

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2015.02.010

新型雷体材料及其效能研究^{*}

黄骏逸, 方向, 张卫平, 罗先南, 于钟深

(解放军理工大学野战工程学院, 南京 210007)

摘要: 在聚酰胺(PA)或聚丙烯(PP)两种树脂中,用不锈钢纤维(SSF)作导电填料,采用注塑工艺制备新型雷体材料,并进行物理、力学和吸波性能测试。经试验得出,当SSF质量分数为15%时,两种材料的加工性能良好,满足雷体物理、力学性能要求;采用弓形框法测量材料的微波吸收率,PP/SSF和PA/SSF复合材料在8.2~12.4 GHz频率范围内的反射衰减均大于10 dB,将羰基铁与丙烯酸树脂按不同比例混合制备0.4 mm厚度微波吸收涂层分别涂覆两种材料,发现反射衰减值分别提高6.2~11.3 dB和17.9~40.7 dB。

关键词: 复合材料; 雷体; 吸波; 不锈钢纤维

中图分类号: TJ04 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2015)02-0044-03

Study on Effectiveness of New Mine Materials

Huang Junyi, Fang Xiang, Zhang Weiping, Luo Xiannan, Yu Zhongshen

(Institute of Battlefield Engineering, PLA Univ of Sci & Tech, Nanjing 210007, China)

Abstract: Two new mine materials were prepared by using stainless steel fibers(SSF) to fill polyamide(PA) or polypropylene(PP) with injection molding process, the physical, mechanical and absorbing properties of the two materials were tested. The results show that the processing properties of the two materials are good, and meet the requirements of the physical properties of mine bodies when the mass fraction of SSF is 15%. The microwave absorption rate were measured by using military standard with arched test method, reflection attenuation of the two materials is more than 10 dB in the 8.2 ~ 12.4 GHz frequency range. Carbonyl iron with an acrylic resin were mixed in different proportions to prepare microwave absorbing coatings with thickness of 0.4 mm, then the coating was used to coat the PP/SSF and PA/SSF materials respectively, which resulting that reflection attenuation values increase by 6.2 ~ 11.3 dB and 17.9 ~ 40.7 dB.

Keywords: composite; landmine body; absorbing; stainless steel fibers

信息化战争中武器装备的电子对抗日益尖锐,其电磁环境效应和防护对策已成为我军新技术武器装备发展的重要研究课题。现代地雷多采用抛撒布雷方式,其力学性能必须满足一定要求,而高功率扫雷新技术和雷达探测系统的成功应用,还要求雷体材料必须具备电磁屏蔽和吸波性能。文献[1-4]对复合材料的电磁屏蔽效能做了研究,陈雪刚等^[5]对吸波材料的研究进展进行了说明,提出吸波材料目前朝着“厚度薄、密度低、频段宽、吸收强”的方向发展。结合地雷应用实际所需的兼顾力学性能和电磁屏蔽吸收性能的材料研究还较少。基于以上考虑,制备了两种新型雷体材料,并进行相应的效能测试研究和对比。

以地雷壳体为应用目标,结合战场实际环境,新材料必须满足以下基本要求:(1)物理性能符合相应标准,密度、厚度在整体设计的可控范围内;(2)对

引信正常工作影响较小,即对低频磁场透入干扰小;(3)对高功率电磁源的主要能量频率段透射衰减率至少20 dB;(4)加工简单,性价比合理。

基于上述要求,在聚酰胺(PA)和聚丙烯(PP)两种树脂中,用不锈钢纤维(SSF)作导电填料,采用注塑工艺制备地雷壳体。复合材料的屏蔽效能(SE)取决于导电填料的导电性,以及填料分散在树脂基体中的相互搭接程度。SSF的长径比和接触面积大,则彼此更容易搭接,从而形成三维导电网络而使复合材料的导电性能提高。

1 实验部分

1.1 主要原材料

SSF: 316L型,直径10~13 μm,湖南惠同新材

^{*} 国防预先研究资助项目(ZLY2008424)

联系人: 方向,教授,博士生导师,从事地雷武器装备研究

收稿日期: 2014-11-12

料有限公司;

PA、PP、羰基铁粉、丙烯酸树脂:上海普利特复合材料有限公司;

乙烯-丙烯酸酯共聚物:美国杜邦公司;

三氧化二锑、十溴联苯醚:美国大湖公司;

硅烷偶联剂:KH-560 和 KH-570,市售。

1.2 仪器及设备

单螺杆挤出机: SJ-30 型,上海铂昱机械设备厂;

注塑机: HTB110X/1 型,上海铂昱机械设备厂;

切粒机: 上海铂昱机械设备厂;

缺口制样机: XQZ-1 型,承德精密试验机有限公司;

冲击试验机: XJC-25ZD 型,承德精密试验机有限公司;

电子拉力机: 4045 型,承德精密试验机有限公司。

1.3 试样制备

在单螺杆挤出机加入特别设计的 V 型口模流道,调节牵引速率的同时加入质量分数 0.1%~0.5% 的乙烯-丙烯酸酯共聚物、三氧化二锑、十溴联苯醚 3 种掺杂物(质量比 1 : 1 : 1),再加入质量分数分别为 15%,30%,50% 的 SSF 与 PA 或 PP 熔融共挤出造粒,熔融时加入 0.25% 的 KH-560 和 0.5% 的 KH-570 以改善混合组分的相容性,用切粒机切成 8~12 mm 长的粒料,最后用注塑机制成标准试样。PA/SSF 为材料 1, PP/SSF 为材料 2。将羰基铁粉与丙烯酸树脂(质量比 2 : 1)混合,添加过程中搅拌均匀,制成微波吸收层涂覆 PA/SSF 和 PP/SSF 复合材料,吸收层厚度 0.4 mm,涂覆后分别为材料 3 和材料 4。

1.4 性能测试

拉伸强度按照 GB 1040-2006 测试;

压缩强度按照 GB 1041-1992 测试;

弯曲强度按照 GB/T 1043-2008 测试;

马丁耐热按照 GB 1035-1970 测试;

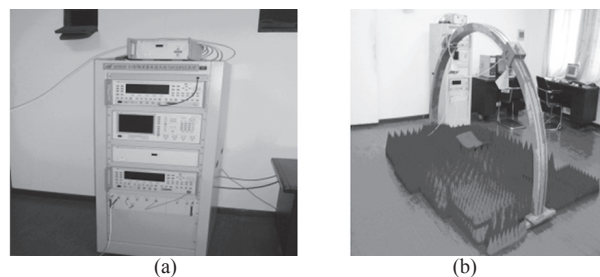
用精度为 0.02 mm 的游标卡尺沿样品长、宽、高的方向在两端测量,计算体积。质量用高精度电子秤测量,经计算后得出 PA/SSF 和 PP/SSF 复合材料密度。

分别将 PA/SSF 和 PP/SSF 复合材料进行吸波效能测试,平板材料厚度 3.5 mm,长、宽各 30

cm。

依据 GB 12190-2006,参照依据是美国军用标准 Mil-DTL-83528C。

采用弓形框法测量材料的微波吸收率,测试设备为微波毫米波天线与 RCS 测试系统,实验设置如图 1。



a—微波毫米波天线; b—RCS 测试系统

图 1 微波毫米波天线与 RCS 测试系统

选择波段为 8.2~12.4 GHz,将弓形架放平稳,在周围布置聚氨酯微波暗室吸波材料,将测试对象放置在弓形架下方的方台上。天线口面到样板的最小测试距离为:

$$R_{\min} = \frac{D^2}{\lambda} \quad (1)$$

式中: D ——天线口面横向最大尺寸;

λ ——波长。

2 结果与讨论

2.1 物理、力学性能

经测试,得出两种材料的物理、力学性能,由于两者力学性能变化趋势相似,故只列出 PA/SSF 物理、力学性能,如表 1 所示。从表 1 看出,SSF 质量分数为 15% 时,物理性能满足雷体材料基本要求,且屏蔽效果能达到 20 dB,加工简单,故以此配方制备试件,进行吸波性能测试。

表 1 PA/SSF 材料的物理、力学性能

项目	SSF 质量分数 / %			
	0	15	30	50
密度 / (g · cm ⁻³)	1.13	1.37	1.65	2.73
拉伸强度 / MPa	53.0	87.2	90.8	127.4
弯曲强度 / MPa	87.6	83.9	65.3	57.6
弯曲弹性模量 / MPa	2 250	2 473	3 370	4 185
冲击强度 / (kJ · m ⁻²)	59	47	30	21
热变形温度 / °C	102	115	123	133
屏蔽效能 / dB	0	20 ~ 25	33 ~ 37	48 ~ 54
加工难度	易	易	较难	难

图 2 为材料 1,2 反射曲线。由图中反射曲线比较可以看出, PA/SSF 复合材料反射衰减为 10.8~14.0 dB, PP/SSF 复合材料的反射衰减为 11.1~14.7 dB。材料 2 与材料 1 的反射衰减效果差别不大,

两者相对于标准板的衰减提高了 1.1 ~ 4.2 dB。

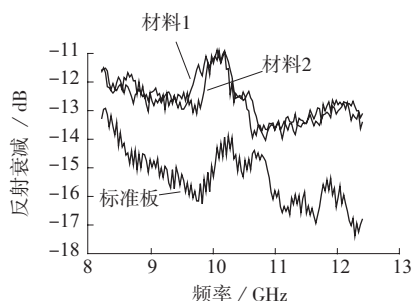


图2 材料1,2反射曲线

材料3与材料4的反射曲线如图3所示。由图中反射曲线比较可以看出,材料3的反射衰减为 29.9 ~ 52.3 dB,材料4的反射衰减为 17.9 ~ 23.9 dB。材料3的反射衰减较之材料4提高了 7.3 dB 以上(其中在 8.3 ~ 10.8 GHz 范围内超过 15 dB,最高为 10.05 GHz 时差值达到 31.6 dB),其微波吸收性能更加明显。

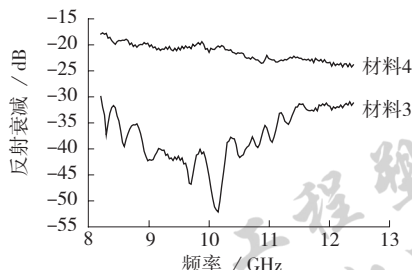


图3 材料3,4反射曲线

材料1与材料3的反射曲线如图4所示。材料2与材料4的反射曲线如图5所示。

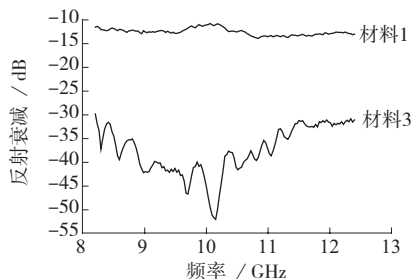


图4 材料1,3反射曲线

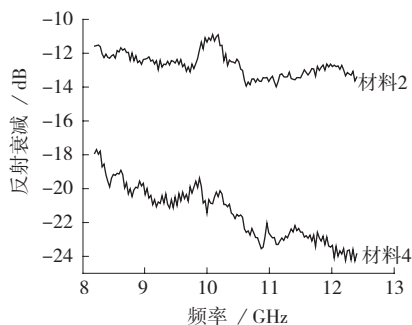


图5 材料2,4反射曲线

由图4、图5分别比较材料1与材料3、材料2

与材料4看出,通过加入掺杂羰基铁粉的丙烯酸树脂层,材料3反射曲线有至少 17.9 dB 提升的衰减(其中在 9.0 ~ 10.5 GHz 范围内差距超过 25 dB,最高为 10.05 GHz 时差值达到 40.7 dB);材料4反射曲线有 6.2 ~ 11.3 dB 范围的衰减提升,达到了明显降低目标可探测性的要求,验证了微波吸收层的吸收性能。

3 结论

(1) 当 SSF 质量分数为 15% 时, PA/SSF 和 PP/SSF 复合材料能较好地兼顾物理性能要求与吸波效能,其在加工要求和费效比上也符合要求,可较好地达到预设目标。

(2) 两种材料在 8.2 ~ 12.4 GHz 频率范围内的反射衰减均大于 10 dB。在分层设计中,将一定比例的羰基铁粉与丙烯酸树脂混合,制成微波吸收层涂覆 PA/SSF 复合材料或 PP/SSF 复合材料,反射衰减值分别提高 6.2 ~ 11.3 dB 和 17.9 ~ 40.7 dB,明显提高了复合材料的微波吸收性能。材料满足战技要求,具备了替代现有壳体材料的可能性。

参考文献

- [1] 吴瑞雯,林云,林展如. 屏蔽电磁干扰高分子磁性复合材料的研究[J]. 功能材料,2002,33(5):492-494.
Wu Ruiwen, Lin Yun, Lin Zhanru. Study on polymer magnetic composites for shielding electromagnetic interference[J]. Journal of Functional Materials, 2002, 33(5):492-494.
- [2] 潘成,方鲲,周至彪. 导电高分子电磁屏蔽材料研究进展[J]. 安全与电磁兼容,2004,16(3):1-4.
Pan Cheng, Fang Kun, Zhou Zhibiao. Research progress on conducting polymers in electromagnetic interference shielding[J]. Safety & Emc, 2004, 16(3):1-4.
- [3] 刘帅,焦清介,臧充光. 金属填充 LDPE 薄膜电磁屏蔽性能研究[J]. 北京理工大学学报,2007,27(5):467-470.
Liu Shuai, Jiao Qingjie, Zang Chongguang. Metal filled polymer low density polyethylene composite film materials for shielding electromagnetic interference[J]. Transactions of Beijing Institute of Technology, 2007, 27(5):467-470.
- [4] 罗先南,方向,高振儒. 地雷壳体电磁屏蔽吸收材料应用研究[J]. 工程塑料应用,2012,40(6):14-16.
Luo Xiannan, Fang Xiang, Gao Zhenru. Study on electromagnetic shielding and absorptive materials used for landmine shell[J]. Engineering Plastics Application, 2012, 40(6):14-16.
- [5] 陈雪刚,叶瑛,程继鹏. 电磁波吸收材料的研究进展[J]. 无机材料学报,2011,26(5):450-457.
Chen Xuegang, Ye Ying, Cheng Jipeng. Recent progress in electromagnetic wave absorbers[J]. Journal of Inorganic Materials, 2011, 26(5):450-457.