

CARACTERIZAÇÃO MICROESTRUTURAL DE UMA NOVA LIGA DE MAGNÉSIO CONTENDO LANTÂNIO E CÁLCIO¹

*Daiane Baptista Ferreira²
Cleber Rodrigues de Lima Lessa³
Cristiano de Abreu Soares⁴
Carlos Alexandre dos Santos⁵
Jaime Alvares Spim Junior⁶*

Resumo

A caracterização da liga de magnésio contendo 6% de alumínio, 3 % de lantânio e 1% de cálcio, verificando se há formação de fases que melhorem as características mecânicas da liga, se faz necessária para que esta possa ser usada como alternativa a substituição de ligas de alumínio usadas na fabricação de cilindros de motores a combustível de máquinas portáteis como jardinagem e silvicultura, visto que as ligas de magnésio possuem menor densidade, possibilitando menor esforço físico. As amostras coquilhadas foram submetidas a análises químicas, de microscopia ótica e de microscopia eletrônica de varredura com EDS e microdureza. O Lantânio acrescido à liga resulta na cristalização de grande quantidade do composto acicular formado por Al-La ao longo dos contornos de grão. O cálcio favoreceu a formação de fases Al-Ca também entre os grãos. Não houve a formação de fases Mg-Al. Este conjunto de resultados pode significar um aumento de resistência à fluência e possibilitar a aplicação desta liga em elevadas temperaturas, viabilizando a substituição das ligas de alumínio.

Palavras chaves: Liga de magnésio, resistência à fluência, microestrutura.

Abstract

The characterization of the magnesium alloy contened 6% of aluminum, 3 % of lanthanum and 1% of calcium, verifying if it has formation of phases that improve the mechanical characteristics of the alloy, if makes necessary so that this can be used as alternative at substitution of used aluminum alloys in the manufacture of cylinders of engines the fuel of portable machines as power saw and roçadeiras, since the magnesium alloys possess minor density, making possible lesser physical effort. The chilled samples had been submitted the chemical analyses, of microscopy optics and electronic microscopy of scanning with EDS techniques and microhardness. The lanthanum increased to the alloy results in the crystallization of great amount of the acicular composition formed by Al-La to along on the grain boundary. The calcium also favored the formation of Al-Ca phases between the grains. It did not have the formation of Mg-Al phases. This series of results can mean an increase of creep strength and make possible the application of this alloy in high temperatures, making possible the substitution of the aluminum alloys.

Key-Words: Magnesium alloy, creep resistance, microstructure.

[1] Trabalho a ser apresentado no 6º ENEMET . 24 a 27 de julho de 2006 – Rio de Janeiro – RJ – Brasil.

[2] Graduanda LAFUN / CNPQ/ UFRGS – daianeabap@hotmail.com

[3] Graduando LAFUN / CNPQ/ UFRGS – lma_lessa@yahoo.com.br

[4] Mestrando LAFUN / PPGEM / UFRGS – ca.soares@bol.com.br

[5] Prof. Adjunto NUCLEMAT/DEMM/FENG/PUCRS – carlos.santos@puhrs.br

[6] Prof. Adjunto LAFUN / PPGEM / UFRGS – spim@ct.ufrgs.br

Introdução

As ligas de magnésio têm sido empregadas numa grande variedade de aplicações industriais sob a denominação de ligas leves, devido a sua combinação favorável de resistência à tração, módulo de elasticidade e baixa densidade, cerca de 30% da densidade do alumínio. O magnésio apresenta valores relativamente bons de condutividade elétrica e condutividade térmica, além de alta capacidade de absorver vibrações elásticas [1].

O principal elemento de liga adicionado ao magnésio é o alumínio, o qual aumenta a resistência mecânica da liga à temperatura ambiente e a fluidez do magnésio. Estas propriedades conferem a liga condições favoráveis para fundição sob pressão, processo ao qual será empregada a liga em estudo [1,2].

Estudos recentes têm mostrado que a adição de lantânio e cálcio às ligas de magnésio contendo alumínio, melhora a resistência à fluência, pois forma a fase $Al_{11}La_3$, termicamente estável, que dificulta o escorregamento entre dois grãos vizinhos [4, 3, 5, 6]. O cálcio contido nesta liga forma a fase Al_2Ca , que além de consumir o Al disponível, evitando que este forme o Mg supersaturado e $Mg_{17}Al_{12}$, também é termicamente estável, contribuindo na melhora da resistência à fluência [5].

Este trabalho se propõe a verificar a formação das fases Al-La e Al-Ca e a redução da quantidade das fases Mg supersaturado em alumínio e $Mg_{17}Al_{12}$ numa liga de magnésio Mg-6Al-3La-1Ca. A redução das fases Mg supersaturado em alumínio e $Mg_{17}Al_{12}$ pode levar ao aumento da resistência à fluência em temperaturas acima de 120°C nas ligas de magnésio fundidas sob pressão e as adições de cálcio, assim como de lantânio podem reduzir o teor de alumínio disponível na liga, evitando a formação de fases Mg-Al [4].

Atualmente, não se conhece nenhuma liga de magnésio capaz de suportar as condições de operação exigidas para o uso ao qual se destina esta liga, ou seja, temperaturas acima de 120°C, mantendo propriedades como boa resistência a fluência e boa fluidez. Frente à necessidade de redução de peso do equipamento, desenvolveu-se essa liga de magnésio para que ela possa substituir, de maneira satisfatória, as ligas de alumínio usadas na fabricação de cilindros de motores a combustível de máquinas portáteis de jardinagem e silvicultura.

Materiais e métodos

A primeira etapa da metodologia de trabalho consistiu no levantamento bibliográfico a respeito de ligas de magnésio e o efeito dos elementos de ligas.

Desenvolveu-se uma liga específica de magnésio-alumínio-lantânio-cálcio, com composição Mg-6Al-3La-1Ca. As amostras foram obtidas por fundição em coquilha por gravidade. Após a solidificação, foi realizada análise química por espectrometria de emissão ótica.

Para análise das microestruturas, as amostras foram cortadas, lixadas, polidas e atacadas, seguindo a norma ASTM E 407 [7]. Posteriormente, foram observadas no microscópio óptico.

A caracterização das fases por microdureza e análise por microscopia eletrônica de varredura (MEV) com espectrômetro de energia dispersiva (EDS), Neste caso, não houve a necessidade de ataque químico. As amostras foram apenas lixadas e polidas.

Resultados

Composição química:

A Tabela 1 apresenta os dados de composição química da liga especificada: faixa de valores e os valores determinados via espectrometria de emissão óptica.

Tabela 1 Comparação entre a composição química especificada com a enviada pelo fornecedor (% em peso).

(% em peso)	Zn	Al	Ca	La	Mn	Fe	Cu	Si	Ni
Especificado	0,5 máx.	5,0 - 6,0	0,8 -1,0	3,2 -3,9	*	*	*	*	*
Medido	0,1	5,31	1,17	3,32	0,15	0,0047	0,0063	0,0222	0,0015

* sem especificação

Nota-se que todos os elementos estão de acordo, exceto o cálcio que está um pouco acima da faixa especificada.

Análise de microdureza:

A Tabela 2 apresenta os dados referentes as microdurezas realizadas em cinco amostras, sendo realizada 3 medidas em cada fase analisada.

Tabela 2 Medidas de microdureza em cada fase (vickers-HV).

Fases	Al-La (refinada)	Al-La	matriz
média	74,59	57,36	43,50
desvio	4,15	2,86	1,67

Análise por Microscopia óptica:

As figuras 1 e 2 mostram a microestrutura da liga Mg-6Al-4La-1Ca obtidas por fundição em coquilha, com 100 e 1000 vezes de aumento, respectivamente. Esta análise permite identificar a existência de três fases distintas: uma matriz dendrítica com segregados interdendríticos e agulhas no contorno de grão.

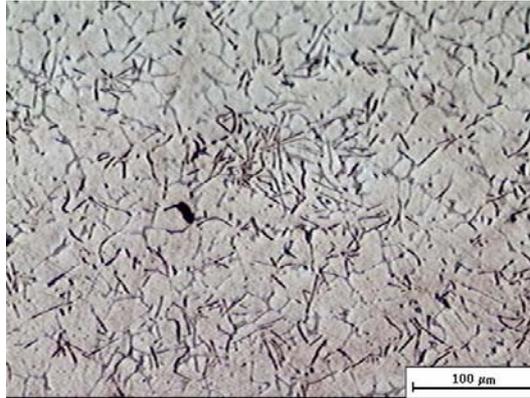


Figura 1: Micrografia de uma amostra da liga Mg-6Al-4La-1Ca. Aumento de 100x.

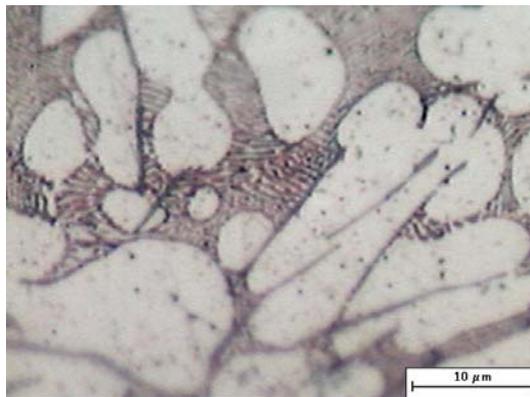


Figura 2: Micrografia de uma amostra da liga Mg-6Al-4La-1Ca. Aumento de 1000x.

Análise por Microscopia Eletrônica de Varredura:

A figuras 3 mostra a microestrutura da liga Mg-6Al-4La-1Ca. Notam-se três fases com colorações distintas: agulhas com tonalidades brancas, segregados interdendríticos cinza claro e uma matriz dendrítica, com coloração cinza escuro.

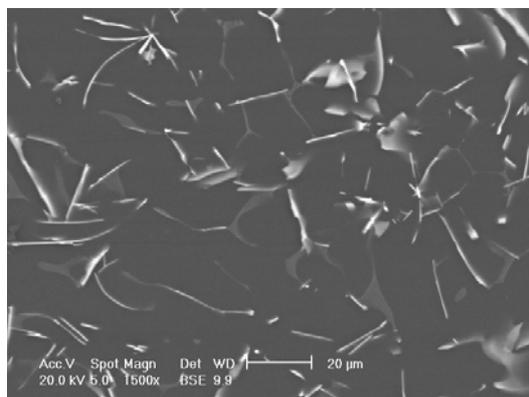


Figura 3: Microestrutura da liga Mg-6Al-4La-1Ca. Aumento de 1500X.

A figura 4 mostra a mesma microestrutura em maior aumento. É possível confirmar a existência de três fases distintas: matriz dendrítica com fase acicular, cruzando os grãos e ao longo dos mesmos, e segregados interdendríticos. A matriz A refere-se ao núcleo da dendrita e a matriz B à região próxima ao contorno de grão.

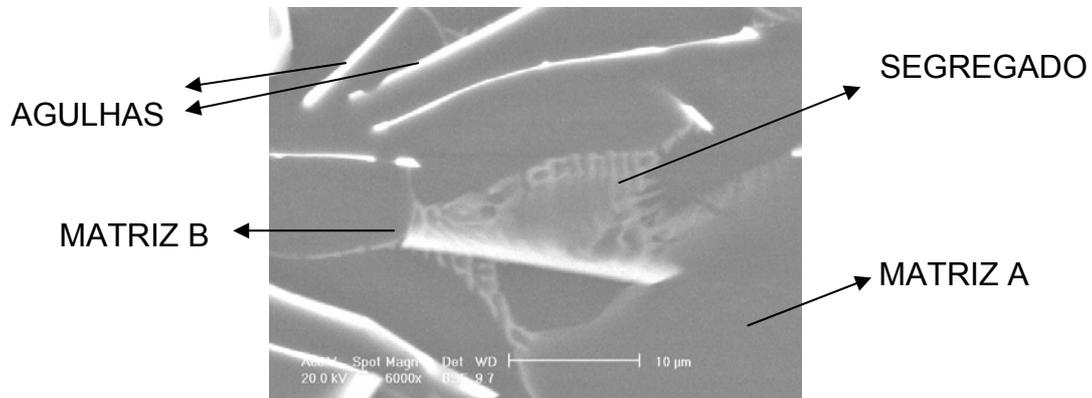


Figura 4: Microestrutura da liga Mg-6Al-4La-1Ca identificando as fases existentes. Aumento de 6000X.

A figura 5 mostra em detalhe o segregado, sua formação lamelar confere a microestrutura uma aparência semelhante a um eutético.

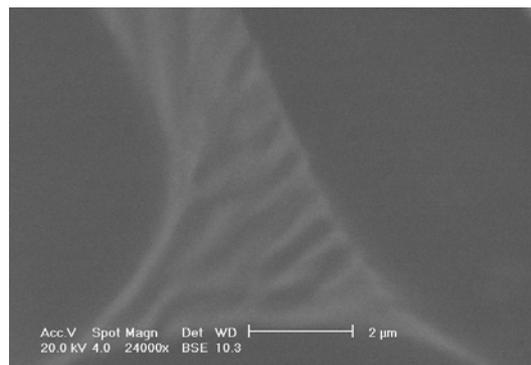


Figura 5: Microestrutura da liga Mg-6Al-4La-1Ca mostrando o segregado em detalhe. Aumento de 24000X.

As figuras 6, 7 e 8 são os espectros da microsonda EDS das regiões matriz A, segregado e agulha, respectivamente. As composições químicas são apresentadas na tabela 3.

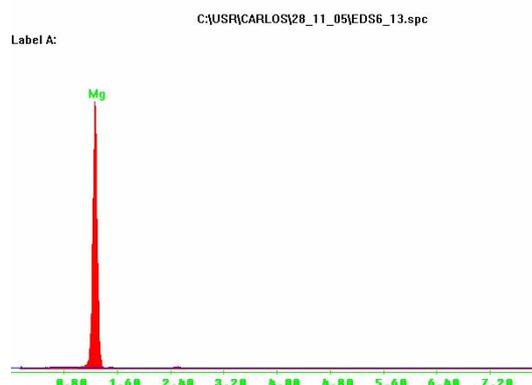


Figura 6: Espectro de EDS da Matriz A (região central da dendrita), identificando apenas Mg.

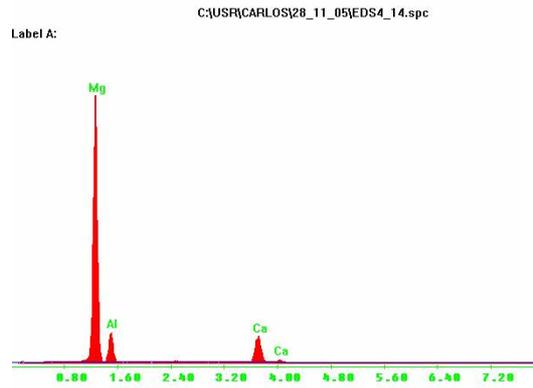


Figura 7: Espectro de EDS do segregado, identificando Mg, Al e Ca.

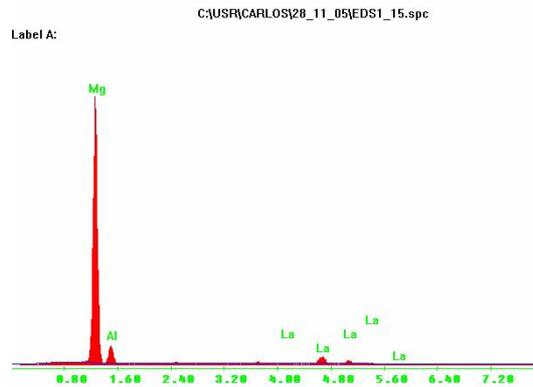


Figura 8: Espectro de EDS das agulhas, identificando Mg, Al e La.

Tabela 3: Composição química via EDS de quatro regiões diferentes (% peso).

	Mg	Al	Ca	La	Total
Matriz A	100	0	0	0	100
Matriz B	94,43	4,08	0,51	0,98	100
Segregado	71,95	16,09	11,95	0	99,99
Agulhas	71,81	12,48	0	15,71	100

Discussão

A composição química da liga proposta está de acordo com o que foi solicitado à empresa Rima Industrial S/A, entretanto o teor de cálcio ficou um pouco acima do determinado. Segundo a empresa, este problema ocorreu devido à estreita faixa de cálcio especificada, já que ele é altamente reativo e, em altas temperaturas, rapidamente é oxidado e se perde quando fundido em coquilha. Contudo, a liga será utilizada em processo de fundição sob pressão, e devido às condições de

solidificação do processo, diferente da fundição de lingotes, talvez não seja necessária a adição extra de cálcio, podendo manter-se a faixa especificada.

O alumínio é responsável pela formação de fases que diminuem a resistência à fluência, quando ligado ao cálcio e aumenta a resistência à tração das ligas de magnésio na temperatura ambiente, quando em solução sólida com a matriz. Como o cálcio liga-se ao alumínio para formar a fase Al_2Ca , o seu excesso pode representar uma diminuição no teor de alumínio em solução sólida. Isto se torna um problema, conseqüentemente, pode gerar uma falha prematura nas peças fabricadas com esta composição, devido ao enfraquecimento da matriz, já que o alumínio que seria usado para fortalecer a matriz estará sendo utilizado na formação da fase Al_2Ca . Isto pode explicar a inexistência de alumínio em solução sólida no centro da dendrita (matriz A) e o baixo teor de alumínio próximo ao contorno de grão (matriz B), mostrados na tabela 3.

Com relação a microdureza (tabela 2), a matriz se mostra menos dura que as fases Al-La refinada e Al-La, confirmando os resultados obtidos em EDS, já que a matriz apresenta muito pouco alumínio em solução sólida. Não foi possível medir a micro-dureza fase Al-Ca, pois a microestrutura é muito refinada.

Analisando a figura 2 percebe-se a existência de três fases distintas: uma matriz dendrítica com segregados lamelares interdendríticos e agulhas no contorno de grão. As análises de microscopia eletrônica também mostram essas fases.

Analisando as composições químicas indicadas na tabela 3, nota-se que as agulhas localizadas, na sua maioria, no contorno de grão são formadas por Mg-Al-La e os segregados interdendríticos são formadas por Mg-Al-Ca. O magnésio apresentado nestes resultados pode ser proveniente da matriz, sendo que é necessária uma análise em difração de raios-x para identificar as fases presentes.

Não foram encontradas as fases: eutético (Mg_{SSS}) e o intermetálico $Mg_{17}Al_{12}$. Isto pode significar que a liga desenvolvida apresenta uma melhor resistência à fluência.

Como este estudo comprova a formação das fases Al-Ca e Al-La por fundição em coquilha e a inexistência ou redução considerável das fases Mg_{SSS} e $Mg_{17}Al_{12}$, então a liga está apta a ser testada em escala industrial por fundição sob pressão e na aplicação a qual se propõe, motores a combustível para equipamentos portáteis.

Conclusões

Foram identificadas três fases distintas: uma matriz dendrítica (com inexpressivo teor de alumínio em solução sólida), segregados lamelares interdendríticos de Al-Ca e fases aciculares no contorno de grão, composto por Al-La.

O alumínio foi captado pelo cálcio e o lantânio nas fases descritas acima, dessa forma, não houve a formação da fase $Mg_{17}Al_{12}$, que aliado à fase de magnésio supersaturado em alumínio comprometem a resistência à fluência.

O excesso de cálcio pode diminuir a resistência mecânica da liga por enfraquecer a matriz usando o alumínio em solução sólida para formar Al_2Ca .

Agradecimentos

Ao CNPq por incentivar e fomentar o desenvolvimento tecnológico. A todos os colegas do Laboratório de Fundição da UFRGS. Aos mestres e doutores que nos deram o amparo científico. A empresa Stihl, por financiar o projeto e acreditar no nosso trabalho. Agradecimento especial ao Engenheiro Cristiano de Abreu Soares pela sua paciência e por compartilhar de seus conhecimentos, de fundamental importância para a realização deste trabalho.

Referências

- 1 American Society for Metals: Selection and applications of Magnesium and Magnesium Alloys In: **Metals Handbbook**, 10^o Ed. Metals park, Ohio, Vol. 2: Properties and selection: Nonferrous Alloys and Special-purpose Materials, p.1424-1589, 1990.
- 2 SAKKINEN, D. J. Physical metallurgy of magnesium die cast alloys. **SAE Technical Papers 940779**, SAE, Detroit, MI, p.71-82, 1994.
- 3 MORENO, I.P., NANDY, T.K, JONES, J.W, ALLISON, J.E, POLLOCK, T.M. Microstructural stability and creep of rare-earth containing magnesium alloys. . **Scripta Materialia**, v. 48, p.1029-1034, 2003.
- 4 MORENO, I.P., NANDY, T.K, JONES, J.W, ALLISON, J.E, POLLOCK, T.M. Microstructural characterization of a die-cast magnesium-rare earth alloy. **Scripta Materialia**, v. 45, p.1423-1429, 2001.
- 5 ANYANWU, I., GOKAN, Y., SUZUKI, A., KAMADO, S., KOJIMA, Y., TAKEDA, S., ISHIDA, T. 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**, A380, p.93-99, 2004.
- 6 LÜ, Y., WANG, Q., ZENG, X., DING, W., ZHAI, C., ZHU, Y. Effects of rare earths on the microstructure, properties and fracture behavior of Mg-Al alloys. **Materials Science and Engineering**, A278, p.66-76, 2000.
- 7 ASTM. Standard test methods for microetching metals and alloys: E 407, p.516-533, 1989.