

ESTUDO DO COMPORTAMENTO ELÉTRICO E MECÂNICO DE UMA LIGA 6101 MODIFICADA COM DIFERENTES TEORES DE Mg¹

Washington Luis Reis Santos¹

Manoelson Pereira das Mercês¹

Paulo Cordeiro Machado¹

João Bosco Lobo Andrade²

José Maria do Vale Quaresma³

Resumo

O mercado de cabos para transporte e distribuição de energia elétrica tem crescido bastante nos últimos anos, principalmente o de cabos de ligas de alumínio, graças à elevada resistência mecânica e peso reduzido desses cabos. O objetivo deste estudo é investigar a influência de diferentes teores de Mg na evolução microestrutural de uma liga da serie 6101 que é bastante empregada na transmissão e distribuição de energia elétrica, assim como analisar o seu efeito nas propriedades mecânicas e elétricas do material. As ligas utilizadas neste trabalho foram vazadas em um molde com formato de “U”, para que fosse possível retirar corpos de provas cilíndricos, foram fixados o teor de Si em 0,6% e adicionado Mg nos teores de 0,5%; 0,7%; 0,9%. Esses corpos de prova foram usinados até 10mm de diâmetro. Após a usinagem os corpos de prova foram laminados a frio, em um laminador duo elétrico com canais circulares, sendo feitos sucessivos passes até chegarem ao diâmetro de 3,98 mm, e posteriormente submetido ao processo de trefilação para que finalmente chegassem ao diâmetro de 3,45mm. As ligas foram caracterizadas mecanicamente através de ensaios de tração em uma máquina Kratos para fios, a fim de se avaliar as respostas das propriedades mecânicas do material (Limite de resistência à tração, alongamento e tenacidade) e eletricamente através de ensaios de condutividade elétrica em um micro ohmímetro com ponte Kelvin mega Brás. Os resultados obtidos mostraram, em alguns casos, que o aumento no teor de Mg contribuiu para elevar a resistência mecânica e diminuir a capacidade de conduzir energia elétrica.

Palavras-chave: Liga 6101; Propriedades mecânicas; Resistividade

STUDY OF THE ELECTRICAL AND MECHANICAL BEHAVIOR A 6101 ALLOY MODIFIED WITH DIFFERENT CONTENTS OF Mg

Abstract

The power cables market is increased, principle power cables manufactured using aluminum alloys, due a mechanical resistance obtained and reduced weight.

The paper objective is shows the Mg influence content on 6101 series alloy microstructural development used to produce power cables, as well as analyses the mechanical and electrical properties on material. These alloys were casting into “U” mold, to get cylindrical specimens. The silicon content was constant (0.6%) and magnesium content was added as 0.3; 0.5; 0.7; 0.9 and 1.1%. These specimens were machined until diameter 10 mm. After machined a specimens were cold rolled, in a two high rolling mill with circular canal, where were done roll passes until a diameter 3.90 mm, and after, the specimens were submitted to drawing process to it obtain a diameter 3.45 mm. Were done strength tests by Kratos Machine used in wire tests to evaluate the mechanical properties of material (Tensile Strength and Elongation), and electric resistivity test to evaluate the electrical properties. The results shown to some specimens, that Mg variation content can contribute to electrical resistivity and mechanical properties increases as well as embrittlement of material when the Mg content is increased.

Key words: 6101 alloy; Mechanical properties; Electrical resistivity.

¹ Contribuição técnica ao 63º Congresso Anual da ABM, 28 de julho a 1º de agosto de 2008, Santos, SP, Brasil

² Graduando em Engenharia Mecânica - Universidade Federal do Pará.

³ Mestre em Engenharia Mecânica – Universidade Federal do Pará.

⁴ Prof. Dr. IT/FEM - Universidade Federal do Pará.

1 INTRODUÇÃO

O consumo de alumínio no mercado mundial tem crescido constantemente por suas características de condutibilidade e leveza, que atendem às necessidades das redes de transmissão, com uma das menores taxas de desperdício ao longo de sua extensão, podendo distribuir energia à longa distância; fazem a ligação entre subestações e centros de carga para suprir as necessidades agrícolas, nas zonas rurais e nas cidades, setores onde o país demanda grandes investimentos. Com estas características diversos segmentos são atendidos, utilizando soluções adequadas a cada aplicação, onde é utilizado tradicionalmente em linhas de transmissão de grande porte e subestação, cabo isolado ou nu em condutores para distribuição aérea ou subterrânea e instalações elétricas prediais e industriais, edifícios comerciais e industriais, podendo ser encontrado 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.

Dentre as ligas de alumínio mais utilizadas, as ligas da série 6000 vêm sendo consideradas como uma das mais promissoras em relação ao uso industrial, por aliar boa conformabilidade com resistência mecânica. Uma vantagem adicional no uso dessas ligas é a diminuição considerável do peso que o alumínio oferece.⁽¹⁾

A conquista de um espaço cada vez maior na indústria de condutores elétricos pela liga Al-Mg-Si é alavancado 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. As ligas do sistema 6xxx têm sido utilizadas como matéria-prima na fabricação de vergalhões e fios para produção de cabos para transporte de energia elétrica realizada pela Alubar Metais e Cabos. Este fato torna a liga Al-Mg-Si um material de elevado valor econômico, esta grande importância industrial por parte da liga Al-Mg-Si tem motivado a pesquisa deste material com relação as suas propriedades mecânicas e elétricas.

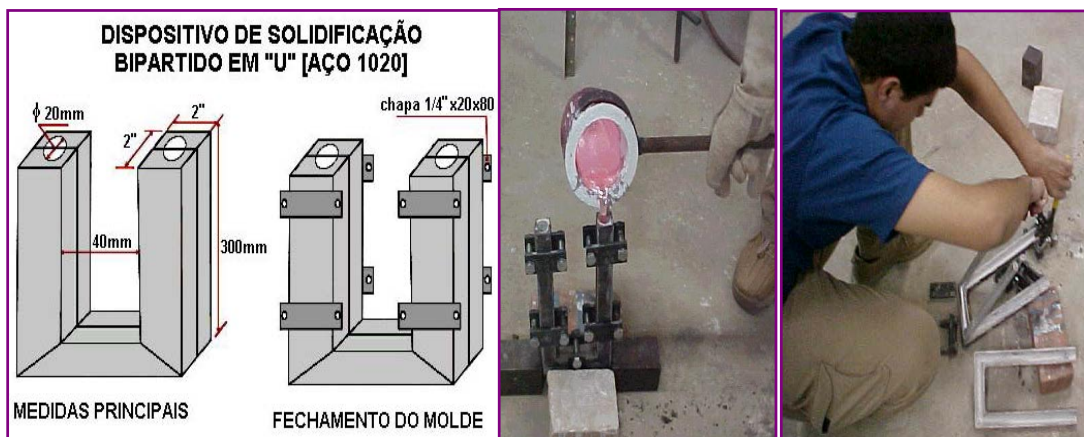
O aumento significativo da demanda de energia elétrica conduziu para a busca de novas concepções de linhas de transmissão, mediante o desafio de transportar maiores potências a maiores distâncias em um país tão grande, onde as fontes geradoras de energia elétrica ficam cada vez mais distantes dos centros consumidores.

Transmitir energia elétrica a grandes distâncias coloca o desafio de superar os problemas gerados pelo comprimento dos grandes e irregulares vãos definidos pelo espaçamento das torres de transmissão, vãos esses muito comuns em zonas rurais e onde ocorrem travessias.

Nessa busca, diversos avanços tecnológicos foram realizados. Novos projetos de cabos foram desenvolvidos, novas ligas estão sendo desenvolvidas, buscando-se a recapacitação das instalações já existentes, através de melhorias nas características mecânicas e elétricas das ligas utilizadas para produção de condutores. Baseado nestes fatos, este trabalho propôs-se em estudar o comportamento elétrico e mecânico de uma liga 6101 modificada com diferentes teores de Mg.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

As ligas foram preparadas por fundição utilizando *alumínio comercial* em cadinhos de grafita, em um forno tipo mufla, marca BRASIMET. As ligas foram vazadas fixando o teor de Silício (Si) em 0,6% e adicionando Mg nos teores de 0,5%; 0,9%, em um molde com o formato de “U”, para que fosse possível retirar corpos de prova cilíndricos. Esses corpos de prova foram usinados até 11 mm de diâmetro. Após a usinagem os mesmos foram laminados a frio, em um laminador duo elétrico com canal circular, sendo feitos sucessivos passes até chegarem a fios de aproximadamente 3,90 mm de diâmetro e posteriormente foram trefilados até o diâmetro de 3,45 mm.



Fonte: Dados da Pesquisa.

Figura 1. Seqüência de montagem e desmolde do molde em “U”.

Os perfis “U” obtidos como mostrado na Figura 1, depois de desmoldados passam por uma seqüência de operações de mudança de forma até o fio com o diâmetro final desejado, como mostra a Figura 2:



Fonte: Dados da Pesquisa.

Figura 2. Seqüência alto explicativa das etapas operacionais até a obtenção do diâmetro de 3,45mm desejado.

Após este processo de deformação os corpos de provas foram submetidos ao ensaio de Resistividade elétrica e Tração segundo a norma NBR-5384 e NBR-6207 respectivamente.

A análise das macrografias das fraturas após ensaios de tração foi feita em um (MEV) microscópio eletrônico de varredura LEO, modelo 1450VP, figura As amostras a serem examinadas no MEV foram limpas com uma solução de álcool + acetona (PA) em um limpador ultra-sônico por 10 min.



Fonte: Dados da Pesquisa

Figura 3. Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV).

Na Tabela 1 encontram-se relacionadas todas as ligas produzidas e estudadas e suas composições químicas.

Tabela 1. Relação das ligas e suas composições químicas

Al- 0,5%Mg	Si 0,6235	Fe 0,3373	Cu 0,0496	Cr 0,0010	Mg 0,4922	Zr 0,0013	Ti 0,0022	B 0,0016	Al 98,43
Al- 0,7%Mg	Si 0,6152	Fe 0,2895	Cu 0,0490	Cr 0,0016	Mg 0,6804	Zr 0,0013	Ti 0,0009	B 0,0012	Al 98,33
Al- 0,9%Mg	Si 0,6039	Fe 0,3761	Cu 0,0504	Cr 0,0006	Mg 0,9632	Zr 0,0012	Ti 0,0011	B 0,0022	Al 97,96

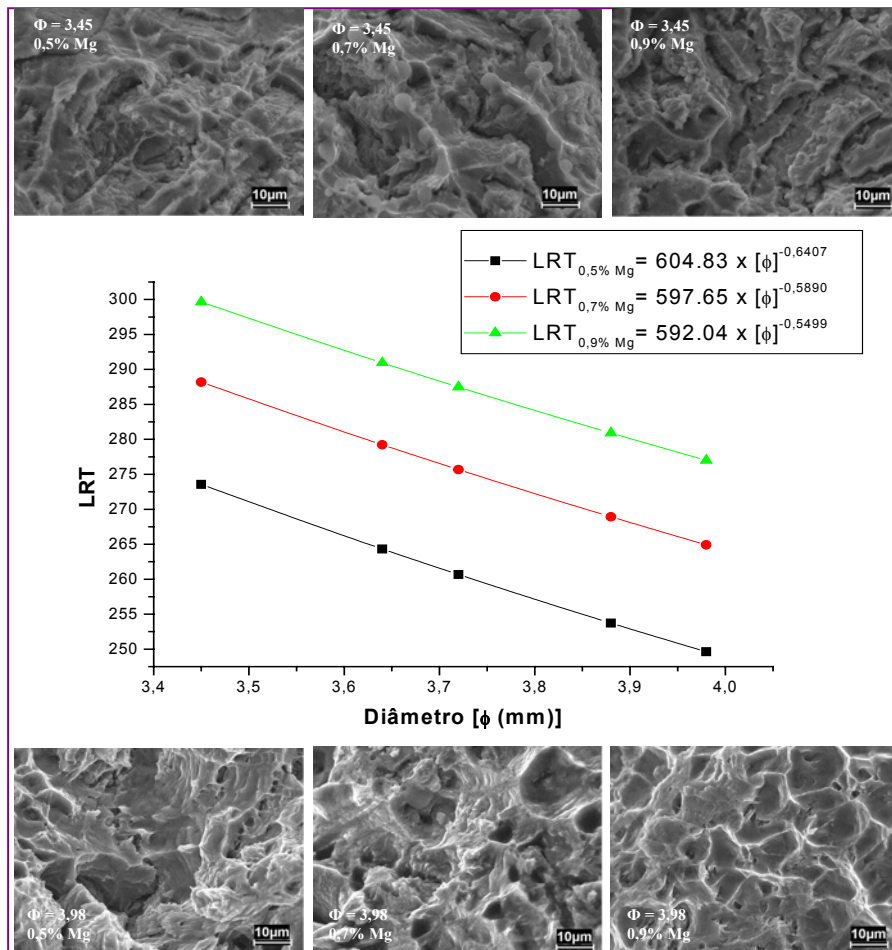
Fonte: Dados da Pesquisa

3 RESULTADOS

3.1 Resultado do Ensaio de Tração [LRT]

Foram feitos ensaios de tração nos fios com a finalidade de se avaliar o comportamento trativo da liga Al-Mg-Si, em função da composição química e do diâmetro, variável através da qual se tem idéia da boa deformabilidade apresentada pelo material. Na Figura 4, são apresentados os valores de LRT (Limite de Resistência a Tração) em função do diâmetro e composição química, obtidos. As curvas constituintes do gráfico indicam que o LRT cresce quanto maior o teor de Mg e quanto menor o diâmetro do fio. No caso da diminuição do diâmetro este crescimento deve-se a deformação provocada no material, que inibe a capacidade de movimento das estruturas internas pela eliminação de espaço, como pode ser observada pela modificação existente nos dois conjuntos de fotos obtidas via MEV com aumentos de

500X. No conjunto de imagens referente ao diâmetro $\phi=3,98\text{mm}$ pode ser visualizada as microcavidades que já não podem ser vistas; no conjunto relativo ao $\phi=3,45\text{mm}$, no qual podem ser vistas apenas fendas ou aberturas muito delgadas. Referência à pequena possibilidade ou a nenhuma deformabilidade. Quando se avalia a evolução do teor de Mg, são dois os caminhos para tal: I - As micro cavidades apresentadas crescem à medida que cresce o teor de Mg assim como II - Cresce o LRT. Parece existir uma correlação entre o tamanho da micro cavidade e a capacidade de resistir a esforços de tração apresentada pelas ligas após serem deformadas.



Fonte: Dados da Pesquisa

Figura 4. Correlação entre o LRT e o Diâmetro dos Fios estudados.

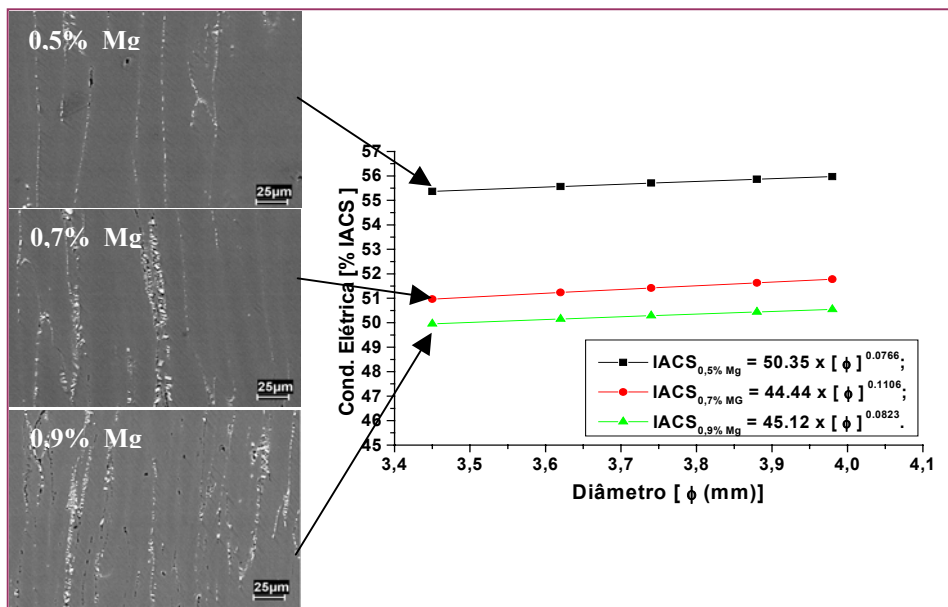
O valor do encruamento, como ganho no LRT associado ao menor diâmetro em cada liga, pode estar relacionado à grandeza das microcavidades e, permiti emitir juízo de valor no qual maiores teores de Mg geram maiores microcavidades e pode associar-se a menores índices de encruamento.

O encruamento pode ainda estar relacionado, após a etapa de eliminação das microcavidades, com as discordâncias e suas interações com obstáculos, como solutos, contornos de grão etc., que impedem a livre movimentação das discordâncias. É preciso uma energia cada vez maior para que ocorra essa movimentação, e, conseqüentemente deformação plástica, até o limite onde a fratura tem início.⁽²⁾

3.2 Resultado do Ensaio de Condutividade Elétrica [%IACS]

Pelos resultados de condutividade elétrica Figura 5 das ligas Al-0,6%Si -(0,5%; 0,7%; 0,9%) Mg, observa-se que com a adição do soluto na liga, apresentam-se valores menores de condutividade devido a uma maior resistência da passagem dos elétrons ocasionada não apenas pelo acréscimo de soluto, mas também pela formação do composto intermetálico Mg_2Si , que melhora as propriedades mecânicas da liga, porém dificulta a passagem da corrente elétrica. Acredita-se que a presença de algumas impurezas e vazios presentes no material, que afetam as propriedades mecânicas e físicas (condutividade elétrica) dos componentes produzidos pelos processos de fundição.⁽³⁾

Pode também ser observada através das figuras obtidas via MEV com sistema de identificação de padrões de difração de elétrons retroespalhados (EBSD), linhas de tom esbranquiçado que teve sua composição química analisada, e identificada como ferro. Essa linha de ferro alongada foi gerada pelo processo de conformação mecânica que as ligas foram submetidas, tendo uma relação direta com o Magnésio, pois como pode ser visto na figura a quantidade de linhas de ferro tende a aumentar com o acréscimo de teor de Mg, sabendo-se que o teor de ferro foi fixado para todas as ligas $Fe=0,32\%$.



Fonte: Dados da Pesquisa

Figura 5. Correlação entre a Condutividade elétrica e o diâmetro dos fios estudados.

4 DISCUSSÕES

Os resultados das propriedades mecânicas demonstraram que adições de magnésio decrescem o LRT (Limite de Resistência a Tração), conseqüentemente diminuindo a sua ductilidade, provocando menores taxas de deformação, devido à fragilização da liga como pode ser observada nos aspectos da fratura, tendo uma progressiva diminuição da condutividade elétrica com o acréscimo do teor do soluto Mg, corroborando com a literatura existente.

5 CONCLUSÃO

Pode-se observar a partir dos dados obtidos através do LRT (Limite de Resistência a Tração) que à medida que é adicionado um maior teor de Mg há um ganho das propriedades mecânicas, que é elevado quando a liga é submetida a um processo de conformação mecânica, no caso laminação e trefilação, devido ao encruamento. Analisando suas fraturas em diferentes diâmetros podemos observar que as microcavidades (Dimples) tornam-se delgadas quando o material é deformado e os tamanhos destes Dimples crescem com teores mais elevados de Mg.

A adição de Mg nos teores estudados provoca um aumento na resistência elétrica, devido ao aumento de soluto na liga que acaba dificultando o fluxo dos elétrons, e também provoca uma distribuição maior das linhas de ferro na liga que acaba sendo prejudicial no sentido da condutividade elétrica, porém satisfatório quando se trata das propriedades mecânicas.

Agradecimentos

Sinceros agradecimentos a Universidade Federal do Pará, ao Grupo ALUBAR e ao Grupo GPEMAT que trabalha permanentemente doando sua contribuição ao progresso da ciência.

REFERÊNCIAS

- 1 MATTOS, P.R.O. Desenvolvimento de Composição de Ligas Diluídas em Al-Mg-Si com Variação do Magnésio para Determinação Trabalhabilidade, Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal do Pará, Belém. 2004.
- 2 Garcia, A., Ensaio dos Materiais, Rio de Janeiro, RJ: Editora LTC, 2000.
- 3 Dasgupta.R, Comparação das Propriedades das Ligas de Alumínio Produzidas por Diferentes Processos de Fundição; n113; 2002.