DOI:10.11973/fsyfh220480

三种船用不锈钢在海水中的腐蚀匹配性

吴正江¹,毛旭耀¹,张润林¹,王 内¹,张慧霞²,宋卿源²

(1. 武汉第二船舶设计研究所,武汉 430064;

2. 中国船舶重工集团公司第七二五研究所海洋腐蚀与防护重点实验室,青岛 266237)

摘 要:对 05Cr17Ni4Cu4Nb、0Cr16Ni5Mo和ZG03Cr26Ni7Mo4N 三种不锈钢进行了电化学测试、 缝隙腐蚀试验和电偶腐蚀试验,结合腐蚀形貌观察、腐蚀速率计算、动电位极化曲线等方法,对比研 究了三种不锈钢在天然海水中的腐蚀性能。结果表明:三种不锈钢材料在两两偶接时,腐蚀速率相 对自腐蚀速率变化不明显,电偶电位迅速正移且达到稳定,电偶电流均远小于 0.3 μA/cm²。因此, 三种不锈钢材料偶接使用时,不会发生电偶腐蚀,材料间具有良好的匹配性。

关键词:不锈钢:海洋:匹配性

中图分类号: TG172.5 **文献标志码:** A **文章编号:** 1005-748X(2024)11-0044-05

海洋环境十分复杂,海水中的氯化物、硫酸盐以 及微生物,海浪冲击都会导致金属材料腐蚀,因此耐 海水腐蚀的材料一直是海洋工程发展的前沿课 题^[1-5]。碳钢是最常用的金属材料,但在海洋环境 中,其极易遭受腐蚀,而不锈钢具有强度高、耐蚀性 好等优点,因此在海洋环境中获得广泛应用^[6-7]。

船舶传动装置材料种类繁多,多种材料连接在 一起时极易发生电偶腐蚀^[8-9]。不锈钢腐蚀与其成 分、组织结构相关^[10],不锈钢之间的差异很可能导 致电偶腐蚀从而使其中一种材料腐蚀加剧^[11],因此 有必要对不锈钢之间的匹配性进行研究。 05Cr17Ni4Cu4Nb、0Cr16Ni5Mo 和 ZG03Cr26Ni7Mo4N 是三种性能十分优越的不锈钢^[12],被广泛应用于船 舶工程,如传动装置的舵柄拉杆与滑块。这些部位的 腐蚀可能导致传动装置失效,因此作者在海水中对这 三种不锈钢材料的匹配性开展了一系列研究。

1 试 验

1.1 试验材料

试验材料为 05Cr17Ni4Cu4Nb、0Cr16Ni5Mo 和 ZG03Cr26Ni7Mo4N 三种不锈钢,其化学成分如 表 1 所示。

Tal	b. 1	Chemic	al composition	of test	materials

	质量分数/%											
个窃钢 -	Cr	Ni	Cu	Nb	Mo	Ν	V	С	Si	Mn	Р	S
05Cr17Ni4Cu4Nb	16.39	4.51	3.72	0.27	—	_	_	0.04	0.72	0.66	0.03	0.01
0Cr16Ni5Mo	15.77	4.39	—	—	1.27	—	—	0.03	0.53	1.20	0.02	0.02
ZG03Cr26Ni7Mo4N	25.57	6.71	0.77	—	3.59	0.18	0.03	0.02	0.79	0.82	0.03	0.01

1.2 电化学测试

使用 Biologic VMP3 多区电化学综合测试系统 进行电化学测试。测试过程采用三电极体系:参比电 极为饱和甘汞电极(SCE);辅助电极为铂电极;工作 电极为待测试样。试样尺寸为 10 mm×10 mm× 10 mm。将试样用砂纸(至 2000 号)打磨抛光,然后

收稿日期:2022-07-17

用去离子水洗涤,再用无水乙醇去油。试验溶液为 天然海水。

将试验溶液注入电解槽中,加热至(30 ± 1) C。 将打磨后试样的试验面浸没在溶液中,先测开路电 位 E_{ocp} ,待开路电位稳定后,测极化曲线。极化曲线 测试时,从开路电位开始,以 20 mV/min 电位扫描 速率进行阳极极化,直到阳极电流密度达到 500~ 1 000 μ A/cm² 为止。

1.3 缝隙腐蚀试验

按照 GB/T 10127-2002《不锈钢三氯化铁缝

通信作者:宋卿源(1994一),工程师,硕士,从事海洋工程腐 蚀与防护研究,18615007992,1738623083@qq.com

隙腐蚀试验方法》进行缝隙腐蚀试验。缝隙腐蚀试 样尺寸为 50 mm×25 mm×2 mm,用"O"型橡胶环 将不锈钢试片和两块直径 12.7 mm、高 12.7 mm 圆 柱状聚四氟乙烯塑料块固定,如图 1 所示。在每块 塑料柱的一个顶面开 1.6 mm 宽、1.6 mm 深的垂直 槽,另一顶面的表面粗糙度与试样表面相同。



图 1 缝隙腐蚀试样 Fig. 1 Sample for crevice corrosion experiment

试验结束后,取出试样,用硬毛刷在流水中清除 试样上的腐蚀产物,在干燥器中放置 24 h 后称量, 观察表面腐蚀形貌。

1.4 电偶腐蚀试验

电偶腐蚀试片尺寸为 100 mm×30 mm×3 mm, 处理方式与缝隙腐蚀试片相同。将试样放入烧杯 中,加入天然海水,置于 25 ℃的恒温水浴中,海水与 试样面积比大于 20 mL/cm²,偶接试样之间的距离 为 30 mm,阴阳极面积比 1:1,每一组平行样之间的 距离是恒定的。在同样条件下,以未偶接试样为对 比试样进行腐蚀试验。试验过程中,连续采集偶接 试样的电偶电位和电偶电流,同时测量对比试样的 自腐蚀电位。试验期间,使偶接试样始终处于电连 接状态。试验结束后取出试样,清除腐蚀产物,并烘 干试样,观察表面腐蚀形貌。

2 结果与讨论

2.1 电化学性能

海水中三种不锈钢的开路电位如图 2 所示。 由图 2 可见,三种不锈钢的开路电位在浸泡初期均 迅速发生正移,随着浸泡时间的延长,开路电位逐渐 趋于平稳,其中 ZG03Cr26Ni7Mo4N 的开路电位基本 稳定在 165 mV,正于 05Cr17Ni4Cu4Nb(约 20 mV)以 及 0Cr16Ni5Mo(约 40 mV)的开路电位。三种不锈 钢中,05Cr17Ni4Cu4Nb 与 0Cr16Ni5Mo 的开路电 位差约为 20 mV,这两种不锈钢联用时发生电偶腐 蚀的可能性较小;但 ZG03Cr26Ni7Mo4N 电位较 正,与其他两种不锈钢的电位差大于 120 mV,所以 ZG03Cr26Ni7Mo4N与其他两种不锈钢联用时可能发 生电偶腐蚀,ZG03Cr26Ni7Mo4N作为阴极被保护,与 其偶接的金属作为阳极被腐蚀,但是否会发生严重的 电偶腐蚀则与两种材料的极化性能有关^[13-15]。



图 2 海水中三种不锈钢的开路电位

Fig. 2 Open circuit potentials of three stainless steels in seawater

图 3 为三种不锈钢在海水中的阳极极化曲线。 结果表明,0Cr16Ni5Mo 和 05Cr17Ni4Cu4Nb 的阳 极极化曲线特征相似,但 05Cr17Ni4Cu4Nb 钝化区 间没有电流波动现象,这表明该不锈钢钝化膜稳定 性优于 0Cr16Ni5Mo:05Cr17Ni4Cu4Nb 的击穿电位为 220 mV 左右, 稍低于 0Cr16Ni5Mo, 钝化膜被击穿 破裂后,随电位正移,电流密度迅速增大。依据国标 GB/T 17899-1999《不锈钢点蚀电位测量方法》,以 阳极极化曲线上腐蚀电流密度 100 μA/cm² 对应的 电位中最正的电位为点蚀电位。三种不锈钢的点蚀 电位(E₁₁₀₀)见表 2。05Cr17Ni4Cu4Nb 的点蚀电位 为 225 mV,小于 0Cr16Ni5Mo,可见其耐点蚀性能不 如 0Cr16Ni5Mo。ZG03Cr26Ni7Mo4N 阳极极化区出 现明显的钝化区间,当电位为 930 mV 左右时,其钝 化膜局部被击穿破裂,之后随着电位增大,电流密度 迅速增大,试样表面形成多个蚀点且蚀点逐渐扩展。 ZG03Cr26Ni7Mo4N的点蚀电位为1092mV,远高于 05Cr17Ni4Cu4Nb和0Cr16Ni5Mo,说明该不锈钢具 有优秀的耐点蚀性能。



Fig. 3 Anodic polarization curves of three stainless steels in seawater

Tab. 2	Pitting potential
不锈钢	E_{b100} (vs. SCE)/mV
05Cr17Ni4Cu4Nb	225
0Cr16Ni5Mo	252
ZG03Cr26Ni7Mo4N	1 092

表 2 点蚀电位 b 2 Pitting potential

2.2 缝隙腐蚀行为

由图 4 可见,经过缝隙腐蚀后,三种不锈钢表面人 工缝隙处均出现了明显的腐蚀环,其中 0Cr16Ni5Mo 表



(a) 05Cr17Ni4Cu4Nb (b) 0Cr16Ni5Mo (c) ZG03Cr26Ni7Mo4N

图 4 在三氯化铁溶液中缝隙腐蚀后三种不锈钢的形貌 Fig. 4 Morphology of three stainless steels after crevice corrosion in ferric chloride solution 面腐蚀最为严重,ZG03Cr26Ni7Mo4N腐蚀最轻。此 外,05Cr17Ni4Cu4Nb和0Cr16Ni5Mo表面还出现一 些点蚀坑,点蚀坑大小不一,数量较多,呈离散分布。

三种不锈钢的缝隙腐蚀深度见表 3。结果表明,05Cr17Ni4Cu4Nb 的平均缝隙腐蚀深度达到 0.71 mm,最大缝隙腐蚀深度为 0.96 mm,其缝隙腐蚀 敏感性明显高于 0Cr16Ni5Mo;ZG03Cr26Ni7Mo4N 的 平均缝隙腐蚀深度虽然仅有 0.43 mm,是三种不锈钢 中最低的,但其最大缝隙腐蚀深度高达 0.98 mm,因 此该不锈钢也有一定的缝隙腐蚀风险。

表 3 三种不锈钢的缝隙腐蚀深度

Tab. 3 Crevice corrosion depths of three stainless steels

不锈钢	最大缝隙腐蚀 深度/mm	平均缝隙腐蚀 深度/mm
05Cr17Ni4Cu4Nb	0.96	0.71±0.09
0Cr16Ni5Mo	0.65	0.51 ± 0.05
ZG03Cr26Ni7Mo4N	0.98	0.43 ± 0.05

2.3 电偶腐蚀行为

三种不锈钢偶对在海水中的电偶电位 E_{e} 和 电偶电流密度 J_{e} 随时间的变化曲线如图 5 所示。 在浸泡过程中 05Cr17Ni4Cu4Nb/0Cr16Ni5Mo 的 极性发生过反转现象。极性发生反转的原因是两种 钝性金属在海水中形成了钝化膜,使它们的电位发



图 5 不锈钢偶对在海水中的电偶电位和电偶电流密度

Fig. 5 Galvanic potentials (a, c, e) and galvanic current densities (b, d, f) of stainless steel galvanic couples in seawater

生不同程度正移,偶对金属的电位差变小,乃至出 现反差,平均电偶电流密度约为 0.011 μ A/cm² (\leq 0.3 μ A/cm²),电偶腐蚀敏感等级为 A 级; ZG03Cr26Ni7Mo4N/0Cr16Ni5Mo 在海水中的电偶 电位接近 0Cr16Ni5Mo 的自腐蚀电位,根据材料的 阳极极化曲线可知,0Cr16Ni5Mo 的钝化膜稳定性 较低,导致电偶电位的波动较大,浸泡一段时间后也 出现了偶对极性反转情况,平均电偶电流密度约为 0.021 μ A/cm²,电偶腐蚀敏感等级为 A 级; ZG03Cr26Ni7Mo4N/05Cr17Ni4Cu4Nb 稳定后的电 偶电位接近 05Cr17Ni4Cu4Nb 的自腐蚀电位,电偶 电位情况与 ZG03Cr26Ni7Mo4N/0Cr16Ni5Mo 类 似,05Cr17Ni4Cu4Nb 的钝化膜稳定性较高,因此电 偶电位波动相对较小,平均电偶电流密度约为 0.027 μ A/cm²。

三种不锈钢偶对在海水中浸泡 15 d 并去除腐 蚀产物后的形貌如图 6 所示,偶接情况下阳极的平 均腐蚀速率见表 4。依据 T/CSTM 00046.12-2018《低合金结构钢腐蚀试验 第 12 部分:电偶腐蚀



试验方法》和 T/CSCP 0035.12-2018《低合金结构 钢实验室腐蚀试验 第12部分:低合金结构钢电偶 腐蚀试验方法》,当两偶接金属的自腐蚀电位相差不 超过 50 mV 时,偶对没有发生明显电偶腐蚀的倾 向。由图 6 可见,05Cr17Ni4Cu4Nb/0Cr16Ni5Mo 在海水中浸泡15d后仍保持原有的金属光泽,没有 发生明显的腐蚀,因两者自腐蚀电位差小于 50 mV,所以它们没有发生电偶腐蚀的倾向。由表 4可知,05Cr17Ni4Cu4Nb/0Cr16Ni5Mo的平均电偶 腐蚀速率为 0.000 4 mm/a, 没有发生明显的电偶腐 蚀。ZG03Cr26Ni7Mo4N和0Cr16Ni5Mo的自腐蚀 电位相差约 120 mV, 两者偶接后可能发生以 0Cr16Ni5Mo 为阳极、ZG03Cr26Ni7Mo4N 为阴极 的电偶腐蚀,但试验后不锈钢表面无明显腐蚀痕迹, 且最终平均电偶腐蚀速率为 0.000 9 mm/a,未发生 明显的电偶腐蚀: ZG03Cr26Ni7Mo4N 和 05Cr17Ni4Cu4Nb的自腐蚀电位相差约140 mV,但 试验后不锈钢表面也无明显腐蚀,平均电偶腐蚀速 率为 0.001 4 mm/a,没有发生明显的电偶腐蚀。



 $(a)\ 05 Cr17 Ni4 Cu4 Nb/0 Cr16 Ni5 Mo \quad (b)\ ZG03 Cr26 Ni7 Mo4 N/0 Cr16 Ni5 Mo \quad (c)\ ZG03 Cr26 Ni7 Mo4 N/05 Cr17 Ni4 Cu4 Nb/0 Cr16 Ni5 Mo \quad (b)\ ZG03 Cr26 Ni7 Mo4 N/05 Cr17 Ni4 Cu4 Nb/0 Cr16 Ni5 Mo \quad (c)\ ZG03 Cr26 Ni7 Mo4 N/05 Cr17 Ni4 Cu4 Nb/0 Cr16 Ni5 Ni7 Ni7 Ni4 Cu4 Nb/0 Cr17 Ni4$

图 6 不锈钢偶对在海水中浸泡 15 d 后的腐蚀形貌

Fig. 6 Corrosion morphology of stainless steel galvanic couples in seawater after immersion in seawater for 15 d

表 4 不锈钢偶对在海水中的腐蚀情况

Tab. 4	Corrosion	situation	of	stainless	steel	galvanic	couples	in	seawater
--------	-----------	-----------	----	-----------	-------	----------	---------	----	----------

偶对	平均电偶腐蚀速率/(mm· a^{-1})	平均电偶电流密度/($\mu A \cdot cm^{-2}$)
05Cr17Ni4Cu4Nb /0Cr16Ni5Mo	0.000 4	0.011
ZG03Cr26Ni7Mo4N/0Cr16Ni5Mo	0.000 9	0.021
ZG03Cr26Ni7Mo4N/05Cr17Ni4Cu4Nb	0.001 4	0.027

根据试验情况,三种材料在两两偶接情况下, 均无明显的电偶腐蚀发生,这三种材料可以在工 程上接触使用。虽然 ZG03Cr26Ni7Mo4N 的自腐 蚀电位相对 0Cr16Ni5Mo 和 05Cr17Ni4Cu4Nb 高 了 120~140 mV,但形成偶对后电偶电位均能迅 速正移并相对稳定,平均电偶电流密度均远小于 0.3 μA/cm²。根据电偶电流方向的变化,偶对的 极性发生过反转现象,这是因为由于两种金属都 是钝性金属,随着浸泡时间的延长,两种金属表 面均形成了钝化膜,随着钝化膜状态的不断变 化,两种金属的自腐蚀电位也不断变化,甚至出 现反差。

3 结 论

(1) 在天然海水中三种不锈钢耐点蚀和耐缝隙腐蚀能力从小到大排序为: 05Cr17Ni4Cu4Nb、0Cr16Ni5Mo、ZG03Cr26Ni7Mo4N。

(2) ZG03Cr26Ni7Mo4N 的自腐蚀电位比 05Cr17Ni4Cu4Nb、0Cr16Ni5Mo两种不锈钢的自腐 蚀电位高出 120~140 mV,但在天然海水中偶接使 用时,电偶电流密度均远小于 0.3 μ A/cm²,电偶腐 蚀敏感等级为 A 级,具有良好的匹配性,可以在工 程应用中同时使用。

(3) 三种不锈钢材料偶接使用时,表面能形成 钝化膜,保护材料不发生电偶腐蚀,由于钝化膜电位 接近,且在海水中状态不断变化,阴阳极有时会出现 逆转,但电偶电流密度远小于 0.3 μA/cm²,无电偶 腐蚀发生。

参考文献:

[1] 黄桂桥,金威贤,侯文泰.不锈钢在海水中的耐蚀性与腐蚀电位的关系[J].中国腐蚀与防护学报,2000,20 (1):35-40.

HUANG G Q, JIN W X, HOU W T. A study on relationship between corrosion resistance and corrosion potential of stainless steels in seawater[J]. Journal of Chinese Society for Corrosion and Protection, 2000, 20 (1):35-40.

- [2] LAHODNY-ŠARC O, KRSTULOVIĆ L, KULUŠIĆ B, et al. The action of micro bio species and some inhibitors on the corrosion of stainless steel [J]. Materials and Corrosion, 2011, 62(3):275-278.
- [3] 刘彬,段继周,侯保荣.天然海水中微生物膜对 316L 不 锈钢腐蚀行为研究[J].中国腐蚀与防护学报,2012,32 (1):48-53.

LIU B, DUAN J Z, HOU B R. Microbiologically influenced corrosion of 316L SS by marine biofilms in seawater[J]. Journal of Chinese Society for Corrosion and Protection, 2012, 32(1):48-53.

[4] 王伟伟,郭为民,张慧霞.不锈钢深海腐蚀研究[J].装 备环境工程,2010,7(5):79-83.

WANG W W,GUO W M,ZHANG H X. Research on the corrosion of stainless steel in deep ocean[J]. Equipment Environmental Engineering,2010,7(5):79-83.

[5] YANG D Z, LIU J H, XIAOXUE E, et al. Experimental study of composition and influence factors on fouling of stainless steel and copper in seawater[J]. Annals of Nuclear Energy, 2016, 94:767772.

- [6] BOILLOT P, PEULTIER J. Use of stainless steels in the industry: recent and future developments [J]. Procedia Engineering, 2014, 83: 309-321.
- [7] AL-MALAHY K S E, HODGKIESS T. Comparative studies of the seawater corrosion behaviour of a range of materials[J]. Desalination, 2003, 158(1/2/3): 35-42.
- [8] 胡鹏飞,张慧霞,李相波,等. 电偶腐蚀研究方法综述
 [J]. 装备环境工程,2020,17(10):110-117.
 HU P F, ZHANG H X, LI X B, et al. Summary of research methods for galvanic corrosion[J]. Equipment Environmental Engineering,2020,17(10):110-117.
- [9] 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 H J, DENG C L, WANG J, et al. Research progress of galvanic corrosion in marine environment [J]. Equipment Environmental Engineering, 2011, 8 (2):58-61.
- [10] 路永力,王惠辰.不锈钢的腐蚀现象及影响因素[J].
 中国科技信息,2005(10):11,16.
 LU Y L, WANG H C. Corrosion phenomenon of stainless steel and its influencing factors[J]. China Science and Technology Information,2005(10):11,16.
- [11] AQUINO J M, DELLA ROVERE C A, KURI S E. Intergranular corrosion susceptibility in supermartensitic stainless steel weldments [J]. Corrosion Science, 2009, 51(10):2316-2323.
- [12] 方旭东,张寿禄,杨常春,等. TGOG13Cr-1 超级马氏体 不锈钢的组织和性能[J]. 钢铁,2007,42(8):74-77.
 FANG X D, ZHANG S L, YANG C C, et al. Structure and properties of TGOG13Cr-1 super martensitic stainless steel[J]. Iron & Steel,2007,42(8):74-77.
- [13] 张天宇,何字廷,张腾,等. 异种结构材料电偶腐蚀及 防护技术的研究现状及发展方向[J]. 装备环境工程, 2020,17(5):40-46.
 ZHANG T Y, HE Y T, ZHANG T, et al. Research status and development direction of galvanic corrosion and protection technology for heterogeneous structural materials [J]. Equipment Environmental
- [14] 任科洋,石毛毛,戴亚洲.09MnNiDR 与不锈钢在 3. 5%的 NaCl 溶液中的电偶腐蚀行为研究[J].化工技术与开发,2018,47(9):66-69.
 REN K Y, SHI M M, DAI Y Z. Galvanic corrosion behavior of 09MnNiDR and stainless steel in 3.5 % NaCl solution [J]. Technology & Development of Chemical Industry,2018,47(9):66-69.

Engineering, 2020, 17(5), 40-46.

- [20] ZHANG T Y,LIU W,CHEN L J, et al. On how the corrosion behavior and the functions of Cu,Ni and Mo of the weathering steel in environments with different NaCl concentrations[J]. Corrosion Science, 2021, 192: 109851.
- [21] LIU X H, SUI Y Q, ZHOU J Y, et al. Influence of available chlorine on corrosion behaviour of low alloy marine steel in natural seawater [J]. Corrosion Engineering, Science and Technology, 2023, 58 (5): 475-481.

Initial Corrosion Behavior of High Strength Low Alloy Steel Welded Joint in Seawater

LIU Xuehui, ZHANG Huixia, SUI Yongqiang, TONG Hongtao, LI Xiangbo

(Key Laboratory of Marine Corrosion and Protection, Luoyang Ship Material Institute, Qingdao 266237, China)

Abstract: The initial corrosion behavior of high strength low alloy steel welded joint in seawater was studied by electrochemical methods and surface analysis. The results show that the base metal zone with low initial potential displayed the highest corrosion tendency before immersion. After immersion in seawater, the surface potential of base metal zone showed the largest fluctuation. The welded joint exhibited a transition of anodic dissolution from high speed to low speed during the initial corrosion, and the base metal zone of the joint had the highest current density. The initial corrosion process of welded joint developed in two forms of general corrosion and pitting corrosion in seawater. The composition of the corrosion products was mainly composed of α -Fe₂O₃, α -FeOOH and γ -FeOOH. The corrosion resistance of different zones of the high strength low alloy steel welded joint in seawater increased in order of base metal zone, heat affected zone, weld zone, at the initial stage of immersion in seawater.

Key words: high strength low alloy steel; welded joint; initial corrosion; scanning kelvin probe (SKP); scanning vibrating electrode technique (SVET)

(上接第48页)

[15] 刘继明,梁建宇.合金元素对铁素体不锈钢抗腐蚀性 能的影响[J].山西冶金,2005,28(4):9-12. LIU J M,LIANG J Y. Effect of alloying elements on corrosion resistance of ferritic stainless steel [J]. Shanxi Metallurgy,2005,28(4):9-12.

Corrosion Matching of Three Stainless Steels for Ship in Seawater

WU Zhengjiang¹, MAO Xuyao¹, ZHANG Runlin¹, WANG Nei¹, ZHANG Huixia², SONG Qingyuan²
 (1. Wuhan Second Ship Design & Research Institute, Wuhan 430064, China; 2. State Key Laboratory for
 Marine Corrosion and Protection, CSSC Luoyang Ship Material Research Institute, Qingdao 266237, China)

Abstract: The corrosion properties of 05Cr17Ni4Cu4Nb, 0Cr16Ni5Mo and ZG03Cr26Ni7Mo4N stainless steels in natural seawater were studied by electrochemical test, crevice corrosion test and galvanic corrosion test, combined with corrosion morphology observation, corrosion rate calculation and potentiodynamic polarization curve. The results show that when the three types of stainless steel materials were coupled in pairs, their corrosion rates did not change significantly compared to their free corrosion rates, the galvanic potentials rapidly shifted positively and reached stability, and the galvanic current was far less than $0.3 \,\mu\text{A/cm}^2$. Therefore, when the three stainless steel materials are used in couple, galvanic corrosion will not occur, and there is good matching performance among the materials.

Key words: stainless steel; marine; matching performance