

理论与实验研究

# 6061 铝合金在高温流动海水中的腐蚀行为

韩东锐, 韩冰, 隋景堂, 董彩常

(钢铁研究总院 青岛海洋腐蚀研究所, 山东 青岛 266071)

**摘要:** 采用室内海水浸泡试验、点蚀电位测试、流动海水模拟试验等方法研究了6061铝合金在80℃海水中的腐蚀行为。研究表明,6061铝合金在常温海水中的腐蚀形貌为点蚀,在80℃海水中6061铝合金表面易形成钝化膜且腐蚀轻微。从80℃时的自腐蚀电位曲线可以看出,铝合金表面钝化-活化过程反复交替进行,钝化膜形成时其电位约为-0.600 V(vs.SCE),钝化膜破裂时其电位约为-1.08 V(vs.SCE)。

**关键词:** 铝合金; 腐蚀; 高温; 海水

**中图分类号:** TG174.442      **文献标识码:** A

**文章编号:** 1672-9242(2011)03-0001-04

## Corrosion Behavior of 6061 Aluminum Alloy in High Temperature Flowing Seawater

HAN Dong-ruì, HAN Bing, SUI Jing-tang, DONG Cai-chang

(Qingdao Marine Corrosion Institute of CISRI, Qingdao 266071, China)

**Abstract:** The corrosion behavior of 6061 aluminum alloy in 80℃ seawater was studied with laboratory seawater immersion test, pitting potential test and flowing seawater simulation test. It was found that there was pitting corrosion on the surface of 6061 aluminum alloy in normal temperature seawater. In 80℃ seawater, the formation of passivation film was easier. It was found from corrosion potential curve in 80℃ seawater that passivation and activation changed alternately, the potential was -0.600 V (vs. SCE) when passivation film formation and -1.08 V (vs. SCE) when passivation film broken.

**Key words:** aluminum alloy; corrosion; high temperature; seawater

6XXX 锻铝系列合金是最重要的铝合金之一,具有良好的可成形性、可焊接性、可机加工性,同时具有中等强度,广泛应用于要求有一定强度的各种工业结构件<sup>[1-2]</sup>。

6061 铝合金属于 Al-Mg-Si 系合金, Al-Mg-Si

固熔体的电极电位为 -0.81 V<sup>[3]</sup>, 很接近纯铝的电极电位。由于 Mn 的加入形成电极电位和纯铝几乎一致的化合物 MnCl<sub>2</sub>, 因此, 6061 铝合金耐大气腐蚀性能类似于工业纯铝, 该合金耐淡水和海水腐蚀<sup>[4]</sup>。

收稿日期: 2010-09-10

作者简介: 韩东锐(1979—), 男, 山东青岛人, 硕士, 工程师, 主要研究方向为金属材料在自然环境中的腐蚀。

## 1 试验

### 1.1 浸泡试验

将6061铝合金制成70 mm × 40 mm的试样,投放在烧杯中,介质为青岛海域的海水,试验周期为35 d。选择试验温度为32, 80 °C,每种温度下取3个平行样,通过水浴槽恒定温度。采用焊接导线定期测量腐蚀电位。

试验结束后,观察材料表面的腐蚀情况,去除腐蚀产物,计算腐蚀率。绘制腐蚀电位随时间的变化曲线,分析腐蚀电位随时间的变化情况。

### 1.2 点蚀电位测试<sup>[5]</sup>

将6061铝合金制成10 mm × 10 mm的试样,非试验面焊接导线,用环氧树脂封装于PVC管中,固化后用砂纸由粗到细顺次打磨至1200#砂纸,用酒精擦拭试验面后放入电解池中。介质为青岛小麦岛海水,试验温度分别为25, 80 °C,铂电极为辅助电极,甘汞电极为参比电极。

浸泡30 min后,由自腐蚀电位开始进行阳极极化,扫描速度为20 mV/min,当电流密度为1 mA/cm<sup>2</sup>时试验结束,将电流密度为100 μA/cm<sup>2</sup>时的电位定义为材料的点蚀电位。

### 1.3 流动海水模拟试验

6061铝合金管路共3件,编号为1#, 2#, 3#。管路内通清洁无污染的海水,海水温度为(80 ± 1)°C,海水流量为12.8 t/h。以24 h为一个试验周期,每周内通水时间为1 h,间隔时间为23 h。试验分为3个阶段,每阶段累积通水时间为500 min,即1#通水时间为500 min,2#通水时间为1 000 min,3#通水时间为1 500 min。试验结束后,剖开1#, 2#, 3#管路,观察内流道腐蚀、结垢情况。

整个试验过程中要求各接口处不允许出现漏水现象,管路内的海水在停止通水后可自然排空。

## 2 结果和讨论

### 2.1 浸泡试验结果

图1是6061铝合金分别在32, 80 °C海水中35 d

的腐蚀形貌。6061铝合金在32 °C海水中腐蚀更为严重;在80 °C海水中,6061铝合金保持了与未试验材料接近的光泽。去除腐蚀产物后计算腐蚀率,6061铝合金在32 °C海水中腐蚀率为0.026 mm/a,在80 °C海水中为0.001 mm/a。



图1 不同海水温度下6061铝合金浸泡35 d后的腐蚀形貌  
Fig. 1 Corrosion morphology of 6061 after 35 d immersion in different temperature seawater

由图2可以看出,铝合金浸泡于海水中,80 °C时自腐蚀电位负于32 °C时的腐蚀电位,初始电位负约300 mV(vs.SCE,后同),随浸泡时间延长,电位波动较大,可见6061铝合金浸泡于80 °C海水中,其表面经历不断形成钝化膜和钝化膜点蚀的过程。在32 °C海水中,电位较稳定,约在-700~-750 mV之间。

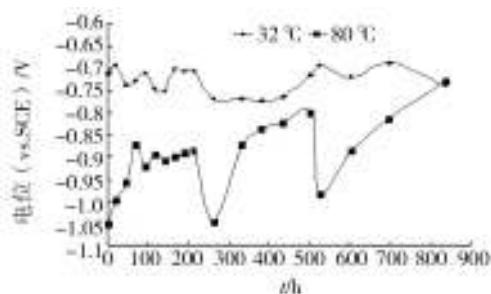


图2 不同海水温度下6061铝合金浸泡35 d后腐蚀电位的变化  
Fig. 2 Variations of corrosion potential after 35 d immersion in different temperature seawater

### 2.2 点蚀电位测试结果

图3是铝合金在室温海水中的阳极极化曲线。根据定义,铝合金在室温海水中的点蚀电位为-0.634 V,如图3所示。在80 °C海水中自腐蚀电位不稳定,无法获得其阳极极化曲线,求得点蚀电位。不过,从其自腐蚀电位随时间变化的曲线可以看出铝合金表面钝化-活化过程反复交替进行,钝化膜形成时其电位约为-0.600 V,钝化膜破裂时其电位约为-1.08 V,交替变化,如图4所示。

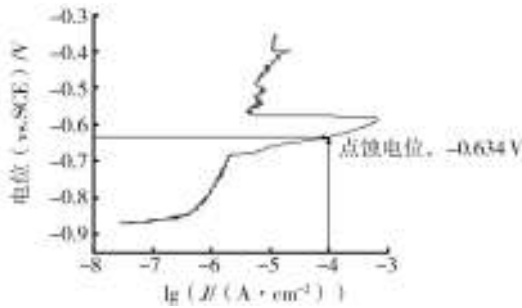


图3 6061 铝合金在室温海水中点蚀电位测量曲线  
Fig. 3 Pitting potential of 6061 in room temperature sea water

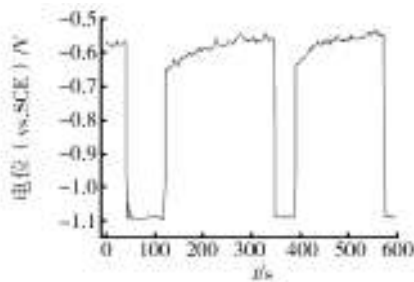


图4 6061 铝合金在 80 °C 海水中自腐蚀电位变化曲线  
Fig. 4 Corrosion potential of 6061 in 80 °C sea water

### 2.3 模拟试验腐蚀形貌

模拟试验完成后,用线切割的方法切开试验管路,观察内流道的腐蚀形貌照片(如图5所示)。由

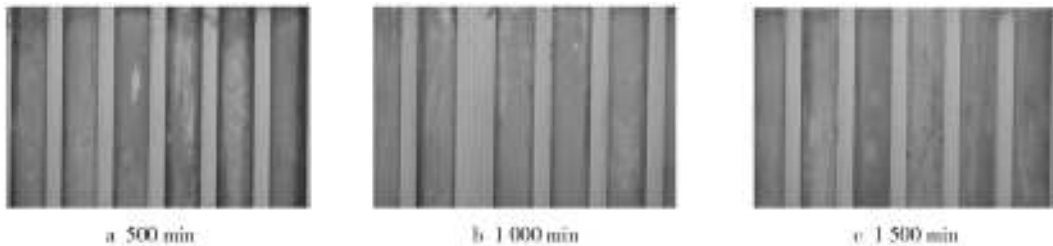


图5 不同试验时间内流道腐蚀形貌照片  
Fig. 5 Corrosion morphology of internal flow channel with different time

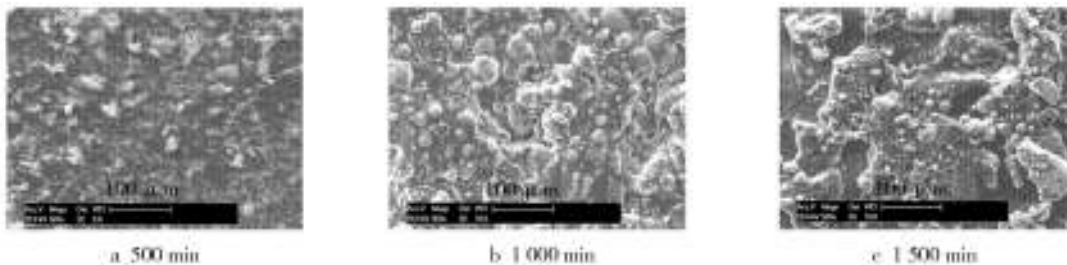


图6 不同试验时间内流道微观形貌  
Fig. 6 Microscopic morphology of internal flow channel with different time

图5可以看出,经历 500 min 试验的管路表面有点蚀发生,沉积了一层红褐色的铁锈,锈层未完全覆盖,部分区域可看到铝合金基体;经历 1 000 min 试验的管路表面无点蚀,沉积锈层较经历 500 min 试验的管路薄;经历 1 500 min 试验的管路,其整个剖面观察到 2 个蚀点,锈层沉积程度与经历 1 000 min 试验的冷却面板差别不大。

分析原因发现,加热水浴槽内壁为碳钢涂塑材料,在高温海水的作用下发生腐蚀,导致管路内部产生红褐色铁锈。试验正式开始前,试验设备几经改进,使用 1# 管路验证试验设备效果,结果是 1# 管路在一段时间内海水未排空,这是经历 500 min 试验的冷却面板反而发生较严重点蚀的原因。

80 °C 的流动海水在较长时间内并未导致管路内流道点蚀,而短期内的常温沉积水却引起了大范围的点蚀发生。因此工作过程中,管路使用结束后,内流道冷却水的排空对防腐蚀至关重要。

### 2.4 微观腐蚀形貌

图6是内流道的微观腐蚀形貌。图7是去除腐蚀产物后的微观形貌,图7a中,冷却面板已经全面出现点蚀萌芽,图7b和图7c中金属基体仍保持完好,原因如前文所述。

图8是内流道沉积物的成分分析。从图8中可

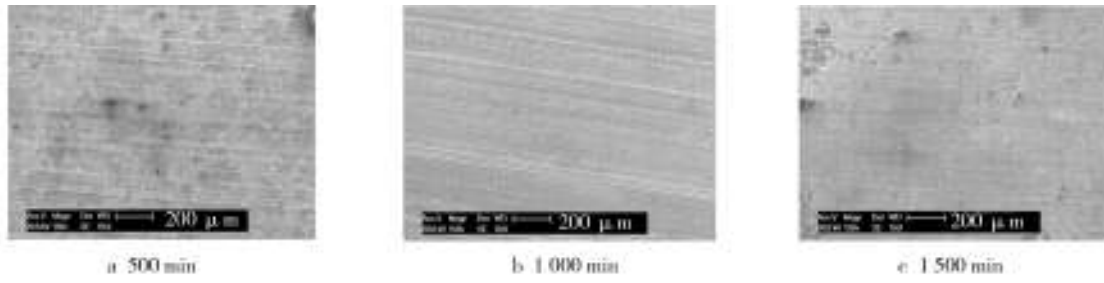


图7 去除腐蚀产物后不同试验时间内流道的腐蚀微观形貌

Fig. 7 Microscopic morphology of internal flow channel with different time after removing corrosion products

以看出,表面的主要成分是铁的氧化物,由于铁锈沉积层很薄且并未完全覆盖住铝基体,因此图8中基体的峰最强。

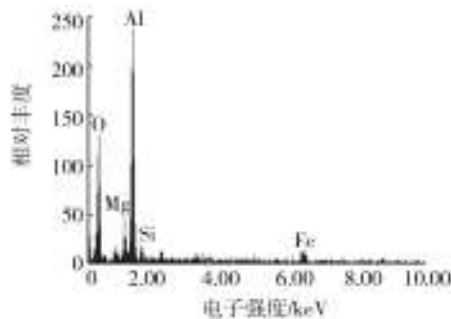


图8 内流道沉积物成分分析

Fig. 8 Composition analysis of deposition on internal flow channel

钝化膜破裂时其电位约为-1.08 V,交替变化,自腐蚀电位不稳定。

2) 80 °C的流动海水在较长时间内并未导致试验管路内流道点蚀,而短期内的常温沉积水却引起了大范围的点蚀发生。管路使用结束后,内流道冷却水的排空对防腐蚀至关重要。

3)内流道沉积物成分分析表明,表面的主要成分是铁的氧化物。

参考文献:

- [1] 朱祖芳.有色金属的耐腐蚀性及其应用[M].北京:化学工业出版社,1995:44—46.
- [2] 薛文斌,蒋兴莉,杨卓.6061铝合金微弧氧化陶瓷膜的生长动力学及性能分析[J].功能材料,2008,39(4):603.
- [3] 程天一,章守华.快速凝固技术与新型材料[M].北京:宇航出版社,1990:199.
- [4] 周涛,黄伯云,周科朝,等.快速凝固耐热铝合金耐蚀性能的研究[J].稀有金属材料与工程,2004,33(2):187—189.
- [5] GB/T 17899—1999,不锈钢点蚀电位测量方法[S].

3 结论

1) 在80 °C海水中,6061铝合金表面钝化-活化过程反复交替进行,钝化膜形成时其电位约为-0.600 V,

信息与资讯

《装备环境工程》杂志 专题征文

为了促进环境工程专业的发展,加强环境工程研究成果的交流和推广,对专业中的热点、难点及重大问题集中深入的探讨,《装备环境工程》编辑部现开始进行2011年专题征文活动。

本次征文专题为“产品贮存环境与寿命评估”。

征文内容:

1) 贮存环境分析与评价;2) 贮存试验;3) 贮存环境优化;4) 产品寿命评估。

欢迎从事相关专业研究的人士踊跃投稿。

征文形式与要求详见www.zbhjgc.com。

联系方式:

电 话:023-68792835 传 真:023-68792283 电子信箱:hjgczb@163.com 网址:www.zbhjgc.com