

理论与实验研究

铝合金框开裂的失效分析

白明远¹, 马海全¹, 曲士昱¹, 杨胜^{1,2}

(1. 北京航空材料研究院, 北京 100095; 2. 南昌航空大学, 南昌 330063)

摘要: 某型铝合金框使用不久后,在其表面发现裂纹。通过对铝合金框裂纹断口进行宏微观观察、能谱分析以及显微材料的组织分析,确定了其开裂的性质和原因。结果表明,裂纹断口上存在大量呈泥纹花样的氧化物和氯化物的腐蚀产物,铝合金框的开裂为应力腐蚀开裂。由于铝合金框内表面局部区域涂漆较薄或缺乏保护,使得该框在工作应力和外界介质的协同作用下产生应力腐蚀裂纹。需要加强对铝合金框内表面防护工艺的研究以降低破坏。

关键词: 铝合金框; 裂纹; 应力腐蚀

中图分类号: V252 **文献标识码:** A

文章编号: 1672-9242(2011)02-0001-03

Failure Analysis of Fracture on Aluminum Alloy Frame

BAI Ming-yuan¹, MA Hai-quan¹, QU Shi-yu¹, YANG Sheng^{1,2}

(1. Beijing Institute of Aeronautical Materials, Beijing 100095, China;

2. Nanchang Hangkong University, Nanchang 330063, China)

Abstract: Cracks were found on aluminum alloy frame not long after application. The cracks were studied using macro and micro observation, EDS, and microstructure analysis methods. The results showed that there are a lot of oxide and chloride resulting from corrosion on the fracture surface; the fracture mode of the aluminum frame is stress-corrosion. The stress-corrosion cracks were caused by thin coat of paint or lacking of protection of local area on inner surface, and stress corrosion cracking was created by working stress and external environment. Improvement of inner surface prevention technology of aluminum alloy frame was suggested.

Key words: aluminum alloy frame; crack; stress-corrosion

应力腐蚀破裂是指金属材料在拉应力和特定介质的共同作用下引起的低应力脆性断裂现象。无论是塑性材料还是脆性材料都可能发生应力腐蚀,它与单纯由应力或腐蚀应力造成的破坏不同,特定条

收稿日期: 2010-07-08

作者简介: 白明远(1980—),男,满族,黑龙江人,硕士,工程师,主要从事金属与结构的失效分析和疲劳定量研究。

件下在很低的应力水平或腐蚀性很弱的介质中,也会引起应力腐蚀。在腐蚀过程中,微裂纹一旦形成,其扩展速率要比其它类型的局部腐蚀快,应力腐蚀断裂速率在0.000 1~3 mm/h之间,大于一般的腐蚀速率^[1]。应力腐蚀断口平齐,没有明显的塑性变形痕迹,并且裂纹常常被腐蚀产物所覆盖。裂纹扩展是在金属内部,会使金属结构强度大大下降,从而使得应力腐蚀断裂成为断裂之前没有明显征兆的突然性断裂,不易预防,危害性极大,往往会造成灾难性后果^[2]。

某铝合金框在使用一段时间后,经检查发现在框表面存在开裂现象。铝合金框材料为ZL205A铝合金。笔者对2件铝合金框(编号为1#和2#)的裂纹表面以及断口进行了宏微观检查,并对显微组织和断面化学成分进行了详细的检查分析,找出了其中的共同点,得出了铝合金框的裂纹性质,并对失效原因进行了分析。

1 检测与分析

1.1 宏观观察

对1#,2#框裂纹进行外观检查。1#框裂纹位于框转角位置,为穿透性裂纹,长度为53 mm(侧面为38 mm,底面为15 mm)且在裂纹的末端可见分叉形貌,其外观形貌如图1所示。在框的内表面可见明显缩松缺陷,且缩松部位存在一处砂孔,裂纹位置位于砂孔附近。2#框裂纹也是穿透性裂纹,在框的厚度方向(由内表面到外表面)已裂透,在内外表面均可见裂纹,外侧的裂纹长度约为19 mm,如图2所示。1#和2#铝合金框的内外表面的漆面存在着明显的差异,外表面的漆面明显比内表面要厚。裂纹位于框工艺孔边缘位置。1#框和2#框裂纹均曲折扩展,在裂纹末端均可见分叉形貌。由1#框裂纹可见,试样表面存在轻微的腐蚀特征,局部区域可见晶粒特征,其裂纹沿着晶界扩展,1#裂纹的扩展形貌如图3所示。

1.2 断口微观形貌

将裂纹人为打开,超声波清洗后放入扫描电镜下对其断口进行观察。1#框和2#框的裂纹断口均为沿晶特征,断口局部可见泥纹花样和严重的腐蚀坑,并

可见明显的腐蚀产物和龟裂特征,如图4和图5所示。

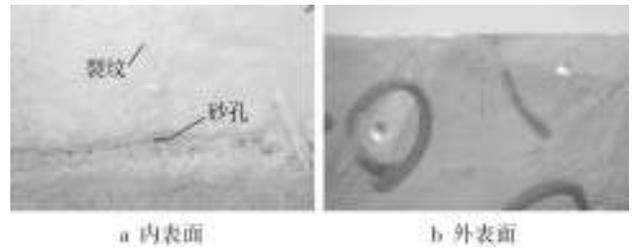


图1 1#框裂纹的外观形貌
Fig. 1 Macro appearance of cracks on No.1 frame

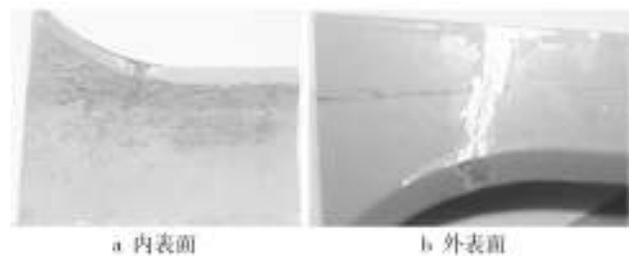


图2 2#框裂纹的外观形貌
Fig. 2 Macro appearance of cracks on No.2 frame

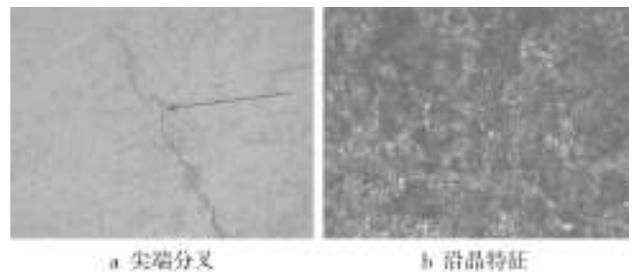


图3 1#框裂纹的形貌特征
Fig. 3 Characters of No.1 frame cracks

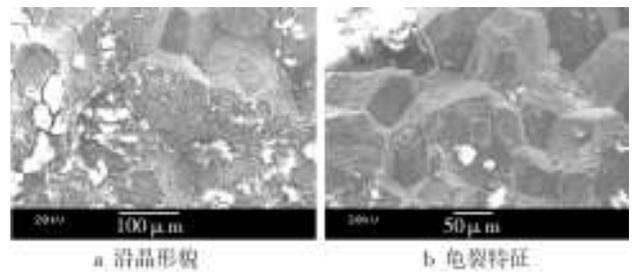


图4 1#框的裂纹断口形貌
Fig. 4 Appearance of NO.1 frame fracture surface

1.3 能谱分析

对1#框和2#框的裂纹断口各位置的腐蚀产物进行能谱分析,结果见表1,其腐蚀产物中含有Cl元素

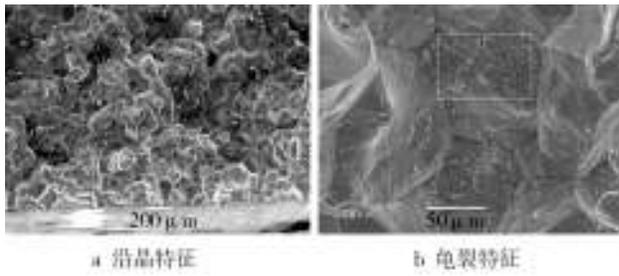


图5 2#框的裂纹断口形貌

Fig. 5 Appearance of No.2 frame fracture surface

表1 1#框和2#框的断口各位置腐蚀产物组成

Table 1 Composition of corrosion products at No.1 and No.2 frame fracture %

| 试样 | 位置 | O | Al | Cl | Mn | Cu |
|----|------|-------|-------|------|------|------|
| 1# | 底面 | 68.06 | 29.91 | 0.96 | 0.07 | 0.49 |
| | 侧面中部 | 68.28 | 29.93 | 0.07 | — | 0.37 |
| | 裂纹尖端 | 60.52 | 37.74 | 0.29 | 0.13 | 0.49 |
| 2# | 工艺孔边 | 26.42 | 54.66 | 0.76 | 0.65 | 5.20 |
| | 断口中部 | 32.77 | 49.13 | 1.45 | 1.59 | 9.80 |
| | 裂纹尖端 | 32.04 | 62.16 | 0.65 | 0.44 | 4.71 |

注:能谱分析表明尚含微量S, Mg, K, Ca和Cd元素。

和大量的O元素。

1.4 金相组织检查

分别对1#和2#铝合金框的金相组织进行检查,结果如图6所示。1#框和2#框合金组织均匀,未见异常。1#铝合金框的金相组织中局部位置存在疏松缺陷,在晶界上有框状析出物,晶内有块状析出物,能谱分析结果表明,框状析出物为Al-Cu相,块状析出物为Al-Ti相,如图6a所示。

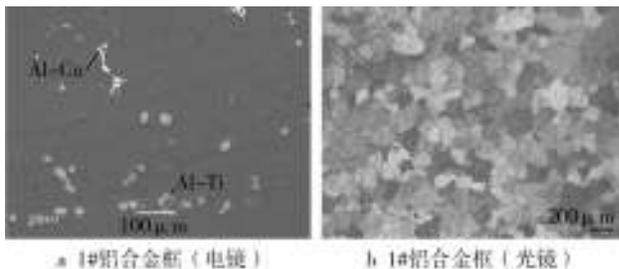


图6 1#和2#铝合金框的金相组织

Fig. 6 Microstructure of No.1 and No.2 frame

2 失效分析

1#和2#铝合金框裂纹断口为典型的沿晶断裂

特征,断口可见明显的腐蚀产物、泥纹花样、腐蚀坑和龟裂特征,经能谱分析断口上含有一定量的Cl元素。外观检查表明裂纹为沿晶扩展且裂纹有明显的分叉特征,这些均为典型的应力腐蚀裂纹特征。因此,可以判断该铝合金框裂纹性质为应力腐蚀。

应力腐蚀裂纹是在拉应力和腐蚀介质共同作用下所产生的裂纹^[2]。在特定的腐蚀介质中,即使所受的拉应力很小,也会产生应力腐蚀裂纹。ZL205A铝合金对含Cl的潮湿空气和溶液等非常敏感,其腐蚀产物中含有一定量的Cl元素。

由于该框在腐蚀气氛中使用,因此表面防护工艺至关重要。在对该框进行宏观检查时发现,外表面涂漆保持良好,而内表面局部区域涂漆较薄或缺乏保护,造成腐蚀性气氛直接与材料发生作用。在微观检查中也发现内表面相对于外表面腐蚀更为严重,需要加强对铝合金框内表面防护工艺的研究以降低破坏。

3 结语

1) 铝合金框材料的显微组织正常,其裂纹性质属于应力腐蚀。

2) 导致铝合金框应力腐蚀开裂的介质为含Cl元素的介质,铝合金框内表面局部区域涂漆较薄或缺乏保护,造成腐蚀性气氛直接与材料发生作用,产生了应力腐蚀裂纹。需要加强对铝合金框内表面防护工艺的研究以降低破坏。

参考文献:

[1] 徐周珏,郑玲,董娜. 飞机水平安定面后梁裂纹原因分析[J]. 失效分析与预防, 2010, 5(2): 106—109.
 [2] 张栋,钟培道,陶春虎,等. 失效分析[M]. 北京:国防工业出版社, 2004.