

CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA E MICROESTRUTURAL DA LIGA AI 6063 APÓS TRATAMENTOS TERMOMECÂNICOS

I. M. Espósito¹; S.J. Buso²; W.A. Monteiro³

¹Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – Travessa R, 400. 05508-900 – São Paulo – Brasil - e-mail: iaraesposito@hotmail.com

²Centro Universitário Sant'Anna

³Universidade Presbiteriana Mackenzie

RESUMO

Esta liga apresenta diversas características que justificam seu uso freqüente ao compararmos com as demais ligas de alumínio como, por exemplo, sua capacidade de endurecimento por precipitação aliada à facilidade de ser extrudada. A liga de alumínio 6063 apresenta elevada ductilidade, o que permite sua utilização em operações que acarretam elevados graus de deformação, como a extrusão. Este trabalho tem como principal objetivo, a caracterização da liga de alumínio comercial 6063, com o estudo da laminação em diversos graus de redução em área (20%, 50%, 70% e 90%), por meio de tratamentos termomecânicos, análise do tamanho de grãos e sua microdureza (Vickers), analisando sua microestrutura e a recristalização da liga de alumínio comercial 6063.

Palavras-Chave: liga de alumínio 6063, propriedades mecânicas, microestrutura.

INTRODUÇÃO

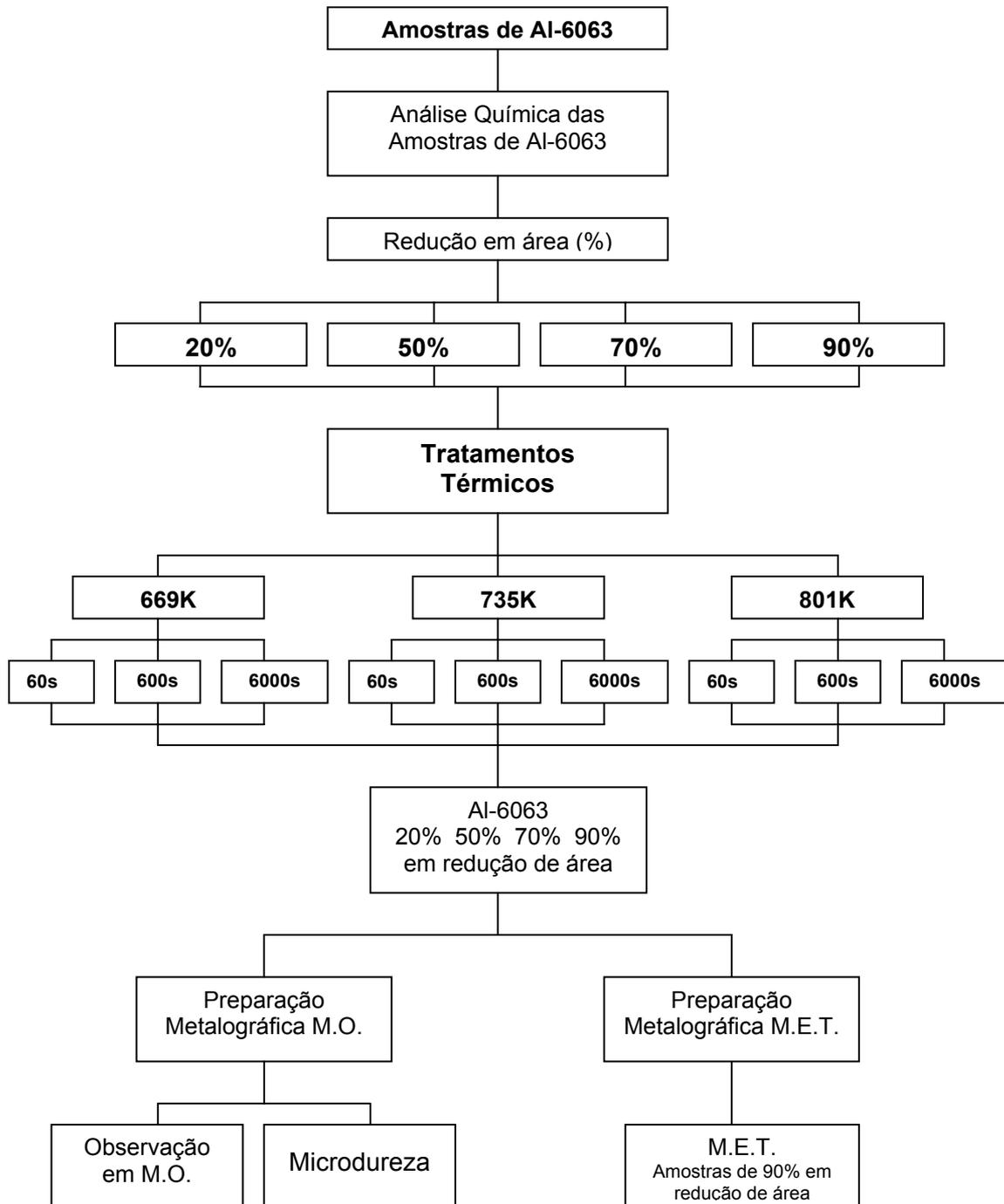
A liga de alumínio 6063 possui um grande interesse industrial, apresentando características que justificam o seu uso mais freqüente quando comparadas às demais ligas de alumínio: a capacidade de endurecimento por precipitação (pois são termicamente tratáveis) aliada à facilidade de serem extrudadas. Estas ligas apresentam elevada ductilidade, que permite o seu uso em operações que acarretam elevados graus de deformação, como a extrusão. Por esse motivo, as ligas Al-Mg-Si apresentam a maior parte do volume de ligas extrudadas^(1,2)

As ligas de alumínio da série 6xxx são utilizadas em uma ampla variedade de aplicações, desde o uso em perfis de arquitetura, como é o caso das ligas mais

diluídas e conseqüentemente de menor resistência mecânica, como as ligas 6063 e 6060, até as chamadas ligas de aplicação estrutural com maiores teores de elementos de liga e maior dureza, com grande potencial de aplicação na industria automotiva, entre outras.⁽³⁾

MATERIAIS E MÉTODOS

Figura 1. Fluxograma



Análise Química das amostras da liga de alumínio 6063

As amostras da liga de alumínio 6063 (ALCOA), utilizadas nestes experimentos, apresenta-se inicialmente em uma barra com diâmetro de $6,38 \cdot 10^{-3} \text{m}$ e $1,510^{-2} \text{m}$ em seu comprimento. Para caracterização química foram realizadas análises por Espectrometria de Fluorescência de raios-X (WDXRF)

Deformação das amostras por laminação a frio

Foram retiradas amostras da liga de alumínio comercial 6063, para laminação utilizou-se um laminador simples do tipo ourives com cilindros de $6,4 \cdot 10^{-3} \text{m}$ de diâmetro, disponível no Laboratório de Metalurgia do Pó do CCTM – IPEN/SP. A laminação das amostras ocorreu à temperatura ambiente utilizando-se incrementos de deformação constantes (10^{-4} em cada passe), até alcançar as áreas desejadas.

Tratamentos Térmicos

Foram realizados tratamentos térmicos nas amostras de alumínio 6063 que passaram por processo de laminação a frio conforme descrito acima. O tratamento térmico foi realizado em um forno tipo mufla. As amostras laminadas foram cortadas em chapas com cerca de $9 \cdot 10^{-2} \text{m}$ em seu comprimento. As amostras foram inseridas no forno tipo mufla, indicado acima, ao atingir a temperatura desejada, ou seja, temperaturas que obedeciam a seguinte característica: $0,6T_f$ (669K); $0,7T_f$ (735K); $0,8T_f$ (801K)⁽⁴⁾, com tempos de 60s, 600s, e 6.000s, para cada uma das reduções em área (20%, 50%, 70% e 90%), resfriadas com água e gelo, conforme descrição na Tabela 1.

Tabela 1 - Condições do Tratamento Térmico

Temperatura de fusão (T_f) da Liga Al-6063	933 K
Temperaturas: $0,6 T_f$; $0,7 T_f$; $0,8 T_f$	669K; 735K; 801K
Tempos de tratamento	60s – 600s – 6000s
Forno utilizado	Tipo mufla
Resfriamento das amostras	Água + gelo

Preparação de Amostras para Microscopia Óptica

Ao término dos tratamentos térmicos, as amostras foram novamente cortadas na ISOMET 2000 – fabricada por Buehler, para preparação metalográfica M.O.

Os embutimentos das amostras foram realizados em resina fria - Epofix Resin, fabricada por Struers. A preparação metalográfica das amostras laminadas e

tratadas termicamente passou pela seqüência usual, que consiste no desbaste por lixamento (granulometria de 600, 800, 2500) em seguida, polimento com abrasivos, pó de diamante em suspensão, na seqüência de 6 μ m, 3 μ m, 1 μ m. Para a observação dos grãos, as amostras da liga de alumínio 6063 foram atacadas quimicamente, utilizando uma solução de ácido fluorídrico (40% HF), com tempo médio de ataque de 60s.

Medida de Tamanho Médio de Grão

Para o trabalho de documentação metalográfica das medidas dos tamanhos dos grãos das amostras da liga de alumínio 6063, devidamente tratadas, preparada metalograficamente e registrada através da câmera digital acoplada ao Microscópio Óptico, foi utilizado o software Photoshop, versão 5.5, para o método de interseção linear. Em cada uma das imagens obtidas por M.O., foram realizadas medições em, praticamente, todos os grãos pertencentes à referida amostra, obtendo-se, portanto, o tamanho médio de grãos para cada uma das amostras da liga de alumínio 6063.

Microdureza da liga de alumínio 6063 após tratamentos termomecânicos

Os ensaios de Microdureza Vickers foram realizados no microdurômetro - Micromet da Buehler - instalado no Departamento de Engenharia Mecânica da EPUSP, com carga de 0,1kg, as amostras utilizadas da liga comercial de alumínio 6063, foram laminadas, tratadas e metalograficamente preparadas, como descrito anteriormente. As impressões foram feitas suficientemente espaçadas, de modo a não interferirem mutuamente. Foram realizadas, pelo menos, 10 impressões em cada amostra, medindo-se as duas diagonais.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Análise Química

Na Tabela 2, dados da composição química da amostra da liga Al-6063, em estudo, realizado pelo CQMA/IPEN

Tabela 2 – Composição química da liga de alumínio 6063

Elemento Químico	Si	Mg	Fe	Mn	Cu	Ni	Zn	Cr	Ti
%	0,47	0,54	0,17	0,05	0,02	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01

Os elementos de liga em maior concentração, nesta liga, ou seja, Silício (Si) e Magnésio (Mg) são os responsáveis pelo aumento da resistência da liga sem o decréscimo significativo da ductilidade, provoca a precipitação de Mg_2Si , que é uma fase endurecedora ⁽⁵⁾. Quanto ao Ferro (Fe), é a impureza mais significativa e comum, apresenta-se na forma de compostos intermetálicos grosseiros, em combinação com o Al e outros elementos. Observam-se valores pouco significativos para as outras impurezas encontradas na referida liga.

Dados Experimentais sobre a redução em área – Laminação a frio

O processamento mecânico a frio realizado (redução em área) nos tarugos da amostra da liga de alumínio 6063 está apresentado na Tabela 3.

Tabela 3 - Processamento Mecânico – Laminação a frio

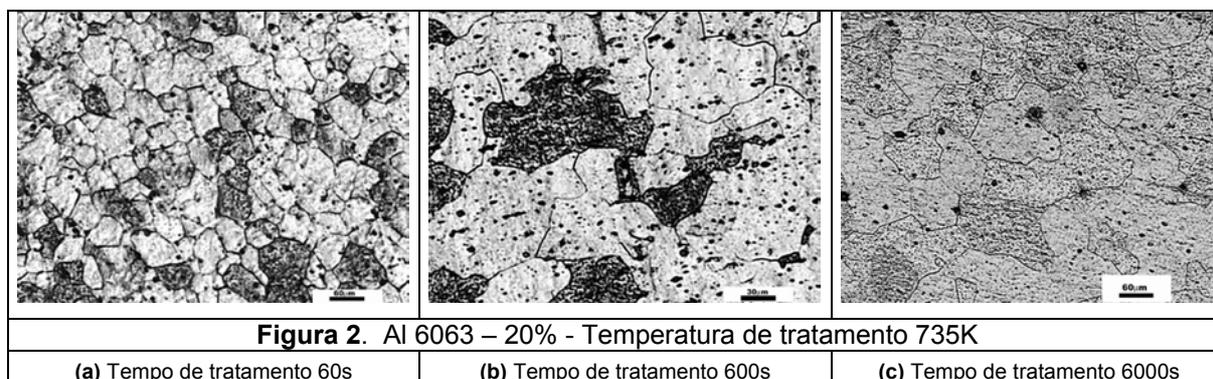
Redução em área	20%	50%	70%	90%
Área Inicial ($\times 10^{-5}m^2$)	3,19	3,23	3,20	3,12
Área Final ($\times 10^{-5}m^2$)	2,54 \pm 0,2	1,61 \pm 0,5	0,97 \pm 0,07	0,32 \pm 0,02

Microscopia Óptica

As micrografias obtidas por meio da Microscopia Óptica mostram os estudos realizados nas amostras da liga de alumínio comercial 6063, com redução em área de 20%, 50%, 70% e de 90%, e temperaturas de tratamento de 669K, 735K e 801K, tempos de tratamento estabelecidos em 60s, 600s e 6000s, realizado o ataque químico, com uma solução de ácido fluorídrico (40% HF), com tempo médio de ataque de 60s, conforme descrito anteriormente.

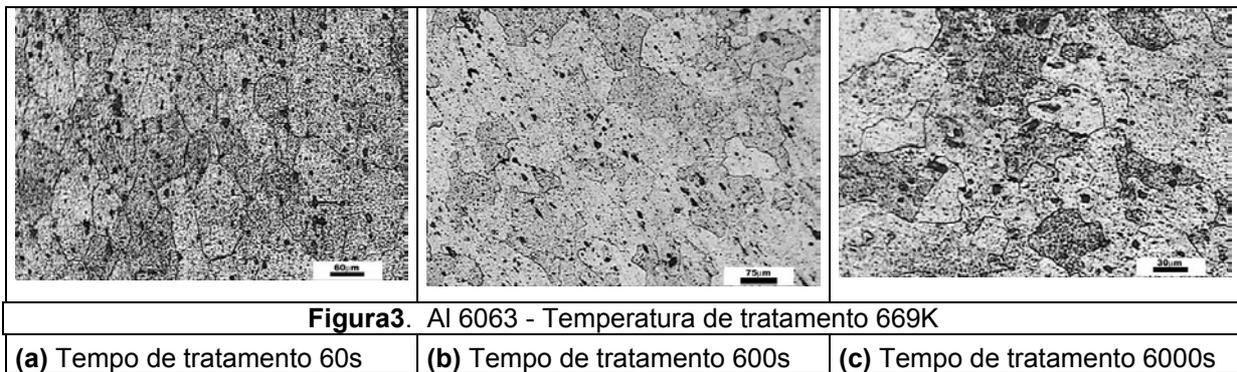
Imagens obtidas por meio da Microscopia Óptica

Al-6063 – 20% de Redução em área



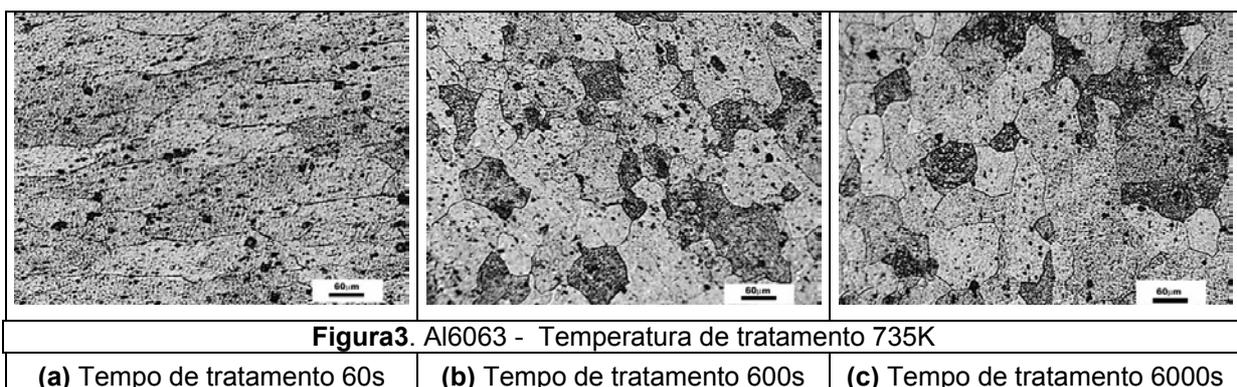
A amostra laminada em 20% com redução de sua área inicial têm grãos não são muito alongados e nas figuras observam-se a formação/distribuição destes grãos na área da amostra. Com os tempos de tratamento de 60s dentro das temperaturas indicadas, os grãos estão bem distribuídos ao longo da amostra. Em tratamentos de 600s, o processo de recristalização está em andamento e os grãos tornam-se equiaxiais em sua maioria. E nos tratamentos de 6000s, observa-se que o tamanho médio dos grãos iniciou o processo de crescimento de grão.

Al-6063 – 50% de Redução em área



A amostra laminada em 50% com redução de sua área inicial têm grãos alongados, característico de amostras laminadas e nas figuras observam-se a formação/distribuição destes grãos na área da amostra. Com os tempos de tratamento de 60s dentro das temperaturas indicadas, temos os grãos ainda alongados. Nos tratamentos de 600s, com o processo de recristalização em andamento observa-se que e os grãos tornam-se equiaxiais em sua maioria. E nos tratamentos de 6000s, observa-se que o processo de crescimento se inicia.

Al-6063 – 70% de Redução em área



Na amostra laminada em 70% com redução de sua área inicial observamos grãos bastante alongados, característicos de amostras laminadas (chamados de lamelares) e nas figuras a formação/distribuição destes grãos na área da amostra. Com os tempos de tratamento de 60s dentro das temperaturas indicadas, temos os grãos muito alongados. Nos tratamentos de 600s, com o processo de recristalização favorecido pelo tempo de tratamento, observa-se que e os grãos tornam-se equiaxiais em sua maioria. E nos tratamentos de 6000s, observamos o processo de crescimento de grãos iniciado.

Al-6063 – 90% de Redução em área

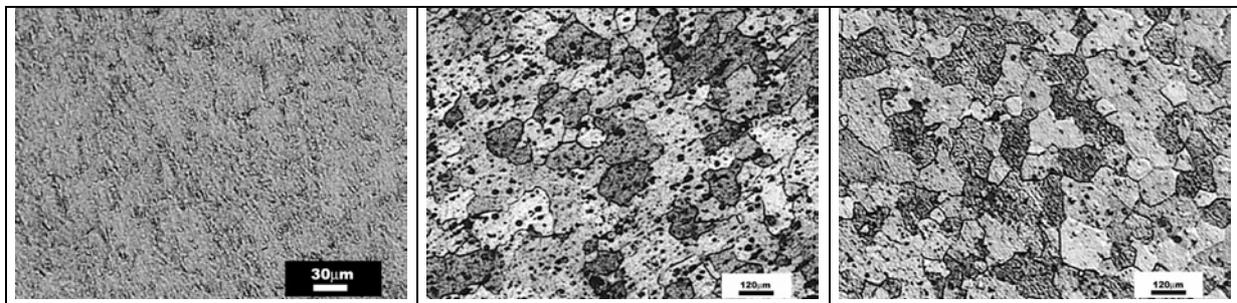


Figura 4.- Al6063 - 90% redução em área - Temperatura de tratamento 801K

(a) Tempo de tratamento 60s

(b) Tempo de tratamento 600s

(c) Tempo de tratamento 6000s

Na amostra laminada em 90% com redução de sua área inicial observamos grãos muito alongados (lamelares), impossibilitando inferir o seu tamanho característico de amostras laminadas e nas figuras a formação/distribuição destes grãos na área da amostra. Com os tempos de tratamento de 60s dentro das temperaturas indicadas, temos os grãos extremamente alongados. Nos tratamentos de 600s, com o andamento do processo de recristalização favorecido em relação ao processo de recuperação, observa-se que e os grãos tornam-se equiaxiais em sua maioria. E nos tratamentos de 6000s, a microdureza revela-se mais acentuada, indicando o processo de crescimento de grãos.

Microdureza Vickers

Nas figuras 13 a 16 são apresentados os gráficos da microdureza Vickers da liga de alumínio 6063, com as diferentes temperaturas de tratamento térmico em diferentes temperaturas e graus de deformação (20%, 50%, 70% e 90% de redução em área).

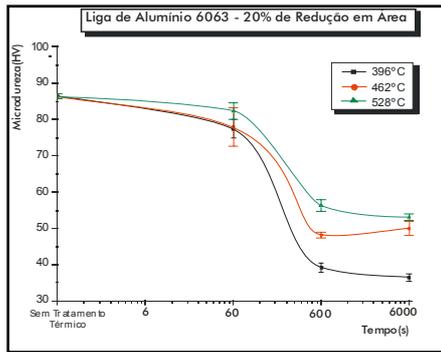


Figura 13. Microdureza Vickers para amostra da liga de alumínio 6063 com 20% de redução em área.

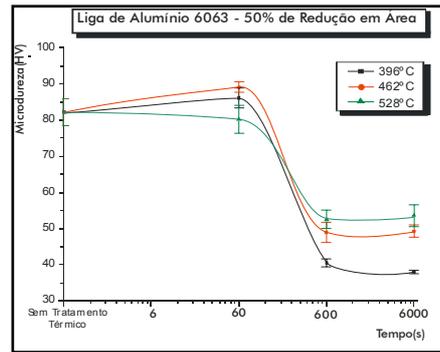


Figura 14. Microdureza Vickers para amostra da liga de alumínio 6063 com 50% de redução em área.

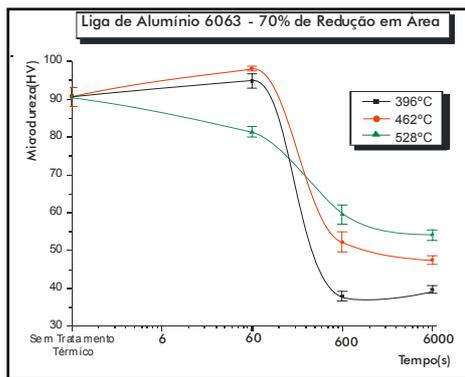


Figura 15. Microdureza Vickers para amostra da liga de alumínio 6063 com 70% de redução em área.

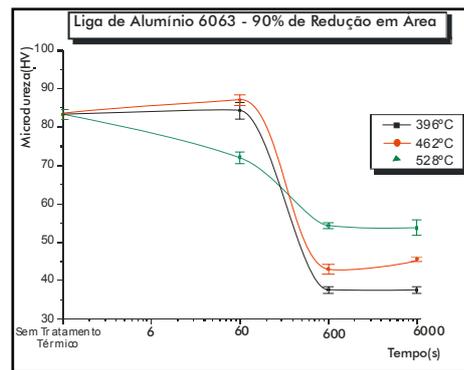


Figura 16. Microdureza Vickers para amostra da liga de alumínio 6063 com 90% de redução em área.

Tamanho Médio de Grãos

A Tabela 4 apresenta o tamanho médio dos grãos da liga de alumínio 6063, com as diferentes temperaturas de tratamento térmico e graus de deformação.

Tabela4 – Tamanho médio de grãos da amostra de alumínio 6063

20% de redução em área			
Tempo	396°C	462°C	528°C
1 min	118,8±5,0µm	58,2±5,0µm	37,3±4,0µm
10 min	121,5±12,5µm	84,0±5,3µm	63,2±4,0µm
100min	84,2±5,5µm	56,8±6,8µm	59,3±4,0µm
50% de redução em área			
Tempo	396°C	462°C	528°C
1 min	103,8±5,6µm	77,1±4,8µm	126,4±6,0µm
10 min	77,2±7,2µm	77,7±4,8µm	105,3±5,0µm
100min	87,0±4,0µm	99,0±5,0µm	70,5±4,0µm
70% de redução em área			
Tempo	396°C	462°C	528°C
1 min	133,5±7,0µm	160,4±10,3µm	129,0±6,8µm
10 min	130,5±10,0µm	92,7±5,4µm	71,7±4,5µm
100min	72,0±5,8µm	87,6±4,5µm	66,0±3,0µm
90% de redução em área			
Tempo	396°C	462°C	528°C
1 min	----	---	---
10 min	102,0±5,6µm	286,9±14,3µm	80,8±8,0µm
100min	137,5±12,0µm	153,6±7,0µm	151,8±7,4µm

CONCLUSÕES

Baseado nas técnicas experimentais empregadas neste trabalho juntamente com a literatura disponível, pode-se inferir que as ligas de alumínio 6063 com diferentes graus de deformação plástica (laminação), após convenientes tratamentos térmicos em tempos pré-estabelecidos apresentam uma seqüência de fenômenos semelhantes: Inicialmente o material após processos de deformação, apresenta grãos alongados, dependentes da deformação empregada.

As ligas de Al 6063, após processos de laminação e tratamento térmicos tempos de 1 minuto, apresentam os grãos alongados para o alto grau de deformação (50% e 70%), e menos alongados para a deformação de 20%, o que se justifica pela deformação do material inicialmente empregada seguida de tempos muito curtos de tratamento térmico, embora se acredite que já existam sítios de nucleação para as deformações de 90% formados nos contornos de grãos alongados (iniciais).

Em tratamentos térmicos após 10 minutos, os sítios de nucleação e transformam-se em grãos, inicialmente pequenos e que, favorecidos pelo processo de recuperação e recristalização, tem o seu tamanho de grão aumentado com o transcorrer do tempo, embora tenha simultaneamente participação de processos de precipitação que impedirá parcialmente o crescimento de tais grãos.

Em tratamentos com 100 minutos, o processo de recuperação foi finalizado completamente, ocorrendo neste caso processos de recristalização e precipitação nas amostras. Os grãos tornam-se menores pelo surgimento do precipitado Mg_2Si . Nas temperaturas mais elevadas temos ocorrência de processo de crescimento de grãos em função da dissolução de precipitados.

REFERÊNCIAS:

- (1) ARZAMASOV, B.N. et al., **Material Science**, cap12. Mir Publish Moscow, Moscou, 1989.
- (2) HALES, S.J., MCNELLEY, T.R., CROOKS, R., **Continuous Recrystallization During Thermomechanical Processing of a Superplastic Al-10Mg-0.1Zr alloy. Recrystallization'90 proceedings**, australia, 11-16 Jan 1990.
- (3) SISTIAGA, J.M., **Aleaciones de Alumínio y de Magnesio**, cap II e III, Ed. Montecorvo, Madrid, 1963.
- (4) CALLISTER, W.D., **Ciência e Engenharia de materiais, uma introdução** – LTC 2000
- (5) HATCH, J.E. – **Aluminium: Properties and Physical Metallurgy**, ASM, Metals Park, Ohio, 1984.

HARDNESS ANALYSIS IN AN 6063 ALLOY AFTER COLD WORK AND THERMAL TREATMENTS

ABSTRACT

The aluminum 6063 alloy possesses a great industrial interest, presenting characteristics that justify their frequent use, when compared to the other aluminum alloys: the precipitation hardening and high cold work capacity. These alloys present high ductility, that allows their use in operations with high deformation degrees, as the cold work. ^(1,2)

The aluminum alloys of the 6xxx series are used in a wide variety of applications, from the use in architecture profiles, as it is the case of the alloys more diluted and consequently of smaller mechanical resistance, as to 6063 and 6060, until the named alloys of structural application with larger tenors of alloying elements and higher hardness, with great application potential in the automotive industry, among other. ⁽³⁾

The objective of this work is to show comparative analysis of the hardness Vickers of the commercial aluminum 6063 alloy, after cold work (with different area reduction degree) and thermal treatment.

Keywords: optical microscopy, aluminum alloys, thermal treatments