

INFLUÊNCIA DA MICROESTRUTURA NAS PROPRIEDADES ELÉTRICAS DE LIGAS Al-Mg-Th E Al-Mg-Nb

A. de Almeida Filho⁽¹⁾, S. J. Buso^(1,2), W. A. Monteiro⁽²⁾
Rua Voluntários da Pátria, 257 – São Paulo – SP – CEP 02011-000
aalmeidaf@yahoo.com.br

(1) Centro Universitário Sant'Anna

(2) Instituto de Pesquisas energéticas e Nucleares - IPEN

RESUMO

A crescente necessidade de materiais leves com elevada resistência mecânica, aplicados na indústria automobilística, naval e aeroespacial, propiciou o desenvolvimento de novas ligas metálicas, principalmente de alumínio. Dentre estes materiais, podem ser destacadas as ligas Al-Mg-X, onde X é um elemento de liga, que apresentam melhoras significativas nas propriedades gerais das ligas de alumínio. Este trabalho tem por objetivo a caracterização de propriedades elétricas de ligas Al-2Mg-1Th e Al-2Mg-1Nb por metalurgia do pó, submetidas a tratamentos termomecânicos, relacionando-as às respectivas estruturas. Foram acompanhadas as mudanças estruturais causadas por diferentes tratamentos térmicos, após redução de 89% em área por laminação a frio, avaliando-se suas resistividades elétricas. O comportamento das ligas quanto aos tratamentos térmicos apresentou alguns desvios em relação ao esperado. Os tratamentos térmicos tiveram uma influência muito significativa nas propriedades das ligas, com destaque para a resistividade elétrica, que na liga Al-Mg-Th se apresentou menor que para o alumínio puro.

Palavras-chave: ligas de alumínio, microestrutura, resistividade elétrica

INTRODUÇÃO

Os principais critérios para seleção de materiais leves para aplicações estruturais são: resistência mecânica específica (relação resistência-peso) e a rigidez específica, que difere em muito entre os vários materiais de liga leve [1]. Dentre esses materiais, as ligas de alumínio têm destaque especial, devido não somente à leveza do material, mas também a certas propriedades mecânicas e a reciclabilidade deste [1,2]. As ligas Al-Mg enquadram-se na classe das ligas “não tratadas termicamente”, i.e., que não alteram suas propriedades físicas, por

tratamento térmico. Contudo, em algumas concentrações de magnésio (acima de 7%) aumentam discretamente sua resistência mecânica, por tratamento térmico [1, 3-5]. Tais ligas apresentam boas propriedades mecânicas, com destaque a situações de esforços mecânicos moderados (400 a 700 MPa) e boa resistência à corrosão [1]. A adição de magnésio, nas ligas Al-Mg, faz com que o metal fique suscetível à oxidação durante os processos de fusão, moldagem e solidificação, podendo resultar na formação de filmes de óxidos na estrutura da liga. Ligas produzidas por metalurgia do pó são, em geral, geradas pela compactação (pressão de compactação da ordem de 400 MPa para ligas de alumínio) de partículas a altas taxas de solidificação e, em particular no caso das ligas Al-Mg, a temperaturas na faixa de 400 a 450 °C. O produto gerado tem como características principais: homogeneidade na microestrutura e na composição química além de pequeno tamanho de grão. Neste tipo de processo é possível, ainda, elevar as quantidades de elementos, que têm baixa solubilidade, em torno de cinco vezes a sua solubilidade máxima em líquido. Diversas propriedades dos materiais são fortemente dependentes da microestrutura, tais como: limite de escoamento; limite de resistência; alongamento; tenacidade; temperatura de transição dúctil - frágil; resistência ao impacto; resistência ao desgaste; deformações plásticas introduzidas durante os processos de conformação mecânica promovem tanto alterações dimensionais, como modificações nas propriedades mecânicas do material. Essas propriedades também são influenciadas pela temperatura, pela taxa de deformação no processamento e como o material é deformado [6].

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Na preparação da liga, partiu-se dos seguintes materiais na forma particulada: alumínio, magnésio, titânio, nióbio e liga alumínio-tório, cujas respectivas granulometrias médias encontram-se na Tab. 1.

Tab 1 – Granulometria média do material utilizado

Elemento	Tamanho médio de partícula (µm)
Al	25 ± 3
Mg	55 ± 11
Ti	50 ± 10
Nb	35 ± 8
Al-Th	50 ± 12

As ligas foram preparadas por meio da mistura dos elementos em moinho de alta energia, compactação uniaxial a vácuo e extrusão a quente (450 °C). No processo de compactação utilizou-se uma pressão de 400 MPa, enquanto para a extrusão a pressão utilizada foi 60 MPa.

Amostras das ligas em estudo passaram por processo de laminação a frio, com redução em área de 79%. Em seguida, o material foi submetido a tratamentos térmicos, que consistiram em manter o material no forno a partir da temperatura ambiente, retirando amostras nas temperaturas de 100 °C, 200 °C, 300 °C, 400 °C e 500 °C.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Análises feitas por microscopia eletrônica de transmissão

As Fig 1 e 2 mostram a evolução da estrutura das amostras da liga Al-Mg-Th que receberam tratamentos térmicos a temperaturas que variaram entre 100 °C e 500 °C. Pode-se observar uma evolução estrutural a partir de uma condição de material encruado, estrutura com uma grande densidade de discordâncias e uma grande quantidade de precipitados, que, com o aumento da temperatura de tratamento térmico, vai apresentando uma estrutura mais ordenada, com o aparecimento de grãos de pequeno tamanho e uma redução na quantidade de precipitados dispersos.

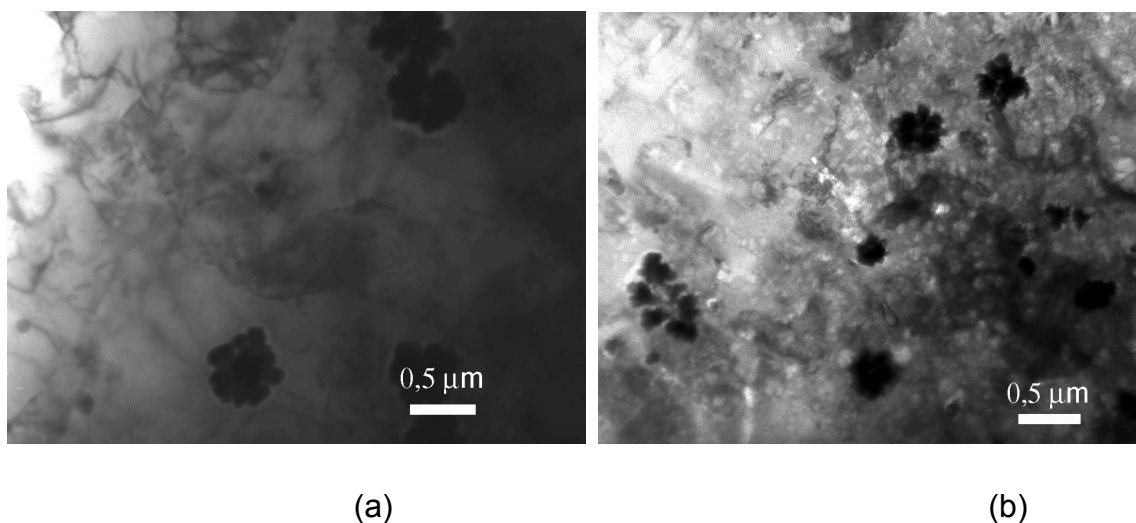
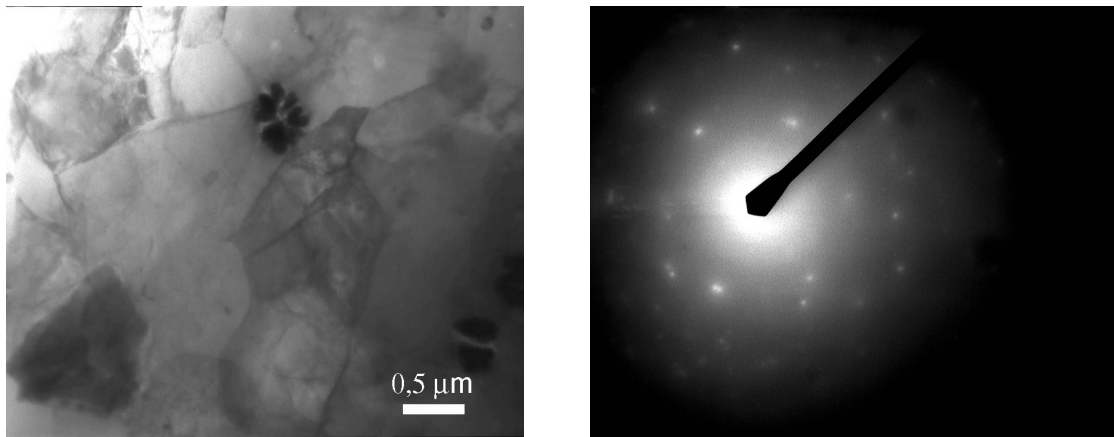


Fig.1 – Micrografia da liga Al-Mg-Th tratada a: (a) 100 °C e (b) 300 °C.

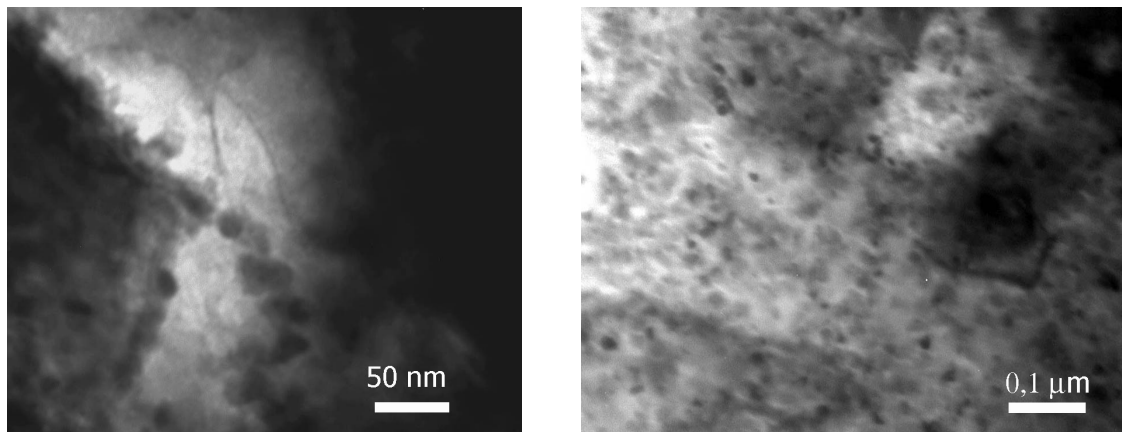


(a)

(b)

Fig.2 – Micrografia da liga Al-Mg-Th: (a) tratada a 500 °C e (b) padrão de difração.

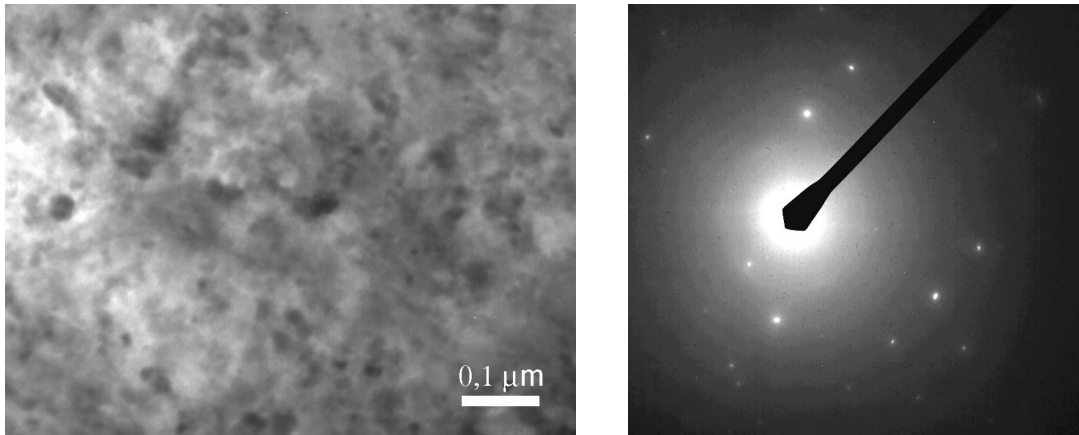
As Fig. 3 e 4 mostram a evolução da estrutura das amostras da liga Al-Mg-Nb que receberam tratamentos térmicos a temperaturas que variaram entre 100 °C e 500 °C. Nota-se o aparecimento de precipitados com dimensões de ordem de 20 nm, de composição provável $NbAl_3$, sendo que a quantidade de precipitados aumenta com o aumento da temperatura de tratamento.



(a)

(b)

Fig.3 – Micrografia da liga Al-Mg-Nb tratada a: (a) 100 °C e (b) 300 °C.



(a)

(b)

Fig.4 – Micrografia da liga Al-Mg-Nb: (a) tratada a 500 °C e (b) padrão de difração.

RESISTIVIDADE ELÉTRICA

A Fig. 5 apresenta a variação da resistividade elétrica das ligas em estudo em função da temperatura de tratamento térmico.

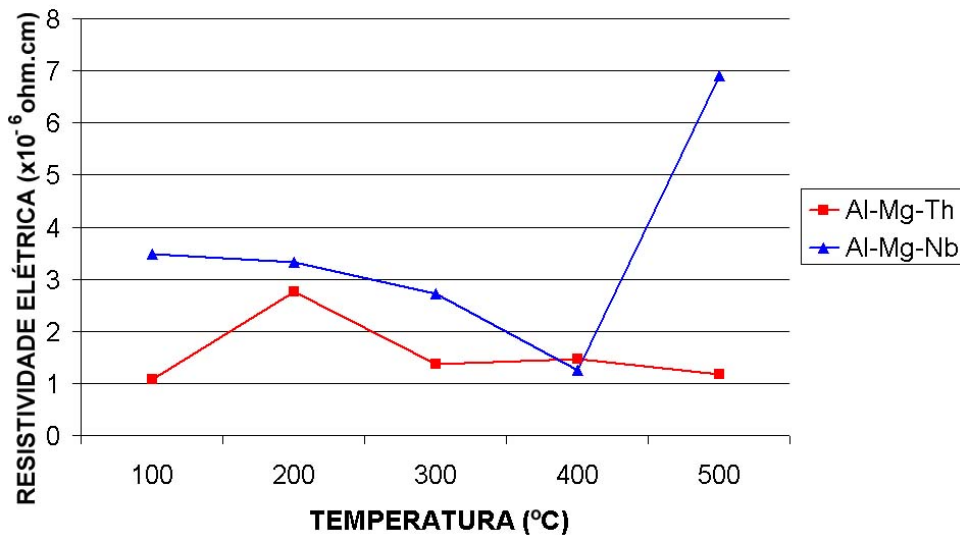


Fig. 4.88. Resistividade elétrica em função da temperatura de tratamento térmico.

Nota-se que a liga Al-Mg-Th apresenta um aumento na resistividade elétrica na temperatura de tratamento de 200°C, região onde ocorrem as mais bruscas mudanças de dureza e estrutura, após a qual sofre uma redução, permanecendo

praticamente constante. A liga Al-Mg-Nb apresenta uma queda no valor da resistividade elétrica com o aumento da temperatura até 400°C, sofrendo um brusco aumento na temperatura de 500°C, onde começam a acontecer as mais importantes alterações na microestrutura.

CONCLUSÃO

A resistividade elétrica da liga Al-Mg-Th apresenta um pico na temperatura de tratamento de 200°C, com valor praticamente constante nas demais temperaturas, menor que a resistividade do alumínio puro.

A presença do pico de resistividade está associada a uma fase mais intensa de recuperação no início dos tratamentos térmicos.

A presença do elemento tório propiciou uma redução da resistividade elétrica em relação ao alumínio puro, devido a sua configuração eletrônica ser favorável à diminuição de "zonas proibidas" à circulação de elétrons.

A resistividade elétrica da liga Al-Mg-Nb apresenta comportamento decrescente com o aumento da temperatura de tratamento térmico, apresentando um aumento súbito a 500°C.

O comportamento da liga Al-Mg-Nb quanto à resistividade elétrica é normal até temperaturas próximas a 500°C, onde os fenômenos de recuperação e recristalização apresentam uma súbita intensificação. A diminuição de resistividade elétrica encontrada pode ser associada à precipitação do composto NbAl₃ em contorno de grão.

As ligas em estudo apresentaram valores interessantes de propriedades, com evidente potencial tecnológico.

REFERÊNCIAS

1. ARZAMASOV, B. N. et al., Materials Science, cap. 12. Mir Publishers Moscow, Moscow, 1989.
2. Source Book on Powder Metallurgy, pp. 74-78, ASM, 1979.
3. SISTIAGA, J. M., Aleaciones de Alumínio y de Magnésio, cap. II-III, Ed. Montecorvo, Madrid, 1963.
4. SMITH, W. F., Principles of Materials Science and Engineering, McGraw Hill,

New York, 1996.

5. HATCH, J. E., Aluminum Properties and Physical Metallurgy, ASM, USA, 1984.

6. CAHN, R.W., Recrystallization, Grain Growth and Textures, Ed. H. Margolin, ASM, Metals Park, Ohio, 1966.