

低发射率涂层材料研究

吴 飞 王智勇 江振经

(北京航空材料研究院,北京 100095)

文 摘 测试了多种黏合剂和粉体及以聚氨酯树脂为黏合剂制成的涂膜在 8~14 μm 波段的发射率。结果表明,Karton 树脂红外透明性好,具有较低的红外发射率;铝粉制成涂膜后发射率较低,且涂膜的发射率与铝粉的加入量、粒径等有关;掺锡氧化铟(ITO)薄膜具有很低的发射率,其发射率与 ITO 膜的厚度、含氧量等有关。

关键词 红外发射率,涂层材料,掺锡氧化铟

Paint Materials With Low Emissivity

Wu Fei Wang Zhiyong Jiang Zhenjing

(Beijing Institute of Aeronautical Materials, Beijing 100095)

Abstract The infrared emissivity of many adhesives, pigments and their paints with polyurethane adhesives in 8 to 14 μm waveband were tested. It is found that the Karton resin and aluminium-based paint give rise to acceptably low emissivity, and the size and shape of the aluminium have an obvious influence on the emittance of the paint. The indium tin oxide(ITO) thin film has extremely low emissivity, and, the emittance of film is also affected by its thickness and oxygen content.

Key words Infrared emissivity, Paint materials, Indium tin oxide

0 引言

在现代战争中,随着红外探测技术的飞速发展,红外侦察探测系统对飞行器的威胁正迅速提高。红外隐身技术有多种,其中在飞行器上喷涂红外掩饰涂料是最常采用的红外隐身技术之一^[1]。利用涂料实现目标红外隐身,对于点源探测来说,就是降低目标涂层的红外发射率^[2]。发射率是物体本身的热物性,其数值变化仅与物体的种类、性质和表面状态有关。资料表明,西方国家的先进战机如 B-2、F-15、F-22 等均采用了包括低发射率材料在内的不同类型的隐身材料^[3]。国内红外隐身涂料研究历史较短,低发射率红外隐身涂料基本还处于探索阶段^[4]。影响热红外隐身涂料性能的因素有很多,如颜料、粘合剂和涂装工艺等。本文将考察可应用于红外隐身涂层的粘合剂、填料的红外特性,探讨影响涂层材料表面发射率的因素,为低发射率颜填料的选择与使用、红外隐身涂层材料的设计进行有益的探索。

1 实验

1.1 原材料

Lumoflor 树脂、Karton 树脂、金属粉、掺锡氧化铟等。

1.2 样片制备

将各种树脂溶于相应溶剂,分别涂覆于 60 mm×60 mm 经抛光的铜片上,涂覆厚度控制在 0.2~0.3 mm,固化得到黏合剂样片;将经抛光的铜板放在培养皿中,将待测的金属粉体适量倒在铜板上,然后将粉体压平、压实,得到粉体测试样片;将各种颜料粉末分别与聚氨酯树脂及稀释剂按一定比例混合研磨,制得涂料,分别涂覆于经抛光的铜片上,涂覆厚度控制在 0.2~0.3 mm,固化得到涂层样片。将普通迷彩涂料涂覆于经抛光的铜片,采用 DM-400 磁控溅射镀膜机镀掺锡氧化铟膜,得到镀膜样片。

1.3 主要仪器与性能测试

HWF-1 红外辐射率测量仪,昆明物理研究所生产。仪器在室温下预热 30 min 以后,使温度保持在 50℃左右。经压实的金属粉体置于培养皿中放在发

射率测量仪上,测量 8 ~ 14 μm 波段红外发射率;涂层样片和镀膜样片直接放置在发射率测量仪上,测量 8 ~ 14 μm 波段的红外发射率。

2 结果与讨论

2.1 黏合剂用树脂

表 1 是不同树脂制成涂膜后的发射率。可以看出,聚氨酯树脂、丙烯酸树脂等的发射率较高,而 Karton 树脂的发射率较低。

表 1 不同树脂涂膜发射率

Tab. 1 Infrared emittance of adhesives

树脂	发射率/%
4#聚氨酯树脂	89
855 环氧树脂	92
F602 含氟树脂	86
Lumoflor 氟树脂	84
Karton D1102 树脂	69
Karton D1155 树脂	65
2820 羟基丙烯酸树脂	95

图 1 为 4 种黏合剂的红外谱图,可以看出,在 8 ~ 14 μm 波段有较好红外透明性的很少,主要是一些烯烃类化合物,而其他类型如聚氨酯类等,由于含有强烈吸收的化学基团,红外透明性较差,在 1 250 ~ 710 cm^{-1} (8 ~ 14 μm) 波段,FR602 氟树脂和 Lumoflor 树脂有较强的吸收峰,而 Karton D1102 和 Karton D1155 树脂吸收很少,红外透明性很好。

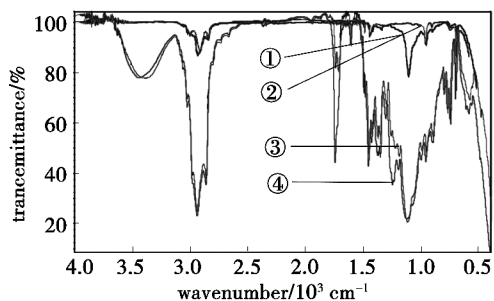


图 1 黏合剂红外谱图

Fig. 1 Infrared spectrum of adhesives

①Karton D1102;②Karton D1155;③Lumoflor;④FR602。

在漆膜制备过程中,Karton 树脂能较好的溶于二甲苯中,喷涂的施工性能也很好,但制成的漆膜对底材的附着力较低,漆膜硬度不高,要想使其成为性能优良的低发射率红外涂料的黏合剂,后续还需要对其进行改性处理。除 Karton 树脂外,所收集的其他类型的树脂,可制成涂膜的发射率均较高。

2.2 填料

表 2 为不同粉体及制成的涂膜的发射率。可以看出,除铝外,其他金属无论是粉体还是制成涂膜,其发射率均较高。而铝粉粉体本身发射率较高,而制成

涂膜后发射率很低。分析原因可能是粉体制成后,其表面仍然较为粗糙,而发射率和物体表面粗糙度关系很大,因而铝粉粉体表现出较高的发射率,当制成涂膜后,铝粉在树脂的作用下有良好的流平,涂膜表面光滑平整,铝粉的低发射率特性得以体现。其他金属粉体由于其本身发射率就很高,因而粉体和涂膜的发射率相差不大。

表 2 不同粉体及其涂膜发射率

Tab. 2 Infrared emittance of pigments and its paints

粉体	粉体的发射率/%	含粉体涂膜的发射率/%
铁粉	88	80
钢纤维	88	88
镍纤维	80	92
铝粉	68	20
铝纤维	84	86
石墨/铁复合物	91	92

表 3 为不同铝粉含量时涂膜的发射率,可以看出,随着铝粉含量的增加,涂膜发射率降低,当铝粉含量超过一定值时,铝粉含量的继续增加对涂膜发射率的贡献不大。

表 3 不同铝粉含量时涂膜发射率

Tab. 3 Infrared emittance of paints with different Al powder content

序号	铝粉质量分数/%	发射率/%
1	70	20
2	45	22
3	25	55
4	15	60

除加入量外,涂膜的发射率与所加入铝粉的形状、大小密切相关。有研究表明,铝粉粉末粒径在 105 ~ 125 μm 发射率最低^[5],而片状铝粉平均粒径在 18 μm 左右的具有较低的发射率^[6]。大于 50 μm 的粉体,不适合作为涂层材料的填料。含不同粒径片状铝粉的涂膜发射率变化情况见表 4。

表 4 不同粒径片状铝粉涂膜发射率

Tab. 4 Infrared emittance of paints containing Al flake in different size

序号	铝粉尺寸/ μm	发射率/%
1	3	24
2	6	25
3	8	6
4	10	12
5	15	37
6	18	54

由表4可知,片状铝粉粒径在8~10 μm时,涂膜的发射率较低,当粒径继续减小时,涂膜的发射率会升高。分析认为,铝粉粒径的大小和形状均会影响涂膜的散射性能,片状铝粉粒径小到一定程度后,粒径的继续减小会使单位面积内涂膜的不规则表面增多,涂膜的散射和吸收增加,涂膜的发射率增大。

2.3 掺锡氧化铟

文献[7-8]认为ITO有可能成为一类重要的隐身材料,王自荣等以ITO粉末为颜料,从掺杂含量、黏合剂选择和用量三方面对涂层材料在8~14 μm波段的红外发射率进行过研究^[9]。添加ITO粉末的涂层材料最低只能达到0.624,不能满足红外隐身的需求,而ITO膜具有较低的红外发射率,因此考虑以涂普通迷彩涂料的试板为底材,磁控溅射真空镀膜,考察涂膜的发射率。表5与表6为在不同含氧量和不同膜厚时测得的发射率。

表5 掺锡氧化铟涂膜厚度与发射率¹⁾

Tab.5 Thickness of ITO and infrared emittance

序号	膜厚/nm	发射率/%
1	0	92
2	100	23
3	200	1
4	300	1

注:1)含氧体积分数4%。

表6 ITO涂膜含氧量与发射率¹⁾

Tab.6 Oxygen of ITO content and its infrared emittance

序号	含氧体积分数/%	发射率/%
1	0	4
2	4	1
3	8	5

注:1)膜厚200 nm。

从表中可以看出,漆膜镀上一层ITO薄膜,发射率急剧降低,有ITO薄膜的试板发射率均很低,一般在0.3以下,且涂膜的厚度大于200 nm时,薄膜的发射率已经很低了,继续增大膜厚对发射率影响不大。ITO中氧含量也对涂膜的发射率产生影响。分析认为氧含量的改变,改变了掺杂半导体中金属氧化物和掺杂剂两种成分的比例。从而改变了材料的载流子密度、迁移率等参数,最终改变了涂膜的发射率。

传统以ITO粉末为填料与黏合剂结合通过涂覆获得的膜层,ITO以颗粒状存在于黏合剂中,大部分

被树脂包覆,分析认为其低发射率的特性未能发挥出来;通过镀膜的方法,可获得均匀连续的ITO层,因而膜层具有较低的发射率。但磁控溅射镀ITO膜需要专门的设备,需要真空环境,不宜对大尺寸的制件进行施工。

通过镀ITO膜的方法,可获得较低发射率的迷彩试板,探讨镀ITO膜前后漆膜颜色的变化规律,获得可见和红外兼容的涂层系统,很有研究的价值,需作进一步研究。

3 结论

(1)在8~14 μm波段,Karton树脂红外透明性好,易于制成涂膜。

(2)金属填料中,铝粉的发射率较低,应用于涂膜后,涂膜的发射率显著降低,涂膜发射率与铝粉的加入量、形状、粒径大小等有关,片状铝粉粒径在8~10 μm时涂膜的发射率最低,可达0.06~0.12,粒径偏小或偏大,涂膜的发射率均会增大。

(3)ITO薄膜能显著地降低试板的发射率,镀膜试板的发射率与ITO薄膜的膜厚、含氧量有关,磁控溅射时气氛中氧含量为4%,ITO薄膜厚200 nm时,发射率最低,可达0.01。

参考文献

- [1] 酆江涛,姜卫陵,赵云峰. 红外隐身涂料的研究进展[J]. 宇航材料工艺,2000,30(5):15-18
- [2] 王自荣,余大斌,孙晓泉. 红外隐身涂料颜料发射率研究[J]. 上海航天,2000(1):24-26
- [3] 谢国华. 红外隐身材料的现状与展望[J]. 宇航材料工艺,2001,31(4):5-9
- [4] 陈翔,张健,王艳武,等. 基于涂料性能参数的红外隐身技术[J]. 光学精密工程,2009,17(2):280-285
- [5] 王自荣,孙晓泉. 铝粉涂层的红外发射率研究[J]. 功能材料,2004,35(增刊):338-340
- [6] Tomas Hallberg, Tiina Niinimäki-Heikkilä, Eva Hedborg-Karlsson, et al. Development of low-emissive camouflage paint; Final report[R]. FOI-R-1592-SE, Swedish Defence Research Agency, 2005
- [7] 费明兵,陈正红,谢凤仙,等. 坦克红外隐形涂料的设计[J]. 装甲兵工程学院学报,1996,10(1):92-95
- [8] 李新华,陈雷,孟晓雄,等. 国外涂料型红外隐身材料研制现状和发展方向分析[J]. 红外技术,1994,16(1):5-11
- [9] 王自荣,余大斌,于定华,等. ITO涂料在8~14 μm波段红外发射率的研究[J]. 红外技术,1999,21(1):41-45

(编辑 吴坚)