

INVESTIGAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DA LIGA A319 EM FUNÇÃO DA VARIAÇÃO DOS TEORES DE MAGNÉSIO, TITÂNIO E ESTRÔNCIO

Adriene Anita dos Santos Pimenta, adrieneanita@gmail.com^{1,2}

Rafael Melo Guimarães, rafaelmelog@hotmail.com¹

Elaine Carballo Siqueira Corrêa, elaine@deii.cefetmg.br¹

Wellington Lopes, wellingtonlopes@deii.cefetmg.br¹

¹ Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - CEFET, Campus I, Av. Amazonas, 5253 - Nova Suíssa, Belo Horizonte - MG, 30421-169

² Nemak Alumínio do Brasil Ltda., R. Sen. Geovane Agnelli, 580 - Distrito Indl. Paulo Camilo Penna, Betim - MG, 32530-487

Resumo: As propriedades mecânicas dos materiais metálicos dependem de diversos parâmetros, tais como a composição química e o estado inicial do material. Considerando essa abordagem este trabalho apresenta o estudo do comportamento mecânico da liga de alumínio A319 após a variação da composição química em termos dos teores de Mg (0,30% para 0,55%, em peso), Ti (0,04% para 0,22%, em peso) e Sr (0,0070% para 0,0200%, em peso) a partir do controle da adição isolada e combinada desses elementos químicos. Em seguida, fez-se a comparação das propriedades mecânicas com o estado inicial dessa liga com uso de ensaio de tração e de dureza Brinell. Os resultados indicaram que a adição de Ti foi responsável pela maior variação das propriedades mecânicas, sendo observado ainda a ausência de influência da adição do Sr na modificação do agregado eutético da liga A319.

Palavras-chave: Liga Al-Si A319, propriedades mecânicas, composição química

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos a indústria automotiva tem aumentando a demanda por componentes de alumínio para produzir veículos mais leves e com baixo consumo de combustível (Davis, 2007). A liga de Al-Si A319 é uma das mais utilizadas para a fabricação de componentes automotivos no mundo, pois apresenta excelente fundibilidade, resistência a corrosão e boa resistência mecânica (Shabani et al., 2010).

A composição química nominal da liga A319 é, em % em peso, Si 6,5 a 8,0; Fe Máx. 0,8; Cu 3,0 a 4,0; Mn Máx. 0,5; Mg 0,3, Zn Máx. 0,8, Ti Máx. 0,25; Pb Máx. 0,10; Ni Máx. 0,30; Outros (total) máx. 0,50. Cada elemento exerce influências sobre o alumínio que podem ser benéficas ou prejudiciais dependendo dos teores e das reações entre eles. Segundo Davis (2007) o magnésio é um elemento base para aumentar a dureza e resistência mecânica das ligas Al-Si quando submetidas ao tratamento térmico. Segundo Rana et al. (2012) e Shabani et al. (2010) adições de titânio na liga de Al-Si A319 produz o refinamento dos grãos de alumínio, aumentando a resistência a trincas à quente e a resistência mecânica da liga. Adições de estrôncio promovem a modificação da morfologia do agregado eutético, transformando as plaquetas grosseiras do agregado em finas partículas e com isso aumentando a resistência mecânica e a ductilidade do material (Rana et al., 2012).

Considerando estes aspectos este estudo teve como objetivo investigar a influência dos teores de Mg, Ti e Sr no comportamento mecânico de um cabeçote de alumínio produzido com a liga A319 no estado bruto de fundição e no estado tratado termicamente (Condição T7).

2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

A composição química da liga Al-Si A319 usada neste estudo está demonstrada na Tab. (1). A liga Al-Si A319 utilizada foi proveniente da fusão de lingotes secundários e massalotes desta mesma liga fundidos em torre fusora a gás e mantida em fornos de espera a 730°C. Foram adicionados separadamente na liga lingotes de magnésio 98%, AlTi10 e AlSr10. A concentração do Mg, Ti e Sr adicionados a liga Al-Si A319 está demonstrada na Tab. (2). A liga foi degaseificada e limpa de inclusões de óxido utilizando-se rotor rotativo com o gás nitrogênio. A liga Al-Si A319 foi vazada em moldes metálicos pré-aquecidos a temperatura de 220 °C e confeccionou o componente automotivo utilizado neste estudo, um cabeçote automotivo. Durante a confecção dos componentes foram realizados ensaios para verificar a densidade da liga, o nível de óxido da liga, a temperatura da liga e do molde, todos foram controlado e são comuns a todos os experimentos. Foram realizados estudos da influência dos teores de Mg, Ti e Sr na liga no estado bruto de fundição e no estado tratado termicamente T7 (solubilizado à 485±25 °C por 4 horas e sobreenvelhido à 220±10 °C por 2 horas). A liga 1 é a liga original a partir do qual se fez as comparações com as demais.

Tabela 1. Composição química média da liga Al-Si A319 (Valores % em peso). Valores médios obtidos em 20 ensaios.

Elemento	Si	Fe	Cu	Mn	Zn	Pb	Ni
	7,37	0,63	3,37	0,35	0,43	0,03	0,03

Tabela 2. Detalhes das concentrações de Ti, Mg e Sr. (Valores % em peso). Valores médios obtidos em 4 ensaios.

Liga	Mg	Ti	Sr
1 (A319 original)	0,32	0,04	0,0078
2 (A319+Mg)	0,54	0,04	0,0077
3 (A319+Ti)	0,35	0,25	0,0090
4 (A319+Sr)	0,34	0,04	0,0218
5 (A319+Mg+Ti+Sr)	0,58	0,21	0,0194

Amostras para os ensaios metalográficos e mecânicos foram retirados na região assinalada do componente analisado, conforme Fig. (1). As amostras para o ensaio metalográfico foram atacados com solução aquosa de HF 0,5% e solução aquosa de H₂SO₄ 20% a 80 °C. Para revelação dos tamanhos de grão foi usado o reativo Keller solução composta de 10 ml de HF, 15 ml de HCl, 25 ml de HNO₃ e 50 ml de água destilada, sendo os ensaios realizados em microscópio óptico e microscópio eletrônico de varredura. Os ensaios de tração foram realizados conforme ASTM E8/E8M. Todos os ensaios de tração foram realizados a uma taxa de deformação de 2,10 mm/min utilizando máquina de ensaios universais com célula de carga de 100 KN à temperatura ambiente. Os ensaios de dureza Brinell foram realizados em durômetro de bancada Brinell com carga de 250 Kgf, esfera de 5 mm e tempo de indentação de 15 segundos, foram realizadas dez medições de dureza para cada condição estudada.

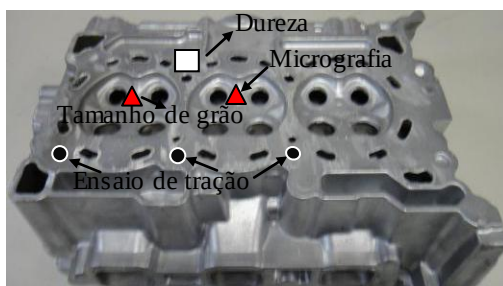


Figura 1. Localização das amostras retiradas do componente analisado.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Análise Microestrutural

As microestruturas da liga Al-Si A319 no estado bruto de fundição e no estado tratado termicamente estão na Fig. (2). Em todas as amostras observou-se a presença de silício eutético, indicando o nível de modificação AFS 4, apesar de as amostras apresentarem diferentes teores de Sr.

Há em todas as amostras compostos de ferro β (Al₅FeSi). No entanto, nas amostras das ligas 5 estes se destacam por se apresentar de forma mais grosseira, conforme pode ser visto na Fig. (3). Esses compostos intermetálicos de ferro podem comprometer as propriedades mecânicas do material como observado por Hwang et al., (2008).

Em todas as amostras nota-se a presença do composto (Al₂Cu) que segundo Furlan (2014) aumenta o limite de resistência à tração e o limite de escoamento ao mesmo tempo que diminui a ductilidade e a resistência à fratura, principalmente durante o tratamento térmico quando ocorre a transformação do precipitado semi-coerente (Al₂Cu) para o precipitado incoerente (Al₂Cu), a combinação do cobre e magnésio ainda favorece a formação de intermetálicos do tipo Al₈Mg₃FeSi₆, Mg₂Si e Al₅Mg₈Si₆Cu os quais contribuem para o aumento da resistência mecânica.

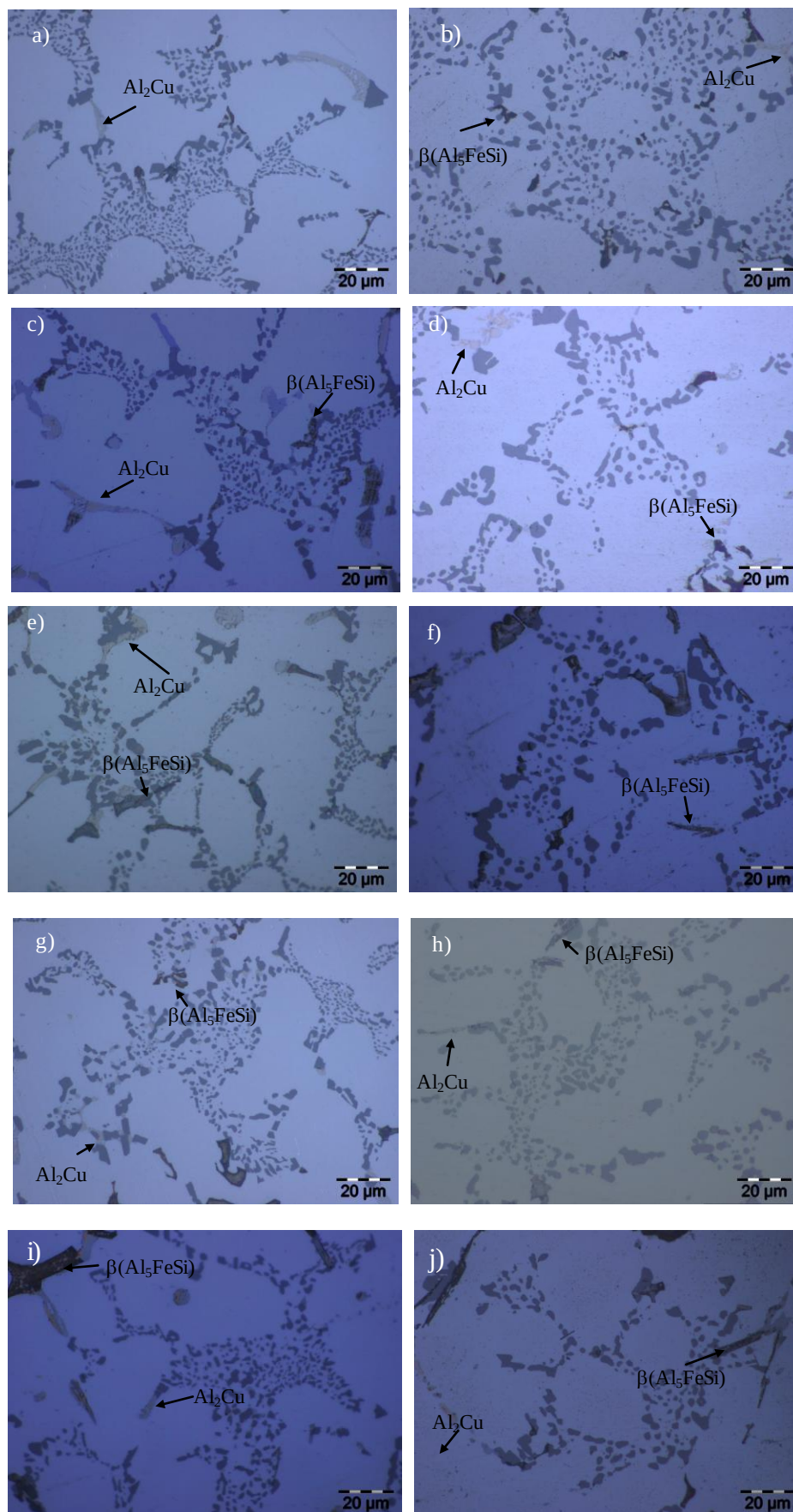


Figura 2. Fotomicrografias da Liga 1 a) no estado bruto de fundição e b) na condição T7; Liga 2 c) no estado bruto de fundição e d) na condição T7; Liga 3 e) no estado bruto de fundição e f) na condição T7; Liga 4 g) no estado bruto de fundição e h) na condição T7 e Liga 5 i) no estado bruto de fundição e j) na condição T7

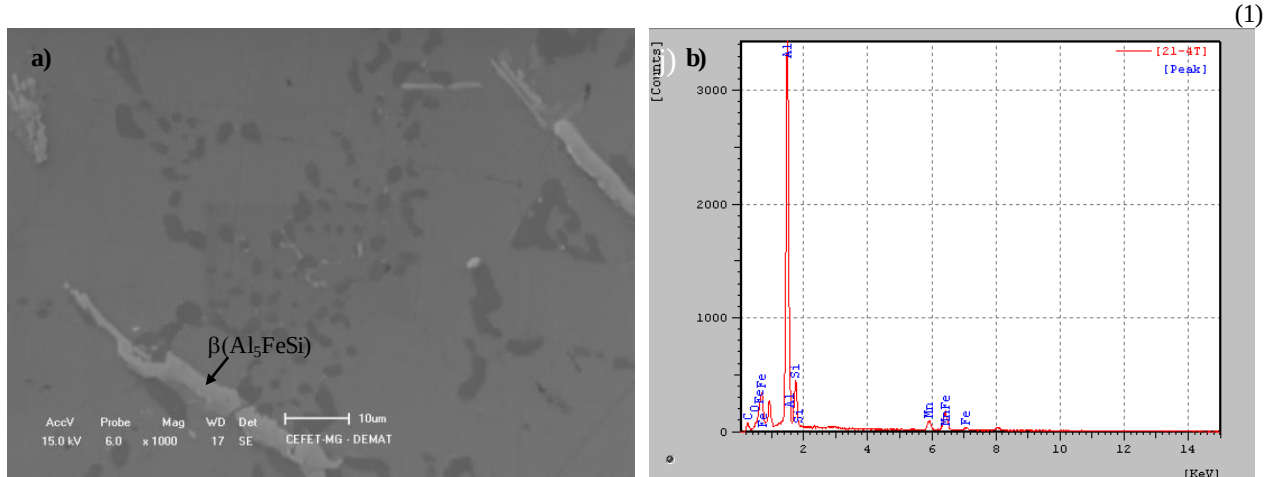


Figura 3.a) Fotomicrografia da Liga 5 tratada termicamente, destacando os compostos agulhados de ferro $\beta(\text{Al}_5\text{FeSi})$ e b.) espectrograma da microanálise por EDS efetuada neste composto.

3.2. Tamanho de Grão

Foram realizadas cinco medições do tamanho de grão ASTM em cada uma das amostras estudadas, utilizando o método do intercepto linear conforme ASTM E112-13. Os resultados são apresentados na Fig. (4). As ligas 3 e 4 que foram refinadas com o Ti apresentaram o número de tamanho de grão ASTM maior em relação as ligas não refinadas, liga 1, liga 2 e liga 4. As ligas quando tratadas diminuem o número do tamanho de grão em média 10%.

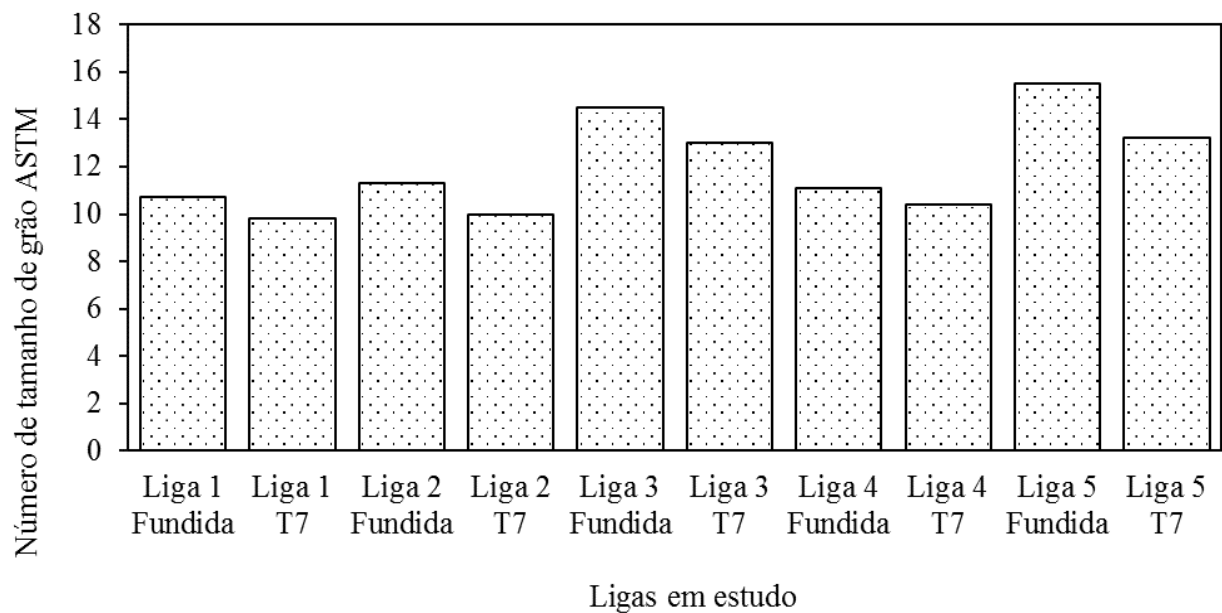


Figura 4. Medições do número de tamanho de grão ASTM nas ligas estudadas.

3.3. Ensaio Mecânicos

Nas ligas no estado bruto de fundição a adição dos elementos magnésio, titânio e estrôncio não ocasionou mudanças significativas nas propriedades mecânicas, sendo detectado o mesmo valor de dureza Brinell média. Já as amostras no estado tratado termicamente (Condição T7) os efeitos dos elementos são facilmente observados conforme exibido nas Fig. (5), Fig. (6) e Fig. (7) e Tab. (3).

Segundo Araújo (2012), adições de magnésio tomam as ligas endurecíveis por meio de tratamentos térmicos, elevando sua resistência mecânica, no trabalho desenvolvido por Medrano et al., (2007) o pico da resistência mecânica da liga Al-Si A319 ocorre quando o tratamento de envelhecimento térmico ocorre a temperatura de 150 °C por 4 horas e

a temperatura de 220°C por 4 horas como a ocorrida neste trabalho ocorre somente um ligeiro aumento na resistência mecânica.

A liga 3, tratada termicamente, no qual somente o elemento titânio foi adicionado, apresentou um aumento no valor do limite de resistência a tração (LRT) de 297 MPa para 306 MPa, no limite de escoamento a 0,2% ($Le_{0,2\%}$) de 253 MPa para 285 MPa e na dureza Brinell de 123 HBW 5/250 para 130 HBW 5/250. Já o alongamento uniforme exibiu um decréscimo de 1,44% para 0,84%, quando comparado com o apresentado pela liga 1 tratada termicamente (liga padrão), confirmando que as ligas refinadas tendem a aumentar a resistência mecânica. No entanto, na liga 5 também refinada com titânio, a qual apresenta uma distância média do grão de 341 μm e tamanho do grão ASTM 13,2, foi observado um decréscimo nos valores LRT de 297 MPa para 277 MPa, no $Le_{0,2\%}$ de 253 MPa para 251 MPa e na dureza Brinell de 123 HBW 5/250 para 111 HBW 5/250 quando comparada a liga 1 tratada termicamente (liga padrão), devido principalmente a presença de compostos do composto agulhado de ferro $\beta(\text{Al}_5\text{FeSi})$.

Nas ligas 2, 3, 4 e 5 a adição dos elementos Mg, Ti e Sr reduziu a ductilidade, principalmente na liga no qual o teor de Sr foi adicionado, ligas 4 e 5.

Tabela 3. Resultados dos ensaios mecânicos realizados nas ligas estudadas no estado bruto de fundição e tratado termicamente (Condição T7). Valores médios obtidos em 3 ensaios.

Liga	Condição da amostra	$Le_{(0,2\%)}$ (MPa)	LRT (MPa)	Brinell (HBW 5/250)	A_u (%)
1	Estado bruto de fundição	144±1	214±1	92±2	1,89±0,03
2	Estado bruto de fundição	129±13	211±9	92±4	1,83±0,18
3	Estado bruto de fundição	141±6	213±3	93±2	1,92±0,14
4	Estado bruto de fundição	143±7	190±8	91±3	1,08±0,16
5	Estado bruto de fundição	146±4	205±3	92±2	1,32±0,11
1	Condição T7	253±2	297±3	106±3	1,44±0,12
2	Condição T7	261±17	282±15	106±4	0,89±0,34
3	Condição T7	285±9	306±13	116±4	0,84±0,11
4	Condição T7	274±4	288±6	113±5	0,75±0,16
5	Condição T7	251±14	277±15	110±5	0,90±0,11

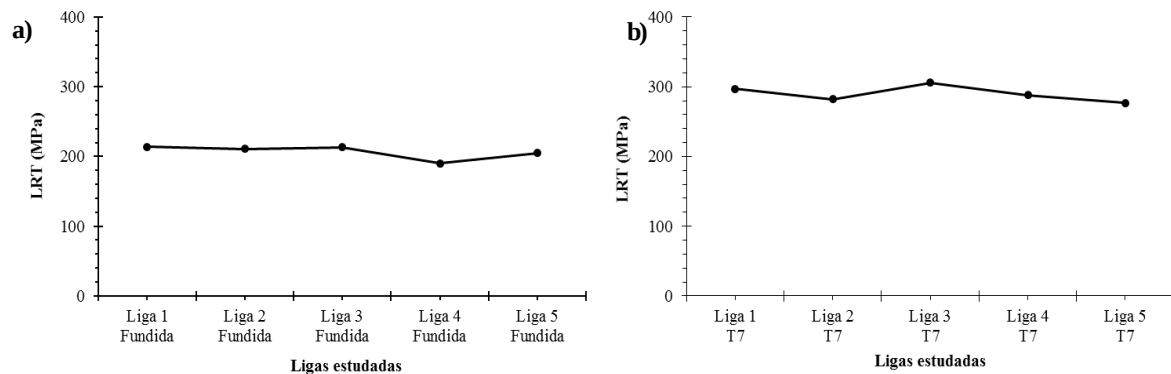


Figura 5.a) Resultados do limite de resistência (LRT) nas ligas estudadas no estado bruto de fundição e b) resultados do limite de resistência (LRT) nas ligas estudadas no estado tratado termicamente.

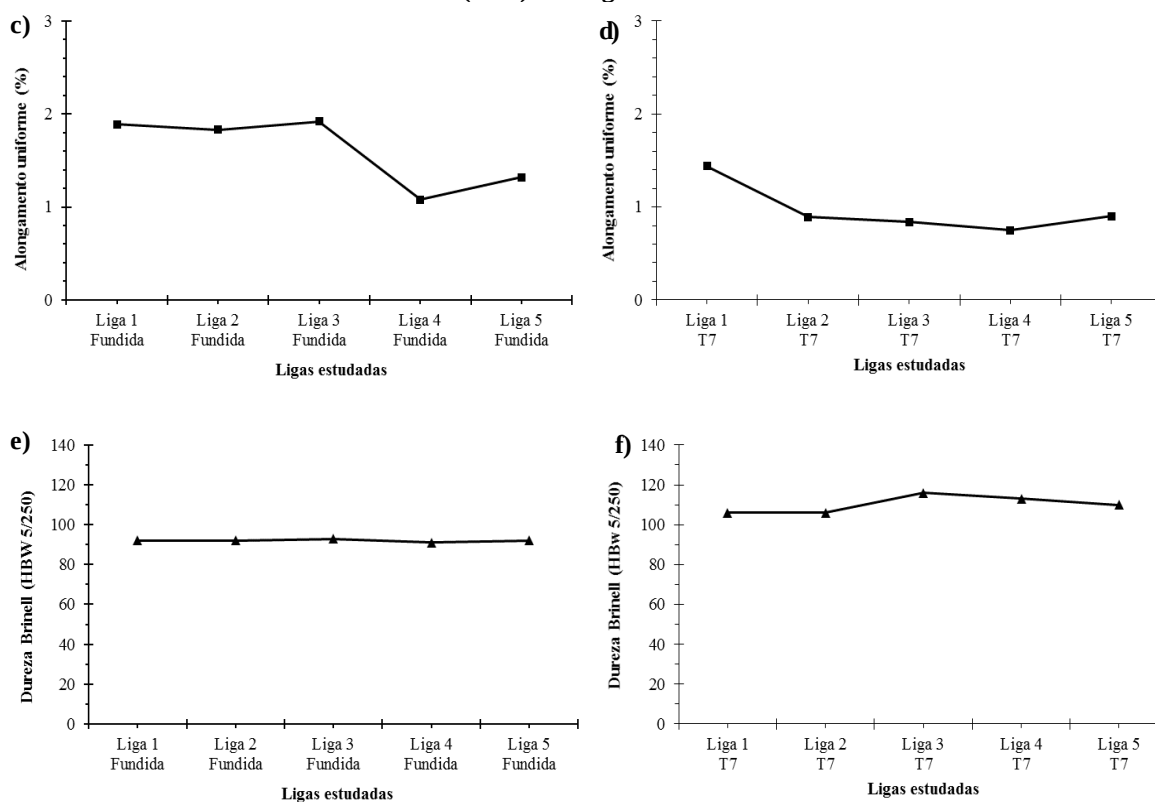


Figura 5.c) Resultados alongamento uniforme (A_u) nas ligas estudadas no estado bruto de fundição; d) resultados alongamento uniforme (A_u) nas ligas estudadas no estado tratado termicamente; e) resultados da dureza Brinell (HBW 5/250) nas ligas estudadas no estado bruto de fundição e f) resultados da dureza Brinell (HBW 5/250) nas ligas estudadas no estado tratado termicamente.

4. CONCLUSÕES

O efeito da alteração dos teores de magnésio, titânio e estrôncio no comportamento mecânico, na microestrutura e no tamanho de grão da liga Al-Si A319 foi estudada neste trabalho. As seguintes conclusões foram tiradas:

- 1) A alteração da faixa de trabalho de estrôncio de 0,0070 para 0,0200 não altera o nível de modificação AFS do agregado eutético.
- 2) A $\beta(\text{Al}_5\text{FeSi})$ causa um decréscimo na resistência a tração, ductilidade e dureza da liga.
- 3) A adição de titânio a liga Al-Si A319 diminui o tamanho dos grãos.
- 4) As ligas com alterações no teor de Mg, Ti, Sr e Mg+Ti+Sr no estado bruto de fundição não apresentam aumento na resposta ao comportamento mecânico significativo.

- 5) A liga com adição somente do elemento titânio apresenta a melhor resposta ao comportamento mecânico, quando submetida ao tratamento térmico T7.
- 6) A liga com Mg+Ti+Sr tratada termicamente não apresenta uma boa resposta ao comportamento mecânico.
- 7) A liga com Sr diminuiu a ductilidade da liga original.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao suporte e facilidades proporcionadas pela Nemark Alumínio do Brasil Ltda. e sua equipe que fez com que este trabalho fosse possível, em especial ao Sr. Roberto Dutto. Agradecemos também a toda equipe do CEFET-MG pelo suporte com os ensaios microestruturais no MEV e os ensaios mecânicos.

6. REFERÊNCIAS

- Araújo, S.K. Efeito da modificação com estrôncio na microestrutura e nas propriedades mecânicas da liga 356. 2012. 75f. Dissertação (Mestrado) - Mestrado em Engenharia e Ciências de Materiais, Universidade do Estado de Santa Catarina, Joinville, 2012.
- ASTM. E8/E8M – 15a: Standard test methods for tension testing of metallic materials. United States, 2015.
- ASTM. E112-13: Standard test methods for determining average grain size. United States, 2014.
- Davis, J.R. Aluminum and aluminum alloys. 6 ed. Ohio: ASM International, 2007. 784p.
- Furlan, T.S. Estudo do efeito do tratamento térmico e da adição de zircônio, vanádio, titânio e manganês nas propriedades mecânicas de uma liga Al12SiCuMgNi para aplicação em altas temperatura. 2014. 165p. Tese (Doutorado) - Mestrado em Engenharia e Ciências de Materiais, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais. São Paulo, 2014.
- Hwang J.Y.; Banerjee, R.; Doty, H.W.; Kaufman, M. J. The effect of Mg on the structure and properties of type 319 aluminum casting alloys. Acta Materialia, n. 57, p.1308-1317, Dec 2008.
- Medrano, F.J.T. et al. Effect of Mg and Sr-modification on the mechanical properties of 319-type aluminum cast alloys subjected to artificial aging. Materials science and engineering A, v. 480, p.356-364, Sep, 2007.
- Rana, R. S.; Purohit R.; DAS, S. Reviews on the influences of alloying elements on the microstructure and mechanical properties of aluminum alloys and aluminum alloy composites. International journal of scientific and research publications, India, v. 2, n. 6, Jun 2012.
- Shabani, M.J.; Emany, M.; Nemati, N. Effect of grain refinement on the microstructure and tensile properties of thin 319 Al castings. Materials & Design, Iran, v.32, Jun 2011, pp. 1542-1547.

7. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

STUDY INFLUENCE OF MAGNESIUM, TITANIUM AND STRONTIUM CONTENTS ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF A319 TYPE ALUMINUM CAST ALLOY

Adriene Anita dos Santos Pimenta, adrieneanita@gmail.com^{1,2}

Rafael Melo Guimarães, rafaelmelog@hotmail.com¹

Elaine Carballo Siqueira Corrêa, elaine@deii.cefetmg.br¹

Wellington Lopes, wellingtonlopes@deii.cefetmg.br¹

¹Federal Center of Technological Education of Minas Gerais, Av. Amazonas, 5253 Nova Suíça, Belo Horizonte/MG, CEP: 30421-169

²Nemak Alumínio do Brasil Ltda., R. Sen. Geovane Agnelli, 580 - Distrito Indl. Paulo Camilo Penna, Betim - MG, 32530-487

Abstract: *The mechanical properties of metallic materials depend on several parameters such as the initial state and the chemical composition. Considering this aspect, this work presents the study of mechanical behavior of A319 aluminum alloy after changes in the chemical composition of Mg (0.30% to 0.55% weight percent), Ti (0.04% to 0.22%, weight percent) and Sr (0.0070% to 0.020%, weight percent) contents processed by isolated or combined methods. The mechanical properties of A319 alloy were analyzed by tension and Brinell hardness tests and compared with the initial condition of this alloy. The results indicated that the mechanical properties were mainly modified by the Ti contents and no influence of Sr contents on the eutectic aggregate was notified.*

Key-words: Al-Si A319 alloy, mechanical properties and chemical composition.