

防静电白色热控涂层的耐空间环境及工艺性能

曾一兵¹ 罗正平¹ 李颖¹ 冯伟泉²

(1 航天材料及工艺研究所,北京 100076)

(2 北京卫星环境工程研究所,北京 100029)

文 摘 研究了防静电白色热控涂层 (ACR - 1)的耐空间环境性能及工艺性能。在模拟空间环境设施中研究了紫外辐照、电子辐照和质子辐照对涂层太阳吸收率 (α_s)的影响。结果表明 ACR - 1在地球静止轨道环境中具有较高的稳定性;经过 3 000当量太阳小时 (ESH)的紫外光辐照后, α_s 为 0.02;质子辐照效应对涂层 α_s 的变化影响较大。另外,研究了涂层厚度对 α_s 和其与基材结合力的影响,以及基材表面处理工艺对涂层在 - 196 ~ 150 °C 冷热交变循环试验中可靠性的影响。

关键词 热控涂层,防静电,空间环境,应用

Space Environmental and Technical Performances of Antistatic White Thermal Control Coatings

Zeng Yibing¹ Luo Zhengping¹ Li Ying¹ Feng Weiquan²

(1 Aerospace Research Institute of Materials & Processing Technology, Beijing 100076)

(2 Beijing Research Institute of Spacecraft Environmental Engineering, Beijing 100029)

Abstract The space environmental and technical performances of the antistatic white thermal control coatings (ACR - 1) are studied. The radiation effect of UV, electron and proton on the change of solar absorptivity (α_s) is studied by simulated space environment facility. The experimental results demonstrate that ACR - 1 antistatic white thermal control coating is highly stable in geostationary environment. After 3 000 ESH of UV exposure, the change of solar absorptivity is 0.02. By comparison, proton radiation plays a major role on change of solar absorptivity for white thermal control coatings. It is also found that the solar absorptivity of the coat is related to the spraying thickness. The adhesion of the coat on the satellite antenna reflective surface under temperature variation between - 196 ~ 150 °C is also studied.

Key words Thermal control coating, Anti-Static, Space environment, Application

1 引言

有机热控涂层因其良好的 α_s (太阳吸收率) / 性能、耐高低温冲击性能及工艺性能得到了广泛应用。低 α_s 白色热控涂层的空间稳定性对航天器热控系统的可靠性有着重要的影响^[1~4]。与有机硅涂层相比,丙烯酸树脂涂层在 CFRP 卫星天线表面具有较强的结合力和良好的可修补性^[5],适于大面积喷涂工艺。在地球同步轨道上,卫星表面因带电粒子的撞击而充电,若表面是绝缘的,充电电位可达数千伏,到达一定电位后突然放电,会干扰星上电子设备工作,

引起卫星故障,因此新一代卫星的热控涂层还要有抗静电能力^[6]。本文利用国内模拟空间环境设施对丙烯酸树脂为黏接剂的热控涂层进行了紫外辐照、电子辐照和质子辐照后的 α_s 的原位测试,研究了涂层厚度对涂层 α_s 和与基材结合力的影响,以及基材表面处理工艺对涂层在冷热交变循环环境中的可靠性。

2 实验

2.1 涂料制备

原料:掺杂 ZnO,丙烯酸甲酯/丙烯酸乙酯 (MA/EA),丙烯酸甲酯/甲基丙烯酸丁酯 (MA/BMA),丙烯酸甲酯/苯乙烯 (MA/ST)。将掺杂的 ZnO 按相同的

收稿日期:2007 - 09 - 30

作者简介:曾一兵,1964年出生,高级工程师,主要从事航天特种功能涂层的研究
宇航材料工艺 2007年 第6期

颜料/黏接剂比例分别分散到选定的几种黏接剂树脂溶液中,球磨至粒度 35 μm 以下。

2.2 样品制备

将球磨好的漆料稀释至黏度为 14 ~ 16 s(涂 4 杯),后喷涂在铝合金(LY12CZ)和 C/E 蜂窝结构的样板上,喷涂压力为 0.3 MPa。样品厚度控制在 80 ~ 100 μm,室温干燥 24 h。防静电白色热控涂层 ACR-1 的主要性能如表 1 所示。

表 1 ACR-1 主要性能指标

Tab 1 Properties of coating(ACR-1)

发射率 / %	体积电阻率 / $10^6 \cdot \text{m}$	总质量损失 / %	可凝挥发物 / %	125 ~ 196 次交变循环
0.22	0.86	4	0.09	无裂纹和脱黏

2.3 模拟空间环境实验

在直径为 800 mm 的模拟空间环境综合设施中对样品进行下述辐照,温度可控。利用计算机控制的积分球对在真空环境中的样品进行原位测试,通过 Lamda 950 光谱计对标准样品的进行测试和比较。所用分子泵抽真空系统,真空度: 2 mPa; 样品温度 50 。

(1)紫外辐照: 3 000 ESH, (近紫外常数 10 mW / cm^2), 紫外光加速倍数为 5.8。

(2)电子辐照: 50 keV, $5 \times 10^{15} \text{ e/cm}^2$ 。

(3)质子辐照: 50 keV, $2 \times 10^{15} \text{ p/cm}^2$ 。

3 结果和讨论

3.1 紫外辐照影响

分别在 MA/EA, MA/BMA 和 MA/ST 中添加相同颜料体积分数的 ZnO (30%) 制备样品。从表 2 可以看出,经过紫外辐照后,MA/EA 涂层 α_s 从 0.22 增加到 0.24, $\alpha_s = 0.02$; MA/BMA 涂层 α_s 则由 0.22 增加到 0.29, $\alpha_s = 0.07$; MA/ST $\alpha_s = 0.10$ 。从而得到涂层抗紫外辐照能力顺序为: MA/EA > MA/BMA > MA/ST。如图 1 和图 2 所示。

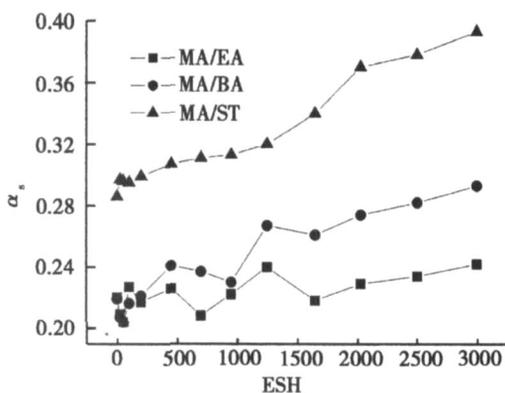


图 1 紫外光辐照对 α_s 的影响

Fig 1 Effect of UV radiation on change of α_s

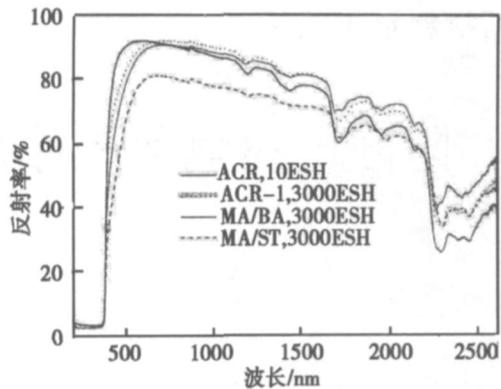


图 2 紫外辐照前后涂层的反射率曲线 (3 000 ESH)

Fig 2 Reflectivity curves of different coatings before and after 3 000 ESH UV radiation

表 2 紫外辐照对不同样品 α_s 影响

Tab 2 Effect of UV radiation on change of α_s

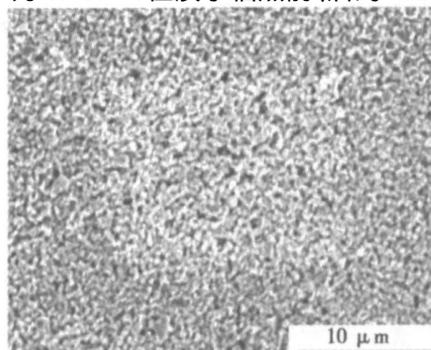
丙烯酸共聚物	辐照前 α_s	辐照后 α_s	α_s
MA/EA	0.22	0.24	0.02
MA/BMA	0.22	0.29	0.07
MA/ST	0.29	0.39	0.10

3.2 电子、质子辐照的影响

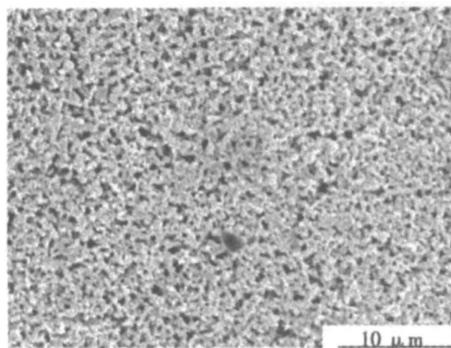
经过电子辐照后,涂层的 α_s 变化不明显, α_s 为 0.024; 质子辐照对涂层 α_s 的影响较大, α_s 为 0.25, 这和国际水平相当。

3.3 ACR-1 表面 SEM 和 XPS 分析

图 3 为 ACR-1 在质子辐照前、后的 SEM 照片。



(a) 辐照前



(b) 辐照后

图 3 质子辐照前后 ACR-1 涂层

Fig 3 SEM of ACR-1 before and after proton radiation

从图上看,未辐照样品比较致密,质子辐照后样品有很多小凹陷,说明聚合物有降解,质量有损失。随着老化时间的延长,涂层进一步降解,表面微孔增多,表面变粗糙,涂层的致密性降低。

图 4 为 ACR - 1 涂层在质子辐照前、后的 XPS 图谱。从图 4 看出,碳 C1s 峰位分别有 284.8、286.3 及 287.8 eV,分别代表 CH、COH、COOH 官能团。经质子辐照后,碳 C1s 峰位 287.8 eV 面积变化最大,说明涂层表面树脂大分子发生断链降解,部分 C—C 键转化为 COOH。

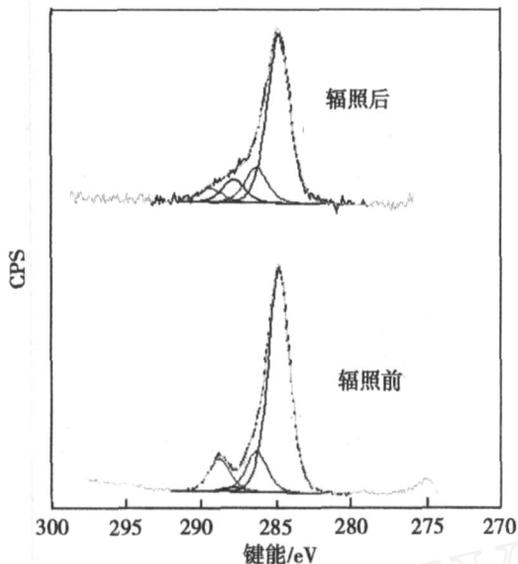


图 4 质子辐照前后 ACR - 1 碳元素谱图

Fig 4 Carbon XPS analysis of ACR - 1 before and after proton radiation

3.4 ACR - 1 涂层工艺试验

3.4.1 与厚度的关系

从图 5 可以看到,ACR - 1 的厚度对 α_1 影响明显,当厚度 $> 150 \mu\text{m}$ 后,涂层的 α_1 基本不变。

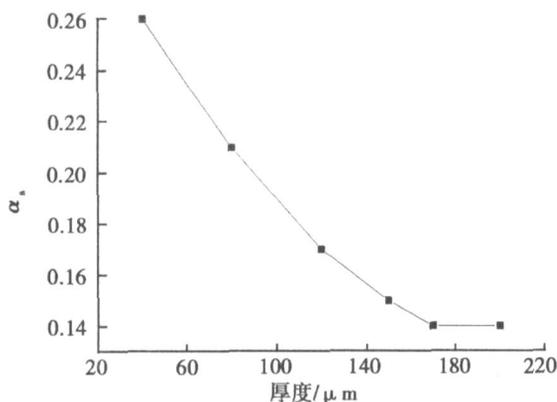


图 5 ACR - 1 涂层 α_1 随厚度变化规律

Fig 5 Relationship between α_1 and thickness of ACR - 1

3.4.2 涂层厚度对与基材结合力的影响

将 C/E 铝蜂窝基材的表面喷涂 ACR - 1 后进行 150 ~ - 196 循环交变试验,将试样从室温浸入液氮瓶中,然后取出放入 150 烘箱中恒温 5 min,如此进

行 5 次,观察涂层的外观,见图 6。可以看到,涂层厚度 $80 \mu\text{m}$ 的试样经历交变试验后,涂层表面状态完好,无裂纹脱落现象,而涂层厚度 $150 \mu\text{m}$ 的试样局部出现龟裂和脱落。兼顾 α_1 和结合力的要求,涂层厚度控制在 $80 \sim 100 \mu\text{m}$ 。

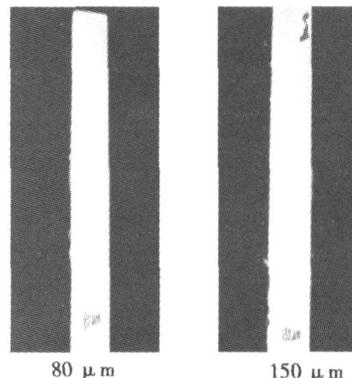


图 6 不同厚度的 ACR - 1 涂层经循环交变试验后的照片

Fig 6 ACR - 1 with different thickness under temperature variation between - 196 ~ 150 for 5 times

3.4.3 表面处理工艺对 ACR - 1 附着力的影响

大型卫星天线为 CFRP 蜂窝夹层结构高精度赋形表面,设计部门希望天线喷涂前不打磨。因此设计了四种表面处理状态,进行液氮浸泡温度冲击试验,结果见表 3。经工艺试验后,采用 2[#] 工艺在正样卫星天线产品表面上喷涂 ACR - 1 涂层,经历 6 次 - 160 ~ 125 交变循环热真空试验后,涂层表面未见有翘起、裂纹等现象。

表 3 液氮浸泡温度冲击试验

Tab 3 Test of ACR - 1 in liquid nitrogen

序号	表面处理工艺	结果
1 [#]	丙酮擦洗。环氧底漆 20 μm , ACR - 1 面漆 95 μm	表面有龟裂
2 [#]	丙酮擦洗。丙烯酸底漆 20 μm , ACR - 1 面漆 95 μm	涂层完好
3 [#]	丙酮擦洗。涂 KH - 550 硅烷偶联剂,丙烯酸底漆 20 μm , ACR - 1 面漆 95 μm	涂层完好
4 [#]	用 320 目细纱纸打磨,丙酮擦洗。丙烯酸底漆 20 μm , ACR - 1 面漆 95 μm	涂层完好

4 结论

(1) 以 MA/EA 为树脂基体的白色热控涂层在紫外辐照环境下较为稳定。

(2) 电子辐照对丙烯酸树脂涂层的 α_1 影响不明显;而质子辐照对丙烯酸树脂热控涂层的 α_1 影响明显,这与国际水平相当。

(3) ACR - 1 涂层的厚度对涂层 α_1 影响明显,当涂层厚度 $> 150 \mu\text{m}$ 时,涂层的 α_1 基本保持不变,为了兼顾 α_1 和结合力,涂层的厚度应控制在 $80 \sim 100 \mu\text{m}$ 。

(4)涂层厚度和底漆工艺是影响 ACR - 1 涂层与碳/环氧蜂窝夹层结构天线表面在冷热交变环境中结合力的关键因素。

参考文献

- 1 Rogers F O. Development of S - 13G Coating as Engineering Materials, N69 - 24390
- 2 闵桂荣. 航天器热控制. 北京:科学出版社, 1985
- 3 Tribble A C. United States and Russian thermal control coating results in low earth orbit. J. of Spacecraft and Rockets, 1996; 33(1): 160 ~ 166
- 4 Claire Tonon. Evolution of thermo-optical properties and

conductivity of a white space paint in geostationary environment. In: Proceedings of 9th International Symposium on "Material in a Space Environment", 2003

5 Zeng Yibing. The effects of UV, electrons and protons on selection of binders and pigments for white thermal control coatings. In: Proceedings of 9th International Symposium on "Material in a Space Environment", 2003

6 华诚生. 提高卫星热控系统可靠性的对策. 航天器工程, 1995; 4(1): 41

(编辑 吴坚)

《宇航材料工艺》征订启事

· 中国科技论文统计用刊 · 中国中文核心期刊

· 国际宇航文摘 (IAA)、美国化学文摘 (CA)、金属文摘 (METADEx) 收录核心期刊

- 《宇航材料工艺》创刊于 1971 年, 是国内外公开发行的国家级技术类期刊
- 入《中国学术期刊 (光盘版)》、中国期刊网及万方数据资源系统数字化期刊群等
- 在第二届国家期刊奖评比活动中获百种重点期刊奖
- 由航天材料及工艺研究所主办
- 主要报道我国材料及工艺的科技进展、科研成果和工程实践
- 主要栏目有: 专论、综述、新材料新工艺、测试分析、工程实践、知识窗、科技信息、成果简介以及会议信息等

· 适合于航空航天、冶金、石油化工、机械电子、轻工、汽车、造船等部门, 从事材料工艺研究的科研技术人员、管理人员及高校师生阅读

刊号 CN 11—1824/V, 国际标准刊号 ISSN 1007—2330, 双月刊 64 页, 国际大 16 开本, 激光照排, 逢双月出版, 每期 15.00 元, 全年 90.00 元, 2008 年的征订工作已经开始, 欢迎各界读者积极订阅。

本刊参加了天津半导体杂志社的联合征订, 可汇款至天津半导体杂志社, 邮编 300220, 注明“订阅宇航材料工艺, 代号 9769”。也可直接在编辑部订阅。

信汇: 开户银行——工行方庄支行东高地分理处

帐户名称: 航天材料及工艺研究所

帐号: 0200006509008800374 (务必将订单与银行回执复印件寄回)

编辑部地址: 100076 北京市 9200 信箱 73 分箱 18 号, 电话: 68383269

邮汇: 北京市 9200 信箱 73 分箱 18 号, 《宇航材料工艺》编辑部

邮编: 100076 电话: 68383269 联系人: 任涛