

7050 高强铝合金在我国四种典型大气环境下 腐蚀行为研究

罗来正¹, 肖勇¹, 苏艳¹, 黎小锋², 钟勇¹

(1. 西南工程技术研究所, 重庆 400039; 2. 重庆綦江实验中学, 重庆 401420)

摘要:目的 研究海洋大气、干热沙漠、寒冷低温和高原低气压四种典型大气环境对7050高强铝合金腐蚀行为的影响。方法 通过在万宁、敦煌、漠河、拉萨四种典型环境中开展7050高强铝合金大气暴露试验,利用腐蚀质量损失、力学性能、腐蚀形貌、金相显微分析7050高强铝合金在我国四种典型大气环境中的腐蚀规律和行为。结果 暴露1年,海洋大气环境对7050高强铝合金的腐蚀质量损失、力学性能、腐蚀形貌和金相显微组织有明显影响,干热沙漠环境对铝合金的腐蚀形貌和金相显微组织有一定影响,铝合金对寒冷低温和高原低气压大气环境腐蚀不敏感。结论 四种典型大气环境对7050高强铝合金腐蚀影响大小的顺序为万宁>敦煌>漠河和拉萨。

关键词: 7050 高强铝合金; 四种典型大气环境; 大气腐蚀

DOI: 10.7643/issn.1672-9242.2015.04.010

中图分类号: TJ04; TG172.3 文献标识码: A

文章编号: 1672-9242(2015)04-0049-05

Corrosion Behavior of 7050 High-strength Aluminum Alloy in Four Typical Atmospheric Environments in China

LUO Lai-zheng¹, XIAO Yong¹, SU Yan¹, LI Xiao-feng², ZHONG Yong¹

(1. Southwest Research Institute of Technology and Engineering, Chongqing 400039, China;

2. Chongqing Qijiang Experimental High School, Chongqing 401420, China)

ABSTRACT: Objective To investigate the influence of four typical atmospheric environments including marine atmosphere, dry-heat desert, low temperature and low barometric pressure in high altitude on the corrosion behavior of 7050 high-strength aluminum alloy. **Methods** Atmospheric exposure test of 7050 high-strength aluminum alloy was carried out four typical environments in Wanning, Dunhuang, Mohe and Lhasa. The corrosion rule and behavior of 7050 high-strength aluminum alloy in four typical atmospheric environments in China were investigated by corrosion weight loss, mechanical property, corrosion morphology and metallurgical microscope. **Results** After 1-year Exposure, marine atmosphere had a significant effect on the corrosion weight loss, mechanical property, corrosion morphology and metallographic microstructure of 7050 high-strength aluminum alloy. Dry-heat desert environment had an effect on the

收稿日期: 2015-05-04; 修订日期: 2015-06-09

Received: 2015-05-04; Revised: 2015-06-09

作者简介: 罗来正(1983—),男,江西玉山人,硕士,工程师,主要研究方向为环境试验与环境适应性评价。

Biography: LUO Lai-zheng(1983—), Male, from Yushan, Jiangxi, Master, Engineer, Research focus: environment test and environment adaption evaluation.

corrosion morphology and metallographic microstructure of 7050 high-strength aluminum alloy. And 7050 high-strength aluminum alloy was not sensitive to the corrosion of atmospheric environments of low temperature and low barometric pressure in high altitude. **Conclusion** The result showed that the impact of the four typical environments on the corrosion of 7050 high-strength aluminum alloy was in the order of Wanning>Dunhuang>Mohe and Lhasa.

KEY WORDS: 7050 high-strength aluminum alloy; four typical atmospheric environments; atmospheric corrosion

7050是一种Al-Zn-Mg-Cu系高强铝合金,具有强度高、密度低和断裂韧性优良的特点,被广泛应用于飞机的主承力结构,如起落架的隔框、翼梁、蒙皮、肋和托架等承力部位^[1-2]。随着飞机向“全天候、多地域”作战要求方向的发展,7050铝合金在服役过程中可能遭遇海洋大气、干热沙漠、寒冷低温、高原低气压等多种严酷使用环境。由于温度、湿度、腐蚀介质等存在较大区别,导致不同环境下服役的7050铝合金在腐蚀类型、程度和机理等方面相差较大,一定程度上提高了“全天候、多地域”作战要求飞机用7050铝合金的不确定危险系数。目前,对于7050铝合金腐蚀行为主要集中于研究不同时效工艺对7050铝合金性能的影响^[3-6],以及实验室模拟海洋大气环境下7050铝合金的腐蚀行为^[7-8],并逐步开展了海洋大气环境下的7050铝合金的腐蚀行为研究^[9-10],但对于干热沙漠、寒冷低温、高原低气压等其他环境下7050铝合金腐蚀行为的研究暂未见报道。

文中针对飞机用7050铝合金,开展海洋大气、干热沙漠、寒冷低温、高原低气压等四种典型大气环境试验,研究其在四种典型大气环境下的腐蚀行为与规律,为7050铝合金在“全天候、多地域”作战要求飞机中的应用提供一定的腐蚀数据支撑和环境适应性设计依据,并为不同环境下飞机的合理选材提供重要的参考价值。

1 试验

1.1 试样

试验材料是7050高强铝合金,其化学成分(以质量分数计)为:Si 0.12%, Fe 0.15%, Cu 2.0%~2.6%, Mn 0.10%, Mg 1.9%~2.6%, Cr 0.04%, Zn 5.7%~6.7%, Ti 0.06%, Al为余量。试样种类由腐蚀质量损失试样(100 mm×50 mm×3 mm)及棒材拉伸试样组成。材料的状态为裸材,试验前先用丙酮清洗掉试样表面的油污,之后采用去离子水漂洗,最后用丙酮脱水,在干燥器中干燥24 h,腐蚀质量损失试样采用精度为0.1 mg的天平称量。

1.2 自然环境暴露试验

试验场为热带海洋环境的海南万宁,干热沙漠环境的甘肃敦煌,寒冷低温环境的黑龙江漠河,以及高原低气压环境的西藏拉萨,所有试样均在户外暴露,四种环境的主要大气环境特征因素见表1。

表1 四种典型大气环境的环境参数

Table 1 Environmental parameters of four typical atmospheric environments

试验站	环境类型	平均相对湿度/%	海盐离子/(mg·100 cm ⁻² ·d ⁻¹)
万宁	海洋大气环境	86	0.3510
敦煌	干热沙漠环境	41	0.4897
漠河	寒冷低温环境	66	0.0033
拉萨	高原低气压环境	55	0.0024

试样朝南并与水平成45°倾角,大气暴露试验方法参照GB/T 14165—2008《金属和合金 大气腐蚀试验 现场试验的一般要求》执行。

1.3 试样检测与分析

1) 质量损失分析:参照HB 5257—1983《腐蚀试验结果的重量损失测定和腐蚀产物的清除》执行。

2) 力学性能:参照GB/T 228—2002《金属材料 室温拉伸试验方法》执行。

3) 腐蚀形貌:采用Quanta 200环境扫描电子显微镜对试样进行表面微观形貌观察。

4) 金相显微分析:将试样垂直剖开,并抛光断面,使用Observe.A1m型金相显微镜对试样进行腐蚀形态观察。

2 结果与讨论

2.1 腐蚀变化规律

图1是7050高强铝合金在海洋大气、干热沙漠、寒冷低温、高原低气压四种典型环境下暴露1年的腐

蚀质量损失变化关系曲线。由图1得知,铝合金在万宁试验站的海洋大气环境中腐蚀质量损失最为严重,其他试验站腐蚀质量损失很轻微。大气环境中的相对湿度和腐蚀性介质是铝合金发生腐蚀的主要因素,相对湿度越大,金属表面越容易结露,表面的电解液膜存在时间越长,铝合金腐蚀速率相应加快。同时,腐蚀性介质的溶解使得铝合金表面薄液膜层导电性增强,加速了铝合金电化学腐蚀速率,且腐蚀性介质中的氯离子具有较强的穿透性,可以破坏钝化膜对铝合金基体的保护作用,可进一步加速铝合金的腐蚀速率^[11-13]。由表1中四种典型环境的环境参数得知,四种环境的相对湿度大小为:万宁>漠河>拉萨>敦煌;海盐离子浓度大小为:敦煌>万宁>漠河、拉萨。万宁试验站的海洋大气环境具有相对湿度最大,且海盐离子浓度较高的特点,因此铝合金在海洋大气环境中的腐蚀速率最快;敦煌试验站的干热沙漠大气环境,周围是盐碱地,虽然海洋离子比万宁试验站还高,但该地区的相对湿度极低,仅为41%,缺乏铝合金发生腐蚀需要较高的相对湿度条件,因此腐蚀质量损失变化较小;漠河试验站的寒冷低温大气环境和拉萨试验站的高原低气压大气环境,由于相对湿度和海盐离子均较低,暴露1年铝合金的腐蚀质量损失变化不明显。

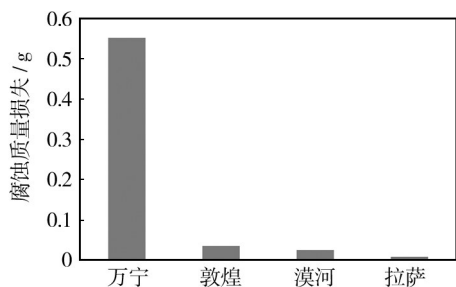


图1 7050铝合金四种典型环境下暴露1年腐蚀质量损失变化
Fig.1 Changing curve of weight loss of 7050 aluminum alloy exposed for 1 year in four typical environments

2.2 力学性能变化规律

图2是7050铝合金在四种典型环境下的力学性能变化对比。可以看出,7050铝合金在万宁试验站海洋大气环境暴露1年,腐蚀对力学性能产生了一定影响,抗拉强度和断后伸长率均有一定程度下降,其他三个环境由于铝合金腐蚀非常轻微或基本不腐蚀,抗拉强度和断后伸长率均无下降趋势,并均有一定程度提高。这主要是因为7050铝合金经固溶热处理后,合

金中的过剩硅将首先形成偏聚,而镁、硅原子的GP区则在硅核上形成。在随后的人工时效过程中,那些小于临界尺寸的GP区,将重新溶入固溶体,致使稳定的晶核数目减少,趋于形成粗大的过度相。7050铝合金在户外暴露过程中,随暴露时间的延长,那些小于临界尺寸的GP区,有可能长大成稳定的晶核尺寸^[14],因此,铝合金的抗拉强度和断后伸长率有所增大。力学性能的变化规律印证了海洋大气环境对铝合金的腐蚀作用最强烈。

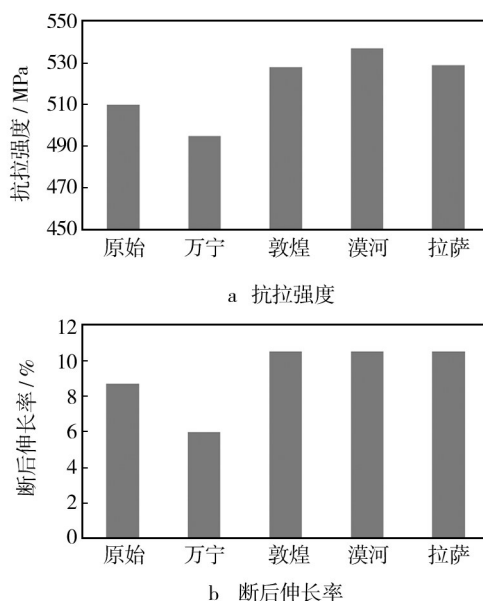


图2 7050铝合金四种典型环境暴露1年力学性能变化曲线
Fig.2 Changing curves of mechanical property of 7050 aluminum alloy exposed for 1 year in four typical environments

2.3 腐蚀形貌

7050高强铝合金在四种典型环境下暴露1年的表面微观形貌如图3所示,其中万宁试验站的铝合金试样在暴露20天后出现点蚀,敦煌在暴露1个月出现点蚀,漠河和拉萨1年都未见点蚀。7050铝合金在海洋大气环境中暴露20天,表面出现大小不等、分布不均的白色斑点状腐蚀产物,说明表面已经存在点蚀。随着暴露时间的延长,腐蚀点不断增多,并逐渐发展为小片状腐蚀区^[15]。暴露1年,白色腐蚀产物覆盖了整个表面,同时,由暴露1年的表面微观形貌得知,腐蚀产物凹凸不平并呈现不规则的块状,龟裂明显(图3a)。7050铝合金在干热沙漠环境中暴露2个月,表面出现轻微白色点蚀,随着暴露时间延长,腐蚀扩展面积和程度并未发生明显变化。由表面微观形貌可知,腐蚀主要发生在较浅的表面,腐蚀产物发生轻微龟裂

(图3b);7050铝合金暴露于海盐离子含量较高的干热沙漠敦煌试验站,氯离子的穿透作用破坏了铝合金表面的钝化膜,导致铝合金表面出现点蚀现象,但由于该地区的相对湿度仅为41%,远远低于海盐离子沉积时铝合金表面形成微液滴所需的临界相对湿度($R \approx 76\%$),缺乏铝合金进一步腐蚀需要较高的相对湿度条件,铝合金腐蚀难以进一步发生。7050铝合金在漠河试验站的寒冷低温大气环境和拉萨试验站的高原低气压大气环境暴露1年,均未发生腐蚀现象。从表面腐蚀形貌方面比较四种不同环境对7050铝合金腐蚀影响大小:万宁>敦煌>漠河、拉萨。

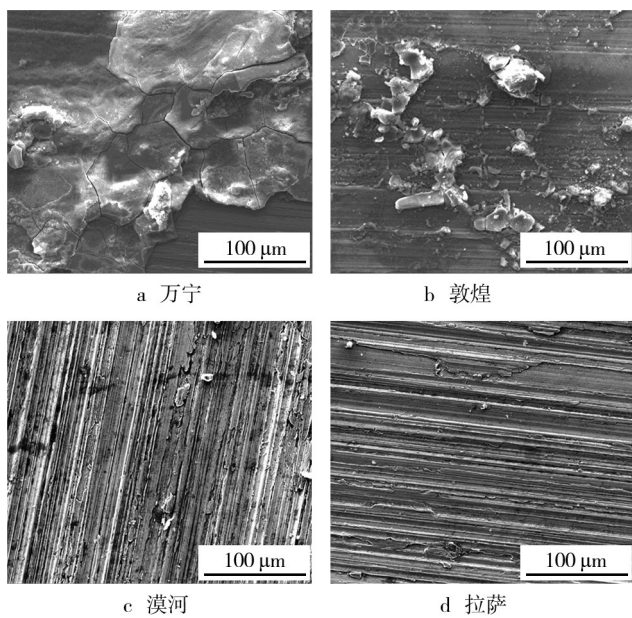


图3 7050铝合金在四种典型环境下暴露1年的表面微观形貌
Fig.3 Micro-morphology of 7050 aluminum alloy exposed for 1 year in four typical environments

2.4 金相显微分析

图4是7050铝合金在四种典型环境下暴露1年的金相显微照片。由图4可知,7050铝合金在万宁站暴露1年出现晶间腐蚀,最大腐蚀深度为0.205 mm;敦煌站暴露1年出现晶间腐蚀,最大腐蚀深度为0.029 mm,腐蚀发生在较浅的金属表面;漠河和拉萨站暴露1年均无腐蚀。金相显微观察结果强烈印证了海洋大气环境对铝合金腐蚀影响最为严重,其次是干热沙漠环境,寒冷低温环境和高原低气压环境对铝合金腐蚀行为不敏感。7050铝合金在海洋大气环境和干热沙漠环境下腐蚀机制如下^[16-18]。

第一阶段,7050铝合金受大气环境中水的作用,最初形成 $Al(OH)_3$,其腐蚀电化学反应为:

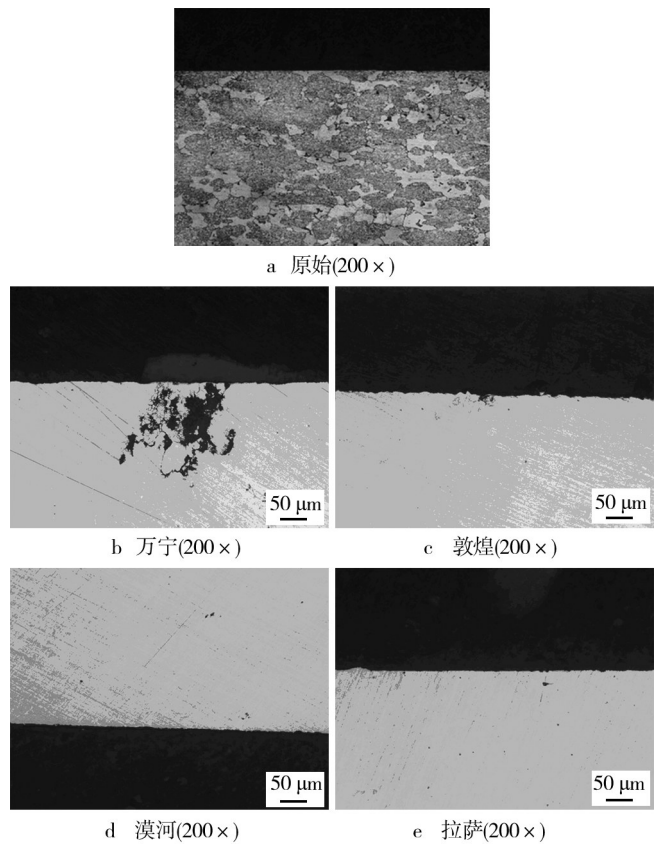
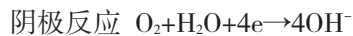
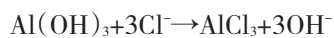


图4 7050铝合金在四种典型环境下暴露1年的金相显微照片
Fig.4 Metallurgical micrographs of 7050 aluminum alloy exposed for 1 year in four typical environments



第二阶段,空气中的 Cl^{-} 通过竞争吸附,逐渐取代 $Al(OH)_3$ 表面上的 OH^{-} 生成 $AlCl_3$,反应方程式为:



3 结论

1) 暴露1年,海洋大气环境对7050铝合金的腐蚀质量损失和力学性能影响较为显著,干热沙漠、寒冷低温和高原低气压三种环境对铝合金的腐蚀影响不明显。

2) 7050铝合金在四种典型大气环境中暴露1年,海洋大气环境对铝合金的腐蚀形貌和金相显微组织影响最显著,干热沙漠环境次之,寒冷低温和高原低气压两种环境影响不明显。

3) 四种典型大气环境对7050铝合金腐蚀影响大小:万宁>敦煌>漠河和拉萨。

参考文献:

- [1] 刘世兴,田世兴,陈昌麒. 7050 铝合金锻件的力学性能和断裂机制研究[J]. 材料工程,1996(1):34—37.
LIU Shi-xing, TIAN Shi-xing, CHEN Chang-qi. Mechanical Properties and Fracture Mechanism of 7050 Aluminum Alloy Forgings[J]. Mater Eng, 1996(1):34—37.
- [2] HEINZ A, HASZLER A, KEIDEL C, et al. Recent Development in Aluminum Alloys for Aerospace Applications[J]. Materials Science and Engineering A, 2000, 280(1):102—107.
- [3] PAGLIA C S, BUCHEIT R G. The Time-Temperature-corrosion Susceptibility in a 7050-T7451 Friction Stir Weld[J]. Mater Sci Eng A, 2008, 492(1):250—258.
- [4] 杨新鹏,李海,潘道召,等. T616时效对7050铝合金性能的影响[J]. 材料热处理技术,2009,38(10):158—161.
YANG Xing-peng, LI Hai, PAN Dan-zhao, et al. Effects of T616 Aging on Properties of 7050 Aluminum Alloy[J]. Material & Heat Treatment, 2009, 38(10):158—161.
- [5] 田福泉,崔建忠. 双级时效对7050铝合金组织和性能的影响[J]. 中国有色金属学报,2006,16(6):958—963.
TIAN Fu-quan, CUI Jian-zhong. Effects of Duplex Aging on Microstructure and Properties of 7050 Aluminium Alloy[J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2006, 16(6):958—963.
- [6] 古亦杰,林建国,张永刚,等. 回归再时效(RRA)处理对7050铝合金的影响[J]. 金属热处理,2001,(1):31—35.
GU Yi-jie, LIN Jian-guo, ZHANG Yong-gang, et al. Effect of RRA Treatment on Microstructures of 7050 Aluminium Alloy [J]. Heat Treatment of Metals, 2001(1):31—35.
- [7] BLUCHER D B, SVENSSON J E, JOHANSSON L G. The Influence of CO_2 , $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, Na_2SO_4 and NaCl on the atmospheric Corrosion of Aluminum[J]. Corrosion Science, 2006, 48(7):1848.
- [8] 张入仁,万熠,李晨,等. 模拟海洋环境下航空铝合金铣削表面的耐腐蚀性研究[J]. 工具技术,2011,45(12):12—15.
ZHANG Ru-ren, WAN Yi, LI Chen, et al. Surface Corrosion Resistance of Milling Aeronautic Aluminum Alloy in Simulated Marine Environment[J]. Tool Eng, 2011, 45(12):12—15.
- [9] HASSC K R, DORWARD R C. Long-term Marine Atmospheric Stress Corrosion Tests on High-strength Al-Zn-Mg-Cu Alloys[J]. Corrosion, 1986, 42(11):663.
- [10] 王晴晴,上官晓峰. 7050 铝合金在海洋大气中的接触腐蚀防护研究[J]. 材料导报B, 2013, 27(4):109—116.
WANG Qing-qing, SHANGGUAN Xiao-feng. Research on Protection Against Contact Corrosion of 7050 Aluminum Alloy in Marine Atmosphere[J]. Materials Review B, 2013, 27(4):109—116.
- [11] 周和荣,李晓刚,董芳超. 铝合金及其氧化膜大气腐蚀行为与机理研究进展[J]. 装备环境工程,2006,3(1):1—9.
ZHOU He-long, LI Xiao-gang, DONG Chao-fang. Review of Atmospheric Corrosion Behavior and Mechanism of Aluminum Alloys and its Anodic Film[J]. Equipment Environment Engineering, 2006, 3(1):1—9.
- [12] 王彬,苏艳. 铝合金大气腐蚀行为及其防腐措施研究进展[J]. 装备环境工程,2012,9(2):64—68.
WANG Bin, SU Yan. Research Progress in Atmospheric Corrosion Behavior and Anticorrosion Measures of Aluminum Alloy[J]. Equipment Environment Engineering, 2012, 9(2):64—68.
- [13] 刘明,蔡建平,孙志华,等. 7B04 铝合金海洋性大气腐蚀研究[J]. 装备环境工程,2010,7(6):163—166.
LIU Ming, CAI Jian-ping, SUN Zhi-hua, et al. Study on Corrosion of 7B04 Aluminum Alloy in Marine Atmosphere[J]. Equipment Environment Engineering, 2010, 7(6):163—166.
- [14] 陈准,谭澄宇. 热处理制度对6013和6061合金拉伸性能的影响[J]. 轻合金加工技术,2011,29(4):25—27.
CHEN Zhun, TAN Cheng-yu. The Effects of Heat Treatment on the Tensile Properties of 6013 and 6061 Alloys[J]. Light Alloy Fabrication Technology, 2011, 29(4):25—27.
- [15] 苏艳,李凌杰,舒畅,等. 高强铝合金海洋大气环境剥层腐蚀研究[J]. 装备环境工程,2010,7(6):180—182.
SU Yan, LI Ling-jie, SHU Chang, et al. Research on Corrosion Characters and Mechanism of 7B04 Aluminum Alloy in Marine Atmosphere Environment[J]. Equipment Environment Engineering, 2010, 7(6):180—182.
- [16] PYUN S I, MOOS S M, AHN S H, et al. Effects of Cl^- and SO_4^{2-} Ions on Anodic Dissolution of Pure Aluminum in Alkaline Solution[J]. Corrosion Soc, 1999, 41:653—667.
- [17] ELOLA A S, OTERO T F, PORRO A. Evolution of the Pitting of Aluminum Exposed to the Atmosphere[J]. Corrosion, 1992, 48(10):854—863.
- [18] 罗来正,肖勇,陈志君,等. 海洋大气环境中航空用2D12铝合金腐蚀行为研究[J]. 装备环境工程,2012,9(4):39—41.
LUO Lai-zheng, XIAO Yong, CHEN Zhi-jun, et al. Research on Corrosion Behavior of 2D12 Aluminum Alloy Used for Aircraft in Marine Atmospheric Environment[J]. Equipment Environment Engineering, 2012, 9(4):39—41.