

PTFE/纳米 SiC 复合材料的摩擦磨损性能研究^{*}

路 琴 何春霞 史丽萍

(南京农业大学工学院,南京 210031)

摘要 利用冷压烧结法制备了不同含量的聚四氟乙烯/纳米碳化硅(PTFE/纳米 SiC)复合材料。采用 MM-200 型摩擦磨损试验机在干摩擦条件下考察了纳米 SiC 含量及载荷对 PTFE/纳米 SiC 复合材料摩擦磨损性能的影响,借助于扫描电子显微镜观察分析了试样磨损表面形貌,并探讨了其磨损机理。结果表明,纳米 SiC 能够提高 PTFE/纳米 SiC 复合材料的硬度和耐磨性,当纳米 SiC 质量分数为 7% 时,PTFE/纳米 SiC 复合材料的磨损量最小,摩擦系数也最小;随纳米 SiC 含量的增加,其摩擦系数有所增大;随着载荷的增大,PTFE/纳米 SiC 复合材料的磨损量增加。

关键词 纳米碳化硅 聚四氟乙烯 复合材料 摩擦磨损性能

聚四氟乙烯(PTFE)在大气和真空中都具有良好的自润滑性能,且具有不浸润、耐温、耐腐蚀、柔韧性好等特点,是一种应用十分广泛的工程塑料。在摩擦学应用中由于纯 PTFE 存在力学性能较低、磨损率高、导热和导电性能差、线膨胀系数和承载变形大等缺点而使其应用受到限制。为此,通常要对 PTFE 进行改性,以求在保持其低摩擦的同时获得优良的耐磨性、高强度、高刚度和尺寸稳定性。近年来人们对 PTFE 的改性做了大量的研究工作^[1~5],发现在 PTFE 中加入石墨、玻纤、青铜粉及碳纤维等可以显著提高其强度、硬度和耐磨性。SiC 的密度低,硬度高,具有优良的热力学稳定性、耐磨损性和耐化学药品性,在摩擦学领域的应用非常广泛^[6,7],因此 SiC 粒子经常用作金属基复合材料和聚合物基复合材料的填料,用以满足特殊工况下的使用要求。笔者采用纳米 SiC 改性 PTFE,研究了 PTFE/纳米 SiC 复合材料的摩擦磨损性能,并探讨了纳米 SiC 的改性机理,其目的是为 PTFE/纳米 SiC 复合材料的工程应用提供科学依据。

1 实验部分

1.1 主要原材料

PTFE: 白色粉末,平均粒径 50 μm ,济南化工厂;

纳米 SiC: 浅褐色,平均粒径 50 nm,纯度大于 99.1%,合肥开尔纳米材料有限公司。

1.2 仪器、设备

布氏硬度试验仪: HB-3000 型,山东省掖县材料试验机厂;

摩擦磨损试验机: MM-200 型,宣化材料试验机厂;

光电分析天平: TG328A 型,上海天平仪器厂;

扫描电子显微镜(SEM): LEO 1530VP 型,德国 LEO 公司。

1.3 试样制备

将纳米 SiC 分别按质量分数 3%、5%、7% 和 9% 添加到 PTFE 中,按图 1 所示的工艺流程制成不同纳米 SiC 含量的 PTFE/纳米 SiC 复合材料试样。



图 1 PTFE/纳米 SiC 复合材料试样制备工艺流程

1.4 试验方法

采用摩擦磨损试验机在转速 200 r/min、干摩擦滑动,对偶件为 45[#] 钢环,其表面粗糙度 R_a 为 0.08 ~0.12 μm 条件下进行摩擦磨损试验,测定试样在不同载荷作用下的磨损量(用万分之一的光电分析天平称量)及摩擦系数,用 SEM 对复合材料磨损表面形貌进行观察并拍照;

硬度用洛氏硬度计在载荷 62.5 N、加载时间 15 s 下测定。

2 结果与讨论

2.1 PTFE/纳米 SiC 复合材料的硬度

图 2 示出 PTFE 及 PTFE/纳米 SiC 复合材料的硬度。由图 2 可见,纳米 SiC 能够提高 PTFE 的硬度,当纳米 SiC 的质量分数为 9% 时,PTFE/纳米 SiC 复合材料的硬度最大(99HRB),比纯 PTFE 的硬度(65HRB)提高了 52.3%。

2.2 PTFE/纳米 SiC 复合材料的耐磨损性能

图 3 给出 PTFE 及不同纳米 SiC 含量的 PTFE/

^{*} 江苏省自然科学基金资助项目(BK2004103)、江苏省农机局基金项目(GXZ04004)

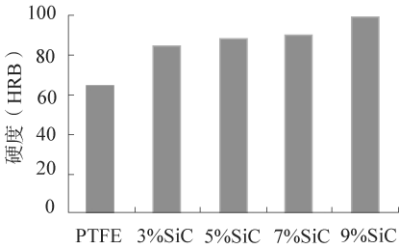


图2 PTFE 及 PTFE/纳米 SiC 复合材料的硬度与纳米 SiC 含量的关系图

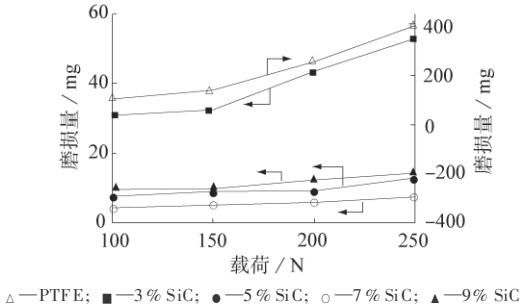


图3 PTFE 及 PTFE/纳米 SiC 复合材料的磨损量与载荷的关系曲线

纳米 SiC 复合材料在不同载荷下的磨损量。

由图3可见,PTFE 及 PTFE/纳米 SiC 复合材料的磨损量均随载荷的增加而增大,且 PTFE 的磨损量增加较快,而 PTFE/纳米 SiC 复合材料的磨损量增加较为平缓且远比 PTFE 的小;当纳米 SiC 的质量分数为3%时,PTFE/纳米 SiC 复合材料的磨损量较大,随纳米 SiC 含量的增加,其磨损量明显减小,耐磨损性能有很明显的改善;当纳米 SiC 的质量分数大于5%后其磨损量变化趋于平缓,但纳米 SiC 的质量分数为9%时,PTFE/纳米 SiC 复合材料的磨损量又变大。也就是说,并不是纳米 SiC 的含量越高 PTFE/纳米 SiC 复合材料的耐磨性越好,在本试验条件下纳米 SiC 的质量分数为7%时,PTFE/纳米 SiC 复合材料的耐磨损性最好。

2.3 PTFE/纳米 SiC 复合材料的磨损机理分析

图4所示为纳米 SiC 质量分数为5%、9%的 PTFE/纳米 SiC 复合材料试样磨损表面形貌的 SEM 照片。由图4可见,含5%纳米 SiC 的复合材料试样

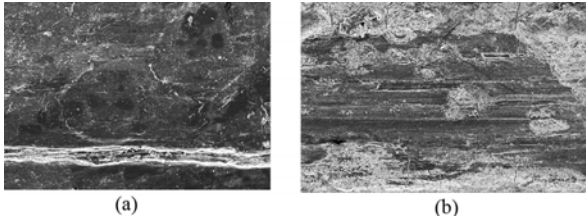


图4 PTFE/纳米 SiC 复合材料磨损表面形貌的 SEM 照片(×600)

的磨损表面无明显条状磨痕,而含9%纳米 SiC 的试样的磨损表面存在明显的条状磨痕。同时在摩擦磨损试验中还发现,纯 PTFE 产生的磨屑呈现片状形态,而 PTFE/纳米 SiC 复合材料的磨屑呈细粒状。

分析认为,由于 PTFE 的硬度和剪切强度比金属低,在摩擦过程中的磨损主要发生在 PTFE 本身。PTFE 的磨损实质在于外力使其大分子链发生滑移或断裂,材料被拉出结晶区并转移到对偶件表面,从而造成粘着磨损^[8]。纳米 SiC 的表面效应及界面效应使复合材料的力学性能和摩擦磨损性能得到较好的统一。纳米 SiC 的加入不仅阻止了 PTFE 呈带状结构的大面积破坏,改变了磨屑的形成机理,使其由纯 PTFE 的大块片状磨屑转变为复合材料的细粒状磨屑,而且具有一定的承载作用,从而提高了 PTFE/纳米 SiC 复合材料的摩擦磨损性能。这与上述的纳米 SiC 能提高 PTFE 复合材料的硬度相对应,较硬的材料抵抗外来载荷的能力增强,材料的耐磨损性能提高。另外试验中发现在对磨钢环表面存在转移物,试验结束时用脱脂棉球很难擦掉这些转移物,表明在钢环表面形成的转移物较牢固。另外还发现,随着纳米 SiC 含量的增加,对磨钢环表面更容易形成转移膜,该膜隔离了 PTFE/纳米 SiC 复合材料试样与对偶件钢环的直接接触,使摩擦在复合材料与转移膜之间进行,阻止了 PTFE 向对偶件表面的转移,降低了 PTFE/纳米 SiC 复合材料的磨损量。

2.4 PTFE/纳米 SiC 复合材料的摩擦性能

图5为 PTFE 及不同纳米 SiC 含量的 PTFE/纳米 SiC 复合材料的摩擦系数随载荷变化的关系曲线。由图5可知,当纳米 SiC 的质量分数为3%时,其摩擦系数接近纯 PTFE;当纳米 SiC 超过一定的含量(质量分数5%)时其摩擦系数又趋近于纯 PTFE。分析认为,纳米 SiC 含量较少时,它对 PTFE 材料的增强效果不明显,使得试样表面大部分区域与纯 PTFE 的摩擦行为相似,所以其摩擦系数与 PTFE 相

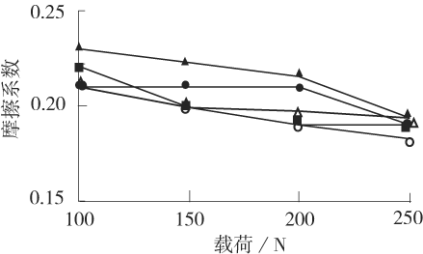


图5 PTFE 及 PTFE/纳米 SiC 复合材料的载荷与摩擦系数的关系曲线

近;而当纳米 SiC 含量增加时,由于纳米 SiC 易团聚,这种团聚的颗粒与 PTFE 基体结合不紧密,造成摩擦过程中颗粒脱落,使得脱落了纳米 SiC 粒子的试样的摩擦系数也趋近于纯 PTFE。只有当纳米 SiC 含量适当(质量分数 7%)时才能使纳米 SiC 在 PTFE 基体中均匀分布且与 PTFE 基体有较好的结合强度,其摩擦系数最小(0.21),甚至低于纯 PTFE,且随着载荷的增大而略有减小。这说明适量的纳米 SiC 的加入不会造成 PTFE/纳米 SiC 复合材料的摩擦性能的降低。随着纳米 SiC 含量的进一步增加,PTFE/纳米 SiC 复合材料的摩擦系数略有增大。分析其机理,主要是过量的纳米 SiC 在 PTFE 基体中分散形成转移层,使复合材料的硬度显著提高,在一定程度上阻碍了材料的粘塑性变形,使复合材料在外来载荷的压应力作用下变形量减小,从而使得 PTFE/纳米 SiC 复合材料在摩擦过程中与对磨钢环的实际接触面积变小,因而摩擦系数有所变大。

3 结论

(1) 纳米 SiC 能提高 PTFE 的硬度,且其硬度随着纳米 SiC 含量的增加而增大。

(2) PTFE/纳米 SiC 复合材料的磨损量随着纳米 SiC 含量的增加而明显减小,而摩擦系数在一定范围内基本保持不变,甚至低于纯 PTFE。当纳米 SiC 的质量分数为 7% 时,其摩擦磨损性能最好。

(3) 纳米 SiC 起到耐磨作用的主要原因是纳米

SiC 具有一定的承载作用,并能阻止 PTFE 呈带状结构的大面积破坏。此外,在摩擦过程中 PTFE/纳米 SiC 复合材料在对偶件表面形成的转移膜也起到了隔离复合材料与对偶件的直接接触,从而降低了 PTFE/纳米 SiC 复合材料的磨损量。

参考文献

- [1] 张招柱,薛群基,刘维民,等.陶瓷颗粒填充 PTFE 基复合材料的摩擦磨损性能研究[J].高分子材料科学与工程,2001,17(2):121-124.
- [2] 史丽萍,路琴,何春霞.纳米 TiO_2 对 PTFE 基复合材料磨粒磨损性能影响[J].塑料工业,2005,33(9):47-49.
- [3] Sawyer W G, Fredenberg K D, Bhimaraj P. A study on the friction and wear behavior of PTFE filled with alumina nano particles[J]. Wear, 2003,254(5):573-580.
- [4] Lu Xinchun, Wen Shizhu, Tong Jin, et al. Wettability, soil adhesion, abrasion and friction wear of PTFE(+ PPS) + Al_2O_3 composites[J]. Wear, 1996,193(1):48-55.
- [5] 黄丽,杨儒,郭江江,等.微米和纳米 SiO_2 改性聚四氟乙烯的摩擦磨损性能[J].复合材料学报,2004,21(4):82-84.
- [6] Wang Qihua, Xue Qunji, Liu Weimin, et al. The friction and wear characteristics of nanometer SiC and polytetrafluoroethylene filled polyetheretherketone[J]. Wear, 2000,243(1):140-146.
- [7] Bahadur S, Sunkara C. Effect of transfer film structure composition and bonding on the tribological behavior of polyphenylene sulfide filled with nano particles of TiO_2 , ZnO, CuO and SiC[J]. Wear, 2005,259(9):1411-1421.
- [8] 何春霞,史丽萍,沈惠平.纳米 Al_2O_3 填充聚四氟乙烯摩擦磨损性能的研究[J].摩擦学学报,2000,20(2):153-155.

DRY FRICTION AND WEAR PROPERTIES OF PTFE/NANO-SiC COMPOSITE

Lu Qin, He Chunxia, Shi Liping

(College of Engineering, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210031, China)

ABSTRACT Polytetrafluorethylene (PTFE) composites with various nano-SiC ratios respectively were obtained by compression molding. The effects of nano-SiC content and load on friction and wear properties of PTFE/nano-SiC composites in dry condition were evaluated with an MM-200 friction and wear tester. The worn surfaces of PTFE composites were examined by means of scanning electron microscopy (SEM) and the worn mechanism was discussed. Experimental results showed that SiC could increase hardness and wear resistance of PTFE; the wear amount and friction coefficient of the composite were the least at a mass fraction of SiC about 7%. The friction coefficient of PTFE/nano-SiC composites increased with the increasing of SiC content, and the wear amount of composites increased with the increasing of load.

KEYWORDS nano-SiC, polytetrafluorethylene, composite, friction and wear behavior

日本开发出流动性提高 2 倍以上的 PBT 系树脂

日本 GE 塑料公司开发出新型 PBT 系树脂,新产品具有比现有产品高 2 倍以上的流动性,是专为应用于汽车工业而开发的。其优点是可在不损害 PBT 基本特性下,利用较低的注塑压力制造出薄壁及大型制品,同时也可应付零件整合时的需求。对于玻璃纤维增强、阻燃、耐水解等品级业已做好了生产准备,同时将开拓制造配电箱及薄壁小型连接器等

方面的应用。新开发的超高流动性树脂系列 Valox(商品名)是玻璃纤维增强及无机填料增强的 PBT 系材料。成型材料能流动到模具的各个角落,与现有的材料相比,其最大充填压力可以降低 25%~30%,成型过程中也不会有不良现象发生。汽车业界为节省燃料及空间,在设计上趋于将各种功能整合为单一零件,这种超高流动性的材料则具有通过复杂形状的模具将各零件整合的优点。(日本化工)