

飞机铝合金结构件的腐蚀机理与控制

李鹏

(凌云科技集团有限责任公司, 湖北武汉 430030)

摘要: 本文通过对铝合金结构件腐蚀机理的探讨和分析, 总结飞机腐蚀的多发部位、分布情况以及所属腐蚀类型, 有针对性的提出腐蚀防护与控制的措施和建议, 对飞机维修和设计有一定的参考意义。

关键词: 铝合金 飞机结构件 腐蚀控制

中图分类号: TG178 **文献标识码:** A **文章编号:** 1008-7818 (2006) 02-0036-02

Eroding Mechanism and Control of Airplane Aluminous Alloy Frame Component

LI Peng

(Lingyun Science & Technology Group CO., Ltd., Wuhan 430030, China)

Abstract: Eroding mechanism of aluminous alloy frame component is discussed and analyzed in this paper. Frequent eroding part, distribution and eroding type on airplane is also summarized and several pertinent measures against eroding are presented. This paper is some of a reference for airplane servicing and design.

Key Words: aluminous alloy; frame component; measures against eroding

1 前言

据统计, 铝和铝合金要占一架飞机总重量的70%, 而飞机的结构件大部分是由铝合金材料构成。铝合金构件的损伤形式有多种, 如疲劳断裂、裂纹、变形、磨损等, 其中腐蚀是最常见的损伤形式之一, 由于腐蚀造成的事故占飞机全部损伤事故的20%, 这个问题在老龄飞机上表现的尤为突出。由于腐蚀问题的存在, 往往缩短飞机结构件的使用寿命, 甚至还会危及飞行安全。如1988年Aloha航空公司的波音737飞机发生空中事故, 经过事故调查后认为: 由于机身增压舱纵向蒙皮搭接接头处一排铆钉孔, 在服役的热带海洋环境和循环增压载荷作用下, 引起了不可检测的多条腐蚀疲劳裂纹, 从而引起事故。因此, 腐蚀问题不容忽视, 这就需要在航空维修过程中加强检查与控制。

2 腐蚀原理

飞机结构件的腐蚀是飞机在使用环境中随着时间推移而发生的化学累积性损伤。作为一个电化学反应, 必须同时具备三个条件才能够发生, 即活性金属、腐蚀环境(介质)和导电通路。同时, 它又作为与时间有关的损伤, 需要一定时间的累积才会发生, 并且要求在一定的损伤范围内就进行维护和修理。一

般民航和军航的飞机维修规定: 腐蚀损伤深度不超过蒙皮厚度的10%。

腐蚀的种类很多, 通过对飞机铝合金材料构件腐蚀情况的统计和分析得知, 点蚀、剥蚀和缝隙腐蚀这三类是腐蚀的主要表现形式。其中, 点蚀改变飞机结构的应力分布, 引起局部应力集中, 从而形成腐蚀疲劳裂纹; 剥蚀和缝隙腐蚀使蒙皮、桁条等构件的厚度减薄, 大大降低材料的强度, 增大应力, 最终导致构件裂纹, 甚至断裂。

下面我们以飞机结构件最常见的铝合金LY12CZ硬铝为例, 讨论一下铝合金腐蚀的电化学原理。LY12CZ属于Al-Cu-Mg系硬铝合金, 在其保护层遭到破坏以后, 大气环境中由于工业污染含大量 Cl^- 、 SO_2 、 H_2S , 这些成分溶于水, 造成水的pH值偏小, 呈酸性, 成为极好的电解质。

在腐蚀微电池电场力的作用下, 阳极区的Al首先发生溶解反应, 不断形成 Al^{3+} 进入到溶液中去, 并释放电子, 电子迁移到阴极区, 在腐蚀电解质的作用下, 阴极区发生吸氧反应生成 OH^- 。

在溶液中, 金属 Al^{3+} 的浓度随着腐蚀反应的进行不断增加, 最终与 OH^- 离子发生水解反应, 生成白色产物 $\text{Al}(\text{OH})_3$, 部分与还原性离子 Cl^- 相遇, 生成灰白色产物 AlCl_3 。

由于腐蚀的主要产物 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 的体积是金属铝的6.5倍,因此,铝合金构件的腐蚀处有灰白色的腐蚀产物,并在这些腐蚀产物的膨胀作用下形成明显的鼓包或隆起,成为我们判断和发现腐蚀现象的重要依据。

3 常见腐蚀现象的多发部位及分布情况

根据对国内运输机机型的大修(定检维护)的经验和资料统计,飞机发生比较严重腐蚀的典型部位具体分布和归类如下:

(1) 在目前在产的国产和俄制运输机机群里,由于LY12CZ硬铝合金具有强度较高,抗疲劳性能和断裂韧性较好,裂纹扩展速率比较低的特点,被广泛应用于机身蒙皮、机翼下翼面的蒙皮和桁条、地板、平尾上翼面的蒙皮和桁条等部位,但是,由于LY12CZ本身的抗腐蚀性较差,通常在对其使用时要进行表面阳极氧化,以增强它的抗腐蚀性。在飞机表面易受局部污染的地方特别容易产生点蚀,如厕所地板、货舱地板、飞机发动机尾喷口后部的机翼蒙皮等。这些部位由于经常会存在水分和潮湿,人为的刮擦拖动物件以及高温等因素,容易造成阳极化保护层的破坏,形成点蚀。

(2) 由于LC4CS超硬铝具有拉伸强度和压缩屈服强度均超过一般的硬铝合金,静强度机械性能比硬铝合金高,但容易产生疲劳裂纹和晶间应力腐蚀的特点,因此,在飞机结构上承受交变应力或疲劳问题不突出的部位,通常使用超硬铝,机翼上翼面蒙皮、机翼翼肋、平尾下翼面蒙皮和桁条,油箱槽内部。同时,对于承受交变应力载荷较多的部位,如机身框缘、桁条等一般由LY12CZ硬铝合金的挤压型材加工而成的结构件。这些构件由于边缘长期暴露于腐蚀环境中,空气遭到污染,呈酸性,飞机起降时经常受气温从 $-30\sim+30^\circ\text{C}$ 的温差,水汽容易在此凝结、聚集,往往形成剥蚀,造成构件厚度减薄,强度降低,或因铝合金内部晶间腐蚀而产生疲劳裂纹。

(3) 在飞机的蒙皮与蒙皮搭接处、蒙皮与框缘(桁条)的搭接处、机身蒙皮与加强件的搭接处,由于缝隙胶层老化脱落或本身存在缝隙,当缝隙被污染进污物,具备含水的环境,往往形成缝隙腐蚀。

4 防护措施及改进建议

在飞机的大修(定检)过程中,对各类腐蚀问题应高度重视,加强检查与监控。实践表明,在例行检查

中偶然发现的某些机型某部位的腐蚀问题,再对其他同型号机进行普查,就会发现它往往是带有普遍性的问题。因此,应该着手从以下几个方面进行防护和改进:

(1) 尽快编制和完善维修大纲和适航标准中的有关防腐内容,按照制造厂的要求落实防腐改装通报。建立飞机腐蚀监控体系,不仅要对各机型潜在的可能发生腐蚀的部位建立数据库,纳入飞机维修的工作内容,还要对已经产生腐蚀的并得到修复的部位进行监控。

(2) 加强防腐培训,让飞机维修人员熟悉了解腐蚀的危害和防护知识。如飞机修理禁止性规定:严禁将工具、设备直接放在飞机翼面和蒙皮上,实际上就包含了防止这些物件破坏飞机结构的防护层,引起结构件的腐蚀,应力集中和疲劳裂纹等。装配和修理工作还要仔细小心,严防划伤,碰伤防护层。

(3) 对已经发现的腐蚀问题要严格按工作卡和修理工艺做到位。清除腐蚀产物要彻底,如果未能完全清除腐蚀产物就会在此形成新的腐蚀源,产生更严重的腐蚀。具体修复步骤:先用细砂纸打磨腐蚀处,直至材料基体露出金属光泽,再用乙酸乙酯清洗除油,再涂阿洛丁1200S化学氧化液,然后涂锌黄环氧聚酰胺底漆,最后涂XM-33密封胶,使飞机原有的两层防腐层(阳极化、锌黄底漆)修理变为三层防腐层(化学氧化、锌黄底漆、密封胶),全面提高原腐蚀处的抗蚀能力。在具体施工过程中必须严格遵守操作工艺要求执行,不可马虎和敷衍。

(4) 保持飞机的清洁和干净,无碎片和液体泼溅及残留是飞机控制腐蚀的有效办法,及时清除飞机上的灰尘、油垢,保持飞机表面和内部的清洁。腐蚀微电池原理表明,潮湿的水汽和污垢是造成飞机腐蚀的根本原因。在日常的修理和维护中,看似不经意的一擦,却是保护飞机机体不受腐蚀侵害的有效途径。

(5) 在飞机结构件的修理过程中,推广新工艺、新材料的应用,及时贯彻新的防腐修理要求。例如,在易积水的部位采用密封铆接,增加漏水孔的数量;对腐蚀打磨处理后的表面采用旋片式喷丸强化等措施,提高该部的抗蚀能力和强度;采用表面硫酸阳极氧化、薄膜硫酸阳极氧化新工艺,提高铝合金防护层的保护能力;采用3M公司的聚氨酯防水胶带(8693DL/8694胶带),也可解决易受潮湿水汽浸蚀部位的缝隙腐蚀问题。

(6) 当然最根本的防腐是在飞机设计阶段就要

(下转第48页)

防腐蚀知识大讲堂

工业烟囱的腐蚀与控制

工厂中用以排放各种烟气的烟囱可分为砖烟囱、钢筋混凝土烟囱、钢烟囱等几类,他们所排放的烟气中大多含 SO_2 、 H_2S 、 CO 、 NO_x 、 N_2 等腐蚀性气体及尘埃。当烟气温度低于 $30\sim 40^\circ\text{C}$ 时,湿热水汽容易结露,附于烟囱内壁,这时含硫的烟气与壁上露珠将结合成 SO_2 、 H_2SO_3 或稀 H_2SO_4 ,这些生成物对各种烟囱内壁都有极强的腐蚀破坏作用。如有的炼油厂钢制硫磺尾气回收烟囱没有采用任何防腐蚀措施,在烟囱出口以下 $5\sim 7\text{m}$ 的部位腐蚀极为严重,使用不到几年就从此处折断;又如某氮肥厂以煤为原料的煤气发生炉系统的钢烟囱,壁厚 10mm ,内壁没有采取任何防腐蚀措施,使用 $2\sim 3$ 年后,出口以下 $5\sim 8\text{m}$ 的部位因腐蚀折断。实践证明,只要烟囱的出口温度低于 $70\sim 80^\circ\text{C}$,且烟气流速又慢时,全部或大部分的烟囱内壁都会发生腐蚀,另外,若遇无风或湿度较大的天气,烟气中的 SO_2 还会在烟囱的出口周围沉降,形成稀 H_2SO_4 ,腐蚀外壁; SO_2 在高温下对普通碳钢不止是产生腐蚀,还会使碳钢出现脱碳现象,使整个钢材疏松,至最后形成脆性断裂。

砖砌或钢筋混凝土制的烟囱内壁腐蚀后,呈粉状或块状剥落。其中,钢筋混凝土烟囱受腐蚀后生成的是无粘结强度的硫酸钙或硫酸铝钙,使钢筋失去保护层,受到稀酸腐蚀,截面减少,强度降低,导致钢筋混凝土失去特有的功能。所以排放浓度较高的酸性气体的烟囱,必须要进行防腐蚀,以延长其使用寿命。

工业烟囱防腐蚀方法因烟囱的材质和烟气成份不同而各异。一般烟囱外防腐蚀用涂料,内防腐可用

耐高温涂料、衬里。对于低温烟气烟囱,还可使用整体非金属材料制作,如用整体玻璃钢烟囱、用硬聚氯乙烯焊制的烟囱。

工业烟囱的腐蚀控制措施举例:

武汉石油化工厂硫磺尾气回收烟囱(A3钢制,厚 12mm)在没有采用防腐蚀措施的情况下,只用了8个月,就遭到腐蚀破坏,下中段腐蚀最严重的地方仅剩下 $0.5\sim 1\text{mm}$ 厚。腐蚀原因:硫磺尾气中的 SO_2 含量为 $1\%\sim 2\%$, SO_2 、 SO_3 与水蒸气在露点的情况下形成 H_2SO_3 和稀 H_2SO_4 ,对钢制烟囱产生强烈腐蚀。

防腐蚀方法:采用玻璃鳞片衬里对钢烟囱内壁进行防腐蚀。玻璃鳞片衬里的特点:整体性强,抗渗性好,粘结强度高,耐磨性能好,耐腐蚀性及耐透湿性好,修补及施工方便。以环氧树脂、聚酯树脂、乙烯基酯树脂作为成膜物质,填料为玻璃鳞片。

施工程序:(1)钢管表面喷砂除锈,要求达到Sa2级标准,表面呈灰白色,粗糙度 $30\sim 40\mu\text{m}$;(2)涂底层,常温干燥 8h ;(3)第一层衬里,用抹压方法,衬层达 1mm 厚度,常温干燥;(4)第二层衬里,用抹压方法,衬层达 1mm 厚度,常温干燥;(5)涂面层,面层涂料由树脂加溶剂、固化剂、填料等组成;(6)分节进行防腐蚀施工后,对焊缝重新补衬;(7)养生 $7\sim 8$ 天后,可投入使用。

应用效果:经一年多生产使用,无外泄和损坏现象发生,达到了防腐蚀要求。

(上接第37页)

对飞机结构注重细节设计,全过程、全方位地考虑防腐设计,贯彻防腐蚀设计原则,对新机型进行设计和老机型的改进。

5 结束语

飞机铝合金结构件的腐蚀是发生在自然界的正常的电化学反应,通过分析腐蚀产生的原因,有针对性的采取措施,就可以控制腐蚀的进一步的发展,延

长飞机的使用寿命。

参考文献

- [1] 赵麦群,雷阿丽.金属的腐蚀与防护[M].北京:国防工业出版社,2002
- [2] 《飞机结构防腐问题》(译文集)[A].空军第一研究所、中国航空工业总公司第601研究所、航空学报合编,1994
- [3] 刘宝俊.材料的腐蚀及其控制[M].北京:北京航空航天大学出版社,1989
- [4] 杜洪增.航空器结构修理[M].北京:中国科学文化出版社,2003