. P. K. Particle characterization size and morphology, The Institute of Metals Series on Powder Metallurgy - An Overview. London, p.56-75, 1991.
15. KAYSSER, W. A. Solid State Sintering. The Institute of Metals Series on Powder Metallurgy - an overview. London, p 45-53, 1991.
16. THÜMMLER, F.; OBERACKER, R. Introduction to Powder Metallurgy. The Institute of Materials, 1993, ISBN 0-901716-26-X).
17. CARRIÓ, J. A. G.; MONTEIRO, W. A.; RODRIGUES, V. A.; TERENCE, M. C.; MASSON, T. J.; MIRANDA, L. F. Structural analysis of influence of dopants in the electrical conductivity of CuNi alloys, EPDIC 11, 19-22 / 09 / 2008, Warsaw, Poland.

ELECTRIC AND MECHANICAL BEHAVIOR OF COPPER BASE NICKEL TERNARY METALLIC ALLOYS OBTAINED BY POWDER METALLURGY

Abstract

The metallic alloys with high mechanical strength and electric conductivity are necessary to get electric conducting, connectors, and electrical contacts. The ternary metallic alloys Cu-Ni-Al, Cu-Ni-Cr and Cu-Ni-Sn had been manufactured with different compositions and submitted to the processes of compacting, sintering and homogenization (powder metallurgy) with the aim to study its electric and mechanical properties. The thermal treatments have created refining of precipitation, fine structure of grain and homogeneous redistribution of the elements of alloy in the matrix. The obtained results, until now, with the used compositions of the diverse copper-nickel base ternary alloys that had been produced show convenient values for the future application in electric contacts. The electrical conductivity measurements in the studied alloys has situated between 35%IACS and 65%IACS and the mechanical resistance above 350MPa.

Keywords: copper alloys, microstructure, electrical properties, mechanical properties