

TC C
reparata

[P04]
figuras anexadas
no rodapé da página

PRODUÇÃO TÉCNICO CIENTÍFICA
DO IPEN
DEVOLVER NO BALCÃO DE
EMPRÉSTIMO

**ESTUDO COMPARATIVO DO
COMPORTAMENTO DE CORROSÃO DA LIGA
AA 6061 E DO COMPÓSITO AA 6061
REFORÇADOS COM FIBRAS CURTAS DE
ALUMÍNA**

I. Costa, J. L. Rossi, S. M. Traldi

**IPEN/CNEN-SP, Caixa Postal 11049, CEP 05422-970, São Paulo
- SP.**

RESUMO

Neste estudo utilizou-se vários ensaios para caracterização do comportamento de corrosão da liga AA 6061 e do compósito AA 6061 reforçado com fibras curtas de alumina. Estes ensaios consistiram de perda de massa, medidas do potencial de corrosão em função do tempo de exposição ao meio agressivo, e curvas de polarização. Todos os ensaios foram realizados em meio aquoso correspondente a 3,5 % (peso) NaCl com valores de pH ajustados para 4, 7 e 10. A superfície das amostras foi observada por microscopia eletrônica de varredura (MEV) após o ensaio de polarização. Os resultados demonstraram que a agressividade do meio salino testado diminuiu com o aumento no pH de 4 para 10. A reação de corrosão foi controlada pela reação catódica em ambos os materiais testados, liga e compósito. A análise da superfície por MEV demonstrou que a liga apresentou melhores características de corrosão em relação ao compósito. Enquanto a liga mostrou um ataque uniforme, no compósito o ataque ocorreu preferencialmente na matriz.

Palavras-chave: corrosão, compósitos de matriz metálica, alumínio.

ABSTRACT

The corrosion behaviour of the alloy AA 6061 and the composite AA 6061 reinforced with alumina short fibers has been studied by means of various techniques. The techniques used consisted of weight loss measurements, corrosion potential measurements against exposure time to the aggressive solution, and polarization curves. The tests were carried out in a solution consisting of 3.5 % (wt) NaCl with pH values adjusted to 4, 7 and 10. The specimens surface was observed by scanning electron microscopy (SEM) after polarization tests. The results showed that the aggressivity of the medium decreased with pH, from 4 to 10. The corrosion reaction was controlled by the cathodic reaction for both materials tested, alloy and composite. The surface analysis by SEM showed a better corrosion behaviour associated to the alloy as compared to the composite. Whereas the alloy showed an uniform attack, the matrix of the composite was preferentially attacked.

Key-words: corrosion, metal matrix composites, aluminium.

1. INTRODUÇÃO

Inicialmente, os materiais compósitos foram desenvolvidos para utilização na indústria aeroespacial, por suas boas propriedades mecânicas e baixo peso. Recentemente, uma vasta área de atuação foi aberta para estes materiais, para aplicações em transportes ⁽¹⁾.

Compósitos de matriz de alumínio contendo fibras descontínuas são materiais de engenharia de grande interesse. Eles são usualmente fabricados por infiltração das fibras por metal líquido, por exemplo, fibras curtas de alumina, conhecidas como Saffil ⁽²⁾. Alumínio reforçado com fibras cerâmicas possui boas propriedades de resistência e principalmente resistência ao desgaste. Estas características mostram que os compósitos podem ser utilizados em operações de armazenagem e transporte ⁽³⁾.

Motivados pelo largo campo de uso destes materiais, estudos têm sido realizados com o objetivo principal de caracterizar estes materiais quanto às suas propriedades mecânicas e entender as consequências da microestrutura e dos processos de fabricação sobre elas. Vários métodos de fabricação têm sido desenvolvidos, como: infiltração em metal líquido, metalurgia do pó e "squeeze casting" (infiltração por pressão), tentando minimizar os custos de produção dos compósitos. Mas as características quanto ao comportamento em relação ao meio, têm provocado restrições em seu extenso campo de uso ⁽⁴⁾.

Estudos das propriedades de corrosão de materiais compósitos têm aumentado nos últimos anos, mostrando que a adição de uma segunda fase na matriz metálica modifica significativamente o comportamento de corrosão do material ⁽⁵⁾. Mesmo assim, ainda falta entendimento quanto a estas características devido à complexidade da microestrutura obtida por diversas rotas de produção, incluindo as reações que ocorrem entre o reforço e a matriz e a presença de impurezas ⁽⁶⁾.

Muitos dos estudos realizados enfatizaram a relação entre o reforço e o potencial de pite, a "morfologia do pite" e a susceptibilidade dos compósitos à corrosão em geral ⁽⁷⁾. Por estes estudos, acredita-se que os materiais compósitos de matriz metálica (MMCs) são mais atacados pela corrosão do que a liga matriz ⁽⁵⁾, devido à composição heterogênea e a estrutura que possibilitam a formação de pares galvânicos ⁽⁷⁾.

Como há grande interesse na implementação dos materiais compósitos em aplicações marítimas, o que requer apropriadas características de corrosão, faz-se necessário uma maior avaliação destes materiais no meio marítimo, que contém cloreto. Os meios de cloreto são conhecidos por serem meios extremamente corrosivos ao alumínio, e este metal é preferido em grande parte das utilizações marítimas, assim como os materiais compósitos à base de alumínio ⁽⁸⁾.

Por ser a corrosão um fator importante na viabilidade destes materiais em suas utilizações, optou-se neste trabalho por um estudo dos materiais compósitos de matriz de alumínio reforçados com fibras curtas de alumina em meios aquosos de 3,5% (peso) de NaCl com valores de pH ajustados para 4, 7 e 10.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A liga AA 6061 e o compósito AA 6061 reforçado com 15 a 20 % (vol) de fibras curtas de alumina produzido por infiltração por pressão ("squeeze casting") foram estudados.

As fibras curtas de alumina utilizadas como reforço consistem de 96-97 % de alumina e 3-4 % de sílica, e apresentam boas propriedades mecânicas. A liga, por sua vez, é uma liga de Al-Mg-Si (AA 6061) com boas características de resistência à corrosão.

As amostras foram ensaiadas em soluções aquosas de 3,5 % NaCl com pHs ajustados para valores de 4, 7 e 10. Nos ensaios de perda de massa as soluções utilizadas foram as de pH 4 e 10. Nos outros ensaios, curvas de polarização e medidas de potencial de corrosão em função do tempo de exposição, os três tipos de solução foram

utilizados.

O ensaio de perda de massa foi realizado num período de 50 dias, com amostras cortadas por serra diamantada com área aproximada de 1 cm^2 e depois lixadas em lixa de carbetto de silício de grana 320 à 600. As pesagens foram realizadas em períodos de 1, 5, 9, 15, 20, 30 e 50 dias. As amostras foram desengraxadas em solução de ácido crômico, enxaguadas em água destilada, secas em estufa a $80 \text{ }^\circ\text{C}$ e pesadas em balança analítica, antes do ensaio e antes de cada pesagem. A solução utilizada para o desengraxe foi o ácido crômico, recomendado pela norma ASTM G1 72 ⁽⁹⁾.

As curvas de polarização foram realizadas com amostras embutidas em resina, com contato elétrico garantido por fio de cobre. Para a realização deste ensaio, utilizou-se um eletrodo de referência (calomelano saturado), um eletrodo auxiliar (grafite) e o eletrodo de trabalho (material em estudo).

As medidas de potencial de corrosão em função do tempo de exposição foram realizadas com eletrodos de trabalho preparados como mencionado anteriormente, e eletrodo de referência de calomelano saturado por um período de aproximadamente 200 minutos.

3. RESULTADOS

Os ensaios de perda de massa revelaram uma tendência de aumento crescente de perda de massa da liga e do compósito ao longo do tempo, com exceção do compósito em meio de pH 10, que mostrou um aumento inicial seguido por uma estabilização, e a perda de massa se mantendo constante a partir de então.

O compósito demonstrou ter maior resistência ao meio salino de pH 10, enquanto a liga resistiu um pouco mais ao meio salino de pH 4, sendo este o mais danoso ao compósito, para períodos mais longos de ensaio, isto é, maiores que 360 horas de duração, como mostra a figura 1. Os resultados das curvas de polarização são mostrados nas figuras 2 a 4.

Na figura 2, observa-se controle catódico da reação de corrosão. Por sua vez, a reação catódica apresenta controle por difusão da principal espécie reagente (oxigênio dissolvido) para a superfície do eletrodo. Uma densidade de corrente limite foi observada para ambos os materiais, liga e compósito, em todas as soluções testadas. A densidade de corrente limite (i_L) diminuiu com o aumento do pH da solução. Verifica-se também que na solução ácida (pH=4) o valor de i_L foi bastante próximo para os dois materiais testados (liga e compósito). As taxas de corrosão dos dois materiais, obtidos da figura 2 foram também bastante similares em solução de pH 4, da

ordem de $3 \mu\text{A}/\text{cm}^2$.

Em solução neutra ($\text{pH}=7$), a densidade de corrente de corrosão foi bem próxima para os dois materiais.

Em solução alcalina verificou-se que a taxa de corrosão foi superior para a liga (da ordem de $0,6 \mu\text{A}/\text{cm}^2$) em relação ao compósito (aproximadamente $0,3 \mu\text{A}/\text{cm}^2$), embora ambas da mesma ordem de grandeza. Nesta solução, verificou-se que a reação catódica é aparentemente influenciada pela reação do hidrogênio, reação esta controlada por ativação, e uma densidade de corrente limite não é facilmente atingida, como nas outras condições testadas.

A figura 2 também mostra que a reação anódica encontra-se despolarizada e apesar das taxas de corrosão no potencial de corrosão serem inferiores a $10 \mu\text{A}/\text{cm}^2$, há propensão à ocorrência de corrosão intensa do material, isto é, a reação anódica ocorrerá facilmente para qualquer condição oferecida que eleve o potencial do eletrodo acima do potencial de corrosão.

Na figura 3, observa-se que a densidade de corrente limite (i_L) e a densidade de corrente de corrosão (i_{CORR}) da liga diminuem com o aumento do pH do meio e que as densidades de corrente limite são facilmente atingidas para baixos valores de sobretensão.

Na figura 4, observa-se que as densidades de corrente limite e de corrosão do compósito também diminuem com o aumento do pH. O efeito do pH é observado principalmente na curva catódica, verificando-se pouco efeito na curva anódica. Para a solução alcalina, observa-se menores densidades de corrente catódica, indicando a influência provável do hidrogênio nas soluções de menor pH.

Na figura 5, demonstra-se que há uma tendência de deslocamento do potencial da liga, de maneira semelhante, em todos os meios testados. Acredita-se que a estabilização ocorra após um período maior do que o utilizado no ensaio, isto é após a queda de potencial observada.

Na figura 6, demonstra-se que, ao contrário do que ocorre na liga, o potencial possui uma tendência a se estabilizar, em um período comparativamente curto em todos os meios utilizados.

Nas figuras 5 e 6 pode-se perceber uma maior estabilidade do potencial do compósito em comparação à liga.

A observação e análise da superfície das amostras após ensaio de polarização em microscópio eletrônico de varredura (MEV) foi de grande utilidade para o entendimento e a melhor visualização do fenômeno ocorrido em ambos os materiais, figuras 7 a 9. Forneceu também, mais detalhes a respeito da resistência à corrosão, completando o estudo feito por polarização potenciodinâmica. A liga

apresentou uma superfície de aspecto esponjoso após o ensaio (figuras 7(a) a 9(a)), o que demonstrou um ataque uniforme do material, enquanto o compósito (figuras 7(b) a 9(b)) apresentou uma superfície atacada preferencialmente na matriz, restando em quase sua totalidade o reforço.

4. CONCLUSÕES

A observação da superfície por microscopia eletrônica de varredura após ensaios de corrosão mostrou que o compósito apresentou características de corrosão inferiores às da liga. Enquanto na liga observou-se um ataque uniforme, no compósito o ataque ocorreu preferencialmente na matriz. Os resultados demonstraram que a agressividade do meio salino testado diminuiu com o aumento no pH de 4 para 10. A reação de corrosão foi controlada pela reação catódica em ambos os materiais testados, liga e compósito, em todas as condições de ensaios utilizadas.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq pela bolsa de Iniciação Científica concedida à aluna Suzana Messano Traldi.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Metzger, M.; Fishman, S.G., Corrosion of aluminium-matrix composites. Status report. Ind. Eng. Chem. Prod. Res. Dev., v.22, n.2, p. 296-302, 1983.
2. O'Rourke, J.M.; Bushby, R.S.; Scott, V. D., Evaluation of Al-Cu-Mg-Ag alloys containing discontinuous alumina fibres: I. Microstructural evolution, Composites Science and Technology, v.56, p. 957-965, 1996.
3. Bruun, N. K.; Nielsen, K., Corrosion resistance of fibre reinforced aluminium, 12th International Symposium on Materials Science, 2-6 September, 1991.
4. Turnbull, A., Review of corrosion studies on aluminium metal matrix composites, British Corrosion Journal, v.27, n.1, p. 27-35, 1992.
5. Castle, J. E.; Sun, L.; Yan, H., The use of scanning Auger microscopy to locate cathodic centres in SiCp/6061 Al MMC and to determine the current density at which they operate, Corrosion science, v.36, n.6, p.1093-1110, 1994.

6. Coleman, S. L.; McEnaney, B.; Scott, V. D., A double cycle polarisation technique for corrosion studies on metal matrix composites, British Corrosion Journal, v.26, n.3, p. 186-190, 1991.
7. Paciej, R. C.; Agarwala, V. S., Influence of processing variables on the corrosion susceptibility of metal-matrix composites, Corrosion Science, v.44, n. 10, p. 680-684, October, 1988.
8. Aylor, D. M.; Moran, P. J., Effect of reinforcement on the pitting behaviour of aluminium-base metal matrix composites, J. Electrochem. Soc., v.132, n.6, p.1277-1280, 1985.
9. Norma ASTM G1 72.

[figuras anexadas]



IPEN/CNEN-SP
BIBLIOTECA
"TEREZINE ARANTES FERRAZ"

Formulário de envio de trabalhos produzidos pelos pesquisadores do IPEN para inclusão na
Produção Técnico Científica

AUTOR(ES) DO TRABALHO:
I.Costa, Rossi, S.M. Traldi

LOTAÇÃO: CCTM

RAMAL:9344

TIPO DE REGISTRO:

art. / periód.:
cap. de livro

Publ. IPEN
Art. conf

. resumo
outros

(folheto, relatório, etc...)

TITULO DO TRABALHO:

ESTUDO COMPARATIVO DO COMPORTAMENTO DE CORROSÃO DA LIGA AA
6061 E DO COMPOSITO AA 6061 REFORÇDOS COM FIBRAS CURTAS DE
ALUMÍNA.

APRESENTADO EM: (informar os dados completos - no caso de artigos de conf., informar o título
da conferência, local, data, organizador, etc..)

CONGRESSO BRASILEIRO DE CORROSÃO, 19., 1999 RIO DE JANEIRO, RJ

PALAVRAS CHAVES PARA IDENTIFICAR O TRABALHO:

Corrosão, compósitos de matriz metálica, alumínio

ASSINATURA:

Inelda Costa

DATA: 22/04/2002