



International Conference for
Academia and Industry Co-operation

20/11/2023 – 24/11/2023

São Luís - Maranhão - Brasil



International Meeting in Materials
Science and Engineering of Maranhão

CARACTERIZAÇÃO DAS PROPRIEDADES DE CONDUTIVIDADE ELÉTRICA E LIMITE DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO DA LIGA Al – 4% Ni

CHARACTERIZATION OF ELECTRICAL CONDUCTIVITY PROPERTIES AND TENSILE STRENGTH LIMIT OF THE ALLOY Al – 4% Ni

Alicia R. Z. Barbosa^{1*}, Yan C. S. Araújo¹, Matheus M. de Castro¹, Eric E. L. Espíndola², Amanda L. de Mendeires², Emerson R. Prazeres² e Deibson S. da Costa¹

1– Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Pará – Campus de Ananindeua (CANAN), Ananindeua, PA, Brasil.

2 – Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Pará (UFPA). Belém, PA, Brasil.

alicia.barbosa@ananindeua.ufpa.br

RESUMO

À medida que os centros urbanos continuam a expandir-se, a demanda por energia elétrica persiste em sua crescente trajetória, resultando em uma urgente necessidade de investigações direcionadas ao desenvolvimento de tecnologias de cabos de transmissão (Tx) e distribuição (Dx) de energia elétrica que alcancem uma elevada eficácia de desempenho e permaneçam acessíveis em termos de custos. Nesse contexto, o objetivo deste estudo foi analisar as propriedades elétricas e o limite de resistência à tração da liga binária Al-4% Ni. Para atingir esse propósito, foram conduzidos testes de condutividade elétrica e ensaios de resistência à tração. Ao comparar os resultados obtidos com os do alumínio matriz 1350, fornecido pela Alubar Metais e Cabos S.A. Evidenciou-se que a inclusão de 4% de Ni não favoreceu o fenômeno de recuperação dinâmica na liga, resultando na redução da propriedade elétrica. No entanto, ao avaliar o notável aumento no limite de resistência à tração, foi possível verificar que a incorporação do níquel na liga promove o refinamento da estrutura do alumínio, resultando em um aumento significativo no limite de resistência à tração.

Palavras-chave: Liga. Alumínio. Propriedades. Elétrica. Mecânica

ABSTRACT

As urban centers continue to expand, the demand for electrical energy persists on its upward trajectory, resulting in an urgent need for focused investigations into the development of transmission (Tx) and distribution (Dx) cable technologies for electrical energy that achieve high performance efficiency and remain cost-effective. In this context, the objective of this study was to analyze the electrical properties and tensile strength limit of the Al-4% Ni binary alloy. To achieve this purpose, electrical conductivity tests and tensile strength tests were conducted. When comparing the results obtained with those of the 1350 aluminum matrix provided by Alubar Metais e Cabos S.A., it was evident that the inclusion of 4% Ni did not favor the phenomenon of dynamic recovery in the alloy, resulting in a reduction of electrical property. However, when evaluating the remarkable increase in tensile strength limit, it can be observed

that the incorporation of nickel into the alloy promotes the refinement of the aluminum structure, resulting in a significant increase in tensile strength limit.

Keywords: Alloy. Aluminum. Electrical. Mechanical.

INTRODUÇÃO

Conforme a população nos centros urbanos cresce, aumenta a procura por energia elétrica e surge a necessidade de expandir a rede de transmissão e distribuição de energia. No entanto, para atender às necessidades, é importante conduzir pesquisas para desenvolver novas tecnologias que possibilitem a utilização de materiais com propriedades adequadas e baixo custo para a produção de cabos Tx e Dx. O resultado é investigar materiais mais eficiente e menos onerosa de materiais para essas aplicações.

Os fios e cabos de alumínio (Al) utilizados para transportar energia em todo o país se destacam por suas propriedades excepcionais, que englobam eficiência na condutividade elétrica e baixa densidade. O alumínio é capaz de resistir a altas temperaturas sem perda de suas propriedades físicas, além de proporcionar economia significativa na montagem, manuseio e manutenção dos sistemas elétricos [1]. Portanto, o uso do alumínio garante a eficiência e confiabilidade do fornecimento de energia elétrica em todo o país.

Porém, o Al puro (99,99%) apresenta baixa resistência mecânica em torno de 60 MPa e Al comercial em torno de 90 a 140 MPa [2], é importante conhecer a capacidade do material de suportar cargas e seu comportamento antes de sua ruptura. Pois, ao fabricar cabos Tx e Dx é necessário que o mesmo resista a intempéries. Portanto, um elemento de liga e/ou tratamento térmico é adicionado para desenvolver a liga.

Dependendo da quantidade que são adicionados ao material, os elementos de liga podem ou não proporcionar propriedades benéficas ao material, bem como alterar as propriedades resultantes do material metálico. Elementos de liga podem ser adicionados para produzir alterações nas propriedades mesmo em pequenas quantidades [2]. Portanto, para melhorar a liga, o níquel (Ni) foi escolhido como elemento de liga para este trabalho, pois segundo a literatura [3] o Ni aumenta as propriedades mecânicas da liga sem alterar significativamente sua propriedade elétrica.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a influência que o teor de 4% Ni teve nas propriedades de condutividade elétrica e limite de resistência à tração na liga de Al.

MATERIAIS E MÉTODOS

A presente pesquisa iniciou-se com a fabricação da liga por fundição direta, ocorrendo em seguida a preparação das amostras para o ensaio de resistividade elétrica e de limite de resistência à tração (LRT). A metodologia utilizada pode ser visualizada no fluxograma da Fig. 1.

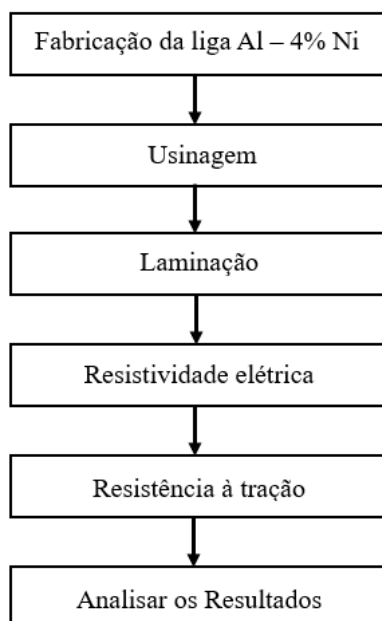


Fig. 1 - Fluxograma da metodologia utilizada na pesquisa.

Fundição

O alumínio 1350 EC (EletroCondutor) foi fornecido pela Alubar Metais e Cabos S.A., fabricante de referência na indústria de condutores elétricos de alumínio. O processo de produção da liga analisada neste estudo começa com o cálculo estequiométrico para determinar o teor de 4% de níquel para de 1 kg de alumínio (Al). O material da liga foi então conduzido para um cadinho de SiC, revestido com óxido de alumínio em suspensão e colocado em um forno GREFORTEC a 900°C para fundir o material. Com o banho de metal homogeneizado, a liga foi vazada em um molde de metal em forma de “U”. Após a solidificação da liga, ela foi desmontada e seccionada para serem trabalhadas segundo os procedimentos a seguir:

Fabricação dos fios

Foram retiradas amostras das ligas para efetuar o processo de usinagem que reduziu seus diâmetros de 22,0 mm para 18,5 mm, processo foi necessário, pois além de melhorar a superfície das peças, também para obter o diâmetro necessário do canal máximo da laminadora. Os fios utilizados para testes de resistência elétrica e limite de resistência à tração foram produzidos em processo de laminação a frio utilizando dois laminadores elétricos Duo reversíveis da marca MENAC. O diâmetro da amostra após a laminação foi de 3,0 mm.

Resistência elétrica

Após a laminação, os fios de 3,0 mm foram submetidos ao teste de resistência elétrica com microhmímetro MegaBras 2000e pelo método de ponte de Kelvin. Os testes foram realizados conforme as normas NBR 5118, NBR 6814 e NBR 6815. Os resultados obtidos foram convertidos para condutividade na escala International Annealed Copper Standard (% IACS). O resultado obtido de condutividade elétrica foi comparado com o dado do Al 1350, do Catálogo da Alubar Metais e Cabos S.A.

Limite de resistência à tração

Após o ensaio de resistividade elétrica, as amostras foram submetidas ao ensaio de tração para determinação de suas propriedades de LRT. Os testes foram realizados utilizando um equipamento de ensaio universal KRATOS, modelo IKCL1-USB, juntamente com um computador com sistema de aquisição de dados. Os ensaios de tração foram realizados em amostras com comprimento útil de 150 mm conforme a norma de cabos elétricos NBR 6810. Os resultados do ensaio de resistência à tração foram comparados com os dados obtidos do Al 1350, do catálogo da Alubar Metais e Cabos S.A.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao analisar a Fig. 2 é possível visualizar que a liga de Al 1350 possui uma condutividade elétrica de aproximadamente 61% IACS e a liga com 4% Ni uma condutividade elétrica de aproximadamente 60% IACS, portanto houve diminuição da condutividade elétrica.

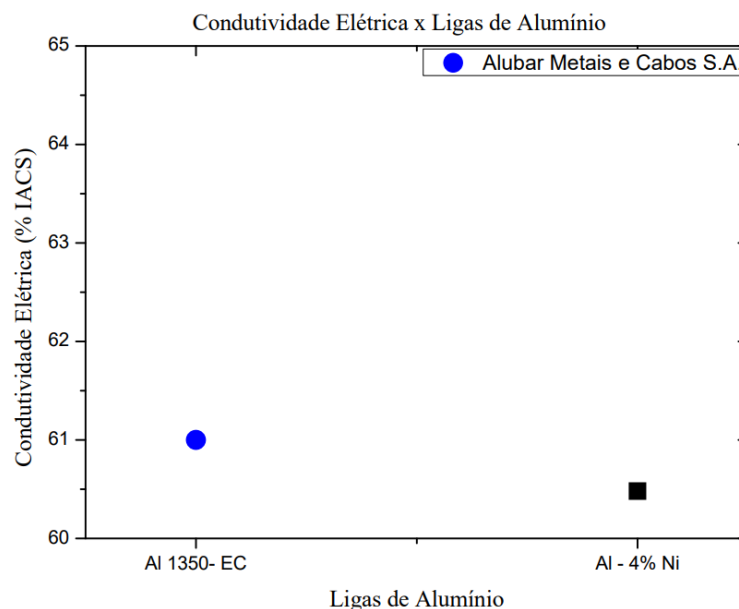


Fig. 2 – Relação entre as ligas e a propriedade elétrica.

O resultado desfavorável da liga Al- 4% Ni pode ser devido a sua dificuldade em diluir o Ni na matriz de Al, assim não ocasionando ramos dendríticos que deveriam gerar uma convecção térmica na formação da zona coquilhada [4]. Portanto, possivelmente a solidificação do material influenciou na propriedade elétrica do material.

Ao deformar o fio, a condutividade tende a diminuir à medida que o diâmetro reduz. Porém, devido as deformações nos sucessivos canais de laminação, o que gera um fenômeno de recuperação dinâmica do material, resultando em uma melhoria da condutividade elétrica para diâmetros de 3 mm [5]. Portanto, pode-se inferir que o teor de 4% de Ni não gera condições favoráveis para o fenômeno de recuperação dinâmica da liga, diminuindo esta propriedade.

Em metais com alta energia de defeito de empilhamento (EDE), a recuperação dinâmica ocorre mais rápido, levando a uma diminuição na quantidade de defeitos cristalinos no material quando ele é submetido a uma deformação [6]. Ou seja, a liga Al- 4% Ni pode possuir uma baixa EDE que consequentemente ocasiona uma maior quantidade de defeito cristalino. Isso é importante para entender como os metais respondem a cargas e deformações e pode ser relevante em várias aplicações da engenharia de materiais.

Porém, ao analisar a Fig. 3 é possível visualizar que o Al 1350 demonstrou um LRT de aproximadamente 185 MPa e a liga de Al- 4% Ni um LRT de aproximadamente 277 MPa, portanto, é possível constatar um aumento do LRT.

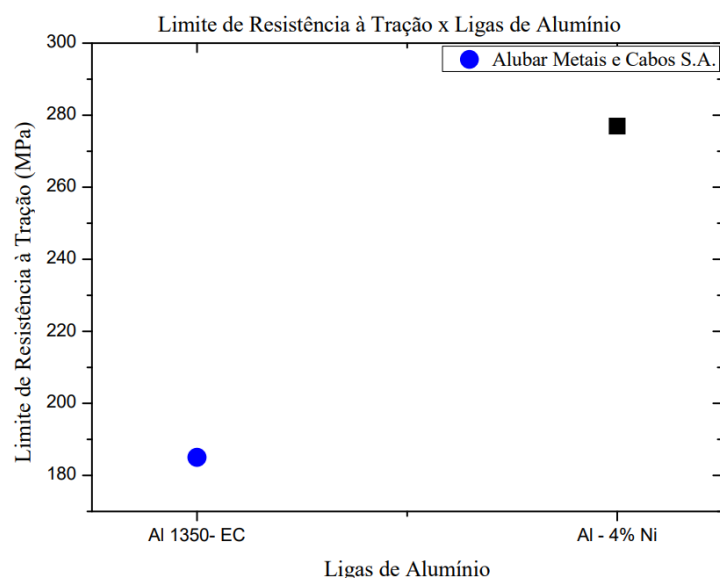


Fig. 3 - Relação entre as ligas e o limite de resistência à tração.

Quanto mais refinada estrutura, melhores serão as propriedades mecânicas, ou seja, mais grãos deverão existir para dificultar o movimento das discordâncias [7]. Isso demonstra que a presença do Níquel refinou a estrutura no alumínio e isso ocasionou em um aumento no limite de resistência à tração.

Com base na literatura [8], o desempenho de componentes à base de liga de alumínio está relacionado ao desenvolvimento de microestruturas durante a solidificação. Para o caso da liga Al- Ni, a estrutura principal observada está incluída uma matriz dendrítica rica em Al (fase α) com uma mistura eutética na região interdendrítica formada pela fase α e o composto intermetálico Al_3Ni , esse composto pode atuar como reforço.

Neste contexto, as partículas de Al_3Ni formadas podem atuar como reforço para a liga, proporcionando um aumento significativo na resistência mecânica das peças confeccionadas com esta liga de alumínio. Isto significa que as partículas de Al_3Ni fortalecem a liga, tornando-a mais resistente à tensão mecânica.

CONCLUSÕES

Considerando os pontos discutidos, fica evidente que vários fatores desempenharam papéis cruciais no processo de solidificação da liga Al- 4% Ni, com impactos diretos em suas propriedades elétricas e mecânicas.

Primeiramente, a dificuldade de diluir o níquel na matriz de alumínio e a ausência de ramos dendríticos durante a solidificação tiveram influência significativa. Esses fatores contribuíram para uma ineficácia na recuperação dinâmica da liga, resultando em uma diminuição da condutividade elétrica do material.

No entanto, observou-se um efeito positivo do níquel no refinamento da estrutura do material, resultando em grãos mais finos e, conseqüentemente, em um aumento na resistência mecânica. Além disso, ressalta-se o possível papel das partículas intermetálicas de Al_3Ni , que atuam como reforço para a liga, levando a um notável aumento na resistência mecânica dos componentes de alumínio. Essa característica é de extrema importância em diversas aplicações industriais.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio da Universidade Federal do Pará (UFPA), Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Alubar Metais e Cabos S.A. e ao Grupo de Pesquisa em Engenharia de Materiais (GPEMAT).

REFERÊNCIAS

- [1] ABAL - Associação Brasileira do Alumínio, 2023. Fundamentos e aplicações do alumínio.
- [2] SCHEID. Ligas de Alumínio: Materiais para engenharia, Universidade Federal do Paraná (UFPR), 2010.
- [3] SOUZA, P. H. L. Análise da influência de teores de Mg e Ni sobre as propriedades térmicas, mecânicas e elétricas de uma liga Al-Cu-Fe para transmissão e distribuição de energia elétrica. Belém: 2013.112f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – 79 Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Instituto de tecnologia, Universidade Federal do Pará, Belém, 2013.
- [4] MARQUES, L. L. P. Correlação das características macroestruturais com as propriedades elétricas das ligas de Al-0,5% e 1,5% Ni tratadas termicamente à 280 °C e 400 °C. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia de Materiais) - Universidade Federal do Pará, Campus Universitário de Ananindeua, Curso de Engenharia de Materiais, Ananindeua, 2023.
- [5] FREITAS, E. S. Correlação entre as propriedades mecânicas e elétricas de fios para Tx e Dx de energia elétrica do Al-EC modificado com teores de silício e zircônio. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) –Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Instituto de tecnologia, Universidade Federal do Pará, Belém, 2010.
- [6] PADILHA, A. F., SICILIANO JR., F. Encruamento, Recristalização, Crescimento de Grão e Textura. São Paulo: ABM, 3ª edição, 2005.
- [7] GARCIA, A. Solidificação: Fundamentos e aplicações. Campinas: UNICAMP, 2001.
- [8] CANTÉ, M. V. Solidificação transitória, microestrutura e propriedades de ligas Al-Ni. 2009, 204p. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, UNICAMP/SP, São Paulo.