

AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA A CORROSÃO INTERGRANULAR DA LIGA AA2198-T8

J. V. Araújo¹; C. S. C. Machado¹; M. X. Milagre¹; F.M. Queiroz¹; I. Costa¹
carulinemachado@yahoo.com.br

¹ Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Nuclear- Materiais
IPEN-CNEN/SP - Avenida Lineu Prestes, 2242 - Cidade Universitária.
CEP 05508-000 São Paulo- SP

RESUMO

A corrosão intergranular é uma forma de corrosão que pode resultar na perda de propriedades mecânicas e ruptura do material. Estas propriedades são de fundamental importância para os materiais usados em aeronaves por motivos de segurança. É importante caracterizar a resistência dos materiais de aplicação aeronáutica a este tipo de corrosão. Este trabalho investigou através de ensaio regido pela norma ASTM G110-97, a resistência à corrosão intergranular da liga AA2198-T8, que é uma liga com cobre e lítio como elementos de liga principais, e foi constatado que essa liga é susceptível a esta forma de corrosão.

Palavras-chave: ligas Al-Cu-Li, AA2198-T8, corrosão intergranular.

INTRODUÇÃO

O alumínio puro possui boa resistência à corrosão e baixa densidade. Entretanto, as propriedades mecânicas não são satisfatórias para algumas aplicações, sendo necessária a adição de elementos de liga. Os diferentes elementos e tratamentos empregados dão origem a ligas com diferentes características. A AA2198 é uma liga da série 2XXX tendo como principais elementos de liga o Cu e o Li ⁽¹⁾. A adição de Li remonta à década de 50, quanto a primeira geração destas ligas foi desenvolvida. A AA2198 pertence à terceira geração das ligas Al-Cu-Li.

A adição de lítio visa principalmente redução na densidade da liga. A literatura afirma que para cada 1% em massa de Li adicionado, há uma redução de cerca de 3% na densidade e aumento de aproximadamente 6% no módulo de elasticidade da liga⁽²⁾. Devido a seu desenvolvimento ser relativamente recente, a literatura quanto à caracterização da resistência à corrosão da liga AA2198, incluindo a corrosão intergranular, é escassa. Para a liga AA2024, o mecanismo de corrosão intergranular já é bem estabelecido, sendo explicado em função dos precipitados ricos em Cu, como o Al_2Cu que se localizam preferencialmente nos contornos de grão empobrecendo em cobre a região vizinha aos contornos de grão. Esta situação promove a formação de pilhas galvânicas entre a região vizinha aos contornos de grão (áreas anódicas) e o interior do grão, mais rico em cobre (áreas catódicas), dando início ao processo de corrosão em que se tem pequenas áreas atuando como anodo em contato com áreas maiores e de maior potencial atuando como catodo ⁽¹⁾. No caso das ligas Al-Cu-Li, a corrosão intergranular está associada a formação de pares galvânicos entre as fases $T_1(\text{Al}_2\text{CuLi})$ e θ' (Al_2Cu) precipitados, nos contornos de grão, e a zona livre de precipitados nas regiões vizinha aos contornos de grão ⁽³⁾.

A corrosão intergranular afeta as propriedades mecânicas podendo levar, em casos mais severos, à perda de resistência à tração ⁽⁴⁾. O presente trabalho teve como objetivo avaliar a resistência à corrosão intergranular da liga AA 2198-T8 por ensaio segundo a norma ASTM G110-97.

MATERIAIS E MÉTODOS

A composição química foi analisada no por espectrometria de emissão óptica com plasma de argônio (ICP-OES) e fluorescência, Tabela 1.

Tabela 1 - Composição química (% em massa) da liga AA 2198-T8.

Elementos	Teor (%)	Elementos	Teor (%)
Cu	3,73	Mn	0,01
Li	1,13	Ti	0,03
Si	0,37	Zr	0,21
Fe	0,04	Zn	0,06
Mg	2,58	Al	Bal.
Cr	0,03	Ni	0,04
Pb	0,16		

A preparação da superfície foi realizada seguindo os seguintes procedimentos metalográficos: lixamento mecânico utilizando lixas de carbetto de silício (# 320 a #4000) seguido por polimento com pasta de diamante de 3 μm . Para revelar a microestrutura, a superfície foi exposta à solução 2 mL HF + 25 mL HNO_3 + 100 mL de água destilada por dez segundos.

A observação da superfície foi realizada por microscopia ótica utilizando-se microscópio Leica DMLM do Laboratório de Eletroquímica e Revestimentos Protetores do Centro de Ciência e Tecnologia de Materiais do IPEN/CNEN-SP. Após o ensaio de corrosão intergranular a superfície atacada foi observada usando microscópio eletrônico de varredura (MEV) de bancada (*Table top* TM3000).

O ensaio de corrosão intergranular seguiu a norma ASTM G110-97. Antes do ensaio, a amostra foi submetida a uma etapa de limpeza em solução com 945mL de H_2O destilada, 50mL de HNO_3 (70%) e 4mL de HF (48%) por 1 minuto a 93 °C. Após este período permaneceu por mais 1 minuto em HNO_3 (70%) à temperatura ambiente. Em seguida, a amostra foi lavada e secada ao ar e então exposta à solução de ensaio contendo 57g de NaCl, 10mL de H_2O_2 (30%) diluído em 1L de H_2O destilada por um período de 12 horas à temperatura ambiente. Após o ensaio, a amostra foi lavada e secada ao ar quente, embutida e preparada seguindo os procedimentos metalográficos, descritos anteriormente, para avaliação da seção transversal.

RESULTADOS

A Figura 1 apresenta micrografias da secção transversal da amostra. Observa-se a estrutura de grãos alongados, oriunda do processamento termomecânico T8 (solubilização, encruamento e envelhecimento artificial).

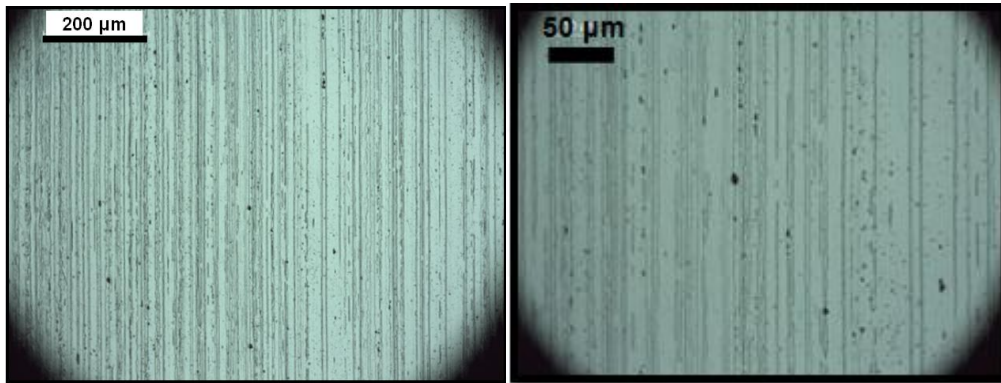


Figura 1 - Microestrutura da liga AA 2198-T8 observada por microscopia ótica.

Após imersão por 12 horas na solução do ensaio, verificou-se leve ataque ao longo de contornos de grãos, indicados por setas em preto na Figura 2b, bem como ao longo de estruturas equiaxiais internas aos grãos (setas em vermelho nas Figuras 2a e 2b) sugestivas de contornos de subgrãos.

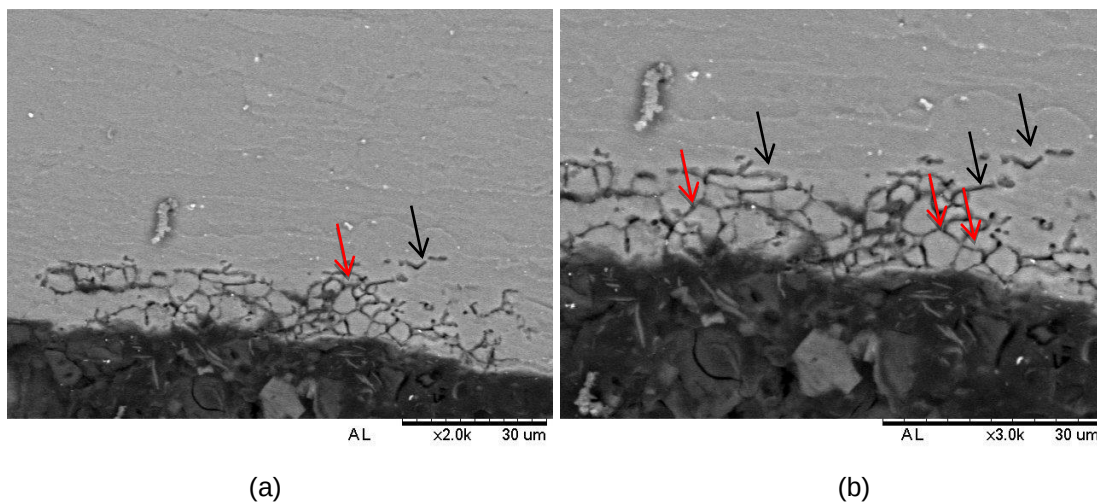


Figura 2 - Micrografia da seção transversal da liga Al-Cu-Li AA 2198-T8 após ensaio de corrosão intergranular.

DISCUSSÃO

As ligas Al-Cu-Li têm o seu desempenho mecânico melhorado por meio da fase T_1 (Al_2CuLi), a qual contribui com o endurecimento das mesmas ⁽⁴⁾. Entretanto, esta mesma fase participa ativamente nos processos de corrosão. Li *et al.*⁽⁵⁾ propuseram o seguinte mecanismo de corrosão associado à fase T_1 . No início este precipitado é anódico em relação à matriz, ocorrendo o ataque seletivo de Li do precipitado. Com a dissolução seletiva, a fase T_1 fica

enriquecida em cobre e o potencial se move em direção a valores mais positivos com o tempo de imersão, devido à dissolução preferencial de Li e enriquecimento em Cu. Como resultado, o precipitado T_1 torna-se catódico em relação a matriz, levando a dissolução anódica da matriz vizinha.

Segundo Ma *et al.*⁽⁷⁾ a fase T_1 precipita-se preferencialmente nas discordâncias e sua importância no processo corrosivo tem sido relacionada a um tipo de corrosão específico, denominado corrosão localizada severa. Tem sido observado que este tipo de corrosão não aparece em todos os grãos, mas apenas em alguns que em comum apresentam elevada energia de deformação. Essa energia está associada ao processo mecânico, no qual os grãos respondem de maneira diferente, resultando em grãos mais tensionados que os demais, Ma *et al.*⁽⁸⁾ A deformação resulta em aumento no teor de discordâncias e acúmulo das mesmas no interior desses grãos.

Para ligas endurecíveis por precipitação, caso da série 2XXX, o tamanho e distribuição de precipitados intermetálicos dependem da têmpera e das condições de envelhecimento. Isto torna possível obter diferentes potenciais de dissolução em função do tratamento empregado para uma mesma liga ⁽¹⁾. O efeito combinado do trabalho a frio e envelhecimento artificial, que ocorre no tratamento T8, resulta no aparecimento da corrosão localizada severa, em cujos grãos tensionados haverá grande quantidade de discordâncias. Como a fase T_1 nucleia preferencialmente nas discordâncias, tem-se acúmulo preferencial dessa fase nessas regiões, tornando esses locais mais suscetíveis a corrosão. Assim, é provável que a corrosão nos contornos de grãos e nos subgrãos observada (Figura 2a e 2b) esteja relacionada à maior quantidade de fase T_1 presente nessas regiões.

Vale destacar que nem todos os grãos que estiveram em contato com a solução sofreram ataque corrosivo. A tendência a este ataque varia de acordo com o grão, uma vez que durante o tratamento termomecânico alguns planos são mais suscetíveis à deformação. A corrosão nos contornos de subgrão (emaranhado de discordâncias) aparece de maneira equiaxial ^(9,10). Assim, é coerente propor que a liga estudada seja suscetível à corrosão intergranular,

tanto nos contornos de grãos, como nos contornos de subgrãos, levando-se em consideração que a suscetibilidade ao ataque depende da tendência à deformação dos grãos, e, portanto, a mesma varia dependendo da orientação dos grãos. Em outras palavras, grãos mais facilmente deformados e, portanto, com mais discordâncias, apresentam maior concentração de fase T_1 e maior suscetibilidade ao ataque intergranular.

CONCLUSÕES

A liga AA2198-T8 é suscetível à corrosão nos contornos de grãos e subgrãos, dependendo da suscetibilidade à deformação destes e, consequentemente, ao teor da fase T_1 presente. A restrição do fenômeno a alguns grãos pode estar relacionado ao tratamento termomecânico empregado, originando grãos com diferente densidade de discordâncias.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FAPESP (Proc. 2013/13235-6), CAPES (Capes/Cofecub N°. 806-14 e bolsas concedidas) e IPEN-CNEN/SP.

REFERÊNCIAS

1. VARGEL, C. **Corrosion of Aluminium**. 1. ed. San Diego: Editora Elsevier, 2004.
2. CAMPBELL, FC. **Manufacturing technology for aerospace structural materials**. Elsevier. 2006.
3. XU, Y. et al. Corrosion Properties of Light-weight and High-strength 2195 Al-Li Alloy. **Chinese Journal of Aeronautics**. 24 (2011) 681-686.
4. RAMANATHAN, L.V. Corrosão e seu controle. Editora Hemus.

5. MA, Y. et al. Crystallographic defects induced localised corrosion in AA2099-T8 aluminium alloy. **Corrosion Engineering, Science And Technology**, [s.l.], v. 50, n. 6, p.420-424, 19 nov. 2014.
6. LI, J-F. Simulation on function mechanism of T1 (Al_2CuLi) precipitate in localized corrosion of Al-Cu-Li alloys. *Trans. Nonferrous Met.* **SOC.** China 16(2006) 1268-1273.
7. MA, Y. et al. Localized corrosion in AA2099-T83 aluminum–lithium alloy: The role of intermetallic particles. **Materials Chemistry And Physics**, [s.l.], v. 161, p.201-210, jul. 2015.
8. MA, Yan-long et al. Influence of thermomechanical treatments on localized corrosion susceptibility and propagation mechanism of AA2099 Al–Li alloy. **Transactions Of Nonferrous Metals Society Of China**, [s.l.], v. 26, n. 6, p.1472-1481, jun. 2016.
9. ROBINSON, M. J. JACKSON, N.C. The influence of grain structure and intergranular corrosion rate on exfoliation and stress corrosion cracking of high strength Al – Cu - Mg alloys. **Corrosion Science**, v. 41, p. 1013 - 1028, 1999.
10. CASSADA, W.A., et al. The effect of plastic deformation on Al_2CuLi (T_1) precipitation **Metallurgical Transactions A** (1991) 22: 299.

INTERGRANULAR CORROSION RESISTANCE EVALUATION OF THE AA2198-T851 ALLOY

ABSTRACT

The intergranular corrosion is a form of corrosion which can result in loss of mechanical properties and might lead to rupture of the material. These properties are of fundamental importance for the materials used in aircraft for security reasons. It is important to characterize the intergranular corrosion resistance of materials used in aeronautical applications. This study investigated the intergranular corrosion resistance of the AA2198-T8 alloy that presents copper and lithium as the main alloying elements. The results showed that this alloys is susceptible to this form of corrosion.

Key-words: Al-Cu-Li alloys, AA198-T8, intergranular corrosion.