高强铝合金腐蚀等级的近似量化[1)]

谢伟杰 李 荻 胡艳玲 郭宝兰
(北京航空航天大学 材料科学与工程系)

摘 要 飞机主要结构材料——高强铝合金的腐蚀损伤程度的定性检测采用目视法,为了使目视法的评定结果量化或近似量化,本文通过 EXCO 模拟实验,测量了 LY12CZ 和 7075T7351 铝合金在不同腐蚀等级时的最大腐蚀深度;通过对数据的统计分析,建立了二者之间的对应关系,使上述 2 种高强铝合金的腐蚀等级近似量化. 由此,通过腐蚀等级的评定,可以推测 LY12CZ 和 7075T7351 铝合金最大腐蚀深度的大致范围,从而提高了目视法的应用价值.

关键词 铝铜合金; 腐蚀; 腐蚀评定; 近似量化
分类号 TG 113.2

检测高强铝合金的腐蚀损伤程度,通常采用目视法,即用肉眼观察铝合金的表观腐蚀形貌,然后根据腐蚀形貌,按一定的标准,用腐蚀等级评定铝合金的腐蚀损伤程度. 例如美国材料和检验协会颁布的标准 ASTM G34 和我国的航标 HB5455,这 2 个标准采用"未出现剥蚀(N)"、"点蚀(P)"和"剥蚀(EA, EB, EC, ED)"等 6 个腐蚀等级来评定高强铝合金的腐蚀损伤程度. 目视法是工程上最常用、最有效的方法,它具有简单、方便的优点. 但是,该方法的评定结果仅仅是定性的,腐蚀等级并不能确切说明铝合金的腐蚀损伤程度. 为了使目视法的评定结果量化或近似量化,本文建立了 LY12CZ 和 7075T7351 这 2 种高强铝合金在 EXCO 溶液中的腐蚀等级和最大腐蚀深度的对应关系,将腐蚀等级与一定的最大腐蚀深度范围对应起来,使腐蚀等级近似量化. 通过腐蚀等级的评定,可以推测 LY12CZ 和 7075T7351 铝合金在 EXCO 溶液中的最大腐蚀深度的大致范围,从而提高了目视法的应用价值.

1 实 验

1.1 材料及预处理

实验所用的材料为 LY12CZ 和 7075T7351 2 种高强铝合金板材,尺寸规格为 75 mm × 40 mm × 5 mm,已经用铣切方法除去表面的包铝层. 材料在实验前的预处理过程如图 1 所示.

1.2 EXCO 实验

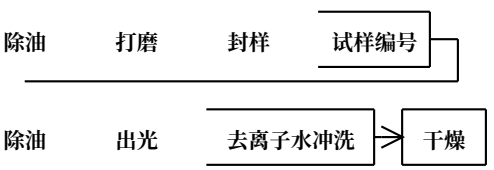


图 1 试样预处理流程图

EXCO 实验是适用于高强铝合金的一种加速腐蚀实验方法. 研究表明[1~3],EXCO 实验再现了硬铝和超硬铝(Al-Mg-Cu 系和 Al-Mg-Cu-Zn 系铝合金)在自然环境下的腐蚀形貌. 按 HB5455 标准进行 EXCO 实验. 根据经验和预实验的结果,选择数个比较有代表性的浸泡周期进行实验. LY12CZ 铝合金的浸泡周期选为:3 h、6 h、13 h、24 h、36 h、48 h、72 h、96 h、120 h、144 h、168 h、192 h、216 h、240 h,共 14 个周期;7075T7351 铝合金的浸泡周期选为:3 h、6 h、12 h、24 h、36 h、48 h、72 h、96 h、120 h、168 h,共 10 个周期. 每个浸泡周期的平行试样 6 个,所用 EXCO 溶液均为同批新配溶液,以保证实验条件的一致.

1.3 腐蚀等级的评定

EXCO 实验结束后,在试样尚呈湿热状态下,立即进行腐蚀等级的评定. 腐蚀等级是根据航标 HB5455 和试样外观,按以下标准进行评定:

N——表面允许变色或腐蚀,但没有点蚀和剥蚀的迹象;

P——点蚀,不连续的腐蚀点,在点的边缘可能有轻微的鼓起;

EA——表面有少量鼓泡裂开,呈薄片或粉

收稿日期: 1998-05-13 第一作者 男 25 岁 硕士生 100083 北京
1) 国家部委基金资助项目

末,有轻微的剥层;

EB ——表面有明显的分层并扩展到金属内部;

EC ——剥蚀扩展到较深的金属内部;

ED ——剥蚀发展到比 EC 更深的金属内部,并有大量金属层剥落.

1.4　腐蚀深度的测量

腐蚀等级评定结束后,在每块试样上沿垂直于试样表面的方向随机截取 4 个 15 mm 长的腐蚀区域,用环氧树脂封闭试样. 待环氧树脂固化后,分别用 150 # 、360 # 、600 # 水砂纸和 800 # 金相砂纸依次进行打磨,然后抛光制成金相试样. 以试样未腐蚀面即非实验面作为基准面,用 XJZ-6 型金相显微镜测量每个金相试样即每个腐蚀区域的最大腐蚀深度. 腐蚀深度是指包括点蚀、晶间腐蚀、和剥蚀在内的总深度.

1.5　最大腐蚀深度的估算

由于腐蚀具有随机性和偶然性,试样上各处的腐蚀深度不会完全相同,而实际上不可能对试样上各处的腐蚀深度都进行测量,只能对数个区域进行取样测量,这样所能直接测得的结果偶然性很大.

本文采用统计分析的方法估算单个试样的最大腐蚀深度. 实验结果证明,LY12CZ 和 7075T7351 铝合金单个试样的最大腐蚀深度服从正态分布. 因而,若取 95 %的置信度,可用(1)式估算单个试样的最大腐蚀深度[3].

$$D_m = 1.65\sigma + \mu \tag{1}$$

式中　D_m ——单个试样的最大腐蚀深度(置信度 95 %);μ ——单个试样所有腐蚀区域的最大腐蚀深度的平均值;σ^2 ——方差.

2　实验结果与讨论

2.1　高强铝合金在 EXCO 溶液中腐蚀等级与最大腐蚀深度的对应关系

EXCO 实验结束后,评定各铝合金试样的腐蚀等级,然后测量该铝合金的最大腐蚀深度,即可同时得到各铝合金试样的腐蚀等级和最大腐蚀深度. 将铝合金试样按腐蚀等级进行归类,相同腐蚀等级的铝合金试样集中在一起,这样就可以得到 LY12CZ 和 7075T7351 铝合金在 EXCO 溶液中不同腐蚀等级所对应的最大腐蚀深度.

用(2)式估计同一腐蚀等级对应的最大腐蚀深度的大致范围[D_{min},D_{max}][4]:

$$\left.\begin{aligned} D_{min} &= \bar{D} - t_{1-\alpha/2}(n-1)\frac{S}{\sqrt{n}} \\ D_{max} &= \bar{D} + t_{1-\alpha/2}(n-1)\frac{S}{\sqrt{n}} \end{aligned}\right\} \tag{2}$$

式中　D_{min} ——同一腐蚀等级对应的最大腐蚀深度的下限;D_{max} ——同一腐蚀等级对应的最大腐蚀深度的上限;$\bar{D}$ ——同一腐蚀等级对应的最大腐蚀深度的平均值;$t_{1-\alpha/2}(n-1)$ ——t 分布的分位点;α ——1 - α 为置信水平,在本式中取 α = 0.05;S^2 ——方差 σ^2 的估计量,

$$S^2 = \frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}(D_i - \bar{D})^2$$

n ——同一腐蚀等级对应的试样的个数.

按(2)式估算 LY12CZ 铝合金各腐蚀等级对应的最大腐蚀深度的平均值和大致范围[D_{min},D_{max}],结果见表 1.

表 1　LY12CZ 铝合金在 EXCO 溶液中腐蚀等级与最大腐蚀深度的对应关系

腐蚀等级	$\bar{D}$/μm	D_{min}/μm	D_{max}/μm
N	179	137	221
P	345	316	374
EA	665	579	751
EB	923	877	987
EC	1 128	1 056	1 200
ED	1 374	1 284	1 464

按(2)式估算 7075T7351 铝合金各腐蚀等级对应的最大腐蚀深度的平均值和大致范围[D_{min},D_{max}],结果见表 2.

表 2　7075T7351 铝合金在 EXCO 溶液中腐蚀等级与最大腐蚀深度的对应关系

腐蚀等级	$\bar{D}$/μm	D_{min}/μm	D_{max}/μm
N	213	160	266
P	276	238	314
EA	396	353	439
EB	608	425	791
EC	856	782	930
ED	1 096	902	1 290

表 1 和表 2 分别表示 LY12CZ 和 7075T7351 铝合金在 EXCO 溶液中的腐蚀等级与最大腐蚀深度的对应关系,各腐蚀等级所对应的[D_{min},D_{max}]即为该腐蚀等级所对应的最大腐蚀深度的大致范围,也是对该腐蚀等级近似量化的结果. 需要说明的是,对于最轻的腐蚀等级 N,其最大腐蚀深度的最小值可取为 0;对于最重的腐蚀等级 ED,其最

大腐蚀深度的最大值可取为试样的厚度.

2.2 通过腐蚀等级的评定推测最大腐蚀深度的大致范围

根据表1和表2所建立的腐蚀等级与最大腐蚀深度的对应关系,就可以通过腐蚀等级的评定推测LY12CZ和7075T7351铝合金在EXCO溶液中的最大腐蚀深度的大致范围,从而使目视法的结果近似量化. 例如:测得"206"号、"301"号、"401"号LY12CZ铝合金试样的腐蚀等级为EA,从表1中可知,腐蚀等级为EA的LY12CZ铝合金所对应的最大腐蚀深度范围大致为579～751μm. 实验测得"206"号、"301"号、"401"号LY12CZ铝合金试样的最大腐蚀深度分别为:550μm、645μm和733μm,推测结果与实测值基本相符. 又如:测得"四361"号、"四203"号和"四306"号7075T7351铝合金试样的腐蚀等级为EA,从表2中可知,腐蚀等级为EA的7075T7351铝合金所对应的最大腐蚀深度范围大致为353～439μm. 实验测得"四361"号、"四203"号和"四306"号7075T7351铝合金试样的最大腐蚀深度分别为:396μm、417μm和481μm,推测的结果也与实测值基本相符.

总的来说,表1和表2所建立的对应关系将LY12CZ和7075T7351铝合金在EXCO溶液中的腐蚀等级近似量化了,根据表1和表2推测的最大腐蚀深度值与实际测得的最大腐蚀深度值基本相符. 因此,通过腐蚀等级的评定,可以比较有效地推测LY12CZ和7075T7351铝合金在EXCO溶液中的最大腐蚀深度的大致范围,从而使目视法的评定结果近似量化.

3 结 论

建立了LY12CZ和7075T7351铝合金在EXCO溶液中的腐蚀等级与最大腐蚀深度的对应关系,使这2种高强铝合金的腐蚀等级近似量化. 根据对腐蚀等级近似量化的结果,通过腐蚀等级的评定,可以较有效地推测LY12CZ和7075T7351铝合金在EXCO溶液中的最大腐蚀深度的大致范围.

致谢 张建周同学参加了本文的大量前期工作,在此表示感谢.

参 考 文 献

1 Sprowls D O, Sammerson T J, Loftin F E. Exfoliation corrosion testing of 7075 and 7178 Al alloys —laterin report on atmospheric exposure tests. In:ASTM STP 558. [s.l.]: American Society for Testing and Materials,1974. 99～113

2 Lifka, B W, Sprowls D O. Relationship of accelerated test methods for exfoliation in 7XXX series aluminum alloys with exposure to a seacoast atmosphere, corrosion in natural environments. In: ASTM STP 558. [s.l.]: American Society for Testing and Materials, 1974. 306～333

3 谢伟杰. LY12CZ和7075T7351铝合金耐腐蚀寿命预测的探讨:[学位论文]. 北京:北京航空航天大学材料科学与工程系,1998

4 韩於羹. 应用数理统计. 北京:北京航空航天大学出版社,1993

Half-Quantification of High Strength Aluminum Alloy's Corrosion Rank

Xie Weijie Li Di Hu Yanling Guo Baolan

(Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Dept. of Materials Science and Engineering)

Abstract Corrosion rank of high strength aluminum alloy in aircraft by visional inspection is a qualitative but simple method, while the most reliable parameter that reflects the corrosion of aluminum is the maximum corrosion depth. In order to make corrosion rank more reliable, corrosion rank and maximum corrosion depth of two high strength aluminum alloys (LY12CZ and 7075T7351) in EXCO solution was measured. At each corrosion rank, a number of corrosion depth data were obtained. With the statistic analysis, the relationship between the rank and the depth was established. So, corrosion rank of LY12CZ and 7075T7351 aluminum alloy in EXCO solution was half-quantified. By determining corrosion rank, the maximum corrosion depth of LY12CZ and 7075T7351 aluminum alloy can be evaluated approximately.

Key words aluminum copper alloys; corrosion; corrosion evaluation; half-quantification