

doi: 10.7690/bgzd.2014.06.011

船用 Al-Mn-Mg 合金的耐蚀性能比较

杨志成¹, 田志强², 孔小东³(1. 中国人民解放军 92419 部队, 辽宁 兴城 125106; 2. 武汉军械士官学校枪械系, 武汉 430070;
3. 海军工程大学, 武汉 430033)

摘要: 针对船用材料 Al-Mn-Mg 合金容易造成结构损坏的问题, 对其耐蚀性能进行研究。分别运用阳极极化、交流阻抗及扫描电镜技术研究 2 种 Al-Mn-Mg 合金在 3%NaCl 溶液中的耐蚀性能, 并对其进行极化试验、交流阻抗试验、自腐蚀电位检测试验和扫描电镜试验。试验结果表明: Al-Mn-Mg 合金具有钝化能力强和较好的耐蚀性, Al-Mn-Mg 合金 1 的耐蚀性要优于 Al-Mn-Mg 合金 2。

关键词: Al-Mn-Mg 合金; 耐蚀性; 阳极极化; 交流阻抗; 自腐蚀电位

中图分类号: TP206 **文献标志码:** A

Comparison of Corrosion Resistance of Al-Mn-Mg Aluminum Alloy Used for Boat

Yang Zhicheng¹, Tian Zhiqiang², Kong Xiaodong³

(1. No. 92419 Unit of PLA, Xingcheng 125106, China; 2. Department of Firearm, Wuhan Ordnance Petty Officer Academy of PLA, Wuhan 430070, China; 3. Navy University of Engineering, Wuhan 430033, China)

Abstract: The corrosion resistance of Al-Mn-Mg aluminum alloy used for boat is researched, because the structural failure is produced easily. The polarization, electrochemical impedance spectrum and scanning electron microscope skills is employed to study the corrosion resistance of two kinds of Al-Mn-Mg aluminum alloy in 3% NaCl solution and the polarization test, electrochemical impedance spectroscopy test, corrosion potential detection test and scanning electron microscope test is conducted. Experimental results show that the Al-Mn-Mg aluminum alloy has high passivation capability and good corrosion resistance, and the capability of resisting corrosion of No.1 Al-Mn-Mg aluminum alloy is better than that of No.2 Al-Mn-Mg aluminum alloy.

Keywords: Al-Mn-Mg aluminum alloy; corrosion resistance; polarization; alternating current impedance; free-corrosion potential

0 引言

铝合金材料具有质量轻、比强度高优点^[1], 成为航空、造船等领域不可缺少的材料。但是在海洋环境中, 铝合金结构由于易发生腐蚀破坏, 而影响到装备的安全性和使用寿命, 甚至造成重大事故, 因此展开对铝合金材料的腐蚀与防护研究很重要。Al-Mn-Mg 合金属于非热处理强化合金, 其本身的耐蚀性很好, 因此被作为船用材料使用, 然而由于点蚀等腐蚀的发生, 容易造成结构的损坏, 笔者选用 2 种 Al-Mn-Mg 合金作为研究内容, 为其安全使用提供依据。

1 试验材料与方法

1.1 试验材料

试验材料选用船用 Al-Mn-Mg 合金作为研究对象, 其主要成分见表 1。

表 1 试验用 Al-Mn-Mg 合金 1、2 的主要成分 %

铝合金	成分						
	Fe	Mn	Si	Mg	Cr	Cu	Al
1	≤0.4	0.4~1.0	≤0.4	4.0~4.9	≤0.5	≤0.4	余量
2	≤0.4	0.4~1.0	≤0.4	0.4~1.0	≤0.3	≤0.4	余量

1.2 试验仪器与测试方法

极化试验和交流阻抗试验采用三电极体系, 参比电极为饱和甘汞电极, 辅助电极为铂电极, 测试仪器为 CHI600c 电化学工作站, 试验介质为 3%NaCl 溶液。极化试验的扫描速度为 1 mV/s; 交流阻抗的信号幅值为 10 mV, 频率范围为 50 mHz~20 kHz。

自腐蚀电位监测以饱和甘汞电极为参比电极, 运用万用表测量 Al-Mn-Mg 合金的自腐蚀电位随着时间的变化, 测量的总时间为 33 d。

将试样用水砂纸打磨至 1 500[#], 用 W0.5 金刚石研磨膏机械抛光, 无水乙醇去脂后, 冷风吹干, 采用 QUANTA200 扫描电子显微镜下对铝合金的第二相进行观察并拍照, 并且利用 EDS 确定第二相的

收稿日期: 2014-01-05; 修回日期: 2014-02-19

作者简介: 杨志成(1982—), 男, 吉林人, 满族, 硕士, 工程师, 从事材料腐蚀与防护研究。

成分，加速电压为 20 kV。

2 试验结果及分析

2.1 极化试验结果及分析

图 1 是 Al-Mn-Mg 合金在 3%NaCl 溶液中的阳极极化曲线。

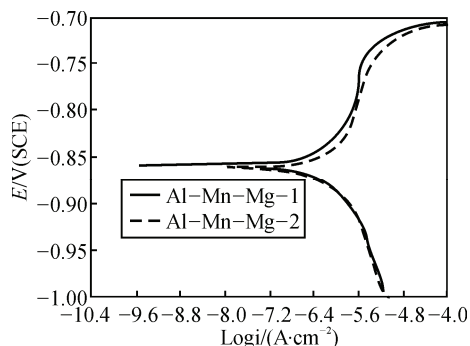


图 1 Al-Mn-Mg 合金在 3%NaCl 溶液中的极化曲线

从图中 2 种 Al-Mn-Mg 合金在 3%NaCl 溶液的极化曲线可以看出，2 种 Al-Mn-Mg 合金阳极部分的钝化区都较宽，点蚀电位几乎相等，即二者的钝化能力都很好。但是 Al-Mn-Mg 合金 1 的维钝电流略小于 Al-Mn-Mg 合金 2，初步判断 Al-Mg-Mg 合金 1 在 3%NaCl 溶液中的耐蚀性略好于 Al-Mg-Mg 合金 2。

2.2 交流阻抗试验结果及分析

图 2 是 Al-Mn-Mg 合金在 3%NaCl 溶液中的 Nyquist 图，以及利用 ZSimpWin 分析软件得到的拟合图。

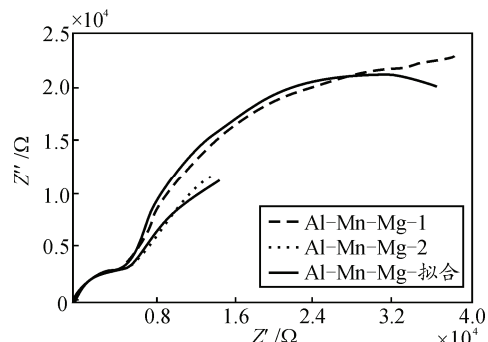


图 2 Al-Mn-Mg 合金在 3%NaCl 溶液中的 Nyquist 图

运用图 3 所示的等效电路图进行拟合，得到表 2 中的参数。

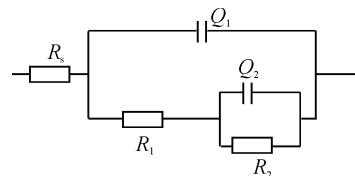


图 3 铝合金的腐蚀等效电路

表 2 交流阻抗拟合结果

种类	$R_s/(\Omega \cdot \text{cm}^{-2})$	$(Q_1 - Y_0)/(\mu\text{Fcm}^{-2})$	$Q_1 - n$	$R_1/(\Omega \cdot \text{cm}^{-2})$	$(Q_2 - Y_0)/(\mu\text{Fcm}^{-2})$	$Q_2 - n$	$R_2/(\Omega \cdot \text{cm}^{-2})$
Al-Mn-Mg 合金 1	5.266	1.649E-5	0.818 4	6 212	0.000 139 0	0.904 4	4.885E4
Al-Mn-Mg 合金 2	7.631	1.494E-5	0.873 4	5 894	0.000 167 7	0.773 7	3.465E4

利用 ZSimpWin 分析软件，可以拟合得出溶液电阻 R_s 、多孔层电容 Q_1 、多孔层电阻 R_1 、阻挡层电容 Q_2 以及阻挡层电阻 R_2 ，拟合结果见表 2。从交流阻抗测试原理^[2-3]以及铝合金的阳极氧化膜结构的等效电路(见图 3)可知，其交流阻抗计算公式为

$$Z = R_s + \frac{1}{\frac{1}{R_1 + \frac{1}{\frac{1}{\frac{1}{R_2} + j\omega Q_2}} + j\omega Q_1}}$$

当 $\omega=0$ 时， $Z=R_s+R_1+R_2$ ，即为该电极系统的极化电阻，极化电阻越大，抗蚀性能越好^[4]。通过表 2 中数据比较，可以看出，Al-Mn-Mg 合金 1 在 3%NaCl 溶液中的极化电阻大，即耐蚀性优于 Al-Mn-Mg 合金 2，整体上分析，比较容抗弧弦长也可以看出相同的耐蚀性情况。得出的结果与极化曲线得出的结果一致。

2.3 自腐蚀电位监测结果及分析

从图 4 中自腐蚀电位随时间的变化关系可以看出，2 种 Al-Mn-Mg 合金材料的自腐蚀电位起初都

是随着时间升高，然后趋于稳定，而且 Al-Mn-Mg 合金 2 的自腐蚀电位整体上高于 Al-Mn-Mg 合金。最后 2 种 Al-Mn-Mg 合金的自腐蚀电位趋于相同，这可能是随着时间的延长，都发生了点蚀，这时自腐蚀电位都趋于它们的点蚀电位，而它们的点蚀电位差别不大，数据表明 2 种 Al-Mn-Mg 合金具有较好的耐蚀性^[5]。

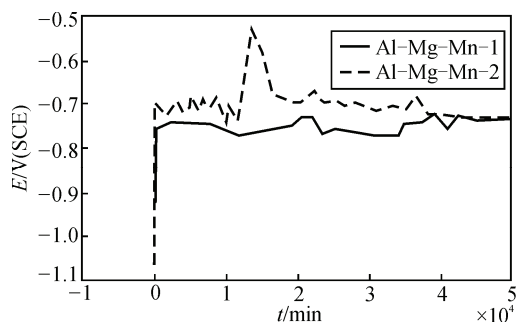


图 4 自腐蚀电位随时间的变化

2.4 扫描电镜结果及分析

从 2 种 Al-Mg-Mn 铝合金极化前后的 SEM 形貌比较可以看出，Al-Mg-Mn 铝合金 1 的极化后形

貌点蚀坑并不严重，而 Al-Mg-Mn 铝合金形貌凹凸不平，尤其是第二相存在处，点蚀尤为严重，可

以得出结论，Al-Mg-Mn 铝合金 1 的耐蚀性要好于 Al-Mg-Mn 铝合金 2，如图 5~图 8。

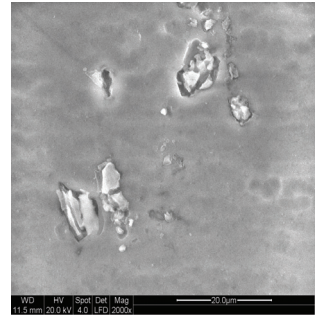
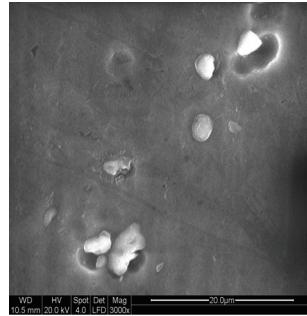
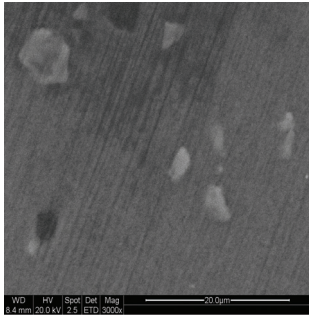


图 5 Al-Mg-Mn 合金 1 极化前的形貌

图 6 Al-Mg-Mn 合金 2 极化前的形貌

图 7 Al-Mg-Mn 合金 1 极化后的形貌

图 8 Al-Mg-Mn 合金 2 极化后的形貌

3 结论

Al-Mg-Mn 铝合金极化试验结果表明：其钝化能力强，具有较好的耐蚀性。

综合 Al-Mg-Mn 铝合金的极化试验、交流阻抗试验、自腐蚀电位监测试验以及扫描电镜试验结果，比较得出 Al-Mg-Mn 铝合金 1 的耐蚀性要优于 Al-Mg-Mn 铝合金 2。

参考文献：

[1] 朱祖芳. 铝合金阳极氧化与表面处理技术[M]. 北京：

(上接第 37 页)

推力头形成一个粘滞泵，粘滞泵体上的沟槽可以使油通过油冷却器进行循环。不仅每两块托瓦支撑和平衡块可在轮轴上滚动，而且托瓦、托瓦支撑之间是球面接触，因此推力瓦能在 1~2 mm 范围内摆动，在轴系轴向偏移情况下，推力轴承轴能进行自动调整水平，保持推力头和转子的浮起量始终保持 0.1 mm。当 8 个供油点间隙不均时较大压力处(即油膜间隙小处)局部油压上升，提升转子该侧，修正转子的轴向偏摆，对整个机组的运行精度和振动具有积极作用。

此外在设计和工艺上，采用了推力头工作平面磨削镜面，推力瓦刮研的工艺，保证油膜吸附在推力瓦表面而不能跟随推力头高速旋转；推力头下部还设计有封油环，保持液压油有足够的油膜刚度。

3 结论

CPR1000 型核反应堆冷却剂泵是核电冷却泵二代半成熟产品。笔者阐述的冷却泵电机在材料、设计，工艺上均有一定的独特性，进一步保障了核电机组在各类复杂工况下运行的安全性。

化学工业出版社，2004：1.

[2] 吴荫顺. 腐蚀实验方法与防腐蚀检测技术[M]. 北京：化学工业出版社，1996：217.

[3] 欧阳青，于存贵，张延成. 国内外火炮身管烧蚀磨损问题研究进展[J]. 兵工自动化，2012，31(6)：44-49.

[4] 隆小庆，邵荣宽. 2024 铝合金化学转化膜与磷化底漆耐蚀性的研究[J]. 中国腐蚀与防护学报，2003，23(3)：156-159.

[5] 吴世永，宿德志，王坤. 钨合金弹侵彻运动圆柱壳靶板的数值模拟[J]. 四川兵工学报，2013，34(5)：20-23.

就冷却泵国产化而言，东方阿海珐核泵有限责任公司制造的 CPR1000 型核反应堆冷却剂泵虽然是首批国产化冷却泵，但目前还没有整机的设计能力，而且对冷却泵进口技术的理解和运用也远远没有结束，笔者只是描述了 CPR1000 型冷却泵的安全结构的特殊性，冷却泵真正的国产化还需要更多的核电从业人员进一步努力。

参考文献：

[1] 臧希年，申世飞. 核电厂系统及设备[M]. 北京：清华大学出版社，2003：56-60.

[2] 卿富安. 核聚变装置环流器冷凝液的安全处理技术[J]. 兵工自动化，2013，32(8)：35-37.

[3] 法国 RCCM 标准. RCCM M2321 压水堆核岛机械设施设计和建造规则：M 碳钢篇[S]. 2000 版.

[4] 法国金属材料标准. NFA04-308 锻钢材料超声波检验[S]. 1988 版.

[5] 美国 ASTM 标准. ASTM646 飞机和宇航锻件用优质合金钢初轧坯和方坯[S]. 1987 版.

[6] 法国金属材料标准. NFA09-590 锻钢材料磁粉检验[S]. 1988 版.

[7] 欧洲材料标准. NE NF EN10003-1 金属材料布氏硬度试验[S]. 1995 版.