

The Preparation and Performance Study of Carbon Fiber/Epoxy Resin Composites Based on Electromagnetic Shielding Properties Strengthen

Yong Wang¹, Huiqing Zhang¹, Yi Liang², Fuqiang Wang², Yong Lin¹

¹TCRRC Qingdao Sifang Co., Ltd., Qingdao Shandong

²The 33rd Institute of China Electronics Technology Group Corporation, Taiyuan Shanxi

Email: sf-wangyong@cqsf.com

Received: Mar. 28th, 2018; accepted: Apr. 20th, 2018; published: Apr. 27th, 2018

Abstract

Metal-reinforced carbon fiber composites were made with T700 carbon fiber, epoxy resin, cooper mesh, nickel mesh, permalloy as raw materials, in order to get the excellent product, the selected optimal molding process was utilization; before these process, metal-reinforced materials should be pretreated so as to improve the bonding properties between it with epoxy resin. In addition, interlayer bonding properties, electrical properties and electromagnetic shielding properties were detected, and the results show: the interlayer bonding properties of the metal-reinforced carbon fiber composites prepared by this method were excellent, and the electrical continuity of metal-reinforced materials were not destroyed after putting it into the carbon fiber composite material. The shielding performance test shows: by changing the conductivity (magnetic) of the metal material, the electromagnetic shielding performance of composites can be improved at different shield bands, especially at low frequencies.

Keywords

Carbon Fiber, Composite, Metal-Reinforced, Interlayer Bonding Performance, Shielding Performance

基于电磁屏蔽性能强化的碳纤维/环氧树脂复合材料的制备及性能研究

王 勇¹, 张会青¹, 梁 祎², 王富强², 林 庸¹

¹中国青岛四方机车车辆股份有限公司, 山东 青岛

²中国电子科技集团公司第三十三研究所, 山西 太原

Email: sf-wangyong@cqsf.com

收稿日期: 2018年3月28日; 录用日期: 2018年4月20日; 发布日期: 2018年4月27日

摘要

以T700碳纤维为增强材料, 环氧树脂为基体材料, 铜网、镍网、坡莫合金为电磁屏蔽增强材料, 采用选定的最优成型工艺制作了金属强化碳纤维复合材料, 为了改善金属强化材料与树脂的结合性能, 在使用前需对其进行预处理。研究了该材料的层间结合性能、电性能和电磁屏蔽性能, 结果表明: 通过本方法制得的金属强化碳纤维复合材料具有良好的层间结合性能, 未发生分层、开裂现象, 并且将金属强化材料加入碳纤维复合材料未破坏其原有的电连续性, 通过屏蔽性能测试发现通过改变金属材料的导电(导磁)能力, 可以提高复合材料在各频段的电磁屏蔽性能, 在低频下尤为明显。

关键词

碳纤维, 复合材料, 金属强化, 层间结合性能, 屏蔽性能

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

现代计算机、电子装置等领域对轻质化电磁防护复合材料的需求极为迫切, 由于碳纤维材料兼具密度低、电磁防护性能优异、机械性能突出的特点, 受到国内外研究者的青睐[1] [2]。为了充分发挥碳纤维本身的优势, 需要选择合适的树脂与其制成复合材料, 由于环氧树脂除了具有较好的机械性能和耐高温性能外, 还具有与碳纤维表面良好的粘结性能, 确保碳纤维/树脂复合材料不会发生粘结不牢、分层、开裂等现象, 因此, 制作碳纤维复合材料时多采用环氧树脂为基体[3]。

随着电子设备的小型化和精密化, 对材料的电磁防护性能提出更高的要求, 如何在保证轻质和机械性能的前提下, 进一步提高碳纤维复合材料的电磁防护性能是碳纤维领域的研究热点之一。研究发现在5 Hz~30 KHz 的频率内, 材料的本征导磁性能是影响其屏蔽效能最重要的因素, 在30 MHz 以上频率范围, 屏蔽材料的导电率将决定波的屏蔽效能, 故根据使用条件的不同, 对碳纤维复合材料进行磁强化或导电强化等金属化处理, 是提高碳纤维复合材料屏蔽性能的关键[4] [5] [6] [7] [8]。

复合材料金属化的方法有多种, 主要包括化学与电化学镀、真空蒸镀、真空离子溅射、预埋金属网法等, 由于碳纤维复合材料多做为电子设备、车体外壳使用, 故不宜选择表面金属化, 以防在外部环境的作用下金属层发生破坏影响屏蔽性能, 预埋金属网(板)法是将金属预埋在制件内, 避免了金属层在使用过程中的损伤, 此外, 采用预埋金属网法得到的电磁强化碳纤维复合材料还具有电磁屏蔽性能强、尺寸精度高、外形美观等优点, 故本文选择该方法为增强碳纤维复合材料电磁屏蔽性能的手段进行论述, 重点研究了铜网、镍网、坡莫合金的加入对碳纤维复合材料在各频率范围内屏蔽性能的影响, 并通过实验确定了最优工艺, 确保得到的样品具有良好的层间结合性能[9] [10]。

2. 试验部分

2.1. 主要原材料

碳纤维(3 K, T700), 吉林石化碳纤维厂; 碳纤维(1 K, T700), 吉林石化碳纤维厂; E-51 型环氧树脂, 济南易盛树脂有限公司; 环氧树脂专用固化剂, 江阴市前进化工有限公司; 环氧树脂促进剂, 泰州市海翔化工有限公司; 100 目铜网, 河北博盈金属网有限公司; 100 目镍网, 河北博盈金属网有限公司; 0.1 mm 厚坡莫合金, 上海朝展金属材料有限公司。

2.2. 金属化材料的预处理

为了增加铜网、镍网、坡莫合金板与环氧树脂的粘合性能, 在使用前, 需对以上金属化材料进行活化处理。将丙酮和硅烷偶联剂(V 丙酮: V 丙酮硅烷偶联剂 = 100:1)配成混合溶液, 并在室温下将金属化材料置于其中浸泡至少 25 min。

2.3. 金属化碳纤维/环氧树脂复合材料的制备

本文仅研究材料本身特性对屏蔽性能的影响, 为了排除厚度的影响, 不同试件的厚度应保持一致, 本实验制作 3 mm 厚的样品为屏蔽性能测试件。

具体制样过程如下:

首先, 将环氧树脂和固化剂按照一定比例混合, 并向其中加入促进剂, 室温下搅拌均匀, 然后, 将裁切好的碳纤维布(3 K)和金属强化材料按预先设计好的顺序在模具上整齐铺放, 每层材料间均匀涂抹适量的环氧树脂溶液, 在铺层过程中需用卡尺对样品厚度进行测量并通过调整碳纤维布(1 K)的数量来保证样品厚度一致, 最后, 按要求将辅材逐一铺设在碳纤维表面, 之后将整体置于热压罐内按摸索好的最优成型工艺条件进行固化, 成型后即得到目标产品。为了方便叙述, 对样品进行编号: 纯碳纤维复合材料编号为样品 A, 铜网增强碳纤维复合材料编号为样品 B, 镍网增强碳纤维复合材料编号为样品 C, 坡莫合金增强碳纤维复合材料编号为样品 D。

2.4. 测试

2.4.1. 电性能测试

室温下采用 AutoSigma 3000DL 型电导率测试仪对样品进行电导率测试, 为了确保结果的准确性, 对样品进行 5 次测试并取平均值。

室温下采用 JDZ-2 型导磁率测试仪对样品进行相对磁导率测试, 为了确保结果的准确性, 对样品进行 5 次测试并取平均值。

2.4.2. 层间剪切强度测试

室温下按照 GB/T 1450.1-2005 标准进行层间剪切性能测试。

2.4.3. 屏蔽性能测试

屏蔽室法测试的屏蔽效能结果重复性好且更加符合屏蔽材料的实际应用情况, 故本文采用该法(GB12190-90)测试导电复合材料的屏蔽效能。选取有代表性的 10 个频点进行测试。其中低频频段(100~1 × 10⁶ Hz)选取 10 kHz、150 kHz、1 MHz 三个频点, 中频频段(1~1000 MHz)选取 30、450、1000 MHz 三个频点, 高频频段(1~18 GHz)选取 6、10、18 GHz 三个频点。测试示意图如图 1 所示[1]。

材料的屏蔽效能由下式表示:

$$SP(\text{dB}) = A_1 - A_2 \quad (1)$$

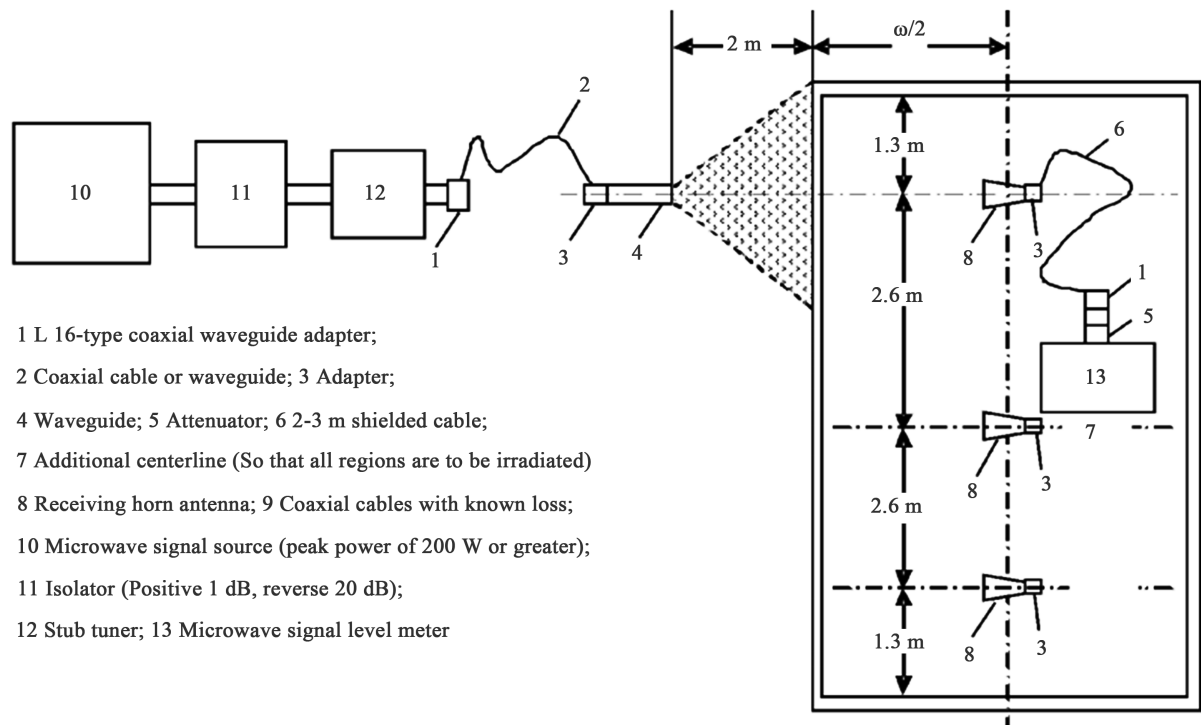


Figure 1. The layout diagram of shielding performance tests
图 1. 屏蔽性能测试布置示意图

式中: A_1 为无屏蔽室情况下, 在模拟场中检测仪器输出为某一值时的衰减器读数(dB); A_2 为屏蔽室内, 检测仪器输出保持不变时衰减器的读数(dB)。为了确保测试结果的准确性, 使用铜箔带将测试件固定在测试窗口(600 mm × 600 mm), 具体使用的测试仪器和型号见表 1。

3. 结果与讨论

3.1. 碳纤维/环氧树脂复合材料形貌及层间性能分析

样品表面和侧面的数码照片如图 2 所示, 从图 2(a)中可以看出, 金属强化后的碳纤维/环氧树脂板材表面平整、光洁度高, 与全碳纤维板材没有显著区别, 表明在选定的成型条件下, 金属强化材料的加入不会对样品的外观造成影响, 此外, 通过对比样品侧面数码照片(从上往下依次为样品 A 到样品 D), 可以发现加入金属强化层的板材与全碳纤维板材相同, 均展现出密实的层压结构, 未出现分层现象, 也未发现气泡、孔洞等缺陷, 表明采用本实验方法得到的样件层间结合性能良好, 这是由于预处理改善了金属强化材料与环氧树脂间的粘结性能所致, 此外, 本实验选取的成型固化条件是制得界面性能良好样件的又一关键因素。

3.2. 力学性能分析

为了进一步验证金属层与环氧树脂的粘结性能, 对样品进行层间剪切测试, 试验数据见表 2, 从表中可以看出, 样品 B、C 的层间剪切强度略低于样品 A, 但高于样品 D, 这是由于铜网、镍网具有的多孔结构保证其与树脂有较好的结合性, 而坡莫合金表面是完整的光滑平面, 与树脂的粘结性能略差。虽然四个样品的层间剪切强度略有差别, 但差别不大, 说明经过预处理的铜网、镍网、坡莫合金与环氧树脂的结合性能较好, 采用预埋金属法可以得到层间结合性能优异的金属强化碳纤维复合材料。

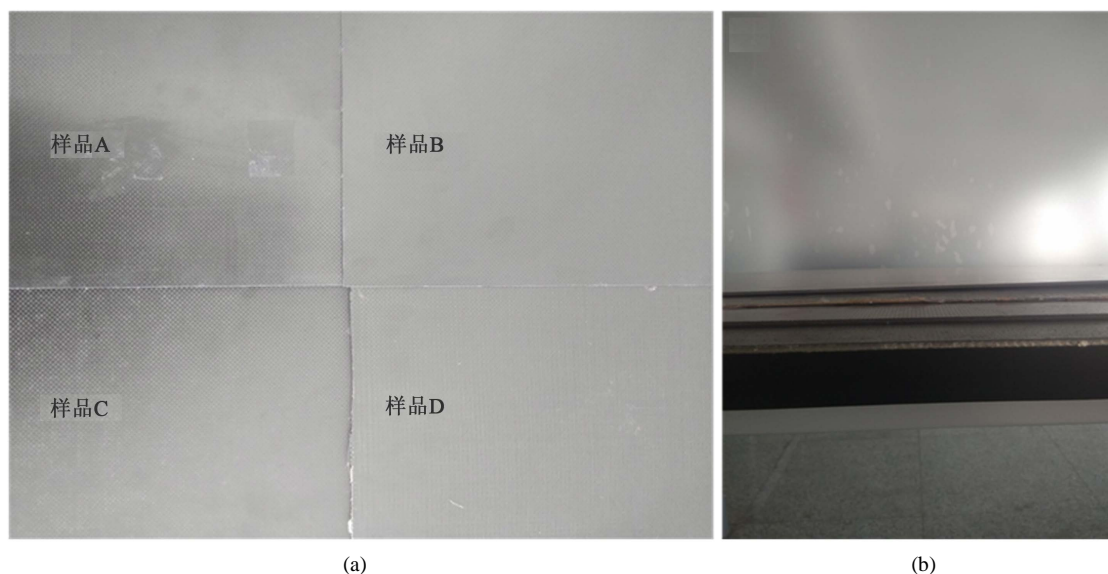


Figure 2. The digital photo of sample surface (a) and sample side (b)
图 2. 样品表面(a)和侧面(b)数码照片

Table 1. The equipment and model of electromagnetic shielding properties tests
表 1. 屏蔽性能测试所需仪器及型号

名称	型号
频谱分析仪	MS2726C
信号发生器	HMC-T2240
函数发生器	33250A
双脊喇叭天线	SAS
双脊喇叭天线	SAS
频谱分析仪	MS2726C

Table 2. The interlaminar shear strength of composites
表 2. 复合材料层间剪切强度数据表

样品编号	拉伸强度(MPa)
样品 A	79
样品 B	75
样品 C	74
样品 D	69

3.3. 碳纤维/环氧树脂复合材料电性能分析

复合材料的电导率和磁导率数据见表 3，从表中可以看出，复合材料的电性能与金属强化材料的电性能有很大关系，向全碳纤维/环氧树脂复合材料中加入的金属强化材料导电(导磁)性能越好，得到复合材料的导电(导磁)性能也越好，表明与碳纤维、环氧树脂制成复合材料并未破坏金属强化材料原有的电连续性。

3.4. 屏蔽性能分析

图3为复合材料电磁屏蔽性能曲线,如图所示,在低频频段(10 KHz、150 KHz、1 MHz),样品C、D的屏蔽性能远远好于样品A、B,并且样品D的屏蔽效能又好于样品C,这与复合材料的磁导率顺序是一致的,说明低频下材料的磁导率是影响其屏蔽性能的决定性因素。在中频频段(30 MHz、450 MHz、1 GHz),样品D的屏蔽效能显著高于其他三个样品,样品B、C的屏蔽性能较为接近且略高于样品A,这可能与金属强化层的导电性成正相关,但在30 MHz处,样品B、C、D的屏蔽性能高于样品A很多,这可能是由于在该频率下导电性和导磁性共同影响下造成的(30 MHz下,可能导电性和导磁性均对复合材料的屏蔽性能有较大影响)。在高频频段(6 GHz、10 GHz、18 GHz),金属强化层的加入对复合材料屏蔽性能的影响趋势和中频相似,不再赘述。通过该图可以看出,采用预埋金属法可以很好的增强碳纤维复合材料的电磁屏蔽性能,在低频下效果尤为明显。

4. 结论

1) 将预处理后的金属强化材料与碳纤维按照合适的成型工艺制成复合材料,通过外观检验发现该复合材料具有密实的层压结构,未出现分层现象,也未发现气泡、孔洞等缺陷,表明采用本实验方法得到的样件层间结合性能良好。

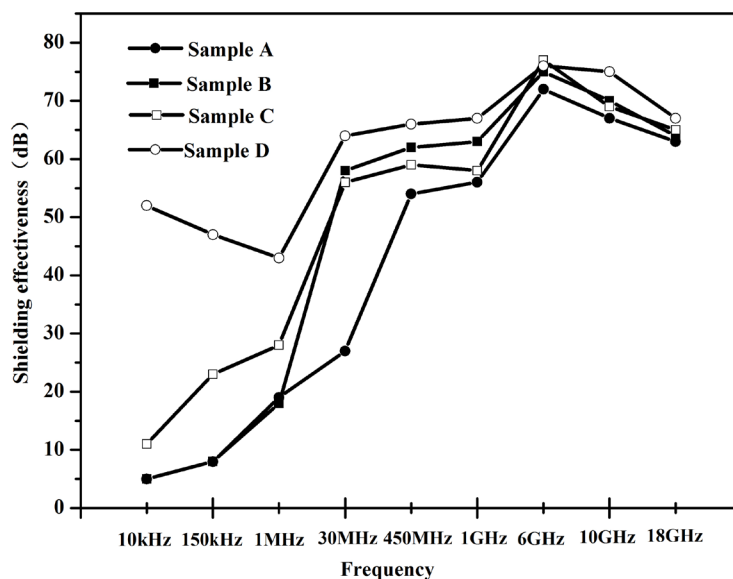


Figure 3. Electromagnetic shielding performance of metal-reinforced carbon fiber composites

图3. 金属强化碳纤维复合材料电磁屏蔽性能曲线

Table 3. The electrical properties of composites

表3. 复合材料电性能测试数据表

名称	相对电导率(%IACS)	电导率(s/m)	相对磁导率
样品 A	0.03	1.74×10^4	1
样品 B	0.4	2.32×10^5	1
样品 C	0.4	2.32×10^5	2.2
样品 D	0.74	4.292×10^5	539

其中标准铜 58 Ms/m 相对电导率(%IACS)为 100%; 磁导率等于 $4\pi \times 10^{-7}$ H/m。

2) 通过层间剪切性能测试,发现加入金属强化材料的碳纤维复合材料与全碳纤维复合材料的剪切强度相近,进一步证明金属强化材料的加入未破坏碳纤维复合材料原有的层间结合性能。

3) 通过电性能测试,发现复合材料的导电(导磁)性能与金属强化材料的导电(导磁)性能成正相关,表明该复合材料中金属强化材料具有良好的电连续性。

4) 通过改变金属强化层的导电(导磁)能力,可以提高复合材料在各频段的电磁屏蔽性能。对屏蔽性能进行测试,发现低频下材料的导磁性是影响其屏蔽性能的决定性因素,随着磁导率的上升,电磁屏蔽性能逐渐增强,采用坡莫合金增强碳纤维复合材料屏蔽性能效果最为明显,在 10 kHz 时,该复合材料屏蔽效果甚至比全碳纤维复合材料高 2 万倍以上。在中、高频下,复合材料的屏蔽性能与材料的导电性成正相关,但差别没有低频下明显。

参考文献

- [1] 闫丽丽, 乔妙杰, 等. 化学镀镍碳纤维/环氧树脂复合材料电磁屏蔽性能[J]. 复合材料学报, 2013, 30(2): 44-49.
- [2] 雷忆三, 张瑞刚, 等. 3D 编织碳纤维复合材料的制备及其屏蔽性能的研究[J]. 功能材料, 2012, 增刊 II (43): 253-256.
- [3] 谭家顶, 程珏, 等. 几种胺类固化剂对环氧树脂固化行为及固化物性能的影响[J]. 化工学报, 2011, 62(6): 1723-1729.
- [4] 王富强, 闫丽丽, 等. 镀镍碳纤维复合材料的电磁脉冲屏蔽效能[J]. 强激光与粒子束, 2014, 26(7): 073203.
- [5] 王富强, 马晨, 等. 屏蔽复合材料设备舱电磁脉冲屏蔽效能[J]. 强激光与粒子束, 2015, 27(10): 103245.
- [6] 夏文干, 杨洁. 先进复合材料金属化研究的必要性探讨[J]. 电讯工程, 2001(1): 17-26.
- [7] Cedeno, A.J., Viquez-Torres, H. 用差示扫描量热法和温度调制法研究聚苯砜对环氧/胺树脂固化行为的影响[J]. 国际高分子, 2005, 54(8): 1141-1152.
- [8] 吴利英, 高建军, 等. 树脂基复合材料制件表面金属化技术探讨[J]. 塑料科技, 2001, 6(146): 25-31.
- [9] 李金良, 宁晓磊, 等. 碳纤维天线表面金属化的研究及应用[J]. 无线电通信技术, 2009, 35(4): 33-35.
- [10] 唐文辉. 碳纤维表面金属化研究[D]: [硕士学位论文]. 成都: 电子科技大学, 2000.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2160-7613, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: ms@hanspub.org