

EFEITO TÉRMICO DA SOLDAGEM NA MICRO-DUREZA E NO POTENCIAL DE CORROSÃO DA LIGA DE ALUMÍNIO 7003

VINÍCIUS PERRET FURTADO¹; GABRIELA BASTOS²; TÁBATA AIRES VIEIRA³;
ALICE GONÇALVES OSÓRIO⁴; FERNANDO MACHADO MACHADO⁵

¹Universidade Federal de Pelotas – viperret@hotmail.com

² Universidade Federal de Pelotas – gabriielabastos@gmail.com

³Universidade Federal de Pelotas – tabataairesv@hotmail.com

⁴Universidade Federal de Pelotas – osorio.alice@gmail.com

⁵Universidade Federal de Pelotas – fernando.machado.machado80@gmail.com

1. INTRODUÇÃO

Uma das adversidades para maiores aplicações do alumínio consiste no processo de soldagem, sendo particularmente problemático no caso das ligas endurecidas por precipitação, como as da série 7xxx, devido as alterações microestruturais (RAJA, 2011). Outra barreira é a suscetibilidade a corrosão sob tensão e intergranular, que provoca fissura do metal através da sinergia de tensões mecânicas induzidas pela manufatura de estruturas soldadas ou trabalhadas a frio, somada a exposição em ambientes agressivos (DAVIS, 2006).

A determinação da corrosão potencial é importante para entendimento da passividade do material e cálculo de taxas de corrosão, pois segundo ZHANG et al. (2016), quando o potencial catódico é negativo no material, a fragilização por hidrogênio pode ocorrer sob a interação da tensão e do hidrogênio.

Diante destas variáveis, este trabalho teve por objetivo estudar propriedade mecânica e analisar o comportamento eletroquímico de uma liga de Al 7xxx, soldada pelo processo GMAW, do inglês, Gás Metal Arc Welding.

2. METODOLOGIA

Para realização dos experimentos foram preparados corpos de prova (CP) a partir de tubos da liga 7003, com diâmetro 25 e 38 mm e espessura de 2 mm. Os mesmos foram soldados através do processo GMAW com eletrodo CastoMIG 5356. A composição química do material base e de adição foi determinada com um Espectrômetro de Emissão Ótica da Oxford, modelo Foundry-Master.

O segundo procedimento consistiu na realização de ensaio de micro-dureza superficial, utilizando como método o teste padrão para Dureza Vickers conforme norma ASTM E92-82 (2003), sendo utilizado um Durômetro de bancada marca Digimess. O ensaio objetivou a determinação do gradiente de micro-dureza e a sua correlação com as distintas áreas dos corpos-de-prova: metal base (MB), zona afetada pelo calor (ZAC) e metal de solda (MS).

Para análise microestrutural foi utilizado um Microscópio Ótico OLYMPUS modelo BX41-M LED. Foram extraídas amostras na direção longitudinal do tubo. O polimento foi realizado com pastas de diamante de 3 e 1 µm, usando tecidos de poliéster e tecido de veludo flocado para acabamento final. Para visualização da microestrutura realizou-se ataque com reagente na proporção 3,0 ml (HF), 97 ml (H₂O), por 10 segundos, lavadas em água, e deixadas secar ao ar.

O ensaio eletroquímico para determinação de curvas de polarização potenciodinâmica para as regiões ZAC e MB, utilizou como base a norma ASTM G69 (2012). Os tubos foram cortados por eletroerosão. Para preparação do eletrodo de trabalho, realizou-se a conexão de um fio de cobre ao corpo-de-prova

com cola de prata. Após a cura, embutiu-se com resina acrílica. Cada eletrodo de trabalho ficou com uma área de 1,45 cm².

No ensaio utilizou-se como referência o eletrodo de Ag/AgCl, e como contra eletrodo o de Pt. A solução de teste foi preparada com 26 g de NaCl, 1 ml de CH₃CO₂H e 500 ml H₂O, para um pH de 2.9. Não foi realizada aeração, desaeração ou agitação da solução durante a imersão. O procedimento envolveu a medição de potencial de circuito aberto, por um período de 10 min antes de iniciar a polarização. As medições de polarização foram feitas a uma taxa de varrimento de 1 mV/s, utilizando um Potenciostato marca Autolab PGSTAT302N, controlado pelo *Software* NOVA 1.10. As varreduras começaram com um potencial de - 115 mV, concluído até o potencial de - 600 mV.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresenta os resultados da composição química do material base e do material de solda de adição:

Tabela 1 - Composição química nominal (% massa) da liga 7003 e eletrodo CastoMig 5356.

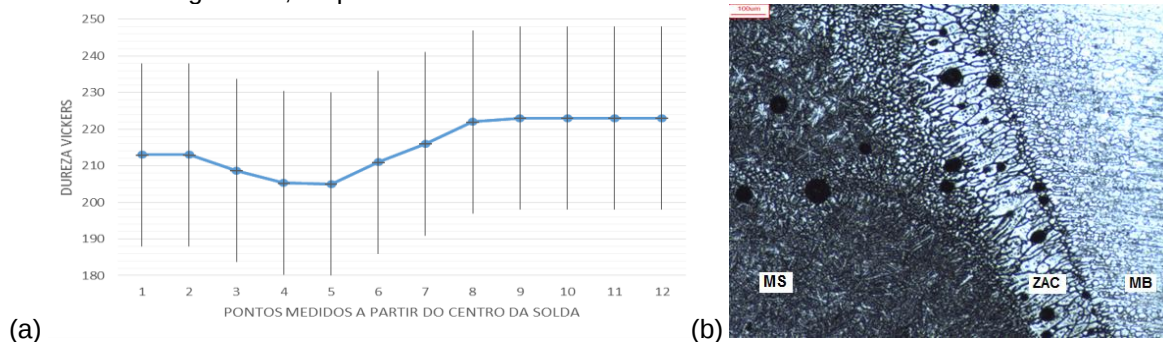
Elemento (%)	Zn	Mg	Fe	Si	Cu	Ti	Cr	Ni	Mn	Al	Outros
Liga 7003	6,03	0,57	0,31	0,09	0,09	0,08	0,04	0,03	0,03	Balc.	0,30
CastoMig 5356	0,90	3,50	0,28	4,60	0,16	0,24	0,18	1,15	0,29	Balc.	4,06

Fonte: Próprio autor.

Analisando os elementos Zn e Mg, responsáveis pela formação de precipitados da fase η (MgZn₂), verifica-se que a liga 7003 possui uma razão Zn:Mg na ordem de 10:1, havendo uma inversão quando da análise do eletrodo CastoMIG 5356, o qual possui uma razão de 1:4. Conforme (RAJA, 2011), esta alteração da proporção entre o Zn e Mg, pode estar associada a perda de propriedades mecânicas, principalmente na ZAC.

A Figura 1a representa graficamente os valores médios e desvio padrão obtidos na medição de micro-dureza superficial da liga 7003 soldada. O ponto 1, do eixo das abcissas, representa a linha de centro no MS. Os demais pontos medidos tratam-se do avanço longitudinal nos CPs, representando as áreas da ZAC e MB.

Figura 1 – (a) Resultado da medição de micro-dureza superficial; (b) Microscopia ótica do MS, ZAC e MB da liga 7003, ampliada 40x.



Fonte: Próprio autor.

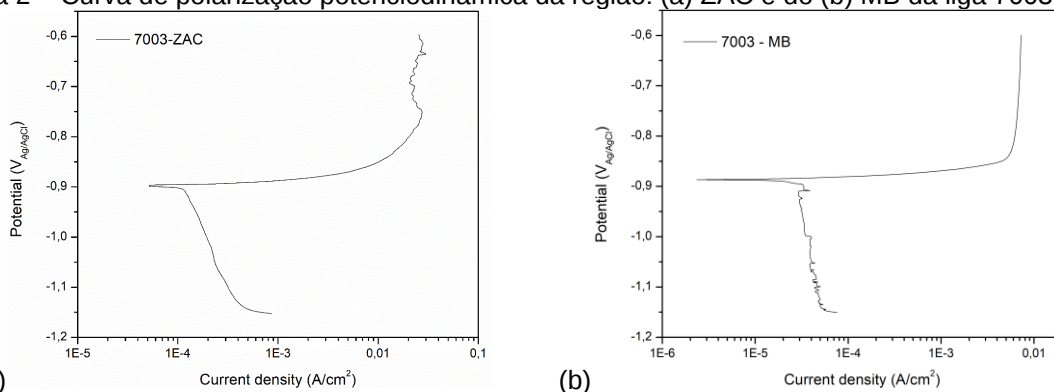
A primeira região observada na Figura 1a é o MS, indicada pelos Pontos 1 e 2 do eixo das abcissas, com uma micro-dureza média típica de 213 HV.

Avançando no gráfico, um gradiente íngreme é verificado através da linha de fusão, localizado entre os Pontos 2 ao 5, indicando a transição da solda para a ZAC. Nesta área verifica-se uma região de amaciamento no perfil de micro-dureza, com os valores médios de 205 HV. A região amaciada é seguida por um aumento no perfil, Pontos 5 ao 9, até atingir a micro-dureza do MB, com valores médios de 223 HV. O perfil típico de micro-dureza encontrado corrobora com observações realizadas em estudos da liga 7xxx (NICOLAS, 2002).

A Figura 1b demonstra a micrografia da seção transversal da liga 7003 soldada. Conforme pode-se observar, a seção transversal do MS revelou uma microestrutura dendrítica fundida. Ao longo da linha de fusão, adjacente ao MS, formou-se uma estreita área identificada como ZAC, com largura entre 100-150 μm , com grãos recristalizados, em formato lamelar, maiores em comparação com as microestruturas, tanto do MS como do MB. Para cálculo da área média dos grãos foi utilizado o *Software ImageJ* 1.5. Os valores encontrados foram 38, 600 e 28 μm^2 , respectivamente para as regiões MS, ZAC e MB. Sende estes, levemente superiores ao estudo desenvolvido por (DABROWSKI, 2015), para a liga 7003 soldada.

Os resultados obtidos através das polarizações potenciodinâmicas para as regiões do ZAC e MB da liga 7003 soldada, podem ser observados na Figura 2:

Figura 2 – Curva de polarização potenciodinâmica da região: (a) ZAC e do (b) MB da liga 7003.



Fonte: Próprio autor.

Para ambas regiões o potencial de corrosão (E_{corr}) foi próximo. Verificou-se que o ramo anódico das curvas exibiram comportamento típico de dissolução de metal ativo, isto devido ao aumento da densidade de corrente (J_{corr}), em conjunto com o aumento do potencial anódico. Nesta etapa do experimento pode-se observar presença de bolhas no entorno do eletrodo de trabalho, formadas possivelmente devido ao fenômeno de fragilização por hidrogênio, vinculado a dissociação de íons de H^+ , ou também a presença de íons agressivos de Cl^- .

O eletrodo de trabalho da região da ZAC, Figura 2a, demonstrou uma região de passivação característica, em forma de "S", a qual sugere valores distintos para a corrente de passivação (I_{pass}), localizada junto ao potencial de passivação (E_{pass}), e corrente de avaria, do inglês "*breakdown*" (I_{brk}), localizada junto ao potencial de avaria (E_{brk}). A curva de passivação da região do MB, Figura 2b, apresentou um comportamento linear, com um aumento acentuado do potencial anódico associado com um pequeno aumento da J_{corr} , representando não haver um ataque localizado, mantendo o filme passivo sem ruptura na interface. A Tabela 2 representa os valores obtidos para os diversos parâmetros analisados nas curvas de polarização potenciodinâmica:

Tabela 2 – Parâmetros de corrosão potencial eletroquímica para a liga 7003.

Região	Ecorr (VAg/AgCl)	Jcorr ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	Epass (VAg/AgCl)	Ipass (μA)	Ebrk (VAg/AgCl)	Ibrk (μA)
ZAC	- 0,894	228,75	- 0,750	39736	- 0,694	29879
MB	- 0,892	56,54	- 0,859	3862	N/A	N/A

Fonte: Próprio autor.

Por final, com os dados de Jcorr, densidade da liga em g/cm^3 , e peso equivalente em g/mol , calculou-se a taxa de corrosão (Tc), através da norma ASTM G59–97 (2014). Os valores das Tc para a ZAC e MB foram respectivamente 2,875 e 0,711 mm/ano.

4. CONCLUSÕES

Partindo-se do princípio de que a Ipass trata-se do valor a ser atingido no metal para que ocorra a passivação, entende-se que quanto menor for este valor, mais facilmente o material passivará. Desta forma, observando os dados apresentados, verificou-se que a região da ZAC possui maior valor em comparação com o MB, sugerindo que, assim como verificado na degradação de micro-dureza, também ocorreu a degradação da capacidade de passivação.

Por fim, através do cálculo da Tc, verificou-se que a região da ZAC possui na ordem de 4 vezes, uma maior velocidade de corrosão em comparação ao MB. Conclui-se que a diferença química entre a liga e o material de adição provoca interferência na dissolução de elementos, que em associação ao processo térmico de soldagem prejudica as propriedades mecânicas, assim como a capacidade de passivação do material.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DABROWSKI, J. **Corrosion performance of mig welded cu-lean aa7xxx alloys**. 2015. 195f. Tese (Doutorado em Engenharia e Ciência dos Materiais). McMaster University.

DAVIS, J. **Corrosion of Weldments**. Ohio: ASM International, 2006. 1v.

NICOLAS, M. **Precipitation evolution in an Al-Zn-Mg alloy during non-isothermal heat treatments and in the heat-affected zone of welded joints**. 2002. 188f. Tese (Doutorado em Engenharia e Ciência dos Materiais), Institut National Polytechnique de Grenoble - INPG.

RAJA, V. S.; SHOJI, T. **Stress Corrosion Cracking - Theory and Practice**. Philadelphia: WP – Woodhead Publishing, 2011. 1v.

ZHANG, X. et al. Effects of applied potential on the stress corrosion cracking behavior of 7003 aluminum alloy in acid and alkaline chloride solutions. **International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials**, China, v. 23, n. 7, p. 819-826, jul. 2016.