

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

Caracterização da Resistência a Corrosão da Liga de Magnésio ZK60

RAUL H. RIBEIRO^{1*}, DIOGO A. RODRIGUES², YURE Y. SILVA³, TAMIRES S. NOSSA⁴

¹ Bacharelado em Engenharia Mecânica, Bolsista CNPq, IFSP, Câmpus Itapetininga, h.raul@aluno.ifsp.edu.br*

² Bacharelado em Engenharia Mecânica, IFSP, Câmpus Itapetininga, Yamassaki.s@aluno.ifsp.edu.br

³ Bacharelado em Engenharia Mecânica, IFSP, Câmpus Itapetininga, diogo.antonio@aluno.ifsp.edu.br

⁴ Doutora em Ciência e Engenharia de Materiais, IFSP, Câmpus Itapetininga, tamires.nossa@ifsp.edu.br
Área de conhecimento (Tabela CNPq): 3.03.04.03-2 Propriedades Mecânicas dos Metais e Ligas

RESUMO: A resistência a corrosão de diversas ligas de magnésio aplicadas em vários setores, como industrial e o da biomédico, vem sendo avaliada em muitos trabalhos. Na área da biomedicina o magnésio vem ganhando grande destaque por sua auto suscetibilidade a sofrer corrosão e por ser um biomaterial, capaz de ser metabolizado pelo organismo sem causar danos ou sequelas. É possível medir o potencial de corrosão usando ensaios por meio de aparelhos como o potenciostato/galvanostato variando o ambiente salino e o tempo de exposição. Os principais ensaios são os de potencial de circuito aberto (OCP) que gera o gráfico de curva de polarização potenciodinâmicas, Tafel, e de espectroscopia de impedância eletroquímica. A liga de magnésio ZK60 foi avaliada nesse estudo com tempo de exposição de 10 min, onde foram conduzidos os ensaios de OCP e Tafel. Foi possível a obtenção do potencial de corrosão da liga de magnésio ZK60 com superfície lixada e polida, e observado o efeito da corrosão na superfície do magnésio, sendo atacado mesmo em um baixo tempo de exposição.

PALAVRAS-CHAVE: magnésio; liga ZK60; OCP; corrosão; biomaterial.

Characterization of Corrosion Resistance Of ZK60 Magnesium Alloy

ABSTRACT: The corrosion resistance of several magnesium alloys applied in various sectors, such as industry and biomedical, has been evaluated in many studies. In the area of biomedicine magnesium has been gaining great prominence for its self susceptibility to corrosion and for being a biomaterial, capable of being metabolized by the body without causing damage or sequelae. It is possible to measure the corrosion potential using tests by means of devices such as potentiostat/galvanostat varying the saline environment and exposure time. The main tests are the open circuit potential (OCP) that generates the polarization curve graph potenciodinamic, Tafel, and electrochemical impedance spectroscopy. Magnesium alloy ZK60 was evaluated in this study with a time of 10 min, where OCP and Tafel tests were conducted. It was possible to obtain the corrosion potential of magnesium alloy ZK60 with sanded and polished surface, and observed the effect of corrosion on the surface of magnesium, being attacked even in a low exposure time.

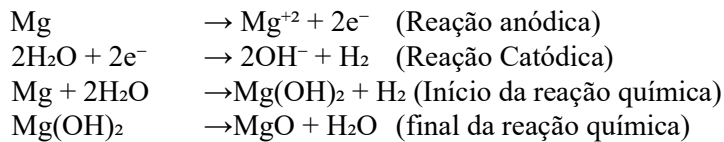
KEYWORDS: magnesium; magnesium alloy ZK60; OCP; corrosion; biomaterial.

INTRODUÇÃO

O magnésio é muito utilizado nas indústrias, como na automobilística, aeroespacial e biomédica, por ser o metal com maior razão entre resistência e densidade ($1,738 \text{ g/cm}^3$) e boa resistência ao impacto (Heimann, 2021; Li, 2020). Na biomedicina as ligas de magnésio ganham grande destaque por ser um biomaterial, sofrem corrosão facilmente por fluidos biológicos e são metabolizados sem causar danos ao organismo, com boas propriedades para a área, como a osteocondução e a osteoindução, possuindo resistência mecânica próxima ao dos ossos humanos, com módulo de elasticidade de 40-45GPa para o magnésio, enquanto que os ossos apresentam módulo variando de 10-30 GPa) (Liu, 2019; Rodrigues, 2021). Por ser um material com alta susceptibilidade à corrosão, principalmente ao contato em meio aquoso, como em fluidos corpóreo, vem sendo estudados tipos de revestimento e/ou métodos de tratamento das ligas de magnésio pela engenharia e pela biomedicina para que elas possam ser funcionais durante o tempo de recuperação óssea, por exemplo, em parafusos biodegradáveis usados em próteses, para fixação óssea e fragmentos, e também utilizado em *stents* cardiovasculares, que são usados para restaurar o fluxo sanguíneo (Garcia, 2010; Ma, 2021; Sezer, 2018)

A corrosão é uma ação química ou eletroquímica, que se dá por passagem de corrente elétrica entre íons e/ou elétrons, causando deterioração do metal que faz papel do ânodo (que sofre oxidação). Sabendo disso são utilizados ensaios eletroquímicos para calcular o potencial de corrosão e a corrente de corrosão (Callister, 2016; Gentil, 2012).

A corrosão do magnésio é dada pelas seguintes equações químicas:



Através do ensaio de potencial de circuito aberto (OCP), onde conseguimos o gráfico de curvas de polarização potenciodinâmicas, que por meio de software é possível a extrapolação de Tafel, e consequentemente verificar o potencial de corrosão (E) em milivolts e a densidade da corrente de corrosão (i) em Ampere por centímetro quadrado.

Nesse sentido o estudo busca mensurar o potencial de corrosão da liga ZK60.

MATERIAIS E MÉTODOS

Preparação da amostra

A amostra foi limpa usando ultrassom durante um período de 20 minutos, e seca para poder ser submersa em solução salina (NaCl 0,1 mol) durante um período de 10 minutos, para assim ser submetida ao ensaio de corrosão. Foi aferida a rugosidade superficial da amostra em rugosímetro da Time modelo TR-200, apresentando uma rugosidade Ra de $0,184 \mu\text{m} \pm 0,040 \mu\text{m}$

Ensaio no potenciostato

A amostra foi montada em uma célula eletrolítica composta por um eletrodo de referência Ag/AgCl (saturado com solução de 3 mol/L de KCl) 0,197V, eletrodo auxiliar de platina sólida e imersa em uma solução salina de NaCl com concentração de 0,1 mol/L. A área de trabalho do eletrodo foi de aproximadamente $0,10 \text{ cm}^2$. sistema de três eletrodos e imerso em uma solução de 1% NaCl. Área exposta de $0,5 \text{ cm}^2$. A Figura 1 mostra uma imagem do sistema montado. As análises foram conduzidas em um potenciostato galvanostato da Princeton Applied Research modelo VersaSTAT4 à temperatura ambiente ($25^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$), onde foi realizado a medida do potencial de circuito aberto (OCP) durante 1200s, seguida de uma varredura potenciodinâmica de -0,25 a +0,25V, a uma taxa de varredura 0,167 mV/s.

Figura 1. Célula eletrolítica montada.



Fonte: próprio autor

Microscopia óptica

Foi utilizado um microscópio óptico da marca Zeiss modelo Axio Lab. A1 com uma lente 100X, para análise superficial da amostra, antes e depois dela ser submersa em solução salina.

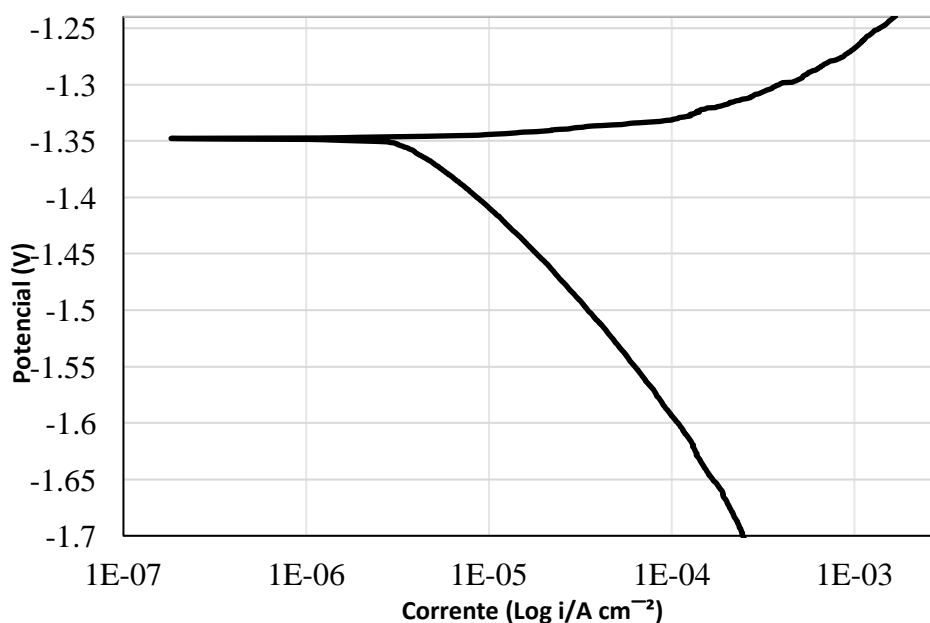
RESULTADOS E DISCUSSÃO

Corrosão da liga

O gráfico com a curva de polarização potenciodinâmica (Tafel) da amostra de ZK60 é apresentado na Figura 2.

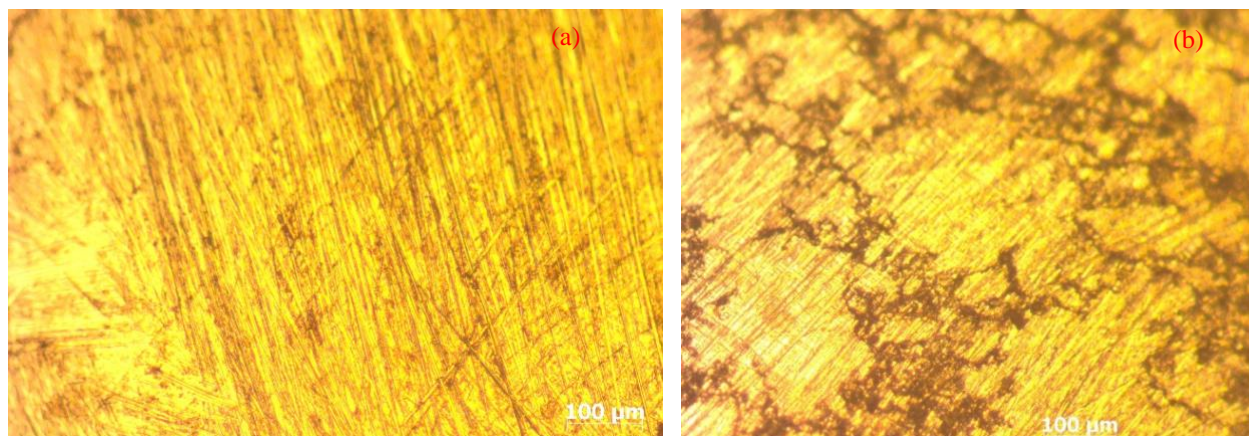
A amostra da liga de magnésio antes e após o ensaio é mostrada na Figura 3(a-b). É possível ver que o magnésio sofreu grande corrosão na área exposta a solução, conforme Figura 3(b), onde é possível visualizar os pits de corrosão.

Figura 2. Curva de polarização potenciodinâmica da amostra A com 10 min de exposição.



Fonte: Próprio autor.

Figura 3. Amostra da liga de magnésio antes e após o ensaio (a, b) A.



Fonte próprio autor

O potencial de corrosão da liga A encontra-se na Tabela 1.

Tabela 1. Dados obtidos a partir da curva de polarização potenciodinâmica.

amostra	Potencial de corrosão E(V)	Corrente de corrosão I corr ($\mu A cm^{-2}$)
A	-1,348	4,682

Fonte: Próprio autor.

CONCLUSÕES

Foi possível medir o potencial de corrosão e a corrente de corrosão, através do ensaio. Para futura continuação do trabalho serão feitos testes com mais amostras em diferentes tempos de submersão, e a investigação da impedância eletroquímica.

CONTRIBUIÇÕES DOS AUTORES

R.H.R., D.A.R., Y.Y.S. contribuíram com a curadoria, análise dos dados, procederam com a metodologia e experimentos. R.H.R. e D.A.R. atuaram na redação do trabalho.

T.S.N idealizou, orientou e supervisionou as atividades, além da revisão do trabalho submetido.

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos a USP de São Carlos e a UFVJM campus Janaúba, que nos forneceram as amostras, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), responsável pela a consolidação da bolsa dos autores.

REFERÊNCIAS

CALLISTER JR. W.D.; RETHWISH, D.G. **Ciência e engenharia dos materiais**: uma introdução. 9 a Ed., Rio de Janeiro, RJ: LTC editora, 2016

GARCIA, Enrique Meza. **Influence of alloying elements on the microstructure and mechanical Properties of extruded Mg-Zn based alloys**. Technischen Universität, Berlin, Germany, 2010.

GENTIL, Vicent. **Corrosão**. 6. Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

HEIMANN, R. B. **Magnesium alloys for biomedical application: Advanced corrosion control through surface coating.** Surface and Coating Technology, v. 405, p. 126521, jan, 2021

LI, Z. et al. **Microstructure and Corrosion of cast magnesium alloy ZF60 in NaCl solution.** Materials, v. 13, n, 17, p, 3833, 30 ago. 2020

LIU, Y. et al. **Fundamental Theory of Biodegradable Metals – Definition, Criteria, and Design.** Advanced Functional Materials, V. 29, n. 18, 1805402, maio 2019.

MA, Y.; XIONG, H.; CHEN, B. **Effect of heat treatment on microstructure and corrosion behavior of MG-5Al-1Zn-1Sn magnesium alloy.** Corrosion Science, v. 191, p. 109759, out. 2021.

SEZER, N. et al. **Review of magnesium-based biomaterials and their applications.** Journal of Magnesium and Alloys, v. 6, n. 1, p. 23-43, março 2018.