

ANÁLISE DAS PROPRIEDADES ELÉTRICAS DO ALUMÍNIO ELETRO CONDUTOR SUBMETIDO A DIFERENTES TEMPOS DE ENVELHECIMENTO ARTIFICIAL PARA A PRODUÇÃO DE CABOS ELÉTRICOS

Rafael Guilherme Almeida Ribeiro, gui17tor@hotmail.com¹

Amanda Thicyane de Miranda Duarte Souza, amanda_thicyane@hotmail.com¹

Kazuo de Almeida Kamizono, kazuoshoyu@hotmail.com¹

Thamy de Melo Duarte, thamy.md@hotmail.com¹

Diego de Leon Brito Carvalho diegodlbc@hotmail.com¹

Patrick dos Santos Nogueira, patricksn@msn.com¹

¹Universidade Federal do Pará, Av. Augusto Corrêa, no.1; CEP: 66.075 - 900 ;Belém-PA.

Resumo: Estima-se que hoje no país a perda de energia durante a transmissão nos cabos elétricos de alta tensão seja de cerca de 5,5 kW por quilômetro de linha. Isso sem considerar as perdas nas subestações. O alumínio comercialmente puro se caracteriza pelas elevadas condutibilidade térmica e elétrica e pela baixa resistência mecânica, ao contrário das ligas de alumínio. Devido a essas características, suas principais aplicações restringem-se a componentes de sistemas térmicos e elétricos, nos quais exige-se alta condutibilidade sem que haja o mesmo tipo de exigência com relação às propriedades mecânicas. Neste trabalho avaliamos o comportamento das propriedades elétricas de fios de alumínio submetidos a diferentes tempos de envelhecimento artificial. Para a realização do trabalho foram utilizados cinco corpos de prova iguais, sendo todos com 3,98 mm de diâmetro e 740 mm de comprimento. Uma das amostras não foi submetida ao tratamento térmico e os demais materiais foram colocados na estufa a temperatura de 130°C, submetendo assim cada corpo de prova a um determinado tempo de envelhecimento, sendo estes: 2h, 4h, 6h e 8h. Após o procedimento, realizamos o ensaio de condutibilidade elétrica nas peças, segundo a norma NBR 6814 - Ensaio de resistência elétrica. Analisando os resultados, observamos que todos os materiais obtiveram diminuições em sua resistência elétrica, com destaque para o fio de alumínio submetido a 8 horas de envelhecimento artificial, pois este obteve uma redução de aproximadamente 22% em sua resistência elétrica. Como a redução de perdas representa queda no custo total de energia, a aplicação deste processo irá elevar a capacidade de transmissão elétrica deste fio, reduzindo as perdas de energia e os custos.

Palavras-chave: alumínio; envelhecimento artificial; resistência elétrica.

1. INTRODUÇÃO

O alumínio ocupa lugar de destaque entre os principais segmentos industriais, como embalagens, transportes, fios e cabos, bens de consumo e construção civil. Matéria-prima das indústrias fabricantes de produtos extrudados, fundidos, forjados, impactados laminados, químicos e metalúrgicos, abrasivos, entre outros (Alcoa Brasil, 2010). Por possuir uma vasta variedade de combinações de propriedades, é considerado um dos mais versáteis materiais usados na engenharia. Apresenta boa condutibilidade térmica e elétrica e alta refletividade, tanto para o calor, como para a luz (ABAL, 2004).

Neste estudo foi priorizada a avaliação da influência do tratamento térmico de solubilização sem deformação e envelhecimento pós- deformação.

O processo de deformação a frio (laminação), necessário para obter diâmetros de fio menores, aplicado ao material provoca o encruamento, o qual aumenta a resistência mecânica do material pela movimentação das discordâncias que interagem entre si e com outras imperfeições, emaranhando-as cada vez mais e assim reduzindo gradativamente sua movimentação.

São utilizados três vergalhões de alumínio, um foi apenas solubilizado e laminado, os outros dois foram solubilizados, laminados e envelhecidos em tempos diferentes.

O tratamento térmico de solubilização (TTS) consiste no aquecimento e permanência do material em região monofásica do diagrama de equilíbrio, no geral em temperaturas compreendidas entre as temperaturas eutéticas e solvus da liga, e em seguida rapidamente resfriados para que se obtenha então, uma solução sólida supersaturada em temperatura ambiente, portanto, potencialmente instável.

Na figura 1 vemos parte do diagrama de equilíbrio pseudo-binário das ligas Al-Mg₂Si que mostra o campo monofásico alfa [α], evidenciando que acima da linha solvus, determinada por uma combinação de temperatura e de teor de Mg₂Si, o magnésio e o silício encontram-se dissolvidos na matriz de alumínio.

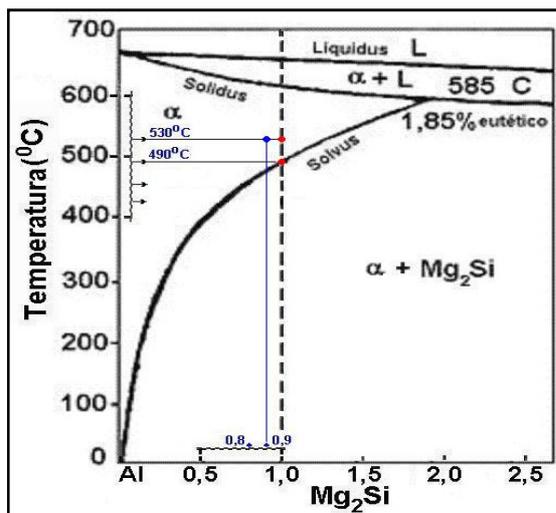


Figura 1. Diagrama pseudo-binário Al-Mg₂Si com a indicação da temperatura de solubilização empregada (Usta, 2004).

A aplicação do envelhecimento artificial a 130°C (TTEA) proporciona o endurecimento por precipitação, que é considerado o tratamento térmico mais importante a que as ligas de alumínio são submetidas. Este tratamento térmico acelera a formação de precipitado a partir da matriz que se encontra supersaturada, tornando-a uma estrutura mais estável e menos distorcida na qual a movimentação das discordâncias é dificultada, proporcionando maior resistência mecânica associada à melhora na ductilidade (Pedersen, 2001).

Tendo em vista a relevância do assunto, este trabalho tem como principal objetivo analisar as alterações apresentadas nas propriedades elétricas do alumínio eletro condutor submetido a diferentes tempos de envelhecimento artificial para a produção de cabos elétricos. Para tanto, são comparados os resultados dos ensaios de condutibilidade elétrica entre três vergalhões de alumínio, sendo um vergalhão apenas solubilizado e laminado e os outros dois solubilizados, laminados e envelhecidos em diferentes tempos, sejam eles 2h, 4h, 6h e 8h.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Foram utilizados três vergalhões de alumínio com $l_0 = 300\text{mm}$ e $\phi_0 = 9,5\text{ mm}$. Primeiramente passaram pelo processo de solubilização a uma temperatura de 530°C em um forno tipo MUFLA: BRASIMET, e posteriormente resfriados rapidamente.



Figura 2. Vergalhões de alumínio antes da laminação.

Os vergalhões foram laminados a frio em um laminador elétrico duo reversível, como mostrado na Fig. (3).

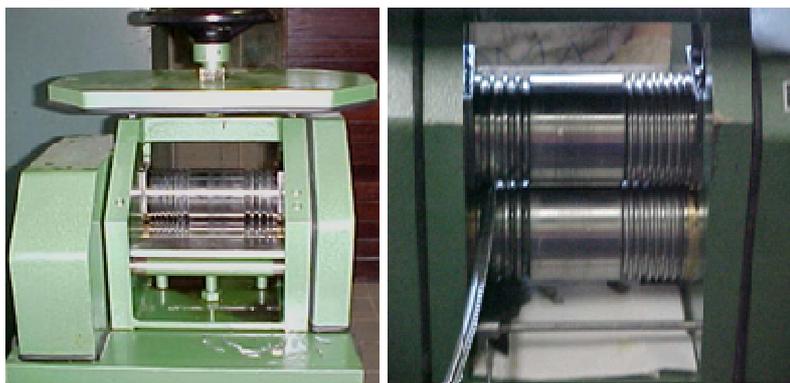


Figura 3. Laminador elétrico, laboratório de Mecânica/UFPA.

Após serem laminadas as peças passaram a apresentar e . Um dos materiais foi separado e os outros dois foram seccionados ao meio para que assim passassem pelo processo de envelhecimento.



Figura 4. Peças laminadas e seccionadas ao meio.

Os quatro pedaços dos vergalhões foram levados para a estufa NEUONI, modelo ; que estava com uma temperatura inicial de . A retirada das peças da estufa respeitou um intervalo de 2h, este processo teve duração de 8h. À medida que o material era retirado, o mesmo era resfriado em água corrente.



Figura 5. Estufa NEUONI modelo e termômetro.

Ao final destas etapas, passamos a ter uma peça apenas solubilizada e laminada e quatro peças solubilizadas, laminadas e envelhecidas. Todo o material foi então preparado para a realização do ensaio de condutibilidade (resistência) elétrica. Os fios de alumínio foram deixados todos do mesmo tamanho com .

2.1. Caracterização Elétrica

Nesta etapa, os corpos de provas são submetidos a ensaios com objetivo de se avaliar a resistência elétrica dos mesmos, com o auxílio de um multiohmímetro (ponte de kelvin) MEGABRÁS modelo MPK-2000.



Figura 6. Multiohmímetro (Ponte de Kelvin) MEGABRÁS modelo MPK-2000.

A norma NBR 5118/1985 trás a seguinte observação: “A resistência elétrica do fio de alumínio deve ser medida a uma temperatura não inferior a 10°C, nem superior a 30°C, e corrigida para a temperatura de 20°C”. Para se obter os primeiros resultados, foi necessário fazer a leitura das resistências dos corpos de prova (CP) em variados diâmetros deformados plasticamente, sendo auxiliado pela norma NBR 6814/1986 através da Eq.(1):

$$R_{20} = R_t \left(\frac{1}{1 + \alpha(t - 20)} \right) \quad (1)$$

onde:

t = temperatura na qual foi efetuada a medição, °C;

R_t = resistência a t °C; em Ω ;

R_{20} = resistência a 20 °C; em Ω ;

α = coeficiente de variação da resistência com a temperatura 20 °C, especificado pela norma para liga de alumínio.

A resistência medida em um determinado comprimento L deve ser corrigida para um comprimento de resistência L_0 através da norma NBR 6814. A determinação da resistividade elétrica do fio de alumínio-liga segue a norma NBR 5285/1985, onde é especificada que para testes à temperatura de 20°C, a resistividade do material não deve ser superior a 0,0328 $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$, correspondente à condutividade mínima de 52,5% IACS. Para o cálculo da resistividade a Eq. (2) utilizada foi obtida com o auxílio da norma NBR 6815/1981 sendo:

$$R_v = \rho_c \cdot A(2)$$

onde:

ρ_c = resistividade volumétrica do CP a 20 °C, em $\frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$;

R_v = resistência elétrica do CP por unidade de comprimento a 20 °C, em $\frac{\Omega}{\text{m}}$;

A = área da seção transversal do CP, em mm^2 .

Afim de que os resultados sejam posteriormente transformados em condutividade elétrica (IACS), “International Annealed Cooper Standard”, padrão internacional de condutividade correspondente à apresentada por um fio de cobre com 1m de comprimento, 1mm² de seção transversal a 20°C, através da Eq. (3):

$$\varphi = \frac{\rho_{Cu}}{\rho_{Al}}(3)$$

onde:

φ = Condutividade elétrica do fio em IACS;

ρ_{Cu} = Resistividade elétrica do cobre;

ρ_{Al} = Resistividade elétrica do alumínio

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. Resistência Elétrica e IACS% (em relação ao Cobre)

Para os ensaios realizados com as peças solubilizadas e envelhecidas a 130°C em diferentes tempos, os quais 2h, 4h, 6h e 8h, obtivemos os seguintes resultados mostrados na Tab.(1). Segundo Reed-Hill a resistividade elétrica (o movimento ordenado dos elétrons pelo cristal que constituem uma corrente elétrica) é influenciada pela formação das zonas de G.P., isto é, precipitados extremamente pequenos e uniformes distribuídos. Então, quando a precipitação começa, há um estágio inicial em que a resistividade aumenta bastante, ela passa a decrescer quando o tamanho médio da partícula aumenta, com o prosseguimento da precipitação. Esse comportamento pode ser confirmado através da leitura dos valores de %IACS no presente estudo.

Tabela 1. Valores de condutibilidade elétrica para os diferentes tempos de envelhecimento.

Peça, temperatura e condutibilidade elétrica	IACS% (em Relação ao Cobre)
Apenas Solubilizado / $\Delta T = 28,3^\circ\text{C}$	49,15
EA 2h $\left\{ \begin{array}{l} \Delta T = 28,3^\circ\text{C} \\ 2,091 \text{ m}\Omega \end{array} \right.$	50,58
EA 4h $\left\{ \begin{array}{l} \Delta T = 28,2^\circ\text{C} \\ 2,074 \text{ m}\Omega \end{array} \right.$	50,98
EA 6h $\left\{ \begin{array}{l} \Delta T = 28,2^\circ\text{C} \\ 2,062 \text{ m}\Omega \end{array} \right.$	51,23
EA 8h $\left\{ \begin{array}{l} \Delta T = 28,7^\circ\text{C} \\ 2,061 \text{ m}\Omega \end{array} \right.$	51,30

Na Figura 7 apresenta uma tendência de crescimento dos valores de %IACS quando aplicada a temperatura de TTS a 530°C por 1h e o TTEA a 130°C por 2, 4, 6 e 8 horas. Observa-se que há um ganho de %IACS quando o tamanho médio dos precipitados aumenta.

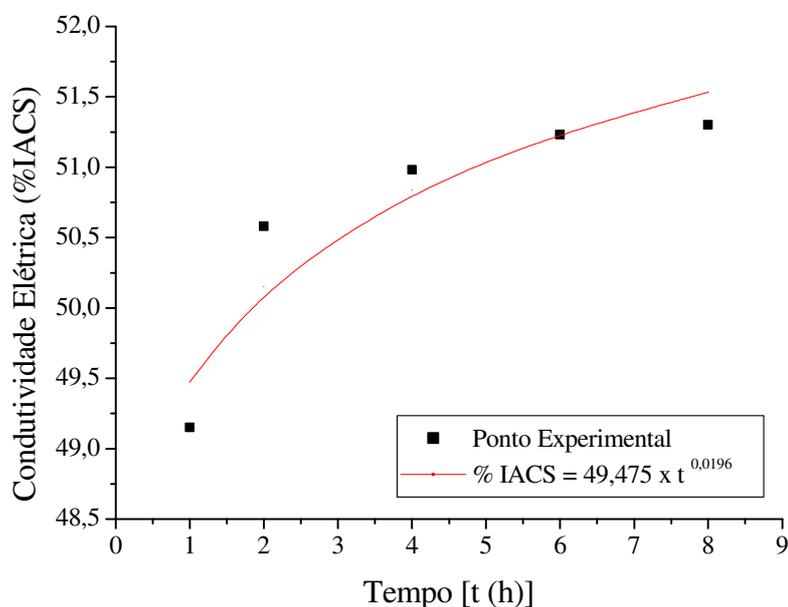


Figura 7. Valores de %IACS em função dos diferentes tempos de envelhecimento artificial.

4. CONCLUSÕES

A partir da análise dos resultados, verifica-se que as propriedades de condutibilidade elétrica do alumínio envelhecido foram superiores aquelas apresentadas no material apenas solubilizado, com destaque para a amostra envelhecida por 8 horas, pois esta obteve uma redução de aproximadamente 22% em sua resistividade elétrica.

O envelhecimento proporcionou aumento na condutividade elétrica devido ao aumento do tamanho médio do precipitado, melhorando assim sua transmissão de energia elétrica pela diminuição da resistividade elétrica.

Finalmente observamos que todos os materiais obtiveram diminuições em sua resistência elétrica. Como a redução de perdas representa queda no custo total de energia, a aplicação deste processo irá elevar a capacidade de transmissão elétrica deste fio, reduzindo as perdas de energia e os custos.

5. REFERÊNCIAS

- ABNT-Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2006, “Fios de alumínio 1350 nus, de seção circular, para fins elétricos”, Rio de Janeiro, NBR 5118.
- ABNT-Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1986 “Fios e cabos elétricos – Ensaio de resistência elétrica”, Rio de Janeiro, NBR 6814.
- ABNT-Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1985, “Fios de alumínio-liga, nus, de seção circular, para fins elétricos”, Rio de Janeiro, NBR 5285.
- ABNT-Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1981, “Fios e cabos elétricos - Ensaio de determinação da resistividade em componentes metálicos”, Rio de Janeiro, NBR 6815.
- Associação Brasileira do Alumínio, 2004, “Guia técnico do Alumínio: Laminação” 2ª Ed. São Paulo, SP, 176 p.
- Chiaverini, V., 2003, “Tratamentos Térmicos das Ligas Metálicas”, Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, 224p.
- Pedersen, L; Arnberg, L, 2001, “The Effect of Solution Heat Treatment and Quenching Rates on Mechanical properties and Microstructures in AlSiMg Foundry Alloys”; Metallurgical and Materials Transactions A; vol. 32A; pp. 525-532.
- Reed-Hill, R.E., 1982, “Princípios de Metalurgia Física”, Editora Guanabara Dois S.A., Rio de Janeiro, pp. 311-312.
- Usta, M.; Glicksman M.E. and Wright, R.N., 2004, “The Effect of Heat Treatment on Mg₂Si Coarsening in Aluminum 6105 Alloy”; Metallurgical and Materials Transactions A; vol. 35A, pp. 435-438.
- http://www.alcoa.com/brazil/pt/custom_page/mercados_primarios.asp (acesso: 10/03/2010 às 10h35min).



ANALYSIS OF ELECTRICAL PROPERTIES OF ALUMINUM ELECTRO CONDUCTOR UNDER DIFFERENT TIMES OF ARTIFICIAL AGING FOR THE PRODUCTION OF ELECTRIC CABLES

Rafael Guilherme Almeida Ribeiro, gui17tor@hotmail.com¹
Amanda Thicyane de Miranda Duarte Souza, amanda_thicyane@hotmail.com¹
Kazuo de Almeida Kamizono, kazuoshoyu@hotmail.com¹
Thamy de Melo Duarte, thamy.md@hotmail.com¹
Diego de Leon Brito Carvalho diegodlbc@hotmail.com¹
Patrick dos Santos Nogueira, patricksn@msn.com¹

¹Universidade Federal do Pará, Av. Augusto Corrêa, no.1; CEP: 66.075 - 900 ;Belém-PA.

Abstract: *It is estimated that today the energy loss in our country during transmission on high voltage power wires is about 5.5 kW per kilometer of wire. That's not counting the losses in the stations. The aluminum commercially pure is characterized by high electrical and thermal conductivity and low mechanical strength, unlike the aluminum alloys. Because of these characteristics, its main applications are restricted to electric and thermal systems components, in which requires a high conductivity without the same kind of demand with respect to mechanical properties. In this study the behavior of the electrical properties of aluminum wires subjected to different artificial aging times. To carry out the work were used five specimens equals, all with 3.98 mm in diameter and 740 mm in length. One sample was not subjected to heat treatment and other materials were placed in an oven at 130°C, thus subjecting each specimen to a given aging time, these being: 2h, 4h, 6h and 8h. After the procedure, we conducted a test of electrical conductivity in samples, according to NBR 6814 - Testing of electrical resistance. Analyzing the results, we observed that all materials obtained decreases in its electrical resistance, especially the aluminum wire subjected to 8 hours of aging, because it achieved a reduction of approximately 22% of its electrical resistance. As the reduction of losses equals down total cost of energy, application of this process will increase the transmission capacity of electrical wire, reducing energy losses and costs.*

Keywords: *aluminum; artificial aging, electrical resistance.*