

碳酸钙晶须对摩擦材料摩擦磨损性能的影响

李玉红 杨 振

(咸阳师范学院化学与化工学院, 咸阳 712000)

摘 要 采用干法热压成型工艺制备了碳酸钙晶须含量不同的增强摩擦材料,研究了碳酸钙晶须含量对摩擦材料摩擦性能、磨损性能、物理性能和机械性能的影响。结果表明,添加适量的碳酸钙晶须有助于改善材料的摩擦磨损性能和力学性能,当碳酸钙晶须质量分数为 12% 时,摩擦材料的平均摩擦系数为 0.40,平均磨损率为 $0.24 \times 10^{-7} \text{ cm}^3/(\text{N} \cdot \text{m})$,平均冲击强度和洛氏硬度分别为 4.02 J/cm^2 和 71,密度为 2.15 g/cm^3 。

关键词 碳酸钙晶须,摩擦系数,摩擦磨损性能

Performances study on resin-based friction material reinforced by calcium carbonate whisker

Li Yuhong Yang Zhen

(School of Chemistry and Chemical Industry, Xianyang Normal University, Xianyang 712000)

Abstract Friction materials was filled with calcium carbonate whiskers as filler. The resin-based friction materials reinforced by calcium carbonate whisker were designed and conducted with thermo-compression craft. The surface friction properties, wear performance, physical and mechanical properties were investigated in detail. The friction and wear behavior of samples could be enhanced with a suitable content of calcium carbonate whiskers. When the content of calcium carbonate whiskers addition was 12%, the sample displayed better performance. The friction coefficient was 0.40, the rate of wear was $0.24 \times 10^{-7} \text{ cm}^3/(\text{N} \cdot \text{m})$, the impact strength was 4.02 J/cm^2 and the Rockwell hardness was 71, the density was 2.15 g/cm^3 .

Key words calcium carbonate whiskers, friction coefficient, friction and wear behavior

随着科技的进步,人们对摩擦材料的要求也越来越高,不仅要求其具有良好的机械传动与制动性能,而且要求其环保且使用舒适。普通材料一般存在晶界、位错、空穴等缺陷,而晶须不具有这些缺陷且其原子排列高度有序、是一种单晶形式、强度接近晶体理论值的纤维。新型无机盐碳酸钙晶须具有高耐磨、耐热、热衰退、热恢复良好等性能,利用其制备的摩擦材料具有良好的减振、防滑、降噪、吸波及延长寿命的特点。碳酸钙晶须来源丰富,价廉且环保,是应用前景广阔的摩擦增强材料^[1],能大幅度提高摩擦材料的力学性能^[2]。杨明山等^[3]利用碳酸钙晶须对聚丙烯(PP)材料进行改性。结果表明,在 PP 材料中填充质量分数 15% 的碳酸钙晶须,能使 PP 材料的冲击强度提高 31.5%,拉伸断裂强度提高 35.7%,弯曲模量提高 117% 且熔体流动速率基本保持不变。王会利等^[4]的研究表明,碳酸钙晶须作为涂料增粘剂能够提高涂料黏度和抗开裂性能,增

加涂料的触变性、附着力和粘接强度。研究表明,碳酸钙晶须能改善医用骨科金属固定材料的缺陷和临床并发症,逐步被应用于临床医学^[5]。碳酸钙晶须是一种环境友好的、以单晶形式生长的新型针状短纤维材料,具有纤维和矿物微细粉双重作用的亚纳米纤维材料,是继纳米碳酸钙之后的又一种新型无机环保填充的高强度、高模量、高韧性的微纤维增强材料,其作为无机矿物微纤维,能够充分发挥纤维增强和细颗粒填充的双重作用^[6-7]。

本研究采用干法热压成型工艺制备了碳酸钙晶须增强摩擦材料,考察了碳酸钙晶须含量对摩擦材料摩擦磨损性能、物理性能和力学性能的影响。

1 实验部分

1.1 原料与仪器

粉末碳酸钙晶须,江西峰竺新材料科技公司;粉末硅酸铝、颗粒状蛭石,天津开发区海光化学制药

厂; 颗粒状钢纤维, 天津市博迪化工有限公司; 絮状芳纶、粉末长石、粉末碳酸钙, 天津市化学试剂厂; 粉末酚醛树脂, 山东圣泉新材料有限公司; 颗粒状铬铁矿, 巩义市鸿乐矿产品有限公司; 粉末硫酸钡, 福建省德化县美龙矿业开发有限公司; 粉末石墨及颗粒状石油焦, 河北灵寿县华硕矿产品加工厂; 粉末氧化铝、粉末萤石, 营口启和粉体工业有限公司; 粉末炭黑, 河北灵寿县卓越产品加工厂。

定速摩擦试验机(XD-MSM 型), 咸阳新益摩擦密封设备有限公司; 摩擦片压片成型-侧板式平板硫化机(XLB-D400 × 400 型), 西安市裕华橡胶机械厂; 洛氏硬度计(HR-150A 型), 昆山市顺诺仪器有限公司; 高速粉碎机(6202 型), 北京环亚天元机械技术有限公司; 扫描电子显微镜(SEM, JSM 6380 LV 型), 日本日立公司。

1.2 碳酸钙晶须增强摩擦材料的制备

采用干法热压成型工艺制备碳酸钙晶须增强摩擦材料, 制备过程如下: 原料的粒度、湿度应符合相关质量标准, 按照实验配方准确称取原料, 首先将芳纶纤维和石墨加入混料机搅拌 2min, 然后加入其他原料以 1500r/min 转速搅拌 3min, 得到混合料。将一定量混合料填入模具, 在温度 150℃、压力 20MPa 条件下压制 10min。热压成型过程中, 每 15s 排气 1 次, 共排气 3 次, 然后每 50s 排气一次, 共排气 4 次。成型温度与原料中树脂的种类、树脂状态有关。压力控制不当会造成一系列质量问题, 因此合理控制排气时间、排气次数非常重要。为保证热压成型的摩擦材料完全交联固化, 通过热处理消除材料的内应力, 使产生的气体从材料空隙中排出, 以防止材料变形。

应用“逐步替代法”, 每个配方中当碳酸钙晶须含量增加 2%(wt, 质量分数, 下同)时相应减少硅酸铝纤维含量, 以保证制备的摩擦材料中增强纤维总质量分数保持在 42%。碳酸钙晶须增强摩擦材料的实验配方见表 1, 其热处理工艺参数见表 2。

表 1 碳酸钙晶须增强摩擦材料的实验配方

配方编号	组分
1	15%酚醛树脂+28%硅酸铝纤维+5%钢纤维+1%芳纶纤维+8%碳酸钙晶须+43%填料
2	15%酚醛树脂+26%硅酸铝纤维+5%钢纤维+1%芳纶纤维+10%碳酸钙晶须+43%填料
3	15%酚醛树脂+24%硅酸铝纤维+5%钢纤维+1%芳纶纤维+12%碳酸钙晶须+43%填料

续表

配方编号	组分
4	15%酚醛树脂+22%硅酸铝纤维+5%钢纤维+1%芳纶纤维+14%碳酸钙晶须+43%填料
5	15%酚醛树脂+20%硅酸铝纤维+5%钢纤维+1%芳纶纤维+16%碳酸钙晶须+43%填料

注: 表中数据均为质量分数。

表 2 碳酸钙晶须增强摩擦材料热处理工艺参数

固化阶段	温度/℃	升温时间/h	温度/℃	保温时间/h
第一阶段	0~125	1	125	2
第二阶段	125~140	1	140	2
第三阶段	140~155	1	155	3
第四阶段	155~165	1	165	4

1.3 分析与测试

采用扫描电子显微镜分析碳酸钙晶须的微观形貌; 采用定速摩擦试验机测试摩擦材料的摩擦系数。将制备的碳酸钙晶须增强摩擦材料切割裁剪成样片, 测试样片的密度、洛氏硬度、冲击强度。

2 结果与讨论

2.1 SEM 分析

放大倍率不同的碳酸钙晶须 SEM 图见图 1。由图可知, 碳酸钙晶须主要为 20~30μm 的纤维单晶体。

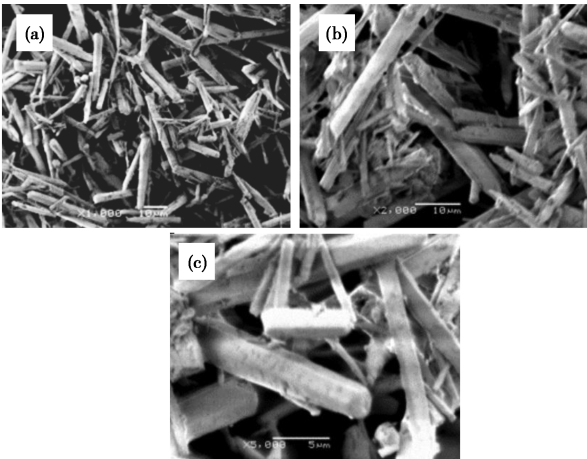


图 1 放大倍率不同的碳酸钙晶须的 SEM 图
[(a) × 1000; (b) × 2000; (c) × 5000]

2.2 力学性能分析

碳酸钙晶须增强摩擦材料的力学性能见表 3。由表可知, 利用配方 3(碳酸钙晶须含量为 12%)制备的碳酸钙晶须增强摩擦材料, 平均冲击强度

为 $4.02\text{J}/\text{cm}^2$, 平均洛氏硬度为 71, 平均密度为 $2.15\text{g}/\text{cm}^3$ 。

表 3 碳酸钙晶须增强摩擦材料的力学性能

配方 编号	平均密度/ ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	平均冲击强度/ ($\text{J}\cdot\text{cm}^{-2}$)	平均洛氏 硬度
1	2.13	3.78	69
2	2.15	3.83	70
3	2.15	4.02	71
4	2.15	4.12	71
5	2.17	4.18	73

2.3 摩擦磨损性能研究

采用定速摩擦试验机测试碳酸钙晶须增强摩擦材料升温及降温过程中的摩擦系数, 升降温过程中摩擦系数随温度变化的曲线见图 2。由图可以看出: 升温过程中使用不同配方制备的碳酸钙晶须增强摩擦材料在温度为 150°C 时, 摩擦系数均达到最大值; 与其他摩擦材料相比, 使用配方 5 制备的摩擦材料摩擦系数最小, 平均摩擦系数仅为 0.33; 使用配方 3 (碳酸钙晶须含量为 12%) 制备的摩擦材料平均摩擦系数为 0.40, 在升温及降温过程中该材料的摩擦系数变化相对平稳。

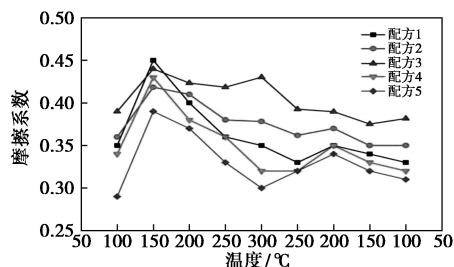


图 2 升降温过程中碳酸钙晶须增强摩擦材料摩擦系数随温度变化的曲线图

图 3 为碳酸钙晶须增强摩擦材料平均磨损率随温度变化的曲线图。从图可以看出: 使用配方 1、配方 2、配方 5 制备的碳酸钙晶须增强摩擦材料的平均磨损率随温度的升高而逐渐增大; 温度超过 250°C 时, 使用配方 4 制备的摩擦材料平均磨损率降低, 而使用其他配方制备的摩擦材料平均磨损率升高。磨损率提高主要是摩擦材料内部的增强纤维在长时间的磨损过程中折断所致。实验使用的粘结剂为酚醛树脂, 温度高于 250°C 时, 酚醛树脂出现软化, 对增强纤维的粘附作用变差, 增强纤维很容易发生脱落现象, 使得摩擦材料平均磨损率显著提高。使用配方 3 制备的摩擦材料, 其平均磨损率随温度的升高先降低再升高, 说明当碳酸钙晶须含量为 12% 时, 摩擦材料可以在 150°C 内长时间使用, 磨损

率衰减最小。从图还看出, 碳酸钙晶须可以显著提高摩擦材料的耐磨性, 碳酸钙含量为 12% 时, 摩擦材料的平均磨损率为 $0.24 \times 10^{-7} \text{cm}^3/(\text{N}\cdot\text{m})$ 。

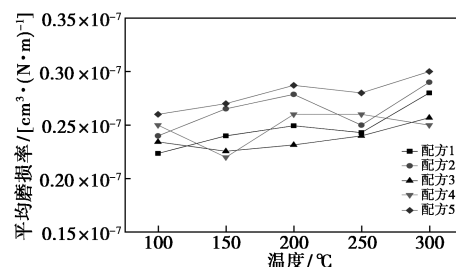


图 3 碳酸钙晶须增强摩擦材料平均磨损率随温度变化的曲线图

3 结论

(1) 加入适量碳酸钙晶须, 同时适度降低硅酸铝纤维含量, 可以改变摩擦材料的摩擦系数。但随着碳酸钙晶须含量的增加, 相同温度条件下, 使用配方 4、配方 5 制备的摩擦材料其摩擦系数相对减小。使用配方 3 制备的摩擦材料, 在升温及降温过程中材料的摩擦系数变化相对平稳。

(2) 掺入适量碳酸钙晶须, 可以明显地提高摩擦材料的摩擦磨损性能。碳酸钙晶须含量为 12% 时, 制备的碳酸钙晶须增强摩擦材料综合性能最佳, 表现为材料摩擦磨损性能优良, 其平均摩擦系数为 0.40, 平均磨损率为 $0.24 \times 10^{-7} \text{cm}^3/(\text{N}\cdot\text{m})$, 平均冲击强度和洛氏硬度分别为 $4.02\text{J}/\text{cm}^2$ 和 71, 平均密度为 $2.15\text{g}/\text{cm}^3$ 。

参考文献

- [1] Fairchild G H, Thatcher R L. Circular calcite and aragonite calcium carbonate; US, 6071336[P]. 2000-06-06.
- [2] Chen J, Chen P, Wu L C, et al. Enhanced fibrillation of LCP by CaCO_3 whisker in polysulfide matrix through increasing elongation stress[J]. Polymer, 2006, 47: 5402-5410.
- [3] 杨明山, 何成汉. 碳酸钙晶须制备及其对聚丙烯的改性[J]. 现代塑料加工应用, 2008, 20(6): 21-24.
- [4] 王会利, 杨娟娟, 刘斌, 等. 碳酸钙晶须在涂料中的应用[J]. 涂料工业, 2004, 34(4): 52-54.
- [5] 徐执扬, 刘建国, 徐萃香. 晶须碳酸钙/聚 L-乳酸复合材料的合成与实验研究[J]. 骨与关节损伤杂志, 2003, 18(11): 756-759.
- [6] 李妍. 碳酸钙晶须增强泡沫混凝土的试验研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2014.
- [7] 魏景峰. 高强度含孔隙制动摩擦材料的研究[D]. 上海: 华东理工大学, 2006.

收稿日期: 2018-12-28

修稿日期: 2020-02-06