

Design and Performance Study of High Conductive Silicone Rubber for Aviation

Rui Zhang, Zhe Wang

The 33rd Research of China Electronic Technology Group Corporation, Taiyuan Shanxi
Email: roma1982@qq.com

Received: Mar. 25th, 2017; accepted: Apr. 7th, 2017; published: Apr. 12th, 2017

Abstract

In this paper, through the selection and testing of silicone rubber and conductive filler in high conductive silicone rubber formulation, a comparative study of indexes before and after a series of environmental tests was conducted on the glass coated silver coated micro conductive rubber and aluminum silver plated conductive rubber. The results show that high conductive silicone rubber, made of the vinyl silicone rubber of 30 degree and the average molecular weight of 1 million 200 thousand and the aluminum silver or silver plated glass filler of the average particle size of 40 μm , has excellent electrical properties, mechanical properties and environment properties.

Keywords

High Conductive Silicone Rubber, Silver Coated Glass Beads, Silver Plated Aluminum, Electrical Properties, Mechanical Properties, Environmental Adaptability

航空用高导电硅橡胶设计及性能研究

张 锐, 王 喆

中国电子科技集团公司第三十三研究所, 山西 太原
Email: roma1982@qq.com

收稿日期: 2017年3月25日; 录用日期: 2017年4月7日; 发布日期: 2017年4月12日

摘 要

本文通过高导电硅橡胶配方中硅橡胶和导电填料的选型和测试的实验, 对硫化合成后的玻璃镀银微珠导电橡胶和铝镀银导电橡胶进行一系列环境试验前后指标的对比研究, 研究结果表明采用30度级且平均分子量120万的乙烯基硅橡胶和平均粒径40 μm 的铝镀银或玻璃镀银填料制成的高导电硅橡胶具有优秀的

电性能、力学性能和环境适应性能。

关键词

高导电硅橡胶, 玻璃镀银微珠, 铝镀银, 电性能, 力学性能, 环境适应性

Copyright © 2017 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

随着科学技术的不断发展, 飞机上搭载的雷达、通信和其它电子设备在工作时产生了较强的电磁波干扰和射频干扰, 影响飞机的正常工作。为了确保飞机飞行的可靠性和精确性, 结合飞机的实际使用需求, 在飞机的设备舱、蒙皮、口盖等部位需要屏蔽密封, 某些部位需要电磁屏蔽和环境密封, 关键部分的屏蔽效能需大于 110 dB。高性能电磁屏蔽软质材料用于飞机抗电磁干扰、结构密封、防燃烧及密封处的防盐、防霉, 对飞机飞行安全性能的发挥起到了至关重要的作用[1] [2]。最常用的一种电磁屏蔽软质材料就是高导电硅橡胶, 硅橡胶中填充金属填料使其具有导电性且成为体积电阻率 ρ 为 $10^{-4}\sim 1\ \Omega\cdot\text{cm}$ 的复合材料[3]。

本文通过设计一种配方, 来保证高导电硅橡胶满足某型飞机飞行环境中的各种性能指标: 保障飞机抗电磁干扰性能和结构密封。这些需要材料在高温、低温、温度冲击和湿热环境中的电性能和力学能的稳定性。

2. 试验

2.1. 试验思路

导电橡胶材料是将导电金属粉、其他加工助剂按一定的比例添加到母体橡胶材料中进行混炼, 因此本实验围绕两种主材硅橡胶和导电金属粉展开研究, 研究路线是: 硅橡胶选型及测试 - 导电金属粉选型及测试 - 硫化合成高导电硅橡胶性能测试。

2.2. 硅橡胶选型及测试

根据实践经验, 硅橡胶属于成熟原材料, 但硅胶通常超过 40 度级后, 填充大量金属粉会使得成品的硬度偏高且加工性能较差。所以笔者选择了市场采购了常用的导电橡胶的 30 度级的乙烯基硅橡胶(见表 1), 并在相同的压力、温度、硫化时间制成标准样片, 扯断强度和扯断伸长率制取三个样片并按照 GB/T528-2009 进行测试, 撕裂强度制取三个样片并按照 GB/T529-2008 进行测试, 测试结果见表 2。

通过实验数据可以看到, 当硅橡胶分子量大于 100 万时, 扯断强度由 1~3 (MPa) 上升到 6~9 (MPa); 当硅橡胶分子量大于 120 万时, 伸长率(%)由 200%~400% 上升到 500%~600%; 当硅橡胶分子量大于 120 万时, 撕裂强度由 3~17 (KN/m) 上升到 17~25 (KN/m); 综合分析采用 A5 牌号的硅胶在力学性能方面满足要求。

2.3. 导电填料选型及测试

用银粉或镀银填料作电磁屏蔽材料具有突出的高频屏蔽效果[4], 银具有优良的导电性能、耐氧化,

Table 1. Silicone selection table

表 1. 硅胶选型表

硅胶代号	平均分子量(万)	度级
A1	80	30 度
A2	90	30 度
A3	100	30 度
A4	110	30 度
A5	120	30 度
A6	130	30 度
A7	140	30 度

Table 2. Silicone performance test

表 2. 硅胶性能测试表

硅橡胶代号	扯断强度(MPa)		伸长率(%)		撕裂强度(KN/m)	
	指标要求	测试值	指标要求	测试值	指标要求	测试值
A1	≥ 7	2.32	≥ 500	317	≥ 20	5.63
	≥ 7	1.89	≥ 500	263	≥ 20	3.99
A2	≥ 7	2.42	≥ 500	318	≥ 20	4.69
	≥ 7	3.5	≥ 500	413	≥ 20	7.63
A3	≥ 7	3.07	≥ 500	387	≥ 20	6.52
	≥ 7	2.82	≥ 500	375	≥ 20	5.32
A4	≥ 7	9.88	≥ 500	482	≥ 20	10.22
	≥ 7	8.10	≥ 500	427	≥ 20	11.63
A5	≥ 7	8.93	≥ 500	478	≥ 20	9.65
	≥ 7	8.97	≥ 500	490	≥ 20	16.8
A6	≥ 7	8.47	≥ 500	478	≥ 20	15.9
	≥ 7	9.09	≥ 500	489	≥ 20	17.01
A7	≥ 7	7.58	≥ 500	533	≥ 20	24.88
	≥ 7	7.83	≥ 500	550	≥ 20	25.30
A8	≥ 7	7.91	≥ 500	589	≥ 20	24.79
	≥ 7	6.54	≥ 500	533	≥ 20	16.77
A9	≥ 7	6.62	≥ 500	610	≥ 20	17.21
	≥ 7	6.58	≥ 500	533	≥ 20	15.89
A10	≥ 7	7.63	≥ 500	621	≥ 20	19.96
	≥ 7	7.58	≥ 500	610	≥ 20	18.99
A11	≥ 7	7.54	≥ 500	609	≥ 20	20.11

但价格昂贵,密度很大,用在航空要求重量限制的部位不具有竞争力,只适合作特殊场合的屏蔽原料;铜的导电性能良好,但极易氧化,且不易在聚合物基体中分散,从而失去在复合材料中的应用;金属镍粉具有良好导电性能且有和铁类似的导磁性,可满足宽频电磁屏蔽的需要,但镍密度较大,分散性能差。镀银铝粉是具备与银相当的导电性,而且质量比银要轻。玻璃微珠具有密度小且粒径均匀的特征,特别是空心玻璃微珠,耐高温、耐蚀、蠕变低、质量轻、化学稳定性好,具有优良的力学性能和热物理性能,在建材、塑料、橡胶、涂料等领域得到广泛应用[5];可作为填充材料、保温材料、研磨介质、过滤材料,亦可用于标志牌、屏幕、薄膜等各种回射物品。空心玻璃微球多取自于火力发电厂的粉煤灰[6],来源广泛。但是普通的玻璃微珠是绝缘体,不能作为导电材料的填充材料。使用低密度的导电玻璃微珠作为导电填料,有利于克服导电介质的沉降问题。据文献[7]报道,空心微珠表面化学镀银后,可用作电磁屏蔽材料和吸波材料的导电填料。通过对空心玻璃微球表面进行电磁改性处理,可以提高其对电磁波的吸收,满足隐身要求,在国防和军事工业领域具有极重要的价值[8]。

目前国内比较成熟的镀银粉体合成以后在 $30\ \mu\text{m}\sim 50\ \mu\text{m}$ 之间,根据经验数据,在此范围内导电率相差无几,因此笔者选择了某厂家比较成熟的产品粒径 $40\ \mu\text{m}$ 的镀银铝和镀银玻璃微珠(见表 3),选择将 B1 和 B2 分别添加与选好的 A5 硅橡胶进行混炼,并且压制成标准样片,按照 SJ20673-1998 进行电阻率测试,得到测试结果(见表 4)。

通过试验,玻璃镀银和铝镀银制成的导电橡胶导电性都符合要求,但是镀银玻璃微珠制成导电橡胶的导电性比铝镀银导电橡胶略微差一些,原因分析玻璃微珠虽然表面被银所包裹,但是相比较铝包裹银而言还是导体数量密度少一些。但对于满足指标要求而言,不存在较大质的差别。

2.4. 硫化合成高导电硅橡胶性能测试

2.4.1. 高温、低温、温度冲击串行试验

按照 GJB150A-2009《军用装备实验室环境试验方法》中相关试验方法对铝镀银导电橡胶(A5、B1)和玻璃镀银导电橡胶(A5、B2)进行了高温、低温、温度冲击串行试验,试验结果(见表 5)满足技术指标要求。

Table 3. Conductive filler selection table

表 3. 导电填料选型表

填料代号	填料种类	功能粉体指标	厂家
B1	铝镀银	银覆盖率 20 wt%、平均粒径 $40\ \mu\text{m}$	山西金利恒运有限公司
B2	玻璃镀银微珠	银覆盖率 12 wt%、平均粒径 $40\ \mu\text{m}$	山西金利恒运有限公司

Table 4. Electrical properties of conductive rubber

表 4. 导电橡胶的电性能指标

硅胶代号	填料代号	体电阻率($\Omega\cdot\text{cm}$)		
		指标要求	测试值	符合性
A5	B1	≤ 0.008	0.0044	符合
		≤ 0.008	0.0043	符合
	B2	≤ 0.008	0.0043	符合
		≤ 0.008	0.0063	符合
	B2	≤ 0.008	0.0070	符合
		≤ 0.008	0.0066	符合

高温、低温、温度冲击串行试验后铝镀银导电橡胶(A5、B1)和玻璃镀银导电橡胶(A5、B2)各项指标均有不同程度下降, 但下降值在合理范围之内, 总体来看铝镀银导电橡胶(A5、B1)的指标要相对好一些。

2.4.2. 盐雾试验

按照 GJB150.11A-2009《军用装备实验室环境试验方法 盐雾试验》的试验方法对铝镀银导电橡胶(A5、B1)和玻璃镀银导电橡胶(A5、B2)进行了盐雾试验, 试验结果(见表 6)满足技术指标要求。

盐雾试验后铝镀银导电橡胶(A5、B1)和玻璃镀银导电橡胶(A5、B2)各项指标均有不同程度下降, 但下降值在合理范围之内, 且玻璃镀银导电橡胶(A5、B2)的体积电阻率的指标要相对好一些。

2.4.3. 湿热试验

按照 GJB150.9A-2009《军用装备实验室环境试验方法 湿热试验》的试验方法对铝镀银导电橡胶(A5、B1)和玻璃镀银导电橡胶(A5、B2)进行了湿热试验, 试验结果(见表 7)满足技术指标要求。

湿热试验后铝镀银导电橡胶(A5、B1)和玻璃镀银导电橡胶(A5、B2)各项指标均有不同程度下降, 但下降值在合理范围之内, 总体来看铝镀银导电橡胶(A5、B1)的指标要相对好一些。

2.4.4. 霉菌试验

在苏州广博力学环境试验室按照 GJB150.9A-2009《军用装备实验室环境试验方法 霉菌试验》的试验方法对铝镀银导电橡胶(A5、B1)和玻璃镀银导电橡胶(A5、B2)进行了湿热试验, 试验结果(见表 8)满足技术指标要求。

霉菌试验后根据实验室出具的检测报告, 铝镀银导电橡胶(A5、B1)和玻璃镀银导电橡胶(A5、B2)均可以达到 1 级的水平。

Table 5. Product performance test after low temperature, high temperature and temperature shock test
表 5. 低温、高温、温度冲击试验后产品性能测试

材料代号	扯断强度(MPa)			伸长率(%)			硬度(邵 A)			体积电阻率 $\Omega \cdot \text{cm}$		
	指标要求	试验前	试验后	指标要求	试验前	试验后	指标要求	试验前	试验后	指标要求	试验前	试验后
A5、B1	≥ 2.5	3.44	2.63	≥ 200	212	191	69 ± 5	69	68	≥ 0.05	0.0043	0.0127
A5、B2	≥ 2.5	3.81	3.42	≥ 200	271	245	69 ± 5	69	66	≥ 0.05	0.0066	0.0165

Table 6. Product performance test after Salt spray test (96 hours)
表 6. 盐雾试验后(96 小时)产品性能测试

材料代号	扯断强度(MPa)			伸长率(%)			硬度(邵 A)			体积电阻率 $\Omega \cdot \text{cm}$		
	指标要求	试验前	试验后	指标要求	试验前	试验后	指标要求	试验前	试验后	指标要求	试验前	试验后
A5、B1	≥ 2.5	3.44	2.63	≥ 200	212	191	69 ± 5	69	69	≥ 0.05	0.0043	0.0490
A5、B2	≥ 2.5	3.81	2.58	≥ 200	271	213	69 ± 5	69	67	≥ 0.05	0.0066	0.0221

Table 7. Product performance test after hot humid test
表 7. 湿热试验后产品性能测试

材料代号	扯断强度(MPa)			伸长率(%)			硬度(邵 A)			体积电阻率 $\Omega \cdot \text{cm}$		
	指标要求	试验前	试验后	指标要求	试验前	试验后	指标要求	试验前	试验后	指标要求	试验前	试验后
A5、B1	≥ 2.5	3.44	2.63	≥ 200	212	191	69 ± 5	69	69	≥ 0.05	0.0043	0.0127
A5、B2	≥ 2.5	3.81	2.91	≥ 200	271	246	69 ± 5	69	68	≥ 0.05	0.0066	0.0188

Table 8. Mould test
表 8. 霉菌试验

材料代号	产品评定等级
A5、B1	1 级
A5、B2	1 级

3. 结论

- 1) 采用 30 度级且平均分子量 120 万的乙烯基硅橡胶和平均粒径 40 μm 的铝镀银或玻璃镀银填料制成的高导电硅橡胶具有优秀的电性能、力学性能和环境适应性能。
- 2) 填充铝镀银的导电硅橡胶的电性能和力学性能要优于玻璃微珠导电硅橡胶。
- 3) 填充玻璃镀银微珠的导电硅橡胶的耐盐雾环境性能要优于铝镀银导电硅橡胶。

参考文献 (References)

- [1] 陈元章. 军用电子设备的防护技术[J]. 航天工艺, 1997(5): 35-37.
- [2] 郭颜萍. 电磁屏蔽技术在电子设备中的应用[J]. 山东科学, 2005, 18(5): 48-51.
- [3] 生楚君. 高电导率导电橡胶的研制及应用[J]. 电子工艺技术, 1997, 18(5): 191.
- [4] 武学高. 塑料电镀技术[M]. 成都: 四川科技出版社, 1994: 366-372.
- [5] Dlouhy, I. and Boccaccini, R. (1996) Preparation Microstructure and Mechanical Properties of Metal Particulate/Glass Matrix Composite. *Composites Science and Technology*, **6**, 1415-1424.
- [6] 蔡楚江, 俞晓正, 沈志刚, 等. 空心微珠表面金属化研究[J]. 现代化工, 2006, 26(s1): 241-244.
- [7] 张辉, 孙洁, 沈兰萍. 空心微珠化学镀银研究[J]. 电镀与涂饰, 2007, 26(1): 26-29.
- [8] 王宇, 张骁勇, 毛丽. 空心玻璃微珠化学镀银的研究[J]. 材料科学与工程学报, 2004, 22(5): 753-756.

期刊投稿者将享受如下服务:

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

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

期刊邮箱: amc@hanspub.org