

低红外发射率韧性涂料的制备与表征

张凯，马艳，郭静，吴菊英

(中国工程物理研究院总体工程研究所, 四川 绵阳 621900)

摘要：通过资料调研和大量的实验研究, 采用质量分数 20% 的片状铝粉 (50 μm) 为功能粒子, 环化橡胶为胶粘剂, 在柔性薄膜上 5 次涂覆后, 其红外发射率可降至 0.55, 满足了轻质诱饵红外隐身的实用要求。

关键词：低红外发射率, 韧性涂料, 制备, 表征

中图分类号：TN976

文献标识码：A

文章编号：1001-8891(2009)02-0087-03

Preparation and Characterization of Low Infrared Emissivity Tenacity Coating

ZHANG Kai, MA Yan, GUO Jing, WU Ju-ying

(Institute of System Engineering, China Academy of Engineering Physics, Mianyang Sichuan 621900, China)

Abstract: In this paper, on the basis of literature surveys, low infrared tenacity coating was prepared with cyclized rubber as adhesives and flake aluminium powder as functional fillers. When the amount of aluminium powder with size of 50 microns was added to 20%, and then coating was painted five times, the surface emissivity of flexible rubber films decreased to 0.55. This kind of low infrared emissivity tenacity coating had applied in camouflage of light infrared baits.

Key words: low infrared emissivity; tenacity coating; preparation; characterization

引言

现代战争中, 红外热成像技术的应用日益广泛, 已成为战场侦测和制导武器所使用的重要手段, 也是各种主战武器装备面临的主要威胁之一。红外隐身技术的研究与应用, 无论在飞行器、地面设备还是战略突防等方面都引起了世界各强国的高度重视。红外隐身涂料以其制造方便, 施工简捷, 成本低廉等优势, 已用于车辆、舰船、飞机和一些战术导弹等重要作战武器上。美军的机动装备的表面已经涂覆了在 8~14 μm 的红外波段具有低发射率的涂层^[1-4]。美国空军部研制了低红外发射率漆, 这种漆由肟固化的有机硅粘合剂组成^[5]。美国海军部发明了用于军舰的蓝灰色低红外发射率涂料, 涂层在 3~5 μm、8~14 μm 和 2~15 μm 的红外发射率分别为 0.463、0.520 和 0.512, 太阳吸收率 (0.3~1.8 μm) 为 0.684^[6]。美国研制的一种低发射率热隐身漆是用直径为 70 μm 的片状铝 (质量比占 38%), 掺杂到无机磷酸盐粘合剂中, 获得了 10.6 μm 频谱区发射率为 0.18 的良好结果^[7]。

柔性橡胶薄膜材料在轻质诱饵的研制方面得到了广泛应用, 但是由于大多数有机高分子材料在 8~14 μm 波长范围内“不透明”, 发射率较高, 因此必须对其表面红外特性进行改性^[1-4]。采用现有的红外隐身涂料虽然可以有效地降低其表面的红外发射率, 但这类涂料多用于硬性装备的表面伪装, 漆膜通常偏硬, 韧性较差, 不能满足柔性橡胶薄膜材料反复折叠的使用要求。因此, 必须开展低红外发射率韧性涂料的研制及涂覆工艺的研究工作。

本文在资料调研的基础上, 优选出合适的胶粘剂和功能填料, 通过一定的工艺, 研制出了表面红外发射率可调的韧性红外涂料, 该涂料的粘度适中, 施工性和漆膜韧性都较好, 涂覆红外涂料后的柔性橡胶薄膜表面的红外发射率从 0.98 降至 0.55, 可满足轻质诱饵的使用要求。

1 实验部分

1.1 主要原材料

实验用主要原材料如表 1 所示。

收稿日期：2008-12-26

作者简介：张凯 (1973-), 男, 重庆人, 高级工程师, 材料学博士, 主要从事功能高分子材料的研制与应用。

基金项目：武器装备预研基金资助项目 (9140A190509ZW0401)

表1 实验用主要原材料

Table 1 Major raw materials in preparation recipe

名称	规格	生产厂家
普通铝粉	化学纯	天津市科密欧化学试剂开发中心
片状铝粉	工业级 (粒径≤200目)	镇江特种材料研究所
粒状铝粉	工业级 (粒径≤200目)	四川科汇实业有限公司
纳米铝粉	化学纯 (平均粒径为80nm)	威孚吉人新材料开发有限公司
天然橡胶	工业级	成都海尔斯新材料有限公司

1.2 涂料制备及表征

将配方量的各种形态的铝粉加入溶有10%表面活性剂的溶剂中，在超声波场中超声处理30 min，完成对功能填料的表面亲油化处理；将天然橡胶溶解后，在70~120℃进行环化反应，制得环化橡胶溶液；将质量分数为20%的功能填料与清漆混合后，用砂磨机研磨后过滤出料，即得低红外发射率涂料。将制得的低红外发射率涂料调稀至施工粘度，在橡胶薄膜材料表面涂刷成型。

采用瑞典AGEMA公司生产的THV570红外热像仪系统测试样品的表面红外发射率。

2 结果与讨论

2.1 胶粘剂的优选

为了不使自身成为辐射源，选用的胶粘剂必须有较低的红外吸收率。因此，适宜的胶粘剂应是对红外辐射高透明或高反射的材料。红外透明聚合物既有较低的红外吸收率，又有较好的物理机械性能，是较理想的红外涂料用胶粘剂。这类胶粘剂有石蜡族化合物、异丁烯橡胶、聚乙烯、醋酸乙烯共聚物、环状结构的橡胶、乙烯和氯化聚丙烯等^[3,4]。

Kraton树脂是聚乙烯、聚丙烯与聚苯乙烯的共聚物，在8~14μm范围内，透明度可达0.8，是比较理想的胶粘剂。华东理工大学国家超细粉末工程中心将改性的EVA树脂（乙烯-醋酸乙烯的共聚物）用作红外涂料的胶粘剂，起到了非常好的效果^[4]。此外，环化橡胶的清漆涂层发射率明显低于其他树脂，也是研制热红外低发射率涂料较为理想的胶粘剂^[8]。

为了确保所制备的低红外发射率涂料具有较好的韧性，在基材橡胶薄膜材料上具有较好的附着力及相容性，本文选用红外透明的环化橡胶作为红外涂料的胶粘剂。

2.2 功能填料的优选

从基尔霍夫定律可知，不透明体的反射率越高，发射率就越低。金属粉末一般属于不透明体，因此有较高反射率的金属粉末的发射率一般都较低，是热红外频段的首选功能填料，表2为几种金属粉末的红外发射率值。适用的金属或合金有Al、Zn、Sn、Au、青铜等，但实际选用多集中于性能优良、廉价易得的Al^[9]。

表2 几种金属颜料粉末的红外发射率

Table 2 Infrared emissivity of some metal powders

金属填料	Al	Fe	Zn	Cu	Ni
发射率	0.478	0.643	0.689	0.625	0.783

金属填料的颗粒形态、尺寸、含量和种类均显著影响红外涂料的光学性能。金属填料的形状可分为片状、杆状和粒状，尺寸为0.1~100μm。使用片状或杆状金属填料时，应有较大的直径/厚度比或直径长度比。片状金属填料的厚度为0.1~10μm，主要是1μm，平均直径为1~100μm；杆状的，其直径为0.1~10μm，长度以1~100μm为宜；粒状的，其平均直径约为1~100μm。填料的形状对降低辐射能力有重大影响，片状的效果最好，其次为杆状和粒状^[9]。

金属填料的用量一般不超过40wt%，且以20wt%左右居多。金属填料用量的增加虽然能使发射率下降，但是，金属填料的高反射性却增加了对雷达波、可见光和激光的反射，不利于激光、雷达和可见光隐身，并有可能在这些波段具有“显形”作用^[9]。

表3 不同种类铝粉涂料的红外发射率

Table 3 Infrared emissivity of different types of aluminium powder

样品名称	ε 测试值
普通铝粉	0.48
片状铝粉	0.43
粒状铝粉	0.56
纳米铝粉	0.90*

注*：测试时纳米铝粉部分脱落，可能影响测试结果。

表3为本文中选用的不同种类铝粉的红外发射率测试数据，从表3可以看出，铝粉均具有较低的红外发射率，其中以片状铝粉的红外发射率最低，这是由于片状粒子形成的连续薄膜减少了薄膜下的被覆盖物对入射光的吸收，从而达到减小发射率的目的。纳米铝粉的红外发射率较高，可能与粒子的纳米效应及制样不完善有关，具体原因有待于进一步研究。

鉴于以上分析，本文选用50μm的片状铝粉作为红外涂料的功能填料。

2.3 铝粉用量的确定

图1是涂覆次数为5次时，红外涂料中铝粉含量对样品表面红外发射率的影响曲线。从图中可以看出，随着铝粉含量的增加，样品的表面红外发射率明

显下降, 这是因为铝粉含量越多, 涂覆层越致密, 可以形成更多的发射面。但是, 单纯增加铝粉含量会影响涂料的施工性、成膜性以及韧性等, 因此, 在研制红外涂料时铝粉含量应是一个最优值, 本研究中将铝粉含量确定为 20% (质量百分比)。

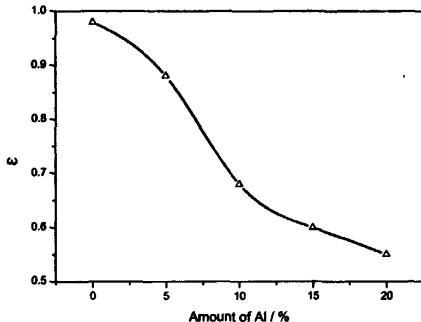


图 1 铝粉含量对样品表面红外发射率的影响曲线

Fig.1 The relation of amount of aluminium powder and surface infrared emissivity

2.4 涂刷次数的确定

图 2 是红外涂料中铝粉含量为 5% 时, 涂刷次数对样品表面红外发射率的影响曲线。涂刷次数直接决定样品表面涂层的厚度, 涂刷次数越多, 涂层厚度越大。从图中可以看出, 随着涂刷次数的增加, 涂层厚度逐渐增大, 红外发射率逐渐下降。当涂刷次数小于五次时, 样品的红外发射率受涂刷次数影响明显, 这表明涂刷次数太少, 样品表面不能形成致密的涂层; 而当涂刷次数大于 5 次时, 样品的红外发射率随涂刷次数的增加下降程度不大, 这表明当样品表面形成致密的涂层后, 再增加涂层厚度对降低红外发射率作用不大, 同时, 涂层厚度过大, 反而会增大漆膜的脆性, 不利于红外涂层韧性的提高。因此, 涂刷次数确定为五次。

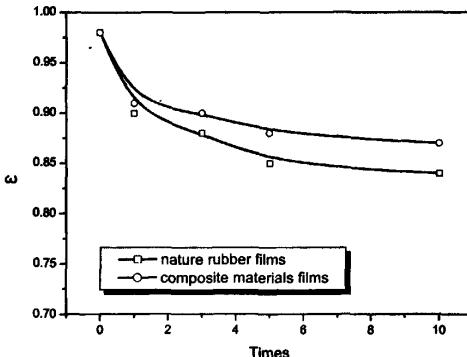


图 2 涂刷次数对样品表面红外发射率的影响曲线

Fig.2 The relation of paint times and surface infrared emissivity

2.5 涂料的应用

图 3 为采用刷涂工艺制备的小试样的实物照片。研究结果表明, 采用涂刷的成型工艺可实现平面和曲面试样的表面涂饰, 所制得的涂层均匀光滑, 无缺陷, 漆膜的附着力和柔韧性良好, 在反复 180° 折叠 30 次后未出现漆膜断裂和脱落。涂刷铝粉含量为 20% 的红外涂料 5 次后的橡胶薄膜试样表面呈银灰色, 有金属光泽, 表面最低红外发射率为 0.55, 与国内现有红外涂料的性能处于同一水平。

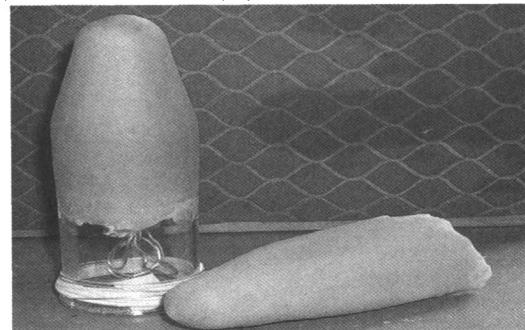


图 3 表面刷涂红外涂料的柔性橡胶薄膜实物照片

Fig.3 The photo of flexible rubber films painted low infrared emissivity tenacity coatings

3 结论

采用环化橡胶溶液为胶粘剂, 片状铝粉为功能粒子来制备低红外发射率的涂料, 其技术路线是可行的。当铝粉含量为 20%, 所制得涂料的粘度适中, 施工性和漆膜韧性都较好。当涂覆次数为五次时, 柔性橡胶薄膜样品表面的红外发射率从 0.98 降至 0.55, 可满足轻质诱饵的使用要求。

参考文献:

- [1] 士自荣, 余大斌. 红外隐身涂料颜料发射率研究[J]. 上海航天, 2000, (1): 24-27.
- [2] 宋兴华, 於定华, 马新胜. 涂料型红外隐身材料研究进展[J]. 红外技术, 2004, 26(2): 9-12.
- [3] 翁小龙, 张捷, 刘孝会. 热红外低辐射率涂料的研制[J]. 表面技术, 2001, 30(4): 36-38.
- [4] Aronson J.R. Modeling the infrared reflectance and emittance of paints and coating. AD-A110824, 1982.
- [5] Chesonis G ,Harris D. Low emissivity camouflage coating. AD-A286226, 1994.
- [6] Chesonis G ,Harris D. Low emissivity camouflage coating. AD-A310642, 1995.
- [7] Pine,D.J. Self Assembly of Low-Emissivity Materials. AD-A386035, 2000.
- [8] 宋兴华, 於定华. 红外低发射率 ATO 粉末的制备及其特性研究[J]. 红外技术, 2003, 25(6): 49-54.
- [9] 张帆, 王建营, 杜海燕. 红外隐身涂料研究进展[J]. 化学与粘合, 2004, (2): 87-90.