

# 铸铝合金不同厚度膜层微弧氧化防腐蚀性能试验研究

谭晓明<sup>1</sup>, 杨芳菲<sup>2</sup>, 王刚<sup>1</sup>, 沈尔明<sup>2</sup>, 由宝财<sup>2</sup>

(1. 海军航空工程学院 青岛分院, 山东 青岛 266041; 2. 沈阳发动机设计研究所, 沈阳 110015)

**摘要:** 针对某型铸铝合金的不同热处理状态、不同厚度的微弧氧化膜的防腐蚀性能进行了960 h的盐雾对比试验。结果表明, 对于该型铸铝合金T7热处理状态防腐蚀能力优于T5; 微弧氧化处理能明显提高该型铸铝合金防腐蚀能力, 经不同厚度微弧氧化处理的该型铸铝合金, 腐蚀深度无显著差异; 在相同面积区域内, 腐蚀损伤的程度有明显的不同, 50~70 μm的微弧氧化膜防腐蚀性能最好。

**关键词:** 铸铝合金; 微弧氧化; 盐雾试验; 腐蚀损伤

**中图分类号:** TG174.3      **文献标识码:** A

**文章编号:** 1672-9242(2012)03-0062-04

## Study on Corrosion Resistance of Different Thickness Micro-arc Oxidation Film of Cast Aluminum Alloy

TAN Xiao-ming<sup>1</sup>, YANG Fang-fei<sup>2</sup>, WANG Gang<sup>1</sup>, SHEN Er-ming<sup>2</sup>, YOU Bao-cai<sup>2</sup>

(1. Qingdao Branch of Naval Aeronautical Engineering Academy, Qingdao 266041, China;

2. Shenyang Aero engine Research Institute, Shenyang 110015, China)

**Abstract:** 960 hours of salt spray test were carried out on cast aluminum alloy specimen with different heat treatment and different thickness of micro-arc oxidation film. The result showed that the anti-corrosion performance of T7 is better than that of T5, and the micro-arc oxidation film improved corrosion resistance of cast aluminum alloy obviously. The corrosion depth of different thickness of micro-arc oxidation film has no difference, but the corrosion damage degree has obvious difference in the same area. The anti-corrosion performance of micro-arc oxidation film thickness of 50~70 μm is the best.

**Key words:** cast aluminum alloy; micro-arc oxidation; salt spray test; corrosion damage

海军飞机由于其服役环境的复杂性, 在海洋大气、热照射(紫外线)、湿热交替、交变载荷等联合作用下, 其防护层极容易损坏, 使基体材料直接暴露在外, 引起腐蚀损伤。微弧氧化是在普通阳极氧化技术基础上发展起来的一种有色金属表面处理工艺方法, 铝

及铝合金经表面微弧氧化处理后, 可以获得高硬度、且抗蚀耐磨的氧化物陶瓷覆盖层<sup>[1-2]</sup>。文中以某型航空铸铝合金为研究对象, 通过不同热处理状态、不同厚度的微弧氧化膜进行研究, 采用同等条件下的盐雾对比试验方法对该型铸铝合金的不同热处理状态和

收稿日期: 2011-09-30

作者简介: 谭晓明(1975—), 男, 湖南宁乡人, 讲师, 主要从事飞机结构腐蚀疲劳、可靠性研究。

微弧氧化防护体系防腐性能进行评价,着重对铸铝合金微弧氧化的防腐性能进行了考核验证。

## 1 试件

采用某型铸铝合金板材加工试验件,该铸铝合金主要成分见表1。

表1 材料成分及质量分数

Table 1 Component and mass fraction of material

化学成分	Si	Cu	Mg	Mn	Zn	Fe	Al
质量分数/%	4.5~5.5	1.0~1.5	0.35~0.6	0.5	0.3	<1.0	余量

针对该型铸铝合金采用4种不同厚度的微弧氧化工艺,2种热处理工艺(T5和T7),见表2。

表2 试件防腐体系

Table 2 Corrosion prevention system of the specimen

试件编号	热处理状态	表面处理工艺
01	T5	—
02	T7	—
15	T7	微弧氧化,厚度10~30 $\mu\text{m}$
16	T7	微弧氧化,厚度30~50 $\mu\text{m}$
17	T7	微弧氧化,厚度50~70 $\mu\text{m}$
18	T7	微弧氧化,厚度70~90 $\mu\text{m}$

## 2 腐蚀试验

腐蚀试验为中性常温盐雾试验,采用的试验设备为DCTC1200P盐雾试验箱,试验条件参考GJB 150.11A—2009《军用装备实验室环境试验方法 第11部分:盐雾试验》。试验前,先用无水乙醇对试件进行清洗,后用去离子水冲洗,干燥;试件垂直悬挂或与试验箱垂直平面成 $15^\circ \sim 30^\circ$ 角倾斜放置;试验过程中,每个周期对试样的腐蚀状况进行检查、记录、照相。

## 3 结果与分析

### 3.1 腐蚀深度

腐蚀坑的分布和腐蚀坑的几何尺寸以及局部的

剥蚀是最重要的描述腐蚀损伤的物理量。Du Quesnay<sup>[3]</sup>指出将腐蚀损伤的最大深度作为预测疲劳寿命的标尺,但在实际应用中,腐蚀损伤最大深度不一定总是疲劳裂纹萌生之处,而且腐蚀坑最大深度往往是不易获取的<sup>[4]</sup>。文中用各腐蚀损伤处的平均深度作为腐蚀损伤的评价指标,这是因为各腐蚀损伤深度分布在平均深度附近是分布密度最大的,可以较为合理地表征各处损伤的情况,更接近于实际情况<sup>[5-7]</sup>。表3为不同处理工艺的某铸铝合金腐蚀深度的统计数据。

表3 铸铝合金腐蚀深度统计数据

Table 3 Statistical data of corrosion depth of cast aluminum alloy

试件编号	腐蚀深度 样本大小/件	腐蚀深度 均值/ $\mu\text{m}$	标准 差/ $\mu\text{m}$
01	46	489.586	179.940
02	47	549.870	105.129
15	33	238.846	79.169
16	42	315.186	114.905
17	10	233.870	65.074
18	85	389.661	116.170

由表3可知,15号和17号试件腐蚀深度均值相比其它试件小,腐蚀深度标准差也较小,而其它试件腐蚀深度均值和标准差均较大,01号试件最大。经微弧氧化处理的铸铝合金试件的腐蚀深度均值都减小,取 $\alpha=0.05$ ,进行F检验。相同热处理状态下经不同的微弧氧化处理15,16,17,18号试件和未做表面处理的02号试件的腐蚀深度具有方差齐次性,腐蚀深度随微弧氧化的厚度不同变化不明显。微弧氧化的铸铝合金的腐蚀深度均值随微弧氧化膜的厚度的变化如图1所示。

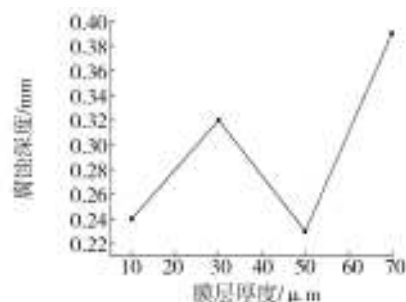


图1 铸铝合金微弧氧化膜层厚度与腐蚀深度的关系

Fig. 1 Relationship between micro-arc oxidation film thickness and corrosion depth

由表4看出,在该铸铝合金腐蚀防护体系中,微弧氧化效果最好,其它体系(化学氧化+H06-2 锌黄环氧树脂底漆+H61-5 环氧有机硅热漆、硫酸阳极化+重铬酸盐封闭)次之,且腐蚀深度一般为 0.45~0.55 mm。随着微弧氧化膜层厚度增加,蚀孔数量明显减小,腐蚀深度有增加的趋势,如图1所示,如微弧氧化膜层厚度为 70~90 μm 时,平均腐蚀深度达 0.39 mm,这说明厚膜层试件一旦发生腐蚀,其腐蚀深度明显比薄膜层的腐蚀深度大。

### 3.2 铸铝合金表面腐蚀损伤

#### 3.2.1 不同的热处理状态

对于不同热处理状态 T5 和 T7,盐雾腐蚀 960 h 后试件表面布满了大量的白斑,如图2和图3所示。清洗后可见明显的腐蚀坑,经腐蚀损伤检测,T7处理的试件防腐性能优于T5处理的试件。

#### 3.2.2 不同厚度的微弧氧化防护体系

对不同厚度的微弧氧化(见表2)试件进行盐雾

表4 铸铝合金腐蚀深度

Table 4 Measured data of corrosion depth of cast aluminum alloy

试件编号	试件防护体系	腐蚀深度均值/mm
01	T5 状态	0.49
02	T7 状态	0.55
05	T7 状态、化学氧化+H06-2 锌黄环氧树脂底漆+H61-5 环氧有机硅热漆	0.45
06	T7 状态、微弧氧化厚度 30~80 μm	0.12
07	T7 状态、硫酸阳极化+重铬酸盐封闭	0.52
15	T7 状态、微弧氧化厚度 10~30 μm	0.24
16	T7 状态、微弧氧化厚度 30~50 μm	0.32
17	T7 状态、微弧氧化厚度 50~70 μm	0.23
18	T7 状态、微弧氧化厚度 70~90 μm	0.39



图2 01号试件腐蚀前后表面状况

Fig. 2 Surface condition of No.1 specimen before and after corrosion test



图4 15号试件腐蚀前后表面状况

Fig. 4 Surface condition of No.15 specimen before and after corrosion test



图3 02号试件腐蚀前后表面状况

Fig. 3 Surface condition of No.2 specimen before and after corrosion test



图5 16号试件腐蚀前后表面状况

Fig. 5 Surface condition of No.16 specimen before and after corrosion test

试验,15,16,17和18号试件腐蚀前后对比情况分别如图4—图7所示。

对15,16,17和18号腐蚀后的试件进行局部放大,如图8所示。从图8可以看出,16和18号试件腐蚀后表面出现明显的腐蚀坑,15和17号试件局部有腐蚀损伤,表面平整、防护体系完整,17号腐蚀损伤



图6 17号试件腐蚀前后表面状况

Fig. 6 Surface condition of No.17 specimen before and after corrosion test



图7 18号试件腐蚀前后表面状况

Fig. 7 Surface condition of No.18 specimen before and after corrosion test

的白色斑点最少,这与表3中的腐蚀深度统计结果相吻合。

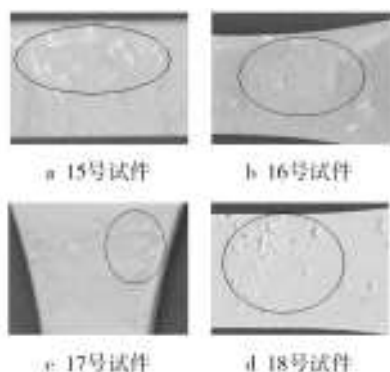


图8 不同防护体系试件腐蚀宏观形貌

Fig. 8 Corrosion macromorphology of specimen with different protection system

借助三维视频显微镜KH-7700放大350倍,对5,6,7号试件腐蚀损伤进行微观观察,微观形貌如图9所示。从图9中可以看出16号和18号试件腐蚀损伤程度比15号和17号的大,这与图8的宏观观测结果一致。15,16,18号试件多处微弧氧化膜腐蚀破损,露出的基体被腐蚀,相同面积区域内的腐蚀坑的数目多,17号试件微弧氧化膜腐蚀破损的数目相对较少。

## 4 结论

根据对比试验和分析可知,对于该型铸铝合金T7热处理状态防腐蚀能力强于T5;微弧氧化后的铸铝合金腐蚀深度随微弧氧化膜的厚度变化不明显,但

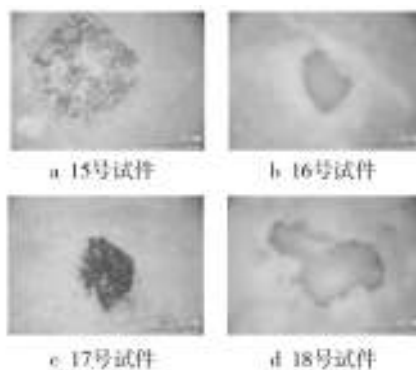


图9 不同防护体系试件腐蚀微观形貌

Fig. 9 Corrosion micro-morphology of specimen with different protection system

在相同面积区域内,腐蚀坑的数目明显不同。综合腐蚀损伤的深度、分布密度和腐蚀形貌状态可知,17号试件的表面处理工艺(微弧氧化,厚度为50~70 μm)防腐蚀性较好,微弧氧化膜的厚度有一极限值,大于极限值,防腐蚀性降低。

## 参考文献:

- [1] 段关文,高晓菊,满红,等.微弧氧化研究进展[J].兵器材料科学与工程,2010,33(5):102—106.
- [2] 陈跃良,徐丽.LY12CZ材料微弧氧化后抗腐蚀及抗疲劳性能研究[J].新技术新工艺,2006(11):60—62.
- [3] QUESNAY D L, UNDERHILL P R. Fatigue Crack Growth from Corrosion Damage in 7075-T6511 Aluminum Alloy under Aircraft Loading[J]. International Journal of Fatigue, 2003, 25(3):371—377.
- [4] SANKARAN K K, WEAVER G E. Corrosion Pit to Crack Transition, AFRL-VA-WP-TR-2003-3010[R]. 2002. (余不详)
- [5] 张有宏.飞机结构的腐蚀损伤及其对寿命的影响[D].西安:西北工业大学,2007:35—39.
- [6] 史强,沈承金,胡光伟.聚乙二醇分散的锌铝铬涂层在3.5%NaCl溶液中的腐蚀行为及防腐蚀机理[J].表面技术,2010(6):15—19.
- [7] 汪定江,郭必新.飞机铝合金结构件腐蚀的原位修复工艺研究[J].表面技术,2012(1):53—54.

(上接第36页)

影响;6)参数优化时还应同时考虑振动台特性、试验夹具等影响因素,以得到更为平滑的SRS。

## 参考文献:

- [1] GJB 1027A—2005,运载器、上面级和航天器试验要求[S].
- [2] 李含忠,王招霞.谐振板式大型试件冲击谱模拟技术研究[J].航天器环境工程,2008(2):159—162.

- [3] 穆瑞忠,张建华,皮本楼.航天器的冲击谱模拟试验方法[J].强度与环境,2008(3):32—37.
- [4] 刘洪英,马爱军,冯雪梅.冲击响应谱控制系统仿真研究[J].航天器环境工程,2002(4):38—43.
- [5] 陈小慧,闫兵,李华超.冲击响应谱时域合成算法研究[J].环境技术,2007,25(1):10—13.