

尼龙 6/纳米 Al_2O_3 复合材料与铜摩擦副的摩擦磨损性能

钟明强 孙 莉

贾 虹

(浙江工业大学化学工程与材料学院,杭州 310014) (烟台中策橡胶有限公司,烟台 264002)

摘要 采用双螺杆挤出机共混制备尼龙 6/纳米 Al_2O_3 复合材料,考察了复合材料的硬度及与铜摩擦副的摩擦磨损性能。试验表明,加入纳米 Al_2O_3 可使尼龙 6 的硬度提高。在低载荷时,复合材料的摩擦系数随载荷的增加而减小;当载荷超过一定值后,摩擦系数增大;载荷一定时,摩擦系数随纳米 Al_2O_3 含量的增加呈上升趋势。当纳米 Al_2O_3 含量达到 10 份时,复合材料的磨损量较小;当纳米 Al_2O_3 超过 10 份时,纳米 Al_2O_3 粒子的团聚会造成其与基体尼龙 6 的结合力降低,最终导致尼龙 6/纳米 Al_2O_3 复合材料磨损量增大。

关键词 纳米 Al_2O_3 尼龙 6 摩擦 磨损 铜摩擦副

尼龙 6 (PA6) 具有力学强度高、韧性好、耐磨损、抗震吸音、耐油、耐弱酸弱碱及有机溶剂、易于成型加工、电气性能优良等特点,被广泛应用于工程、电器、仪表结构件等。目前对 PA6 的研究主要集中在结构与性能方面,而有关采用共混填充法制备 PA6 复合材料并研究其摩擦磨损特性的文献报道很少。对 PA 类复合材料的摩擦磨损性能研究主要限于 PA11^[1~6]、PA66^[7]。R. John 等^[8]介绍了各种聚合物的摩擦磨损特性,阐明 PA6 具有良好的自润滑性,是一种很好的耐磨轴承材料。对 PA6 的摩擦磨损研究仅见李国禄等^[9]对常规尺寸 SiC 颗粒填充单体浇铸尼龙的报道。

由于纳米无机粒子颗粒尺寸小、比表面积大,因而呈现常规材料所没有的特性,对聚合物具有特殊的改性作用。纳米 Al_2O_3 是一种既有很高硬度又有很好耐磨性的刚性粒子,因此,采用双螺杆挤出共混法直接制备 PA6/纳米 Al_2O_3 复合材料,并研究各种因素对其摩擦磨损性能的影响规律,具有重要的理论和实际意义。笔者系统考察了纳米 Al_2O_3 填充 PA6 复合材料与铜摩擦副对磨的摩擦磨损性能及机理,以期获得一种综合性能优良的改性耐磨 PA6。

1 实验部分

1.1 原材料

PA6: 1013B, 日本 UBE 公司;

纳米 Al_2O_3 : 平均粒径约为 90 nm, 经有机化处理, 浙江舟山明日集团。

1.2 设备与仪器

双螺杆挤出机: TE-36 型, 南京科亚化工装备有限公司;

注塑机: SZ-160/80NB 型, 宁波塑料机械总厂;

硬度计: HV1000 型, 上海材料厂;

透射电子显微镜 (TEM): 1200EX 型, 日本电子公司;

摩擦磨损仪: MMW-1 型, 济南试金集团;

分析天平: AG280 型, 美国梅特勒-托利多公司。

1.3 试样制备

将在 110℃ 干燥 6 h 的 PA6 分别与 5、10、15、20 份 (即每 100 g 树脂中加入的填料量) 的纳米 Al_2O_3 用双螺杆挤出机共混造粒, 粒料在 110℃ 干燥 6 h, 再经注塑机注塑成标准试样。

1.4 性能测试

摩擦磨损试验参照 GB 3960-1989《塑料滑动摩擦磨损试验方法》执行; 试样称量精确度为 0.01 mg; 销试样为 PA6/纳米 Al_2O_3 复合材料, 其尺寸为 5 mm × 20 mm 的圆柱体, 试验前精细抛光, 粗糙度 R_a 为 0.14 ~ 0.20 μm ; 盘试样为铜, 其硬度为 HRC18 ~ 20, R_a 为 0.14 ~ 0.20 μm ; 摩擦系数以对磨 30 min 的稳定阶段的平均值为准; 磨损量采用失重法测定。

采用 TEM 分析纳米 Al_2O_3 在 PA6 基体中的分布及形态。

2 结果与讨论

2.1 纳米 Al_2O_3 含量对 PA6 复合材料硬度的影响

图 1 为纳米 Al_2O_3 含量对 PA6 复合材料显微硬度的影响。由图 1 可见, PA6/纳米 Al_2O_3 复合材料的显微硬度随纳米 Al_2O_3 填充量的增加而增大。这是因为纳米 Al_2O_3 的显微硬度远远高出一般的常规材料, 其表面能和表面张力也随粒径的减小而急剧

增大。一方面,有机化处理后的纳米 Al_2O_3 与基体 PA6 大分子会产生“物理交联”;另一方面,纳米 Al_2O_3 均匀地分散在 PA6 基体之中,可以起刚性支撑点的作用,两方面综合作用的结果使 PA6 的显微硬度和强度得到提高。

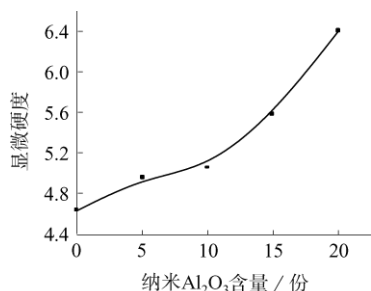


图1 纳米 Al_2O_3 含量对 PA6 复合材料显微硬度的影响

2.2 载荷与纳米 Al_2O_3 含量对 PA6 复合材料摩擦性能的影响

图2是载荷与纳米 Al_2O_3 含量对 PA6 复合材料摩擦系数的影响。图2表明,当施加的载荷一定时,PA6/纳米 Al_2O_3 复合材料与铜对磨的摩擦系数随纳米 Al_2O_3 填充量的增加而增大;当填充量一定时,摩擦系数随载荷的增加呈现先减小后增大的变化规律。这是由于纳米 Al_2O_3 在 PA6 中的分散与团聚状况变化而引起的。由于 PA6 是一种粘弹性聚合物,其在载荷的作用下易发生粘弹变形,当载荷较低时,摩擦系数随载荷的增大而减小;而当载荷增大到一定值时,摩擦使试样表面温度升高,复合材料的力学强度降低、承载能力下降、摩擦系数增大(其摩擦系数变化曲线服从 $\mu = KP^{n-1}$, 其中 μ 为摩擦系数; K 为常数; P 为载荷; $2/3 < n < 1^{[10]}$)。

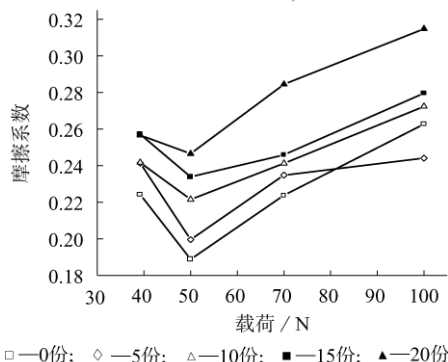


图2 载荷与纳米 Al_2O_3 含量对 PA6 复合材料摩擦系数的影响

2.3 载荷与纳米 Al_2O_3 含量对 PA6 复合材料磨损性能的影响

图3是载荷与纳米 Al_2O_3 含量对 PA6 复合材料磨损性能的影响。由图3可见,PA6/纳米 Al_2O_3 复合材料的磨损量随载荷的增加而上升;同一载荷下,

磨损量的变化随填充量的增加而出现一个最小值,在填充量为10份时磨损量最小,超过10份后磨损量增大,当填充量为20份时磨损量甚至与纯 PA6 相当。

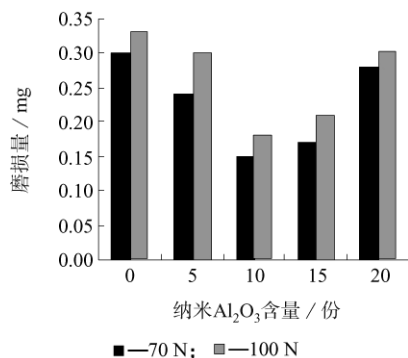


图3 载荷与纳米 Al_2O_3 含量对 PA6 复合材料磨损性能的影响

对 PA6 大分子来说,经过有机化处理的纳米 Al_2O_3 与其大分子能有效结合,从而阻碍滑动摩擦过程中 PA6 的软化变形,抑制 PA6 发生向摩擦副的粘着转移,在一定程度上降低了 PA6 的磨损。对基体 PA6 而言,纳米 Al_2O_3 存在一最佳填充量,低于此填充量,不能有效地对基体 PA6 大分子产生物理交联。超过最佳填充量,一方面纳米粒子容易团聚,团聚体在基体中成为应力集中点,因而在滑动摩擦过程中容易脱落;另一方面,团聚的粒子与基体结合力较低,两方面作用的结果造成复合材料磨损量增大。只有在填充量适当时纳米 Al_2O_3 才能有效地在基体中分散,铆接基体 PA6 大分子链,在滑动过程中阻碍基体向摩擦副转移,从而最大程度地降低复合材料的磨损量。

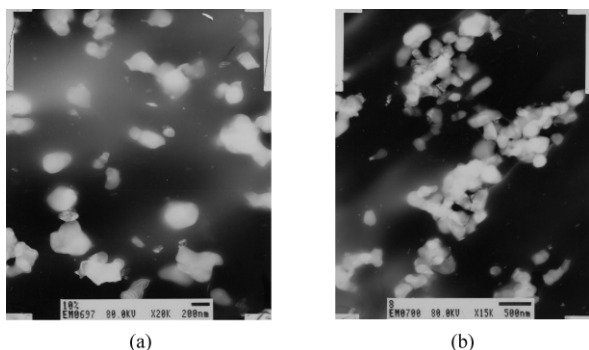
2.4 纳米 Al_2O_3 在 PA6 中的分散状况

图4为 PA6/纳米 Al_2O_3 复合材料的 TEM 照片。图4表明,纳米 Al_2O_3 填充量为10份时其粒子在 PA6 基体中分散较好,基本上无团聚。当 Al_2O_3 填充量为20份时,纳米 Al_2O_3 出现了严重的团聚,团聚的纳米 Al_2O_3 必然会减少与基体大分子的有效结合面;另一方面团聚体在材料的滑动过程中成为应力集中点,反复地摩擦会使硬质纳米 Al_2O_3 与基体的结合力进一步降低,硬质粒子脱落,最终导致磨损量增大。

3 结论

(1) 表面有机化处理的纳米 Al_2O_3 可以对 PA6 起类似“物理交联”的刚性支撑点作用,从而使 PA6 的硬度得到提高。

(2) 对铜摩擦副而言,PA6/纳米 Al_2O_3 复合材



(a)

(b)

a—10 份纳米 Al_2O_3 ; b—20 份纳米 Al_2O_3

图 4 PA6/纳米 Al_2O_3 复合材料的 TEM 照片

料的摩擦系数在低载荷条件下随着载荷的增大而减小;而当载荷增大到一定值时,摩擦系数随载荷的增加而增大;载荷一定时,摩擦系数随纳米 Al_2O_3 填充量的增加而增大。

(3) 纳米 Al_2O_3 可以降低 PA6 复合材料的磨损,并存在一最佳填充量。当纳米 Al_2O_3 填充量为 10 份时,其粒子在基体中均匀分散,能有效地连接基体大分子,阻碍 PA6 基体向摩擦副的粘着转移磨损,使 PA6/纳米 Al_2O_3 复合材料的磨损量较小。

参考文献

- 1 Bahadur S, Gong D L, Anderegg J W. The role of copper compounds as fillers in transfer film formation and wear of nylon. *Wear*, 1992,

154: 207

- 2 Bahadur S, Kapoor A. The effect of ZnF_2 , ZnS , PbS fillers on the tribological behavior of nylon 11. *Wear*, 1992, 155: 49
- 3 Bahadur S, Gong D L. The transfer and wear of nylon and CuS-nylon composites: filler proportion and counterface characteristics. *Wear*, 1993, 162 ~164: 397
- 4 Bahadur S, Gong D L. Formulation of the model for optimal proportion of filler in polymer for abrasive wear resistance. In: Ludema K C, et al. *Wear of Materials 1991*. New York: ASME, 1991. 177
- 5 Bahadur S, Gong D L. Tribochemical studies by XPS analysis of transfer films of Nylon 11 and its composites containing copper compounds. *Wear*, 1993, 165: 205
- 6 Kapoor A, Bahadur S. Transfer film bonding and wear studies on CuS-nylon composite sliding against steel. *Tribology International*, 1994, 27: 323
- 7 Apichartpattanasiri S, Hay J N, Kukureka S N. A study of the tribological behaviour of polyamide 66 with varying injection-moulding parameters. *Wear*, 2001, 251: 1557
- 8 John R, Bijwe J, Tewari U S. Abrasive wear performance of various polyamides. *Wear*, 2002, 252: 769
- 9 李国祿,王昆林,崔周平,等. SiC 颗粒填充单体浇铸尼龙的摩擦学性能. *清华大学学报(自然科学版)*, 2000, 40(4): 31
- 10 Sieyman A, Buchman A, Kenig S. Residual stresses in polymers: the effect of thermal history. *Polymer Engineering Science*, 1982, 22: 40

FRICITION AND WEAR PROPERTIES OF NYLON 6/NANO- Al_2O_3 COMPOSITES AGAINST COPPER FRICTION COUNTERFACE

Zhong Mingqiang, Sun Li

(College of Chemical Engineering and Materials, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014, China)

Jia Hong

(Yantai CSI Rubber Co. Ltd., Yantai 264002, China)

ABSTRACT The nylon 6/nano- Al_2O_3 composite is prepared by blending in twin-screw extrusion machine. The rigidity and friction and wear properties against copper friction counterface are studied. The testing results show that the addition of nano- Al_2O_3 can increase rigidity of nylon 6. The friction coefficient of composite decreases with the increasing of load under low load, and the friction coefficient increases when the load exceeds definite value. Under certain load, the friction coefficient increases with the increasing of nano- Al_2O_3 content. When the nano- Al_2O_3 content is 10 phr, the wear mass loss is the least. And when exceeding 10 phr, the agglomeration of nano- Al_2O_3 particle may decrease the bound force against nylon 6 matrix which results in the increasing of wear mass loss.

KEYWORDS nano- Al_2O_3 , nylon 6, friction, wear, copper friction counterface

西门子开发玻璃/塑料复合材料

西门子公司最近开发出一种新型玻璃/塑料复合材料,它可克服常规玻璃纤维增强热塑性塑料的缺陷,具有耐磨损和耐温变的特性及良好的可加工性能。

这种复合材料是将大量低温玻璃添加到高温热塑性塑料中制成的,这些高温热塑性塑料包括液晶聚合物、聚醚砜、聚酰亚胺和聚苯硫醚等。这种新的掺混物可含有高达 80% 的玻璃,但仍能保持良好的可加工性。

用该复合材料生产的部件具有耐磨损和耐温变的良好特性,这是因为在生产、掺混和加工过程中,玻璃成分呈熔融状态,使含有大量玻璃成分时也不影响该材料的流动性能,新材料的磨损率与未充填的热塑性塑料相当。

这种新材料可与塑料或金属粘合,适用于表面模塑设备加工,潜在的应用包括汽车和燃料系统部件、轴承、电子零部件、抗刮伤外壳等,这种复合材料另外的特性是阻燃性好、能回收利用、高度耐热和尺寸稳定等。(钱伯章)