

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2015.08.010

短切导电纤维结构复合材料吸波性能研究

宋宇华,厉宁,万晓霞,王雯,郭宇,王超杰

(中国兵器工业集团第五三研究所,济南 250031)

摘要:采用喷涂技术和真空辅助成型法制备了短切导电纤维结构复合材料,研究了短切导电纤维含量对结构复合材料吸波性能的影响,以及各层厚度对纤维含量梯度分布结构复合材料吸波性能影响。结果表明,短切导电纤维含量减少,结构复合材料样板的反射率值降低,但当含量减少到一定程度时,反射率值反而增大;结构复合材料样板匹配层厚度增加,吸波性能增强,过渡层和吸收层厚度增加,吸波性能反而降低。

关键词:短切导电纤维;吸波性能;喷涂技术

中图分类号: TB332 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2015)08-0043-04

Microwave Absorbing Performance of Structural Composites with Short Conductive Fiber

Song Yuhua, Li Ning, Wan Xiaoxia, Wang Wen, Guo Yu, Wang Chaojie

(CNCC Institute 53, Jinan 250031, China)

Abstract: Structural composites with short conductive fiber were prepared using flame plating technology and vacuum assisted resin infusion. The effects of short conductive fiber content on radar absorbing properties of the structural composites were studied. The influences of different thickness on structural composite materials with short conductive fiber gradient distribution in layers were investigated. The results indicate that with the content of short conductive decreasing, the reflection loss of the structural composite plates decreases, but increases while the fiber content declined to a critical value. The performance of microwave absorption increases with the increase of matching-layer thickness and decreases with the increase of transition-layer and absorb-layer thickness.

Keyword: short conductive fiber; microwave absorbing performance; flame plating technique

随着现代无线电技术、计算机技术、雷达探测技术的迅猛发展,战场上武器系统的生存及打击能力受到极大的威胁,因此如何降低武器系统的特征信号,是取得现代战争胜利的重要保障。现代武器装备对吸波材料的要求趋于强吸收、轻质、宽频、多频段兼容等方向发展,目前大量针对涂层吸波材料的研究无法满足这一要求,结构复合材料是实现该技术的有效途径,同时结构复合材料既能隐身又能承载^[1],还能减轻质量、提高有效载荷^[2-4],可设计性强^[5],使成本大大降低,是当今吸波材料主要的发展方向之一。纤维吸收剂中以电损耗为主的短切导电纤维,依靠纤维本身的独特性能及其在基体材料中的合理分布,可以制得具有良好吸波性能的复合材料^[6-8]。

笔者采用喷涂技术和真空辅助成型法^[9],制备了短切导电纤维结构复合材料,研究了短切导电纤维含量对结构复合材料吸波性能的影响,以及各层厚度对纤维含量梯度分布结构复合材料吸波性能影

响。

1 实验部分

1.1 主要原材料

苯乙烯:胶州市富田化工有限公司;
短切导电纤维:自制;
气相二氧化硅:广州吉必盛科技实业有限公司;
玻璃微珠:秦皇岛秦皇玻璃微珠有限公司;
乙烯基酯树脂:上纬(上海)精细化工有限公司;
过氧化甲乙酮:上海硕津贸易有限公司;
环烷酸钴:郑州邦诺化工产品有限公司;
玻璃纤维布:常州天骅集团有限公司。

1.2 主要仪器及设备

定时电动搅拌器:江苏金坛市大中仪器厂;
天平:上海医用激光仪器厂;

联系人:宋宇华,工程师,主要从事结构隐身工作

收稿日期:2015-05-16

弓形反射率测试系统:中国兵器工业集团第五三研究所。

1.3 试样制备

(1) 导电纤维玻纤布的制备。

首先将短切导电纤维、气相二氧化硅和玻璃微珠加入乙烯基酯树脂中,然后加入苯乙烯调节溶液的粘稠度,用搅拌机搅拌均匀,配置成短切导电纤维溶液,喷涂在玻璃纤维布上,常温晾干,制成导电纤维玻纤布。

(2) 导电纤维复合材料的制备。

将制备好的导电纤维玻纤布裁剪成 200 mm×200 mm 的大小,按设计的铺层铺好;按照所需溶液用量,先将苯乙烯和过氧化甲乙酮加入乙烯基酯树脂中,搅拌均匀,然后加入环烷酸钴后搅拌均匀,配置成乙烯基酯树脂溶液。采用真空辅助成型法,制备短切导电纤维复合材料,将复合材料样板切割为 180 mm×180 mm 的尺寸。制备的复合材料样板状态见表 1。

表 1 复合材料样板状态

样板编号	样板厚度/mm	铺层方式	导电纤维含量/%
1 [#]	2.10	10 层	5
2 [#]	2.10	10 层	4
3 [#]	2.10	10 层	3
4 [#]	2.10	10 层	2
5 [#]	4.21	10 层/5 层/5 层 ¹⁾	0/3/5
6 [#]	4.22	5 层/10 层/5 层	0/3/5
7 [#]	4.21	5 层/5 层/10 层	0/3/5
8 [#]	3.15	5 层/5 层/5 层	0/3/5

注:1)依次代表匹配层、过渡层、吸收层的层数。

1.4 反射率测量

采用 RAM 弓形法测试法,参照 GJB 2038A-2011 测试,衬板为光滑铝板,入射角为 2.5°。

2 结果与讨论

2.1 短切导电纤维含量对复合材料吸波性能影响

图 1 为不同短切导电纤维含量复合材料的反射率曲线,复合材料样板的厚度为 2.10 mm。可以看

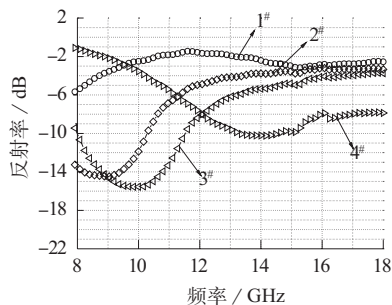


图 1 不同短切导电纤维含量复合材料反射率曲线

出,随着短切导电纤维含量的减少,复合材料样板的反射率值降低,吸波性能增强;当含量减少到一定程度时,反射率值反而增大,吸波性能降低。随着短切导电纤维含量的增加,吸收峰向低频移动。短切导电纤维含量为 3% 时,在 10 GHz 左右出现吸收峰,峰值为 -15.5 dB。因此,适当增加短切导电纤维的含量,可提高复合材料样板在低频的吸波性能。

在复合材料中,短切导电纤维作为电偶极子与入射电磁波谐振而产生谐振感应电流,滞后的极化电流对电磁波产生吸收作用,材料对电磁波的干涉作用也形成吸波效能^[10-11]。当短切导电纤维含量较低时,短切导电纤维作为相对独立的电偶极子存在^[12],对电磁波的吸收是各电偶极子相互叠加的结果;然而随着短切导电纤维含量的增加,独立的电偶极子数量增加,对电磁波的吸收能力增强;当短切导电纤维的含量增加到一定程度时,电偶极子之间的距离缩短,电力线相互排斥,导致对入射电磁波表现为反射特征,对电磁波的吸收能力减弱。

2.2 短切导电纤维梯度分布复合材料吸波性能

优良的吸波材料必须具备两个要求:电磁波能最大限度地进入材料内部而不被表面反射,即材料的匹配特性;另一个就是进入到材料内部的电磁波在很短的时间内被材料衰减吸收,即材料的衰减特性^[13]。

对于三层结构的吸波体,设计匹配层、过渡层、吸波层三层,如图 2 所示。

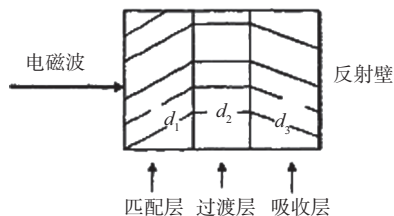


图 2 三层吸波材料的结构示意图

由电磁波传输理论^[14-17]可知,当电磁波在传输过程中由一种介质($\epsilon_1, \mu_1, \sigma_1, k_1, \eta_1$)进入到另一种介质($\epsilon_2, \mu_2, \sigma_2, k_2, \eta_2$)时,在其表面会发生反射,其反射率 R 计算为:

$$R = \left| \frac{\eta_2 - \eta_1}{\eta_2 + \eta_1} \right| \quad (1)$$

其中 $\epsilon, \mu, \sigma, \eta, k$ 分别为相对介电常数、相对磁导率、电导率、归一化特性阻抗、波数。

对于匹配层厚度为 d_1 ,过渡层厚度为 d_2 ,吸收层厚度为 d_3 ,由传输线理论则输入阻抗为:

$$Z_{in3} = \eta_3 \frac{Z_{in2} + \eta_3 \operatorname{th}\left(\frac{j\omega d_3 \sqrt{\mu_3 \varepsilon_3}}{c}\right)}{\eta_3 + Z_{in2} \operatorname{th}\left(\frac{j\omega d_3 \sqrt{\mu_3 \varepsilon_3}}{c}\right)} \quad (2)$$

其中 ω , c 对应于电磁波角频率和真空中光速。
式中:

$$Z_{in2} = \eta_2 \frac{Z_{in1} + \eta_2 \operatorname{th}\left(\frac{j\omega d_2 \sqrt{\mu_2 \varepsilon_2}}{c}\right)}{\eta_2 + Z_{in1} \operatorname{th}\left(\frac{j\omega d_2 \sqrt{\mu_2 \varepsilon_2}}{c}\right)} \quad (3)$$

$$Z_{in1} = \eta_1 \operatorname{th}\left(\frac{j\omega d_1 \sqrt{\mu_1 \varepsilon_1}}{c}\right) \quad (4)$$

$$\eta_3 = \sqrt{\frac{\mu_3}{\varepsilon_3}} \quad (5)$$

$$\eta_2 = \sqrt{\frac{\mu_2}{\varepsilon_2}} \quad (6)$$

$$\eta_1 = \sqrt{\frac{\mu_1}{\varepsilon_1}} \quad (7)$$

由式(1)~式(4)可知,要使输入阻抗 Z_{in} 与自由空间阻抗 Z_0 匹配,使入射的电磁波能够全部进入到材料中,即 $R \rightarrow 0$ 。材料应有足够大的磁导率虚部、磁损耗角正切、介电常数虚部、介电损耗角正切,才能具有较大的磁损耗、电损耗。当复合材料中吸收剂的含量一定时,厚度对复合材料的介电常数和磁导率有一定的影响,因此影响到复合材料对电磁波的吸收。

图3示出匹配层厚度不同的复合材料反射率曲线,各层短切导电纤维的含量相同,过渡层和吸收层厚度相同。

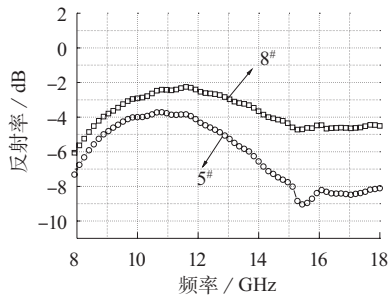


图3 匹配层厚度不同的复合材料反射率曲线

图4示出过渡层厚度不同的复合材料反射率曲线,各层短切导电纤维的含量相同,匹配层和吸收层厚度相同。图5示出吸收层厚度不同的复合材料反射率曲线,各层短切导电纤维的含量相同,匹配层和过渡层厚度相同。

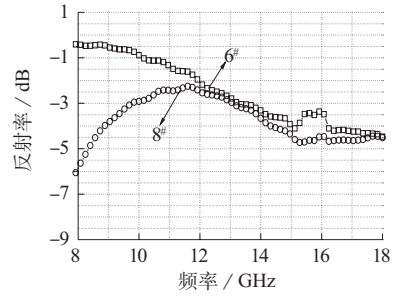


图4 过渡层厚度不同的复合材料反射率曲线

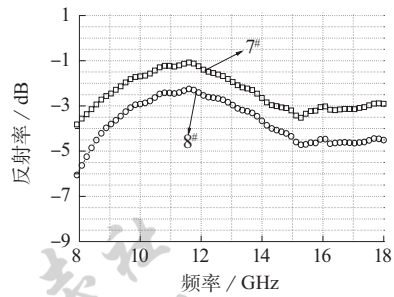


图5 吸收层厚度不同的复合材料反射率曲线

由图3~图5可以看出,吸收剂梯度分布的复合材料,各层厚度的变化影响复合材料的吸波性能。匹配层厚度增加,复合材料的吸波性能增强,且在高频增加的幅度较大;过渡层厚度增加,复合材料样板的吸波性能减弱;吸收层厚度增加,复合材料样板的吸波性能减弱。

3 结论

(1) 短切导电纤维含量减少,复合材料样板的反射率值降低;当含量减少到一定程度时,反射率值反而增大。随着短切导电纤维含量的增加,吸收峰向低频移动。

(2) 复合材料样板匹配层厚度增加,吸波性能增强;过渡层和吸收层厚度增加,吸波性能反而降低。

参考文献

- [1] 曹义,程海峰,周永江,等.一种新型结构吸波材料的制备[J].国防科技大学学报,2005,27(1):44-46.
Cao Yi, Cheng Haifeng, Zhou Yongjiang, et al. The manufacture of new-style structure radar absorbing materials[J]. Journal of National University of Defense Technology, 2005, 27(1):44-46.
- [2] 赵东林,周万城.结构吸波材料及其结构型式设计[J].兵器材料科学与工程,1997,20(6):53-57.
Zhao Donglin, Zhou Wancheng. Structural radar absorbing materials and their structural model design[J]. Ordnance Materials Science and Engineering, 1997, 20(6):53-57.
- [3] 赵东林,周万城.纳米雷达波吸收剂的研究和发展[J].材料工程,1998(5):3-5.

- Zhao Donglin, Zhou Wancheng. Research and development trends of nanometric radar absorbents[J]. Journal of Materials Engineering, 1998(5):3-5.
- [4] 赵东林,周万城. 新型隐身材料的研究和发展[J]. 飞机设计, 1997(2):27-31.
- Zhao Donglin, Zhou Wancheng. Research and development of new stealth materials[J]. Aircraft Design, 1997(2):27-31.
- [5] 黄小忠,黎炎图,余维敏,等. 短切磁性碳纤维泡沫复合材料吸波性能研究[J]. 磁性材料及器件, 2010, 41(5):15-19.
- Huang Xiaozhong, Li Yantu, Yu Weimin, et al. Radar absorbing properties of composite foam filled with short magnetic carbon fiber[J]. J Magn Mater Devices, 2010, 41(5):15-19.
- [6] Hatakeyama K, Inni T. Electromagnetic wave absorber using ferrite absorbing material dispersed with short metal fibers[J]. IEEE Transaction on Magnetic, 1984, 20(5): 1 261-1 263.
- [7] Ahmad M S, Abdelazeez M K, Zihlif A, et al. Some properties of nickel-coated fiber-polypropylene composite at microwave[J]. Journal of Materials Science, 1990, 25(7):3 083-3 088.
- [8] 丁文皓,于名讯,朱洪立,等. 含有短切导电纤维聚氨酯泡沫塑料的吸波性能研究[J]. 工程塑料应用, 2007, 35(11):20-22.
- Ding Wenhao, Yu Mingxun, Zhu Hongli, et al. Study on absorbing property of polyurethane foam filled with conductive short fibers[J]. Engineering Plastics Application, 2007, 35(11):20-22.
- [9] 李柏松,王继辉,邓京兰. 真空辅助 RTM 成型技术的研究[J]. 玻璃钢 / 复合材料, 2001(1):17-23.
- Li Baisong, Wang Jihui, Deng Jinglan. Study on vacuum-assisted resin transfer molding[J]. Fiber Reinforced Plastic / Composites, 2001(1):17-23.
- [10] 黄远,李家俊,马铁军,等. 利用碳纤维毡制备结构吸波材料的研究[J]. 复合材料学报, 2000, 17(1):28-31.
- Huang Yuan, Li Jiajun, Ma Tiejun, et al. Study on the structural microwave absorbing material made with carbon-felt [J]. Acta Materiae Compositae Sinica, 2000, 17(1):28-31.
- [11] 赵乃勤,曹婷,师春生,等. 碳纤维(碳毡)/树脂复合材料的研究[J]. 复合材料学报, 2003, 20(5):63-67.
- Zhao Naiqin, Cao Ting, Shi Chunsheng, et al. Microwave absorbing properties of carbon fiber(carbon fiber felt) / epoxy composites[J]. Acta Materiae Compositae Sinica, 2003, 20(5):63-67.
- [12] 刑丽英,刘俊能,任淑芳. 短碳纤维电磁特性及其在吸波材料中的应用研究[J]. 材料工程, 1998(1):19-21.
- Xing Liying, Liu Junneng, Ren Shufang. Study on electro-magnetic property of short carbon fibers and its application to radar absorbing materials[J]. Material Engineering, 1998(1):19-21.
- [13] 胡传忻. 隐身涂层技术[M]. 北京:化学工业出版社, 2004.
- Hu Chuanxin. Stealth coating technology[M]. Beijing:Chemical Industry Press, 2004.
- [14] Jin Au Kong. 电磁波理论[M]. 北京:电子工业出版社, 2003:122-147.
- Jin Au Kong. Electromagnetic wave theory[M]. Beijing:Publishing House of Electronics Industry, 2003:122-147.
- [15] 王子宇. 微波技术基础[M]. 北京:北京大学出版社, 2003:53-81.
- Wang Ziyu. Essentials of microwave technology[M]. Beijing: Peking University Press, 2003:53-81.
- [16] 阮颖铮. 雷达截面与隐身技术[M]. 北京:国防工业出版社, 1998:269-284.
- Ruan Yingzheng. Radar cross section and stealth technology[M]. Beijing:National Defense Industry Press, 1998:269-284.
- [17] Cheah K, Forsyth M, Simon G P. Processing and morphological development of black filled conducting blends using binary host of poly[J]. J Polym Sci, 2000, 38(3):3 106-3 119.

塑料瓶取代沥青,荷兰新公路或将铺设新材料

英国媒体近日报道称,鹿特丹市政委员会日前宣布,将试用一种新型路面材料,鹿特丹可能因此成为全球首个以塑料瓶修路的城市。

荷兰福尔克-韦塞尔斯建筑公司近日公布了一套完全用回收塑料瓶修筑路面的计划。

报道称,塑料瓶是可替代沥青的更环保的路面材料,全球每年由沥青释放的二氧化碳达到 160 万 t, 占有公路运输释放二氧化碳总量的 2%。同时,用塑料瓶作路面的公路建设工期仅为数周,而传统公路的建设工期为数月,而且前者的使用寿命可达后者的 3 倍。福尔克-韦塞尔斯建筑公司称,这种新型路面需要的维护也较少,而且能承受更极端的气温。

报道称,由于塑料瓶路面更轻,在路面下安装电缆和设备管道也更容易。工厂可先生产出一段一段的新型路面,再

将它们运至施工地点。这意味着缩短建筑时间、降低维护成本和减少路面施工。

福尔克-韦塞尔斯建筑公司主管表示,目前该项目仍在创意阶段,但该公司计划在未来 3 年内修建首条完全使用回收材料的公路。

报道称,鹿特丹是全球首个宣布有意试用这种新型路面的城市。此前,鹿特丹一直以其“气候计划”大力推动可持续发展技术。

福尔克-韦塞尔斯建筑公司负责公路建设的子公司的负责人罗尔夫·莫斯说:“与现在的公路建设相比,无论在建造还是维护方面,塑料路面都具有优势。目前,该项目仍在创意阶段,下一步将是在实验室进行建造和测试。”

莫斯说:“鹿特丹是一个极具创造力的城市。这个创意与鹿特丹的可持续发展政策非常契合。目前,鹿特丹已经接受这个创意并表示有意进行试点。” (中塑机网)