

Preparation of Low Frequency Electromagnetic Protection Material Based on Nickel-Plated Carbon Fiber and Performance Studies

Fuqiang Wang^{1,2}, Peng Liu¹, Zimin Guo¹, Jiandong Zhang¹, Qinglin Su¹, Yan Liu¹, Jianjun Fan¹, Donghong Wang^{1,2}

¹No. 33 Research Institute of China Electronics Technology Group Corporation, Taiyuan Shanxi

²Key Laboratory of the Technology of Electromagnetic Protection, Taiyuan Shanxi

Email: shedleaf@163.com

Received: Oct. 2nd, 2018; accepted: Oct. 19th, 2018; published: Oct. 26th, 2018

Abstract

Based on the fiber chemical nickel-plating coating process, the nickel-plating layers are coated on the fiber surface. The microstructure of the carbon fiber was observed by SEM method, and the component and the structure of the nickel-plating layers were analyzed by the XRD method. The composite material which was made of the nickel-coated unidirectional knitted carbon fibers was manufactured and had brilliant performance on the low frequency electro-magnetic shielding effectiveness. By electro-magnetic shielding effectiveness test (150 kHz - 18 GHz), the results showed that electro-magnetic shielding effectiveness under the range between 150 kHz to 30 MHz is above 35 dB and under the range between 30 MHz to 18 GHz, is above 60 dB.

Keywords

Nickel-Coated Carbon Fiber, Chemical Nickel-Plating Coating Process, Composite Material, Electro-Magnetic Shielding Effectiveness

基于镀镍碳纤维的低频电磁防护材料制备及性能研究

王富强^{1,2}, 刘 鹏¹, 郭子民¹, 张建东¹, 苏清林¹, 刘 艳¹, 樊建军¹, 王东红^{1,2}

¹中国电子科技集团公司第三十三研究所, 山西 太原

²电磁防护技术山西省重点实验室, 山西 太原

文章引用: 王富强, 刘鹏, 郭子民, 张建东, 苏清林, 刘艳, 樊建军, 王东红. 基于镀镍碳纤维的低频电磁防护材料制备及性能研究[J]. 材料科学, 2018, 8(10): 1002-1006. DOI: 10.12677/ms.2018.810119

Email: shedleaf@163.com

收稿日期: 2018年10月2日; 录用日期: 2018年10月19日; 发布日期: 2018年10月26日

摘要

论文采用化学镀的方式在碳纤维表面沉积了一层金属镍层, 并利用扫描电子显微镜(SEM), X射线衍射仪(XRD)分析了纤维的微观形貌、镍层成分和镍层结构。然后将镀镍碳纤维进行单向编织, 并以该镀镍单向纤维布作为其中的铺层制备了具有良好低频电磁屏蔽性能的复合材料。通过对该材料150 kHz~18 GHz下的电磁屏蔽效能考核, 结果表明复合材料的屏蔽效能在150 kHz~30 MHz下屏蔽效能大于35 dB, 30 MHz~18 GHz下屏蔽效能大于60 dB。

关键词

镀镍碳纤维, 化学镀, 复合材料, 屏蔽效能

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

碳纤维复合材料作为最有发展潜力的先进复合材料之一, 其应用领域越来越广泛, 而如何提高碳纤维复合材料的电性能已经成为一个研究重点, 尤其是如何改善材料低频下的电磁防护能力已经成为相关研究的重中之重。

本文以化学镀镍的方式对碳纤维表面进行了电性能强化, 制备了镀镍碳纤维, 并以其为基础材料编织了单向镀镍碳纤维织物。同时以该织物为复合材料其中的部分铺层, 配合镍基延展网和碳纤维平纹布与环氧树脂进行复合成型, 制备了一种低频电磁防护复合材料。依据 GB12190-2006 方法对复合材料样件在 150 kHz~18 GHz 下的电磁屏蔽效能进行测试。

2. 实验部分

2.1. 原材料

T700-6K 连续碳纤维, 威海光威集团有限责任公司, 直径为 7 μm ; 碳纤维平纹布, 威海光威集团有限责任公司, 200 g/m^2 ; E-51 环氧树脂, 江阴万千公司; T31 固化剂, 济南易盛树脂公司; 镍基延展网 SNPB-300, 江苏金松新材料有限公司; 其余试剂均为分析纯, 天津试剂有限公司。

2.2. 化学镀镍

化学镀镍采用次亚磷酸钠作为还原剂, 六水硫酸镍为镍源, 在镀液环境为 pH 值 9~10 的碱性条件。表 1 为化学镀时处理液的主要配比。在进行金属镍沉积前, 为保证沉积结构的可靠性, 碳纤维表面需进行预处理, 首先在 75 $^{\circ}\text{C}$ 下用 60%~65% (v/v) 浓度的浓硝酸将碳纤维表面的上浆剂除去; 然后进行碳纤维表面的敏化和活化处理, 这两个过程是化学镀前最重要的两个处理过程, 将前期处理后的碳纤维依次进

行敏化处理(氯化亚锡 50 g/L; 浓盐酸 50 mL/L, 去离子水 950 mL 定容)和活化处理(氯化钯 0.25 g/L; 浓盐酸 5 mL/L, 去离子水 995 mL 定容)分别 30℃处理 5~15 min。各处理阶段均在专门的储液容器中进行处理, 并且每处理一次需进行去离子水清洗, 方可进行下一步骤[1] [2]。

2.3. 镀镍碳纤维低频电磁防护复合材料制备

将碳纤维平纹布、镀镍碳纤维、镍基延展网按照一定的铺层顺序, 依次铺叠于模具内部, 每铺设一层涂刷上述环氧胶黏剂, 铺设到设定厚度后合模热压成型, 制备尺寸为 600 mm × 600 mm 厚度为 2 mm 的板式样件(1#)以供测试所需, 同时制作了以纯碳纤维增强复合材料(2#)和单独碳纤维、镀镍碳纤维增强复合材料(镀镍布铺层数量与之前样件相同, 3#样件)作为参照样件[3]。

2.4. 性能测试

1) 碳纤维表面化学镀镍后性能测试

使用日立公司 S4800 型扫描电子显微镜(SEM)观察连续纤维化学镀镍后的表面形貌。

2) 镀镍碳纤维复合材料性能测试

镀镍碳纤维复合材料样板按照 GB/T 12190-2006 电磁屏蔽室屏蔽效能[3]的测量方法, 进行屏蔽效能测试, 测试原理如图 1 所示, 测试频段为 150 kHz~18 GHz [4]。

Table 1. Main components of electroless plating

表 1. 化学镀主要成分

chemical reagent	Concentration (g/L)
NiSO ₄ ·6H ₂ O	50~60
NaH ₂ PO ₂ ·H ₂ O	50
NH ₄ Cl	50
Na ₃ C ₆ H ₅ O ₇ ·2H ₂ O	100
NaOH	PH regulation

Reaction temperature: 55°C - 60°C: 15 min, pH: 9 - 10.

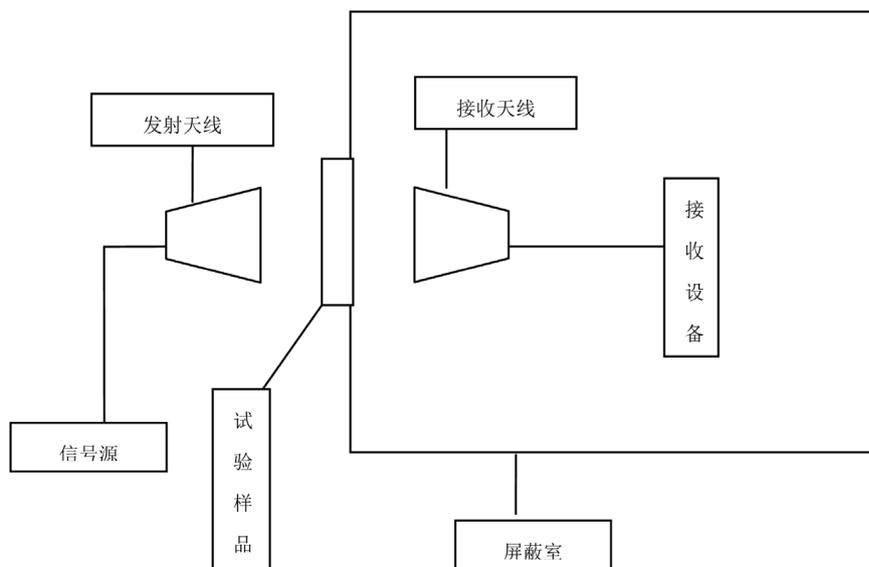


Figure 1. Schematic diagram of the shielded room test

图 1. 屏蔽室法测试原理图

碳纤维复合材料样板按照 GB/T 351-1995 金属材料电阻系数测量方法, 进行导电率测试; 碳纤维复合材料样板参考 GB/T 13012-2008 软磁材料直流磁性能的测量方法, 进行最大相对磁导率测试。

3. 结果与分析

3.1. 形貌分析

如图 2 所示, 图中(a)为碳纤维单丝微观形貌, 碳纤维直径为 $7\ \mu\text{m}$ 左右, 其表面有沿轴向的条纹状类似原木的凹槽; 图 2(b)碳纤维镀镍后的微观形貌。如图 2 所示, 在纤维经过化学镀镍后其表面均匀包裹着一层镀层, 同时镀层与纤维之间紧密结合, 镀层厚度约为 $1\ \mu\text{m}$ 左右。

3.2. 电磁性能及屏蔽效能

3.2.1. 低频电磁屏蔽原理

根据屏蔽理论, 电磁波从屏蔽体一面辐射而来, 大部分能量被反射, 小部分能量进入屏蔽材料, 该电磁波会随进入材料的深度成 e 指数衰减(能量转化为表面电流), 当材料层过薄时, 电磁波就会穿透材料层继续传播。同时, 对于同一频率电磁波, 电导率磁导率越高(低频下磁导率对屏蔽效能提高的贡献更大), 衰减越快, 对于相同材料, 电磁波频率越高, 衰减越快。

同时, 考虑到趋肤效应(电磁波穿透深度), 各防护材料需进行防护频率下的最小厚度设计, 根据趋肤深度与防护屏蔽效能(dB)要求的计算公式:

$$\delta = \frac{x}{10\sqrt{\pi f \mu \sigma} \lg e} \quad (\text{m})$$

其中, f 为电磁波的频率, μ 为磁导率, σ 为电导率, δ 为趋肤深度, x 为屏蔽效能。

因此, 改善一种材料低频下电磁屏蔽效能的方法有两种途径: 一是增加材料厚度, 二是提高材料磁导率。这样在电磁性能测试样品制作时通过调整镀镍纤维布和镍基延展网的数量, 可以得到具有较好低频电磁防护性能的材料模型[5]。

3.2.2. 电导率磁导率

根据 GB/T 351-1995、GB/T 13012-2008 标准中制样要求, 加工了电导率、磁导率测试样条(1#), 并与样件 2#、3#进行对比, 测试结果如表 2。

3.2.3. 电磁屏蔽效能

本文选取了 150 kHz、30 MHz、450 MHz、1 GHz、10 GHz、18 GHz 六个频点对镀镍碳纤维低频电

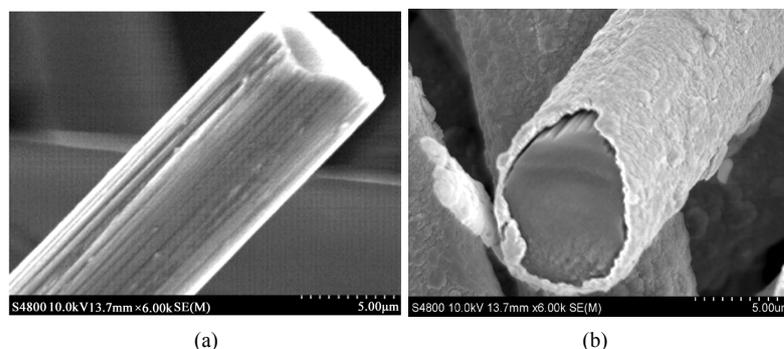


Figure 2. Carbon fiber microscopic morphology. (a) Carbon fiber monofilament (6000 times), (b) nickel-plated carbon fibers monofilament (6000 times)

图 2. 碳纤维微观形貌, (a) 单丝形貌(6000 倍), (b) 纤维镀镍后微观形貌(6000 倍)

Table 2. Electromagnetic performance test results
表 2. 电磁性能测试结果

	相对电导率	相对磁导率
1#	0.74	539
2#	0.03	0
3#	0.26	1.6

Table 3. Shielding effectiveness test results
表 3. 屏蔽效能测试结果

频点	150 kHz GHz	30 MHz	450 MHz	1 GHz	10 GHz	18 GHz
屏蔽效能(dB、1#)	36	40	65	80	85	68
屏蔽效能(dB、2#)	8	27	52	68	75	58
屏蔽效能(dB、3#)	20	33	61	75	81	65

磁防护复合材料(1#)以及对比样件(2#、3#)进行了屏蔽效能测试, 测试结果如表 3。

4. 结论

本文以镀镍碳纤维织物作为低频电磁性能增强材料, 并配合其它辅助材料制备了具有良好低频电磁防护功能的多层结构复合材料, 根据测试结果, 材料在 150 kHz~30 MHz 下屏蔽效能大于 35 dB, 30 MHz~18 GHz 下屏蔽效能大于 60 dB, 相对其它参照样板具有明显的提升。

基金项目

中国网安创新基金项目。

参考文献

- [1] 韩变华, 罗天骄, 姚广春, 刘宜汉. 碳纤维镀镍[J]. 有色矿冶, 2006, 22(2): 37-40.
- [2] 李晓天, 吕广宏, 姜汉成, 刘志成. 碳纤维基材连续电镀[J]. 材料保护, 1995, 28(7): 26-27.
- [3] 陈平, 蹇锡高, 陈辉, 等. 碳纤维复合材料发动机壳体用韧性环氧树脂基体的研究[J]. 复合材料学报, 2002, 19(2): 24-27.
- [4] 陈世钢, 蒋全兴, 张戈, 赵磊, 周忠元. GB/T 12190-2006 电磁屏蔽室屏蔽效能[S]. 2006 年 3 月.
- [5] 汝强, 胡社军, 胡显奇, 邱秀丽, 盛钢, 王明. 电磁屏蔽理论及屏蔽材料的制备[J]. 包装工程, 2004, 25(5): 21-23.

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