

隐身材料专题

相变涂层的控温性能研究

王永凤, 周学梅, 魏文政, 张天才, 刘孝会
(中国兵器工业第五九研究所, 重庆 400039)

[摘要] 将具有可逆吸热/放热功能的高比热容材料以微胶囊形式进行包覆后, 通过与树脂粘接剂的充分润湿和均匀分散, 制备出具有吸/放热和保温功能的热控相变涂层。在相变涂层传热理论模型基础上, 研究了不同微胶囊含量和不同厚度涂层的控温性能, 并与普通涂层进行了贮热性能对比。结果表明, 相变涂层的控温幅度可达到 4~10℃。

[关键词] 微胶囊; 相变涂层; 热控; 热性能

[中图分类号] TG174.461; TJ765.5

[文献标识码] A

[文章编号] 1001-3660(2013)01-0113-03

Research on the Temperature Control Performance of Phase Change Coating

WANG Yong-feng, ZHOU Xue-mei, WEI Wen-zheng, ZHANG Tian-cai, LIU Xiao-hui

(No. 59 Institute of China Ordnance Industry, Chongqing 400039, China)

[Abstract] The high specific heat capacity materials, which has reversible endothermic/exothermic function, was coated in the form of microcapsules. The microcapsules were fully wetted and dispersed by the resin binder, and were prepared the phase change coating in possession of thermal control performance, endothermic/exothermic and insulation functions. Based on the heat transfer theory model of phase change coating, the temperature control performance of the coating with different microcapsules' content and different coating thickness were studied, heat storage performance comparison test with conventional coating was made. The results show that, the controlling temperature amplitude of the phase change coating can achieve to (4~10)℃.

[Key words] microcapsule; phase change coating; thermal control; thermal property

在新一代通用陆基机动平台建设中, 轻量化是重要的装备性能指标之一, 因此装备的裙板、挡泥板、舱门等非承力部位采用了薄壁结构或复合材料。但是这类材料通常热惯量小, 传热速率低, 在太阳辐照下会迅速升温, 导致与背景存在显著温差而易被红外热成像仪捕获和识别。采用相变贮热涂层可延缓材料的升温速率, 提高其与背景的融合度, 实现装备的热红外伪装功能。

此外, 现代装备引入了大量信息化侦察与制导设备, 如夜视导航系统、光电火控系统、红外超光谱侦察设备、激光跟踪器等, 并要求信息化设备获取的信息具有高实时性、高分辨率、高灵敏度和快速响应性。由于与动力装置毗邻, 高低温交变是影响电子信息设备性

能稳定性的重要因素。采用将具有潜热的大热惯量物质进行微胶囊化的涂层技术^[1], 通过对热量的存贮和释放, 使电子信息设备的环境温度维持在恒定状态, 是实现信息化武器装备可靠性和稳定性的有效途径。

文中将石蜡、十八烷等相变材料以微胶囊化形式进行包覆后, 作为功能填料添加到树脂基成膜物中, 制备出相变涂层, 研究了其控温功能, 并与普通涂层进行了贮热性能对比。

1 热控相变涂层制备

1.1 制备工艺^[2]

按照设计的配方量, 将相变微胶囊(自制)、L133

[收稿日期] 2012-09-21; **[修回日期]** 2012-10-28

[基金项目] 武器装备预研基金项目(9140A18060210BQ1902); 国家自然科学基金委员会-中国工程物理研究院联合基金资助项目(10976027)

[作者简介] 王永凤(1983—), 女, 四川达州人, 硕士, 工程师, 主要从事涂层制备和应用的研究。

环氧树脂、润湿分散剂、流平剂、消泡剂、稀释剂进行称量配料后,在高速分散机上进行润湿分散,获得漆浆。将漆浆均匀刮涂在 200 mm×200 mm 的钢板上,烘干成膜,保证涂层厚度为 2~4 mm。

1.2 涂层性能测试

采用差热分析仪、扫描电镜和粒度分布测试仪,对石蜡相变微胶囊进行了相变温度、相变焓、微观形貌和粒径分布测试;采用电红外线加热测试装置,将普通涂层作为对比测试样,在相变温度附近,对涂层的控温能力进行了测试。

2 结果分析与讨论

2.1 相变微胶囊的组成结构

相变微胶囊由脲醛-蜜胺树脂/硅烷偶联剂包覆聚硫橡胶囊壁材料和石蜡芯材料组成,制备的相变微胶囊微观形貌见图 1。聚硫橡胶具有较好的韧性,经过脲醛-蜜胺树脂改性后,提高了囊壁强度,对二甲苯等溶剂具有较强的耐溶胀性能,能应用于溶剂型涂料中。石蜡的比热容为 $3.2 \times 10^3 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$,属于大热惯量材料,具有较强的贮热功能。经过差热测试,石蜡相变微胶囊的相变点分别为 40 °C 和 60 °C,相变焓为 132.6 J/g,如图 2 所示。经粒径分布测试,微胶囊的粒径主要分布在 40~60 μm,如图 3 所示,满足涂层细度的基本要求。

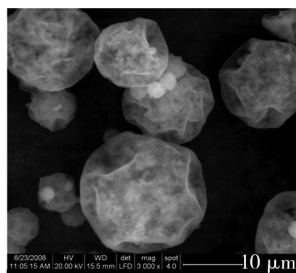


图 1 相变微胶囊微观形貌

Fig. 1 The morphology of phase change microcapsules

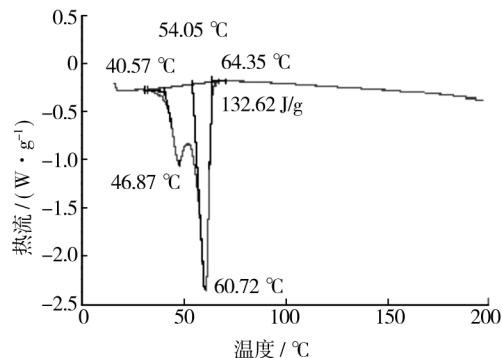


图 2 石蜡相变微胶囊的 DSC 曲线

Fig. 2 The DSC curve of paraffin phase change microcapsules

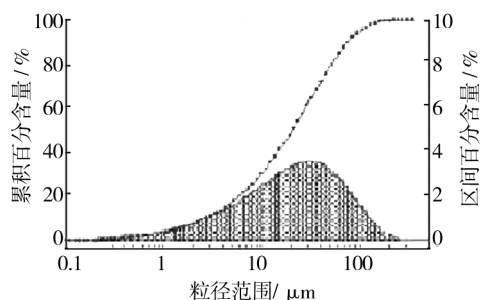


图 3 微胶囊粒径分布

Fig. 3 Particle size distribution of the microcapsules

2.2 相变涂层控温性能分析

2.2.1 相变涂层传热理论模型

涂层在大气中的热传递表现为物体表面-大气之间的热交换,热平衡方程式见(1)式^[3]:

$$Q = -Q_1 - Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 \quad (1)$$

式中: Q 为相变涂层释放出的热量; Q_1 为吸收的短波辐射能量; Q_2 为吸收的长波辐射能量; Q_3 为与大气热交换能量; Q_4 为材料辐射热量; Q_5 为涂层的相变潜热。

将(1)式中的物理量用温度、表面发射率、质量、空气热膨胀系数、对流交换传热系数、涂层比表面积等参数替代后进行计算,得到相变涂层传热理论模型,见(2)式^[3]:

$$Q = hA \int \Delta T dt + \varepsilon \sigma A \int T^4 dt - \alpha_1 A \int E_{\text{sky}} dt \quad (2)$$

得到相变涂层的表面温度从 T_0 变化到 T_1 所需时间的计算式如下:

$$t = \frac{Q}{hA\Delta T + \varepsilon \sigma AT_1^4 - \alpha_1 \sigma AT_0^4} \quad (3)$$

式中: h 为对流热交换表面传热系数, $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$; A 为表面积, m^2 ; ε 为涂层的红外发射率; Q 为相变焓, J/g ; α 为空气热膨胀系数, K^{-1} 。根据(3)式可以计算出涂层表面温度随时间变化的理论值,反推出持续贮热时间 1 h 时,单位面积所需的相变材料用量约为 2.3 kg。

2.2.2 涂层微胶囊含量对贮热性能影响的试验验证

以相变焓为 132 J/g 的石蜡相变微胶囊作为功能填料,按照环氧树脂、微胶囊质量比分别为 1:1.0, 1:1.5 和 1:2.0 进行混合分散,在 200 mm×200 mm 的金属板上刮涂厚 2 mm 的相变涂层,依次编号为 1[#], 2[#] 和 3[#],单位面积的微胶囊含量分别为 1.4, 1.7, 1.9 kg/ m^2 。用红外线加热模拟太阳辐射,用红外点温枪对涂层在升降温过程中的温度进行采集,测试结果见图 4。

由测试结果可以看出,随着涂层中微胶囊含量的增加,涂层的贮热性能逐渐提高,持续贮热时间约为 20 min,低于理论计算值。主要原因是:为满足涂层的

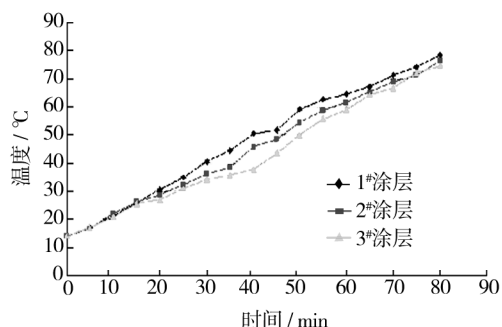


图 4 相变涂层表面温度随时间的变化

Fig. 4 The curve of phase coating surface temperature versus time

理化性能,微胶囊含量低于理论设计值,使得贮热能力有所降低;此外,采用红外点温枪进行温度采集,受大气环境影响,测试值存在一定的误差。不过,涂层贮热温度随时间的变化趋势与理论值具有一致性。

2.2.3 相变涂层与普通涂层的对比

在 3[#]相变涂层表面复合吸波涂层后,采用同样加热装置,与相同厚度的吸波涂层进行贮热性能^[4]对比测试,测试结果见图 5。

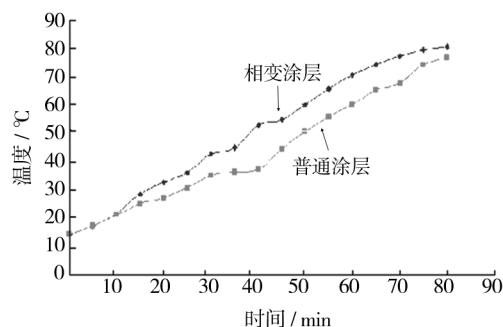


图 5 涂层表面温度随时间的变化

Fig. 5 The curve of coating surface temperature versus time

由测试结果可看出,与普通涂层相比,相变涂层具有明显的贮热效果,控制温度的升降幅度为 4 ~ 10 °C。该相变涂层若用于装备表面的热红外隐身,能够缩小装备与背景的温度差,延长装备与背景的融合时段,降低红外热成像仪对装备的发现和识别概率。

3 结论

采用微胶囊包覆形式将相变石蜡应用于涂层中,制备成可应用于装备热红外隐身的相变涂层,其相变温度在 40 ~ 60 °C,相变焓大于 100 J/g。涂层厚度控制在 2 mm 以下,微胶囊含量为 50% ~ 67% (质量分数)时,控制温度的升降幅度可达到 4 ~ 10 °C,实现了涂层在特定温度段的贮热控温能力,能够有效地改善装备表面的热辐射,提高热红外伪装能力。

[参 考 文 献]

- [1] 张晓鸣,夏书芹,张文斌,等. 微胶囊技术:原理与应用[M]. 北京:化学工业出版社,2006:318—319.
- [2] 涂料工艺编委会. 涂料工艺(上)[M]. 北京:化学工业出版社,1997:624—843.
- [3] 吕舒眉,张栓勤,连长春,等. 相变材料红外特征模拟的理论和实验研究[J]. 兵工学报,2007,28(4):463—466.
- [4] 杨帆,方贵银,邢琳,等. 微胶囊相变蓄能技术研究现状与进展[J]. 低温与超导,2006(5):386—389.