

Caio Almeida Justino da Silva

Estudo da Resistência à Corrosão em Frestas e por Pites do Aço Inoxidável Ferrítico AISI 444

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Faculdade de Tecnologia de São Paulo, como
exigência de aprovação final no curso de
Tecnologia de Materiais.

Orientador (a):

Dra. Isolda Costa

Agradecimentos

À minha família pelo intenso apoio durante esses três anos de estudos.

À Dra. Isolda Costa pela orientação durante todo o trabalho desenvolvido.

À Prof.^a Dr. Vanessa Duarte Del Cacho e ao João Victor Araújo pela indicação do estágio de iniciação científica.

A todos os professores do Curso de Tecnologia de Materiais, em especial ao Prof Dr Marcos Domingos Xavier, que neste último ano me passou tanto conhecimento.

À Me. Larissa Oliveira Berbel pela co-orientação em todo o trabalho desenvolvido.

Ao IPEN pela oportunidade de realização deste trabalho.

Ao CNPq pelo apoio financeiro da bolsa.

E a todos os colegas de curso que fizeram parte de toda essa jornada da graduação.

DEDICATÓRIA

À minha família

RESUMO

A indústria de biomateriais vem crescendo muito devido principalmente ao envelhecimento da população pelo aumento da expectativa de vida. As aplicações de biomateriais como implantes dentários e ortopédicos precisam de um estudo confiável de suas propriedades em condições que simulem o contato com fluidos do corpo humano. Este contato pode resultar em corrosão dos implantes com a liberação de íons nos fluidos corpóreos. Em biomateriais metálicos, a resistência à corrosão dos materiais usados se deve principalmente ao filme de óxido que é formado em contato com oxigênio e que protege o substrato metálico. Todavia, esses filmes podem ser atacados em condições agressivas, principalmente em presença de íons cloreto no meio. Um dos aços que tem sido considerada para uso como parte de implante dentário, no caso removível, é o aço inoxidável ferrítico. Estes, apesar de serem ferromagnéticos, podem ser usados para fixação do implante. Neste trabalho, a resistência à corrosão por pites e em frestas do aço inoxidável ferrítico AISI 444 foi estudada em meios contendo cloretos e sob condições de aeração natural ou desaeração, esta última para simular condições de regiões oclusas. Nestas condições, dois mecanismos de corrosão podem ocorrer; sendo um deles o de corrosão por pites, que é iniciado pela presença de micropilhas galvânicas entre os precipitados e a matriz da liga, e a corrosão em frestas, cujo mecanismo de iniciação é o de pilhas de aeração diferencial.

Palavras-chave: biomateriais – implantes - corrosão – aço inoxidável.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Ilustração esquemática de biocompatibilidade.

Figura 2: Formação de um tecido normal sob o material em fluidos corpóreos.

Figura 3: Reações na interface osso/implante para alguns materiais de implantes.

Figura 4: Diagrama de Equilíbrio Ferro – Cromo.

Figura 5: Curva de tensão deformação de cada tipo de aços inoxidáveis.

Figura 6: Iniciação do pite em um aço com a presença de uma camada protetora de óxido de ferro.

Figura 7: Esquema do mecanismo da corrosão em frestas entre duas lâminas rebitadas.

Figura 8: Ensaio de OCP de um aço inoxidável austenítico AISI 304 em solução de 5% HNO_3 com suas respectivas superfícies lixadas (1 e 2) e exposto à atmosfera por 1,5 e 170 horas, respectivamente. Na curva 3, o corpo de prova foi passivado e seu tempo de exposição à atmosfera foi de 170 horas.

Figura 9: Curvas de polarização anódica para os aços S31803 e S32760 em solução de cloreto de sódio 3,5%: (a) em condições aeradas e (b) saturada com CO_2 .

Figura 10: SPECTROMAX e o cilindro de gás argônio.

Figura 11: Amostra de aço inoxidável AISI 444 embutida em baquelite.

Figura 12: Célula eletroquímica utilizada.

Figura 13: Aparato do bombeamento de nitrogênio através de um tubo de silicone.

Figura 14: Aparato do potenciostato ligado à célula eletroquímica (inserida na Gaiola de Faraday) e ao computador.

Figura 15: Vista frontal e lateral do microscópio óptico Leica DMLM.

Figura 16: Superfície anterior ao ataque com a presença de inclusões em resolução de 50X.

Figura 17: Micrografias (a) e (b) em resolução de 500X após o ataque em Vilella.

Figura 18: Curvas de potencial de circuito aberto em soluções de cloreto de sódio e PBS vs $ER_{Ag/AgCl, KCl\ 3M}$ em contato com o aço inoxidável AISI 444.

Figura 19: Curvas de polarização anódica e micrografias ópticas (A) e (B) das superfícies ensaiadas mostrando corrosão por pite em solução de 3,5% de cloreto de sódio vs $ER_{Ag/AgCl, KCl\ 3M}$ em meio aerado com aumento de 50X.

Figura 20: Curvas de polarização anódica e micrografias ópticas (A) e (B) das superfícies ensaiadas mostrando corrosão em frestas em solução de 3,5% de cloreto de sódio vs $ER_{Ag/AgCl, KCl\ 3M}$ com aumento de 50X.

Figura 21: Curvas de polarização anódica e micrografias ópticas das superfícies ensaiadas em solução 0,9 % (massa) vs $ER_{Ag/AgCl, KCl\ 3M}$, naturalmente aeradas mostrando corrosão em fresta e por pite com aumento de 50X.

Figura 22: Curvas de polarização anódica em concentrações de 3,5% e 0,9% de NaCl, em meios aerados e desaerados vs $ER_{Ag/AgCl, KCl\ 3M}$.

Figura 23: Curvas de polarização anódica em concentrações de 3,5% e 0,9% de NaCl vs $ER_{Ag/AgCl, KCl\ 3M}$ em meios aerados e desaerados partindo sob o mesmo potencial.

Figura 24: Micrografias ópticas das superfícies ensaiadas após polarização utilizando solução de 0,9% de NaCl em condições aeradas (A) e desaeradas (B), com aumento de 50X.

Figura 25: Micrografias ópticas das superfícies ensaiadas após polarização utilizando solução de 3,5% de NaCl em condições aeradas (A) e desaeradas (B), com aumento de 50X.

Figura 26: Densidade de corrente obtida em potenciais de polarização correspondentes a 1.6 V vs $ER_{Ag/AgCl, KCl\ 3M}$ nos meios com 0,9% e 3,5% de cloreto de sódio, aerado ou desaerado.

Figura 27: Curvas de polarização anódica usando PBS pH 6 em condições aeradas e desaeradas.

Figura 28: Micrografias ópticas das superfícies ensaiadas após polarização utilizando solução PBS pH 6 em condições aeradas (A) e desaeradas (B), com aumento de 50X.

Figura 29: Curvas de polarização anódica usando PBS pH 3 em condições aeradas e desaeradas.

Figura 30: Micrografias das superfícies ensaiadas após polarização utilizando solução PBS pH 3 em condições aeradas (C) e desaeradas (D), com aumento de 50X.

Figura 31: Curvas de polarização anódica em pH 6 e 3 de solução PBS em meios desaerados.

LISTAS DE ABREVIATURAS

AISI	American Iron and Steel Institute
ASTM	American Society for Testing and Materials
ER	Eletrodo de Referência
E_b	Potencial de Quebra do filme (“breakdown potencial”)
E_p	Potencial de Pite
ECS	Eletrodo de referência de calomelano
OCP	Potencial de Circuito Aberto
PBS	Solução Salina Tamponada por Fosfato

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	1
2.	OBJETIVOS.....	2
3.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	2
3.1	BIOMATERIAIS.....	2
3.2	BIOMATERIAIS METÁLICOS.....	5
3.3	AÇOS INOXIDÁVEIS.....	6
3.4	MECANISMOS DE CORROSÃO LOCALIZADA EM AÇOS INOXIDÁVEIS	7
3.4.1	CORROSÃO POR PITES.....	8
3.4.2	CORROSÃO EM FRESTAS.....	9
3.5	ENSAIOS ELETROQUÍMICOS DE CORROSÃO.....	11
3.5.1	POTENCIAL DE CIRCUITO ABERTO.....	11
3.5.2	POLARIZAÇÃO POTENCIODINÂMICA ANÓDICA.....	12
4.	MATERIAIS E MÉTODOS.....	14
4.1	MATERIAIS.....	14
4.2	MÉTODOS.....	14
4.2.1	PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS.....	14
4.2.2	ANÁLISE DA COMPOSIÇÃO QUÍMICA.....	14
4.2.3	ANÁLISE MICROESTRUTURAL.....	16
4.2.4	CÉLULA ELETROQUÍMICA.....	18

4.2.5	ENSAIOS ELETROQUÍMICOS DE POTENCIAL DE CIRCUITO ABERTO.....	19
4.2.6	ENSAIOS ELETROQUÍMICOS DE POLARIZAÇÃO POTENCIODINÂMICA..... ANÓDICA	20
4.2.7	ANÁLISE DA SUPERFÍCIE DAS AMOSTRAS APÓS POLARIZAÇÃO.....	20
5.	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	21
5.1	ENSAIO DE POTENCIAL DE CIRCUITO ABERTO.....	21
5.2	ENSAIO DE POLARIZAÇÃO POTENCIODINÂMICA ANÓDICA.....	22
6.	CONCLUSÕES.....	34
7.	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	34
8.	REFERÊNCIAS.....	35