

AVALIAÇÃO DA DUREZA DO ALUMÍNIO 6351 E 6005 SUBMETIDO A DIFERENTES TRATAMENTOS

Júlio Cezar Pedrosa da Silva, julio.silva@ifg.edu.br¹

Manoel Ivany de Queiroz Júnior, manoel.junior@ifg.edu.br¹

Palloma Vieira Mutterle, pmutterle@gmail.com²

1 Coordenação de Mecânica – Instituto Federal de educação, ciência e tecnologia de Goiás – IFG, Rua 75, Nº 46, Setor Central, 74055-110 – Goiânia – GO – Brasil.

2 Faculdade de Tecnologia – Departamento de Ciências Mecânicas – Universidade de Brasília – UNB, Campus Universitário Darcy Ribeiro, Asa Norte, 70910-900, Brasília – DF – Brasil.

Resumo: O presente estudo tem como objetivo realizar o tratamento térmico em ligas de alumínio 6005 e 6351 e verificar a comportamento das ligas aos diferentes tratamentos. A medida que os tratamentos térmicos são estudados, verifica-se que sua aplicação é mais comum em aços e ferros fundidos, a aplicação de tratamentos térmicos em outros metais é possível, principalmente no alumínio, que pode ser dividido entre tratável e não tratável termicamente. Porém, a resposta do alumínio aos tratamentos térmicos e aos diferentes resfriamentos não é muito estudado, e não se pode determinar ao certo qual a resposta do alumínio a esses diferentes processos. Realizou-se os tratamentos térmicos, onde as peças sofreram diferentes processos, sendo uma peça de cada tipo de alumínio apenas recozida, outra apenas solubilizada outra solubilizada e envelhecida, outra foi recozida e envelhecida e por fim uma recozida, solubilizada e envelhecida. Onde o resfriamento foi realizado a água, óleo e ar. Observou-se que a dureza nas peças recozidas, solubilizadas e envelhecidas apresentaram maior dureza que as demais, porém as peças recozidas e solubilizadas apresentaram durezas iguais as peças que foram apenas solubilizadas. Outro fator observado foi que o resfriamento a água apresentou um melhor resultado que os demais.

Palavras-chave: Ligas de Alumínio, Tratamentos térmicos, solubilização, envelhecimento, recozimento

1. INTRODUÇÃO

Segundo a ALBRAS (Alumínio Brasileiro S.A.) o alumínio é o elemento metálico mais abundante presente na crosta terrestre (cerca de 8,13%). Pela sua forte afinidade com o oxigênio, o alumínio não é encontrado na natureza em sua forma elementar, mas apenas no estado combinado como óxidos ou silicatos. A maior parte do alumínio produzido comercialmente é extraída da bauxita. Outra fonte de matéria prima, em menor escala, para a extração do alumínio, é a nefelina, que é um silicato natural do alumínio, sódio e potássio. Sob condições climáticas favoráveis, como nas regiões tropicais e subtropicais, o silicato é decomposto e o produto da decomposição (sílica, soda, brometo de cal, potassa, etc.) é lixiviado, restando um resíduo enriquecido em alumina, óxido de ferro, óxido de titânio e alguma sílica. Na composição da bauxita encontra-se uma concentração de 40 a 80% de alumina (Abal, 2014).

O Brasil é o terceiro maior detentor de reservas de bauxita do mundo, com aproximadamente 3,52 bilhões de toneladas, distribuídas entre os estados do Pará (90,8%), Minas Gerais (7,5%), São Paulo (0,7%), Maranhão (0,7%) e Santa Catarina (0,3%).

A grande aplicabilidade do alumínio deve-se as suas grandes características, como baixo ponto de fusão (se comparado com outros metais), leveza com peso específico de 2,7g/cm³, características mecânicas com limite de resistência de até 700MPa, resistência a corrosão, bom condutor térmico e principalmente a reciclagem, que permite a sua reutilização um menor preço.

O alumínio também pode ser tratado termicamente através de homogeneização, solubilização/envelhecimento, recozimento pleno, recozimento parcial, estabilização.

Outra característica muito importante do alumínio é o seu uso em diversos processos de fabricação, como por exemplo, laminação a quente, laminação a frio, extrusão, trefilação, estampagem, fundição, soldagem, usinagem e forjamento (Abal, 2014).

A Liga 6351 é geralmente indicada em aplicações estruturais, onde uma média a alta resistência mecânica é exigida. Disponível nas formas de vergalhão, tubo e perfis estruturais, a Liga 6351 oferece alta resistência mecânica,

alta resistência à corrosão, boa conformabilidade em têmperas O e T4, boa soldabilidade, porém não apresenta boa brasabilidade e boa extrudabilidade. É tratável termicamente e suscetível a anodização somente com fins de proteção^[2].

A liga 6005A é uma liga de média resistência, muito similar à liga 6061, exceto por conter altas quantidades de silício. Essa liga é usada em produtos que exigem moderada resistência, sendo recomendados para aplicações onde a estrutura pode ser submetida a impactos ou super carregamentos devido a sua ótima característica de resiliência (Alcoa, 2010).

O Recozimento é um tratamento realizado no caso do alumínio entre a temperatura de 300° e 450°C, ocorrendo quase instantaneamente uma recristalização. O seu resfriamento é realizado no forno com velocidade de 30°C por hora até a temperatura de 250°C, depois a peça é resfriada ao ar, obtendo assim maior ductibilidade. O principal objetivo desse tratamento é reduzir o encruamento causado por conformação ou outro tipo de trabalho e anular o efeito dos tratamentos anteriores (Oliveira, 2001).

A solubilização envolve o aquecimento de uma liga a determinada temperatura com o objetivo de dissolver os átomos de soluto para formar uma solução sólida monofásica (Callister, 2002). Em uma liga de alumínio 356, o tratamento de solubilização é realizado para dissolver Mg_2Si , homogeneizar a solução sólida e fragmentar e esferoidizar o eutético de silício (Kliauga, 2008)

Depois do tratamento de solubilização e tempera o endurecimento da peça é atingido a temperatura ambiente, depois de um certo tempo de resfriamento, que é chamado envelhecimento natural, ou após a peça passar por um processo de precipitação, conhecido como envelhecimento artificial. Em algumas ligas, uma precipitação suficiente ocorre em poucos dias a temperatura ambiente e produtos estáveis são produzidos para muitas aplicações adequadas. Estas ligas algumas vezes são tratadas para terem sua resistência e dureza aumentadas. Outras ligas com precipitação lenta a temperatura ambiente são sempre tratadas antes de serem usadas (Ronsani, 2010).

As condições de tratamento térmico devem ser controladas, recomenda um tratamento de solubilização com duração de 6 a 12 horas a uma temperatura de 540 °C, para peças vazadas em moldes permanentes, o arrefecimento não é especificado e o envelhecimento indicado consiste num aquecimento a uma temperatura de 155 °C durante 3 a 5 horas (Lima, 2012).

2. METODOLOGIA

2.1. Obtenção dos Corpos de prova

Foram adquiridos barras de alumínio comerciais no diâmetro de 1 (uma) polegada (25,4 mm) e com o auxílio de um paquímetro foram medidas em larguras de 2,5 m de comprimento, de duas ligas diferentes (6005 e 6351) que foram obtidos a partir de um processo de extrusão a quente. Essas duas barras foram cortadas com o auxílio de uma máquina cortadora metalográfica, com espessura de 2,5 mm as barras de alumínio, conforme a Figura 1.



Figura 1: Barras de alumínio usadas nos experimentos e seccionadas nas dimensões apropriadas.

2.2. Tratamentos térmicos

Para aliviar as tensões internas e “remover” as imperfeições causadas pelo trabalho a frio realizou-se um recozimento pleno antes de todos os tratamentos. Por exemplo, antes de realizar a solubilização na amostra um recozimento foi feito para aliviar as tensões superficiais da peça, da mesma forma antes do envelhecimento também foi realizado um recozimento. Após o corte as peças foram divididas para serem submetidas aos diferentes tratamentos, cujos selecionados foram: Recozimento, Solubilização e envelhecimento, apresentados de forma sucinta na tabela 1, abaixo.

Tabela 1: Tratamentos térmicos realizados

Tipos de tratamentos térmicos	Resfriamento	Tempo (min)	Temperaturas de Tratamento (°C)	
			6005	6351
Recozimento	Forno	120	407	407
Solubilização	Água	45	548	548
	Óleo			
	Ar			
Solubilizada e envelhecida	Água	180	155	155
	Óleo			
	Ar			

2.2.1. Recozimento

Uma amostra de cada liga foi submetida ao recozimento pleno. A amostra foi aquecida a uma temperatura de 407°C por um período de 2 horas. Todas as peças foram aquecidas em forno mufla FC com controlador de temperatura EDGCOM-3P

2.2.2. Solubilização

Para a realização da solubilização a peça foi aquecida a uma temperatura de 548°C, por um período de 45 min (com taxa de 30°C por minuto), logo após, foram distribuídas em três classes, uma amostra foi resfriada na água, outra foi resfriada ao óleo e a última ao ar em um tanque contendo os respectivos meios.

2.2.3. Envelhecimento artificial

Antes de realizar o envelhecimento artificial a peça sofreu o processo de solubilização, logo após, a peça foi aquecida por uma temperatura de 155°C, por um período de 3 horas, depois resfriada a temperatura ambiente. Neste caso, nota-se que há também três classes de peças, as que passaram por solubilização com envelhecimento a óleo, a água e ao ar, e em seguida sofreram envelhecimento artificial.

2.3. Lixamento, polimento e dureza

Logo após, com o auxílio de uma lixadeira politriz motorizada, realizou-se o lixamento das peças a serem utilizadas e analisadas. Cada peça foi lixada com as lixas 320, 600 e 1000 mesh, respectivamente.

Em seguida, com o auxílio de um durômetro, mediu-se a dureza das ligas ensaiadas. Inicialmente mediu-se da peça natural, do modo que foi comprada, em seguida da peça que sofreu um recozimento, outra apenas solubilizada e em seguida da peça recozida e solubilizada (com os três tipos de resfriamentos), depois a peça recozida, solubilizada e envelhecida artificialmente, e por último a peça recozida, solubilizada e envelhecida naturalmente.

A medida da dureza de cada peça foi realizada em Rockwell H, onde se utiliza uma esfera de 1/8 de polegadas e a carga de 60 Kgf para a medição da dureza.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados foram divididos em duas partes, os resultados obtidos na medição da dureza das amostras.

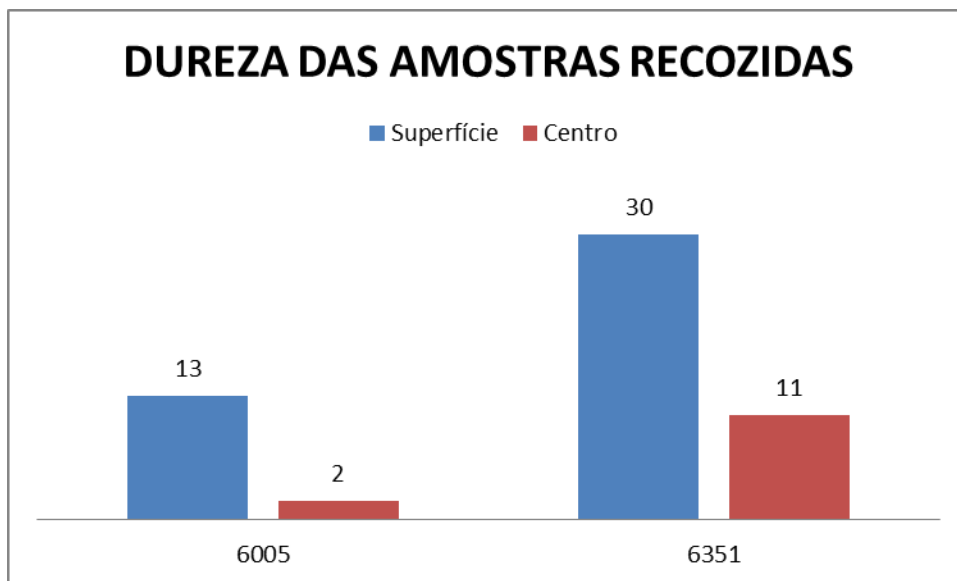
O resultado final da dureza foi calculado com base na média das três medidas obtidas de cada amostra. Para isso, inicia-se falando do resultado obtido em cada uma das peças, dividindo em produto In Natura, apenas Recozido, apenas solubilizado, solubilizado e envelhecido e o último recozido, solubilizado e envelhecido. Além disso, o processo de envelhecimento é resfriado por três métodos ar, água e óleo.

Os alumínio utilizados neste trabalho foram os alumínio 6005 e 6351.

Sabe-se que os materiais passaram por processos diversos de fabricação e que isso iria interferir diretamente nos resultados. Para evitar esse possível transtorno decidiu-se realizar um recozimento inicial nas amostras e verificar a resposta de cada uma a esse recozimento.

O intuito desse tratamento inicial seria de reduzir qualquer consequência ou distorção micro-estrutural causada a peça pelo processo de fabricação utilizado, reduzindo o encruamento, por exemplo, obtendo assim, três tipos diferentes de alumínio, onde, não se tendo com detalhes o tipo de fabricação utilizado, que podem ser comparados entre si, visto que passaram pelo mesmo processo de alívio que foi o recozimento.

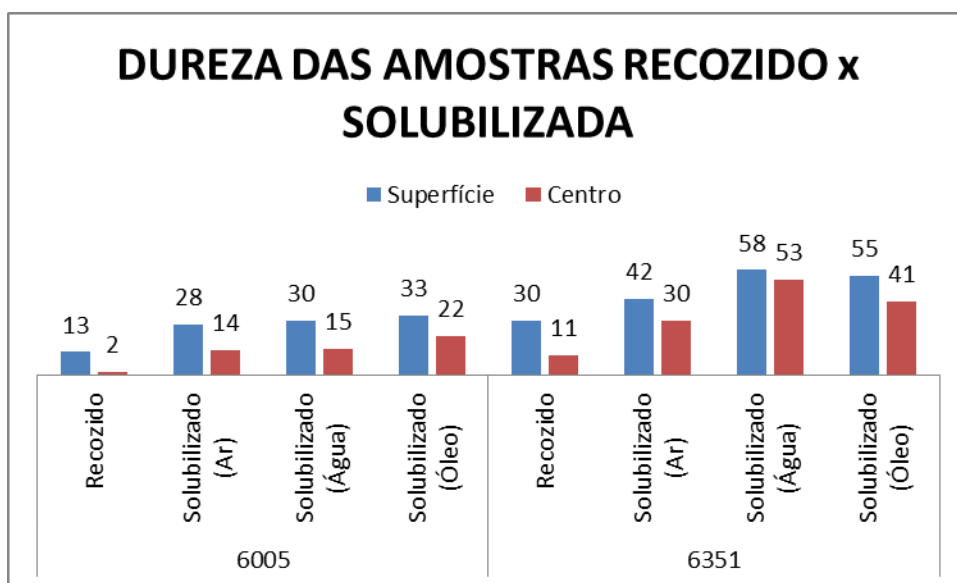
Após a realização desse tratamento a dureza foi medida com apresentado no gráfico 1:

Gráfico 1: Gráfico - Dureza (Rockwell H) das peças de alumínio Recozido

Geralmente a solubilização tem a característica de aumento de dureza, tendo em vista que a aplicação desse processo tem como objetivo a dissolução dos elementos de liga de cada material e é seguido de um resfriamento rápido para manter os elementos de liga dissolvidos.

A têmpera é realizada por um resfriamento rápido, outra análise é a consequência de diferentes resfriamentos nesse processo. O intuito era avaliar qual a consequência que a velocidade de resfriamento tem sobre o tratamento realizado.

Neste caso, o resultado da dureza de cada material e de cada tipo de resfriamento está apresentado no gráfico 2.

Gráfico 2: Gráfico - Dureza (Rockwell H) das peças de alumínio apenas Recozidas x Solubilizadas

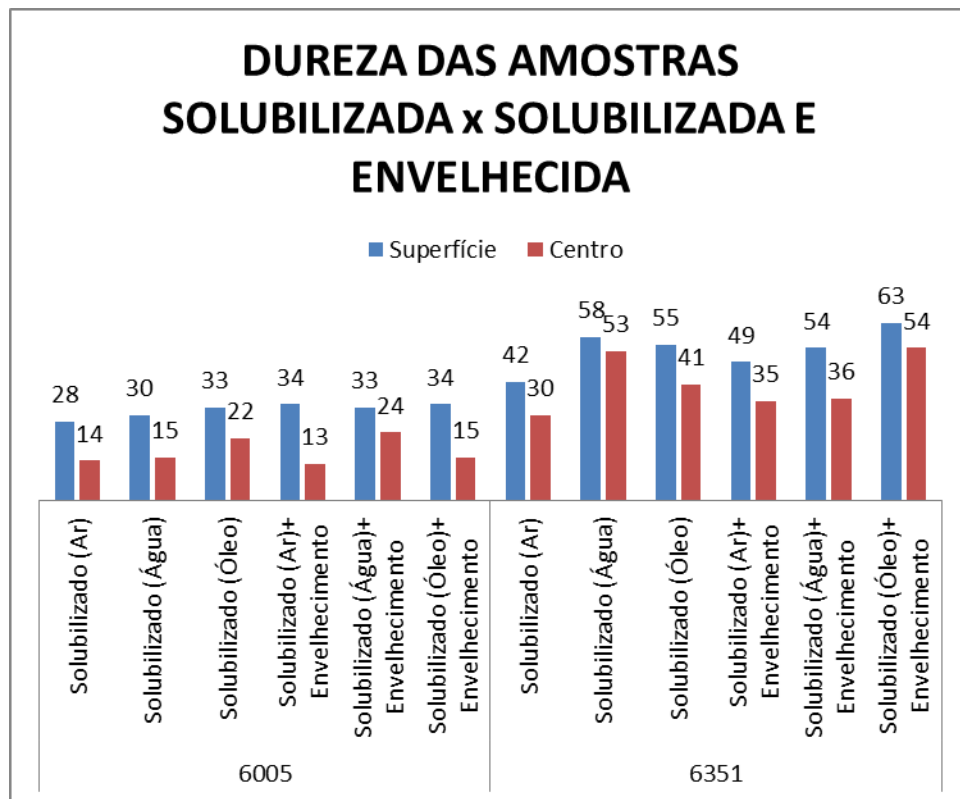
Em todos os casos no gráfico 2, pode ser observado o aumento da dureza das peças. Como era de se esperar as peças solubilizadas apresentaram uma maior dureza mecânica se comparada com as que foram recozidas. Isso é um fator natural e esperado. O interessante em observar foi o quanto foi esse aumento. Nesse caso a dureza passou de 13 Rockwell H para 33 Rockwell H no caso do alumínio 6005 e passou de 30 Rockwell H para 55 no caso do alumínio 6351. A escala Rockwell não é uma escala universal por isso não se pode comparar as duas dizendo que dobrou, apenas que houve um significativo aumento se comparado com as peças recozidas.

Outra comparação a ser realizada são as amostras solubilizadas e outras solubilizadas e envelhecidas, comparando os dois tratamentos podemos verificar suas durezas como apresentado no gráfico 3 a seguir:

Analisando o gráfico 3 e compararmos os valores da dureza das peças solubilizadas com as peças solubilizadas e envelhecidas é possível verificar um pequeno aumento da dureza, pouco significativo. O envelhecimento é um processo natural nos materiais metálicos. Após alguns dias ele acontece de forma natural e progressiva. Nesse caso, foi realizado um envelhecimento artificial na peça, esperava-se um aumento pouco significativo ou nenhum. A única surpresa a ser

destacada foi no alumínio 6351 solubilizado e envelhecido com o resfriamento a água que teve um pequeno decréscimo no valor da dureza. Durante o processo de envelhecimento a peça sofreu algum tipo de tratamento complementar não programado que gerou essa alteração.

Gráfico 3: Gráfico - Dureza (Rockwell H) das peças de alumínio apenas Solubilizada x Solubilizadas e envelhecida



A partir dos dados apresentados nos gráficos é possível verificar que a solubilização funciona aumentando a dureza nos materiais não ferrosos, assim como a têmpera nos aços (não podemos dar esse nome no caso do alumínio pois não há formação de martensitas), as peças solubilizadas e envelhecidas artificialmente também foram observadas e constata-se um pequeno aumento também na dureza se comparado aos apenas solubilizados.

4. CONCLUSÃO

Analisou a dureza de cada uma das peças onde a dureza foi reduzida em todos os tratamentos, pois as peças in natura estavam encruadas como resultado da fabricação. Outro fator notado é que o resfriamento a água apresentou um resultado de dureza melhor que os demais, de uma forma geral, a dureza no resfriamento a água foi aumentada em maior proporção se comparada aos demais tipos de resfriamento.

Um fator também interessante a se notar é o fato de que as peças submetidas apenas a solubilização e as peças que foram recozidas e depois solubilizadas apresentaram durezas muito semelhantes.

5. REFERÊNCIAS

- ABAL; Fundamentos e aplicações do alumínio, maio-2007, disponível em: <ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/EngMec_NOTURNO/TM343/09_1fundamentos-Alum%EDnio.pdf>, acesso em: 05/02/2014.
- ALCOA, Perfis extrudados de alumínio – Ligas e temperas de extrusão, catálogo, São Paulo – SP, 2010.
- CALLISTER, William D. Jr. Ciência e Engenharia de Materiais: uma introdução. Rio de Janeiro: LTC, 2002.
- KLIAUGA, A.M.; VIEIRA, E.A.; FERRANTE, M.; The influence of impurity level and tin addition on the ageing heat treatment of the 356 class alloy. Materials Science and Engineering, 2008. V.480, p.5-16.
- LIMA, N.A.G.; Tratamento térmico de envelhecimento da liga de fundição AlSi10Mg(Fe), Porto – PT, 2012. Dissertação (Mestrado em engenharia metalúrgica e de materiais), Universidade do Porto – PT.
- OLIVEIRA, R.A.; O forjamento de ligas de alumínio – Um estudo para a liga ABNT 6061, Porto Alegre – RS, 2001. Dissertação (Mestrado em engenharia metalúrgica), UFRS-RS.

RONSANI, G.S.; tratamento de envelhecimento artificial das ligas 356 e a356: efeitos da composição química, do tempo e da temperatura nas propriedades mecânicas, Joinville – SC, 2010. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais), UESC – SC.

6. RESPONSABILIDADE AUTORAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

ANALYSIS OF THE HARDNESS OF ALUMINUM 6351 AND 6005 SUBMITTED TO DIFFERENT TREATMENTS

Júlio Cezar Pedrosa da Silva, julio.silva@ifg.edu.br¹
Manoel Ivany de Queiroz Júnior, manoel.junior@ifg.edu.br¹
Palloma Vieira Mutterle, pmutterle@gmail.com²

¹ Coordenação de Mecânica – Instituto Federal de educação, ciência e tecnologia de Goiás – IFG, Rua 75, Nº 46, Setor Central, 74055-110 – Goiânia – GO – Brasil.

² Faculdade de Tecnologia – Departamento de Ciências Mecânicas – Universidade de Brasília – UNB, Campus Universitário Darcy Ribeiro, Asa Norte, 70910-900, Brasília – DF – Brasil.

Abstract. *The object of study of this work is to perform the heat treatment in aluminum alloys 6005 and 6351 to verify the behavior of the alloys of the different treatments. As thermal treatments are studied, it is verified that their application is more common in steels and cast iron, the application of heat treatments in other metals is possible, especially in aluminum, that can be divided between treatable and non-thermally treatable. However, the response of aluminum to heat treatments and to different cooling is not much studied, and it is not possible to determine for sure what the aluminum response to these different processes is. The heat treatments were carried out, where the pieces underwent different processes, one piece of each type of aluminum being only annealed, another only solubilized one solubilized and aged, another annealed and aged and finally a solubilized and aged annealing. Where the cooling was carried out the water, oil and air. It was observed that the hardness in the annealed, solubilized and aged pieces presented a higher hardness than the others, but the annealed and solubilized pieces had the same hardness as the pieces that were only solubilized. Another factor observed was that water cooling had a better result than the others.*

Keywords: Aluminum alloys, Heat treatments, solubilization, aging, annealing