

钛合金和95#钢的电偶腐蚀研究

孙禹宏, 李竹影, 张旺洲, 刘冶
(海军工程大学, 武汉 430033)

摘要: 目的 研究3%(以质量分数计)NaCl溶液中钛合金与95#钢的面积比以及它们之间的偶对间距对95#钢的电偶腐蚀行为。方法 测量不同阴阳极面积比和不同偶对间距的电偶电流密度、电偶电位曲以及钢的腐蚀速率。结果 偶对间距从24 mm减少到12 mm,降低50%,而腐蚀速率约增加34~45倍。结论 电偶腐蚀速率随阴阳极面积比的增大而升高,随着偶对间距的增大而降低。

关键词: 电偶腐蚀; 面积比; 偶对间距; 腐蚀速率

DOI: 10.7643/issn.1672-9242.2014.02.002

中图分类号: TG174.3+6 **文献标识码:** A

文章编号: 1672-9242(2014)02-0007-04

Study on Galvanic Corrosion of Titanium Alloy and 95# Steel

SUN Yu-hong, LI Zhu-ying, ZHANG Wang-zhou, LIU Ye
(1. Naval University of Engineering, Wuhan 430033, China)

ABSTRACT: Objective To investigate the area ratio and galvanic couple spacing of titanium alloy and 95# steel for the galvanic corrosion behavior of 95# steel in 3% NaCl solution. **Methods** The galvanic corrosion rate of steel and the curve of current density and potential were analyzed. **Results** The results showed that the galvanic corrosion rate increased with the increase of Sc/Sa, the galvanic couple of spacing decreased to 12 mm from 24 mm, and the corrosion rate increased by 34~45 times. **Conclusion** Galvanic corrosion rate increased with the increase of the ratio of anode area, and reduced with the increase of the galvanic couple spacing.

KEY WORDS: galvanic corrosion; area ratio; galvanic couple spacing; corrosion rate

电偶腐蚀又称接触腐蚀,是指2种或2种以上不同金属在电介质中接触后,由于自腐蚀电位不同而构成腐蚀原电池,使偶对金属之间存在电偶电流流

动,电位较低的金属为阳极,腐蚀加剧,而电位较高的金属为阴极,腐蚀减缓^[1]。

电偶腐蚀是一种危害极为广泛,能够产生严重

收稿日期: 2013-11-15; 修订日期: 2013-12-20

Received: 2013-11-15; **Revised:** 2013-12-20

作者简介: 孙禹宏(1988—),男,山东烟台人,硕士研究生,主要研究方向为金属腐蚀。

Biography: SUN Yu-hong(1988—), Male, from Yantai, Shandong, Master graduate student, Research focus: metal corrosion.

损失的腐蚀行为,广泛存在于船舶、油气、航空、建筑等行业和医疗器械中。电偶腐蚀的影响因素有很多,除电偶本身材料性质(包括偶接前金属的自腐蚀电位、极化性能、钝化膜稳定性能等)及几何性能(包括阴阳极面积比、偶对间距等)以外,环境因素如电导率、溶解氧、温度、流速、pH值等均影响着电偶腐蚀行为,此外海水中的生物及腐败有机物也会影响电偶腐蚀行为^[2]。

钛作为一种耐腐蚀金属,在舰船的许多设备中,易腐蚀的部位逐渐采用钛合金来替代,而船体大多采用钢结构。当两种金属间的腐蚀防护手段被破坏时,在有海水和湿气存在的环境下,钛对钢要产生电偶腐蚀作用^[3],作为阳极的钢显然就要加速腐蚀,钢的强度就会因为腐蚀加剧而迅速降低,船体的强度不保就会发生船毁人亡的事故^[4]。鉴于此,掌握某型钢受钛合金电偶影响的情况,便于更好地采用有效的防腐手段,防止钛合金对船体钢产生腐蚀^[3],了解钛合金对于钢电偶腐蚀的具体行为就显得尤其重要。文中着重研究了人造海水中钛合金与钢的面积比以及它们之间的偶对间距对某型钢的电偶腐蚀行为,其结论对异种金属间的具体防腐措施应用提供了理论支撑。

1 材料和试验方法

实验材料为钛合金和95#钢^[5-6]。钢试样的尺寸有205 mm × 130 mm, 180 mm × 100 mm, 150 mm × 80 mm, 120 mm × 60 mm, 100 mm × 50 mm, 钛试样的尺寸为50 mm × 25 mm。

钢试样经过打磨,除去表面锈迹,将铜导线与试样顶端孔(孔径约3 mm)相连,为测量所用,并用环氧树脂密封连接部分做防腐处理。先用清水除去金属试样表面残留的污渍,并置于丙酮溶液中用超声波清洗仪除去表面油污,再用清水冲净后,用酒精擦洗,自然晾干,放入干燥器中干燥^[7]。在干净的钢试样非工作面上均匀覆盖一层透明胶带,然后用石蜡封住。

用同样的方法清洗钛合金试样,并将铜丝与清洗后的钛试样进行焊接,焊接牢固后,用水磨机将焊接部位打磨平整,并洗净,最后用环氧树脂将焊接部位密封防止腐蚀。

试验介质为分析纯NaCl形成的3%(以质量分数

计)NaCl溶液,用蒸馏水配置。除锈液用分析纯盐酸和六次甲基四胺配置,六次甲基四胺占3.75%^[8]。

钢试样与钛试样按面积比1:21, 1:14, 1:10, 1:6和1:4组成5组电偶对,置于3%NaCl溶液中,有2组进行间距为12 mm和24 mm的试验。

2 结果与分析

2.1 偶对间距对腐蚀速率的影响

2.1.1 偶对间距为12 mm

试验期间,溶液温度随时间的变化曲线如图1所示。钢钛试样间距保持12 mm时,不同面积比的钢钛电偶对电流密度随时间的变化曲线如图2所示。其中1#—5#电偶对的阴阳极面积比分别为1:21, 1:14, 1:10, 1:6, 1:4。电偶电位随时间的变化曲线如图3所示^[9]。

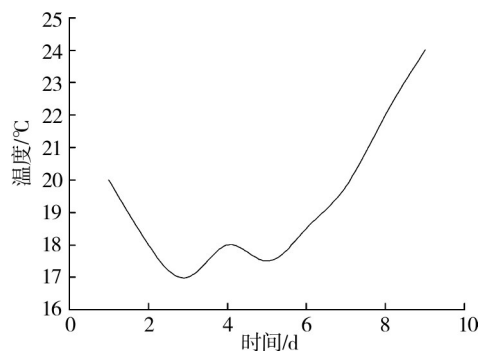


图1 偶对间距为12 mm时溶液温度随时间的变化曲线

Fig.1 The curve of temperature with time at a galvanic couple spacing of 12 mm

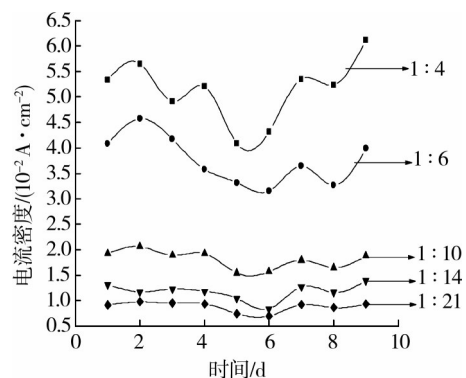


图2 偶对间距为12 mm时1#—5#偶对电偶电流密度随时间的变化曲线

Fig.2 The curve of 1#—5# galvanic current density with time at a galvanic couple spacing of 12 mm

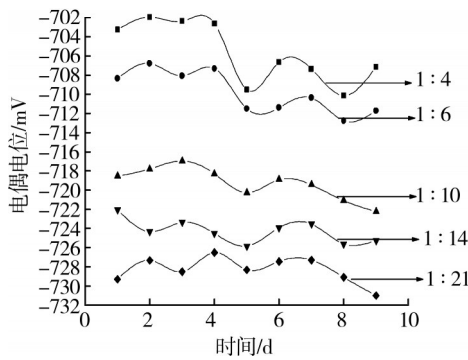


图3 偶对间距为12 mm时1[#]—5[#]电偶对电偶电位随时间的变化曲线

Fig.3 The curve of 1[#]—5[#] Eg with time at a galvanic couple spacing of 12 mm

对比图1和图2可知,第2—7天两条曲线的变化基本上一致,温度升高电偶电流密度增大,温度降低电偶电流密度减少^[10],且阴阳极面积比越大,电偶电流密度随温度的变化波动越剧烈。第1—2天,电偶电流密度增大,因为钢钛偶对进行偶接时电偶对电位差对腐蚀的驱动力很大,钢试样表面由非腐蚀状态到腐蚀状态是一个腐蚀速率增大的过程。第7—8天,电偶电流密度略微减少,是因为钢试样表面经过长时间的腐蚀,锈层厚度增加,导致表面电阻逐渐增大的缘故。从图2和图3均可以明显看出,电偶电流密度和电偶电位均随着阴阳极面积比的增大而增大。

2.1.2 偶对间距为24 mm

偶对间距为24 mm时,溶液温度随时间的变化曲线如图4所示,电偶电流密度和电偶电位随着温度的变化波动性较大。不同阴阳极面积比的电偶电流密度和电偶电位随时间的变化曲线分别如图5和图6所示。试验前10天,电偶电流密度随时间的变化曲线与温度随时间的变化曲线波动性基本上一致,温度升高电偶电流密度增大,温度降低电偶电流密度减少;10天后电偶电流密度总体上处于不断减小的趋势,因为后期钢试样表面腐锈增多,电偶腐蚀速率降低,电偶电流减少。电偶电位前期比较平稳,后期波动性较大,受温度的影响较大。电偶电流密度和电偶电位基本上都随着阴阳极面积比的增大而增大。

2.2 阴阳极面积比电偶腐蚀速率的影响

阴阳极面积比和偶对间距属于电偶本身的几何

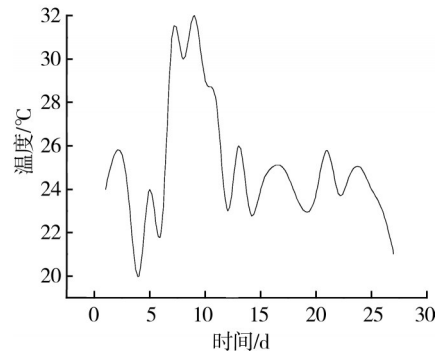


图4 偶对间距为24 mm时溶液温度随时间的变化曲线

Fig.4 The curve of temperature with time at a galvanic couple spacing of 24 mm

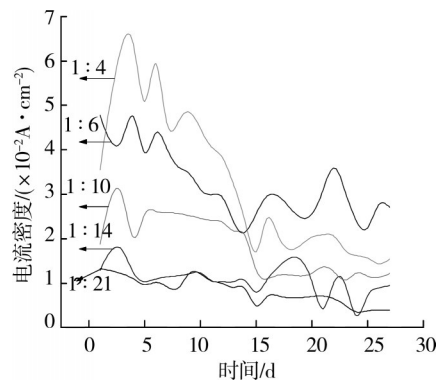


图5 偶对间距为24 mm时1[#]—5[#]电偶对电偶电流密度随时间的变化曲线

Fig.5 The curve of 1[#]—5[#] galvanic current density with time at a galvanic couple spacing of 24 mm

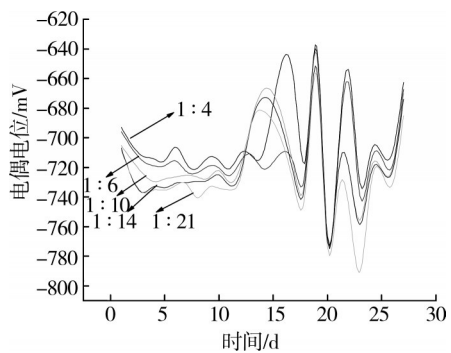


图6 偶对间距为24 mm时1[#]—5[#]电偶对电偶电位随时间的变化曲线

Fig.6 The curve of 1[#]—5[#] Eg with time at a galvanic couple spacing of 24 mm

特性,不论是阴阳极面积比的改变还是偶对间距的改变,都是通过改变电偶电流密度间接造成电偶腐

蚀速率的改变。初步发现,两者对电偶腐蚀速率的影响存在着此消彼长的关系,有待后续试验进行更深一步研究。

1#-5#电偶腐蚀速率随阴阳极面积比变化的柱形图如图7所示,电偶腐蚀速率在相同测试时间和相同温度条件下随面积比的增大而增大。阴阳极面积比从1:21增大至1:4时,通过质量损失分析可知,

偶对间距为12 mm的电偶对的腐蚀速率从0.073 g/(m²·h)增大至0.1167 g/(m²·h);偶对间距为24 mm的电偶对的腐蚀速率从2.16 × 10⁻³ g/(m²·h)增大至2.593 × 10⁻³ g/(m²·h)。由此可见,偶对间距增大能减缓面积比对电偶腐蚀的影响。通过计算,偶对间距从24 mm减少至12 mm(降低50%),腐蚀速率约增加34~45倍,可见偶对间距对腐蚀速率的影响很大。

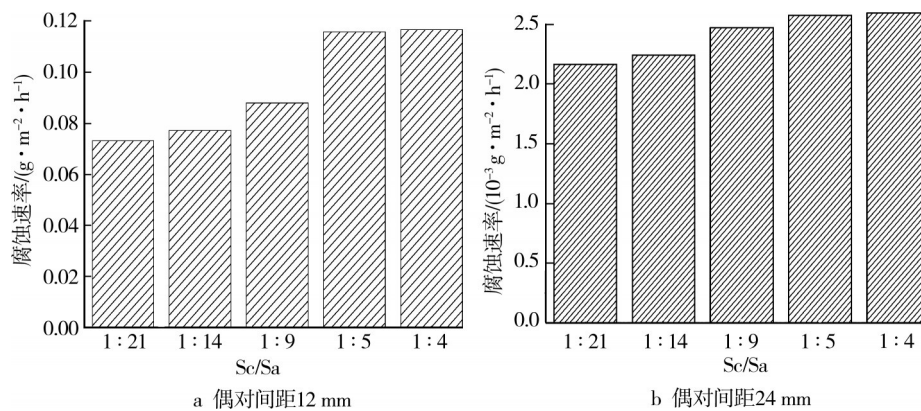


图7 电偶腐蚀速率随Sc/Sa的变化

Fig.7 Variation in the galvanic corrosion rate with Sc/Sa

3 结论

1) 电偶对电偶电流密度和电偶电位随阴阳极面积比的增大而增大。试验周期较长时,电偶电流密度随着试验的进行有不断减少的趋势,温度的变化对电偶电流密度和电偶电位有较大的影响。由于文中并没有以温度为变量设置试验,只能根据试验期间溶液温度在较小范围(10℃左右)内的变化来判断温度对电偶电流密度和电偶电位的影响^[1]。

2) 电偶腐蚀速率随阴阳极面积比的增大而增大,该实验是在小阴极大阳极的情况下进行的,腐蚀速率较为缓慢。

3) 偶对间距对电偶腐蚀速率有很大影响,偶对间距从24 mm减少到12 mm,降低50%,而腐蚀速率约增加34~45倍;偶对间距的增大能减缓阴阳极面积比对电偶腐蚀速率的影响。

参考文献:

- [1] 刘华剑,邓春龙,王佳,等.海洋环境中电偶腐蚀研究进展[J].装备环境工程,2011,8(2):58-61.

LIU Hua-jian, DENG Chun-long, WANG Jia, et al. Research Progress of Galvanic Corrosion in Marine Environment [J]. Equipment Environmental Engineering, 2011, 8 (2):58-61.

- [2] 陈兴伟,吴建华,王佳,等.电偶腐蚀研究因素研究进展[J].腐蚀科学与防护技术,2010,22(4):363-366.

CHEN Xing-wei, WU Jian-hua, WANG Jia, et al. Progress in Research on Factors Influencing Galvanic Corrosion Behavior [J]. Corrosion Science and Protection Technology, 2010, 22(4):363-366.

- [3] 沈文雁,徐福源.Ti-15-3钛合金电偶腐蚀与防护研究[J].表面技术,1997,26(1):20-22.

SHEN Wen-yan, XU Fu-yuan. Ti-15-3 Titanium Alloy Galvanic Corrosion and Protection Research [J]. Surface Technology, 1997, 26(1):20-22.

- [4] 肖继美,曹楚南.材料腐蚀学原理[M].北京:化学工业出版社,2002:235-237.

XIAO Ji-mei, CAO Chu-nan. Material Corrosion Principles [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2002: 235-237.

- [5] 曾荣昌,韩恩厚.材料的腐蚀与防护[M].北京:化学工业出版社,2006:4-6.

- ry Thermal Control Analysis of Near Space Vehicle [C]// Symposium on Overall Vehicle Professional Committee of China Astronautically Society in 2006, 2006: 450—455. (余不详)
- [10] 方贤德, 王伟志, 李小建. 平流层飞艇热仿真初步探讨 [J]. 航天返回与遥感, 2007, 28(2): 5—9.
FANG Xian-de, WANG Wei-zhi, LI Xiao-jian. A Study of Thermal Simulation of Stratospheric Airships [J]. Spacecraft Recovery & Remote Sensing, 2007, 28(2): 5—9.
- [11] CLARK D, SPENCER S, PARNELL T A. Thermal Design of High Altitude Balloon Gondolas for the Antarctic [C]// The 42nd AIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibit. Reno, Nevada, USA, 1994: 10—13. (余不详)
- [12] STEFAN K. Thermal Effects on a High Altitude Airship [C]// Lighter Than Air Systems Conference. Anaheim, CA, USA, 1983: 94—100. (余不详)
- [13] INCROPERA F P, DEWITT D P, BERGMAN T L, et al. Fundamentals of Heat and Mass Transfer [M]. Sixth Edition. New Jersey: John Wiley & Sons, 2007.
- [14] 郭永怀. 边界层理论讲义 [M]. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 2008.
GUO Yong-huai. Handout of Boundary Layer Theory [M]. Hefei: Press of University of Science & Technology China, 2008.
- [15] 沈遐龄. 航天飞机气动加热计算 [J]. 北京航空航天大学学报, 1998, 24(2): 69—72.
SHEN Xia-ling. Calculating Method of Aerodynamic Heating for Space Shuttles [J]. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 1998, 24(2): 69—72.
- [16] 王领华, 吴清文, 郭亮, 等. 高分辨率可见光航空相机的热设计及热分析 [J]. 红外与激光工程, 2012, 41(5): 1236—1240.
WANG Ling-hua, WU Qing-wen, GUO Liang, et al. Thermal Design and Analysis for the High Resolution Visible Light Aeronautic Camera [J]. Infrared and Laser Engineering, 2012, 41(5): 1236—1240.
- [17] MICHEL E. Aircraft Equipment Bay Transient Condensation Model While Descending into a Humid Atmosphere [C]// The 46th AIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibit. Reno, Nevada, USA, 2008: 1—12. (余不详)

(上接第10页)

- ZENG Rong-chang, HAN En-hou. The Corrosion and Protection Materials [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2006: 4—6.
- [6] ZHU Xiang-rong. Corrosion and Protection of Metals in Marine Environment [M]. Beijing: National Defence Industry Publishing House, 1999.
- [7] HUANG Gui-qiao. Study of the Corrosion Potential of Metals in Seawater [J]. Corrosion & Protection, 2000, 21(1): 8—11.
- [8] GB/T 15748—1995, 船用金属材料电偶腐蚀试验方法 [S].
GB/T 15748—1995, Marine Metal Material Galvanic Corrosion Test Method [S].
- [9] 苏燕, 朱玉琴, 康凤. Ti8LC 钛合金与主要结构材料的电偶腐蚀及防护研究 [J]. 表面技术, 2010, 39(5): 39—41.
SU Yan, ZHU Yu-qin, KANG Feng. The Study on Galvanic Corrosion and Surface Protection between Ti8LC Titanium Alloy and Central Structural Material [J]. Surface Technology, 2010, 39(5): 39—41.
- [10] 陈兴伟. 船舶典型结构材料电偶腐蚀行为研究 [D]. 青岛: 中国海洋大学, 2011: 21—22.
CHEN Xing-wei. Research on Galvanic Corrosion Behavior of Ship Typical Materials [D]. Qingdao: Ocean University of China, 2011: 21—22.
- [11] 刘东. 舰船材料的电偶腐蚀与防护研究 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2002: 40—60.
LIU Dong. Research on Galvanic Corrosion and Protection of Ship Material [D]. Harbin: Harbin Engineering University, 2002: 40—60.