

镀覆工艺对镀镍铝粉/硅橡胶复合材料电磁屏蔽性能的影响

王广克¹, 吕运强², 聂京凯¹, 金文德³, 杨国亮⁴, 王斌⁵, 韩钰¹

(1. 全球能源互联网研究院有限公司, 北京 102211; 2. 国家电网有限公司, 北京 100031; 3. 国网浙江省电力有限公司, 浙江 杭州 310007; 4. 国网北京市电力公司, 北京 100031; 5. 国网浙江省电力有限公司 金华供电公司, 浙江 金华 321017)

摘要:采用不同镀覆工艺(置换法、还原法和先置换后还原法)制备镀镍铝粉, 研究镀覆工艺对镀镍铝粉/甲基乙烯基硅橡胶(MVQ)复合材料电磁屏蔽性能的影响。结果表明:采用置换法制备的镀镍铝粉镀层厚度较小;采用还原法制备的镀镍铝粉镀层结合强度较低;采用先置换后还原法制备的镀镍铝粉镀层厚度较大, 镀层结合强度较高;采用先置换后还原法制备的镀镍铝粉/MVQ复合材料电磁屏蔽性能优异, 在30~3 000 MHz频段内, 其电磁屏蔽效能达55~95 dB之间。

关键词:镀镍铝粉; 镀覆工艺; 硅橡胶; 复合材料; 电磁屏蔽性能

中图分类号: TB333; TQ333.93

文章编号: 1000-890X(2019)10-0750-04

文献标志码: A

DOI: 10.12136/j.issn.1000-890X.2019.10.0750

随着超高压电、特高压电的大规模应用, 输电电网的电压等级不断提高, 变电站/换流站内的电磁骚扰问题日益突出^[1]。此外, 由于智能变电站建设的加速, 变电站结构更加紧凑、集约, 在有限的空间中一次设备与二次设备之间如何实现有效兼容和屏蔽已日渐受到关注, 特别是对电磁干扰的抑制提出了越来越高的要求^[2]。采用电磁屏蔽橡胶将二次设备隔离是抑制电磁骚扰的一种有效方法^[3-4]。电磁屏蔽橡胶由橡胶基体和导电填料复合而成^[5]。在铝粉外包覆其他金属镀层的复合型铝粉常用于电磁屏蔽橡胶中, 目前这类复合型铝粉常见的有镀银铝粉、镀铜铝粉和镀镍铝粉^[6]。镀镍铝粉是继镀银铝粉后新兴起的一种导电填料, 其最有希望成为镀银铝粉的替代品^[7]。镀镍铝粉通过阻止铝粉的氧化来保留铝的高电导率, 且其拥有镍的高磁导率, 与镀银铝粉相比, 镀镍铝粉最大的优点是质轻价廉^[8]。

基金项目: 国家电网有限公司科技项目(纳米电工材料及应用技术与示范)

作者简介: 王广克(1990—), 男, 山东德州人, 全球能源互联网研究院有限公司工程师, 硕士, 主要从事电工新材料及其应用技术的研究。

E-mail: wangguangke1@163.com

本工作采用不同镀覆工艺(置换法、还原法和先置换后还原法)制备镀镍铝粉, 研究镀覆工艺对镀镍铝粉/硅橡胶复合材料电磁屏蔽性能的影响。

1 实验

1.1 主要原材料

甲基乙烯基硅橡胶(MVQ), 宁波德合橡胶有限公司产品; 硫酸镍和铝粉, 上海昱库化工科技有限公司产品; 柠檬酸钠和氨水, 北京试剂厂产品; 羟基硅油和硫化剂双25, 江苏天辰硅材料有限公司产品。

1.2 主要设备和仪器

ESR-500X型搅拌机, 上海易勒机电设备有限公司产品; XK-250型开炼机, 青岛亚华机械有限公司产品; DRB-25型平板硫化机, 上海浦大液压机械制造有限公司产品; S4800型场发射扫描电子显微镜, 日本日立公司产品; 四探针导电率测试仪, 广州四探针科技有限公司产品; 磁强计, 长沙天恒测控技术有限公司产品; DR-S02型平面材料屏蔽效能测试仪, 北京鼎容实创科技有限公司产品。

1.3 试样制备

1.3.1 镀镍铝粉

(1) 置换法镀覆(方法一)。铝的电位比镍低,

可以将镍从其盐溶液中直接置换出来,因此可以将铝粉直接加入镍的盐溶液中进行置换反应。将铝粉加入搅拌下的硫酸镍溶液中,采用柠檬酸钠作为络合剂(抑制镀液的自分解),置换出的镍沉积在铝粉表面形成镀层。

(2) 还原法镀覆(方法二)。利用还原剂将镀液中的镍离子还原。以硫酸镍作主盐,柠檬酸钠作络合剂,将两者溶解成均匀的混合溶液,镍离子被柠檬酸根络合成络合离子,采用次磷酸钠作为还原剂。镀覆时,将铝粉缓慢加入室温搅拌下的镀液中,搅拌速度为 $200 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$,加入硫酸铵作为缓冲剂,然后将氨水连续不断地加入镀液体系中(保证镀液pH值在11左右),镍离子还原并沉积在铝粉表面形成镀层。

(3) 先置换后还原法镀覆(方法三)。利用方法一制备镀镍铝粉,再利用方法二还原镀镍。

1.3.2 硫化胶

胶料配方为MVQ 100, 镀镍铝粉 180, 羟基硅油 5, 硫化剂双25 2。胶料采用开炼机混炼(辊温为 40°C): MVQ投入后调小辊距, 混炼2~3 min, 使MVQ均匀粘辊, 然后加入镀镍铝粉和羟基硅油, 混炼均匀后加入硫化剂, 打卷、下片。混炼胶停放24 h后在平板硫化机上硫化, 硫化条件为 $125^\circ\text{C} \times t_{90}$ 。

1.4 测试分析

镀镍铝粉的表面形貌采用扫描电子显微镜进行观察; 硫化胶的体积电阻率采用四探针导电率测试仪进行测试, 试样直径为10 mm、厚度为2 mm; 电磁屏蔽效能采用平面材料屏蔽效能测试仪进行测试。

2 结果与讨论

2.1 镀镍铝粉的表面形貌

分别采用镀覆方法一、方法二和方法三制备镀镍铝粉, 采用扫描电子显微镜观察镀层表面形貌, 如图1所示。从图1可以看出: 镀覆前, 铝粉表面光滑; 经过3种方法镀镍后, 铝粉表面包覆一层镍镀层, 3种方法均能制得镀层包覆连续、完整的镀镍铝粉。方法一制得的镀镍铝粉表面光滑, 方法二和方法三制得的镀镍铝粉表面凹凸感更强, 这可能是因为还原法镀层更厚。

为了比较3种镀覆方法的镀覆量和镀层厚度, 计算出镀覆后填料质量增大百分比: 方法一 23.4%, 方法二 57.8%, 方法三 59.6%。由此可知, 方法一制得的镀镍铝粉镀层较薄, 这是由于置换法的反应原理造成的。置换法是化学镀覆中的一种湿法沉积过程, 将还原性较强的金属基材放入另一种氧化性较强的金属盐溶液中, 还原性较

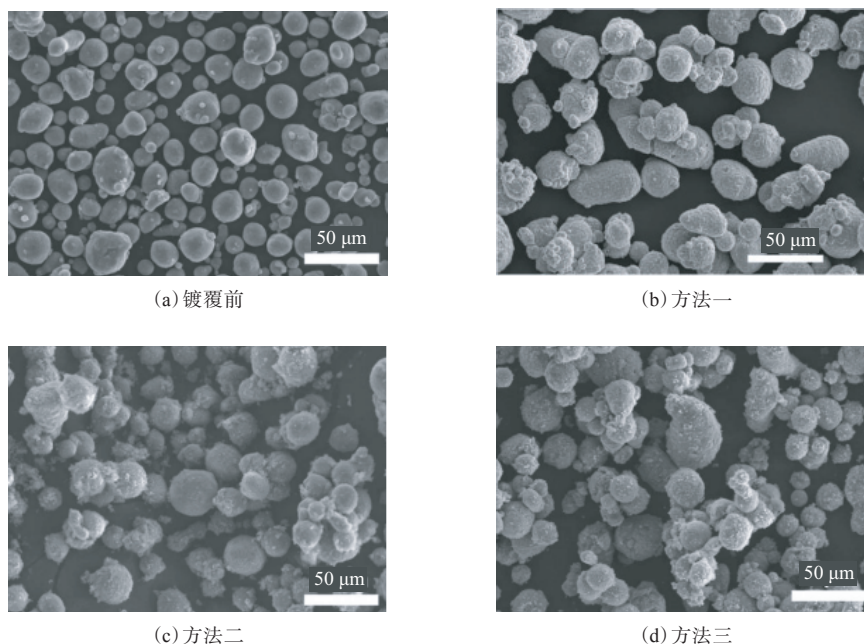


图1 不同镀覆方法镀镍铝粉的表面形貌

强的金属为还原剂,其给出的电子被溶液中金属离子接受后,在基体金属表面沉积出盐溶液中含有的金属离子的金属镀层。由于铝的电位比镍低,其还原性较强,在含有镍离子的溶液中进行置换反应,使得铝表面沉积一层镍镀层。但当镍镀层完全包覆铝粉后,反应终止,无法获得更厚的镀层。

2.2 镀镍铝粉的镀层结合强度

镀层结合强度是决定镀覆质量的关键因素,对3种镀覆方法制备的镀镍铝粉进行镀覆力测试,采用撕拉试验法用导电胶对镀镍铝粉进行10次撕拉,每次撕拉保证同样的力度和速度,然后在扫描电子显微镜下观察铝粉的表面形貌,如图2所示。

从图2可以看出,经过撕拉试验后,方法一和方法三制备的镀镍铝粉未见明显的镀层剥落,方

法二制备的镀镍铝粉存在大面积的镀层剥落区,这说明单纯还原法镀镍虽能在铝粉表面沉积较厚的镍镀层,但镀层与铝粉表面的结合强度较低,镀层易剥离。

2.3 镀镍铝粉的电磁性能

根据S. A. Schelkunoff电磁屏蔽理论^[9],材料的电导率和磁导率越大,电磁屏蔽性能越好,对不同镀覆工艺制备的镀镍铝粉进行电阻率和磁导率测试,结果如下。

体积电阻率/($\Omega \cdot \text{cm}$):方法一 0.11,方法二 0.13,方法三 0.12。可以看出,3种镀覆方法制备的镀镍铝粉电导率接近,这也说明镍镀层包覆连续、完整。

相对磁导率:方法一 1.6,方法二 2.1,方法三 2.2。可以看出,方法一制备的镀镍铝粉相对磁导率最小,方法二和方法三制备的镀镍铝粉相对磁导率接近,这是因为方法二和方法三制备的镀镍铝粉镀层厚度较大。

2.4 镀镍铝粉/MVQ复合材料的电磁屏蔽效能

将3种不同工艺制备的镀镍铝粉/MVQ复合材料进行电磁屏蔽效能测试,结果如图3所示。

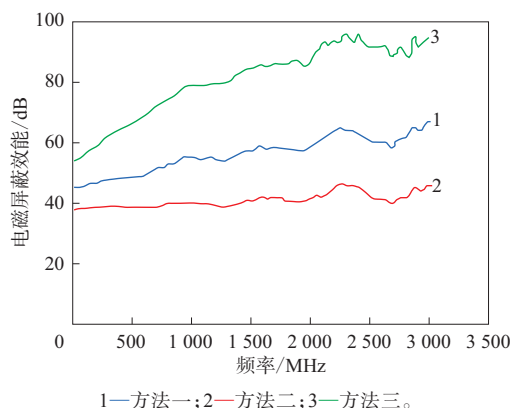
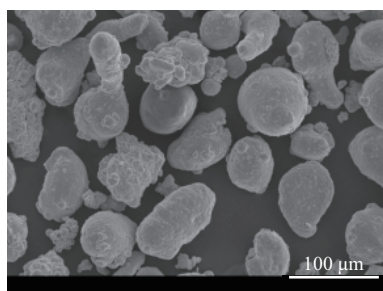
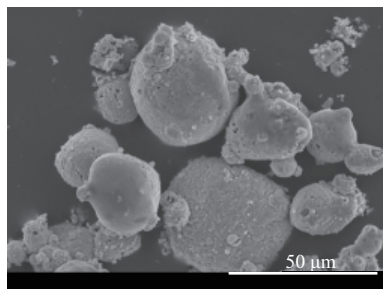


图3 不同镀覆方法镀镍铝粉/MVQ复合材料的电磁屏蔽效能

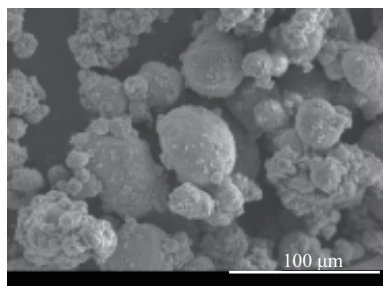
从图3可以看出,方法三制备的镀镍铝粉/MVQ复合材料电磁屏蔽效能最高,方法二制备的镀镍铝粉/MVQ复合材料最低。这是因为方法三制备的镀镍铝粉镀层厚度大,镀层与铝粉表面的结合强度高,加工过程中不易破坏,因此复合材料的电导率和磁导率均较高,电磁屏蔽效能最高;方法二制备的镀镍铝粉镀层与铝粉表面的结合强度较低,在胶料混炼过程中受到强大的机械剪切力作



(a) 方法一



(b) 方法二



(c) 方法三

图2 不同镀覆方法镀镍铝粉的表面形貌

用,导致大量镀层剥离,在后续的硫化工艺中,裸露的铝粉发生氧化,生成不导电的氧化铝膜,因此复合材料的电导率较小,电磁屏蔽效能最低。方法一制备的镀镍铝粉在胶料混炼过程中镀层虽不会剥离,但粉体的磁导率小,因此复合材料的电磁屏蔽效能低于方法三、高于方法二。

3 结论

(1)采用置换法、还原法和先置换后还原法分别制备得到具有连续、完整镍镀层的镀镍铝粉。

(2)采用置换法制备的镀镍铝粉镀层结合强度高,但镀层厚度小;采用还原法制备的镀镍铝粉镀层厚度大,但镀层结合强度低;采用先置换后还原法制备的镀镍铝粉镀层厚度较大,但镀层结合强度高。

(3)采用先置换后还原法制备的镀镍铝粉/硅橡胶复合材料的电磁屏蔽性能较好。

参考文献:

[1] 于晓峰. 高压输电线路和变电站电磁辐射的防护[J]. 山东工业技

术,2018(18):196.

[2] 陈泽萍,李强. 变电站环境噪声评价与防治[J]. 电力环境保护,2008,24(1):61-62.

[3] 王锦成. 电磁屏蔽材料的屏蔽原理及研究现状[J]. 化工新型材料,2002,30(7):16-18.

[4] 刘玉凤,于名讯,尤丛赋,等. 电磁屏蔽橡胶的研究进展[J]. 橡胶工业,2013,60(2):119-125.

[5] 何为,唐先忠,迟兰州. 碳纤维表面化学镀镍工艺研究[J]. 电镀与涂饰,2003,22(1):8-11.

[6] Dhawan S K, Singh N, Rodrigues K. Electromagnetic Shielding Behavior of Conducting Polyaniline Composites[J]. Sci. Techn. Adv. Mater.,2003,4(2):105-113.

[7] Wu J H, Chung D D L. Improving Colloidal Graphite for Electromagnetic Interference Shielding Using 0.1 μm Diameter Carbon Filaments[J]. Carbon,2003,41(6):1313-1315.

[8] Gao Y, Huang L, Zheng Z J, et al. The Influence of Cobalt on the Corrosion Resistance and Electromagnetic Shielding of Electroless Ni-Co-P Deposits on Al Substrate[J]. Appl. Surf. Sci., 2007, 253(24):9470-9475.

[9] Saini P, Choudhary V. Enhanced Electromagnetic Interference Shielding Effectiveness of Polyaniline Functionalized Carbon Nanotubes Filled Polystyrene Composites[J]. Journal of Nanoparticle Research,2013,15:1415-1422.

收稿日期:2019-04-16

Effect of Plating Process on Electromagnetic Shielding Property of Nickel-plated Aluminum Powder/MVQ Composites

WANG Guangke¹, LYU Yunqiang², NIE Jingkai¹, JIN Wende³, YANG Guoliang⁴, WANG Bin⁵, HAN Yu¹

(1. Global Energy Interconnection Research Institute. Co., Ltd, Beijing 102211, China; 2. State Grid Corporation of China, Beijing 100031, China; 3. State Grid Zhejiang Electric Power Co., Ltd, Hangzhou 310007, China; 4. State Grid Beijing Electric Power Company, Beijing 100031, China; 5. Jinhua Power Supply Company, State Grid Zhejiang Electric Power Co., Ltd, Jinhua 321017, China)

Abstract: The nickel-plated aluminum powders were prepared by different plating process, for example, substitution method, reduction method and reduction after substitution, and the effect of plating process on the electromagnetic shielding property of nickel-plated aluminum powder/methyl vinyl silicone rubber (MVQ) composites was investigated. The results showed that, the nickel-plated coating thickness by substitution method was relatively small. The bonding strength of nickel coating by reduction method was relatively low. With the process of reduction after substitution, the coating thickness was relatively large, the bonding strength was high, the electromagnetic shielding property of resulted nickel-plated aluminum/MVQ composites was excellent, and the electromagnetic shielding efficiency was between 55 and 95 dB in the frequency band of 30~3 000 MHz.

Key words: nickel-plated aluminum powder; plating process; MVQ; composites; electromagnetic shielding property