

MODIFICAÇÃO ESTRUTURAL NA LIGA Al-7%Mg ATRAVÉS DO PROCESSO SQUEEZE CASTING¹

*Christopher Cardoso de Brito²
Fabrício Dias Magalhães³
André Luiz de Moraes Costa⁴
Cláudio Siqueira Filho⁵*

Resumo

A fundição muitas vezes é considerada um dos mais antigos, se não, o mais versátil processo de fabricação de componentes metálicos. O processo *Squeeze Casting* é um processo inovador dentro da fundição de ligas de Alumínio e Magnésio, no qual o metal vazado no estado líquido é solidificado sob pressão dentro de uma coquilha metálica fechada por um punção. Uma desvantagem dos processos convencionais de fundição é a formação de bolhas, porosidades, defeitos de Shrinkage e macrosegregação que influenciam diretamente nas propriedades mecânicas dos produtos fundidos. Este trabalho analisou a modificação estrutural da liga Al-7Mg solidificando o metal líquido sob pressões de: pressão ambiente, 10 MPa, 20 MPa, 40 MPa, 80 MPa e 120 MPa dentro de uma lingoteira de aço 1045. Observou-se que a pressão exerce influência na macroestrutura do lingote diminuindo a presença dos defeitos de fundição, bem como na microestrutura. O aumento da pressão diminuiu o Espaçamento Dendritico Secundário, sendo observado dessa forma um aumento da taxa de resfriamento. O Processo *Squeeze Casting* contribuiu para a obtenção de uma liga Al-Mg sem defeitos macroestruturais, com o aumento da pressão houve aumento na taxa de resfriamento e conseqüentemente obteve-se uma microestrutura refinada.

Palavras-chave: *Squeeze casting*; Modificação estrutural; Liga Al-7Mg.

STRUCTURAL MODIFICATION IN THE ALLOY Al-7Mg THROUGH OF THE PROCESS SQUEEZE CASTING

Abstract

The casting is considered many times one of the oldest, if not, the process most versatile of production of components metallic. Squeeze casting is a process innovative of the casting Aluminum and Magnesium alloys, where the metal is solidified inside under high pressure of a mould metallic closed by a punch. A disadvantage of casting conventional processes is the formation of gases, porosities, defects of Shrinkage and macrosegregations that influence directly in the mechanical properties of the melted products. This work analyzed the structural modification of the alloy Al-7Mg solidifying under pressures of: 10, 20, 40, 80, 120 MPa and no pressure inside of a die steel 1045. Observed that the pressure exercised influence in the macrostructures decreasing the presence of the defects casting, and in the final microstructures the increase of the pressure decreased the Spacing Secondary Dendrite, being observed in that way an increase of the cooling rate. Squeeze Casting Process contributed to the obtaining of an alloy Al-Mg without defects macrostructures, with the increase of the pressure there was an increase cooling rate and in consequence was obtained a refined microstructure

Key words: *Squeeze casting*; Structural modification; Alloy Al-7Mg.

¹ *Contribuição técnica ao 11º Seminário de Metais Não Ferrosos, 1 a 3 de setembro de 2009, São Paulo, SP.*

² *Aluno de Graduação do curso de Engenharia de Materiais da Faculdade de Engenharia de Materiais – UFPA Campus de Marabá – 68505-080 – Marabá, PA. christopher_engmat@yahoo.com.br*

³ *Aluno de Graduação do curso de Engenharia de Materiais da Faculdade de Engenharia de Materiais – UFPA Campus de Marabá 68505-080 – Marabá, PA. fabricao743@hotmail.com*

⁴ *Professor Doutor, Faculdade de Engenharia de Materiais – UFPA Campus de Marabá CEP: 68505-080 – Marabá, PA. almcosta@ufpa.br*

⁵ *Professor Doutor, Faculdade de Engenharia de Materiais – UFPA Campus de Marabá CEP: 68505-080 – Marabá, PA. siqueira@ufpa.br*

1 INTRODUÇÃO

O processo *squeeze casting*, também conhecido por “forjamento de metal líquido”, é um processo em que o metal vazado no estado líquido é solidificado sob pressão dentro de uma coquilha metálica fechada por um punção.⁽¹⁾ Uma grande desvantagem dos processos convencionais em relação ao processo com aplicação de altas pressões (*squeeze casting*) é a formação de inúmeros defeitos, como bolhas de gás (defeitos de shrinkage), porosidades e macrossegregações, os quais influenciam de forma significativa nas propriedades mecânicas, integridade e rentabilidade do produto final. Esse processo vem sendo bastante utilizado em ligas de alumínio na indústria automobilística, pois, oferece ao produto final excelentes propriedades mecânicas tais como ductilidade e tenacidade à fratura,⁽¹⁾ o processo tenta combinar as vantagens das tecnologias de fundição e forjamento: a pressão aplicada e o contato instantâneo do metal líquido com a superfície do molde gera uma condição de rápida transferência de calor e produz peças livres de poros, e de granulação fina.⁽²⁾ Estas peças têm propriedades mecânicas próximas daquelas de um produto forjado combinadas com as formas e o baixo custo das peças fundidas.^(3,4) O baixo custo do processo é um fator importante do ponto de vista industrial, além de possibilitar a automatização da produção.^(5,6)

Segundo Maleki,⁽⁷⁾ a aplicação da pressão diminuiu a quantidade de defeitos de fundição presentes nos lingotes obtidos por Squeeze Casting. Hajjari⁽⁸⁾ mostrou que o processo Squeeze Casting aplicado à liga 2024 (liga de Al-Cu) diminuiu os valores dos Espaçamentos Dendriticos Secundários, aumentando dessa forma a extração de calor. Neste sentido, este trabalho pretende avançar na direção de uma maior compreensão do processo de fundição sobre pressão *Squeeze casting* aplicado a ligas de Al-Mg, bem como dos parâmetros operacionais de solidificação e suas influências sobre a estrutura do material fundido. Através da fundição sob pressão, será avaliado o comportamento macro e microestrutural da liga Al-7%Mg, solidificada em diferentes condições operacionais.⁽⁹⁻¹⁰⁾

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Material

O material utilizado neste estudo foi a uma liga de alumínio 7% em massa de magnésio. A classificação ASTM da liga é 535.0: GM70B,⁽¹¹⁾ esta liga atinge o máximo das suas propriedades mecânicas usando-se apenas conformação plástica, não sendo necessário dessa forma o uso de tratamento térmico.⁽¹¹⁾ A liga Al-7%Mg geralmente é usada como parte de dispositivos de computadores, aeronaves, sistema de orientação de mísseis e em equipamentos elétricos onde estabilidade dimensional é requerida. A liga foi obtida por fundição, onde o alumínio foi submetido a uma temperatura de 750°C por 2,5 horas, em seguida foi adicionado o magnésio, a composição da liga foi determinada em função de seu diagrama de fases e confirmada através de análise química, bem como utilização de sua curva de resfriamento, obtida com o auxílio de um registrador de temperatura de seis canais com interface digital, posteriormente as curvas foram comparadas com a *temperatura liquidus* da liga em relação ao diagrama de fases Al-Mg.⁽¹²⁾

2.2 Parâmetros do Processo

Para a realização do experimento utilizou-se uma lingoteira de aço ASTM1045 com as seguintes dimensões: diâmetro externo 115 mm, diâmetro interno 55 mm e altura 145 mm, conforme mostra a Figura 1. A lingoteira foi pré aquecida a uma temperatura de 300°C, o metal líquido foi vazado a 720°C, para o punção adotou-se 90°C de temperatura. O tempo de pressão aplicado logo a após o vazamento do metal na lingoteira foi de 30 s. Para exercer a pressão necessária ao processo utilizou-se uma prensa hidráulica com capacidade máxima de 100 toneladas. O efeito da aplicação da pressão e a variação estrutural da liga foram investigados.

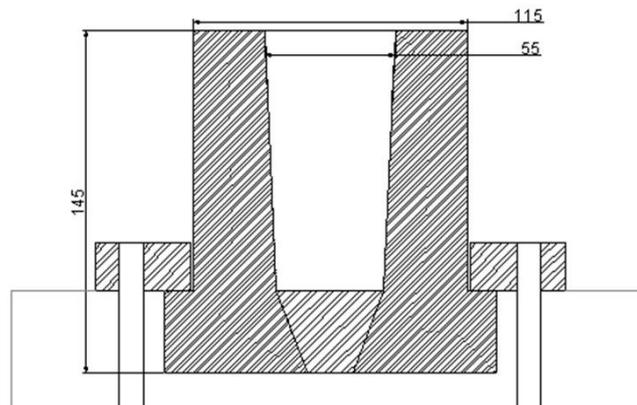


Figura 1. Layout da lingoteira usada na pesquisa.

2.3 Análises Macro e Microestrutural

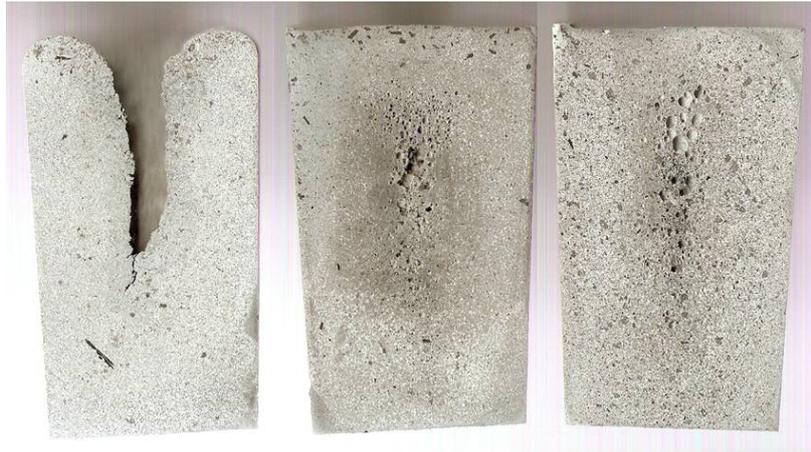
Para investigação os efeitos da pressão foram analisadas as macroestruturas e microestruturas dos lingotes obtidos pelo processo Squeeze Casting. Na análise macroestrutural realizou-se um corte longitudinal no lingote. As amostras lixadas e atacadas com reagente de Keller,⁽²⁾ e em seguida digitalizadas para posterior análise.

As microestruturas foram obtidas de uma região 15 mm abaixo da interface metal/punção nos lingotes. As amostras foram lixadas até a granulométrica de 1.200 mesh, em seguida realizados os procedimentos de polimento e ataque eletrolítico. As imagens das microestruturas foram capturadas através de microscópio ótico com software de análise de imagens e os Espaçamentos Dendriticos Secundários medidos.

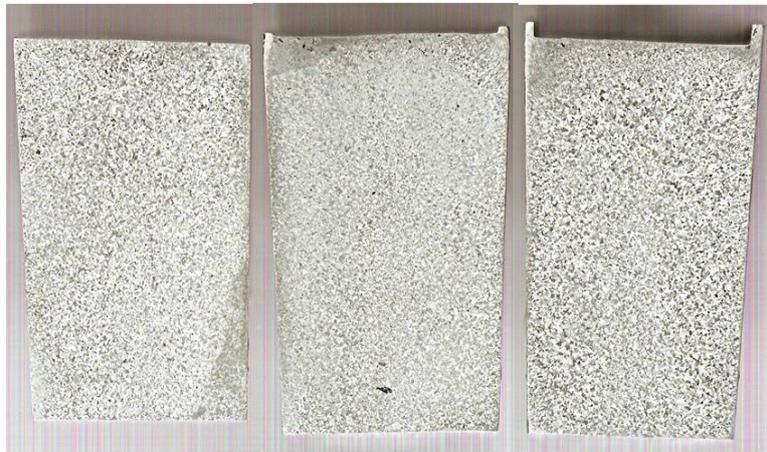
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Macroestruturas

Na Figura 2, podemos observar que as macroestruturas dos lingotes são formadas por grãos equiaxiais bastante refinados que estão distribuídos ao longo de toda a seção longitudinal. Verifica-se que a variável pressão parece não exercer variação no tamanho de grão para as pressões utilizadas neste experimento. Por outro lado a formação de defeitos como macrosegregações, bolhas, erosões e defeitos de *shrinkage*.



(a)



(b)

Figura 2. Macroestrutura da liga Al-7%Mg: a) pressões respectivamente 0,10,20 MPa. b) 40, 80 e 120 MPa. Aumento 1/2X. Ataque de Keller's

As macroestruturas obtidas permitem observar a influência que a variável pressão exerce na diminuição dos defeitos de fundição, ou seja, à medida que se elevam os valores da pressão ocorre o desaparecimento das porosidades, macrosegregações e defeitos de *shrinkage*.

O refino de grão decorrido com o aumento da pressão proporciona um maior coeficiente de transferência de calor, gerado devido à diminuição do *gap* entre o metal e lingoteira (coquilha), favorecendo uma maior área de contato efetiva.⁽¹³⁾

3.2 Microestruturas

A Figura 3 apresenta a evolução microestrutural da liga Al-7%Mg nas condições de sem pressão, 10 MPa, 20 MPa, 40 MPa, 80 MPa e 120 MPa, respectivamente. Observamos que à medida que os valores da pressão se elevam, os espaçamentos dendríticos secundários tendem a diminuir, bem como as porosidades e macrosegregações.

Observa-se na Figura 3a, que para o experimento sem variação de pressão que os EDS ainda não estão bastante definidos quando comparados as situações com variações na pressão, fato explicado em função da diminuição da taxa de resfriamento.⁽¹⁴⁾

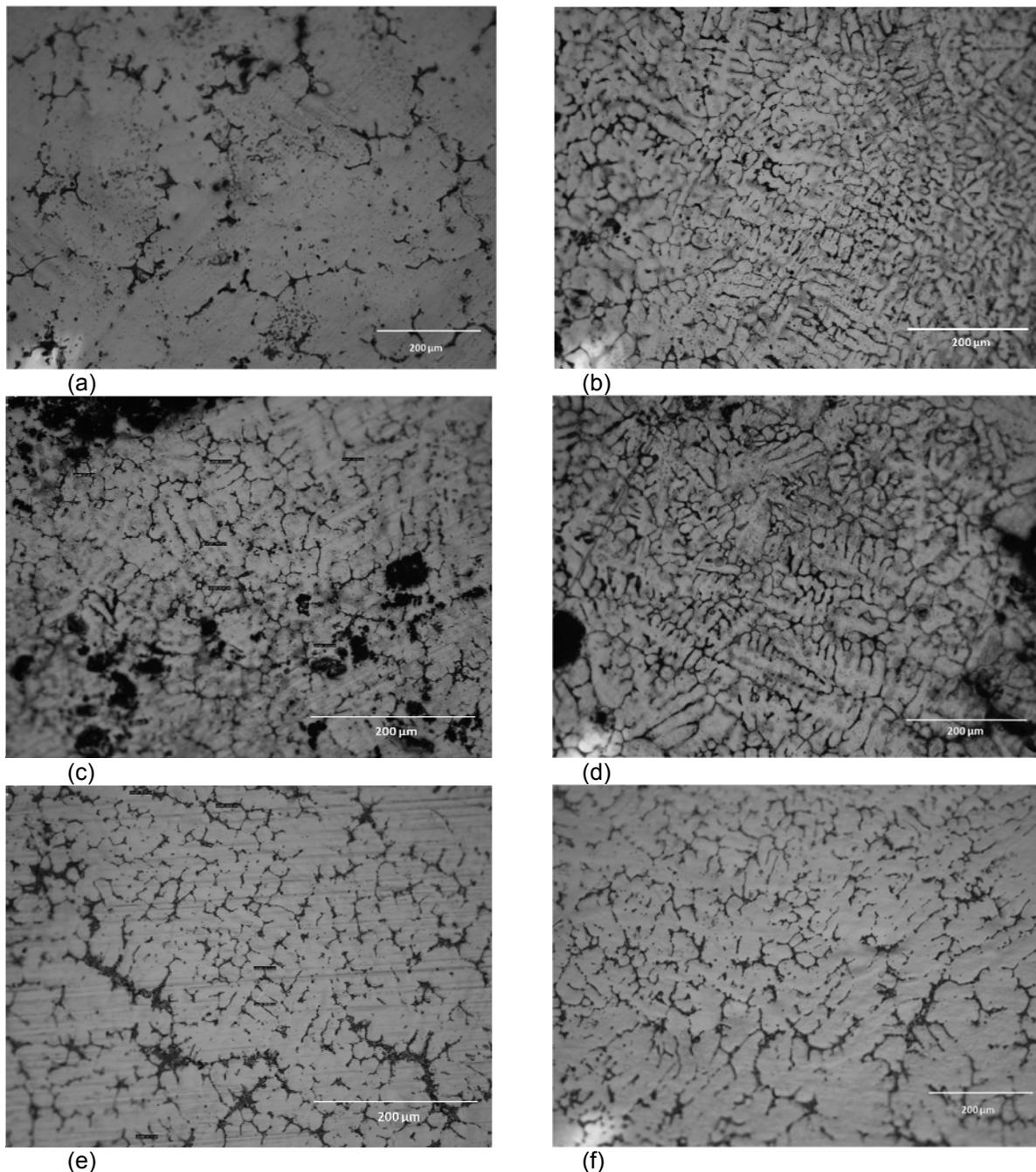


Figura 3. Microestrutura da liga Al-7%Mg: respectivamente pressão ambiente, 10 MPa, 20 MPa, 40 MPa, 80 MPa e 120 MPa. Aumento 200X, ataque eletrolítico.

Os resultados das medidas dos espaçamentos dendríticos secundários estão mostrados no gráfico da Figura 4. Observa-se que à medida que os valores da pressão se elevam há uma diminuição nos espaçamentos dendríticos,^(15,16) como observado na no Gráfico da Figura 4.

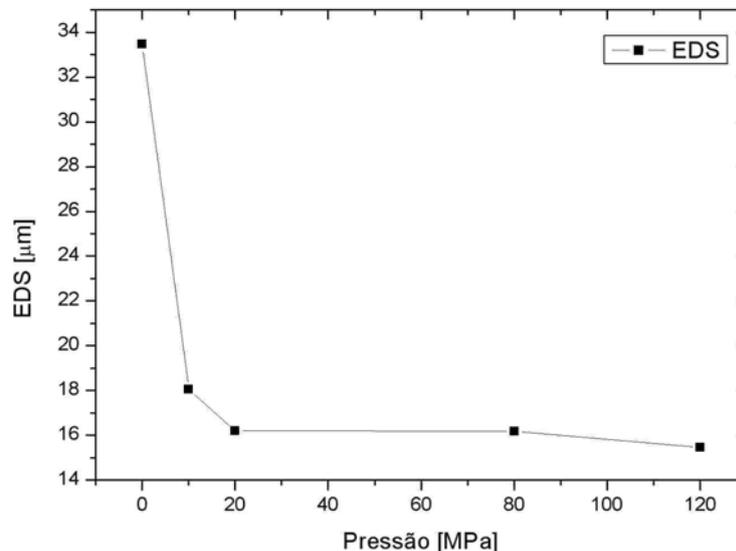


Figura 4. Gráfico do Espaçamento Dendrítico Secundário em função da pressão.

4 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos permitem concluir que o processo *squeeze casting* para a liga Al-7%Mg, causou refino da macroestrutura e redução no EDS, bem como a diminuição ou decréscimo de porosidades e macrossegregações.

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer a Universidade Federal do Pará (UFPA) e CNPQ, pelo suporte financeiro.

REFERÊNCIAS

- 1 FERREIRA, J. M. G. de C., *Tecnologia da Fundição*, Fundação Calouste Gulbenkian, pp. 507-518, 1999.
- 2 HU, H., *Squeeze Casting of Magnesium Alloys and their Composites*, Journal Materials Science. 33, pp. 1579-1589, 1998.
- 3 DORCIC, J. L. and Verma, S. K., *Squeeze Casting*. ASM Handbook, vol 15, "Casting", 9ª edition, pp. 323-327, 1988.
- 4 ROHATGI, P., *Cast Metal-Matrix Composites – squeeze casting*. ASM Handbook, vol 15, "Casting", 9ª edition, pp. 845-847, 1988.
- 5 GARCIA, Amauri. *Solidificação: fundamentos e aplicações*, Campinas, SP. 2001.
- 6 BRITO, C. Cardoso. et al. *Squeeze Casting em ligas Al-Mg*, 18ª Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais. Porto de Galinhas, PE. 2008. Anais Pág. 909-916.
- 7 MALEKI, A. et al. *Effects of squeeze casting parameters on density, macrostructures and hardness of LM 13 alloy*. Materials Science & Engineering. 2006. Pag. 135-140.
- 8 HAJJARI, E. et al. *An investigation on the microstructure and tensile properties of direct squeeze cast and gravity die cast 2024 wrought Al alloy*. Materials and Design. 2008. Pag. 1-5.

- 9 EL-KHAIR Abou MT. *Microstructure characterization and tensile properties of squeeze-cast AlSiMg alloys*. Mater Letters. 2005; 59: 894–900.
- 10 HONG, C. P., Shen, H. F. and Cho, I. S., *Prevention of macrosegregation in squeeze casting of an Al - 4.5 wt pct Cu alloy*, Metallurgical Materials Transactions 29A, pp. 339-349, 1998.
- 11 SKOLIANOS, S. M, et al., *Effect of applied pressure on the microstructure and mechanical properties of squeeze-cast aluminum AA6061 alloy* Materials Science Engineering A231, pp. 17-24, 1997.
- 12 KANICKI, D. P., *Alloy Phase Diagrams*, ASM Handbook, vol 3, "Casting", 9^a edition, pp. 305, 1988.
- 13 W., Kim, D. H, Lee, H. I. and Hong, C. P., *Widmanstätten type solidification in squeeze casting of Mg-Li-Al alloys*, Scripta Materials 38, pp. 923-929, 1998.
- 14 GHOMASHCHI MR and VIKHROV A. *Squeeze casting: an overview*. J. Mater Process Technology 2000; 101:1–9.
- 15 PRAKASAN, K. and Seshan, S., *Microstructure and properties of squeeze cast Cu-carbon fibre metal matrix composite*, Journal Materials Science 34, pp. 5045-5049, 1999.
- 16 COUPARD, D., Goni, J. and Sylvain, J. F., *Fabrication and squeeze casting infiltration of graphite/alumina preforms*, Journal Materials Science. 34, pp. 5307-5313, 1999.