

14^o Congresso de Inovação, Ciência e Tecnologia do IFSP - 2023

PROTEÇÃO CONTRA CORROSÃO DA LIGA DE ALUMÍNIO 2024 POR BICAMADA DE POLIPIRROL

Lara Netto de Almeida¹, Andréa Santos Liu², Leonardo da Motta Evangelista³, Liu Yao Cho⁴

¹Graduanda em Licenciatura em Química, Bolsista PIBIFSP, IFSP, Câmpus São José dos Campos, lara.a@aluno.ifsp.edu.br

²Graduando em Engenharia Química, Voluntário, FEAU - UNIVAP, leonardo.motta098@gmail.com

³Docente do curso de Licenciatura em Química, IFSP, Câmpus São José dos Campos, aliu@ifsp.edu.br

⁴Diretor da Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo, FEAU - UNIVAP, liu@univap.br

Área de conhecimento (Tabela CNPq): 3.03.05.04-7 Polímeros, Aplicações.

RESUMO: O alumínio é amplamente empregado no setor industrial devido à baixa massa específica e excelente resistência à corrosão, associada à formação de uma camada passiva e compacta. Entretanto, a incorporação de elementos de liga resulta na formação de pares galvânicos, propiciando a corrosão localizada, que pode comprometer a resistência mecânica do metal. A liga de alumínio 2024, largamente utilizada na indústria aeronáutica, é constituída pela adição de cobre (3,8 a 4,9 % m/m), que a torna propensa à formação de pites em determinados meios corrosivos. Atualmente, tais ligas podem ser protegidas utilizando compostos à base de cromo hexavalente, que apesar de constituírem inibidores eficientes, têm seu uso restrito devido a riscos à saúde humana e impactos ambientais. O polipirrol (PPy) é um polímero condutor que tem sido investigado para a proteção de metais oxidáveis contra corrosão, como uma alternativa viável a compostos tóxicos. Nesta perspectiva, esse estudo visa investigar o desempenho de bicamadas de polipirrol, eletrodepositadas aplicando-se 1,2 V vs Ag/AgCl, em meio aquoso contendo ácidos, para proteger a liga 2024 contra corrosão.

PALAVRAS-CHAVE: alumínio 2024; bicamada de polipirrol; corrosão.

CORROSION PROTECTION OF 2024 ALUMINUM ALLOY BY POLYPYRROLE BILAYERS

ABSTRACT: Aluminum is widely used in the industrial due to its low specific mass and excellent corrosion resistance, associated to the formation of a passive and compact layer. However, the incorporation of alloying elements results in the formation of galvanic pairs, leading to localized corrosion. 2024 aluminum alloy is usually used in the aeronautical industry due to good mechanical resistance. Furthermore, the presence of copper favors the pitting formation in certain corrosive environments. Nowadays, aluminum alloys can be protected using compounds based on hexavalent chromium, which despite being efficient, it presents risks to human health and environmental problems. Polypyrrole (PPy) is a conductive polymer that has been studied for the protection of oxidizable metals against corrosion, as a viable alternative to toxic compounds. In this context, this study aims to investigate the performance of polypyrrole bilayers, electrodeposited applying 1.2 V vs Ag/AgCl, in aqueous medium containing organic acids, to protect alloy 2024 against corrosion.

KEYWORDS: 2024 aluminum alloy; polypyrrole bilayer; corrosion.

INTRODUÇÃO

O alumínio é um metal amplamente empregado na indústria automotiva e aeronáutica, devido às suas notáveis propriedades físico-químicas e à sua alta resistência à corrosão, associada à camada passiva (Vargel, 2004). No entanto, o alumínio em sua forma pura exibe baixa dureza e resistência mecânica reduzida, o que demanda a inclusão de elementos de liga. Contudo, a adição desses elementos pode levar à formação de pares galvânicos, aumentando assim a vulnerabilidade à corrosão por pites (Abal, 2007).

As ligas de alumínio podem experimentar a deterioração da camada protetora de óxido em diversos ambientes, especialmente em ambientes com altas concentrações de cloretos, o que propicia a corrosão localizada. Além disso, a dissolução da camada de óxido é facilitada em meios ácidos ou alcalinos devido à natureza anfótera do óxido de alumínio (Freitas; Romano, 2016).

Como alternativa aos métodos de cromatização atualmente empregados, está sendo explorado o emprego de polímeros condutores para a proteção contra corrosão das ligas 2024. A utilização do polipirrol em comparação com outros polímeros condutores reside no pH necessário para sua eletrossíntese. Os filmes de polipirrol podem ser formados por eletrossíntese, ao aplicar um potencial controlado em um meio aquoso que contém ácidos orgânicos de menor acidez (Souza; Liu; Cho, 2019). Nesta perspectiva, esse estudo visa investigar o desempenho de bicamadas de polipirrol para proteger a liga de alumínio 2024 contra corrosão.

MATERIAL E MÉTODOS

Materiais: A composição (m/m) da liga de alumínio Al 2024 foi determinada por EDS: 4,6% Cu, 1,5% Mg, 0,64% Mn, 0,14% Fe, 0,11% Si e o restante de Al.

Em cada experimento, o substrato metálico foi polido com lixas d'água com granulometria 220, 400, 600 e 1200 mesh, respectivamente, e, enxaguados com água destilada.

Os ensaios eletroquímicos foram realizados em uma célula contendo três eletrodos: (i) eletrodo de trabalho: liga de alumínio 2024, embutida em Teflon® e com área exposta de 0,53 cm²; (ii) eletrodo auxiliar: bastão de Pt e (iii) eletrodo de referência: eletrodo de Ag/AgCl.

Eletrodeposição: A eletrodeposição dos filmes de PPy na liga de alumínio 2024 foi realizada em meio aquoso, contendo 0,1 mol L⁻¹ de pirrol (Merk) e 0,2 mol L⁻¹ de cada ácido: ácido fosfórico (PA, Dinâmica) ou ácido dodecilbenzeno sulfônico (DBSA, Dinâmica). As deposições foram realizadas a potencial controlado de 1,2 V vs Ag/AgCl e à temperatura ambiente, utilizando-se um Potenciostato/Galvanostato da Autolab 302N.

Polarização: Os ensaios de Polarização Potenciodinâmica foram realizados em solução aquosa de NaCl 0,1 mol L⁻¹ (pH=6,0), variando-se o potencial de -1,5 a +1,0 V, com velocidade de varredura de 1,0 mV s⁻¹. Os valores de potencial de corrosão (E_{corr}) foram obtidos a partir das curvas de Tafel.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O desempenho dos filmes PPy para proteger a superfície de alumínio 2024 contra corrosão foi investigada em meio de cloreto por ensaios de potencial de circuito aberto e curvas de polarização potenciodinâmica, apresentadas nas Figuras 1 e 2.

Conforme observado na Figura 1, os valores iniciais do potencial de circuito aberto foram deslocados em uma direção positiva para a liga de alumínio revestida com PPy em comparação com a superfície apenas polida. Também foi notado que a bicamada de PPy exibiu o maior potencial estável final, que é 813 mV mais positivo do que a liga de alumínio sem recobrimento. Este resultado reflete que a bicamada consiste em um bom revestimento para proteção da liga metálica em meio agressivo de cloreto (Dalmoro et al., 2019).

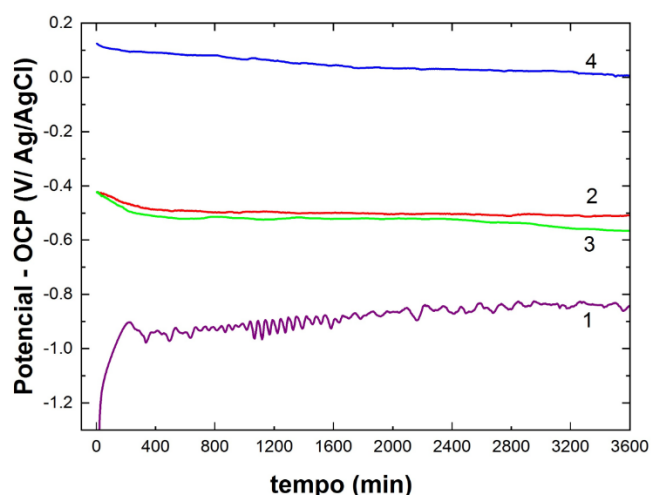


FIGURA 1. Curvas de Potencial de Circuito Aberto para as superfícies de alumínio: apenas polida (1); e recobertas por filmes de PPy; (2) PPy-PA; (3) PPy-DBSA e (4) bicamada PPy-PA || PPy-DBSA.

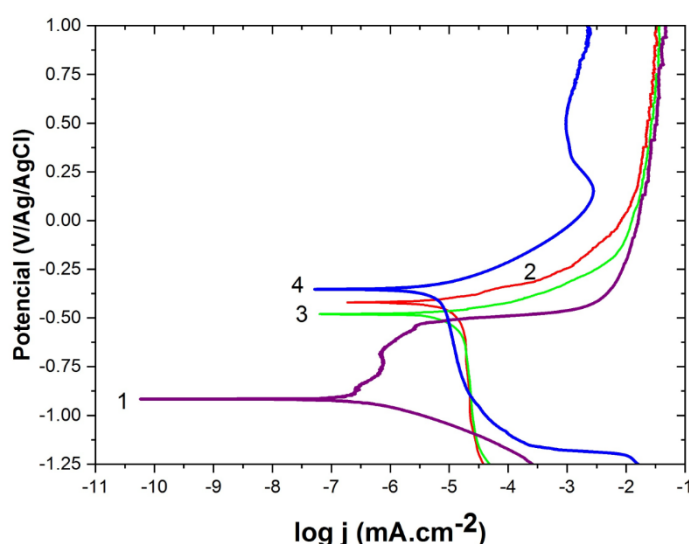


FIGURA 2. Curvas de Tafel para as superfícies de alumínio: apenas polida (1); e recobertas por filmes de PPy: (2) PPy-PA; (3) PPy-DBSA e (4) bicamada PPy-PA || PPy-DBSA.

Analisando a Figura 2, observa-se que os valores do potencial de corrosão (E_{corr}) para a liga de alumínio recoberta com PPy foram deslocados para uma direção mais positiva em relação à superfície sem revestimento, indicando proteção anódica, associada à formação de uma camada de óxido metálico na superfície do alumínio (Arenas et al., 2008). Também foi observado um potencial de pite em $-0,54$ V para a liga de alumínio não recoberta, o que não foi detectado nas superfícies revestidas com PPy, indicando que os filmes poliméricos podem proteger a liga de alumínio contra o ataque localizado do ânion cloreto.

Adicionalmente, as curvas de Tafel mostraram que o alumínio não recoberto apresentou maiores correntes anódicas em relação ao substrato revestido com PPy, indicando maior oxidação do Al a Al^{+3} para o metal sem revestimento. A Tabela 1 apresenta os parâmetros eletroquímicos obtidos dos ensaios de polarização potenciodinâmica.

Tabela 1. Parâmetros eletroquímicos obtidos das curvas de Tafel

Amostra	Potencial de corrosão E_{corr} (V)	Densidade de corrente anódica a 0,10 V (10^{-3} mA cm ⁻²)
Alumínio apenas polido	- 0,91	18,28
PPy-PA	- 0,41	13,37
PPy-DBSA	- 0,48	15,15
PPy-PA PPy-DBSA	- 0,34	2,56

Considerando-se o potencial de corrosão e as densidades de correntes anódicas (por exemplo, determinadas a +0,10 V) como critério para a eficiência dos filmes contra corrosão, os resultados apresentados na Tabela 1 indicam que a bicamada de PPy apresentou a melhor performance. Estudos da literatura indicam que a composição química dos dopantes utilizados na eletrossíntese da bicamada de PPy exerce um papel chave no seu desempenho contra corrosão (Cho; Guiotti; Liu, 2023). No presente estudo, foi obtida a bicamada PPy-PA || PPy-DBSA, na qual a camada interna de PPy foi eletrodepositada usando ácido fosfórico como dopante, e a camada externa utilizando-se o dopante DBSA, um ácido de cadeia carbônica longa. Os dopantes que apresentam cadeia carbônica longa apresentam um excelente efeito barreira, que dificulta a penetração de espécies corrosivas e, portanto, diminui a corrosão da liga metálica. Por outro lado, o dopante fosfato leva à formação de uma camada de passivação, sobre a qual ocorre a eletrodeposição do PPy. Caso a camada protetora seja danificada, uma liberação de fosfato do polímero pode repassivar o substrato, protegendo-o.

CONCLUSÕES

Os ensaios de polarização potenciodinâmica indicaram que os valores de potencial de corrosão das superfícies de alumínio recobertas pelos filmes de PPy foram deslocados para a direção positiva, além de densidades de corrente anódicas menores em relação ao alumínio apenas polido. Considerando-se esses parâmetros como critérios para a performance dos filmes poliméricos contra corrosão, pode ser inferido que a bicamada de PPy apresentou o melhor desempenho.

CONTRIBUIÇÕES DOS AUTORES

L.N.A: coleta de dados, elaboração do manuscrito, redação e discussão dos resultados.

L.M.E: coleta de dados e discussão dos resultados.

A.S.L: concepção, metodologia e discussão dos resultados.

L.Y.C: concepção e discussão dos resultados.

Todos os autores contribuíram com a revisão do trabalho e aprovaram a versão submetida.

AGRADECIMENTOS

Ao IFSP pela bolsa de iniciação científica concedida.

REFERÊNCIAS

ARENAS, M. A., GONZALEZ, B. L., DAMBORENEA, J. J., OCON, P. Synthesis and electrochemical evaluation of polypyrrole coatings electrodeposited onto AA-2024 alloy, *Progress in Organic Coatings*, v. 62, pp. 79–86, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO ALUMÍNIO (ABAL). Fundamentos e aplicações do alumínio. São Paulo: ABAL, 2007.

CHO, L. Y., GUIOTTI, L. G., LIU, A. S. Corrosion performance of polypyrrole-bilayer coating on carbon steel, *Journal Materials Science*, v.1, pp 1-16, 2023.

DALMORO, V., CEDRON, S., AZAMBUJA, D.S., CASTAGNO, K.R.L. Polypyrrole film doped with corrosion-inhibitors electropolymerized on AA 1100, *Materials Research*, v.22, pp. 1-7, 2019.

FREITAS, Elias Junior de; ROMANO, Martin Anibal. Processo de corrosão e passivação do alumínio. **Revista Acadêmica Oswaldo Cruz**, São Paulo, v. 1, n. 1, p. 20-31, maio 2016.

SOUZA, A. F., LIU, A. S., CHO, L. Y. Eletrodeposição de filmes de polipirrol em superfícies de alumínio 2024: influência do eletrólito, *Impactos das Tecnologias na Engenharia de Materiais e Metalúrgica*, v. 1, n. 1, pp. 113-127, 2019. Atena Editora.

VARGEL, C. Corrosion of Aluminium. 1. ed. San Diego: Editora Elsevier, 2004