

# NaCl 溶液 pH 值对 5083 铝合金腐蚀的影响研究

陈珊<sup>1</sup>, 李国明<sup>1</sup>, 常万顺<sup>1,2</sup>, 曹国良<sup>1</sup>, 陈学群<sup>1</sup>

(1. 海军工程大学, 武汉 430033; 2. 武汉理工大学, 武汉 430022)

**摘要:** 采用电化学试验方法, 结合金相组织观察、SEM、腐蚀形貌观察等, 研究了在不同 pH 值时 3% (质量分数) NaCl 溶液中 5083 铝合金的点蚀电位、自腐蚀电位及腐蚀质量损失。研究表明, 5083 铝合金点蚀电位基本接近, 自腐蚀电位存在差异, 而且在强酸、强碱溶液中会发生全面均匀的腐蚀溶解; 在弱酸、弱碱或偏中性溶液中由于在夹杂物及基体间发生局部点蚀而表现出较低的腐蚀质量损失。

**关键词:** 5083 铝合金; pH; 点蚀

**中图分类号:** TG172.5      **文献标识码:** A

**文章编号:** 1672-9242(2011)05-0005-03

## Influence of NaCl Solution pH on Corrosion Behavior of AA5083

CHEN Shan<sup>1</sup>, LI Guo-ming<sup>1</sup>, CHANG Wan-shun<sup>1,2</sup>, CAO Guo-liang<sup>1</sup>, CHEN Xue-qun<sup>1</sup>

(1. Navy Engineering University, Wuhan 430033, China; 2. Wuhan University of Technology, Wuhan 430022, China)

**Abstract:** Effect of solution pH on corrosion behavior of alloy AA5083 immersed in NaCl solutions was investigated using measurements of weight loss, potentiodynamic polarization, combined with techniques of metallographic structure, scanning electron micrograph (SEM) and corrosion morphology. The results showed that the pitting potentials in different pH were similar, but the corrosion potentials were different. The corrosion behavior was found to be dependant of the solution pH. In acidic or alkaline chloride solutions, general corrosion occurred. In contrast, exposure to slightly neutral and slight acidic or alkaline solutions resulted in pitting corrosion.

**Key words:** AA5083; pH; pitting

5083 铝合金由于具有高的强度比、耐蚀性和良好的塑性等特点, 在汽车、舰艇和海洋工业上得到了广泛应用<sup>[1]</sup>。5083 铝合金的腐蚀机理被广泛研究, 铝合金的点蚀是一个复杂的过程, 受溶液的 pH 值、温

度、溶液中的离子及钝化膜的电化学性能等因素的影响<sup>[2-5]</sup>。文献[6]报道了 pH 值和氯离子浓度对 AA6061 铝合金点蚀的影响, 但关于溶液 pH 值对 AA5083 铝合金腐蚀影响缺乏深入研究。笔者采用

收稿日期: 2011-03-09

基金项目: 海军工程大学基金(20100604000009)

作者简介: 陈珊(1977—), 女, 湖北荆州人, 硕士, 讲师, 研究方向为材料的腐蚀与防护。

电化学试验方法,结合金相组织观察、SEM观察、腐蚀形貌观察等,研究了在不同pH值条件下5083铝合金的点蚀电位、自腐蚀电位、腐蚀质量损失。

## 1 试验

### 1.1 试验材料及制备

试验材料为5083防锈铝合金,取自供货态铝板,板厚为8 mm,试验材料的化学成分见表1。

表1 试验材料的化学成分及质量分数  
Table 1 The chemical composition of test material %

成分	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Al
质量分数	0.50	0.40	0.10	0.60	4.50	0.08	0.25	余量

### 1.2 试验方法

#### 1.2.1 样品的制备与组织观察

采用线切割的加工方法,从铝板上切割取样,样品尺寸为10 mm × 10 mm × 5 mm,用环氧树脂对样品进行封装,样品经粗磨、细磨后,用抛光膏进行抛光。对抛光的样品进行观察并对试样中的第二相进行SEM和能谱分析,确定其形貌和成分。

#### 1.2.2 电位监测及极化试验

将试样用环氧树脂封装好,经过砂纸干磨到1500#后进行试验。试验溶液选择pH分别为2,4,6,8,10,12的3%(质量分数,后同)NaCl溶液,溶液pH值用NaOH和HCl来进行调整。试验仪器采用CHI660C电化学工作站,试验装置采用普通的三电极体系,参比电极为饱和甘汞电极,辅助电极为铂电极。在去气条件下进行极化试验。电位从-1 100 mV由负向正以1 mV/s的速率进行扫描,取极化电流密度100  $\mu$  A/cm<sup>2</sup>对应的极化电位值为点蚀电位 $E_{i,100}$ 。试验完成后,用蒸馏水清洗试样表面,快速吹干后观察试样的腐蚀形貌。

#### 1.2.3 质量损失试验

试验溶液为人造海水溶液。使用pH/Ion 510精密pH计测量溶液的pH值,并用NaOH和HCl每天调整pH值,溶液pH值为2~12。在试验周期内,每天用万用电表来测量试样的自腐蚀电位。试样在不同pH值溶液中浸泡一定时间后,取下试样,对其表面

腐蚀形貌拍照。在煮沸的溶液中清洗铝合金试样,再用丙酮清洗后放入干燥皿中干燥24 h后称量。根据2次测量结果计算其质量损失。

## 2 结果与讨论

### 2.1 金相组织观察结果

对机械抛光后的样品用光学金相显微镜观察第二相形貌如图1a所示。从图1中可以看出,5083铝合金中第二相主要有2种:一种为浅灰色,机械抛光后有明显的表面浮凸(见图1a中A处),能谱分析结果(如图1b所示)表明,其含有的元素主要为Al, Cr, Mn, Fe, 结合文献[4]可知该类第二相为(Cr, Mn, Fe)Al<sub>6</sub>;另一种第二相颜色较深,为暗灰色(见图1a中B处),形状不规则,结合文献和能谱分析的结果(如图1c所示),此类夹杂物可能为Mg<sub>2</sub>Si和 $\beta$ 相Mg<sub>3</sub>Al<sub>8</sub>。

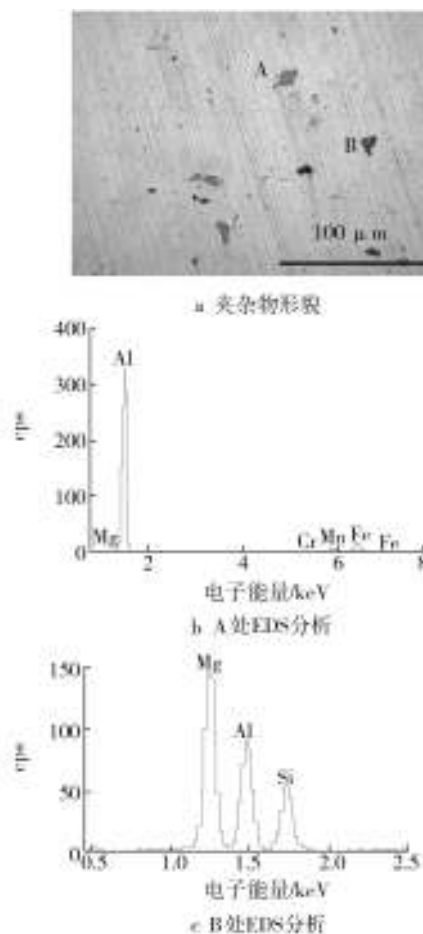


图1 5083铝合金夹杂物微观形貌和EDS分析

Fig. 1 The micrograph and EDS analysis of inclusions of AA5083

### 2.2 极化试验结果

在去气条件下,在不同pH值溶液中对5083Al合金进行了极化试验,试验结果如图2所示。

从图2可以看出,去气条件下,除pH值为12的溶液外,5083铝合金在不同pH值溶液中的点蚀电位差别不大,基本上在-0.74~-0.76 V之间。然而,在强酸和强碱溶液中,试样的阳极电流密度较大,尤其是在强碱溶液中,如pH值为12时,试样的阳极电流密度最大,在偏中性溶液中阳极电流密度却较小,如pH值为6或8时。这个试验结果与前人对6061铝合金的研究结果比较接近<sup>[6]</sup>。在不同pH值溶液中,试样的自腐蚀电位也有差异,在强碱溶液中,点蚀电位较负,为-1.35 V;在强酸溶液中,点蚀电位较正,为-0.88 V;在中性或弱酸、弱碱溶液中的点蚀电位相差不大,基本上为-1.03 V。这个结果与在不去气条件下测得的不同pH值下试样的自腐蚀电位相同。在40 d的试验时间内,试样的自腐蚀电位变化趋势如图3所示。在强碱性溶液中,试样的自腐蚀电位更负;在偏中性溶液中,试样的自腐蚀电位均比较接近。

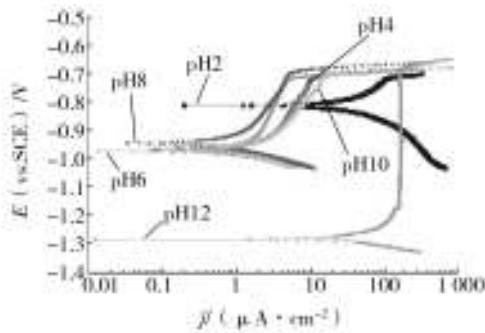


图2 5083铝合金在不同pH值3%NaCl溶液中的极化曲线  
Fig. 2 Polarization curves of AA5083 in 3% NaCl solutions of different pH

### 2.3 质量损失试验结果

图4为5083铝合金试样在不同pH值3.5%NaCl溶液中浸泡一段时间后所测得的质量损失。从图4可以看出,在接近中性的溶液中,铝合金的质量损失最小,其质量损失会随着pH值的降低或增加而增加。

试样在不同pH值溶液中所呈现的腐蚀形貌也有差异,如图5所示。

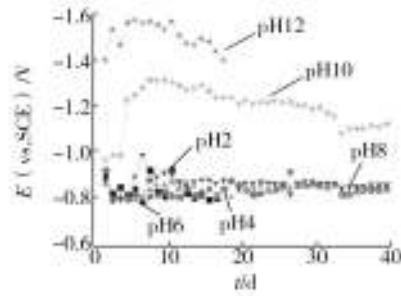


图3 5083铝合金在不同pH值3%NaCl溶液中的自腐蚀电位曲线  
Fig. 3 Open circuit potential vs. exposure time in 3% NaCl solutions of different pH

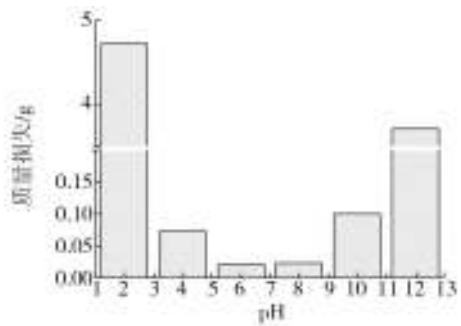


图4 5083铝合金在不同pH值3%NaCl溶液中浸泡40 d后质量损失  
Fig. 4 Weight loss of AA5083 after 40 days immersion in 3% NaCl solution of different pH

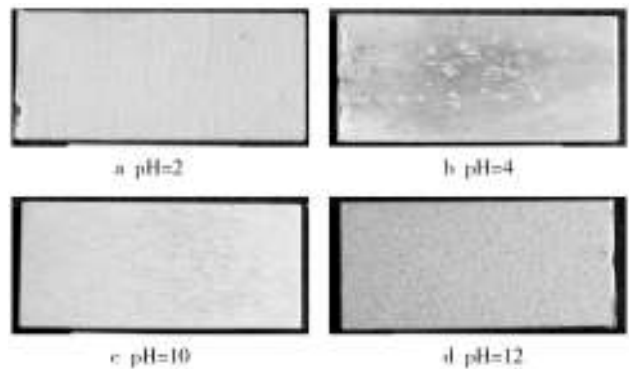


图5 5083铝合金在不同pH值3%NaCl溶液中浸泡40 d后腐蚀形貌图  
Fig. 5 Corrosion morphology of AA5083 after 40 days immersion in 3% NaCl solution of different pH

从图5可以看出:溶液pH值为2时,试样表面呈亮白色,但因5083铝合金发生酸性溶解表面出现较多麻点,无金属光泽;当溶液pH值为4时,可见试样  
(下转第25页)

- 辐射的研究试验[J]. 航空知识, 2006(11):74.
- [2] TOWNES C H. Infectious Disease in Manned Spaceflight—probabilities and Countermeasures[M]. Washington D C: Space Science Board of the National Academy of Sciences, 1970:86.
- [3] MARON D M, AMES B N. Revised Methods for the Salmonella Muta-genicity Test [J]. Mutation Res, 1983 (113) : 173—215.
- [4] QUILLARDET P. The SOS Chromotest, A Colorimetric Bacterial Assay for Genotoxins: Procedures [J]. Mutation Res, 1985(147):65—78.
- [5] BRIDGES Bryna. Short Term Screening Tests for Carcinogens[J]. Nature, 1976(261): 195—200.
- [6] HOLLSTEIN M, MCCANN J, ANGELOSANTO F A, et al. Short-term Tests for Carcinogens and Mutagens [J]. Mutat Res, 1979(65): 133—226.
- [7] MONTESANO R, BARTSCH H, TOMATIS L, et al. Molecular and Cellular Aspects of Carcinogen Screening Tests [M]. France Lyon: IARC Scientific Publications, 1980: 324—330.
- [8] MOHN G R. Bacterial Systems for Carcinogenicity Testing [J]. Mutat Res, 1981(87):191—210.
- [9] MCCANN J, AMES BN. Origins of Human Cancer[M]. New York: Cold Spring Harbor Laboratory, 1977: 1431—1450.
- [10] MILLER E C. Mechanism of Chemical Carcinogenesis[J]. Cancer, 1981(47):1055—1064.

(上接第7页)

表面略有金属光泽,且表面出现很多点蚀坑;当溶液 pH 值为 10 时,试样表面会出现褐色腐蚀产物,当去除腐蚀产物后,试样表面也无金属光泽,呈现白色;当溶液 pH 值为 12 时,在挂片中试样表面出现一层深褐色泥状腐蚀产物,试样表面被均匀减薄。主要原因是铝为两性金属,在酸性和碱性溶液中均为可溶性。在中性溶液中,合金表面会形成  $\text{Al}(\text{OH})_3$  钝化膜,该钝化膜由于其低的溶解度而稳定,在侵蚀性介质中可以保护合金进一步免受腐蚀。在酸性溶液中,  $\text{Al}^{3+}$  的溶解会促进 Al 基体的溶解,进一步加速 Cl<sup>-</sup> 的侵蚀。同样, Al 基体在中性和碱性溶液中的腐蚀机制也可以用  $\text{Al}(\text{OH})_3$  保护膜的形成来解释。由于碱性溶液具有高的 OH<sup>-</sup> 浓度,氧化膜会因为化学溶解而导致均匀减薄。在强酸、强碱溶液中为全面均匀溶解腐蚀,在弱酸、弱碱、中性溶液中会由于 Cl<sup>-</sup> 的存在而出现点蚀<sup>[6]</sup>。

### 3 结论

1) 5083 铝合金中的夹杂物主要有 3 种类型,分别为 (Cr, Mn, Fe)Al<sub>6</sub>, Mg<sub>2</sub>Si 和 β 相 Mg<sub>5</sub>Al<sub>8</sub>。

2) 在去气条件下的极化试验中,5083 铝合金在不同 pH 值条件下 3%NaCl 溶液中的点蚀电位比较接近,为 -0.74~-0.76 V。在强碱性 3%NaCl 溶液中的阳极电流密度最大,自腐蚀电位最负,可达到 -1.35 V;

在中性及弱酸、弱碱性溶液中的阳极电流密度比较接近,自腐蚀电位为 -1.03 V 左右。

3) 在质量损失试验中,5083 铝合金在强酸、强碱溶液中由于发生了全面腐蚀溶解,其腐蚀质量损失较大,而在偏中性溶液中,由于发生局部点蚀,其腐蚀质量损失较低。

### 参考文献:

- [1] 蒙多尔福. 铝合金的性能与组织[M]. 王祝堂,张振录,郑璇,等译. 北京:冶金工业出版社,1988:36.
- [2] HOSIN Zuber, EL-HOU A D, EL-SHAWESH F. A Study on the Corrosion Behavior of Aluminum Alloys in Seawater [J]. Materials & Design, 2008, 29(4): 801—805
- [3] 王洪仁,吴建华,王均涛,等. 5083 铝合金在海水中的腐蚀电化学行为及活性氯影响研究[J]. 电化学, 2003, 9(1):60—65.
- [4] KIRVL A Yasakau, MIKHAIL L Zheludkevich, SVIATLANA V, et al. Role of Intermetallic Phases in Localized Corrosion of AA5083[J]. Electro Chimica Acta, 2007 52(27): 761—765.
- [5] 彭文才,侯健,郭为民,等. 温度和溶解氧对 5083 铝合金海水腐蚀性的影响[J]. 装备环境工程, 2010, 7(3): 22—26.
- [6] ZAID B, SAIDE D, BENZAID A, et al. Effects of pH and Chloride Concentration on Pitting Corrosion of AA6061 Aluminum Alloy[J]. Corrosion Science, 2008, 50(7): 1841—1847.