

远红外线陶瓷粉对硅橡胶性能的影响

张杰, 张弘, 常师闻

(沈阳宝顺安安全设备有限公司, 辽宁 沈阳 110000)

摘要: 利用液体硅橡胶注射成型机, 使用远红外陶瓷粉和加成型液体硅橡胶材料可制备远红外硅橡胶制品。利用远红外陶瓷粉的热效应, 可提高远红外硅橡胶制品的附加值。远红外陶瓷粉的添加量对硅橡胶制品的拉伸性能和撕裂性能会有一定的影响。通过对比试验, 使用万能试验机对远红外硅橡胶试样的性能与普通硅橡胶试样的性能进行测试和对比分析。实验结果表明: 添加远红外陶瓷粉后, 远红外硅橡胶的拉伸强度减小, 拉伸伸长率减小, 撕裂强度增大。并且在推荐值范围内随着远红外陶瓷粉填充量的增大, 远红外硅橡胶的拉伸强度逐渐减小, 拉伸伸长率逐渐减小, 撕裂强度逐渐增大。远红外硅橡胶制品在设计配方时, 要考虑远红外陶瓷粉用量对制品性能的影响, 合理选择材料。

关键词: 远红外陶瓷粉; 硅橡胶; 拉伸强度; 拉伸伸长率; 撕裂强度

中图分类号: TQ333.93

文献标识码: B

文章编号: 1009-797X(2024)09-0045-04

DOI: 10.13520/j.cnki.rpte.2024.09.010

硅橡胶制品具有优异的综合性能, 已在航空、宇航、电气、电子、电器、化工、仪表、汽车、机械等工业以及医用材料、防护用具、成人用品等各个领域中获得广泛的应用^[1]。随着远红外辐射研究的迅速发展^[2], 远红外辐射材料越来越受到人们的重视。远红外陶瓷粉已开始应用于运动训练康复产品以及人体保健方面。远红外陶瓷粉能够辐射出比正常物体更多的远红外线, 特定波长的远红外线易被人体吸收, 并能激活生物大分子的活性。进而可以改善血液循环, 促进新陈代谢、提高免疫力, 并具有消炎镇痛、减弱肌肉张力的作用^[3]。常温高发射率远红外陶瓷粉已成功地应用于保健织物等产品^[4], 远红外保健产品将会有广阔的市场前景和应用价值^[5]。

将硅橡胶和远红外陶瓷粉利用共混注射技术, 制备的远红外硅橡胶制品可以提高产品的附加值, 推动医疗卫生、防护用具等领域的发展。名称为“一种穿戴式硅胶红外发热片^[6]”的专利将远红外陶瓷粉末参杂进入柔性高分子中, 制备了一种穿戴式硅胶红外发热片。名称为“一种远红外硅橡胶节油动力条及其制备方法^[7]”的专利采用甲基乙基硅橡胶、钡铁氧体和远红外陶瓷粉等材料制备了一种硅橡胶节油动力条。目前关于远红外陶瓷粉对硅橡胶性能影响的研究报道尚很少见。本文研究了远红外陶瓷粉对硅橡胶性能的影响, 以期对远红外硅橡胶制品的设计和制备提供指导。

1 实验

1.1 原材料

加成型液体硅橡胶, AB组分(质量比 50:50), 粘度 5 000 Pa·S, 密度 1.10 g/cm³。基础聚合物为 $\text{ViMe}_2\text{SiO}(\text{Me}_2\text{SiO})_n\text{SiMe}_2\text{Vi}$, 交联剂为含有多 Si—H 键的硅氧烷, 催化剂为铂系化合物, 填料为白炭黑。

远红外陶瓷粉, 为 6 000 目的白色远红外陶瓷粉。远红外陶瓷粉是以多种无机化合物及微量金属或特定的天然矿石分别以不同的比例配合, 再经 1 200~1 600 °C 高温煅烧而成, 能辐射出特定波长远红外线的特种陶瓷材料。波长为 3~15 μm 的远红外线与人体红外吸收谱匹配完美, 故称为“生命热线”或“生理热线”。

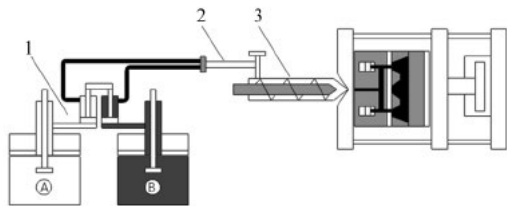
1.2 液体硅橡胶注射成型机

采用液体硅橡胶注射成型机^[8]制备远红外硅橡胶, 液体硅橡胶注射成型工艺流程示意图 1 所示。整个注射成型系统分为以下几个部分: 第一单元是计量进料单元, 通过液压压盘将液体硅橡胶的两个组分直接从包装桶中精确计量进入系统内; 第二单元是混合单元, 通过静态混合器将进入系统的两个组分充分混合均匀, 并且体系中不带入气泡; 第三单元是注射成型单元, 混合好的硅橡胶材料通过注射单元定量注

作者简介: 张杰 (1980—), 女, 高级工程师, 本科, 主要从事高分子材料(橡胶和塑料)开发及产业化研究工作。

收稿日期: 2023-06-29

射到模具中,并均匀分配到各个模腔,然后热硫化。整个过程全自动化,设定好参数后可实现无人工控制,提高生产效率。



1— 计量进料单元; 2— 混合单元; 3— 注射成型单元

图1 液体硅橡胶注射成型工艺流程示意图

1.3 分析测试仪器

万能试验机,符合 ISO5893 的规定,其测力精度达到 B 级;红外测温仪,精度 $\pm 0.1\text{ }^\circ\text{C}$ 。

1.4 远红外硅橡胶样片的制备

(1) 称料配料 按配方称量加成型液体硅橡胶 A 组分、B 组分和远红外陶瓷粉。

(2) 混料 用液体硅橡胶混合机将配完的料混合均匀。

(3) 固化成型 采用液体硅橡胶注射成型机(试验时也可用平板硫化机)制备远红外硅橡胶制品和样片。设备参数:压力为 15 MPa,温度 $130\text{ }^\circ\text{C}$,硫化时间为 5 min。

(4) 裁切试片 样片在室温下停放 16 h,用切片机和冲切工装裁切远红外硅橡胶样片。拉伸强度和拉断伸长率采用哑铃状试样^[9]。撕裂强度采用角形^[10]试样。每组试样不少于 5 个。

1.5 远红外硅橡胶性能对比实验

1.5.1 远红外硅橡胶制品的测试

远红外硅橡胶的测试方法,可以采用对比测试方法,具体方法有皮肤表面温度测试、红外测温仪法、热阻 CLO 值测定法^[11]。皮肤表面温度测试法是直接测试人体穿戴远红外硅橡胶制品后,人体皮肤表面温度的变化情况。红外测温仪法是以红外灯为光源,照射远红外制品一段时间后,用高灵敏红外线测温仪测定表面温度。根据基尔霍夫定理,制品吸收的红外线越多,其表面温度越高,穿着该制品后向人体辐射的远红外线也越多,故起到保温加热作用。热阻 CLO 值测定法通过换算测试出远红外制品的保暖性。皮肤表面温度测试法最简单。

1.5.2 拉伸性能测试

使用哑铃状试样,按 GB/528 中的规定进行测试,

拉伸速度为 $(500\pm 50)\text{ mm/min}$ 。测试数量为 5 个。拉伸强度 TS 按公式(1)计算;

$$TS = \frac{F_m}{Wl} \quad (1)$$

式中:

- TS— 拉伸强度, MPa;
- F_m — 应力的最大值, N;
- W— 裁刀狭窄部分的宽度, mm;
- l— 试样长度部分厚度, mm。

拉断伸长率 E_b 按公式(2)计算;

$$E_b = \frac{L_b - L_0}{L_0} \times 100\% \quad (2)$$

式中:

- E_b — 拉断伸长率, %;
- L_b — 断裂时的试样长度, mm;
- L_0 — 初始试样长度, mm。

1.5.3 撕裂性能测试

使用直角形试样裁刀裁切的试样,按 GB/T529 中的规定进行测试。夹持器移动速度为 $(500\pm 50)\text{ mm/min}$ 。测试数量为 5 个。撕裂强度 T_s 按公式(3)计算。

$$T_s = \frac{F}{d} \quad (3)$$

式中:

- T_s — 撕裂强度, kN/m;
- d— 试样厚度的中位数, mm;
- F— 试样撕裂时所需要的力, N。

2 结果与讨论

2.1 远红外硅橡胶制品测试

通过皮肤表面温度测试法,穿戴远红外硅橡胶制品后,皮肤表面温度升高。

对于具有高红外辐射能力的材料,辐射能以红外线的形式输出^[12]。常温红外线陶瓷粉从外界吸收能量,而后以远红外能量形式输出,最终保持能量平衡。常温远红外陶瓷粉的能量流动^[13]见公式(4)至(6)。

$$E_A \leftrightarrow E_{L2} \quad \Delta t = 0 \quad (4)$$

式中:

- E_A — 外界进入系统的能量;
- E_{L2} — 系统向外界输出的能量。

$$E_C \leftrightarrow E_{L1} \quad \Delta t = 0 \quad (5)$$

式中:

- E_C — 远红外陶瓷粉向系统输出的能量;
- E_{L1} — 远红外陶瓷粉从系统吸收的能量。

系统中总能量平衡为：

$$E_A + E_C = E_{L2} + E_{L1} \quad \Delta t = 0 \quad (6)$$

远红外辐射对人体的首要作用是提高皮肤和皮下组织的温度，促进血液循环和新陈代谢，促进人体健康。远红外理疗对组织的热效应、抗炎效应和促进再生效应已得到临床认可。

2.2 拉伸强度、拉断伸长率、撕裂强度测试

2.2.1 拉伸强度、拉断伸长率、撕裂强度测试结果

红外陶瓷粉添加量分别为 0.1%、0.5%、1%、2%、3% 的远红外硅橡胶与无添加的硅橡胶，分别做拉伸性能测试和撕裂性能测试，测试值见表 1。

表 1 远红外硅橡胶性能测试数值表

序号	远红外陶瓷粉比例 / %	拉伸强度 / MPa	拉断伸长率 / %	撕裂强度 / (kN·m ⁻¹)
1	0	7.51	1006	15.6
2	0.1	6.63	931	17.0
3	0.5	5.91	880	19.4
4	1	5.50	820	20.2
5	2	5.03	730	21.0
6	3	4.72	639	21.6

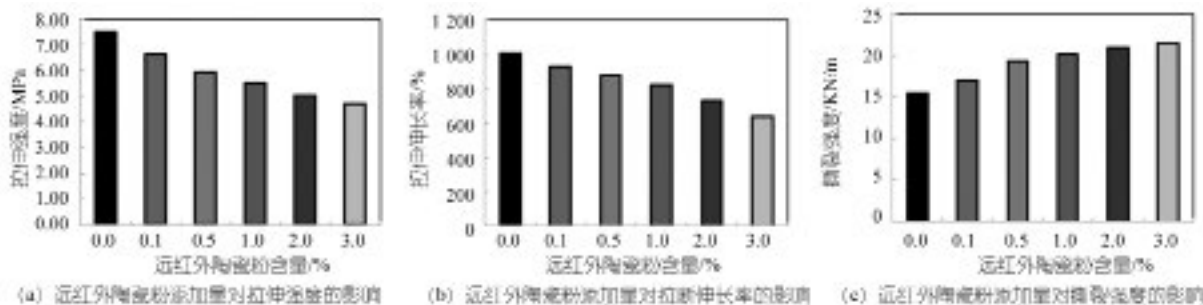
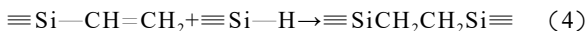


图 2 拉伸强度、拉断伸长率、撕裂强度测试结果分析

3 结论

(1) 远红外硅橡胶，随着远红外陶瓷粉添加量的增大，拉伸强度减小，拉断伸长率减小。加成型液体硅橡胶系以含乙烯基的聚二有机硅氧烷为基础聚合物^[14]，含多个 Si—H 键的聚有机硅氧烷为交联剂，在铂系催化剂作用下，于室温或加热下进行加成反应，得到立体交联结构的硅橡胶，反应方程式示意图式 4。



高分子材料的拉伸强度上限取决于主链化学键和分子链间的作用力。凡影响分子间作用力的其它因素均对拉伸强度有影响。硅橡胶硫化后形成三维网状结构，随着远红外陶瓷粉的添加及添加量的增大，网状结构的有效数量减小。拉伸强度减小，拉断伸长率减

2.2.2 拉伸强度、拉断伸长率、撕裂强度测试结果讨论

性能测试结果分析见图 2，其中图 3(a) 所示为远红外陶瓷粉添加量对拉伸强度的影响。从图中可见，添加量为 1% 时拉伸强度降低约 27%，添加量达到 3% 时拉伸强度降低约 37%。添加远红外陶瓷粉后，拉伸强度变小，并且随着添加量的增加，远红外硅橡胶的拉伸强度逐渐减小。

图 2(b) 示为远红外陶瓷粉添加量对拉断伸长率的影响。从图中可见，添加量为 1% 时拉断伸长率降低约 18%，添加量达到 3% 时拉断伸长率降低约 36%。添加远红外陶瓷粉后，拉断伸长率变小，并且随着添加量的增加，远红外硅橡胶的拉断伸长率逐渐减小。

图 2(c) 所示为远红外陶瓷粉添加量对撕裂强度的影响。从图中可见，添加量达到 1% 时撕裂强度提高约 29%，添加量达到 3% 时撕裂强度提高约 36%。添加远红外陶瓷粉后，撕裂强度变大，并且随着添加量的增加，远红外硅橡胶的撕裂强度逐渐增大。

小。

(2) 远红外硅橡胶，随着远红外陶瓷粉添加量的增加，撕裂强度增大。撕裂是橡胶弹性体材料中的裂纹，由于受力而导致裂纹扩大的现象。影响撕裂性能的因素很多，比如材料本身特性、交联密度、硫化时间、硫化体系、补强体系、物料的均一性等等。远红外陶瓷粉中含有滑石粉，滑石粉各向异性，适当的添加滑石粉，可以提高胶料的抗撕裂性能和抗切口增长。故随着远红外陶瓷粉添加量的增加，撕裂强度增大。

参考文献：

- [1] 杨丽娜, 高建峰, 周光强. 加成型液体硅橡胶的研究进展 [J]. 有机硅材料, 2011(06).
- [2] 王世林. 远红外加热技术的发展与现状 [J]. 甘肃轻纺科技,

- 1997(02):33-35.
- [3] 戴永刚, 罗凤钻, 高张海. 红外辐射陶瓷材料的研究现状及趋势 [J]. 佛山陶瓷, 2014,24(05):9-13.
- [4] 石成利, 梁忠友, 侯和峰. 红外辐射材料的研究现状及其应用 [J]. 陶瓷, 2004(04):19-21.
- [5] 杨如增, 杨满珍, 廖宗廷, 等. 天然黑色电气石红外辐射特性研究 [J]. 同济大学学报(自然科学版), 2002(02):183-188.
- [6] 盛伟东, 滕永进. 一种穿戴式硅胶红外发热片 [P]. 广东: CN205921760U, 2017-02-01.
- [7] 黄海耀. 一种远红外硅橡胶节油动力条及其制备方法 [P]. 广东省: CN109912985A, 2019-06-21.
- [8] 张桂华. 加成型液体硅橡胶注射成型工艺 [J]. 世界橡胶工业, 2006(09):29-31+36.
- [9] 任黎, 陈宁, 马亚南, 等. 材料拉伸性能测试试样形状与评判方法 [J]. 化学推进剂与高分子材料, 2013,11(02):33-36.
- [10] 毕连英. 鉴定橡胶撕裂强度的新方法 [J]. 世界橡胶工业, 2001(03):40-43.
- [11] 徐凤. 远红外纺织品的开发与应用 [J]. 江苏丝绸, 2011(06):46-48.
- [12] 姚鼎山. 远红外保健纺织品 [M]. 上海: 中国纺织大学出版社, 1996.
- [13] 何登良, 董发勤, 刘家琴, 等. 远红外功能材料的发展与应用 [J]. 功能材料, 2008, No.247(05):709-712+716.
- [14] 本刊编辑部. 一种耐热透明加成型液体硅橡胶及其制备方法 [J]. 橡胶科技, 2020,18(01):57.

Influence of far-infrared ceramic powder on the properties of silicone rubber

Zhang Jie, Zhang Hong, Chang Shiwen

(Shenyang Baoshunan Safety Equipment Co. LTD., Shenyang 110000, Liaoning, China)

Abstract: Using a liquid silicone rubber injection molding machine, far-infrared ceramic powder and additive liquid silicone rubber materials can be used to prepare far-infrared silicone rubber products. By utilizing the thermal effect of far-infrared ceramic powder, the added value of far-infrared silicone rubber products can be increased. The addition amount of far-infrared ceramic powder has a certain impact on the tensile and tear properties of silicone rubber products. Through comparative experiments, the performance of far-infrared silicone rubber samples was tested and compared with that of ordinary silicone rubber samples using a universal testing machine. The experimental results show that after adding far-infrared ceramic powder, the tensile strength of far-infrared silicone rubber decreases, the elongation at break decreases, and the tear strength increases. And within the recommended range, as the amount of far-infrared ceramic powder added increases, the tensile strength of far-infrared silicone rubber gradually decreases, the elongation at break gradually decreases, and the tear strength gradually increases. When designing the formula for far-infrared silicone rubber products, the influence of far-infrared ceramic powder dosage on product performance should be considered, and materials should be selected reasonably.

Key words: far-infrared ceramic powder; silicone rubber; tensile strength; elongation at break; tear strength

(R-03)

