

# PTFE /BaSO<sub>4</sub> 复合材料摩擦磨损性能研究

陈向荣 姜文军

(巨化集团技术中心, 衢州 324004)

**摘要** 用 M-2000 型摩擦磨损试验机研究了干摩擦条件下 BaSO<sub>4</sub> 用量、载荷、对磨时间对聚四氟乙烯(PTFE) 复合材料摩擦磨损性能的影响。在本实验条件下, PTFE/BaSO<sub>4</sub> 复合材料的摩擦系数随着 BaSO<sub>4</sub> 含量的增加而增大, 抗磨损能力则有一个最佳含量; 随着载荷的增加, 材料的摩擦系数、磨损量和磨痕宽度也随之增大; 磨损量随着对磨时间的延长而波动变小并趋于稳定。

**关键词** 聚四氟乙烯 BaSO<sub>4</sub> 复合材料 摩擦磨损

聚四氟乙烯(PTFE) 具有摩擦系数低, 耐候性、耐疲劳性优异, 电性能、化学稳定性和热稳定性好等优点, 被广泛应用于电子、航空、化学、机械、建筑、汽车、食品和医药等领域。但在实际应用中, PTFE 也存在力学强度差、易“冷流”和耐磨性差等缺陷。于是, 人们采用多种填料对 PTFE 进行增强改性<sup>[1~5]</sup>, 得到了满意的效果。笔者选用 BaSO<sub>4</sub> 为填料制备了 PTFE /BaSO<sub>4</sub> 复合材料, 并研究了不同 BaSO<sub>4</sub> 含量、不同载荷和不同对磨时间下 PTFE /BaSO<sub>4</sub> 复合材料的摩擦磨损性能。

## 1 实验部分

### 1.1 主要原材料

BaSO<sub>4</sub>: 沉淀 BaSO<sub>4</sub>, 10 μm(1200 目), 湖北陕西化工厂;

PTFE: 牌号 JF-4TM, 巨化集团巨圣氟化学有限公司。

### 1.2 主要设备、仪器

磨损试验机: M-2000 型, 河北宣化材料试验机厂;

分析天平: TG 328B 型, 上海天平仪器厂;

电子数显卡尺: 上海量具刃具厂。

### 1.3 试样制备

将 BaSO<sub>4</sub> 与 PTFE 按一定配比混合并搅拌均匀, 在一定的预压力下冷压成型, 然后在高温下自由烧结而制得试样。

### 1.4 性能测试与表征

采用磨损试验机测定试样在不同 BaSO<sub>4</sub> 含量、不同载荷、不同对磨时间下的摩擦磨损性能。对磨件为 45° 钢, 外径为 40 mm, 转速为 200 r/min, 试样尺寸为 6 mm × 7 mm × 30 mm。试样的磨痕宽度用精度为 0.02 mm 的电子数显卡尺测量。

试样的摩擦系数采用(1) 式计算:

$$\mu = T / (R \cdot P) \tag{1}$$

式中:  $\mu$ ——摩擦系数;

$T$ ——摩擦力矩, N · m;

$P$ ——试样所受的垂直负荷, N;

$R$ ——对磨件半径, m。

试样的磨损量采用(2) 式计算:

$$W = W_0 - W_1 \tag{2}$$

式中:  $W$ ——试样的磨损量;

$W_0$ ——试验前的试样重;

$W_1$ ——试验后的试样重。

## 2 结果与讨论

### 2.1 BaSO<sub>4</sub> 用量对材料摩擦系数和磨损量的影响

表 1 为不同 BaSO<sub>4</sub> 含量下 PTFE /BaSO<sub>4</sub> 复合材料的摩擦系数和磨损量。从表 1 可知, 材料的摩擦系数随着 BaSO<sub>4</sub> 含量增加而呈现增大趋势。这是由于 PTFE /BaSO<sub>4</sub> 复合材料的摩擦面由低摩擦系数的 PTFE 和高摩擦系数的 BaSO<sub>4</sub> 粒子组成, 材料的摩擦系数由这两种材料在摩擦面上所占的面积含量决定。随着 BaSO<sub>4</sub> 含量的增加, 试样表面的 BaSO<sub>4</sub> 成分也随之增多, 在摩擦面上的面积含量也越大, BaSO<sub>4</sub> 粒子参与摩擦的几率也增大, 从而使材料的摩擦系数增大。但摩擦系数的增大幅度并不大, 显然制品表面参与摩擦的物质仍以 PTFE 为主。据文献<sup>[1~3]</sup> 报道, PTFE 在摩擦时会向对磨件表面转移形成一层 PTFE 膜, 若加入的填料有助于或不影响该膜在对磨件表面的粘附和固定, 将有利于摩擦系数的减小。从测试数据来看, 随着 BaSO<sub>4</sub> 含量的增加, 摩擦系数的变化保持在一个较小的范围之内。应该说 BaSO<sub>4</sub> 至少是一种不影响 PTFE 转移膜粘附和固定在对磨件上的无机填料。但从磨损试验机的

表 1 不同 BaSO<sub>4</sub> 含量下材料的摩擦系数和磨损量

| 项目         | PTFE/BaSO <sub>4</sub><br>( 95 . 2/4. 8 ) | PTFE/BaSO <sub>4</sub><br>( 90 . 9/9. 1 ) | PTFE/BaSO <sub>4</sub><br>( 87 /13 ) | PTFE/BaSO <sub>4</sub><br>( 83. 3 /16. 7 ) | PTFE/BaSO <sub>4</sub><br>( 77 /23 ) | PTFE/BaSO <sub>4</sub><br>( 71 /29 ) | PTFE/BaSO <sub>4</sub><br>( 60 /40 ) | PTFE/BaSO <sub>4</sub><br>( 50 /50 ) |
|------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| 摩擦系数 $\mu$ | 0. 195                                    | 0. 198                                    | 0. 200                               | 0. 208                                     | 0. 218                               | 0. 223                               | 0. 230                               | 0. 240                               |
| 磨损量/mg     | 29. 3                                     | 10. 2                                     | 4. 0                                 | 2. 9                                       | 2. 4                                 | 3. 4                                 | 6. 0                                 | 9. 80                                |
| 磨痕宽度/mm    | 8. 49                                     | 6. 55                                     | 5. 32                                | 4. 65                                      | 4. 62                                | 4. 91                                | 5. 31                                | 5. 65                                |

注:载荷 200 N, 对磨时间 2 h。

摩擦力矩实时测试数据来看,随着 BaSO<sub>4</sub> 含量的提高,摩擦力矩的波动幅度有所增大。

从表 1 还可看出, BaSO<sub>4</sub> 含量为 23% 时,材料的磨损量和磨痕宽度最小。在 BaSO<sub>4</sub> 含量低于 29% 以前,材料的磨损量和磨痕宽度随着 BaSO<sub>4</sub> 含量的增大而减小,但 BaSO<sub>4</sub> 含量大于等于 29% 后,材料的磨损量随之增大。这可能是 BaSO<sub>4</sub> 在 PTFE 中的极限含量。在本实验条件下, BaSO<sub>4</sub> 含量为 23% 时,材料的耐磨性最好。

据文献<sup>[1~3]</sup>报道, PTFE 的磨损本质在于其在外力的作用下,大分子链发生滑移或断裂,从而使材料被拉出结晶区并呈片状转移到对磨件表面,造成粘着磨损。若加入粉末状硬质填料,填料的硬度一般比 PTFE 大,具有对负荷优先承载的作用,而填料表面又可吸附大分子链,1 个粒子表面可吸附多条大分子链,粒子相互间吸附的大分子链互相缠结,从而使吸附大分子链的粒子能起到均匀分布载荷的作用。这样,当其中 1 条大分子链受到应力时,可通过填料粒子将应力分散到各分子链上,使应力分布均匀,从而使 PTFE/BaSO<sub>4</sub> 材料中的 PTFE 大分子链不易发生滑移和断裂,因而使耐磨性提高。

在本实验中,加入 BaSO<sub>4</sub> 后 PTFE/BaSO<sub>4</sub> 材料的硬度和压缩强度都得到提高,在与钢对磨时, BaSO<sub>4</sub> 优先承受外力,同时 BaSO<sub>4</sub> 粒子使 PTFE 大分子链的链间滑移受到阻碍,从而使材料的耐磨性得到提高。

2.2 载荷对材料摩擦系数和磨损量的影响

表 2 列出不同载荷下含 16.7% BaSO<sub>4</sub> 的 PTFE/BaSO<sub>4</sub> 的磨损量和摩擦系数。由表 2 可知,随着载荷的增加,材料的摩擦系数也随之增大。在 150 ~ 250 N 范围内,摩擦系数增幅较小;当载荷超过 250 N 后,摩擦系数增幅变大。由表 2 还可看出,随着载荷的增加,磨损量和磨痕宽度也随之增大。载荷小于 250 N 时,磨损量变化缓慢;载荷超过 250 N 后,随着载荷的增加,磨损量急剧增大。这是因为 PTFE 本身具有塑性,在载荷变大时,材料参与摩擦的有效表面积增大,从而增加了材料的磨损量。但由于

PTFE 的自润滑作用,载荷较低时,随着载荷的增大,摩擦表面富积的 PTFE 磨屑增多,有助于 PTFE 润滑膜的形成,这时的摩擦系数增幅也较小。同时形成的润滑膜在很大程度上能抵消载荷对磨损量的增大作用,使得磨损量仅缓慢增大;但载荷的进一步加大(250N 以上),使润滑膜被破坏,因而导致磨损量大幅增大。因此 PTFE/BaSO<sub>4</sub> 材料不宜在高载荷条件下工作。

表 2 在不同载荷下材料的磨损量和摩擦系数

| 载荷/N | 磨损量/mm | 摩擦系数 $\mu$ | 磨痕宽度/mm |
|------|--------|------------|---------|
| 50   | 0. 3   | 0. 0512    | 2. 66   |
| 100  | 0. 5   | 0. 0963    | 3. 00   |
| 150  | 0. 9   | 0. 2070    | 3. 56   |
| 200  | 1. 2   | 0. 2075    | 4. 16   |
| 250  | 1. 7   | 0. 2250    | 5. 13   |
| 300  | 3. 9   | 0. 3500    | 6. 29   |
| 350  | 5. 7   | 0. 3525    | 8. 98   |

注:对磨时间 30 min。

2.3 对磨时间对材料摩擦系数和磨损量的影响

表 3 列出不同对磨时间下含 16.7% BaSO<sub>4</sub> 的 PTFE/BaSO<sub>4</sub> 材料的磨损量和摩擦系数。由表 3 可知,随着对磨时间的延长,材料磨损量的波动变小并趋于稳定。最初对磨时间为 40 min 时的磨损量最大,随着时间的延长,单位时间的磨损量在第一个 120 min 内是下降的,在第二个 120 min 内又出现相同的情况,但在第三个 120 min 内则没有出现类似的状况。而在这三个 120 min 之间则都出现了单位磨损量增大的情况。总体上讲,单位磨损量处于一种减小的趋势。这是因为随着对磨时间的延长, PTFE磨屑很快在对磨面上富积,形成的自润滑膜使

表 3 不同对磨时间内材料的磨损量和摩擦系数

| 对磨时间/min | 磨损量/mg | 摩擦系数 $\mu$ |
|----------|--------|------------|
| 0 ~40    | 3. 8   | 0. 1731    |
| 40 ~80   | 2. 7   | 0. 1788    |
| 80 ~120  | 1. 5   | 0. 2006    |
| 120 ~160 | 2. 4   | 0. 1888    |
| 160 ~200 | 1. 9   | 0. 1875    |
| 200 ~240 | 1. 1   | 0. 1900    |
| 240 ~280 | 1. 6   | 0. 2038    |
| 280 ~320 | 1. 2   | 0. 1913    |
| 320 ~360 | 1. 4   | 0. 1825    |

注:载荷 200 N。

得磨损量变小,并趋于稳定。从实验数据可看出,材料的耐磨性随着时间的延长并没有出现变差的趋势,磨损量的变化并不大。

从表 3 还可看出,摩擦系数在第一个 120 min 内随着时间的延长而增大,而其后的变化则较复杂,可能是 BaSO<sub>4</sub> 本身并不具有润滑性,材料摩擦系数的变化主要由 PTFE 决定,一旦 PTFE 转移膜被某种因素破坏就会使材料的摩擦系数出现波动。

### 3 结语

(1) BaSO<sub>4</sub> 的加入使 PTFE/BaSO<sub>4</sub> 的摩擦系数增大,但大幅度提高了材料的耐磨性。在本实验条件下, BaSO<sub>4</sub> 含量为 23% 时,材料的耐磨性最好。PTFE/BaSO<sub>4</sub> 材料耐磨性的提高主要是因为加入 BaSO<sub>4</sub> 后其硬度和压缩强度都得到提高,在与钢对磨时, BaSO<sub>4</sub> 优先承受外力,同时其粒子使 PTFE 大分子链的链间滑移受到阻碍。

## STUDY ON FRICTION AND WEAR PROPERTIES OF BaSO<sub>4</sub> FILLED PTFE COMPOSITES

Chen Xiangrong, Jiang Wenjun

( Technology Center, Juhua Group, Quzhou 324004, China )

**ABSTRACT** Effect of BaSO<sub>4</sub>, load and time on the friction and wear properties of polytetrafluoroethylene ( PTFE ) composites is studied using M - 2000 model friction and wear tester under dry friction condition. Experimental results show that PTFE filled with BaSO<sub>4</sub> can reduce the wear of PTFE, but the anti-wear ability has an optimal proportion, at the time, the friction coefficient of PTFE composites will increase with the increase of BaSO<sub>4</sub> content; the friction coefficient, wear width and wear value will increase with raising of load; the wear value will reach a stable value with increasing of working time.

**KEYWORDS** polytetrafluoroethylene, BaSO<sub>4</sub>, composite, friction and wear

## 欢迎订阅《2002 年中国工程塑料加工应用技术研讨会论文集》

为推动我国工程塑料加工应用技术进步,中国工程塑料工业协会加工应用专委会于 2002 年 10 月 26 日 ~29 日在浙江余姚市召开“2002 年中国工程塑料加工应用技术研讨会”。为配合这次会议,《工程塑料应用》杂志社从本次会议征集的众多来稿中优选了 100 篇优秀论文,编辑出版了本次会议的论文集。论文内容涉及有关工程塑料的合成、改性、生产、加工、应用、测试、模具、加工设备、文献综述、供需市场及预测等。在这些论文中,既有 WTO 与中国石油和化学工业、直面入世后的中国工程塑料工业、我国塑料机械制造业概况及展望等对行业发展有关的指导性专论;也有塑料加工新工艺、塑料改性实用技术、塑料模具设计及热流道等新技术、塑料模具优质材料及表面处理技术、计算机在塑料模具设计制造中的应用等反映塑料改性、加工、应用等最新发展的论文。

该论文集内容丰富、技术水平高,集中当前行业人士关心的“热点”、“难点”问题,展示了我国工程塑料加工应用技

(2) 随着载荷的增加,PTFE/BaSO<sub>4</sub> 的摩擦系数、磨损量和磨痕宽度也随之增大,特别是在 250 N 以上时,材料的摩擦系数、磨损量大幅度增大。因此 PTFE/BaSO<sub>4</sub> 材料不宜在高载荷条件下工作。

(3) 随着对磨时间的延长,PTFE/BaSO<sub>4</sub> 磨损量的波动变小并趋于稳定;摩擦系数的变化则比较复杂。

### 参考文献

- 1 Tanaka K. Transfer of semicrystalline polymers sliding against a smooth steel surface. *Wear*, 1982, 75: 183
- 2 Bahadur S, Tabor D. The wear of filled PTFE. *Wear*, 1984, 98: 1
- 3 Tanka K, Kawakami S. Effects of various fillers on the friction and wear of PTFE-based composites. *Wear*, 1982, 78: 241
- 4 杨忠新. 聚四氟乙烯改性材料及其应用. *机械工程材料*, 1991 (2): 57
- 5 刘维民. 填充聚四氟乙烯对尼龙 6 摩擦磨损性能影响的研究. *固体润滑*, 1991, 11(3): 168

术研究的最新成果,适于从事工程塑料研究、生产和教学的工程技术人员、大专院校师生阅读。另我社尚有部分 2000 年、2001 年编辑出版的论文集,价格优惠,欢迎广大读者同时订阅。

《2002 年中国工程塑料加工应用技术研讨会论文集》 50 元/册;  
《2001 年中国工程塑料加工及模具技术研讨会论文集》 36 元/册;  
《2000 年中国工程塑料加工应用技术研讨会论文集》 40 元/册。

### 邮局汇款

收款单位: 山东省济南市 108 信箱杂志社

邮政编码: 250031

电话: 0531 - 5816706 - 802, 805 5947355

### 银行汇款

户名: 中国兵器工业第五三研究所

开户银行: 济南市工商银行八一分理处

帐号: 1602001209014424079