

Estudo e caracterização da liga de alumínio 319 obtida pelo processo de conformação por spray

Study and characterization of the 319 aluminium alloy processed by spray-forming

RESUMO

Helena Ceciliato Azambuja
helenaceciliato@hotmail.com
Universidade Tecnológica Federal
do Paraná, Londrina, Paraná, Brasil

Marcio Andreato B Mendes
marciomendes@utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal
do Paraná, Londrina, Paraná, Brasil

A utilização das ligas de alumínio recicladas apresenta inúmeros benefícios econômicos e ambientais, e vem se tornando cada vez mais recorrente. Entretanto, são necessários diferentes procedimentos que otimizem as propriedades mecânicas da liga, que são prejudicadas devido às impurezas adquiridas na reciclagem. O objetivo principal desse projeto foi estudar a influência de tratamentos térmicos de solubilização na liga de alumínio 319. Para isso, foi realizado um levantamento teórico dos trabalhos publicados sobre esse assunto, e com base nessa pesquisa, foi proposto um plano de tratamentos térmicos visando a obtenção de melhores propriedades mecânicas e de resistência a corrosão. Para testar os tratamentos sugeridos, foram obtidas amostras da liga 319 de duas formas: 1. do bloco de motor automotivo, e 2. processada por conformação por spray mais forjamento rotativo. A influência dos tratamentos na estrutura e nas propriedades da liga será estudado na próxima etapa da iniciação científica.

Recebido: 19 ago. 2020.

Aprovado: 01 out. 2020.

Direito autoral: Este trabalho está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.



PALAVRAS-CHAVE: Ligas de alumínio. Liga 319. Tratamento de solubilização.

ABSTRACT

The use of recycled aluminum alloys has numerous economic and environmental benefits, and it is becoming increasingly recurrent. However, different procedures are necessary to optimize the mechanical properties of these alloys, that are harmed due to impurities acquired during the recycling process. The main aim of this project was to study the influence of solubilization heat treatment in the 319 alloy. Therefore, a theoretical research about this topic was performed, and based on this survey a new heat treatment plan was proposed - aiming at the improvement of the mechanical properties and the corrosion resistance of the alloy. In order to test the suggested treatments, samples of 319 alloy were obtained in two ways: 1. from the automotive engine block, and 2. processed by spray-forming and rotary swaging. The influence of these heat treatments in the alloy structure and properties will be analyzed in the next step of this study.

KEYWORDS: Aluminum alloys. 319 alloy. Solubilization treatment.

INTRODUÇÃO

Devido à enorme versatilidade e ampla gama de composições, as ligas de alumínio são muito utilizadas na indústria atual – desde o campo minucioso da nanotecnologia ao campo das grandiosas aeronaves. As ligas são obtidas pela reação com elementos como o cobre, zinco, manganês, silicone, magnésio, ferro, etc., que acabam atribuindo novas propriedades ao alumínio (SANTOS *et al.*, 2016).

Em relação às classificações, as ligas de alumínio foram inicialmente divididas em ligas para trabalho mecânico e ligas para fundição. As ligas trabalhadas são as peças semi-acabadas que foram submetidas a processos como extrusão, laminação, forjamento e estiramento. As ligas fundidas são aquelas que não sofreram deformação plástica, e possuem características que favorecem a fundição e solidificação - um baixo ponto de fusão, uma boa fluidez e um bom acabamento superficial (FREITAS, 2009; KAUFMAN, 2004).

Buscando alternativas que reduzam o impacto ambiental e econômico, a reciclagem dessas ligas (conhecidas como secundárias) é uma ótima opção. No entanto, durante esse processo, algumas substâncias acabam incorporadas no material na forma de impurezas, o que deprecia suas propriedades mecânicas. Tal como a liga secundária 319, muito relevante nessa área de fundição, que acaba sendo contaminada com ferro e torna-se frágil e inapropriada para diversas aplicações.

Com o intuito de amenizar esse impasse, são estudadas novas rotas de processamento e diferentes tratamentos térmicos que possibilitem uma melhor ductilidade e aumentem a resistência mecânica das ligas recicladas. Nesse contexto, uma das possibilidades é a de conformação por spray (*spray-forming*) seguido do forjamento rotativo (*rotary swaging*). Além desse processo, é necessário que a peça sofra tratamentos térmicos, como a solubilização e o envelhecimento, a fim de ser obtida uma microestrutura satisfatória.

Assim, o presente projeto foi elaborado buscando uma otimização das ligas secundárias, fazendo com que elas possam competir com as ligas primárias após sua reciclagem. Em vista disso, neste trabalho foram obtidas ligas Al 319 processadas por conformação por spray seguido por forjamento rotativo para serem analisados os efeitos de tratamentos térmicos nas suas propriedades. Assim, foi realizado um levantamento teórico dos últimos trabalhos publicados acerca dos tratamentos térmicos e estruturas formadas nessa liga e, baseado nessa pesquisa, foi proposto tratamentos térmicos visando a obtenção de melhores propriedades mecânicas e da resistência a corrosão.

MATERIAIS E MÉTODOS

O material de estudo foi a liga secundária de alumínio 319 – com uma composição de 5,5 - 6,5 %p Si, 3 - 4 %p Cu, máximo de 1%p Fe (além de Mn, Mg e Zn que podem estar presentes em pequenas quantidades), Al balanço. A metodologia executada foi:

1. Obtenção das amostras de Al 319:
 - a. Amostra de material de um motor de carro após sua vida de uso;

b. Amostra dessa liga processada conformação por spray e forjamento rotativo.

2. Levantamento teórico acerca os tratamentos térmicos realizados na liga 319 para traçar um plano de tratamento térmico visando a obtenção de melhores propriedades.

Inicialmente foram propostas também a realização dos tratamentos térmicos e metalografia, mas não foram concluídas devido ao fechamento dos laboratórios durante a pandemia de COVID.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

OBTENÇÃO E CORTE DAS AMOSTRAS

Na Figura 1, são exibidas as amostras da liga 319 cortadas de um motor à combustão automotivo. Na Figura 2 são mostradas as amostras processadas por conformação por spray e posteriormente conformadas por forjamento rotativo, com diferentes porcentagens de Fe. Essas peças ainda serão tratadas termicamente e analisadas por metalografia.

Figura 1 – Liga 319 removida do motor à combustão de um carro.

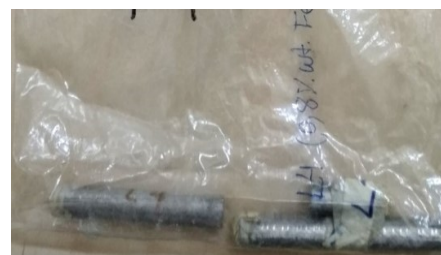


Fonte: Autoria própria (2020).

Figura 2 – Amostras pré-cortadas das ligas Al 319 processadas por conformação por spray e forjamento rotativo com: (a) 0,65% Fe; (b) 0,80% Fe; (c) 1,2% Fe; (d) 1,5% Fe.



(a)



(b)



(c)



(d)

Fonte: Autoria própria (2020).

CARACTERÍSTICAS E TRATAMENTOS TÉRMICOS DA LIGA AL 319

As ligas da família 3XX.X são aquelas que contêm em sua composição o silício, juntamente com adições de magnésio e/ou cobre. Essas ligas são muito utilizadas na indústria de fundição, em razão do baixo custo da matéria prima, da boa fundibilidade, da baixa densidade e da ótima resistência à corrosão.

O principal elemento de liga do grupo 3XX.X - o silício - atua no aprimoramento da fluidez do alumínio líquido, na diminuição da porosidade, e ainda reduz a tendência às trincas de solidificação. Entretanto, esse elemento acaba diminuindo a usinabilidade do material, pois se junta com impurezas e acaba formando fases insolúveis complexas (FERRARINI, 2005; KAUFMAN, 2004). Para amenizar esse problema, as ligas desse grupo também contêm o cobre e o magnésio em sua composição, com a função de melhorar a resistência mecânica do material. Como por exemplo, o Mg combinado com o Si forma precipitados endurecedores (Mg_2Si) quando a liga é tratada termicamente, conferindo uma maior dureza à peça (FERRARINI, 2005).

Dentre as ligas fundidas de alumínio que combinam silício e cobre, existe a 319 – formada a partir de um processo de reciclagem- e por isso normalmente apresenta o ferro como impureza. Esse elemento forma intermetálicos grosseiros, como o composto agulhado $\beta-Al_5FeSi$, que agem como concentradores de tensão e pontos iniciadores de trincas. Ainda, esse composto intermetálico pode influenciar no aumento de porosidade, pois atua como local de nucleação e crescimento dos poros (DAVIS, 2007; PIMENTA, 2017; PUNCREOBUTR *et al*, 2014).

Com o intuito de aprimorar as propriedades mecânicas da liga 319 (até então limitada a fundição), rotas de processamento alternativas foram experimentadas. A técnica de conformação por spray possibilitou que ela sofresse uma conformação mecânica por forjamento rotativo (*rotary swaging* - RS). E ao final desse processo, os exames indicaram que a microestrutura apresentava grãos de alumínio não-equiaxiais e uma fragmentação das partículas secundárias. Além disso, foi obtido um maior alongamento por deformação plástica quando comparado aos valores que estão na literatura (em torno de 0 a 2%) (FREITAS *et al*, 2019).

Todavia, para alcançar um alongamento ainda maior, foram realizados tratamentos térmicos capazes de globulizar as partículas de silício, que estavam atuando como concentradores de tensão e influenciando a deformação da liga. Foi escolhido inicialmente o tratamento T6 de precipitação (6 horas a 500°C seguido de um envelhecimento por 8 horas a 150°C). Com isso, foram obtidos resultados promissores nas propriedades mecânicas da liga 319: 273 MPa de limite de escoamento, 347 Mpa de LRT e sem redução no alongamento (FREITAS *et al*, 2019). Outro estudo mostrou que aumentando o tempo de tratamento para 30 h, obteve-se, em média, 160 Mpa de limite de escoamento, 300 MPa de LRT e uma elongação de 16% (FREITAS *et al*, 2020). Essa grande elongação foi possível devido ao silício que globulizou e as partículas grosseiras agulhadas de Al_2Cu nos contornos de grão foram reduzidas, fazendo com que a deformação pudesse ser ainda maior.

Os resultados mostraram que a liga de alumínio 319 que foi submetida a rota de processamento de conformação por spray, forjamento rotativo e tratamentos térmicos, obteve propriedades mecânicas e microestruturais similares às ligas muito superiores e mais caras, viabilizando essa rota de processamento.

PROPOSTA DE TRATAMENTO TÉRMICO PARA A LIGA AL 319

De acordo com a revisão bibliográfica realizada, espera-se que ocorra uma mudança positiva nas propriedades aumentando-se o tempo de tratamento. No trabalho publicado que conseguiu um alto alongamento (FREITAS *et al*, 2020), a estrutura do alumínio ainda possui algumas estruturas agulhadas que precisam ser reduzidas e/ou eliminadas. Em vista disso, foi proposto nesse trabalho de IC os seguintes tratamentos térmicos da liga Al 319 previamente recicladas por conformação por spray seguido por forjamento rotativo:

- Tratamento de Solubilização com tempo de 0 horas: amostra de referência;
- Tratamento de Solubilização a 500°C por 15 horas, depois envelhecimento por 8 horas;
- Tratamento de Solubilização com tempo de 45 horas a 500°C por 45 horas, depois envelhecimento por 8 horas.

Esses passos serão realizados em um novo projeto de iniciação científica, analisando sua influência na estrutura e nas propriedades mecânicas.

CONCLUSÃO

A reciclagem de produtos manufaturados é uma preocupação global nos dias atuais. Assim como, as ligas de alumínio são conhecidas pela sua relativa facilidade de reciclagem; porém, durante a reciclagem, ocorre uma perda das propriedades do material. Neste trabalho foi verificado uma rota de reciclagem de ligas fundidas de alumínio que propicia melhores propriedades mecânicas, tornando a rota mais atrativa comercialmente. Além disso, neste trabalho foi proposto novas rotas de tratamento térmico após a reciclagem para a obtenção de propriedades superiores, que serão colocadas em prática no próximo projeto de IC.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos o grupo do DEMA-UFSCAR liderado pelo Prof. Dr. Claudemiro Bolfarini e a pesquisadora Brenda Juliet Martins Freitas pela cooperação na realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS

DAVIS, Joseph. R. **Aluminum and aluminum alloys**. 6 ed. Ohio: ASM International, 784p. 2007.

FERRARINI, C. F. **Microestrutura e propriedades mecânicas de ligas Al-Si hipoeutéticas conformadas por spray**. 2005. 109 p. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2005. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/642>. Acesso em: 20 ago. 2020.

FREITAS, B. J. M. **Otimização das propriedades mecânicas da liga de alumínio 319 contaminadas com ferro**. 2019. 75 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/12114>. Acesso em: 20 ago. 2020.

FREITAS, B. J. M.; JUNIOR, A. M. J.; ZEPON, G.; et al. Outstanding Tensile Ductility in High Iron-Containing Al-Si-Cu Alloys. **Metall and Mat Trans A**, n. 51, p. 2703–2710, 2020. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11661-020-05744-x#citeas>. Acesso em: 18 ago. 2020.

FREITAS, B. J. M.; OTANI, L. B.; KIMINAMI, C. S.; et al. Effect of iron on the microstructure and mechanical properties of the spray-formed and rotary-swaged 319 aluminum alloy. **Int J Adv Manuf Technol**, n. 102, p. 3879-3894, 2019. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00170-019-03449-z#citeas>. Acesso em: 18 ago. 2020.

KAUFMAN, J. G. **Introduction to Aluminum Alloys and Tempers**. Materials Park, OH: ASM International, 2000.

KAUFMAN, J. G.; ROOY, E. L. **Aluminum Alloy Castings: Properties, Processes, and Applications**. ASM International, 2004.

PIMENTA, A. A. S. **Influência dos teores de Mg, Sr e Ti nas propriedades mecânicas da liga de alumínio A319**. 2017. 108 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) – Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais, Belo Horizonte, 2017. Disponível em: http://www.posmat.cefetmg.br/wp-content/uploads/sites/120/2017/08/DISSERTA%C3%87%C3%83O_ADRIENE_ANIT_A.pdf. Acesso em: 20 ago. 2020.

PUNCREOBUTR, C.; LEE, P. D.; KAREH, K. M.; CONNOLLEY, T.; FIFE, J. L.; PHILLION, A.B. Influence of Fe-rich intermetallics on solidification defects in Al-Si-Cu alloys. **Acta Materialia**, n. 68, p.42-51, 2014. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359645414000160>. Acesso em: 20 ago. 2020.

SANTOS, M. C.; MACHADO, A. R.; SALES, W. F.; BARROZO, M. A. S.; EZUGWU, E. O. Machining of aluminum alloys: a review. **Int J Adv Manuf Technol**, n. 86, p. 3067-3080, 2016. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00170-016-8431-9#citeas>. Acesso em: 20 ago. 2020.