

Effects of Different Carbon Fiber Content on Conductive Composites' Electrical Properties

Yan-hua Lu¹, Jun Wang¹, Ren-xin Xu², Guo-jun Liu¹, Jin Wang¹

(1 New material test center of TMT Co., Ltd, Zhuzhou Hunan 412007; 2 School of Material Science and Engineering, Wuhan University of Technology, Wuhan Hubei 430070)

Luyanxue2003@163.com

Abstract: In this paper, the conductive composites were prepared with different carbon fiber content as filling material and vinyl ester resin as matrix. The effects of different carbon fiber content on conductive composites' electrical properties were studied. The results show that there is percolation threshold for the conductive composites. Conductive composite materials with different carbon fiber had different trends in current - voltage curves.

keywords: Carbon Fiber; Conductive materials; Percolation Threshold

碳纤维含量对导电复合材料电性能的影响

卢艳华¹, 王 钧¹, 徐任信², 刘国钧¹, 王进¹

(1 株洲时代新材料科技股份有限公司, 湖南 株洲 412007; 2 武汉理工大学材料学院, 湖北武汉 430070)

Email: Luyanxue2003@163.com

摘 要: 本文以不同含量碳纤维作为填充物质, 乙烯基酯树脂作为基体制备碳纤维/乙烯基酯树脂导电复合材料, 研究了不同碳纤维含量对导电复合材料电性能的影响。研究表明, 导电复合材料存在渗透阈值; 随着碳纤维含量的不同, 导电复合材料的电流-电压曲线的趋势也不同。

关键词: 碳纤维; 导电复合材料; 渗透阈值

1. 引言

现在随着材料领域的迅猛发展, 现代材料科学正朝着复合化、功能化、智能化方向发展。碳纤维材料作为一种综合性能优异的材料, 美国、日本及欧洲发达国家相继对开展了碳纤维及复合材料功能化方面的研究^[1]。国内对碳纤维复合材料的研究起步相对较晚, 但是已经取得了长足的进步。国内对碳纤维/乙烯基酯树脂复合材料电性能研究较少, 故本文采用碳纤维作为填充材料乙烯基酯树脂作为基体, 研究了不同含量碳纤维对导电复合材料电性能的影响。

2. 实验

2.1 原材料

2.1.1 碳纤维

短切碳纤维, 直径为 $7\mu\text{m}$, 密度为 $1.6\text{g}/\text{cm}^3$, 体积电阻率为 $6\times 10^{-3}\Omega\cdot\text{cm}$ (25°C), 短切碳纤维平均长度约为 1.9mm , 吉林炭素厂生产;

¹作者简介: 卢艳华 (1981-), 女, 汉族, 武汉理工大学材料与工程学院硕士研究生, 籍贯河北保定, 现就职于株洲时代新材料科技股份有限公司。

2.1.2 3201 号乙烯基酯树脂, 上海新华树脂厂生产; 过氧化甲乙酮和环烷酸钴, 常州天马集团生产。

2.2 试样的制备

将短切碳纤维按照不同的比例 (1%, 2%, 3%, 4%, 5%, 7%, 10%) 与一定量的乙烯基酯树脂、引发剂、促进剂均匀混合, 浇注到钢模中。常温固化 2h 后, 在 60°C 烘箱后固化 2h, 脱模后试样加工成 $10\text{mm}\times 15\text{mm}\times 120\text{mm}$ 的导电复合材料。用导电胶将铜箔粘接在试样的两端, 常温固化 24h, 并将导线焊在电极上, 得到测试试样。

2.3 性能测试

电流-电压的测试: 调节直流稳压电源输出电压, $0\sim 23\text{V}$, 在 KEITHEY2700 数据采集 / 程控开关 / 数字多用表选择两个通道采集试样所加载电压与流经试样电流。用 excel 保存数据保存采集的数据。

3. 结果与讨论

3.1 不同碳纤维含量对导电复合材料电阻率的影响

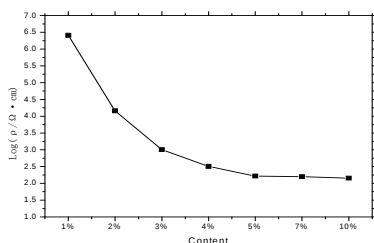


Figure 1. Effects of Different carbon fiber content on Conductive Composites' resistivities

图1 碳纤维含量对碳纤维/乙烯基酯树脂复合材料电阻率的影响

由图1可以看出,碳纤维含量对碳纤维/乙烯基酯树脂导电复合材料存在渗滤现象^{[2][3][4]},即当导电功能体增加到某一临界值时,复合材料的电阻率急剧下降。

“渗滤”现象反映出在“渗滤阈值”附近,碳纤维在树脂基体中形成导电网络,此时,基体中的大部分碳纤维被树脂隔开,复合材料的电阻率很大,属于半导体,复合材料的导电性由导电通路^{[5][6]}与隧道效应^{[7][8]}二者综合作用决定,随碳纤维含量的变化呈非线性变化;在渗滤阈值之后,大量的碳纤维能够相互接触,在树脂体系中形成了稳定的导电网络,电阻率急剧减小;随着碳纤维含量的继续增加,材料电阻率的变化不大,这是因为新加入的碳纤维主要参与到已经形成的导电网络中,形成新的导电通路的几率明显减小,导电复合材料的电阻率随碳纤维含量基本呈线性变化。

3.2 不同碳纤维含量对导电复合材料电性能的影响

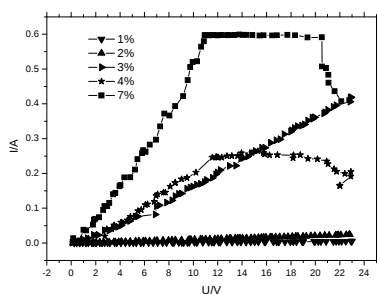


Figure 2. current - voltage curves of composites with different carbon fiber content

图2 不同碳纤维含量乙烯基酯树脂导电复合材料常温下的电流-电压曲线

由图2可看出,在常温下,碳纤维含量为1%,2%,3%的导电复合材料的电压-电流曲线较好地符合

欧姆定律;碳纤维含量为4%,7%的导电复合材料在0~11V内,其电压-电流曲线较好地符合欧姆定律,在11~23V则偏离欧姆定律。

这主要是因为当碳纤维含量为1%,2%,3%时,导电复合材料的电阻率较大,在加载电压为0~23V的范围内,材料的自发热现象微弱,电阻率比较稳定,故能较好地符合欧姆定律。而当碳纤维含量为4%和7%时,导电复合材料的电阻率较小,在加载电压很小的时候,通过导电材料的电流较小,材料的自发热现象微弱,材料的电阻率比较稳定,所以材料能较好地符合欧姆定律;随着加载电压的增加,电流增大,自发热现象严重,使得树脂基体膨胀,而碳纤维的膨胀相对基体可以忽略,从而导致材料电阻率增大,不再符合欧姆定律。发热现象显著,材料温度升高,树脂基体受热膨胀,而碳纤维的膨胀率很小,相对于树脂基体的膨胀可以忽略,从而碳纤维之间的距离增大,碳纤维导电链受到破坏,导电网络被破坏,因而材料的电阻率上升,所以材料的电压-电流关系不再是线性关系。

3.3 不同碳纤维含量导电复合材料在不同温度下的直流电压-电流特性

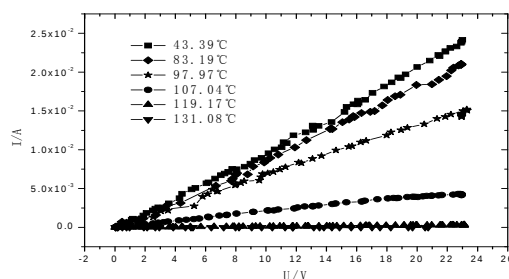


Figure 3. The carbon fiber content is 2%
图3 碳纤维含量为2%时

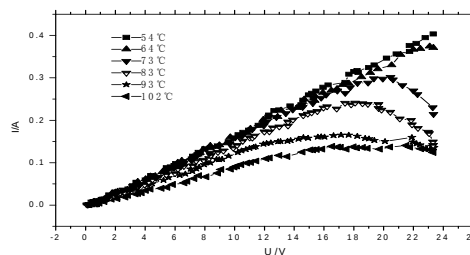


Figure 4. The carbon fiber content is 3%
图4 碳纤维含量为3%时

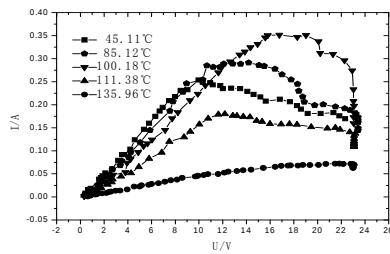


Figure 5. The carbon fiber content is 5%

图 5 碳纤维含量为 5% 时

图 3、图 4、图 5 为不同含量碳纤维在不同温度下的电流-电压曲线。当加载电压为 0~23V 时，碳纤维含量为 2% 的复合材料的直流电压-电流关系在各个温度下都能很好地满足线性关系，符合欧姆定律。碳纤维含量为 3%，5% 的材料在温度较低时，电流-电压曲线符合欧姆定律，而在温度较高时，不能符合欧姆定律。

这是因为随着环境温度的升高，树脂基体进一步膨胀，碳纤维之间的距离增大，导电网络被破坏，材料的电阻增加。在同一温度下，在 11V 以内的低压下，材料能较好地符合欧姆定律，当继续升高电压时，由于电流变大，材料的温度进一步升高，树脂基体进一步膨胀，尤其是接近碳纤维在导电复合材料中的“渗滤阈值”时，增加电压后，材料的电阻率急剧增大，电压与电流不再是线性关系，材料的电压-电流关系偏离欧姆定律。

4. 结论

(1) 碳纤维/乙烯基酯树脂导电复合材料，存在“渗滤”现象；

(2) 在 0~23V 的加载电压范围内，碳纤维含量较低的复合材料，较好地满足欧姆定律；碳纤维含量较高的复合材料，出现“渗滤”现象，电阻率突变，不能满足欧姆定律。

Reference (参考文献)

- [1] Tao Baoqi. The structure of Intelligent material. Defense industry press, 1997.
陶宝琪. 智能材料结构: 国防工业出版社, 1997.
- [2] Luo Yanling. The percolation threshold model and resistivity calculation of carbon particles system with PTC character[J]. 1998.4:23-33.
罗延龄. PTC 特性的复合导电体系中炭粒子分布的逾渗模型与电阻率的计算. 高分子通报[J]. 1998. 4: 23-33.
- [3] Shen Zengmin. New carbon materials. Chemical industry press. 2003
沈曾民主编. 新型碳材料. 化学工业出版社. 2003
- [4] Yang Xiaoping, Rong Haoming, Liu Zedong. Research on electrical properties of carbon fiber conductive composites. Material engineering. 2000.9:11-14
杨小平, 荣浩鸣, 陆泽栋. 碳纤维导电复合材料的电学性能研究. 材料工程. 2000. 9: 11-14
- [5] Chen Yaoting Zhou Mingyi. Research on conductive performance and electromagnetic shielding performance of carbon fiber conductive polymer composites. Plastic technology. 1997.6:4-8
陈耀庭, 周明义. 碳纤维聚合物复合材料的导电性及电磁屏蔽性能的研究. 塑料科技. 1997. 6: 4-8
- [6] A Fifoly, V F Peternko, E M Schulson. Preliminary study of electromagnetic emissions from cracks in ice. Philosophical Magazine B. 1993.67(3):289-299
- [7] Wang Guoquan. Electrical resistance measurement of conductive network in short carbon fiber-polymer composites. Polymer Testing. 1997.16:277-286
- [8] Wu Peixi Shen Jian. Special performance resin composites. Chemical industry press. 2002
吴培熙, 沈键主编. 特种性能树脂基复合材料. 化学工业出版社. 2002