

CORRELAÇÃO ENTRE AS PROPRIEDADES MECÂNICAS E ELÉTRICAS DA LIGA AL - 0,6% Mg - 0,4% SI NÃO REFINADA, MODIFICADA COM TEORES DE COBRE

Machado, P.C., pcmufpa@yahoo.com.br¹;
Freitas, E.S., mmanufreitas@gmail.com¹;
Farias, L.B., lucianafarias21@yahoo.com.br¹;
Santos, W.L.R., wlr@ufpa.br¹;
Quaresma, J.M.V., quaresma@fem.unicamp.br¹;

¹Universidade Federal do Pará, Faculdade de Engenharia Mecânica, Grupo de Pesquisa em Engenharia dos Materiais, Rua Augusto Corrêa, 01, CEP: 66075-110, Caixa postal 479, Belém, Pará, Brasil.

Resumo: A maioria dos utensílios que contribuem para a vida moderna depende das propriedades físicas dos materiais, e a propriedade elétrica é especialmente importante. Em se tratando de fios e cabos para o transporte e distribuição de energia elétrica é fundamental que se conheça o comportamento do fio quanto a sua resposta ao ensaio de tração e de condutividade elétrica. Considerando a importância do assunto, este trabalho apresenta um estudo sobre a influência na condutividade elétrica e propriedade mecânica referente ao acréscimo de Cobre nos teores (0,05 e 0,3)% na liga Al-0,6 Mg-0,4%Si. As ligas assim formadas foram solidificadas em dimensões preestabelecidas em um molde em “U” para depois serem usinadas até o diâmetro de 10 mm e posteriormente laminadas a frio gradativamente até que o corpo de prova atingissem o diâmetro de 3,97mm, cuja finalidade é procurar reproduzir as etapas processadas na fabricação de cabos elétricos no lingotamento contínuo. Em seguida os arames foram trefilados nos diâmetros 3,88; 3,78; 3,45; 3,02; 2,90 mm. Destes corpos de prova foram retiradas amostras para a caracterização mecânica e elétrica.

Palavras-chave: Liga Al-Mg-Si-Cu, propriedade mecânica, condutividade elétrica, deformação a frio.

1. INTRODUÇÃO

Podendo ser manufaturado na forma de vergalhões e arames, o alumínio é submetido ao processo de laminação e trefilação, resultando em fios e cabos de diversas bitolas para diferentes utilizações.

Na produção de fios e cabos pode-se encontrar o alumínio sob a forma não ligado e ligado, para o segundo caso tem-se, por exemplo, a série 6xxx com as ligas 6101 e 6201 como as mais usadas para esta finalidade, almejando-se entre outras propriedades, uma condutividade elétrica de aproximadamente 57% IACS (*International Annealed Copper Standard*) após os tratamentos térmicos pertinentes.

A conquista de um espaço, cada vez maior, na indústria de condutores elétricos pelas ligas Al-Mg-Si pode ser alavancada pelas significativas vantagens no uso de cabos de liga no lugar dos tradicionais cabos de alumínio com alma de aço para o transporte e distribuição de energia, tais como: Maior resistência a ambientes salinos; maior leveza; maior condutividade para mesma seção transversal; similar resistência mecânica; maior facilidade a ser reciclado.

O avanço da tecnologia e a competitividade do mercado exigem cada vez mais produtos de melhor qualidade [FERNANDES NETO,2002; MACHADO NETO,2007] impulsionando o desenvolvimento das ligas de alumínio e assim para essas ligas existe um importante papel no crescimento de toda a indústria [ATXAGA,2001].

No que diz respeito às ligas diluídas da série 6000, tem-se uma aplicabilidade muito intensa da liga 6101 [Al-Mg-Si] na fabricação de cabos e fios para Distribuição e Transmissão de energia elétrica [FERNANDES,2003], e quando se acrescenta a esta o Cobre, a liga modificada, apresenta progressivo acréscimo na sua resistência mecânica [CHAKRABART,2001; PRAZERES,2007].

2. MATERIAIS e MÉTODOS

A elaboração das ligas de alumínio para fundição utilizou-se alumínio EC (~97,78%), produzido pela ALUBAR METAIS. Foram utilizadas ligas da série 6xxx, mais precisamente ligas do sistema da liga Al-Si-Cu-Mg-Fe. As composições nominais das ligas 6101 estão dispostas em uma faixa admissível, e são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Limites Admissíveis das Ligas 6101 [ROOY,1992]

Liga	Si %	Mg %	Fe %	B %	Cu %	Mn %	Cr %	Zn %
6101	0,30 a 0,70	0,35 a 0,8	<0,5	<0,06	<0,1	<0,03	<0,03	<0,1

As composições químicas (Tabela 2) das ligas foram lidas em um espectrômetro de massa nas dependências das INDÚSTRIAS ALUBAR.

Tabela 2. Composição química da liga de alumínio 6101

Ligas de Al	Código	Porcentagem em Massa							
		Al	Si	Fe	Cu	Mg	Mn	Zn	outros
0,4%Si; 0,05%Cu; 0,6%Mg	Al005	98,60	0,3655	0,2821	0,0466	0,6893	0,0018	0,0009	0,0138
0,4%Si; 0,3%Cu 0,6%Mg	Al03	98,48	0,3602	0,1578	0,2544	0,5762	0,0060	0,0203	0,1451

As ligas foram preparadas por fundição utilizando alumínio comercial em cadinhos de Carbetto de Silício revestido interiormente por uma pintura protetora de caulim, em um forno tipo mufla. Se fez necessário uma correção em peso na composição das ligas estudadas, nos elementos químicos Si, Cu, Fe e Mg. Usou-se o fator de correção 1,06 para o elemento magnésio pelo fato desse componente ser muito volátil, e com o intuito de avaliar o cobre na liga, se faz necessária duas variações no teor do elemento, ou seja, de 0,05% e 0,3%Cu. As ligas foram vazadas nas mesmas condições térmicas em um molde de coquilha de aço carbono com o formato de “U” (figura 1), para que fosse possível retirar corpos de prova cilíndricos para facilidade de usinagem.

Todos os vazamentos receberam injeção de argônio com uma vazão de 0,2 l/s mergulhada a 40 mm do fundo do cadinho [GOMES,1976].

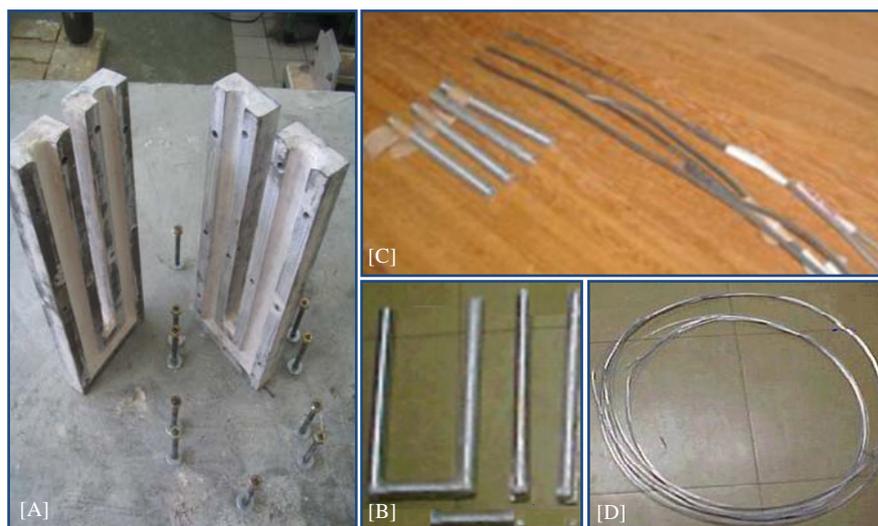


Figura 1. [A]-Molde em formato de “U”; [B]-Peça obtida pelo vazamento; [C]-Corpos de prova usinados ($\phi=9,8$ mm) e laminados ($\phi=3,98$ mm); [D]-Corpos de prova trefilados ($\phi=3,88; 3,78; 3,45; 3,02; 2,90$ mm).

A peça obtida em formato de U foi cortada na base, usinando as maiores peças até o diâmetro [ϕ] de 9,8mm, em seguida foram laminados à frio em um laminador duo elétrico com canal circular, sendo feitos sucessivos passes até chegar-se a fios de $\phi = 3,98$ mm que posteriormente foram trefilados até o $\phi = 2,90$ mm, sofrendo uma redução máxima da ordem de 70%. Estas etapas encontram-se ilustradas na figura 1. Após estes processos de deformações os corpos de

prova obtidos foram caracterizados eletricamente através do ensaio de resistividade/condutividade no qual, utilizou-se um micro homímetro, marca MEGABRAS, modelo MPK – 2000e, obedecendo a norma NBR-6814. A caracterização mecânica realizou-se através de ensaios de tração segundo a norma NBR-6810, nos quais se utilizou uma máquina Kratos, modelo KE 3000 MP. Estes equipamentos podem ser vistos na figura 2.



Figura 2. Equipamentos para a Caracterização Mecânica [KRATOS] e Elétrica [Micro homímetro].

3. RESULTADOS e DISCUSSÕES

A caracterização mecânica realizado nas duas ligas (0,05 e 0,3 %Cu) nos diâmetros (ϕ) 3,88; 3,78; 3,45; 3,02; 2,90 mm, estão plotados nos gráficos da figura 3. A evolução dos perfis das curvas de LRT tanto em relação aos diâmetros dos fios como em relação a redução de área apresentam valores crescentes à medida em que diminuem os diâmetros ou a redução de área aumenta. Sendo este comportamento mais acentuado para a liga com 0,3% Cobre. A observação da superfície dos arames se apresentou sempre lisa e isenta de defeitos, atestando a elevada trabalhabilidade das duas ligas e, com excelentes respostas ao encruamento, com ganho de LRT da ordem de 39,51 MPa para a liga com 0,3% Cobre e 13 MPa para a liga com 0,05% Cobre. Estes comportamentos sugerem que teores de Cobre crescentes reagem mais intensamente a deformação plástica à frio melhorando a capacidade de encruamento da liga.

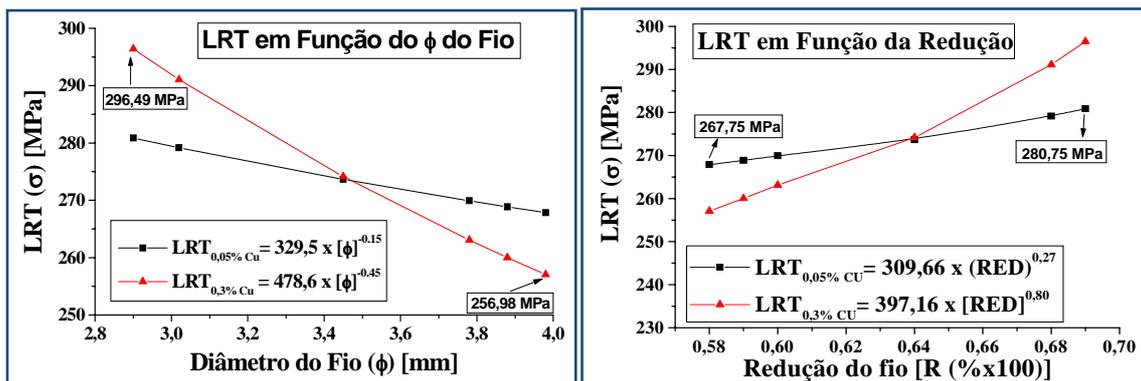


Figura 3. Relação do limite de resistência a tração (LRT) em função do diâmetro(ϕ) do fio e redução dos diâmetros do vergalhão.

Por outro lado a caracterização elétrica, nas mesmas circunstâncias da caracterização mecânica, apresenta valores que sugerem dois aspectos comportamentais: i. A condutividade elétrica é mais eficiente nas ligas com menores teores de Cobre; ii. Maiores deformações contribuem para dificultar a condutividade elétrica. Sendo este comportamento mais acentuado para a liga com 0,3% Cobre.

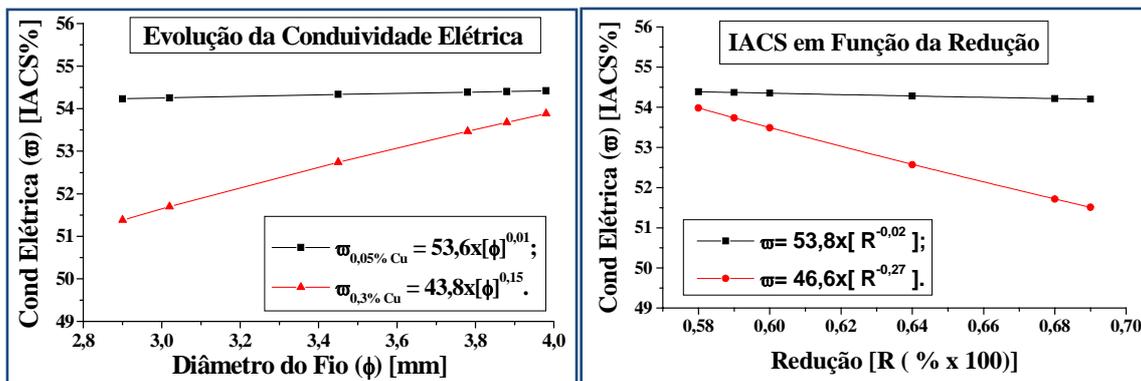


Figura 3. Relação da condutividade [IACS] em função do diâmetro(ϕ) do fio e redução dos diâmetros do vergalhão.

4. CONCLUSÃO

Os resultados do presente estudo apontaram para os seguintes aspectos:

- a. Quanto a trabalhabilidade as duas ligas apresentaram excelente comportamento;
- b. Quanto a caracterização mecânica a liga com 0,3% Cobre apresentou melhor comportamento ao reagir melhor a deformação plástica à frio e conseqüentemente ao encruamento;
- c. Quanto a caracterização elétrica a liga com 0,05% Cobre apresentou valores que a colocam como melhor condutora de energia elétrica.

Os teores de Cobre avaliados proporcionam o entendimento de que teores de Cobre crescente, em ligas de alumínio, podem contribuir para melhorar as características mecânicas mas não favorecem o aspecto da condutividade elétrica.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem as instituições de fomento a pesquisa e ao desenvolvimento tecnológico nas figuras da CNPq; UFPA; FAPESP e ALUBAR METAIS.

6. REFERÊNCIAS

- ATXAGA, G., PELAYO, A., MRISAN A., 2001, "Effect of Microstruture on Fatigue Behaviour of Cast Al-7Si-Mg Alloy", *Materiai Science and Technology*, vol 17.
- FERNANDES NETO, M., PIRES, J.C.S., GARCIA, A., PINTO, F.N., 2002, "Investigação de inclusões não metálicas em fios elétricos de alumínio", *REM – Revista Escola de Minas, Brasil*, v.55, n.2, pp. 97-101.
- CHAKRABARTI, D.J., PENG, Y., LOUGHLIN D. E., 2001, "Precipitation In Al-Mg-Si Alloys with Cu Additions and the Role of the Q' and Related Phases", *University of Virginia*, Section 6.
- ROOY, E. L.: "Aluminum and aluminum alloys", *ASM Casting - Metals Handbook*, v. 15, 1992, pp. 743-770.
- FERNANDES, D.S., SENA, H.C.O., KISHI, A.O., SÁ, F.A., QUARESMA, J.M.V., 2003, "Avaliação do Comportamento do Mg na Liga Al-Mg-Si (6101) Dentro de uma Faixa Admissível para a Fabricação de Fios e cabos Elétricos", 58º Congresso Internacional anual da ABM - RJ.
- GOMES, M.R., 1976, "Propriedades e Usos de Metais Não – Ferrosos", ABM - Associação Brasileira de Metais.
- MACHADO NETO, J.T.: "Análise de Falhas por Ruptura de Fios Na Trefilação de Ligas de Alumínio Série 6000 para Condutores Elétricos." Trabalho de Conclusão de Curso, ITEC/FEM/UFPA, Belém, 2007.
- PRAZERES, U. R.: "Avaliação do Efeito do Ferro em Ligas de Alumínio Destinadas a Condução de Energia Elétrica." Trabalho de Conclusão de Curso, ITEC/FEM/UFPA, Belém, 2007.
- ABNT-Associação Brasileira de Normas Técnicas – "Fios e cabos elétrico - Ensaio de resistência elétrica", Rio de Janeiro, Mar. 1986, NBR 6814
- ABNT-Associação Brasileira de Normas Técnicas – "Fios e cabos elétricos – Tração à ruptura em componentes metálicos", Rio de Janeiro, Ago. 1981, NBR 6810.

7. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

CORRELATION BETWEEN THE MECHANICAL AND ELECTRICAL PROPERTIES OF ALLOY AL - 0.6% Mg - 0.4% Si NOT REFINED, MODIFIED WITH COPPER CONTENTS.

Machado, P.C., pcmufpa@yahoo.com.br¹;
Freitas, E.S., mmanufreitas@gmail.com¹;
Farias, L.B., lucianafarias21@yahoo.com.br¹;
Santos, W.L.R., wlr@ufpa.br¹;
Quaresma, J.M.V., quaresma@fem.unicamp.br¹;

¹Universidade Federal do Pará, Faculdade de Engenharia Mecânica, Grupo de Pesquisa em Engenharia dos Materiais, Rua Augusto Corrêa, 01, CEP: 66075-110, Caixa postal 479, Belém, Pará, Brasil.

Abstract. *The majority utensils that contribute for the modern life depends on the physical properties of the materials, and the electrical property is especially important. In treating to wires and handles for the transport and distribution of electric energy it is basic that if it knows the behavior of the wire when its reply to the Tensile test and of electrical conductivity. Considering the importance of the subject, this work presents a study on the influence in the electrical conductivity and property referring mechanics to the Copper addition in contents (0,05 and 0,3) % in the alloy Al-0,6 Mg-0,4%Si. The alloy had been made solid in detrimed dimensions a mold in "U" stop later being machining until the diameter of 10 mm and later plated the cold gradual until the test body reached the diameter of 3,97mm, whose purpose is to look for to reproduce the processed stages in the manufacture of electrical handles in the continuous casting . After that the wires had been drawing in diameters 3,88; 3,78; 3,45; 3,02; 2,90 mm .These bodies of test had been removed samples for the electrical and mechanics characterization.*

Keywords: Al-Mg-Si-Cu-alloy, property mechanics, electrical conductivity, cold forming.