

航空航天装备

一种新型飞机防护罩的防腐蚀性能评价

卞贵学¹, 王玺¹, 张勇¹, 杜发喜², 谭泽海¹

(1. 海军航空大学青岛校区, 山东 青岛 266041;

2. 成都飞机工业(集团)有限责任公司, 成都 610092)

摘要: **目的** 对一种新型飞机防护罩的防腐蚀性能进行评价。**方法** 首先, 对新型飞机防护罩进行气相缓蚀能力检测; 其次, 根据加速环境试验谱, 将被新型飞机防护罩与防水帆布包裹的铝合金试件进行盐雾试验和紫外试验; 最后, 将新型飞机防护罩与防水帆布进行浸泡试验。**结果** 新型飞机防护罩的气化性防锈膜层缓蚀效果较好。在盐雾试验中, 试件的腐蚀程度顺序为被新型飞机防护罩包裹试件<被防水帆布包裹试件<未包裹试件。在紫外试验中, 随着周期增长, 被防水帆布包裹试件的色差值逐渐比被新型飞机防护罩包裹试件的色差值大, 但均小于未包裹试件的色差值。在浸泡试验中, 浸泡溶液 pH 值的大小为新型飞机防护罩>防水帆布>原浸泡溶液。**结论** 该新型飞机防护罩有较好的气相缓蚀能力, 且缓蚀性能和防紫外线能力及对酸性溶液的抵抗力上均优于防水帆布。

关键词: 气相缓蚀剂; 新型飞机防护罩; 加速环境试验谱; 盐雾试验; 紫外试验; 浸泡试验

中图分类号: TG174.42

文献标识码: A

文章编号: 1672-9242(2022)04-0066-08

DOI: 10.7643/issn.1672-9242.2022.04.011

Anti-corrosion Performance Evaluation of a New
Type of Aircraft Protective CoverBIAN Gui-xue¹, WANG Xi¹, ZHANG Yong¹, DU Fa-xi², TAN Ze-hai²

(1. Qingdao Campus of Naval Aviation University, Qingdao 266041, China;

2. Chengdu Aircraft Industrial (Group) Co., Ltd, Chengdu 610092, China)

ABSTRACT: This paper aims to evaluate the anti-corrosion ability of a new type of aircraft protective cover. Firstly, the corrosion inhibition ability of vapor phase was tested. Secondly, according to the accelerated environmental test spectrum, the aluminum alloy specimens wrapped by the new aircraft protective cover and waterproof canvas were subjected to salt spray test and UV test. Finally, the immersion test of the new aircraft protective cover and waterproof canvas was carried out. The gasification anticorrosion film layer of the new aircraft protective cover has better corrosion inhibition effect. In the salt spray test, the corro-

收稿日期: 2021-03-08; 修订日期: 2021-04-01

Received: 2021-03-08; Revised: 2021-04-01

基金项目: 国家自然科学基金(51375490); 山东省高等学校“青创科技计划”(2020KJA04)

Fund: The National Natural Science Foundation of China (51375490); “Green Innovation Science and Technology Plan” of Colleges and Universities in Shandong Province (2020KJA04)

作者简介: 卞贵学(1981—), 男, 博士, 副教授, 主要研究方向为结构强度、腐蚀防护与控制等。

Biography: BIAN Gui-xue (1981—), Male, Doctor, Associate professor, Research focus: structural strength, corrosion protection and control.

通讯作者: 王玺(1989—), 女, 硕士, 讲师, 主要研究方向为结构强度、腐蚀防护与控制等。

Corresponding author: WANG Xi (1989—), Female, Master, Lecturer, Research focus: structural strength, corrosion protection and control.

引文格式: 卞贵学, 王玺, 张勇, 等. 一种新型飞机防护罩的防腐蚀性能评价[J]. 装备环境工程, 2022, 19(4): 066-073.

BIAN Gui-xue, WANG Xi, ZHANG Yong, et al. Anti-corrosion Performance Evaluation of A New Type of Aircraft Protective Cover[J]. Equipment Environmental Engineering, 2022, 19(4): 066-073.

sion degree of the specimen covered by new aircraft protective cover, waterproof canvas and no package increased successively. In the UV test, the color difference value of the specimen covered by waterproof canvas was gradually larger than that of the specimen covered by new aircraft protective cover with the growth of cycle, but all of them was less than that of the unwrapped specimen. In the immersion test, the pH value of the solution of the new aircraft protective cover, waterproof canvas and original soaking decreased gradually. The result shows that the new aircraft protective cover has better corrosion inhibition ability of vapor phase, and is superior to the waterproof canvas in corrosion inhibition ability, ultraviolet protection ability and resistance to acid solution.

KEY WORDS: volatile corrosion inhibitor; a new aircraft protective cover; accelerated environmental test spectrum; salt spray test; UV test; immersion test

由于海洋环境高温、高湿、高盐度的特殊性,导致飞机停放时的腐蚀问题依然很严峻^[1-3]。目前飞机所应用的防护罩大多数为简单的防水帆布,这些材料存在着不透气且防腐性差等问题,所以起不到有效的防腐效果。此外,其使用周期短,经济和实用效果差,因而存在一定的局限性。一种新型飞机防护罩可以有效地降低飞机停放时因海洋腐蚀引起的故障概率,还能减少机组人员进行防腐维护的工作量,从而提高工作效率,保障飞机在恶劣环境中战斗的可用性。因此,针对新型飞机防护罩的防腐蚀性能评价就变得尤其重要,评价结果可以作为判断该新型飞机防护罩是否有效的重要依据。

新型飞机防护罩在工艺上添加了气相缓蚀剂,气相缓蚀剂对于各类金属的防护有效性是近年来的研究重点^[4-7]。气相缓蚀剂由于具有防锈性能优良、操作简便、经济实用等优点,被广泛应用于军工、航空等领域^[8-11]。在 20 世纪 70 和 80 年代时,研究者们就不断发展研制出部分具有绿色环保、无毒无害、多功能、高效性、适应性强等优点的绿色缓蚀剂^[12-16],且在国外得到广泛应用。目前国外已研制出很多种性能良好的气相缓蚀剂,如 HKB-4、VPI260、Daubrite 500 等^[17-19],我国也自主研制出碳酸环己胺 CHC 等防腐效果良好的气相缓蚀剂^[20-22]。

本文通过对比试验测试添加了气相缓蚀剂的新型飞机防护罩的气相缓蚀能力,并通过设计耐紫外线,耐盐雾条件和浸泡等试验,将其和普通的防水帆布进行对比,从而评估新型飞机防护罩的防腐蚀性能,以期对该防护罩成功应用和推广提供一定的指导意见。

1 试验

1.1 材料、仪器以及新型飞机防护罩的结构

材料: 新型飞机防护罩,传统的防水帆布,内径为 16 mm、外径为 20 mm 的橡胶管,密度 $\rho=1.078$ g/mL、温度为 20 °C 的 50 mL 丙三醇水溶液,长为 13 mm、直径为 16 mm 的 10#钢,玻璃广口瓶,铝管,粗细砂纸和滤纸,医用乳胶管,13 号橡胶塞,9 号橡胶塞,

止水夹等。

仪器: 电热恒温鼓风干燥箱、细孔硅胶干燥器、DCTC1200P 盐雾箱、CHALLENGE 1200 温湿试验箱、ZN-P 紫外线辐射试验箱、数字式三维系统电子显微镜 KH-7700、HP-200 精密色差仪等。

新型防护罩的结构: 考虑到新型飞机防护罩功能有多重性,既要满足材料环保无污染、轻质,又要满足耐紫外、防腐、高强度等需求,因此新型飞机防护罩的防腐包装材料采用复合成型的方法制成,上下分为 4 层,结构如图 1 所示。

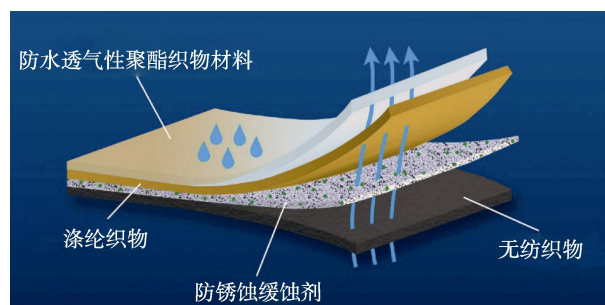


图 1 新型防腐防护罩的结构

Fig.1 Structure drawing of a new type of anti-corrosion cover

第一层采用防水透气性聚酯织物材料,该材料具有一定的防水能力,同时透气性结构可以允许材料包装范围内的水汽向外散发,及时减少内部残存的水分子,而且该材料对紫外线照射有一定的抵挡效果,表面可反射部分太阳光。

第二层采用添加涤纶织物,相较而言,涤纶织物对化学物质的耐受性能较强,在酸性和碱性环境中都有一定耐受性,而且弹性恢复能力及强度韧性也较强,又有一定的耐光性和柔软透气等特点,是理想的添加材料。

第三层是整个防护罩最主要的部分,主要添加了气相缓蚀剂。由于气相缓蚀剂本身具有挥发性,可从布料中渗透到保护件的表面,隔绝腐蚀物质的接触,起到防腐的效果。

第四层采用无纺布,通常飞机防护罩在使用过程中会有拉扯或损坏,因此也需要增加材料本身的抗撕裂以及拉伸强度。通过在材料第四层增加无纺布材

料,可很好地增加材料本身强度,同时能够做到轻质等优点。

1.2 方法

根据 GB/T 19532—2018 的试验要求进行样本处理,将新型飞机防护罩剖开,剪出气相缓蚀剂膜层。设置 4 组试验瓶,将放置了气相缓蚀剂膜层的 3 个瓶作为试验组,另外 1 个瓶作为空白组,具体的试验过程和处理参考 GB/T 19532—2018^[22]。根据 CASS 谱的试验要求进行以下 3 种环境加速试验,试验条件见表 1。

表 1 试验条件
Tab.1 Experimental condition

试验名称	试验处理时间和要求	环境条件
紫外线暴露试验	3 d 为 1 周期	温度 $t=55\text{ }^{\circ}\text{C}$, 辐射强度 $Q=(60\pm 10)\text{ W/m}^2$
浸泡试验	3 d 为 1 周期	温度 $t=43\text{ }^{\circ}\text{C}$, pH=4、含 5%NaCl 的硫酸溶液
盐雾试验	中性盐雾 4 d, 酸性盐雾 (pH 3.5~4.5) 3 d, 7 d 为 1 个周期	5%NaCl 盐雾沉积量为 $1\sim 3\text{ mL}/(\text{h}\cdot 80\text{ cm}^2)$ 温度 $t=35\text{ }^{\circ}\text{C}$

2 结果处理与分析

2.1 气相缓蚀能力

对预处理的凹形试片进行微观拍照,如图 2 所示。根据评定标准,试验检测结果如图 3 所示。

根据 GB/T 19532—2018《包装材料气相防锈塑

1.3 试验件编号

试验中为方便查看各试验件的状况,并防止在试验过程中发生混淆现象,遂将各试验件进行编号。对 4#、5#铝合金试验件用新型飞机防护罩包裹处理,对 3#、6#铝合金试验件用防水帆布包裹处理,对 7#、9#铝合金试验件不进行包裹。将 3#、4#、7#铝合金件进行盐雾试验,将 5#、6#、9#铝合金件进行紫外暴露试验,再将新型飞机防护罩和防水帆布进行浸泡试验。1#为新型飞机防护罩,2#为防水帆布。

料薄膜》的气相缓蚀能力标准^[22],除空白组钢件外,其余钢件的磨光表面无腐蚀和浸蚀,蚀点数不大于 5 个。蚀点直径不大于 0.5 mm ,符合国标要求,说明添加了气相缓蚀剂能起到一定的防腐蚀保护效果。根据试验结果综合看来,添加了气相缓蚀剂膜的钢试件的腐蚀程度远低于未使用气相缓蚀剂的空白组,表明该防护罩的气相缓蚀剂膜层缓蚀效果较好。

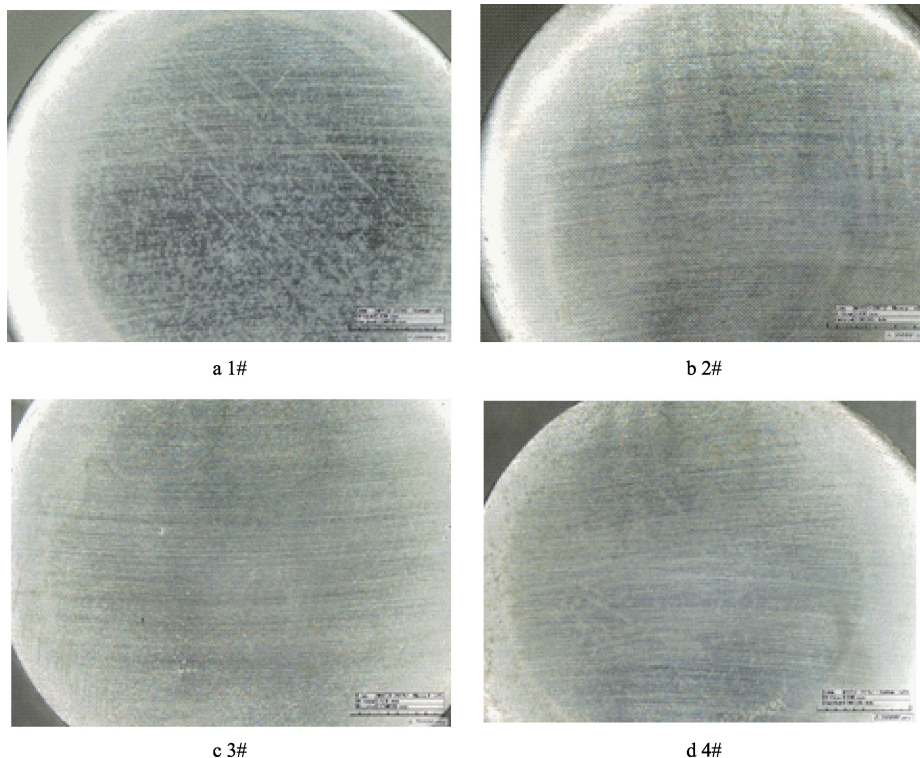


图 2 原始试片表面的微观形貌

Fig.2 Surface micrograph of original specimen

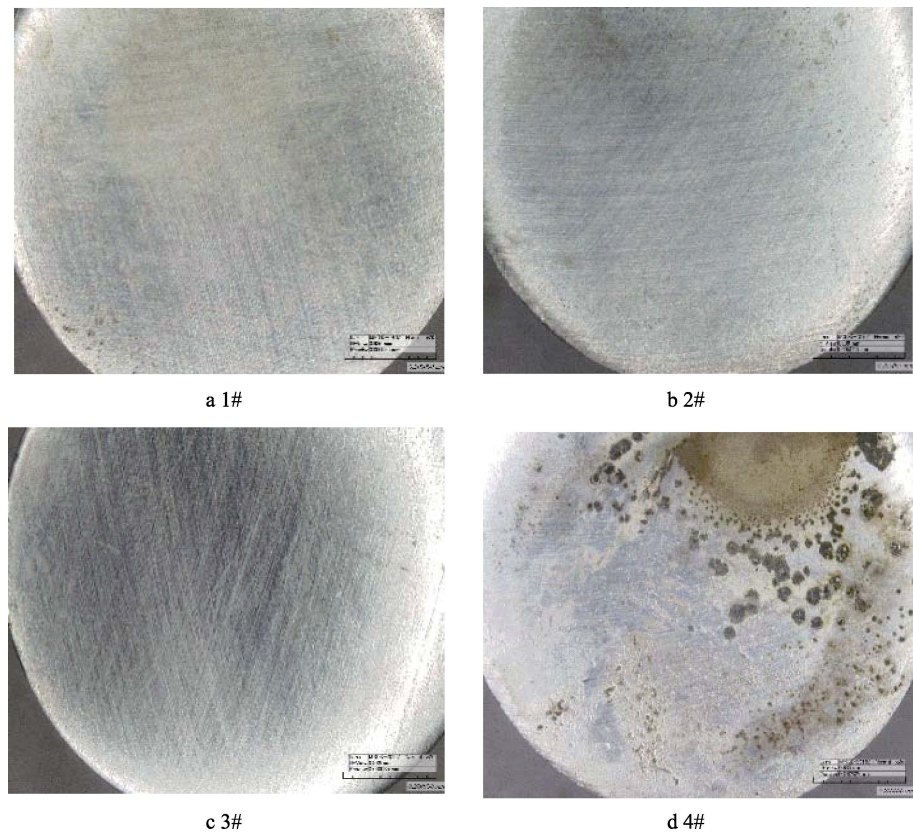


图 3 试验后试片表面的微观形貌
Fig.3 Surface micrograph of the test piece after the test

2.2 盐雾试验

盐雾试验第 0、4 周期后, 试件的宏观正反面形貌对比分别如图 4、5 所示。从上到下依次是未被包裹处理的 4#件、普通帆布包裹的 3#件和新型防腐蚀防护罩包裹的 7#件。第 4 周期试验结束后, 从宏观上能看到, 7#铝合金件表面腐蚀虽然加深但腐蚀速度

开始变缓, 变化也变小, 金属的颜色继续变深; 3#铝合金试验件锈蚀变多, 反面的腐蚀变化愈加严重, 在右侧边缘部分腐蚀最为明显; 4#铝合金试验件锈蚀部分向中心延伸, 同样边缘上比较明显。

盐雾试验中, 试件的微观形貌如图 6 所示。可以清晰地看到, 4#试验件经过 4 个周期的试验后, 表面腐蚀程度较低, 并不是很明显; 3#试验件局部部位腐

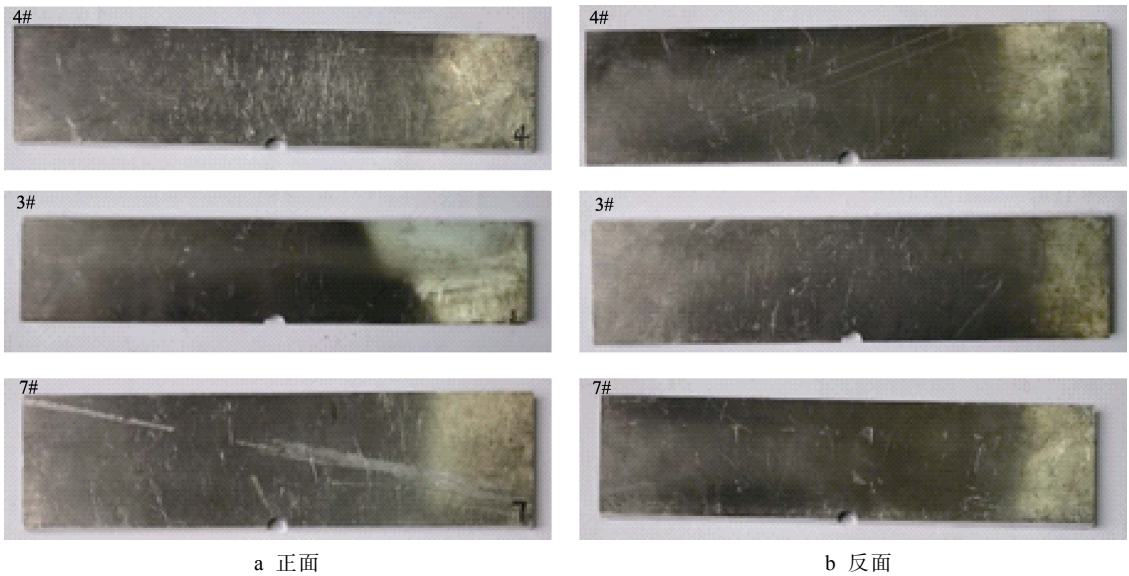


图 4 第 0 周期盐雾试验 3 个试验件的正反对比

Fig.4 Positive and negative comparison diagram of three test pieces in salt spray test of the zero cycle: a) positive; b) reverse side

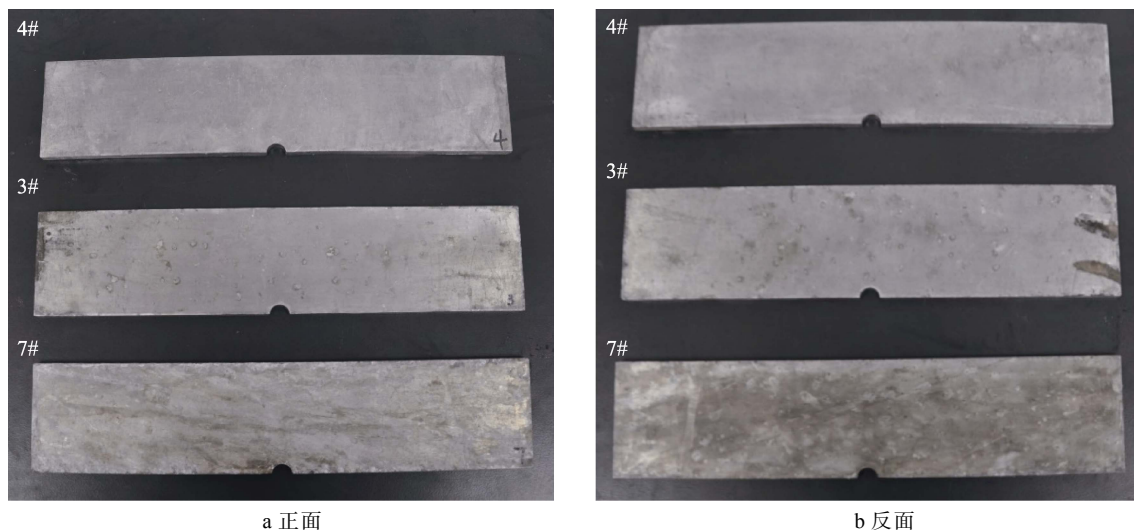


图5 第4周期盐雾试验3个试验件的正反对比

Fig.5 Positive and negative comparison diagram of three test pieces in salt spray test of the fourth cycle: a) positive; b) reverse side

蚀变化情况较为明显,产生较多点蚀;7#试验件腐蚀速率最快,腐蚀程度也最为严重。根据目前试验结合宏观和微观拍照可认为,新型防腐蚀防护罩的防腐能力强于普通防水帆布。

2.3 紫外试验

第0、4周期紫外试验的3个试验件的反面宏观形貌如图7所示,从上到下依次是未被包裹处理的5#件、普通帆布包裹的6#件和新型防腐蚀防护罩包裹的9#件。利用HP-200精密色差仪测量试验件的色

差值,结果见表2、表3。

根据色差公式 $\Delta E = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2}$ 可算出: $\Delta E_5=1.42$, $\Delta E_6=1.45$, $\Delta E_9=3.87$ 。同理可分别测定第2、3、4周期时3个样本的反面色差值,计算色差 ΔE 。根据4个周期的色差值可绘制整个紫外试验的色差变化图,如图8所示。可以看出,经过1个周期后,9#件色差值最大,5#件和6#件的色差值比较接近,说明经过紫外试验,9#件发生明显褪色,5#、6#件由于被包裹褪色程度较弱,从而表明新型飞机防护罩和

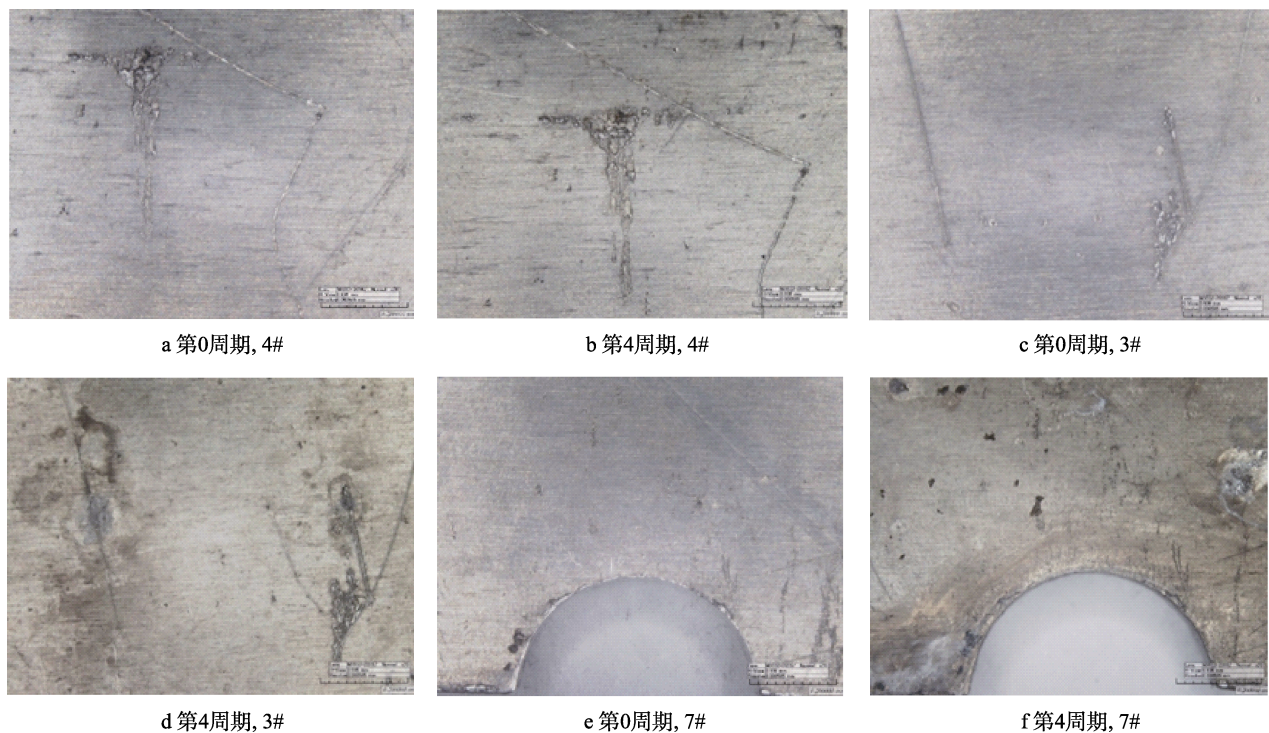


图6 第0和4周期盐雾试验3个试验件局部的微观形貌

Fig.6 Microcosmic diagram of three test pieces in salt spray test of the zero and fourth cycle: a) zero cycle, 4#; b) fourth cycle, 4#; c) zero cycle, 3#; d) fourth cycle, 3#; e) zero cycle, 7#; f) fourth cycle 7#

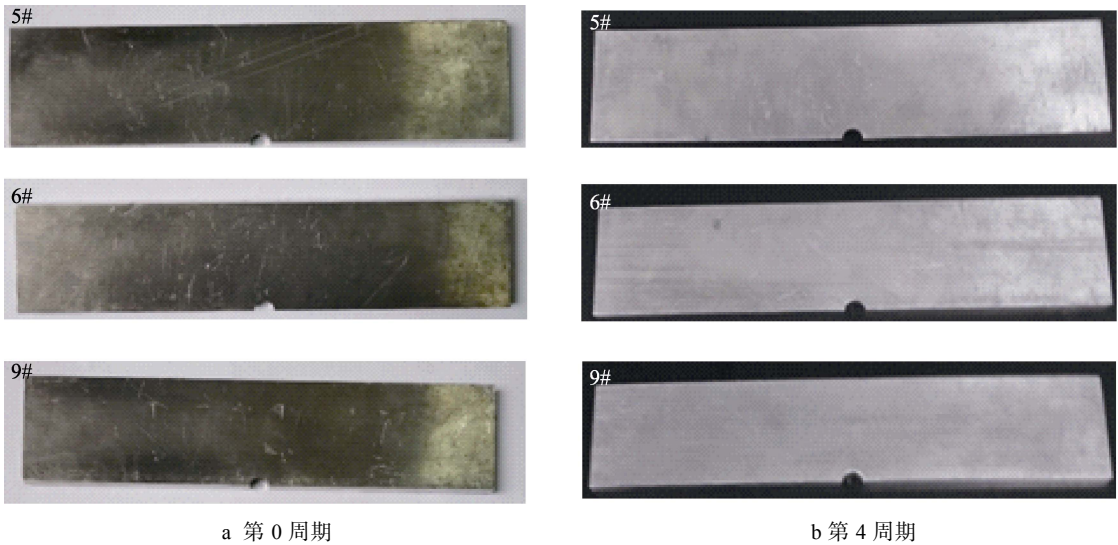


图 7 第 0 和 4 周期紫外试验 3 个试验件的反面宏观形貌
Fig.7 Negative diagram of three test pieces in UV of the zero (a) and fourth (b) cycle

表 2 第 0 周期紫外试验反面色差
Tab.2 Color difference meter for reverse side in UV test of the zero cycle

样本	<i>L</i>	<i>A</i>	<i>B</i>
5 号件	68.07	0.21	0.43
6 号件	68.20	0.39	0.75
9 号件	68.46	0.43	0.83

表 3 第 1 周期紫外试验反面色差
Tab.3 Color difference meter for reverse side in UV test of the first cycle

样本	<i>L</i>	<i>A</i>	<i>B</i>
5 号件	68.62	-0.02	-0.86
6 号件	69.22	1.04	-0.06
9 号件	64.60	0.40	1.16

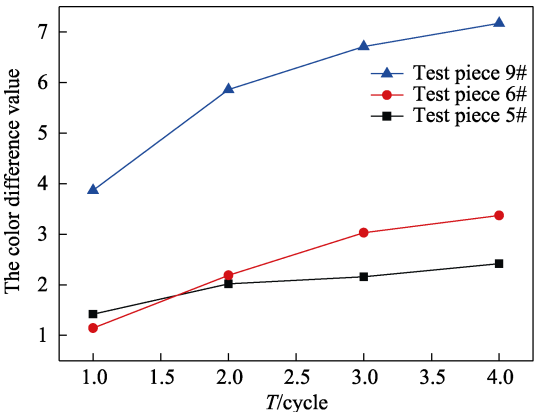


图 8 3 个试验件紫外试验反面色差变化
Fig.8 Color difference meter for reverse side of three test pieces in UV test

防水帆布都有一定抗紫外能力。随着周期增长, 6#件的色差值逐渐比 9#件的色差值大, 说明防水帆布虽有一定抗紫外能力, 但新型飞机防护罩的抗紫外能力更强。

2.4 浸泡试验

将 1#和 2#样本按照上述浸泡试验的条件进行浸泡, 然后记录浸泡溶液的 pH 值。将 1#和 2#样本剪开, 取出内衬层, 将其同样按照上述浸泡试验的条件进行浸泡。浸泡不同周期后, 防护罩表面和内衬层的形貌如图 9 所示。

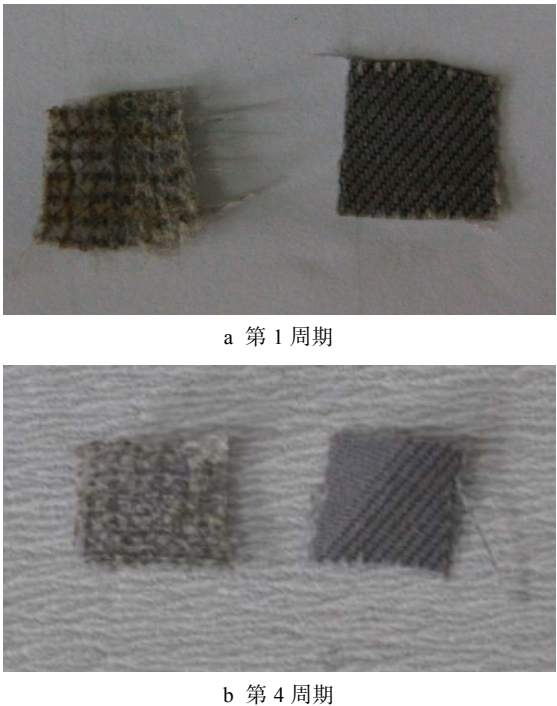


图 9 第 1、4 周期浸泡试验防护罩剪开图
Fig.9 Cut-out drawing of protective cover for immersion test of the first (a) and fourth (b) cycle

试验发现, 浸泡过后的 2 种防护罩表面变化都不大, 大致可表明酸性溶液并不会引起 2 种布料的表面变化, 但新型飞机防护罩内层上黄色的气相缓蚀剂经

过4个周期的浸泡试验几乎溶解殆尽。根据1#和2#样本的4个周期浸泡试验数据绘制2种防护罩pH变化曲线,如图10所示。经过1个周期后,新型飞机防护罩浸泡溶液pH值>防水帆布浸泡溶液pH值>原浸泡溶液pH值。这说明新型飞机防护罩内层的VCI气相缓蚀剂在浸泡过程中与原酸性溶液中的离子发生了化学反应,中和了部分酸性物质。由此可说明新型防护罩对酸性溶液有一定抵抗效果,而普通帆布对酸性溶液的抵抗效果较弱。随着试验周期的进行,新型飞机防护罩的浸泡溶液的pH值逐渐下降,防水帆布的浸泡溶液的pH值变化比较平稳,说明随着试验的进行,新型飞机防护罩内层上黄色的气相缓蚀剂逐渐被消耗,对酸性溶液的抵抗效果越来越弱。

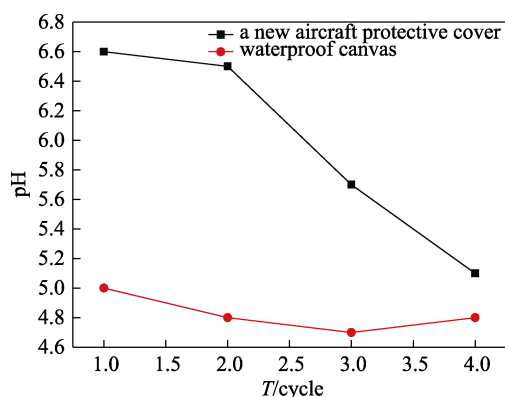


图10 浸泡试验后2种防护罩的pH变化曲线
Fig.10 pH change chart of two kinds of protective cover after immersion test

3 结论

新型飞机防护罩的防腐蚀性性能试验结果表明:

1) 在气相缓蚀能力试验中,试验结果符合蚀点数不大于5个、蚀点直径不大于0.5 mm的国标标准,可证明该新型飞机防护罩的气相缓蚀剂能力达到预期效果,可以起到防腐蚀的作用。

2) 在盐雾试验中,被新型飞机防护罩包裹的试验件腐蚀程度最轻,其次是防水帆布,而未被包裹的试验件腐蚀最为严重,表明新型飞机防护罩对金属的防腐蚀效果相对防水帆布较好。

3) 在紫外试验中,试验和数据表明,直接暴露在紫外线下会造成无涂层铝合金件表面色差发生较明显变化,防水帆布虽然能起到一定抗紫外效果,但其抗紫外能力相比新型飞机防护罩还是较弱。

4) 在浸泡试验中,试验和数据表明新型飞机防护罩和防水帆布相对比,其对酸性溶液确有一定的抵抗效果。

参考文献:

[1] 梁彩凤, 侯文泰. 大气腐蚀与环境[J]. 装备环境工程,

2004, 1(2): 49-52.

LIANG Cai-feng, HOU Wen-tai. Atmospheric Corrosion and Environment[J]. Equipment Environmental Engineering, 2004, 1(2): 49-52.

[2] 陈跃良, 卞贵学, 张勇. 飞机结构电偶腐蚀数值模拟[M]. 北京: 国防工业出版社, 2020.

CHEN Yue-liang, BIAN Gui-xue, ZHANG Yong. Numerical Simulation of Galvanic Corrosion of Aircraft Structure[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2020.

[3] 卞贵学, 陈跃良, 张勇, 等. 飞机用铝合金腐蚀行为和腐蚀预测研究现状及问题分析[J]. 装备环境工程, 2018, 15(5): 48-55.

BIAN Gui-xue, CHEN Yue-liang, ZHANG Yong, et al. Research Status and Problems Analysis on Corrosion Behavior and Corrosion Prediction of Aircraft Aluminum Alloy[J]. Equipment Environmental Engineering, 2018, 15(5): 48-55.

[4] 高国, 梁成浩. 气相缓蚀剂的研究现状及发展趋势[J]. 中国腐蚀与防护学报, 2007, 27(4): 252-256.

GAO Guo, LIANG Cheng-hao. Present Situation and Development of Volatile Corrosion Inhibitors[J]. Journal of Chinese Society for Corrosion and Protection, 2007, 27(4): 252-256.

[5] 窦志宏, 白芳. 我国气相缓蚀剂应用的可持续发展[J]. 腐蚀与防护, 2010, 31(7): 225-226.

DOU Zhi-hong, BAI Fang. Sustainable Development of Application of Gas Phase Corrosion Inhibitor in China[J]. Corrosion & Protection, 2010, 31(7): 225-226.

[6] 肖怀斌. 气相缓蚀剂的研究与发展[J]. 材料保护, 2000, 33(1): 26-28.

XIAO Huai-bin. Research and Development of Vapor Phase Inhibitor[J]. Materials Protection, 2000, 33(1): 26-28.

[7] QURASHI M A, BHARDWAJ V, RAWAT J. Prevention of Metallic Corrosion by Lauric Hydrazide and Its Salts under Vapor Phase Conditions[J]. Journal of the American Oil Chemists' Society, 2002, 79(6): 603-609.

[8] BENTISS F, LAGRENEE M, TRAISNEL M, et al. The Corrosion Inhibition of Mild Steel in Acidic Media by a New Triazole Derivative[J]. Corrosion Science, 1999, 41(4): 789-803.

[9] ESTEVÃO L R M, NASCIMENTO R S V. Modifications in the Volatilization Rate of Volatile Corrosion Inhibitors by Means of Host-Guest Systems[J]. Corrosion Science, 2001, 43(6): 1133-1153.

[10] 孟琳. 浅析气相防锈塑料包装薄膜的检测[J]. 塑料包装, 2013, 23(4): 37-40.

MENG Lin. Test & Analysis of VCI Packaging Films[J]. Plastics Packaging, 2013, 23(4): 37-40.

[11] 孙凯. 气相防锈缠绕薄膜的生产方法[J]. 塑料包装, 2006, 16(2): 33-34.

SUN Kai. Production Method of VCI Winding Film[J]. Plastics Packaging, 2006, 16(2): 33-34.

- [12] LOTO R T, LOTO C A, POPOOLA A P I. Corrosion Inhibition of Thio-Urea and Thiadiazole Derivatives: A Review[J]. *J Mater Environ Sci*, 2012, 3(5): 885-894.
- [13] 鞠玉琳, 李焰. 气相缓蚀剂的研究进展[J]. *中国腐蚀与防护学报*, 2014, 34(1): 27-36.
JU Yu-lin, LI Yan. Research Progress of Vapor Phase Inhibitors[J]. *Journal of Chinese Society for Corrosion and Protection*, 2014, 34(1): 27-36.
- [14] 张大全. 气相缓蚀剂研究、开发及应用的进展[J]. *材料保护*, 2010, 43(4): 61-64, 117.
ZHANG Da-quan. Development and Application of Volatile Corrosion Inhibitors[J]. *Materials Protection*, 2010, 43(4): 61-64, 117.
- [15] 张大全, 高立新, 周国定. 国内外缓蚀剂研究开发与展望[J]. *腐蚀与防护*, 2009, 30(9): 604-610.
ZHANG Da-quan, GAO Li-xin, ZHOU Guo-ding. Recent Progress and Prospect for Corrosion Inhibitor Science and Technology[J]. *Corrosion & Protection*, 2009, 30(9): 604-610.
- [16] CHRISTOV M, POPOVA A. Adsorption Characteristics of Corrosion Inhibitors from Corrosion Rate Measurements[J]. *Corrosion Science*, 2004, 46(7): 1613-1620.
- [17] SUBRAMANIAN A, NATESAN M, MURALIDHARAN V S, et al. An Overview: Vapor Phase Corrosion Inhibitors[J]. *CORROSION*, 2000, 56(2): 144-155.
- [18] QURASHI M A, BHARDWAJ V, RAWAT J. Prevention of Metallic Corrosion by Lauric Hydrazide and Its Salts under Vapor Phase Conditions[J]. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 2002, 79(6): 603-609.
- [19] RANI B E A, BASU B B J. Green Inhibitors for Corrosion Protection of Metals and Alloys: An Overview[J]. *International Journal of Corrosion*, 2012, 82(4): 372-380.
- [20] HEEG B, KLENERMAN D. Persistency of Corrosion Inhibitor Films on C-Steel under Multiphase Flow Conditions. Part II: Optical Shg and Electrochemical Studies[J]. *Corrosion Science*, 1998, 40(8): 1313-1329.
- [21] 蔡会武. ZH-1 环保型气相缓蚀剂的研制[J]. *西安科技学院学报*, 2003, 23(4): 418-420.
CAI Hui-wu. Study of Environment-Friendly Vapor Phase Corrosion Inhibitor[J]. *Journal of Xi'an University of Science & Technology*, 2003, 23(4): 418-420.
- [22] GB/T 19532—2004, 包装材料 气相防锈塑料薄膜[S].
GB/T 19532—2004, Packaging Materials—Volatile Corrosion Inhibiting Film[S].

责任编辑: 刘世忠