

PTFE/Al₂O₃ 纳米复合材料的摩擦磨损性能研究

史丽萍 何春霞 顾红艳 姬长英

(南京农业大学农业工程学院, 南京 210032)

摘要 利用 MM-200 型摩擦磨损试验机研究了 PTFE/Al₂O₃ 纳米复合材料的摩擦磨损性能, 并采用扫描电子显微镜观察、分析了试样磨屑形状及磨损机理。结果表明, 经表面处理的纳米 Al₂O₃ 能明显提高 PTFE 的耐磨损性并改变其磨屑形成机理; 当表面处理纳米 Al₂O₃ 含量为 3% 时, PTFE 纳米复合材料的磨损量最小, 但在试验范围内, 表面处理纳米 Al₂O₃ 含量变化对 PTFE 纳米复合材料的耐磨损性影响不大, 而 PTFE 纳米复合材料的摩擦系数则随表面处理纳米 Al₂O₃ 含量增加而略有增大, 导致 PTFE 磨损的机理主要是粘着磨损。

关键词 聚四氟乙烯 纳米 Al₂O₃ 表面处理 摩擦学性能

聚四氟乙烯 (PTFE) 是一种耐磨性好、摩擦系数低的塑料, 但力学强度较差, 比磨损率高。为了降低 PTFE 的比磨损率, 主要采取填充金属粉末、纤维、无机粉末、有机物等制成复合材料来使用; 对其减摩机理和效果的研究已有许多报道^[1~4]。纳米材料是近年来发展起来的具有优异性能的新材料, 具有独特的小尺寸效应、表面效应等许多常规材料不可能具有的特性。用纳米材料改性聚合物不仅能全面改善聚合物的综合性能, 而且还能赋予其特殊的性能, 为聚合物改性提供了新途径^[5]。然而目前对这方面的研究较少, 笔者主要研究 PTFE/表面处理纳米 Al₂O₃ 复合材料的摩擦学性能。

1 实验部分

1.1 原材料

PTFE: 一级细粉, 粒径为 20~30 μm, 济南化工厂;

纳米 Al₂O₃: 平均粒径 30~40 nm, 比表面积大于等于 20 m²/g, 中科院泰兴纳米材料厂;

硅烷偶联剂: KH-570, 国营南京曙光化工厂。

1.2 试验设备

摩擦磨损试验机: MM-200 型, 宣化材料试验机厂;

电光分析天平: TG328A 型, 最小分度为 0.1 mg, 上海天平仪器厂;

高速混合机: GH-10B 型, 常州市武进通用机械厂;

扫描电子显微镜 (SEM): S-600 型, 株式会社日立制作所。

1.3 试样制备

1.3.1 纳米 Al₂O₃ 的表面处理

首先, 将 PTFE 粉料在高速混合机中混合数分

钟, 将质量分数 1% 的 KH-570 和适量丙酮加入到 PTFE 粉料中, 高速混合数分钟后, 将已烘干脱水的纳米 Al₂O₃ 加入到上述粉料中, 再高速混合一定时间, 至粉料表面蓬松, 不粘内壁和顶盖为止。

1.3.2 试样制备

PTFE 纳米复合材料由南京玻璃纤维研究设计院制备。复合材料中, 纳米 Al₂O₃ 的质量分数分别为 0、1%、2%、3%、4%, 其制备工艺流程见图 1。

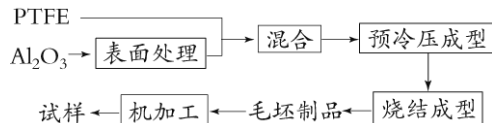


图 1 PTFE/纳米 Al₂O₃ 试样制备工艺流程

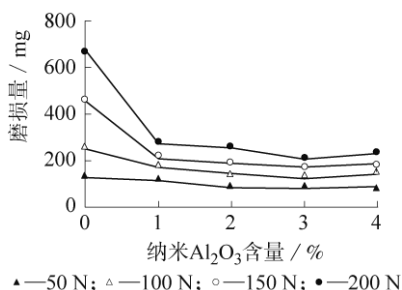
1.4 摩擦磨损性能评定

按 GB3960-83《塑料滑动摩擦磨损试验方法》评价试样的摩擦磨损性能。试验条件为: 转速 200 r/min; 干摩擦滑动条件下, 测定试样在不同载荷下的磨损质量损失及摩擦系数, 对偶件为 45[#] 钢环, 其表面粗糙度 Ra 为 0.08~0.12 μm; 用 SEM 观察分析试样磨屑表面形貌。

2 结果与讨论

2.1 磨损性能

图 2 示出纳米 Al₂O₃ 含量对 PTFE 及其纳米复合材料磨损量的影响。由图 2 可知, 表面处理纳米 Al₂O₃ 只需较低含量就可使 PTFE 纳米复合材料的磨损量有明显降低, 而且载荷越高, PTFE 纳米复合材料抵抗磨损的能力越强。当表面处理纳米 Al₂O₃ 含量小于 3% 时, PTFE 纳米复合材料的磨损量随表面处理纳米 Al₂O₃ 含量的增加而减小, 而后又有增大趋势。从总体来看, 在本试验范围内纳米 Al₂O₃

图2 Al₂O₃含量对PTFE及其复合材料磨损量的影响

含量变化对PTFE纳米复合材料的耐磨损性影响不大。

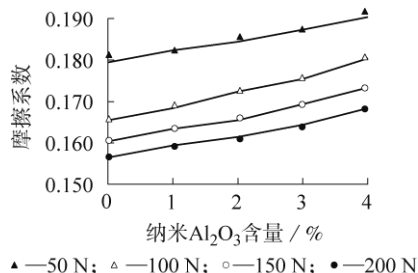
笔者认为,这是由于纳米 Al₂O₃ 表面极性很高,极易团聚,过多的填充使得纳米 Al₂O₃ 团聚的可能性更大,而且一旦团聚,用通常的机械搅拌手段难以使其分离,这样纳米 Al₂O₃ 不但不能充分发挥其应有的性能,而且还有使复合材料的综合性能降低的可能。因此,纳米 Al₂O₃ 填充量不宜过高,一般以 5% 为上限^[6]。同时由于纳米 Al₂O₃ 与 PTFE 的性能相差悬殊,相容性差,这将影响两者的混合效果,从而影响复合材料的性能。偶联剂的存在相当于起“分子桥”的作用,能把二者有机结合起来,从而使纳米 Al₂O₃ 均匀分散于 PTFE 中,这时由于纳米 Al₂O₃ 的弥散强化作用,增强了材料的承载能力,从而在整体上提高了复合材料的性能,特别是增加了材料的刚度和强度,降低了 PTFE 原有的流变性。此外,在材料磨损时脱粘的纳米 Al₂O₃ 因具有很强的表面活性而易于与对偶金属结合形成细腻的薄层,除充分发挥其自身的承载能力外,还保证了摩擦过程中摩擦在其与 PTFE 之间发生,这些因素均有利于大大减缓复合材料的磨损,同时又可保持 PTFE 的低摩擦。

2.2 摩擦性能

图 3 示出纳米 Al₂O₃ 含量对 PTFE 及其纳米复合材料摩擦系数的影响。由图 3 可以看出,PTFE 及其纳米复合材料的摩擦系数随纳米 Al₂O₃ 含量的增加而略有增大,随载荷的增大而减小。

笔者认为,在纳米 Al₂O₃ 填充 PTFE 中,由于纳米 Al₂O₃ 粒径小,比表面积大,虽然 Al₂O₃ 含量变化不大,但它的表面积增加较大,加之其表面层非配位原子又多,表面能高,因而极易与 PTFE 的分子发生吸附、键合,使得 PTFE 主体的分子间力、分子链间的作用力及结晶度发生变化,从而使纳米 Al₂O₃ 填充 PTFE 复合材料的摩擦系数也相应地增大。

PTFE 及其纳米复合材料是粘弹性复合材料,其

图3 纳米 Al₂O₃ 含量对 PTFE 及其纳米复合材料摩擦系数的影响

在外力作用下发生的是粘弹性变化,它的摩擦系数变化服从关系式 $\mu = KP^{n-1}$ (式中: μ 为摩擦系数; K 为常数; P 为载荷; $n = 2/3 \sim 1$)。因此,当载荷较低时,PTFE 纳米复合材料的摩擦系数是随载荷的增加而降低;当载荷增加到一定程度后,其在外力的作用下发生的是塑性或粘塑性变化,摩擦系数不随载荷变化而变化,大致保持恒定,这与试验曲线相吻合。

2.3 磨屑的 SEM 分析

图 4 为 PTFE 及其纳米复合材料试样磨屑的 SEM 照片。由图 4 可知,纯 PTFE 的磨屑为大片状且发生了明显的拉丝现象(见图 4 a),而纳米复合材料的磨屑也呈片状,但磨屑的尺寸明显减小,而且基本上没有拉丝现象(见图 4 b)。

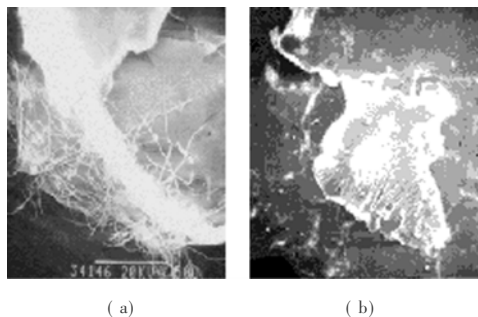
a—纯 PTFE; b—填充 3% 纳米 Al₂O₃

图4 PTFE及其纳米复合材料试样磨屑的SEM照片

笔者认为,PTFE 有非常好的柔韧性。在 PTFE/Al₂O₃ 纳米复合材料中,由于纳米 Al₂O₃ 在 PTFE 中起承载作用,阻止了 PTFE 带状结构的大面积破坏,从而改变了磨屑的形成机理。从整体上提高了纳米复合材料的综合性能,更好地抵制对偶件表面微凸体的嵌入,使磨损量更小。另外,从 SEM 照片发现,磨屑呈片状,大的磨屑对应着较高的磨损量,而磨屑较小则磨损量较小^[3,7,8]。这一结果与一般滑动摩擦磨损试验也完全吻合。因此从分析磨屑形状和大小可以看出,对纳米 Al₂O₃ 表面处理的方法是有效的,导致 PTFE 磨损的机理主要是粘着磨损。

3 结论

(1) 经硅烷偶联剂表面处理的纳米 Al₂O₃ 可以提高 PTFE 纳米复合材料的耐磨性。当表面处理纳米 Al₂O₃ 含量为 3% 时, PTFE 纳米复合材料的磨损量最小。

(2) 在试验范围内, 表面处理纳米 Al₂O₃ 含量对 PTFE 纳米复合材料的耐磨性影响显著, 但其含量变化对耐磨损性影响不大。

(3) PTFE 及其纳米复合材料的摩擦系数随纳米 Al₂O₃ 含量增加而增大, 随载荷的增大而减小。

(4) 导致纯 PTFE 及其纳米复合材料磨损的机理主要是粘着磨损。

参考文献

1 王承鹤. 塑料摩擦学——塑料的摩擦、磨损、润滑理论与实践. 北

京: 机械工业出版社, 1994.

2 佟金, 路新春, 陈永潭, 等. Al₂O₃ + PTFE(+ PPS) 复合材料滑动摩擦磨损的研究. 摩擦学报, 1993, 13(2): 97

3 张招柱, 薛群基, 刘维明, 等. 几种金属氧化物填充聚四氟乙烯复合材料在干摩擦磨损条件下的摩擦磨损性能. 摩擦学报, 1997, 17(1): 45

4 杨剑, 滕凤恩. 纳米材料综述. 材料导报, 1997, 11(2): 6

5 承民联, 丁永红. 纳米 TiO₂ 填充聚丙烯的研究. 纳米及超细技术在高聚物中的应用技术研讨交流论文集. 2001. 64

6 孙载坚. 关于纳米尼龙塑料的研究与开发. 纳米及超细技术在高聚物中的应用技术研讨交流论文集. 2001. 68

7 李同生, 孙守镁, 胡延永, 等. 聚四氟乙烯磨损机理的探讨. 摩擦学报, 1992, 12(3): 223

8 Tanka K, Satoshi K. Effect of various fillers on the friction and wear of PTFE-based composites. Wear, 1998, 79: 221

STUDY ON THE FRICTION AND WEAR BEHAVIORS OF PTFE/NANO-AL₂O₃ COMPOSITES

Shi Liping, He Chunxia, Gu Hongyan, Ji Changying

(Agricultural Engineering College, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210032, China)

ABSTRACT The dry sliding wear properties of PTFE/nano-Al₂O₃ composites were tested on the model MM-200 tester. Scanning Electron Microscopy (SEM) was employed to examine the shape of wear debris and wear mechanism. The results indicate that the surface treatment of nano-Al₂O₃ can improve the wear resistance of PTFE significantly, and can change the mechanism of wear debris. When the content of surface-treated nano-Al₂O₃ is 3%, the wear mass loss is the smallest but the effects of filled surface treated nano-Al₂O₃ content change is slightly. The friction coefficient of PTFE composites increases with the increasing of nano-Al₂O₃ content. The main wear mechanism is cutting and adhering.

KEYWORDS polyterfluoroethylene (PTFE), nano-Al₂O₃, surface treatment, tribology property

大口径脲醛树脂托辊面世

一种冶金、化工、矿山等行业用输送机使用的大口径抗静电阻燃脲醛树脂托辊日前在河北冀州市广通矿山设备厂研制成功并投放市场。新研制的大口径、超长度脲醛树脂托辊不仅具有强度高、密封性强、阻燃抗静电、耐腐蚀、质量轻、摩擦阻力小、使用寿命长等特点, 而且其承载能力比同类产品提高 1~2 倍, 在同等条件下其摩擦和防腐性能提高 5 倍以上, 防尘、防水性能分别提高 15%、45% 以上。经国内十几家用户试用表明, 使用中经向跳动小, 压缩强度高, 且省电、使用安全可靠。该产品经国家煤炭机械质量检验中心、国家化工产品检验中心等部门检测, 各项技术指标达到国外同类产品标准。

(双林)

聚乳酸餐具在福州问世

一种新型环保产品——聚乳酸餐具由福州保创机械技术开发有限公司研制成功并于日前投放市场。它不仅可完全降解或回收使用, 而且成本低廉, 价格仅为纸浆模塑餐具的 41.6%。

该产品以玉米、包谷、谷壳、麦秆、稻草、玉米等农作物的秸秆、壳皮等为原料, 由乳酸杆菌将其发酵转化成 L-乳酸,

再聚合制成聚乳酸。这种聚乳酸制品在微生物的作用下, 60 天内可完全降解成二氧化碳和水。

聚乳酸为世界公认的环保材料, 目前只能在低温环境下使用。而福州保创公司经过科技攻关开发出可在高温下使用的产品, 用其制造的各种食品包装制品符合美国食品药品监督管理局 (FDA) 的规范。

(姜小毛)

扬子石化公司推出优质 BOPP 专用料

日前, 扬子石化公司生产的双轴拉伸聚丙烯薄膜 (BOPP) 专用料在无锡一家大型薄膜制造厂进行了拉膜试验, 产品经过检验, 各项指标均优于国家规定的标准, 达到国内领先水平, 受到用户的青睐。

BOPP 专用料可用于制造各种高档包装膜, 用途极为广泛, 市场前景也非常好。这是扬子石化公司塑料厂与北京化工研究院密切合作在对市场上现有的 BOPP 料进行对比分析基础上研究开发的。生产过程中通过对反应釜温度控制、产品熔体流动速率控制等主要环节的改进, 并实施全天候、多渠道控制, 保证了 BOPP 专用料的质量。该专用料的成功生产, 标志该公司的专用料研发水平又达到了一个新的高度。

(达军)