

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2012.04.020

硅灰石纤维改性 PTFE 材料摩擦性研究

禹权¹, 叶素娟²

(1. 金发科技股份有限公司产品研发中心, 塑料改性加工国家工程实验室, 广州 510520)

(2. 华南理工大学材料学院, 广州 510640)

摘要: 采用硅灰石纤维(WF)、青铜粉、石墨填充改性聚四氟乙烯(PTFE), 制备了 PTFE 摩擦材料。结果表明, 与用作密封件的传统改性 PTFE 材料相比, 采用 WF、青铜粉与石墨复合改性的 PTFE 材料, 具有较好的抗磨损性能, 对磨材料损伤较轻微, 具有较好的硬度, 能用作长期使用的密封材料。

关键词: 聚四氟乙烯; 硅灰石纤维; 摩擦磨损; 对磨性

中图分类号: TQ327.8 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2012)04-0073-03

Research of the Tribological Properties of Mineral Fiber Filled PTFE Composites

Yu Quan¹, Ye Sujuan²

(1. Research and Development Center, National Engineering Laboratory for Plastic Modification and Processing, Kingfa Science and Technology Co., Ltd., Guangzhou 510520, China)

(2. Material and Engineering Science School, South China University of technology, Guangzhou 510640, China)

Abstract: Wollastonite fiber (WF), bronze powder, graphite were filled in Polytetrafluoroethylene (PTFE) to make PTFE seal materials. The results showed that compared with conventional PTFE materials, PTFE filled with WF, bronze and graphite had the advantages of better wear resistance, less scratching to couple ring, had better hardness and could be used as long life seal materials.

Keywords: Polytetrafluoroethene; wollastonite fiber; friction and wear; scratching properties

聚四氟乙烯(PTFE)是优良的固体润滑材料, 且化学稳定性和热稳定性良好。然而, PTFE 磨损率高, 在外力作用下有较大黏弹性变形, 易蠕变^[1], 这些缺点限制了 PTFE 在实际中的应用。为了弥补 PTFE 性能上的不足, 需要对其进行改性以获得良好的性能^[2]。

填充改性是一种简单有效的方法, 既可保持其优点, 又可利用复合效应, 改善和克服 PTFE 的缺陷, 提高其综合性能。在 PTFE 中加入不同的填料, 可以显著提高其硬度及耐磨性。人们通常采用各种纤维作为增强体; 采用颗粒填充 PTFE, 如固体润滑剂、金属粉末、金属氧化物和金属氟化物改善 PTFE 耐磨性能的研究在工业产品中也常使用^[3]。陶瓷颗粒如 SiC, SiN₄, BN 也是常用的填充改性材料。纳米材料和聚酰亚胺、聚醚醚酮等芳香类聚合物也是 PTFE 重要的填料^[4]。在 PTFE 基体中加入各种填料进行复合化, 可综合发挥各种材料的优势, 以提高其耐磨性能。硅灰石纤维(WF)作为一种填充材料, 常用于普通工程塑料, 在 PTFE 材料中应用的较少。

国外著名密封厂家已经研究过 WF 改性 PTFE, 并且已经实现产品的工业化。为了进一步开发 PTFE 的应用领域, 开拓材料配合技术的范围, 笔者对 WF 和青铜粉复合改性 PTFE 的性能进行了研究。

1 实验部分

1.1 原材料

PTFE: M18F, 大金公司;

青铜粉: 安徽旭晶粉体材料有限公司;

WF: 粒径为 6.5 μm, 美国 nycol 公司。

1.2 仪器及设备

高低温拉力机: 德国 Zwick 公司;

邵氏 D 硬度计: LX-D 型, 上海六凌仪器厂;

摩擦磨损实验机: M2000 型, 宣化县机床厂。

1.3 试样制备

采用常规的 PTFE 样品制备工艺, 流程如下:

PTFE+ 填料 → 搅拌机混合 → 预冷压成型 → 烧结成型 → 毛坯制品 → 机加工 → 打磨 → 清洗 → 试样

联系人: 叶素娟, 博士, 主要从事橡塑密封材料改性研究

收稿日期: 2012-01-12

1.4 性能测试

拉伸性能按 GB/T 1040-1992 测试,压缩性能按 GB/T 1041-2008 测试,硬度按 GB/T 2411-1989 测试。

摩擦磨损性能按 GB 3960-1983 测试,磨损试样尺寸为 320 mm × 7 mm × 4 mm。干摩擦和油润条件下进行 60 min 实验,速度为 0.42 m/s,载荷为 200,300,400 N。摩擦系数(μ)按下式计算:

$$\mu = M / (F \cdot R) \quad (1)$$

式中: M ——摩擦力矩, N·m;

F ——载荷, N;

R ——对磨环半径, m,可直接通过设备配套软件直接计算得到。

在磨损试验中以体积损失量(ΔV)作为评定材料耐磨性能的指标,试验结果为 3 次磨痕体积取平均值,磨损体积计算公式如下^[5]:

$$\Delta V = B[R^2 \sin^{-1}(S/2R) - S/2(R^2 - S^2/4)^{1/2}] \quad (2)$$

式中: B ——磨痕宽度, mm;

S ——试样宽度, mm;

R ——对磨环半径, mm。

对磨实验采取 45[#] 钢环与 PTFE 环相对磨的形式,其中 45[#] 钢环禁止 PTFE 环运动,模拟实际使用环境,考察 PTFE 材料对对磨材料的损伤性。用对磨宽度表征,宽度越大,表明对磨损伤越明显。

2 结果与讨论

2.1 WF 填充改性 PTFE 材料摩擦磨损性能

表 1 WF 填充改性 PTFE 摩擦磨损性能

材料 编号	材料组成	摩擦 系数	磨痕宽度 / mm	体积磨损量 / mm ³	对磨宽度 / mm
a	PTFE	0.14	16.8	163.67	0.6
b	PTFE+5%WF	0.20	8.2	79.89	1.5
c	PTFE+10%WF	0.22	5.5	53.58	1.8
d	PTFE+15%WF	0.22	5.0	48.71	2.8
e	PTFE+20%WF	0.26	4.6	44.81	3.5
f	PTFE+25%WF	0.30	4.5	43.84	3.8
g	PTFE+30%WF	0.33	4.5	43.84	4.5

从表 1 可以看出,与纯 PTFE 材料相比,填充 WF 的 PTFE 摩擦系数有所增大,磨损明显降低。纯 PTFE 的体积磨损量高达 163.67 mm³,加入 5% WF 填充改性后,磨损量降低到 79.89 mm³。当填充 WF 超过 10% 之后,磨损量有一定的降低,但是降低率变小。对磨宽度既能反应出材料的耐磨损性又能体现材料对对磨材料的损伤性。目前,还没有标准去认定对磨宽度多少会损伤对磨材料。但根据积累的经验,采用本实验方法,一般认为当对磨宽度

超过 3 mm 时,会对部分对磨件产生较严重的损伤。从表 1 数据可以看出,WF 的填充量不能太高,当超过 15% 的时候,损伤对磨材料较为严重。

2.2 多元复配填料改性 PTFE 材料性能

单一的 WF 填充改性 PTFE 能起到降低磨损的作用,但是 WF 是纤维状刚性填料,不可避免对 PTFE 损伤较大。青铜粉作为一种软质粉末颗粒填料,具有较好的承压能力和一定减磨效果,是 PTFE 填充常用材料。石墨作为润滑剂能降低摩擦系数。因此,利用三种材料的不同优势进行复配改性 PTFE。材料复配体系配方组成见表 2,复合改性的 PTFE 材料性能见表 3。

表 2 材料复配体系配方组成 %

配方编号	PTFE	青铜	WF	石墨
1 [#]	80	8	10	2
2 [#]	70	18	10	2
3 [#]	60	28	10	2
4 [#]	50	38	10	2

表 3 复合改性 PTFE 材料的性能

材料 编号	拉伸强度 / MPa	硬度 (邵氏 D)	压缩强度 / MPa	体积磨损量 / mm ³	对磨宽度 / mm
1 [#]	25.5	62	55	40.92	2.2
2 [#]	22.0	63	59	37.02	2.4
3 [#]	16.0	65	63	34.10	2.7
4 [#]	14.2	66	65	33.12	2.9

2.3 与常用改性 PTFE 耐磨材料性能对比

常用改性 PTFE 耐磨材料及组成见表 4。

表 4 常用改性 PTFE 耐磨材料及组成

材料编号	材料组成
A	60% PTFE+28% 青铜+10% WF+2% 石墨
B	75% PTFE+25% 玻璃纤维
C	80% PTFE+20% 碳纤维
D	60% PTFE+40% 青铜
E	75% PTFE+25% 石墨

(1) 不同 PTFE 耐磨材料的摩擦系数

图 1 是不同 PTFE 耐磨材料随时间变化的摩擦系数曲线。不同 PTFE 耐磨材料的摩擦系数变化趋势略有区别,主要与填料有关。由图 1 可看出,石墨含量较高的 PTFE (材料 E) 具有较低的摩擦系数,含玻璃纤维的 PTFE 材料(材料 B)摩擦系数较高。

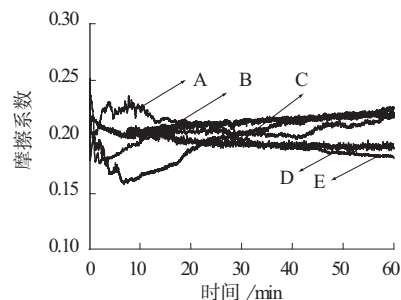


图 1 不同 PTFE 耐磨材料随时间变化的摩擦系数曲线

(2) 不同 PTFE 耐磨材料的磨损情况对比

图 2 示出不同 PTFE 耐磨材料的体积磨损量。

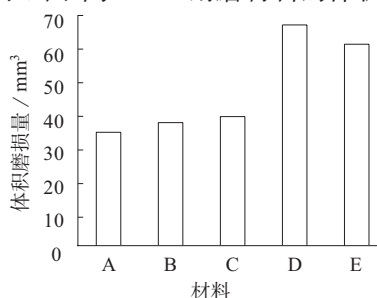


图 2 不同 PTFE 耐磨材料的体积磨损量

从图 2 可以看出,材料 A, B, C 的磨损量较低,材料 D, E 的磨损量较大。其中青铜和 WF 复配改性的 PTFE 材料(材料 A)具有最小的磨损量,抗磨效果较好。

(3) 不同 PTFE 耐磨材料对磨损伤对比

图 3 示出不同 PTFE 耐磨材料的对磨宽度。

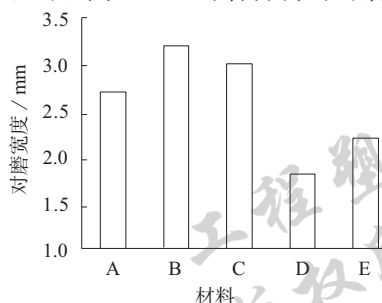


图 3 不同 PTFE 耐磨材料的对磨宽度

对磨宽度越大说明对磨损伤越严重。同时,对磨宽度可体现材料的抗磨性。纤维状填料能明显提高 PTFE 材料的耐磨性能,但是对对磨材料的损伤也较为严重。如常用碳纤维、玻璃纤维填充 PTFE 材料,一般不能添加太多。

(4) 不同 PTFE 材料在不同载荷条件下磨损性

图 4 是各种 PTFE 耐磨材料在 200, 300, 400 N 三种压力下的磨损量。

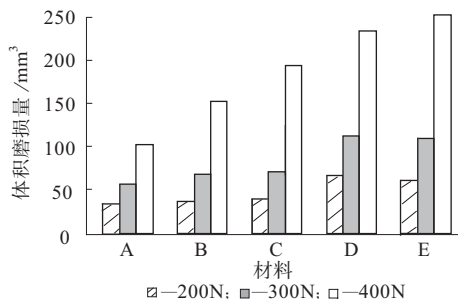


图 4 不同载荷下的 PTFE 耐磨材料磨损量

由图 4 可以看出,随着承载压力增大,PTFE 的

磨损加剧,由于 PTFE 的硬度和剪切强度比金属低得多,在与钢环对磨时,磨损主要发生在 PTFE 本身,随着载荷的增加,对磨金属表面的微凸体楔入 PTFE 基体的深度增加,使得更多的 PTFE 被犁耕。随着载荷的增加,试件的塑性变形增大,对偶件表面上消耗的功大部分以摩擦热形式释放出来,使得摩擦表面层摩擦热积累速度加快,温度升高,试样表面发生软化和局部熔融,结果使得 PTFE 表面力学性能和材料的磨损机理发生变化,由低载荷下的黏着-剪切磨损和疲劳磨损逐渐演变为高载荷下的热磨损和宏观剪切磨损,PTFE 粘附转移倾向增强,但黏着性变差,使转移薄膜难以形成,材料极易被磨掉,形成大的磨屑。因此,随着载荷增加,PTFE 及其复合材料磨损量增大。

图 4 结果还表明,材料 D, E 的承载能力较差,磨损量随着载荷的增大急剧增加,当载荷为 400 N 时,磨损量是 200 N 时的 4 倍。材料 A, B, C 具有较好的承压能力,磨损量随着载荷增加缓慢增大,体现出较好的承载能力。

3 结论

(1) WF 的加入,可以提高 PTFE 的耐磨损性能。但是,WF 的加入不可避免地增大 PTFE 材料的摩擦系数且对对磨材料有一定的损伤,当 WF 质量分数超过 15% 时,对材料的损伤明显加剧。

(2) 青铜粉、WF、石墨三种填料共同填充改性 PTFE 起到较好的协同效果,具有较好的承压能力,抗磨损性能优异,材料损伤性不大。

(3) 与常用的玻璃纤维、碳纤维、石墨、青铜粉填充改性的 PTFE 材料相比,青铜粉、WF、石墨复合填充的 PTFE 材料具有更好的承载能力,在高载荷下具有较好的耐磨损性能。

参考文献

- [1] Khedkar J, Negulescu I, Meletis E. Sliding wear behavior of PTFE composites [J]. Wear, 2002, 252 (5-6): 361-369.
- [2] 吕楠. 聚四氟乙烯生产现状与改性进展 [J]. 中国石油和化工, 2004, 10 (2): 10-13.
- [3] 李卫京, 赵洋, 李荣华, 等. 纳米氧化锌改性聚四氟乙烯的研究 [J]. 航空材料学报, 2004, 24 (2): 32-35.
- [4] 黄岳元, 任杰. 纳米氧化物 / 聚四氟乙烯复合材料的研究 [J]. 机械科学与技术, 2004, 23 (9): 1051-1053.
- [5] 王治海, 郭慧芳. 颗粒增强与沉淀强化铝合金叠层复合材料特性研究 [J]. 机械工程材料, 1995, 19 (4): 42-45.