

INFLUÊNCIA DO TRATAMENTO TÉRMICO DE ENVELHECIMENTO ARTIFICIAL NA ESTRUTURA E MICRODUREZA DA LIGA AL-1%NI

Data de aceite: 02/05/2024

Alicia Regina Zanon Barbosa

Universidade Federal do Pará, Faculdade de Engenharia de Materiais
Ananindeua – Pará
<http://lattes.cnpq.br/2085252897942870>

Yan Christian Silva de Araújo

Universidade Federal do Pará, Faculdade de Engenharia de Materiais
Ananindeua – Pará
<http://lattes.cnpq.br/5136415587850242>

Luane Luiza Pereira Marques

Universidade Federal do Pará, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica
Belém – Pará
<http://lattes.cnpq.br/9438927804105514>

Eric Elian Lima Espíndola

Universidade Federal do Pará, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica
Belém – Pará
<http://lattes.cnpq.br/1193834237116588>

Emerson Rodrigues Prazeres

Universidade Federal do Pará, Doutor em Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia
Belém – Pará
<http://lattes.cnpq.br/8918189837419936>

Amanda Lucena de Medeiros

Universidade Federal do Pará, Doutora em Ciência e Engenharia de Materiais,
Belém – Pará
<http://lattes.cnpq.br/7734539626373520>

Deibson Silva da Costa

Universidade Federal do Pará Doutor em Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia
Ananindeua – Pará
<http://lattes.cnpq.br/1521124351431087>

RESUMO: A busca por materiais que possuam propriedades adequadas para uma determinada aplicação e que tenha um baixo custo, estimula o desenvolvimento de pesquisas que possam melhorar essas propriedades específicas. Desse modo, o presente trabalho tem o objetivo de analisar a influência do tratamento térmico de envelhecimento artificial (200 °C e 350 °C) na macrografia e na microdureza da liga binária Al-1%Ni. Foi realizado a metalografia nas amostras a fim de possibilitar a análise macroestrutural, assim como, o ensaio mecânico de microdureza Vickers. Os resultados obtidos foram comparados, evidenciando mudanças macroscópicas,

com aumento da presença de grãos equiaxiais. Esta condição influenciou nos resultados da microdureza das amostras. As ligas tratadas termicamente a 200 e 300 °C apresentaram uma dureza de 61,91 e 62,04 HV, respectivamente, valores superiores à dureza da liga não tratada termicamente, que registrou 31,76 HV. Evidenciando, que o tratamento térmico modificou as estruturas das ligas, resultando em aumento de suas durezas.

PALAVRAS-CHAVE: Liga; Alumínio; Propriedades.

INFLUENCE OF ARTIFICIAL AGING HEAT TREATMENT ON THE STRUCTURE AND MICROHARDNESS OF AL-1% NI ALLOY

ABSTRACT: The search for materials with suitable properties for a specific application and low cost stimulates the development of research aimed at improving these specific properties. Therefore, this work aims to analyze the influence of artificial aging heat treatment (200 °C and 350 °C) on the macrography and microhardness of the binary alloy Al-1%Ni. Metallography was performed on the samples to enable macrostructural analysis, as well as the Vickers microhardness test. The obtained results were compared, showing macroscopic changes with an increase in the presence of equiaxed grains. This condition influenced the microhardness results of the samples. The heat-treated alloys at 200 and 300 °C exhibited a hardness of 61,91 and 62,04 HV, respectively, which are higher than the hardness of the untreated alloy, which recorded 31,76 HV. This shows that the heat treatment modified the structures of the alloys, resulting in an increase in their hardness.

KEYWORDS: Alloy; Aluminum; Properties.

INTRODUÇÃO

Com o aumento da demanda por energia elétrica nos setores industriais e o crescimento dos centros urbanos, torna-se necessária a expansão da rede de transmissão e distribuição de energia. Para isso, são realizadas pesquisas que possam gerar um material com as propriedades adequadas para a produção dos cabos da rede elétrica a um custo aceitável. O Alumínio (Al) possui uma boa condutividade e um peso específico consideravelmente inferior em comparação com outros metais, a utilização de cabos de transmissão (Tx) e distribuição (Dx) de corrente elétrica resulta em uma redução de peso nas estruturas de suporte. Isso, por sua vez, contribui para a minimização dos custos das redes, requerendo investimentos menores e menos necessidade de manutenção (Abal, 2023), entretanto, o Al comercialmente puro possui uma baixa resistência mecânica.

Os elementos de liga são frequentemente utilizados para melhorar uma determinada propriedade do material, dependendo do seu teor na liga pode alterar sua estrutura e modificar suas propriedades, além dos elementos de liga o tratamento térmico auxilia na mudança ou aprimoramento das propriedades, principalmente nos materiais metálicos. As ligas de alumínio tratáveis podem ser por endurecimento por precipitação, também denominado de envelhecimento, e possui três etapas principais: solubilização, resfriamento

rápido e envelhecimento artificial, essas etapas têm a finalidade de induzir a formação de precipitados de uma segunda fase, os quais provocam distorções na rede cristalina. Essas distorções dificultam o movimento das discordâncias, resultando no aumento da resistência mecânica da liga após o processo de envelhecimento (Ashkenazi, 2019; Jadhav et al., 2017).

Portanto, o propósito deste estudo foi analisar as alterações na macroestrutura e nas propriedades mecânicas resultantes do tratamento de envelhecimento artificial, com o intuito de estabelecer uma relação entre a influência do tratamento térmico na estrutura e na microdureza da liga.

MATERIAIS E MÉTODOS

Fabricação da Liga

Inicialmente, foi efetuado um cálculo estequiométrico, utilizando a balança de precisão, para definir a quantidade em peso de 1% níquel (Ni) e 99% de alumínio (Al). Logo, os elementos foram inseridos no cadinho, revestido com alumina em suspensão para não contaminar o conteúdo, e levados ao forno, da marca GREFORTEC, ilustrado na Figura 1, a uma temperatura de 900 °C, para a fundição dos materiais.

Após a homogeneização, o metal líquido é vazado em um molde coquilha metálica em formato “U”, demonstrado na Figura 2. Com a liga já solidificada, foi retirada amostras de cada liga para os processos metalográficos e para o tratamento térmico.



Figura 1 - Forno utilizado para a função da liga.

Fonte: Próprio Autor, 2024.



Figura 2 - Molde Metálico para o vazamento do banho metálico.

Fonte: Próprio Autor, 2024.

Metalografia

A metalografia foi realizada visando a preparação dos corpos de prova para os ensaios. As amostras passaram pelo lixamento, utilizando lixas de granulometria crescente de 80 a 1500 mesh, após esse processo as amostras foram para o polimento com alumina líquida. Em seguida, foi efetuado o ataque químico por imersão de Keller para se obter a macrografia da amostra.

Macrografia

A macrografia envolve a observação da superfície plana das peças, com aumento de até 100x, após o ataque químico, permitindo assim a análise da macroestrutura. Esse procedimento possibilita a avaliação das condições macroestruturais durante a solidificação da liga.

Microdureza

O ensaio de microdureza foi produzido conforme as normas ASTM E384, utilizando o microdurômetro modelo HV-1000B, com uma indentação de 13 segundos com uma força de 100 gf (grama-força), demonstrado na Figura 3. Para analisar a microdureza dos três corpos de prova realizou-se 10 indentações aleatoriamente nas peças, obtendo assim resultados de todas as zonas das peças, foi posteriormente realizado a média dos resultados obtidos.



Figura 3 - Microdurômetro utilizado nas amostras.

Fonte: Próprio Autor, 2024.

Tratamento Térmico

O tratamento de envelhecimento artificial foi conduzido de acordo com a norma NBR 6835, a amostra foi tratada nas temperaturas de 200 °C e 350 °C com uma duração de 4 horas. O tratamento consiste na elevação de uma determinada temperatura em um determinado tempo, posteriormente, ocorreu um resfriamento brusco e um resfriamento controlado há uma temperatura de 100 °C menor do que a temperatura inicial, utilizando a estufa, da marca Neuoni, visualizado na Figura 4.



Figura 4 – Estufa utilizada para o tratamento térmico.

Fonte: Próprio Autor, 2024.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Macrografia

A morfologia das estruturas dos grãos das ligas estudadas, sem deformação, é apresentada na Figura 5. Observa-se que, a liga não tratada (Figura 5– a) apresenta uma predominância de grão colunares, enquanto que nas ligas tratadas (Figura 5 – b e c) exibe grãos predominantemente equiaxiais.

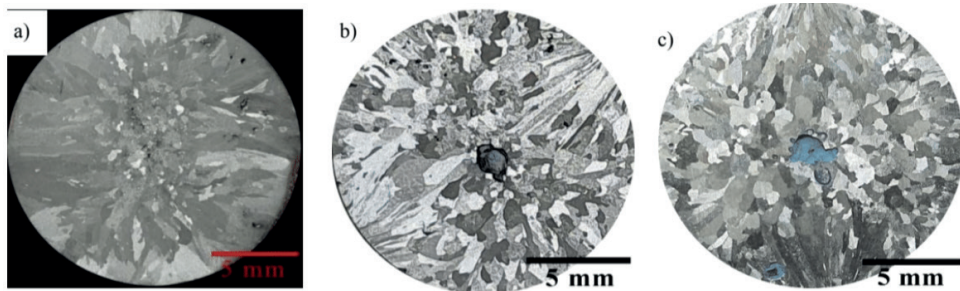


Figura 5 – a) Macrografia da liga não tratada termicamente; b) macrografia da liga tratada termicamente à 200 °C; c) Macrografia da liga tratada termicamente à 350 °C.

Fonte: Próprio Autor, 2024.

Ao comparar as macroestruturas, ilustradas na Figura 5 – a), b) e (c), é evidente a diminuição dos grãos colunares e um aumento dos grãos equiaxiais quando submetidos ao tratamento térmico de envelhecimento artificial. Conforme Garcia (2007), os grãos alongados indicam uma alta velocidade de solidificação. Assim, é possível que a velocidade de solidificação nas peças tratadas tenha sido menor, resultando em grãos equiaxiais.

Além disso, a estrutura predominantemente colunar é comum em metais com teores de soluto mais diluídos. Assim, é possível supor que a estrutura não tratada apresente uma melhor diluição no alumínio. No entanto, com o tratamento térmico, houve uma mudança na estrutura com uma maior presença de grãos equiaxiais, o que pode ter sido causado por uma precipitação de intermetálicos (Ohno, 1988 *apud* Rodrigues, 2007).

Microdureza

Conforme Callister (2020), o tratamento térmico de precipitação resulta em um aumento na resistência e na dureza da liga, dependendo do tempo e da temperatura de precipitação do material. Portanto, é esperado que haja um aumento na dureza da liga Al - 1%Ni.

Os resultados da análise de microdureza das ligas estão disponibilizados na Tabela 1. É evidente que as ligas submetidas a tratamento térmico apresentaram um aumento na microdureza, sendo a liga tratada a 350 °C a mais destacada nesse aspecto.

Ligas	Microdureza (HV)	Desvio Padrão
Não tratada termicamente	31,76	1,20
Tratada termicamente à 200 °C	61,91	13,30
Tratada termicamente à 350 °C	62,04	4,32

Tabela 1 – Relação do tratamento térmico com a microdureza

Fonte: Próprio Autor, 2024.

Observa-se um aumento na dureza das amostras com o tratamento de envelhecimento artificial, esse fato está relacionado com o aumento dos grãos equiaxiais. De acordo com Medrano-Prieto et al. (2020), a inclusão de Ni promove estabilidade térmica nos precipitados formados durante o tratamento de envelhecimento, auxiliando no aumento da microdureza.

Na Figura 8 é possível visualizar o diagrama completo da liga Al-Ni. Conforme observado por Canté (2009), o uso de ligas Al-Ni com baixos teores de Ni é pouco comum. Neste contexto específico, dentro da gama de composições hipoeutéticas, a microestrutura de solidificação é composta por uma matriz dendrítica de fase α , enriquecida em alumínio, acompanhada por uma mistura eutética na região interdendrítica, formada por fases α e o composto intermetálico trialuminetos de níquel.

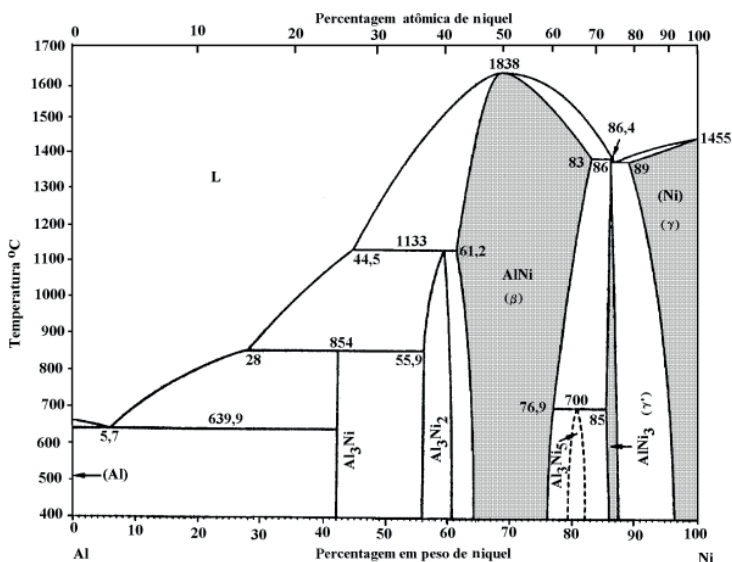


Figura 6 – Diagrama da liga binária Al-Ni

Fonte: Adaptado de ASM International Vol 9 (2004).

O fato de influenciar na microdureza é reforçado por França (2020), relata que essas partículas se comportam como uma matriz dúctil rica em alumínio e quanto menor a frequência dessa estrutura mais dura se distribuem mais eficiente será a resistência mecânica. Portanto, o aumento da dureza é plausível.

Para enfatizar fenômeno Souza (2013), informa que os materiais aumentam sua resistência mecânica pela formação de trialuminetos como o os quais são gerados após os tratamentos térmicos, ressaltando assim, a veracidade dos dados obtidos.

CONCLUSÃO

Com base nos resultados apresentados, foi possível inferir que o tratamento térmico de envelhecimento artificial provocou uma transformação na microestrutura da liga. Observou-se uma diminuição dos grãos colunares e um aumento dos grãos equiaxiais nas peças tratadas. Essa mudança pode ser explicada por uma menor velocidade de solidificação durante o processo de tratamento térmico.

A estrutura colunar predominante na liga não tratada indica um alto grau de diluição do soluto no alumínio. No entanto, o tratamento térmico pode ter levado à precipitação de intermetálicos, o que, por sua vez, resultou na formação de grãos equiaxiais.

Consequentemente, essa mudança na morfologia dos grãos contribuiu para um aumento da dureza e a possível precipitação do intermetálico, durante o tratamento térmico influenciou em um aumento mínimo de 51,3%. Portanto, a combinação da microestrutura com grãos equiaxiais, a estabilidade térmica dos precipitados e a formação de trialuminetos influenciou para um aumento da dureza, o que torna essa liga interessante para aplicações que exigem alta resistência mecânica.

AGRADECIMENTOS

Um agradecimento especial para o Grupo de Pesquisa em Engenharia de Materiais - GPEMAT, a Universidade Federal do Pará – UFPA, Campus Ananindeua.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6835: Alumínio e suas ligas – Classificação das têmperas. 2010.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS E384-11 Standard Test Method for Knoop and Vickers Hardness of Materials. 2012.

AMERICAN SOCIETY FOR METALS (ASM INTERNATIONAL). Metallography and microstructures. v 9, American Society for Metals, ASM Handbook, 2004.

ASHKENAZI, Dana. How aluminum changed the world: A metallurgical revolution through technological and cultural perspectives. Technological Forecasting and Social Change, Telavive, v. 143, n. Março, p. 101–113, 2019.

ABAI - Associação Brasileira do Alumínio, 2023. Fundamentos e aplicações do alumínio.

ALMEIDA, D. S. de. Estudo de revestimentos cerâmicos sobre substrato metálico, obtidos por deposição física de vapores por feixe de elétrons para aplicação como barreira térmica. 2005. 141 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2005.

BATALU, D., GEORGETA, C., ANGEL, A., 2006. Critical analysis of Al-Ni phase diagrams. *Metallurgia International*, v. 11, n. 8, p. 36-45.

CALLISTER, W. D. Engenharia e ciência dos materiais: uma introdução. 9ª. ed., Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2020.

CANTÉ, M. V. Solidificação Transitória, Microestrutura e Propriedades de Ligas Al-Ni, 2009, 204f. Tese de Doutorado – UNICAMP, Campinas, 2009.

FRANÇA, Ricardo N. C., MIRANDA, G. O., GOMES, L. G.. Parâmetros térmicos, estrutura e propriedades mecânicas resultantes da solidificação horizontal das ligas de Alumínio com adição de 3 e 5% de Níquel. *Brazilian journal of Development*, Curitiba, v.6, n.12,p.96390-96402dec.2020.

GARCIA, A. Solidificação, Fundamentos e aplicações, 2 ed., Campinas, Unicamp, 2007, 399p.

JADHAV, S. et al. Influence of heat treatment on mechanical properties and microstructure of EN AW 6082 aluminum alloy. Em: 8TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON MECHANICAL AND AEROSPACE ENGINEERING (ICMAE), 2017, Prague, Czech Republic. Anais [...]. Prague, Czech Republic: IEEE, 2017. p. 184–187. Disponível em: <http://ieeexplore.ieee.org/document/8038639/>.

MEDRANO-PRieto, H.M. et al. Effect of Ni additions and hot deformation on precipitation behavior and hardness in Al–Si–Mg aged alloys. *Journal of Alloys and Compounds*, v.828, p.154429, 2020.

RODRIGUES, J. R. P. Efeito da Composição nos Parâmetros Térmicos e Estruturais de Liga Al-Mg solidificadas Unidirecionalmente, 2007. 187f. Tese de Doutorado – FEM/UNICAMP, Campinas, 2007.

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.