

缓蚀剂在军用飞机维护中的应用研究

孙祚东, 李云仲, 韦利军

(中国特种飞行器研究所, 湖北 荆门 448035)

摘要:目的 验证海洋环境下硬膜水置换型缓蚀剂应用于军用飞机连接部位的有效性。方法 采用功能渗透性试验、环境谱加速腐蚀对比试验对缓蚀剂性能进行评价,并通过在某型飞机典型结构部位的领先试用验证缓蚀剂的实际应用效果。结果 缓蚀剂渗透率可达到85%。应用于军用飞机内部,对腐蚀的发展有明显的抑制作用,可显著延长腐蚀发生的时间。结论 应用缓蚀剂作为腐蚀预防的有效手段,可在军用飞机维护中推广应用。

关键词: 缓蚀剂; 加速腐蚀试验; 军用飞机

DOI:10.7643/issn.1672-9242.2014.06.017

中图分类号: V250.2; TG174.42 **文献标识码:** A

文章编号: 1672-9242(2014)06-0100-05

Study on the Applications of Corrosion Inhibitor in Military Aircraft Maintenance

SUN Zuo-dong, LI Yun-zhong, WEI Li-jun

(Special Vehicle Research Institute of China, Jingmen 448035, China)

ABSTRACT: **Objective** To study the validity of the hard film water-displacing corrosion inhibitor which is used in the joint sections of military aircraft in marine environment. **Methods** The performance of corrosion inhibitor was evaluated through functional penetration test and environment spectrum accelerated corrosion contrast test, and the practical application effect was verified by the lead probation on typical structure sections of a certain aircraft. **Results** The penetration rate of the corrosion inhibitor was 85%. The applications of corrosion inhibitor in the military aircraft internal structures could effectively retard the development of corrosion, and postpone the occurrence time of corrosion. **Conclusion** The applications of corrosion inhibitor in the military aircraft maintenance as an effective means to prevent corrosion is valuable for popularization and application.

KEY WORDS: corrosion inhibitor; accelerated corrosion test; military aircraft

在海洋环境下服役的军用飞机机身、机翼等蒙皮连接部位极易发生腐蚀。这是由于飞机在服役过程中,紧固连接区域、贴合面等部位受到交变载荷的

作用,紧固件易产生松动,引起防护涂层开裂,腐蚀介质可侵入到紧固件孔壁或结构缝隙内部,导致结构产生腐蚀损伤。如果紧固件与基体金属存在较高

收稿日期: 2014-07-07; 修订日期: 2014-07-28

Received: 2014-07-07; Revised: 2014-07-28

作者简介: 孙祚东(1971—),男,黑龙江东宁人,高级工程师,主要研究方向为腐蚀防护与控制。

Biography: SUN Zuo-dong(1971—), Male, from Dongning, Heilongjiang, Senior engineer, Research focus: corrosion prevention and control.

的电位差,还会明显加速腐蚀的发展^[1-2]。

针对这一问题,国外在飞机使用维护过程中普遍在内部结构及外部结构的内表面采用水置换型缓蚀剂进行防护处理^[3-4]。国内也开展了大量基础及应用研究^[5-7],但在国内军用飞机尚未推广应用。文中采用国内研制的新型硬膜水置换型缓蚀剂,通过开展实验室功能性渗透试验、加速腐蚀试验和在某型军用飞机上的局部试用,验证缓蚀剂的有效性,为缓蚀剂在军用飞机使用维护、维修和在研飞机上的工程应用提供技术支持。

1 新型硬膜水置换型缓蚀剂性能特点

缓蚀剂是一种可以防止或减缓腐蚀的化学物质或几种化学物质的混合物,目前应用较为普遍的缓蚀剂均是水置换型。这类缓蚀剂具有良好的渗透性和水置换性,能迅速渗透到飞机结构缝隙内部,将缝隙内及金属表面的水分置换到外部,使金属与水分隔离,同时在金属表面沉积上一层保护膜,有效延缓金属材料的腐蚀发生。

新型硬膜水置换型缓蚀剂具有较强的渗透性能和较好的耐久性,防护性能相当于轻型水置换型缓蚀剂和重型非水置换型缓蚀剂的双层体系。不仅大大减小了喷涂工作量,还避免了双层缓蚀剂体系对飞机增重过大的缺点。

2 功能性渗透试验

2.1 试验件

试验件材料为 2A12 铝合金,表面进行硫酸阳极化并喷涂 1 层 TB06-9 底漆,通过 6 个 M6 螺栓及螺母采用单剪搭接形式装配。

2.2 试验方法及结果

将试验件一端支撑起来,与水平面保持 10°,如图 1 所示,取 1.0 mL 缓蚀剂倒在试验件上由密封胶所围成的区域内,24 h 后将紧固件拆开,用一个 75 mm×50 mm 透明的网格测定每个配合表面被缓蚀剂润湿区域的百分数。根据要求^[8-9],缓蚀剂润湿区域的百分数不低于 80%,实际测试可达到 85%。

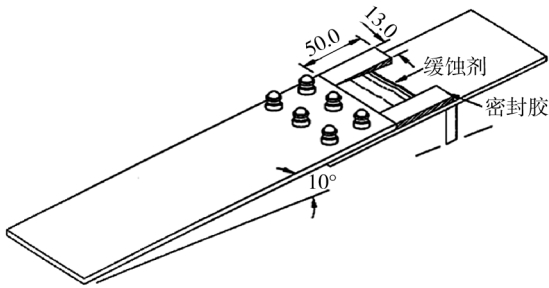


图 1 功能渗透性试验示意
Fig. 1 Sketch of the functional penetration test

3 实验室加速腐蚀验证试验

3.1 试验件

针对某型军用水上飞机开展实验室加速腐蚀验证试验。试验件材料为 2A12 铝合金,参照飞机典型结构形式制作铝合金铆接件,如图 2 所示。外部结构试验件防护体系为硫酸阳极化+2 层 TB06-9 底漆+1 层 TS96-71 面漆+缓蚀剂;内部结构试验件防护系统为硫酸阳极化+2 层 TB06-9 底漆+缓蚀剂,对比试验件不涂缓蚀剂。



图 2 涂缓蚀剂试验件
Fig. 2 The samples coated with corrosion inhibitor

3.2 加速试验方法

采用加速试验环境谱进行评定试验可以明显缩短研究历程^[10-12]。在环境谱编制过程中,参考了美国海军飞机加速试验环境谱,并根据我国飞机服役环境特点对环境参数进行修正^[13-15]。外部结构防护层加速试验环境谱由 5 个谱块组成,即湿热暴露试验、紫外老化试验、热冲击试验、低温疲劳试验和酸性盐雾试验,如图 3 所示。1 个循环当量外场使用 1 年^[15]。

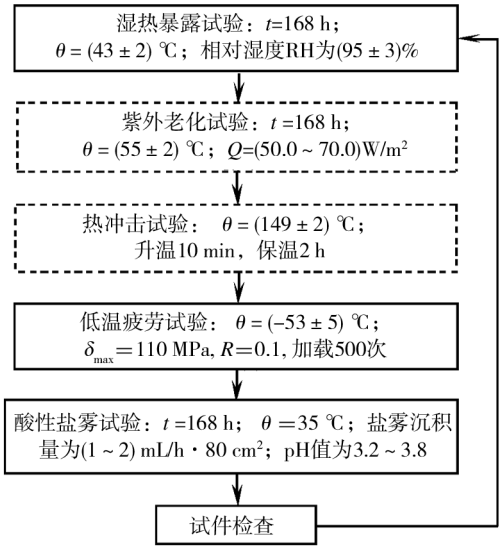


图3 飞机外部结构防护层加速试验环境谱
Fig.3 The environment spectra of the aircraft exterior structures coating accelerated test

内部结构加速试验环境谱一般由湿热暴露试验、热冲击试验、恒温恒幅疲劳试验和酸性盐雾试验等4个谱块构成,1个循环当量外场使用1年^[15]。由于水上飞机飞行速度较慢,内部结构受到温度冲击的影响较小,因此取消热冲击谱块。考虑到飞机高空飞行时会受到低温环境影响,因此恒温恒幅疲劳试验按照低温疲劳试验条件进行。

3.3 加速试验结果分析

3.3.1 内部结构应用试验

未喷涂缓蚀剂的试验件,在第3周期铆钉处发生腐蚀现象,而喷涂缓蚀剂的试验件在第5周期发生轻微腐蚀现象,如图4和图5所示。因此缓蚀剂应用于军用飞机内部结构,可延缓腐蚀发生2年,并



图4 未涂缓蚀剂内部结构试验件3个周期后的腐蚀情况
Fig.4 Corrosion of the interior structure samples not coated with corrosion inhibitor after three cycles of test

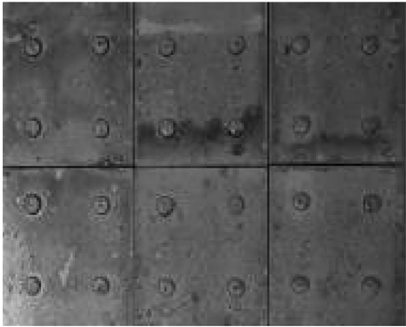


图5 涂缓蚀剂内部结构试验件5个周期后腐蚀情况
Fig.5 Corrosion of the interior structure samples coated with corrosion inhibitor after five cycles of test

对腐蚀的发展有明显的抑制作用。

3.3.2 外部结构应用试验

应用缓蚀剂的试验件在第2周期时缓蚀剂层出现裂纹,表明已经失效。3个周期试验后缓蚀剂层出现龟裂、剥落现象,部分铆钉头表面出现腐蚀,如图6所示。说明改型硬膜水置换型缓蚀剂不适合在飞机外表面使用。这主要是由于该型缓蚀剂采用的成膜物质在高温和紫外环境下发生了热分解老化和光化学分解老化。

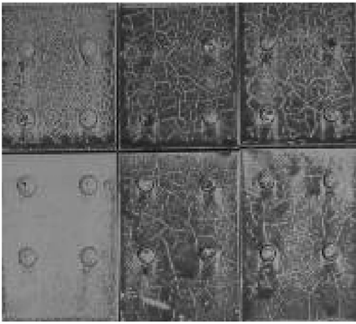


图6 涂缓蚀剂外部结构试验件3个周期后腐蚀情况
Fig.6 Corrosion of the exterior structure samples coated with corrosion inhibitor after three cycles of test

4 在某型飞机典型结构部位上的领先试用

4.1 试用目的

结合某型军用飞机大修任务,进行缓蚀剂在现役老龄飞机上的工程试用,为缓蚀剂在飞机维护、维修和在研飞机上的工程应用提供依据。

4.2 试用部位

根据机身内部及机翼上的腐蚀普查结果,选取易腐蚀、难修理的机身下部24—25框之间、龙骨梁左侧的内部结构作为试验区,如图7所示。具体喷涂缓蚀剂部位包括:框腹板、框缘条、腹板支柱、长桁、内部蒙皮等。龙骨梁右侧结构作为对比区,不喷涂缓蚀剂。



图7 缓蚀剂在军用飞机上的应用试验

Fig.7 The application test of corrosion inhibitor in military aircraft

4.3 领先试用效果

缓蚀剂在飞机上的局部应用试验从2008年开始,经过多次对试验区域进行检查,重点是搭接及连接部位,使用5年后缓蚀剂喷涂部位尚无腐蚀失效现象发生。在未喷涂缓蚀剂的对比区,机身下部长桁与腹板连接部位出现涂层剥落现象,基体金属轻微腐蚀。

5 结论

1) 渗透试验结果表明,硬膜水置换型缓蚀剂渗透率达到85%,超过国外标准要求,可渗透到结构缝隙中,提高结构连接部位的防护能力。

2) 加速腐蚀试验和在飞机上的试用结果表明,缓蚀剂应用于军用飞机内部,对腐蚀的发展有明显的抑制作用,可显著延长腐蚀发生的时间,提升飞机的抗腐蚀品质。

3) 缓蚀剂在军用飞机上应用,可丰富飞机的防护手段,对降低飞机维护成本、保障飞机的出勤率具

有重要意义。

参考文献:

- [1] 王绍明,陈立庄,赵勇. TA2钛合金与5083铝合金电偶腐蚀行为和连接工艺的研究[J]. 江苏科技大学学报(自然科学版),2012,26(2):352—354.
WANG Shao-ming, CHEN Li-zhuang, ZHAO Yong. Study on Galvanic Corrosion on Behaviors of TA2 Titanium Alloy & 5083 Aluminum Alloys and Connection Technology [J]. Journal of Jiangsu University of Science and Technology (Natural Science Edition), 2012, 26 (2): 352—354.
- [2] 赵旭,孔焕平,刘昌奎,等. 飞机水平安定面后梁中段裂纹原因分析[J]. 失效分析与预防,2013,8(4):236—240.
ZHAO Xu, KONG Huan-ping, LIU Chang-kui, et al. Analysis of Crack in the Middle of Rear Beam of Horizontal Stabilizer of Airplane [J]. Failure Analysis and Prevention, 2013, 8(4): 236—240.
- [3] 黄昌龙. 飞机腐蚀与防腐剂的使用[J]. 航空工程与维修,2001(1):35—36.
HUANG Chang-long. Aircraft Corrosion and Its Corrosion Inhibitor [J]. Failure Analysis and Prevention, 2001 (1): 35—36.
- [4] 朱辰,邱实. 缓蚀剂及其在飞机上的应用[J]. 装备环境工程,2013,10(5):334—337.
ZHU Chen, QIU Shi. Corrosion Inhibitors and Their Application in Aircraft [J]. Equipment Environmental Engineering, 2013, 10(5): 334—337.
- [5] 陈群志,房振乾,康献海. 军用飞机外场腐蚀防护方法研究[J]. 装备环境工程,2011,8(2):72—76.
CHEN Qun-zhi, FANG Zhen-qian, KANG Xian-hai. Methods for Military Aircraft Field Corrosion Prevention and Control [J]. Equipment Environmental Engineering, 2011, 8(2): 72—76.
- [6] 陈群志. 飞机铝合金结构连接部位的腐蚀行为[J]. 中国腐蚀与防护学报,2007,27(6):90—93.
CHEN Qun-zhi. Corrosion Behavior on Joint Section of Aircraft Aluminum Alloy Structure [J]. Journal of Chinese Society for Corrosion and Protection, 2007, 27 (6): 90—93.
- [7] 李斌,师华,张晓云,等. YTF-1飞机硬膜脱水防锈剂理化性能和使用性能研究[J]. 材料工程,2009(8):26—29.
LI Bin, SHI Hua, ZHANG Xiao-yun, et al. Study on Physi-

- cal Chemical and Performance Properties for YTF-1 Aircraft Water Displacing Corrosion Preventive Compound with Hard Film[J]. Material Engineering, 2009(8): 26—29.
- [8] BMS3-35, Heavy Duty Corrosion Inhibiting Compounds [S].
- [9] MIL-DTL-85054C, Corrosion Preventive Compound Clear Armguards [S].
- [10] 陈群志, 孙祚东, 韩恩厚, 等. 典型飞机结构加速腐蚀试验方法研究[J]. 装备环境工程, 2004, 1(2): 13—17.
- CHEN Qun-zhi, SUN Zuo-dong, HAN En-hou, et al. Study on Accelerated Corrosion Test Methods of Typical Aircraft Structure [J]. Equipment Environmental Engineering, 2004, 1(2): 13—17.
- [11] 王艳艳, 舒畅, 李超. 自然环境谱转化为加速试验环境谱的方法[J]. 装备环境工程, 2014, 11(1): 34—38.
- WANG Yan-yan, SHU Chang, LI Chao. Method for Conversion of Natural Environmental Spectra to Accelerated Test Environmental Spectra [J]. Equipment Environmental Engineering, 2014, 11(1): 34—38.
- [12] 苏景新, 白云, 关庆丰, 等. 飞机蒙皮结构表面涂层失效的电化学阻抗分析[J]. 中国腐蚀防护与防护学报, 2013, 33(2): 251—256.
- SU Jing-xin, BAI Yun, GUAN Qing-feng, et al. Electrochemical Impedance Spectroscopy Analysis of Failure of Aircraft Surface Coating [J]. Journal of Chinese Society for Corrosion and Protection, 2013, 33(2): 251—256.
- [13] 陈群志, 程宗辉, 席慧智. 飞机铝合金结构连接部位的腐蚀行为[J]. 中国腐蚀与防护学报, 2007, 27(6): 334—335.
- CHEN Qun-zhi, CHENG Zong-hui, XI Hui-zhi, Corrosion Behavior on joint section of aircraft Aluminium Alloy Structure [J]. Journal of Chinese Society for Corrosion and Protection, 2013, 33(2): 251—256.
- [14] 刘文琰, 李玉海, 陈群志, 等. 飞机结构腐蚀部位涂层加速试验环境谱研究[J]. 北京航空航天大学学报, 2002, 28(1): 109—112.
- LIU Wen-ting, LI Yu-hai, CHEN Qun-zhi, et al. Accelerated Corrosion Environmental Spectrums for Testing Surface Coatings of Critical Areas of Flight Aircraft Structures [J]. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 2002, 28(1): 109—112.
- [15] 刘文琰, 李玉海, 陈群志, 等. 飞机结构日历寿命体系评定技术[M]. 北京: 航空工业出版社, 2004.
- LIU Wen-ting, LI Yu-hai, CHEN Qun-zhi, et al. Technology for Calendar Life System Assessment of Aircraft Structure [M]. Beijing: Aviation Industry Press, 2004.

(上接第 78 页)

- [31] BOSSI R, CRISWELL T, IKEGAMI R, et al. Novel Methods for Aircraft Corrosion Monitoring [C]//SPIE, 1995.
- [32] MENDOZAT E A, KHALILT A N, SUNT Z, et al. Nondestructive Evaluation of Aging Aircraft, Airports, Aerospace Hardware, and Materials [C]//SPIE, 1995.
- [33] ASSOULI B, SRHIRI A, IDRISSE H. Characterization and Control of Selective Corrosion of α , β' -Brass by Acoustic Emission [J]. NDT International, 2003, 36(2): 117—126.
- [34] TOMOHIRO G, MASASHI N, TOMONORI T, et al. In Situ Health Monitoring of Corrosion Resistant Polymers Exposed to Alkaline Solutions Using pH Indicators [J]. Sensors and Actuators B: Chemical, 2006, 119(1): 27—32.
- [35] HAUTEFEUILLE M, O'FLYNN B, PETERS F, et al. Miniaturised Multi-MEMS Sensor Development [J]. Microelectronics Reliability, 2009, 49: 621—626.

(上接第 89 页)

- LI Jin-gui. Corrosion Control Design Manual [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2006.
- [15] 曹楚南. 腐蚀电化学原理 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2008.
- CAO Chu-nan. Principles of Electrochemistry of Corrosion [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2008.
- [16] 李金桂. 腐蚀控制系统工程学概论 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2009.
- LI Jin-gui. An Introduction to System Engineering Science for Corrosion Control [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2009.
- [17] 陈群志, 康献海, 刘健光, 等. 军用飞机腐蚀防护与日历寿命研究 [J]. 中国表面工程, 2010, 23(4): 1—6.
- CHEN Qun-zhi, KANG Xian-hai, LIU Jian-guang, et al. Discussion About Military Aircraft Anti-corrosion and Calendar Life Research [J]. China Surface Engineering, 2010, 23(4): 1—6.