

铈掺杂 TiO₂ 薄膜抗海水中硫酸盐还原菌的 腐蚀性能研究

王洪芬¹ 王志奇² 洪海霞¹ 陈守刚¹ 尹衍升¹

(1. 中国海洋大学材料科学与工程研究院 青岛 266100; 2. 中国科学院青岛生物能源与过程研究所 青岛 266101)

摘要: 采用溶胶-凝胶法在 304 不锈钢表面制备了铈掺杂 TiO₂ 薄膜, 并采用半连续培养方式在海水中培养硫酸盐还原菌 (SRB)。通过形貌观察及电化学方法研究浸泡于菌液中的空白 304 不锈钢及铈掺杂 TiO₂/304ss 电极的腐蚀行为。结果指出, 在 304 不锈钢表面涂覆铈掺杂 TiO₂ 薄膜后能显著抑制硫酸盐还原菌的附着行为; 涂膜电极在硫酸盐还原菌菌液中的自腐蚀电流密度低于同期浸泡的空白 304 不锈钢电极, 而电化学阻抗值则高于同期浸泡的空白 304 不锈钢电极, 表明在 304 不锈钢表面涂覆铈掺杂 TiO₂ 薄膜能起到抗海水中硫酸盐还原菌附着腐蚀的作用。

关键词: TiO₂ 薄膜 硫酸盐还原菌 极化曲线 电化学阻抗谱 304 不锈钢

中图分类号: TG172 **文献标识码:** A **文章编号:** 1005-4537 (2010) 06-0481-06

1 前言

研究表明在海洋工程材料中, 金属材料的腐蚀相当严重, 其中由海洋微生物导致的腐蚀约占总体腐蚀的 20% 左右^[1]。近年来, 不锈钢材料以其优异的力学性能和抗腐蚀性能而在海洋工程中得到广泛应用。但是, 研究人员发现^[2~4], 在海洋环境中, 微生物易附着于不锈钢材料表面形成生物膜, 在生物膜内部微生物的新陈代谢活动影响腐蚀反应的阴极过程或阳极过程, 从而加速了不锈钢材料的腐蚀, 限制了其应用范围。相关研究表明^[5,6], 作为一种导致金属材料腐蚀的优势菌种, 硫酸盐还原菌大量存在于海水中, 一旦附着在材料表面就能很快形成生物膜, 在其生命代谢活动中将海水中的 SO₄²⁻ 还原成 S²⁻ 或 H₂S, 从而改变生物膜/金属界面的溶解氧浓度、pH 值等, 形成浓差电池, 促进金属基体发生局部腐蚀。

基于海洋开发对材料抗微生物腐蚀的特殊要求, 本文制备研究一种抗硫酸盐还原菌附着腐蚀的不锈钢涉海材料, 期望能改善目前工程材料在海洋中的微生物附着腐蚀状况。

2 实验方法

室温条件下, 将二乙醇胺 (C₄H₁₁NO₂) 缓慢加到无水乙醇中, 溶解均匀后在强力搅拌的情况下将钛酸四丁酯 (C₁₆H₃₆O₄Ti) 缓慢滴加到上述溶液中, 预醇解反应 2 h, 得淡黄色溶液。向其中滴加硝酸铈-乙醇的混合溶液, 其中硝酸铈和钛酸四丁酯按 2.1 g/100 mL 的比例加入。滴加完毕后再向其中滴加一定量的水, 持续搅拌反应 2 h 后制得黄色透明溶胶。

将尺寸为 10 mm×10 mm×2 mm 的洁净 304 不锈钢 (304ss) 基体浸入到制备好的溶胶中, 以 0.5 mm/s 的速度匀速提拉, 在表面吸附及化学结合力的作用下, 溶胶会在基体上形成一层均匀的湿凝胶薄膜。将涂膜基片在空气中自然干燥后置于 80 °C 烘箱中烘干 10 min, 取出冷却至室温后重新浸入溶胶中, 重复上述步骤 3 次。之后将所得试样于 500 °C 下煅烧, 控制升温速率为 2 °C/min, 保温 2 h, 自然降温后取出, 即制得负载于不锈钢基体上的铈掺杂 TiO₂ 薄膜 (以下简称铈掺杂 TiO₂/304ss)。

实验采用的硫酸盐还原菌菌种取自青岛海域规定采水点, 经分离纯化获得。培养介质为 Postgate/C 培养基^[7], 成分为: 1.0 g/L KH₂PO₄、1.0 g/L NH₄Cl、2.0 g/L MgSO₄·7H₂O、0.5 g/L Na₂SO₄、0.1 g/L CaCl₂、4 ml/L 乳酸钠、1.0 g/L 酵母浸汁、0.1 g/L 维生素 C。将维生素 C 以外的上述其它试剂溶解于净化陈海水中, 用 NaOH 溶液调节 pH 值约为

定稿日期: 2009-12-21

基金项目: 国家自然科学基金项目 (50672090, 50702053) 和山东省自然科学基金项目 (Y2008B46) 资助

作者简介: 王洪芬, 1975 年生, 女, 博士, 讲师, 研究方向为微生物腐蚀

通讯作者: 尹衍升, E-mail: yys2003@ouc.edu.cn

7.3, 密封后置高压灭菌器中于 103.4 kPa、121±2 °C 下灭菌 30 min, 冷却后取出。加入经紫外光灭菌后的维生素 C (测生长曲线用的培养基还需加入 0.004 g/L 的 $(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), 溶解后待用。

细菌生长曲线的测定按照 API RP-38 标准进行计数。取培养至一定时间的硫酸盐还原菌菌液, 用生理盐水按倍比稀释并分别接种于各试管, 灌满培养基后密封, 置 35 °C 生化培养箱中培养 21 d, 试管中溶液颜色变黑色者为阳性。定期测定菌液中硫酸盐还原菌数量, 记录生长曲线。

各取经二次活化过的硫酸盐还原菌菌液 50 mL 分别接种至 2 个 250 mL 广口瓶中, 倒入经灭菌处理并冷却至室温的 Postgate C 液体培养基, 吹吸均匀后将灭菌处理过的铈掺杂 $\text{TiO}_2/304\text{ss}$ 及空白 304ss 电极分别放入瓶中, 然后灌满培养基, 盖上瓶塞并用灭菌石蜡封口。采用半连续培养法定期加入培养基, 试样浸泡不同时间后进行细菌附着腐蚀形貌观察及电化学腐蚀性能测试。

将试样在菌液中浸泡不同时间后, 取出覆盖有细菌及生物膜的试片置于 3% 浓度的戊二醛 PBS 溶液中固定 4 h, 然后用 0.1 mol/L 的磷酸盐缓冲溶液漂洗。再依次用 30%、50%、70%、80%、100% 浓度的乙醇进行梯度脱水。最后用 50%、100% 浓度的乙酸异戊酯中间液置换, 置于 CO_2 临界点干燥器中干燥, 用扫描电镜观察细菌附着腐蚀形貌。

实验采用经典三电极体系测量, 参比电极为饱和甘汞电极 (SCE), 辅助电极为铂电极, 实验介质为净化陈海水。在 ZAHNER-IM6 电化学工作站上定期测量浸泡于菌液中电极的极化曲线及电化学阻抗谱。测试参数为: 极化曲线测量时扫描速度为 2 mV/S, 电位扫描范围为相对于腐蚀电位 ±600 mV; 电化学阻抗测试频率范围为 10 mHz~100 kHz, 交流扰动信号幅值为 10 mV。

3 结果与讨论

3.1 细菌的生长曲线

图 1 为硫酸盐还原菌在培养基中的生长曲线。可以看出, 当细菌刚接种后, 它需要一定的时间来适应新的环境, 细菌在这段时间里繁殖相对较慢, 生长处于迟缓期, 因此菌量在接种后的 1~2 d 时间内增长相对较慢。当细菌逐渐适应了周围环境, 它开始以最大的速度生长和分裂, 细菌数量成对数增加, 从而进入对数生长期 (图 1); 在第 2 d 到第 7 d 的时间内菌量快速增长, 至第 7 d 时细菌数量达到最大值。随着培养时间的延长, 营养物质逐渐消耗, 细菌周围环境如 pH 值等发生变化, 逐渐不利于细菌的生长, 导致细菌生长率降低, 死亡速率逐步增加; 第 8 d 后细菌

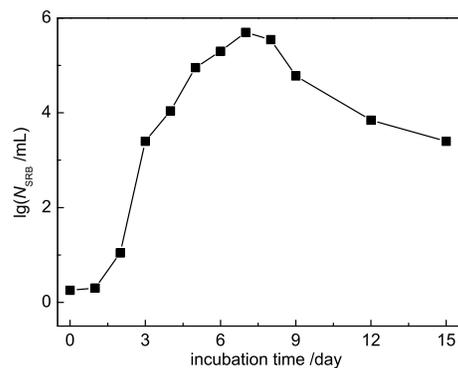


Fig.1 Growth curve of SRB

数量逐渐下降, 细菌繁殖进入衰亡期。因此, 在实验过程中, 根据测定的硫酸盐还原菌的生长规律, 当细菌培养至 7 d 时及时补充新鲜培养基, 以保证培养瓶中的细菌能够正常生长。

3.2 硫酸盐还原菌附着形貌观察

实验研究了铈掺杂 $\text{TiO}_2/304\text{ss}$ 及空白 304ss 在硫酸盐还原菌菌液中浸泡不同时间后试样表面形貌变化情况 (图 2)。从浸泡 1 d 的情况来看, 空白 304ss 表面附着有许多细菌并吸附了大量的培养基中的不溶物质 (图 2a); 而铈掺杂 $\text{TiO}_2/304\text{ss}$ 表面较为光滑, 仅附着有很少量的细菌 (图 2b), 这是由于铈掺杂 TiO_2 薄膜有较强的疏水性, 海水较难浸润薄膜, 且薄膜的杀菌性能也抑制了硫酸盐还原菌附着的原因。当浸泡到 3 d 后, 空白 304ss 表面附着了大量的细菌及其代谢产物 (图 2c 中 1 处), 且试样表面出现形状不规则的腐蚀坑 (图 2c 中 2 处); 相比较而言, 铈掺杂 $\text{TiO}_2/304\text{ss}$ 表面细菌量较少且未发现腐蚀坑存在 (图 2d)。当浸泡到 28 d 时, 空白 304ss 表面出现大量的腐蚀坑 (图 2e), 同时铈掺杂 $\text{TiO}_2/304\text{ss}$ 表面也出现了腐蚀坑但数量相对较少 (图 2f)。试样表面腐蚀坑的出现, 说明了随着在硫酸盐还原菌菌液中浸泡时间的延长, 在细菌及其代谢产物的作用下试样的抗腐蚀性能下降。从除去表面腐蚀产物及生物膜后的试样形貌来看, 浸泡 100 d 后, 空白 304ss 表面布满大大小小的腐蚀坑 (图 2g), 同时铈掺杂 $\text{TiO}_2/304\text{ss}$ 表面也存在腐蚀坑 (图 2h 中 1 处) 且薄膜出现脱落现象 (图 2h 中 2 处)。

3.3 极化曲线测试

图 3 为空白 304ss 和铈掺杂 $\text{TiO}_2/304\text{ss}$ 在硫酸盐还原菌菌液中浸泡不同时间后的极化曲线, 拟合后的相关电化学参数见表 1。由图中看出, 随着浸泡时间的延长, 空白 304ss 极化曲线整体上移, 自腐蚀电流密度 (I_{corr}) 增大, 自腐蚀电位 (E_{corr}) 负移, 说明随着浸泡时间的延长, 腐蚀反应速度增大, 腐蚀反应顺利进行。而铈掺杂 $\text{TiO}_2/304\text{ss}$ 在硫酸盐还原菌菌液中浸泡 3 d 时 E_{corr} 较 1 d 时正移, 对照图 2d 分析可能是由于铈掺杂 TiO_2 膜层表面覆盖了不溶性

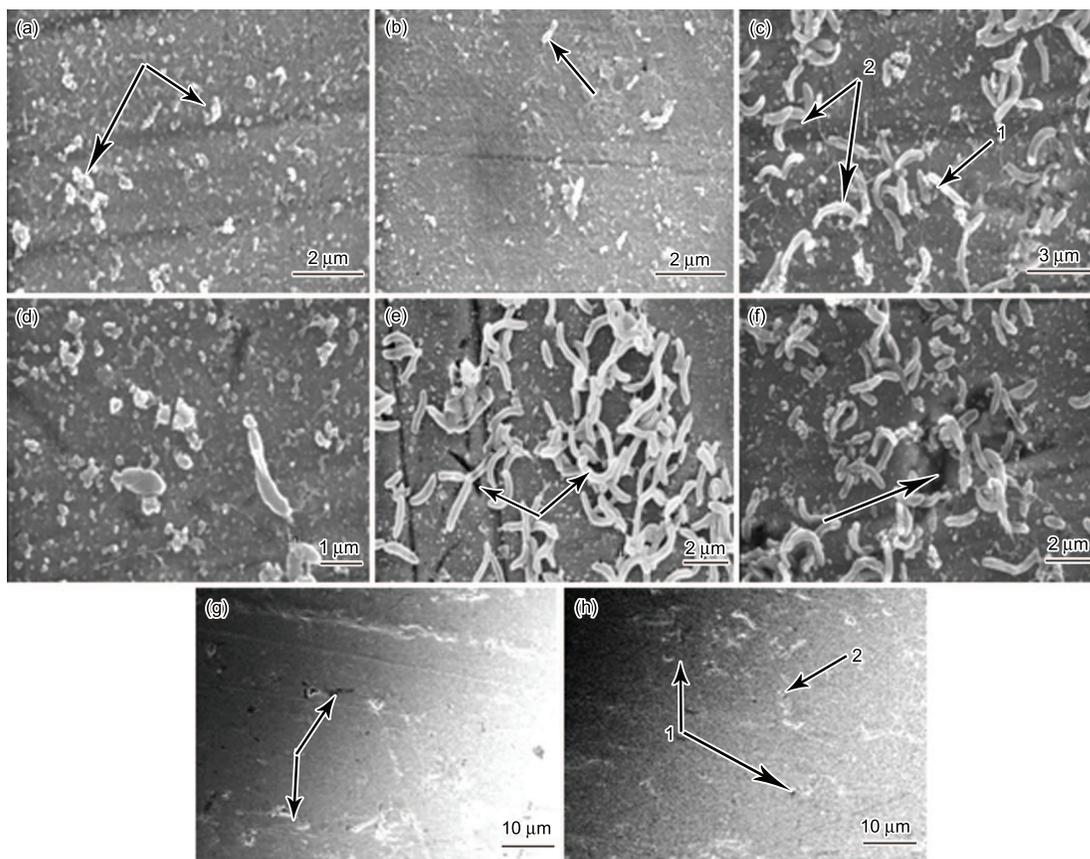


Fig.2 Morphology of 304ss specimens immersed in SRB medium for different time for (a) 1 d, (c) 3 d, (e) 28 d and (g) 100 d; cerium-doped TiO₂/304ss for (b) 1 d, (d) 3 d, (f) 28 d and (h) 100 d

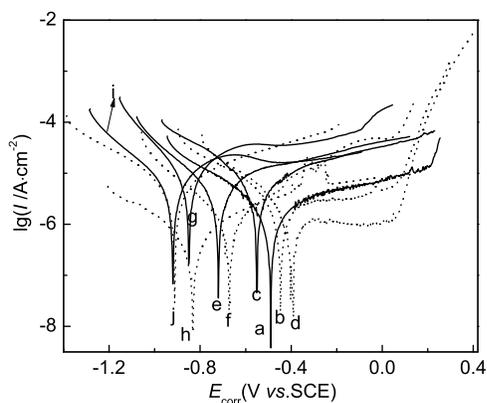


Fig.3 Polarization curves of 304ss specimens immersed in SRB medium for different time for (a) 1 d, (c) 3 d, (e) 14 d, (g) 28 d, (i) 100 d; cerium-doped TiO₂/304ss for (b) 1 d, (d) 3 d, (f) 14 d, (h) 28 d and (j) 100 d

培养介质及部分细菌生物膜使得该膜层更加致密,从而阻碍了海水介质的渗入并且导致腐蚀阻力增大,腐蚀反应难以进行的缘故。同时,由表 1 可以看到,在

整个浸泡期间,空白 304ss 的 I_{corr} 始终高于同期浸泡的铈掺杂 TiO₂/304ss。根据法拉第公式 ($\nu = \frac{M}{nF} \times I_{\text{corr}}$) 可知,在金属的原子量 M 及价数 n 、法拉第常数 F 不变的条件下,金属的腐蚀速度 ν 与 I_{corr} 成正比,即空白 304ss 的腐蚀速度大于铈掺杂 TiO₂/304ss 的腐蚀速度,从而表明在不锈钢表面涂覆铈掺杂 TiO₂ 薄膜后其抗海水中硫酸盐还原菌附着腐蚀的能力明显增强。但是,随着浸泡时间的延长,这两种材料的抗腐蚀能力均呈下降趋势。当浸泡至 100 d 时,铈掺杂 TiO₂/304ss 的 I_{corr} 增大至 $5.43 \mu\text{A}/\text{cm}^2$,接近空白 304ss 的 I_{corr} 值 ($5.89 \mu\text{A}/\text{cm}^2$),表明此时铈掺杂 TiO₂/304ss 也发生了较严重的腐蚀,这一点与形貌观察结果相吻合。

3.4 电化学阻抗谱测试

图 4 为空白 304ss 及铈掺杂 TiO₂/304ss 电极在硫酸盐还原菌菌液中浸泡不同时间后的阻抗谱图。可以看出,在整个浸泡期间,铈掺杂 TiO₂/304ss 电极

Table 1 Parameters of polarization for the specimens with SRB after different immersion times

material	$E_{\text{corr}} / \text{mV}$					$I_{\text{corr}} / \mu\text{A}\cdot\text{cm}^{-2}$				
	1 d	3 d	14 d	28 d	100 d	1 d	3 d	14 d	28 d	100 d
304ss	-439.2	-502.9	-686.2	-851.7	-919.5	1.16	2.68	3.74	5.85	5.89
cerium-doped TiO ₂ /304ss	-388.8	-353.8	-657.8	-838.3	-912.0	1.08	0.97	1.13	1.25	5.43

的容抗弧半径始终大于同期浸泡的空白 304ss, 说明涂膜后电极的阻抗值增大, 在电极表面发生反应困难, 电极较难被腐蚀。同时, 值得注意的是, 浸泡 3 d 时铈掺杂 $\text{TiO}_2/304\text{ss}$ 的容抗弧半径和 Bode 图中低频区的阻抗值均比浸泡 1 d 时的高, 由于低频处的阻抗值可等同于极化电阻 R_p ^[8,9], 说明当浸泡至 3 d 时铈掺杂 $\text{TiO}_2/304\text{ss}$ 的极化电阻增加, 腐蚀阻力增大, 这一点同极化曲线测试结果相一致。

一般认为^[10], 在 Bode 图中高频区域反映的电极表面半导体氧化膜本身的响应, 低频区域是电极/溶液界面处的界面双电层电容和电荷转移电阻响应。根据图 4 d, 当试样浸泡 1 d 时, 铈掺杂 $\text{TiO}_2/304\text{ss}$ 的高频端出现铈掺杂 TiO_2 薄膜的响应信号, 中低频范围出现氧化膜/溶液界面双电层的响应信号, 因而其

等效电路对应于图 5a; 而空白 304ss 则由于金属表面与海水介质直接接触, Bode-phase 图中仅存在一个较宽的幅角峰, 为 304ss/溶液界面双电层的响应信号, 其等效电路对应图 5b。当浸泡至第 3 d 时, 空白 304ss 的低频端出现一新的幅角峰, 较浸泡 1 d 时多出一个时间常数, 结合图 2c 分析原因是由于电极表面吸附了较多的培养质以及细菌及其产物的附着导致形成生物膜的缘故, 因而其等效电路对应图 5d。当空白 304ss 浸泡时间进一步延长时, 由于电极表面形成较致密的生物膜且基体表面出现腐蚀坑, 因而浸泡 14 d 以后试样的等效电路与图 5d 能很好地吻合。另外, 根据表 2 中空白 304ss 的拟合数据来看, 随着浸泡时间的延长, 电荷转移电阻 R_{ct} 减小, 而双电层电容 Q_{dl} 增大, 表明浸泡过程中随着细菌生命

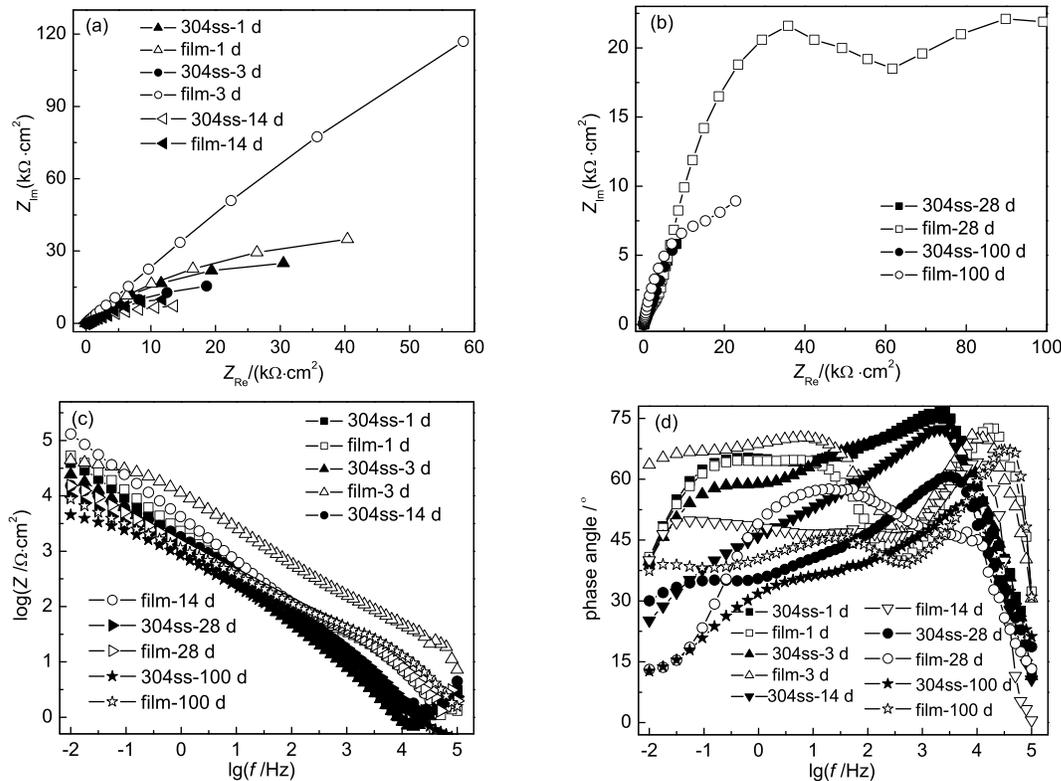


Fig.4 Impedance diagrams of specimens immersed in SRB medium after different time

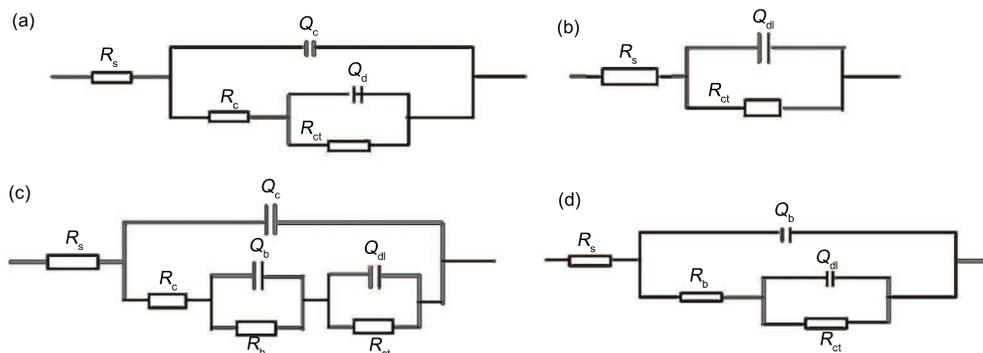


Fig.5 Equivalent circuit of the studied system: R_s -solution resistance; Q_c , R_c -capacitance and resistance of the cerium-doped TiO_2 film, respectively; Q_b , R_b -capacitance and resistance of the biofilm, respectively; Q_{dl} -capacitance of the double-layer; R_{ct} -charge transfer resistance

Table 2 Parameters of EIS for the specimens with SRB after different immersion times

parameter	1 d		3 d		14 d		28 d		100 d	
	Ce	304	Ce	304	Ce	304	Ce	304	Ce	304
R_{ct} (k Ω)	318.9	220.6	303.5	191.5	214.7	187.3	141.4	97.3	103.2	90.5
Q_{dl} (μ F)	2.75	2.37	2.97	3.29	3.43	3.39	4.27	6.11	5.06	7.88
n1	0.89	0.96	0.87	0.83	0.80	0.77	0.78	0.72	0.65	0.35
R_c (Ω)	864.2	-	872.9	-	789.8	-	512.1	-	307.4	-
Q_c (μ F)	1.56	-	1.70	-	1.64	-	1.72	-	1.84	-
n2	0.98	-	0.93	-	0.8	-	0.66	-	0.63	-
R_b (Ω)	-	-	-	28.2	19.6	79.6	83.1	96.2	94.3	99.7
Q_b (μ F)	-	-	-	0.69	0.75	0.84	0.91	1.62	2.06	3.29
n3	-	-	-	0.93	0.87	0.9	0.78	0.86	0.65	0.65
R_s (Ω)	3.8	1.6	2.1	2.3	3.2	1.8	4.36	1.77	2.46	1.42

活动的进行, 溶液中腐蚀性成分不断增多, 环境条件的改变越来越有利于腐蚀反应的进行; 图 4d 中表征腐蚀反应的低频峰随着浸泡时间的延长而往低频方向移动, 也说明容抗减小, 腐蚀反应顺利进行。对于铈掺杂 TiO₂/304ss 来说, 当其在硫酸盐还原菌菌液中浸泡至 3 d 时, 其 Bode 图中仍只存在高频端铈掺杂 TiO₂ 薄膜的响应信号及中低频端氧化膜/溶液界面双电层的响应信号, 因此其等效电路与图 5a 相吻合。但是, 随着浸泡时间的进一步延长, 随着溶液中腐蚀性成分的不断增多及海水的逐渐渗入, 铈掺杂 TiO₂/304ss 开始发生腐蚀, 其等效电路与图 5c 相吻合; 结合表 2 中的拟合数据来看, 随着浸泡时间的延长, 由于腐蚀介质渗入膜层逐渐到达金属基体表面, 使得铈掺杂 TiO₂ 膜电阻 R_c 及电荷转移电阻 R_{ct} 减小, 而膜电容 Q_c 及双电层电容 Q_{dl} 增大, 铈掺杂 TiO₂/304ss 出现腐蚀坑等缺陷, 这一点可从图 2 得到证实。

4 结论

(1) 试样在硫酸盐还原菌菌液中浸泡后的形貌观察结果表明, 在浸泡前期空白 304ss 上附着的细菌数量明显多于铈掺杂 TiO₂/304ss, 且空白 304ss 表面出现大量形状不规则的腐蚀坑, 而铈掺杂 TiO₂/304ss 腐蚀坑量较少。当浸泡至 100 d 时, 铈掺杂 TiO₂/304ss 的抗腐蚀性能下降, 表面出现腐蚀坑且薄膜开始脱落。

(2) 极化曲线测试表明, 在浸泡期间, 空白 304ss 的 I_{corr} 值高于同期浸泡的铈掺杂 TiO₂/304ss, 表明在不锈钢表面涂覆铈掺杂 TiO₂ 薄膜后其抗海水中硫酸盐还原菌腐蚀的能力明显增强; 当浸泡至 100 d 时, 铈掺杂 TiO₂/304ss 的 I_{corr} 值接近于空白 304ss 的 I_{corr} 值, 表明此时铈掺杂 TiO₂ 膜的抗腐蚀能力下降。

(3) 电化学阻抗测试结果表明, 在整个腐蚀浸泡期间, 铈掺杂 TiO₂/304ss 的阻抗值及拟合后的 R_{ct} 值大于同期浸泡的空白 304ss, 说明铈掺杂 TiO₂ 膜的存在阻碍了金属表面电荷转移过程, 减缓了金属基体的腐蚀速度。同时, 随着腐蚀浸泡时间的延长, 铈掺杂 TiO₂/304ss 及空白 304ss 的电荷转移电阻 R_{ct} 均呈减小趋势, 表明在长期的浸泡过程中试样的抗腐蚀性能降低。

参考文献

- [1] Duan J Z, Wu S, Zhang X J, et al. Corrosion of carbon steel influenced by anaerobic biofilm in natural seawater [J]. *Electrochim. Acta.*, 2008, 54: 22-28
- [2] Yebra D M, Kiil S, Weinell C E, et al. Effects of marine microbial biofilms on the biocide release rate from antifouling paints—a model-based analysis [J]. *Prog. Org. Coat.*, 2006, 57: 56-66
- [3] Mattila K, Carpen L, Hakkarainen T, et al. Biofilm development during ennoblement of stainless steel in Baltic sea water: A microscopic study [J]. *Int. Biodeterior. Biodegrad.*, 1997, 40(1): 1-10
- [4] Yin Y S, Cheng S, Chen S G, et al. Microbially influenced corrosion of 303 stainless steel by marine bacterium *Vibrio natriegens*: (II) Corrosion mechanism [J]. *Mater. Sci. Eng.*, 2009, C29: 756-760
- [5] Duan J Z, Hou B R, Yu Z G. Characteristics of sulfide corrosion products on 316L stainless steel surfaces in the presence of sulfate-reducing bacteria [J]. *Mater. Sci. Eng.*, 2006, C26: 624-629
- [6] Liu H F, Xu L M, Zheng J S. Influence of SRB biofilm on corrosion of carbon steel [J]. *J. Chin. Soc. Corros. Prot.*, 2000, 20 (1): 41-46
(刘宏芳, 许立铭, 郑家荣. SRB 生物膜与碳钢腐蚀的关系 [J]. *中国腐蚀与防护学报*, 2000, 20(1): 41-46)
- [7] Gonzalez J E G, Santana F J H, Mirza-rosca J C. Effect of bacterial biofilm on 316ss corrosion in natural seawater by EIS [J]. *Corros. Sci.*, 1998, 40(12): 2141-2154
- [8] Wang D H, Bierwagen G P. Sol-gel coatings on metals for corrosion protection [J]. *Prog. Org. Coat.*, 2009, 64(4):

327-338

[9] Cottis R, Turgoose S. Analysis of electrochemical impedance spectroscopy data. In: Syrett B C ed., Corrosion testing made easy: Electrochemical Impedance and Noise Analysis [M]. NACE International, Houston, TX,

1999

[10] Bao Y S. Corrosion Behavior of TiO₂ Film in Seawater [D]. Qingdao: Ocean University of China, 2008
(鲍玉胜. TiO₂ 薄膜的耐海水腐蚀性能研究 [D]. 青岛: 中国海洋大学, 2008)

CORROSION RESISTANCE BEHAVIOR OF CERIUM-DOPED TiO₂ FILM IN THE PRESENCE OF MARINE BACTERIUM SULFATE-REDUCING BACTERIA

WANG Hongfen¹, WANG Zhiqi², HONG Haixia¹, CHEN Shougang¹, YIN Yansheng¹

(1. Institute of Materials Science and Engineering, Ocean University of China, Qingdao 266100;

2. Qingdao Institute of Bioenergy and Bioprocess Technology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266101)

Abstract: Cerium-doped TiO₂ film was prepared on 304 stainless steel by a sol-gel process. Sulfate-reducing bacteria(SRB) was incubated by semi-continuous culture method. The effect of SRB on corrosion behavior of cerium-doped TiO₂/304ss and bare 304ss immersed in SRB medium were studied by morphology analysis and electrochemical methods. The results showed that cerium-doped TiO₂ film on 304ss could inhibit attachment of SRB. The corrosion current density of cerium-doped TiO₂/304ss was lower, while electrochemical impedance was higher than that of bare 304ss. Therefore, a conclusion could be drawn that cerium-doped TiO₂ film coating on 304ss could inhibit attachment of SRB and prevent corrosion caused by SRB in seawater.

Key words: TiO₂ thin film, sulfate-reducing bacteria, polarization, electrochemical impedance spectroscopy, 304 stainless steel

欢迎订阅 2011 年《腐蚀科学与防护技术》

您想了解腐蚀学科的发展动态吗? 您想解决身边材料的腐蚀问题吗? 您想掌握腐蚀控制与防护的技术吗? 欢迎订阅《腐蚀科学与防护技术》! 本刊主要刊登腐蚀与防护领域中原创性的研究报告、综合评述以及新工艺新技术、腐蚀失效分析、腐蚀检测仪器研制与实验设备、现场调查等技术报告; 适于科研、教学、工程技术人员阅读参考。文章均附英文摘要以及英文的图题及表题, 以飨国内外不同读者并便于检索。

《腐蚀科学与防护技术》是全国性核心学术刊物, 由中国科学院金属研究所主办, 国内外发行。自 1989 年创刊以来已成为“中国科技论文统计用刊”、中国中文核心期刊, 入编中国科学引文索引, 并且被《化学文摘 CA》(美国)、《科学文摘 SA》、《剑桥科学文摘 CSA》等收录。

《腐蚀科学与防护技术》为双月刊, 国内定价: 28 元/本, 全年 168 元。邮发代号: 8-64。请您在邮局《全国报刊目录》的辽宁部分查找, 在邮局未订到者, 可与编辑部联系补订, 订单函索即寄。电汇或网银汇款给编辑部即可。