

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2013.04.019

酚醛树脂基复合材料摩擦性能研究^{*}

乔红斌,邹李华,田雪梅,张欢,古绪鹏,杨建国,陈国昌

(安徽工业大学化学与化工学院,安徽马鞍山 243002)

摘要:采用 MPX-2000 型销盘式摩擦磨损试验机评价了分别填充氧化铝、Cu 粉、石墨、石墨与 Cu 粉复配的酚醛树脂基复合材料在载荷为 100 N、转速为 500 r/min、室温干摩擦条件下的滑动摩擦磨损性能,并分析了磨损后的表面形貌。结果表明,与未填充相比,填充试样的平均摩擦系数和磨损量均有不同程度的降低,其中由石墨、石墨与 Cu 粉复配填充试样的磨损量显著降低,分别下降 80.7%,84.8%。未填充试样磨损表面出现少量被拔出的磨屑纤维,未见明显润滑膜;而填充试样的磨损表面呈现出明显、均匀的润滑膜。填料改变了酚醛树脂基复合材料的磨损机理,增强了复合材料的抗极压承载和促进润滑膜形成能力,提高了复合材料的摩擦磨损性能。

关键词:酚醛树脂;复合材料;填料;摩擦磨损;润滑膜

中图分类号: TQ323.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2013)04-0075-04

Study on Tribological Properties of Phenolic Resin-based Composites

Qiao Hongbin, Zou Lihua, Tian Xuemei, Zhang Huan, Gu Xupeng, Yang Jianguo, Chen Guochang

(School of Chemistry and Chemical Engineering, Anhui University of Technology, Ma'anshan 243002, China)

Abstract: The friction and wear properties of phenolic resin-based composites filled with alumina, Cu powder, graphite or graphite / Cu powder were studied with an MPX-2000 pin-on-disc friction and wear tester under applied load of 100 N, sliding speed of 500 r/min, dry friction condition at the room temperature. The surface morphology of worn composites was analysed. The results show that the average friction coefficient and wear mass loss of the filled samples decrease more or less respectively, compared with those of unfilled one. The wear mass loss of composites filled with graphite and graphite / Cu powder decrease drastically by 80.7% and 84.8% respectively. An amount of drawn debris has appeared on the worn surfaces of the unfilled samples, without obvious lubricating film. But the obvious and uniform lubricating films have presented on the worn surfaces of the filled samples. Fillers have changed wear mechanism of phenolic composites, enhanced composite's resistance to extreme pressure bearing and ability to promote lubricant film formation, improved the friction and wear properties of composites.

Keywords: phenolic ; composites ; filler ; friction and wear ; lubricating film

高分子基自润滑复合材料由于具备优异的减摩耐磨、抗腐蚀以及力学性能,被广泛地应用于摩擦学领域,并正逐步地取代传统应用金属材料^[1]。而对于高分子基自润滑复合材料摩擦学性能的研究则集中在改性方法和磨损机理的研究和分析方面^[2]。目前,国内外学者对高分子基自润滑复合材料进行了大量的改性研究。填充 10% 体积分数的六方氮化硼能显著提高酚醛树脂基复合材料的弯曲强度和耐磨性能,摩擦系数能一直稳定在 0.43 ~ 0.47^[3]。利用 K₂TiO₃ 晶须填充时,复合材料的硬度下降、力学性能明显提高^[4]。石墨与 Sb₂S₃ 混合使用具有协同效应,能提高自润滑复合材料的摩擦学性能和抗衰退性能,而 MoS₂ 会加速复合材料的磨损^[5]。Wang Y 等认为 Cu 粉填充复合材料后耐磨性能得到提高

主要取决于其承载能力的增强^[6-7],适量填充金属氧化物也能明显改善复合材料的耐磨性能^[8]。然而填料对于自润滑复合材料的影响很少见系统比较。笔者选用 Cu 粉、氧化铝、石墨作为填料,利用模压法制备不同类型的酚醛树脂基复合材料,对比考察在干摩擦条件下填料对复合材料的摩擦磨损性能影响并探究磨损机理。

1 实验部分

1.1 原材料

酚醛树脂: PF2A2-141, 溧阳永安热固性塑料有

^{*} 国家科技型中小企业技术创新基金项目 (12C26213403370)

联系人: 田雪梅, 实验师, 主要从事高分子材料与固体润滑剂的应用研究

收稿日期: 2013-02-02

限公司;

Cu 粉、氧化铝、石墨:工业级微粉,粒径 $\leq 50 \mu\text{m}$,上海华谊集团华原化工有限公司。

1.2 设备和仪器

电子万能试验机: DY-35 型,法国 Adamel 公司;

盘销式摩擦磨损试验机: MPX-2000A 型,张家口宣化科华试验机制造有限公司;

数码显微镜: MDA-2000 型,杭州富光科技有限公司。

1.3 试样制备

以酚醛树脂粉体作为基体材料,以 Cu 粉、氧化铝、石墨作为不同填料,按照一定质量比例高速混合搅拌至均匀后得到模压料。模压料于 90°C 下预热 30 min 后装入模具,在 170°C , 22 MPa 下模压成型,保温保压 1 h。冷却脱模后将制品置入 190°C 烘箱中 2 h,经机加工除去毛边后得到待测试样。表 1 列出了试验用五类材料的配方组分。

表 1 五类材料试样的配方组分

试样类别	组分(质量分数计)
A	纯酚醛树脂
B	92% 酚醛 + 8% Cu 粉
C	92% 酚醛 + 8% 氧化铝
D	92% 酚醛 + 8% 石墨
E	92% 酚醛 + 6% 石墨 + 2% Cu 粉

1.4 性能测试

(1) 弯曲强度测定。

采用电子万能试验机并参照 GB/T 9341-2008 测定试样弯曲强度,试样尺寸为 $50 \text{ mm} \times 10 \text{ mm} \times 6 \text{ mm}$,数据为 5 次结果平均值。

(2) 摩擦磨损试验。

采用盘销式摩擦磨损试验机评价试样在干摩擦条件下的滑动摩擦磨损性能。上试样为 $\Phi 5 \text{ mm} \times 13 \text{ mm}$, HRC45~48, 球墨铸铁的圆柱形销试样,表面粗糙度为 $3.2 \mu\text{m}$;下试样为 $40 \text{ mm} \times 36 \text{ mm} \times 4 \text{ mm}$ 的块状试样。磨损量以试验前后试样的质量损失计算。试验条件:压力载荷 100 N,上试样转速 500 r/min ,试验在室温环境下(温度为 $20 \pm 3^\circ\text{C}$,相对湿度为 $50\% \pm 5\%$)干摩擦 6 min。试验数据均为三次重复试验数据的平均值。采用数码显微镜观察并分析试样的磨痕形貌。

2 结果与讨论

2.1 复合材料弯曲强度

图 1 给出了五类试样的弯曲强度对比。从图中

可以看出, B, C, D, E 四种填充试样的弯曲强度均高于未填充的 A 类试样。可能是由于填料与基体酚醛树脂在高温模压的条件下相容性较好,产生了“固体溶剂效应”,使材料的界面粘结强度提高,从而增强了复合材料的弯曲强度^[9]。另外,四类填充试样的弯曲强度顺序依次为: $B > C > E > D$,即在高温模压条件下与酚醛树脂相容性最好的是 Cu 粉,最差的是石墨。

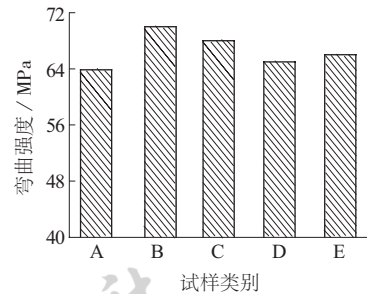


图 1 试样的弯曲强度对比

2.2 复合材料摩擦磨损性能

图 2 给出了在试验条件下五类试样的磨损量与平均摩擦系数。与未填充试样 A 相比, B, C, D, E 四类填充试样的磨损量均有不同程度的下降。其中, B, C 磨损量分别下降 22.7%, 21.0%; D, E 磨损量显著降低, 分别下降 80.7%, 84.8%。另外, B, C, D, E 四类填充试样的平均摩擦系数均小于未填充试样 A (0.3262)。其中 B, C, E 三类试样的平均摩擦系数下降幅度较小; 而试样 D 平均摩擦系数 (0.2620) 明显下降。相比之下, 填充石墨、石墨与 Cu 粉复配试样的摩擦磨损性能优于填充 Cu 粉、氧化铝的试样。

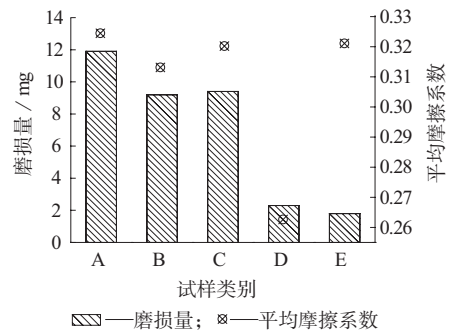


图 2 试样在试验条件下的磨损量和平均摩擦系数

图 3~图 7 给出了五类试样摩擦系数随时间的变化曲线。从图中可以看到, A, B, C, D, E 五类试样在磨损过程中摩擦系数均处于较平稳状态, 未见明显波动, 这证实了酚醛树脂本身就具有良好的润滑以及稳定摩擦的作用。另外, 填料的加入并未使材料的摩擦系数发生较大波动, B, C, E 三种填充

试样的摩擦系数与未填充试样相比,未见明显改变;而以石墨填充的试样 D 摩擦系数下降明显,与龙春光等的研究结果一致^[10]。

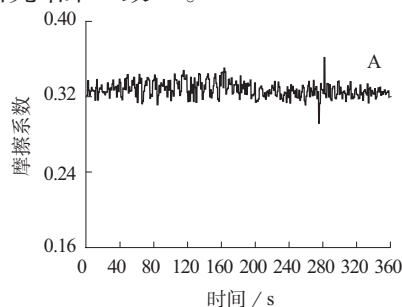


图3 试样 A 摩擦系数随时间的变化

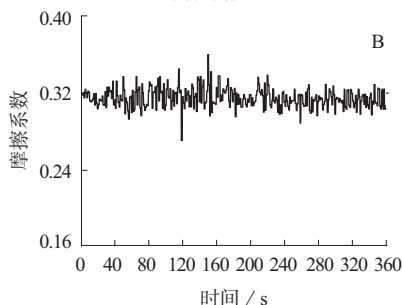


图4 试样 B 摩擦系数随时间的变化

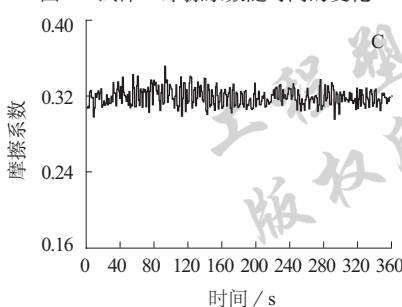


图5 试样 C 摩擦系数随时间的变化

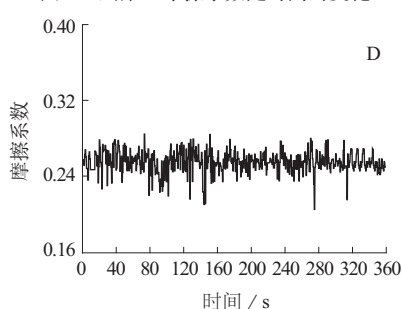


图6 试样 D 摩擦系数随时间的变化

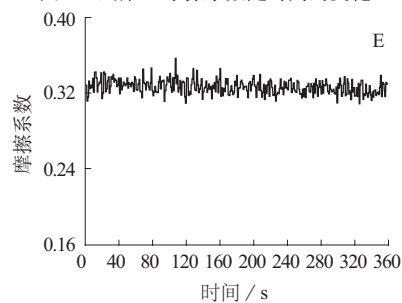


图7 试样 E 摩擦系数随时间的变化

2.3 复合材料磨痕形貌分析

为了理解填料对复合材料摩擦磨损性能的影响,图8给出了试样的磨痕形貌对比。

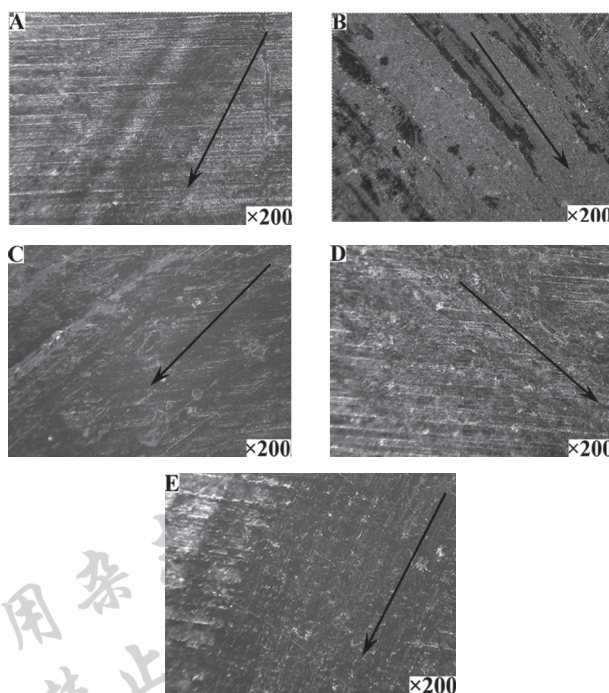


图8 磨损试验后的试样磨痕形貌(图中箭头方向表示滑动方向)

从图8可以看到,未填充试样 A 的磨损表面出现少量被拔出的磨屑纤维,未见明显润滑膜。在摩擦热的作用下,酚醛树脂不断降解,树脂基体的粘结强度下降而摩擦界面的剪切强度增大,导致粘着磨损增加^[11]。填充 Cu 粉的试样 B、氧化铝的试样 C 的磨损表面均呈现出均匀的润滑膜,表现出比试样 A 更好的耐磨性能。可能的原因是填料在酚醛树脂中充当刚硬支撑点的作用,阻止了酚醛树脂的热降解,另外填料微粒承接了大部分的极压载荷,减少了基体材料的直接磨损^[12]。相比之下,由石墨与 Cu 粉填充的试样 E 磨损表面几乎看不到刮伤痕迹,填充固体润滑剂石墨后的复合材料的磨损量大幅度降低,摩擦系数也相对稳定,表现出了较好的摩擦磨损性能,这也说明了石墨与 Cu 粉复配对改善复合材料的摩擦磨损性能有着协同效应。

填料改变了酚醛树脂基复合材料的磨损机理:从单一的酚醛树脂粘着磨损转变为以填料磨粒磨损为主、树脂基体粘着磨损为辅的复合磨损,这种转变增强了复合材料的抗极压承载能力并促进润滑膜形成,提高了材料的摩擦磨损性能。

3 结论

(1) 在本试验条件下的磨损试验结果表明:与

未填充试样相比,分别填充 Cu 粉、氧化铝、石墨、石墨与 Cu 粉的四种酚醛树脂基复合材料的平均摩擦系数和磨损量均有不同程度的下降。其中由石墨、石墨与 Cu 粉填充的复合材料磨损量显著降低,分别下降 80.7%,84.8%,这说明了石墨与 Cu 粉复配对改善复合材料的摩擦磨损性能有着协同效应,其复合材料尤其适用于水介质中的轴套、轴瓦、滑板、滑块等部件。

(2) 由磨痕形貌分析可知:未填充的试样磨损表面出现少量被拔出的磨屑纤维,未见明显润滑膜;填充后复合材料的磨损表面呈现出明显均匀的润滑膜,增强了材料热摩擦性能的稳定性。

(3) 填料改变了酚醛树脂基复合材料的磨损机理:从单一的酚醛树脂粘着磨损转变为以填料磨粒磨损为主、树脂基体粘着磨损为辅的复合磨损,这种转变增强了复合材料的抗极压承载和促进润滑膜形成能力,提高了材料的摩擦磨损性能。

参考文献

- [1] 浦玉萍,吕广庶,王强.高分子基自润滑材料的研究进展[J].航空学报,2004,25(2):180-186.
Pu Yuping, Lü Guangshu, Wang Qiang. Development of several self-lubricating materials of polymer matrix[J]. Acta Aeronautica et Astronautica Sinica, 2004, 25(2): 180-186.
- [2] 王军祥,葛世荣,张晓云,等.纤维增强聚合物复合材料的摩擦学研究进展[J].摩擦学学报,2000,20(1):76-80.
Wang Junxiang, Ge Shirong, Zhang Xiaoyun, et al. Progress of research on tribology of fiber reinforced polymer composites[J]. Tribology, 2000, 20(1): 76-80.
- [3] Yi Gewen, Yan Fengyuan. Mechanical and tribological properties of phenolic resin-based friction composites filled with several inorganic fillers [J]. Wear, 2007, 262(1-2):121-129.
- [4] Zhu Zhencai, Xu Lei, Chen Guoan. Effect of different whiskers on the physical and tribological properties of non-metallic friction materials [J]. Materials and Design, 2011, 32(1):54-61.
- [5] Yun Cheol Kim, Min Hyung Cho, Seong Jin Kim, et al. Tribological properties of solid lubricants (graphite, Sb_2S_3 , MoS_2) for automotive brake friction materials [J]. Wear, 2006, 260(7-8):855-860.
- [6] Wang Y, Yan F. Tribological properties of transfer films of PTFE-based composites [J]. Wear, 2006, 261(11-12):1359-1366.
- [7] Wang Y, Yan F. A study on tribological behaviour of transfer films of PTFE/bronze composites [J]. Wear, 2007, 262(7-8):876-882.
- [8] 王世博,格式荣,朱华,等. ZnO 填充尼龙 1010 的摩擦磨损行为研究 [J]. 润滑与密封, 2005(3):20-22.
Wang Shibo, Ge Shirong, Zhu Hua, et al. Research on tribological behavior of PA1010 composites filled with ZnO [J]. Lubrication Engineering, 2005(3): 20-22.
- [9] 阎逢元,薛群基.用红外谱研究 PTFE/石墨共混时的相互作用 [J]. 科学通报, 1997, 42(3):282-285.
Yan Fengyuan, Xue Qunji. Research on interaction of PTFE/graphite by FTIR [J]. Chinese Science Bulletin, 1997, 42(3): 282-285.
- [10] 龙春光,王霞瑜.聚苯酯/石墨/聚甲醛复合材料的制备及摩擦学性能 [J]. 高分子材料科学与工程, 2004, 20(6):199-202.
Long Chunguang, Wang Xiayu. Preparation of PEEK/G/POM composite and its tribological property [J]. Polymer Materials Science and Engineering, 2004, 20(6): 199-202.
- [11] 易葛文,阎逢元.煅烧石油焦及六方氮化硼对摩擦材料摩擦磨损性能的影响 [J]. 摩擦学学报, 2006, 26(1):18-21.
Yi Gewen, Yan Fengyuan. Effect of h -BN and calcined petroleum coke on friction and wear properties of phenolic resin-based friction composites [J]. Tribology, 2006, 26(1): 18-21.
- [12] 王家序,陈战,秦大同.聚四氟乙烯复合材料的摩擦磨损性能研究 [J]. 农业机械学报, 2002, 33(4):99-101, 108.
Wang Jiaxu, Chen Zhan, Qin Datong. Study on friction and wear properties of PTFE composites [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2002, 33(4): 99-101, 108.

我国塑料建材业年均增速超过 15%

我国的塑料建材业以年均增速超过 15% 的速度已成为塑料行业中仅次于包装的第二大支柱产业。随着城镇化的进程加快和基础建设工程的不断增速进行,我国三大塑料建材,包括型材、管材及板材已步入稳定增长长期,一些绿色建材开始加速发展步伐,有利于加快推动绿色建筑革命。

(慧聪网)

美国旭化成推出新型长玻纤增强聚丙烯

美国旭化成塑料公司最近宣布推出一种新的长玻纤增强聚丙烯复合材料。据称该材料与传统的长玻纤增强聚丙烯相比,提高了抗冲击性能,成本节省了 20%。

该材料的商品名称是 Thermylene®。据介绍,除了上述抗冲击性能和成本效益外,它还具有优良的高温强度和刚

度、各向同性力学性能、尺寸稳定性、耐疲劳和抗蠕变性。

该材料主要的汽车用途包括前端组件、仪表盘支架、蓄电池底盘、行李架、制动器和离合器组件等。因为其玻纤含量可按要求调节以达到最佳性能,它还适用于多种非汽车用途的构件、功能件和外表部件。

(中聚网)

齐鲁塑料厂发布新产品企业标准

近日,齐鲁石化塑料厂发布实施了《聚乙烯(PE)树脂——QLF39 和 QLF40》、《聚丙烯(PP)树脂——QPH60 N》3 个新产品企业标准(暂行)。

据悉,这 3 个新牌号是该厂根据市场需求计划在高压聚乙烯装置和聚丙烯装置开发生产的。其中,QLF39, QLF40 产品主要用于生产收缩膜、包装膜等, QPH60 N 产品主要用于注塑家用电器配件。

(中化)