

AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DA LIGA Mg-Al-Zn-Ca-La APÓS TRATAMENTO TÉRMICO DE RECOZIMENTO¹

André Gonçalves Garcia²

Sergio Luiz Telles Bartex³

Igor Zimpel⁴

Jaime Alvares Spim⁵

Resumo

O objetivo principal desse trabalho foi avaliar a influencia do tratamento térmico nas propriedades mecânicas e metalúrgicas da liga experimental ZAXLa05613. Foram avaliadas as propriedades desse material no estado bruto de fusão e recozido. Os ensaios metalográficos mostraram um refino nas estruturas eutéticas formadas pelo composto Al_2Ca , confirmando a difusão de elementos na matriz, diminuindo a segregação causada durante o processo de solidificação, aumentando assim as propriedades mecânicas após o tratamento. Já as agulhas formadas pela fase $Al_{11}La_3$ não mostram mudança significativa na forma nem nas propriedades, sendo bastante estáveis à exposição a elevadas temperaturas. Os ensaios mecânicos mostraram uma leve redução na dureza após o tratamento, porém aumentaram a tensão máxima e a tensão de escoamento da liga nos ensaios de tração realizados.

Palavras-chave: Recozimento; Ligas de magnésio; Propriedades mecânicas

EVALUATION OF THE MECHANICAL BEHAVIOR OF Mg-Al-Zn-Ca-La ALLOY AFTER ANNEALING HEAT TREATMENT

Abstract

The main objective of this study was to estimate the influence of heat treatment on mechanical and metallurgical properties of experimental casting alloy ZAXLa 05613. Were evaluate the properties of this material in the cast and annealed conditions. The metallographic showed a refining process in the eutectic structures formed by the compound Al_2Ca , confirming the diffusion of elements in the matrix, decreasing the segregation caused during the solidification process, thus increasing the mechanical properties of the alloy. Although, the structures formed by the needles ($Al_{11}La_3$) showed no significant changes in form or in properties, it being stable enough exposure to high temperatures. Mechanical tests showed a slight reduction in hardness after treatment, however increased the ultimate stress and yield stress of the alloy in tensile tests performed.

Key words: Annealing; Magnesium alloys; Mechanical properties.

¹ Contribuição técnica ao 66º Congresso Anual da ABM, 18 a 22 de julho de 2011, São Paulo, SP, Brasil.

² Tecg. Fabricação Mecânica, Mestrando LAFUN – CT - EE - UFRGS.

³ Eng. Mecânico, Mestrando LAFUN – CT - EE - UFRGS.

⁴ Aluno de Graduação LAFUN – CT - EE - UFRGS.

⁵ Prof. Adjunto, Coordenador LAFUN – CT - EE – PPGEM - UFRGS

1 INTRODUÇÃO

A busca pela eficiência energética vem obrigando as indústrias a uma redução de peso nos componentes produzidos, principalmente quando se fala no ramo automobilístico e aeronáutico. Nesse contexto o Magnésio e suas ligas tomam cada vez maior importância no mercado de produtos fundidos, pois essa liga tem uma excelente relação resistência/peso. As ligas de Magnésio apresentam cerca de dois terços da densidade do Alumínio e cerca de um quarto da densidade do aço.

Conforme França⁽¹⁾ a indústria automobilística concentra em torno de 80% da utilização do magnésio produzido no planeta, chegando hoje a uma média de 4,4 kg/automóvel produzido. Atualmente, mais de 60 peças que compõem um automóvel são fabricadas nesse material e se colocarmos todas elas em um único carro o peso poderia chegar a 160 kg/automóvel produzido. A demanda por essa liga vem crescendo com uma taxa média de 7,4% ao ano no mercado mundial e 11,6% no mercado brasileiro.

O desenvolvimento de novas tecnologias melhorando o processo produtivo, o controle da morfologia e conseqüentemente o controle das propriedades mecânicas dessa liga, principalmente as propriedades de fluência, de corrosão e de fadiga, tornam-se extremamente necessárias para atender as demandas da sociedade e de crescimento da indústria.

As ligas de Magnésio vêm sendo alvo de inúmeros estudos pelas empresas, centros de pesquisa e universidades de todo o mundo. Porém, devido à dificuldade de trabalhar com esse metal, pois requer diversos cuidados para a preparação e vazamento, não existem grupos focados na pesquisa e desenvolvimento desse metal em nosso país.

Assim, esse trabalho tem o objetivo de analisar e caracterizar os principais parâmetros metalúrgicos (como a microestrutura) e mecânicos (como resistência à tração, dureza etc.) da liga de Magnésio ZAXLa05613.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Um lingote, produzido pela empresa brasileira RIMA, foi utilizado para a realização dos experimentos. A composição química é mostrada na Tabela 1.

Tabela 1 – Composição química do lingote.

Elemento	% Especificado (ZAXLa05613)
Alumínio	5 - 6
Cálcio	0,8 – 1,0
Lantânio	3,2 -3,9
Zinco	0,5 máximo
Magnésio	Balanço

Pelo processo de torneamento foram extraídos os corpos de prova para os ensaios de tração com as dimensões mostrada na Figura 1.

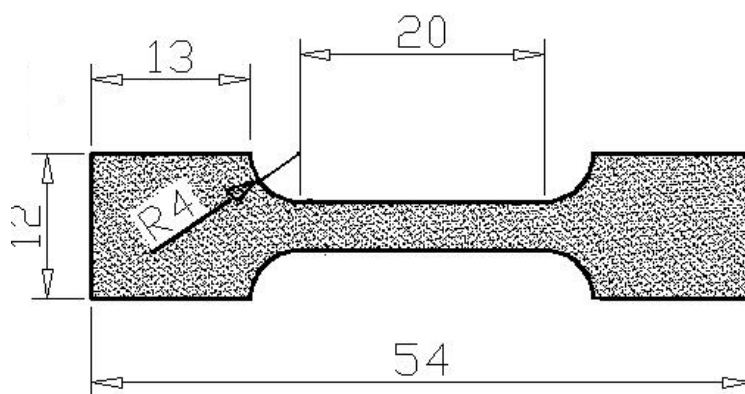


Figura 1 – Dimensões dos corpos de prova utilizados no ensaio de tração.

Para os ensaios de dureza foram utilizados corpos de prova com diâmetro de 12,5 mm e 20 mm de altura também extraídos da superfície do lingote. O recozimento foi realizado em um forno resistivo tipo mufla na temperatura de 425°C por 18 h e o resfriamento foi realizado ao ar. O ensaio de dureza foi realizado em um durômetro universal segundo a norma ASTM E18 pelo método Brinell com esfera de aço de 2,5 mm de diâmetro e carga de 62,5 kg. A medida da indentação foi realizada com o auxílio de um software com analisador de imagem Onmimet. As amostras foram embutidas com resina cura a frio e lixadas na seqüência de #100, #200, #400, #600 e #1200. Para o polimento foi utilizado alumina 1 µm e o ataque químico foi realizado com Nital 4%. As amostras foram visualizadas em um analisador de imagens Onmimet em um microscópio óptico. Os ensaios de tração foram realizados conforme a norma ASTM B 557-02a em uma máquina de tração universal com célula de carga de 2000 kg.

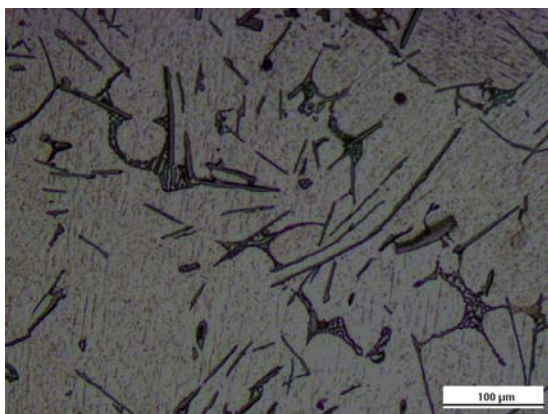
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos no ensaio de dureza para as duas condições (bruto de fusão e recozido) são mostrados na Tabela 2.

Tabela 2 – Resultado do ensaio de dureza (medidas em Brinell)

	Bruto de fusão	Recozido
Dureza (HB)	64,1 ± 3,1	57,9 ± 2,6

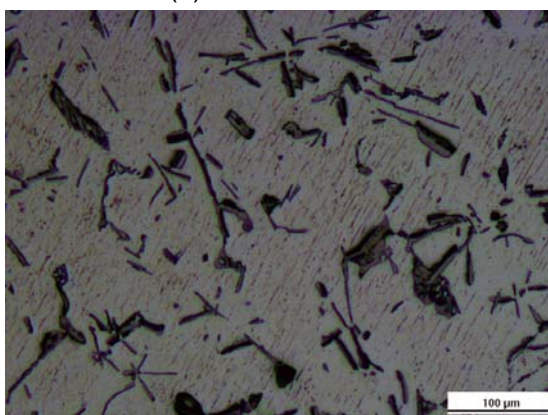
Como se pode notar nessa tabela, a dureza apresentada pelo material antes do tratamento térmico é maior se comparado à dureza após o recozimento. A queda na dureza é pequena, mas a variação das durezas apresentadas no ensaio (que pode ser notado pelo desvio padrão) é bem menor após o tratamento, o que indica uma homogeneização das fases e alívios de tensões internas do material. Essa homogeneização é evidenciada pela metalografia, conforme mostra a Figura 2.



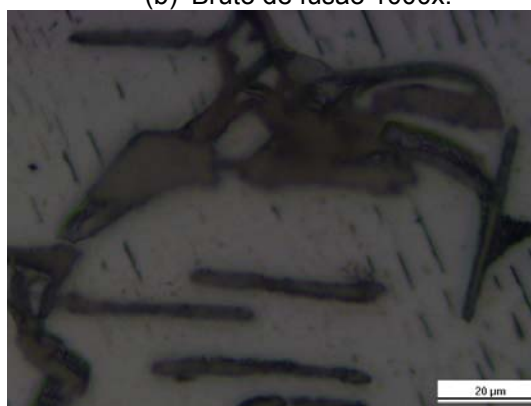
(a) Bruto de fusão 200x.



(b) Bruto de fusão 1000x.



(c) Recozida 200x.



(d) Recozida 1000x.

Figura 2 – Micrografia antes e depois do recozimento apresentando as fases: 1, 2 e 3.

Nessa figura pode-se notar as fases presentes. Segundo Ferri et al.⁽²⁾ as fases presentes são o eutético formado pelo composto Al_2Ca e as agulhas formadas por $\text{Al}_{11}\text{La}_3$ dispersas em uma matriz supersaturada de Magnésio. Nota-se claramente que a fase lamelar (eutético formado por Al - Ca) no estado bruto de fusão apresenta-se de forma grosseira com as lamelas bem distantes entre si.

A afinidade eletrônica entre o Alumínio e o Lantânio faz com que esses elementos tenham uma formação preferencial em relação às outras fases. A precipitação dessas partículas, de alto ponto de fusão e boa estabilidade térmica, é a responsável pela melhora nas propriedades em alta temperatura dessa liga, segundo Zhang et al.⁽³⁾ Posteriormente, forma-se o eutético Alumínio-Cálcio. Com essas duas reações preferenciais e com a baixa quantidade de Alumínio disponível, evita-se a formação da indesejada fase β ($\text{Al}_{17}\text{Mg}_{12}$) que é a responsável pela baixa resistência às altas temperaturas nessa liga, conforme proposto por Anyanwu et al.⁽⁴⁾

Após o recozimento, porém, pode-se notar que as lamelas parecem ter sido preenchidas, apresentando-se de forma mais escura. Isso se deve à difusão dos elementos da matriz para as lamelas e vice-versa, causando uma homogeneização na microestrutura. Porém, as agulhas formadas por Al - La não mostraram mudança significativa nem de forma nem de tamanho.

Isso se deve a baixa mobilidade que os átomos de La têm para se movimentar na matriz de Magnésio. Nos estudos realizados por Zhu et al.⁽⁵⁾ o bom desempenho dos elementos terras raras na estabilidade apresentada em elevadas temperaturas se deve a baixa mobilidade desses elementos na matriz, sendo a sua contribuição muito mais representativa do que a disposição no contorno de grão. Os

resultados obtidos por esse autor são confirmados pelas metalografias para as agulhas.

Os resultados do ensaio de tração são sumarizados na Tabela 3.

Tabela 3 – Valores obtidos no ensaio de tração

	Bruto de fusão	Recozido
σ_e (MPa)	45,18 ± 3,44	60,8 ± 2,08
σ_u (MPa)	58,25 ± 3,46	73,48 ± 4,15
ϵ_r (%)	1,75 ± 0,25	1,75 ± 0,18

Nota-se claramente um aumento nos valores da tensão de escoamento e da tensão máxima, sendo, respectivamente, de 33% e 25%. Esses resultados estão de acordo com o comportamento verificado nas metalografias, sendo a difusão do eutético o provável responsável por esse aumento, já que as metalografias mostram que as agulhas formadas por Al-La não tiveram mudança significativa.

Porém, não foi verificado aumento significativo na deformação relativa. Esse fato pode ser explicado pela não dissolução das agulhas de lantânio, servindo então essa fase como uma barreira para o deslocamento das discordâncias, impedindo assim a deformação.

As curvas tensão-deformação obtidas nos ensaios são mostradas na Figura 3.

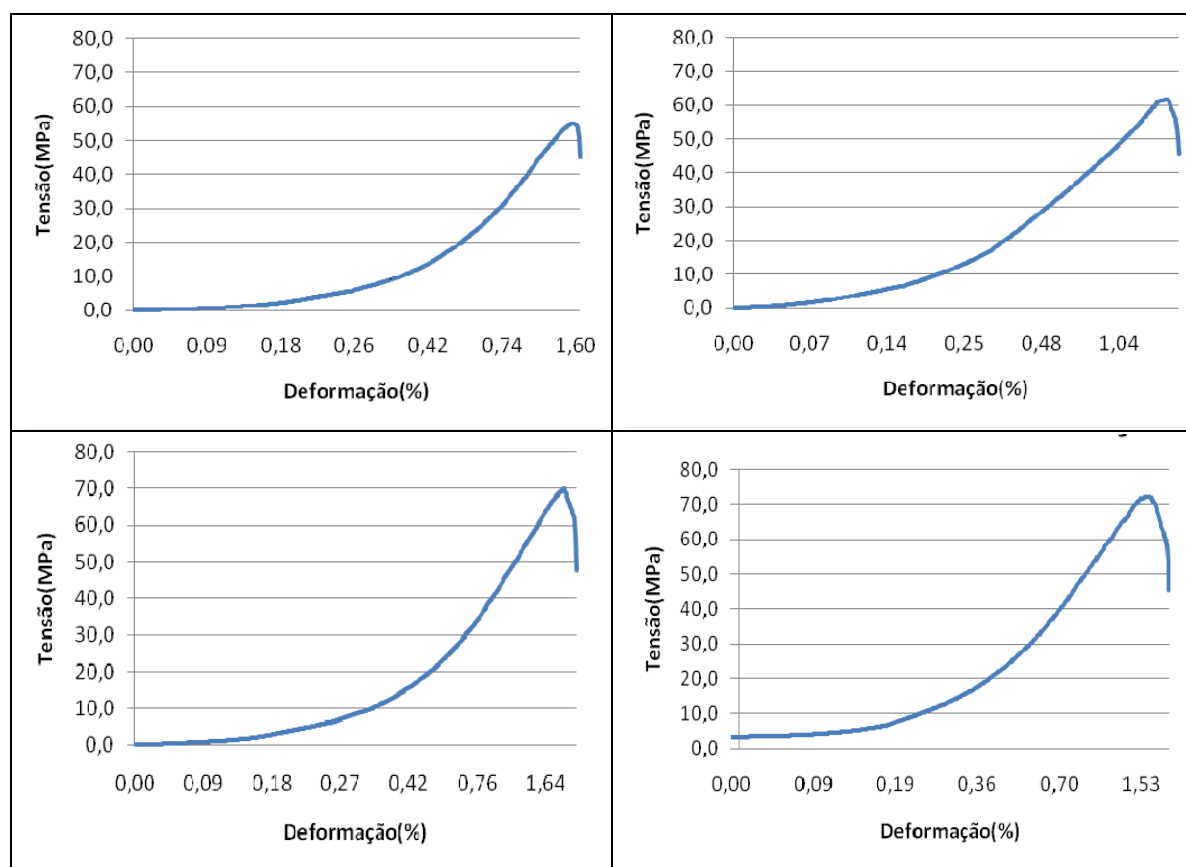


Figura 3 – Curvas tensão-deformação real obtidas no ensaio.

Os valores obtidos nos ensaios mecânicos estão de acordo com os obtidos por Ferri et al.⁽²⁾ para um lingote com composição química parecida e resfriado

lentamente. Também Zhang et al.⁽⁶⁾ obtiveram resultados semelhantes para uma liga com composição química parecida, porém, utilizando o processo de injeção sob alta pressão (*Die Casting*).

4 CONCLUSÃO

O tratamento térmico de recozimento da liga ZAXLa05613 foi realizado. Os resultados mostraram um refino nas estruturas eutéticas formadas por Al_2Ca . Entretanto, a fase acicular formada por $\text{Al}_{11}\text{La}_3$ não mostrou modificação estrutural perceptível, sendo ela responsável pela melhora na estabilidade térmica da liga em elevadas temperaturas. Não foi verificada a formação da fase $\text{Al}_{17}\text{Mg}_{12}$. Os resultados dos ensaios mostraram uma leve redução na dureza do material após o recozimento quando comparado ao estado bruto de fusão. Mas, a tensão de escoamento e a tensão máxima mostraram um aumento significativo, aumentando assim a resistência do material.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pelo apoio financeiro concedido.

REFERÊNCIAS

- 1 FRANÇA, Fernando C. V., 2009, "Tendências para o Mercado brasileiro de Magnésio", 11º Seminário de metais não ferrosos, ABM – SP.
- 2 FERRI, Thiago V.; FIGUEIREDO, Arlan P.; FERREIRA, Carlos R.F.; HORMAZA, Wilson; SANTOS, Carlos A.; SPIM, Jaime A.; Mechanical properties as a function of microstructure in the new Mg–Al–Ca–La alloy solidified under different conditions. *Materials Science and Engineering A* 527 (2010) 4624–4632
- 3 ZHANG, Guoying; ZHANG, Hui; MING, Gao, DAN, Wei. Mechanism of Effects of Rare earths on Microstructures and Properties at Elevated Temperatures of AZ91 Magnesium Alloy *JOURNAL OF RARE EARTHS* 25 (2007) 348 – 351
- 4 ANYANWU, I.A.; GOKAN, Y., et al (2004). "Effect of substituting cerium-rich mischmetal with lanthanum on high temperature properties of die cast Mg–Zn–Al–Ca–RE alloys." *Materials science and engineering*. 380:93-99.
- 5 ZHU, S.M.; Gibson, M.A., Easton, M.A. and Nie, J.F., 2010. The relationship between microstructure and creep resistance in die-cast magnesium–rare earth alloys, *Scripta Materialia* 63 (2010) 698–703
- 6 ZHANG, Jinghuai; ZHANG, Milin; MENG, Jian; WU, Ruizhi; TANG, Dingxiang. Microstructures and mechanical properties of heat-resistant high-pressure die-cast Mg–4Al–xLa–0.3Mn (x = 1, 2, 4, 6) alloys *Materials Science and Engineering A* 527 (2010) 2527–2537