



ANÁLISE DOS EFEITOS DO TRATAMENTO TÉRMICO DE ENVELHECIMENTO ARTIFICIAL T6 NA LIGA DE ALUMÍNIO A356

Renato M. Teixeira Jr.¹, Renata de O. Teixeira², Ramon G. de Souza¹

1 - Engenharia de Materiais, Universidade do Estado do Amazonas (UEA), Manaus, AM.

2 - Engenharia de Produção, Universidade Federal do Amazonas (UFAM), Manaus, AM.

rmtj.mec@uea.edu.br

RESUMO

A liga de Alumínio é um dos materiais metálico mais utilizado da indústria e o terceiro elemento mais abundante na natureza. Dentre as classificações existentes de ligas de alumínio, escolheu-se o sistema de liga o Alumínio/Silício (Al-Si), especificamente a Liga de Alumínio A356, devido a sua alta fluidez. O objetivo deste trabalho foi investigar os efeitos do tratamento térmico de solubilização e envelhecimento artificial (T6) e sua influência nas propriedades mecânicas na liga de alumínio A356. Para a caracterização dos resultados, foram utilizados ensaios de metalografia, dureza e tração. As amostras utilizadas possuem os mesmos percentuais em peso de Al, Mg e Si, que foram solubilizadas à 500°C e submetidas ao envelhecimento artificial (T6) com alternância de tempos, sendo 0h, 06h, 12h, 18h, 24h e 30h, no processo de tratamento térmico, com temperatura na faixa de 180°C ± 5°C. Deste modo, realizou-se o registro da microestrutura da liga de alumínio A356 antes e depois da submissão do tratamento térmico de envelhecimento. Com base nos resultados, pode-se traçar gráficos comparativos entre as amostras e entender como o tratamento térmico age conforme a variação de tempo.

Palavras-chave: Liga de alumínio A365, tratamento térmico, microestrutura.

INTRODUÇÃO

O elemento alumínio passou a ser amplamente utilizado em diversos setores industriais, como a automobilístico e espacial, e atualmente fica para trás somente do aço e o ferro, cada vez mais o alumínio e suas ligas ganham espaço em nosso consumo cotidiano, abrangendo uma ampla gama de composições químicas e formas de produtos que podem ser fabricados por todas as técnicas de metalurgia disponíveis e processos de fundição padrão. Assim, influenciando novas pesquisas sobre o seu comportamento mecânico ⁽¹⁾.

A aplicação do alumínio é amplamente utilizada devido as suas características, tais como, o peso específico relativamente baixo, boa condutividade térmica e elétrica, boa resistência à corrosão, entretanto, o seu ponto negativo é o seu ponto de fusão e sua resistência mecânica serem baixos. O método mais viável de resolver o problema da resistência mecânica é utilizar outros elementos de ligas que são acrescentadas às ligas de alumínio e aplicação de tratamentos térmicos para aumentar à resistência e dureza ^(1,2).

Para a realização deste trabalho, utilizou-se a liga Al-Si-Mg, comumente referida como A356, trata-se de uma liga de alumínio hipoeutética de fundição por gravidade clássica, é composta

pelos elementos de ligas Alumínio (Al), 7% de Silício (Si), 0,3% de Magnésio (Mg), utilizada para produzir componentes fundidos de geometria complexa devido à suas propriedades conter boa resistência mecânica e soldabilidade ^(1,2).

O processo de aplicação de tratamentos térmicos em metais é realizado com o intuito de causar modificações nas propriedades dos materiais, variação da morfologia dos microconstituintes ou pela variação da concentração e distribuição de defeitos cristalinos, essas modificações têm por consequência alterações nas propriedades mecânicas ⁽²⁾.

Para ser aplicado o tratamento térmico de envelhecimento na liga de alumínio, a princípio faz-se necessário a aplicação do tratamento térmico de solubilização, que se trata de um aquecimento até temperaturas altas acima da linha solvus, que é o limite de solubilidade no estado sólido, e resfriado de forma brusca até a temperatura ambiente. Esse resfriamento tem por objetivo manter a liga no estado monofásico à temperatura ambiente, visto que assim a formação de qualquer outra fase é prevenida, já que o soluto fica travado na rede cristalina ^(1,2). Após o choque térmico a liga de alumínio pode passar por dois tipos de envelhecimento, o natural e o artificial, ou ainda, passar pela combinação de ambos. O processo consiste na formação de precipitados endurecedores na matriz por meio de difusão, a qual é facilitada pela alta quantidade de lacunas ^(1,2).

No presente trabalho emprega-se o tratamento térmico por envelhecimento artificial (T6), como exposição de alternância de tempo, ele é capaz de refinar a estrutura do fundido com formação adicional de precipitados muito finos durante o envelhecimento ^(4,5). E para ajudar na mudança do Si eutético de floco longo grosso ou forma acicular para morfologia fina globular-fibrosa ou esferoidal utiliza-se o tratamento térmico T6 ⁽³⁾.

Após a aplicação dos tratamentos térmicos em cada período de tempo, realizaram-se alguns ensaios mecânicos, com o objetivo de avaliar o comportamento do material e suas condições, analisando as suas propriedades mecânicas.

MATERIAIS E MÉTODOS

Amostras

Para realização da investigação dos efeitos da aplicação do tratamento térmico de solubilização e envelhecimento artificial (T6) na liga de alumínio A356 utilizou-se o quantitativo de 18 amostras (corpo de prova), divididas em 6 grupos de 3 unidades cada. As amostras encontravam-se aptas a passar pelo processo de tratamento térmico por envelhecimento artificial (T6).

Tratamentos Térmicos

Inicialmente realizou-se a solubilização de todas as amostras, que foram solubilizadas à 500°C, com o objetivo de solubilizar os elementos que estão presentes na composição da liga e a dissociação da estrutura do silício e esferoidização das partículas resultantes, ou seja, ocorre a dissolução das fases intermetálicas e a formação de uma solução sólida de elementos responsáveis pelo endurecimento.

Em continuidade, as 18 unidades de amostras foram recolhidas e submetidas ao processo de envelhecimento artificial (T6), em diferentes períodos de tempo de exposição ao tratamento

térmico, sendo de 0h, 06h, 12h, 18h, 24h e 30h, e com a temperatura constante ($180 \pm 5^\circ\text{C}$), em um Forno Mufla Microprocessado, modelo: Q318M25T, Marca: Quimis. Logo após, as mesmas foram submetidas a ensaios mecânicos e avaliaram-se as possíveis mudanças em suas propriedades.

Ensaio Mecânicos

Os métodos de avaliação das propriedades mecânicas das amostras foram:

- a) Ensaio Metalográfico (Micrografia): Utilizou-se máquina policorte, embutidora, lixadeira, lixas da água com diferentes tipos de granulações, aluminas $0,3 \mu$ e $0,5\mu$, para o ataque químico foi utilizado o reagente keller (95 ml água destilada, 2.5 ml ácido nítrico, 1.5 ml ácido clorídrico, 1.0 ml ácido fluorídrico) com o tempo de ataque por 10 segundos e em seguida foi realizada a limpeza em água corrente, captura da microestrutura foi em microscópio óptico Olympus Modelo: CX31 e software de captura Moticom Plus com visualização das em até 1000x.
- b) Ensaio de Dureza: Submeteu-se as amostras em uma máquina de nanodurometro da marca Mitutoyo, Modelo HM2000 com uma carga de 3000 mN, seguindo a norma ISO 14577-1 *Metallic materials - Instrumented indentation test for hardness and materials parameters*.
- c) Ensaio de Tração: Técnica destrutiva que submete a amostra a um grande esforço de alongamento e esticamento até sua ruptura. Realizado em uma máquina de ensaio de tração modelo M10-16250-EN e marca INSTRON.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A liga de alumínio A356 apresentou um alumínio alfa na forma de dendritas e o silício eutético encontra-se na forma interdendríticas, dessa forma a microestrutura não assumiu o aspecto esperado após o tratamento térmico de solubilização, porque a liga devia apresentar partículas de silício mais arredondadas e compactas.

Depois da aplicação do tratamento térmico de envelhecimento artificial T6, notou-se que as amostras não sofreram mudanças significativas na microestrutura conforme os tempos de tratamento, porém pode observar que o silício eutético tenta solubilizar, onde o silício forma pequenas esferas redondas, só que isso não pode acontecer por completo porque o envelhecimento não usa temperaturas elevadas diferente do tratamento T6 que usar temperaturas próximo ao ponto de fusão.

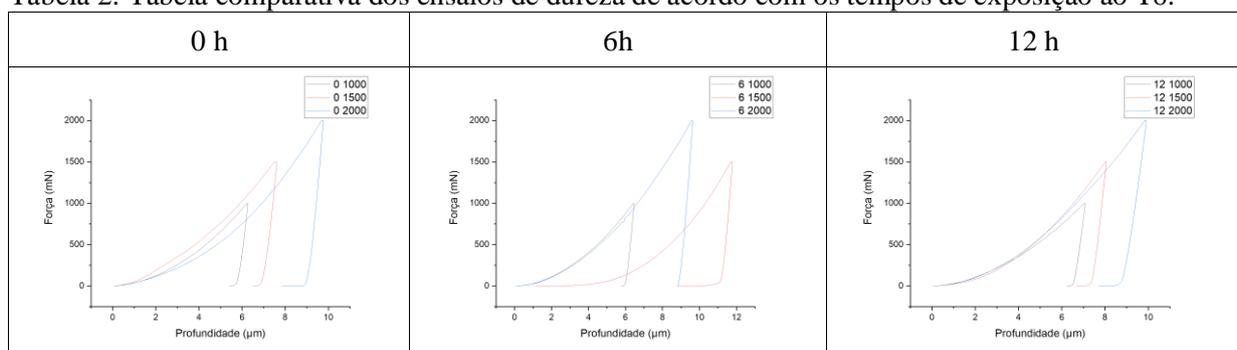
Após o processo T6, utilizou-se uma amostra de cada grupo e aplicou-se o ensaio metalográfico e visualização microscópica, onde se registrou as microestruturas de cada amostra, conforme apresentada na Tabela 1. E observou-se a microestrutura da liga A356, inclui dendritos ricos em alumínio silício eutético e partículas de silício, e com envelhecimento artificial tornam-se mais esferoidais e equiaxiais, permitindo observar que o uso de maiores tempos, temperaturas de envelhecimento contribuiu para um maior coalescimento das mesmas. A microestrutura inicial da liga de alumínio A356 é dominada pelas células dendríticas α -Al típicas, enquanto o silício eutético se distribui em torno do limite dendrítico primário, e que o alumínio na região eutética tem orientação semelhante ao α -Al primário nos dendritos ^(6,7).

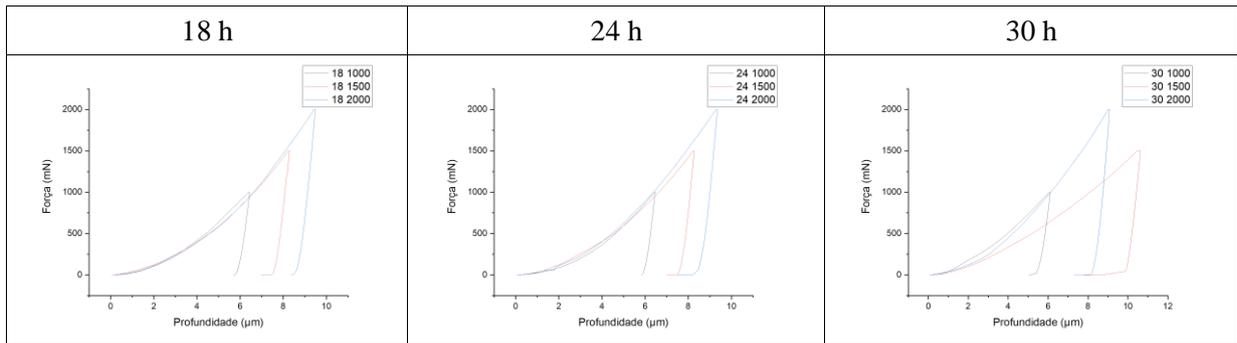
Tabela 1: Tabela comparativa da microestrutura das amostras de acordo com os tempos de exposição ao tratamento térmico de envelhecimento T6.

| Amostra | Tempo de Exposição | Microestrutura | | |
|---------|--------------------|----------------|------|------|
| | | 40X | 100X | 400X |
| 01 | 0 h | | | |
| 02 | 6 h | | | |
| 03 | 12 h | | | |
| 04 | 18 h | | | |
| 05 | 24 h | | | |
| 06 | 30 h | | | |

Em seguida, as amostras foram submetidas ao ensaio de dureza, e de acordo com os resultados gerados foi possível comparar as amostras e entender como o tratamento térmico age conforme a variação de tempo. E notou-se que o primeiro pico de dureza é atingido em um tempo de envelhecimento de 6hr, depois de atingir o primeiro pico, a dureza cai e é gradualmente elevada novamente para o segundo valor de pico e, finalmente, novamente reduzida.

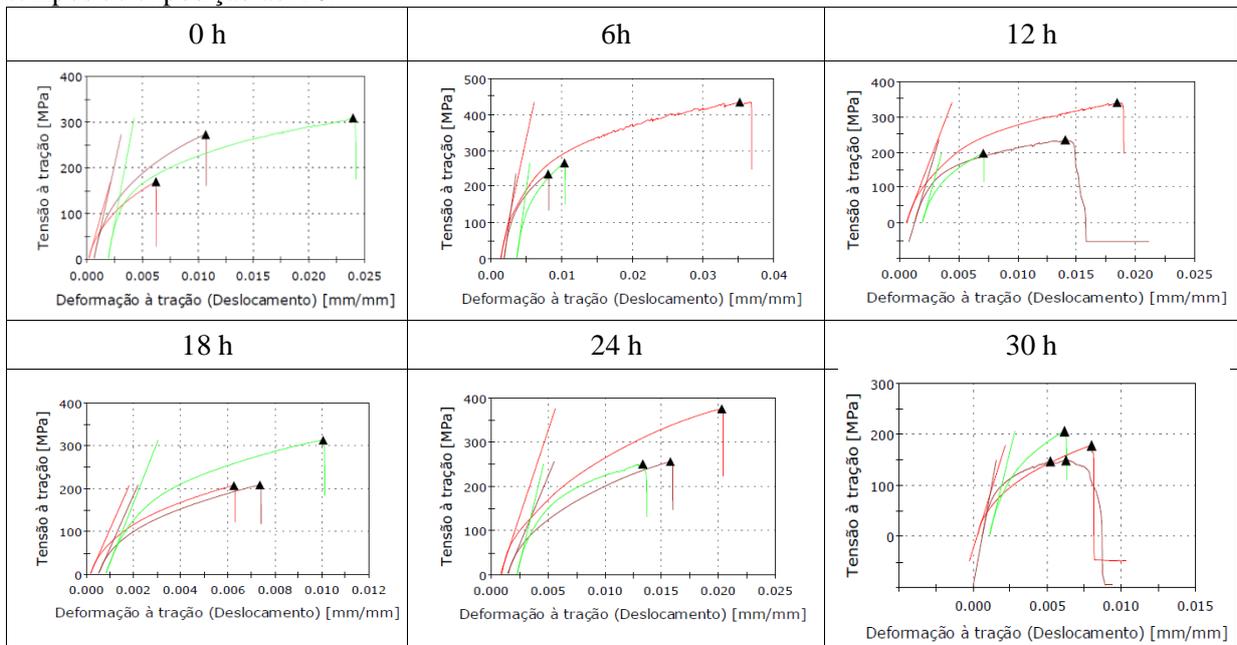
Tabela 2: Tabela comparativa dos ensaios de dureza de acordo com os tempos de exposição ao T6.





O último foi o ensaio de tração, observou-se que todas as amostras passaram da fase elástica e plástica até chegar ao seu rompimento, e notou-se que nos tempos de 0, 12 e 24 horas de exposição ao T6 a liga de alumínio apresentaram grau ductibilidade e elasticidade mais significativa, ou seja, as amostras apresentaram boa resistência a tração e a tensão de ruptura até alcançar a sua ruptura total. Enquanto isso, as demais amostras não apresentaram resultados satisfatórios.

Tabela 3: Tabela comparativa dos ensaios de tração com cada grupo de amostras de acordo com os tempos de exposição ao T6.



CONCLUSÕES

Os resultados gerados das propriedades mecânica da liga de alumínio A356 foram satisfatórios, no qual determinadas variações de tempo de exposição ao tratamento térmico de envelhecimento artificial T6, resultaram em alterações proporcionais ao grau de dureza, ductibilidade e elasticidade da liga.

REFERÊNCIAS

1. CALLISTER Jr, W. D. *Ciência e engenharia de materiais: uma introdução*. 7^a. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008.
2. ASKELAND, D. R., PHULÉ, P. P., *Ciência e Engenharia dos Materiais*. Editora Cengage Learning, São Paulo, SP, 594 p., 2008.
3. T. Haskel, G. O. Verran, and R. Barbieri, “Rotating and bending fatigue behavior of A356 aluminum alloy: Effects of strontium addition and T6 heat treatment,” *Int. J. Fatigue*, vol. 114, pp. 1–10, Sep. 2018, doi: 10.1016/J.IJFATIGUE.2018.04.012.
4. L. Ceschini, A. Morri, and A. Morri, “Effects of the delay between quenching and aging on hardness and tensile properties of A356 aluminum alloy,” *J. Mater. Eng. Perform.*, vol. 22, no. 1, pp. 200–205, 2013, doi: 10.1007/s11665-012-0208-1.
5. X. Hu, Y. Zhao, Q. Wang, X. Zhang, R. Li, and B. Zhang, “Effect of pouring and cooling temperatures on microstructures and mechanical properties of as-cast and T6 treated A356 alloy,” *China Foundry*, vol. 16, no. 6, pp. 380–385, Nov. 2019, doi: 10.1007/s41230-019-9068-8.
6. F. Yan, W. Yang, S. Ji, and Z. Fan, “Effect of solutionising and ageing on the microstructure and mechanical properties of a high strength die-cast Al-Mg-Zn-Si alloy,” *Mater. Chem. Phys.*, vol. 167, pp. 88–96, 2015, doi: 10.1016/j.matchemphys.2015.10.014.
7. H. Azimi, S. Nourouzi, and R. Jamaati, “Effects of Ti particles and T6 heat treatment on the microstructure and mechanical properties of A356 alloy fabricated by compocasting,” *Mater. Sci. Eng. A*, vol. 818, no. February, p. 141443, 2021, doi: 10.1016/j.msea.2021.141443.

ANALYSIS OF THE EFFECTS OF ARTIFICIAL AGING HEAT TREATMENT T6 ON A356 ALUMINUM ALLOY

ABSTRACT

Aluminum alloy is one of the most used metallic materials in the industry and the third most abundant element in nature. Among the existing classifications of aluminum alloys, the Aluminum/Silicon (Al-Si) alloy system was chosen, specifically the A356 Aluminum Alloy, due to its high fluidity. The objective of this work was to investigate the effects of solubilization heat treatment and artificial aging (T6) and its influence on the mechanical properties of A356 aluminum alloy. For the characterization of the results, metallography, hardness and tensile tests were used. The samples used have the same weight percentages of Al, Mg and Si, which were solubilized at 500°C and subjected to artificial aging (T6) with alternating times, being 0h, 06h, 12h, 18h, 24h and 30h, in the heat treatment process, with temperature in the range of 180°C ± 5°C. In this way, the microstructure of the A356 aluminum alloy was recorded before and after the aging heat treatment. Based on the results, it is possible to draw comparative graphs between the samples and understand how the heat treatment acts according to the variation of time.

Keywords: *A365 aluminum alloy, heat treatment, microstructure.*