

[文章编号] 1004-0609(2001)04-0611-05

La₂O₃ 填充 PA1010 复合材料的摩擦磨损性能^①

熊党生, 陈 磊, 王振中

(中国矿业大学 机电与材料工程学院, 徐州 221008)

[摘 要] 采用热挤压方法制备了不同 La₂O₃ 含量的尼龙 1010(PA1010) 复合材料。测定了复合材料的密度和硬度, 在 MM-200 型环-块试验机上考察了其摩擦磨损性能。用光学显微镜观察了材料表面磨痕和转移膜形貌。结果发现: La₂O₃ 能显著改善 PA1010 的摩擦学性能, 尤其是填充量为 15% 的 PA1010 复合材料减摩耐磨性能最佳, 其摩擦系数从未填充的 0.87 降到 0.33, 磨损率降低近 1 个数量级。PA1010 的磨损主要表现为严重犁削、粘着、疲劳和塑性变形, 其转移膜不均匀, 且有脱落现象。PA1010-15% La₂O₃ 复合材料的磨损主要表现为轻微犁削, 其转移膜薄而致密, 且均匀光滑。这与二者的耐磨性能相一致。

[关键词] 尼龙 1010 复合材料; 稀土化合物; 摩擦磨损; 转移膜

[中图分类号] TH 117.1

[文献标识码] A

对聚合物进行填充改性是设计和制备新型材料的有效途径。在聚合物中填充金属粉末和其它无机化合物等, 不仅可提高其力学性能^[1], 降低其熔体粘度^[2], 还可以改善其摩擦磨损性能^[3]。稀土元素因其具有特殊的电子结构和物理化学性质, 在材料科学中得到了广泛的应用。稀土填充聚合物复合材料可用于制备各种荧光材料、激光材料、磁性材料和射线防护材料等^[4]。聚合物稀土改性可提高其导电性能^[5], 热稳定性能^[6]和力学性能等。目前稀土在摩擦学中的应用也得到了广泛的重视, 稀土化合物(CeO₂, La₂O₃, CeF₃, LaF₃ 和 Y₂O₃ 等)作为高温润滑剂、润滑油脂添加剂、抗磨涂层添加剂及添加到合金中改善其高温摩擦磨损性能等都得到了较多的研究^[7~11]。文献[12]报道了几种稀土化合物填充聚四氟乙烯的摩擦磨损性能。而稀土化合物填充聚合物的减摩行为和减摩抗磨机理还有待于进一步研究。尼龙 1010(PA1010)具有高强度、高韧性、耐高压、尺寸稳定性良好等优点, 已广泛应用于机械、汽车、造船、纺织、仪表等工业部门, 可用来代替有色金属或其它材料, 但其摩擦系数偏高, 耐磨性能还有待于进一步提高。本文作者考察了 La₂O₃ 对 PA1010 摩擦磨损性能的影响, 并探讨了其减摩抗磨机理。

1 实验

1.1 试样制备

制备复合材料所用的基体原料为上海赛璐珞厂提供的 PA1010 粉末, 粒度小于 100 μm。用作填料的 La₂O₃ 稀土化合物粉末由湖南稀土金属材料研究所提供, 粒度小于 80 μm, 纯度为 99.9%。将稀土化合物粉末按不同的质量分数添加到 PA1010 粉末中, 充分搅拌混合均匀后送入 WZM-I 型微型注塑机中, 加热至 236 °C, 保温约 10 min 熔融后挤压成块状材料, 经机加工成尺寸为 6 mm × 10 mm × 12 mm 的摩擦磨损试验用试样。

1.2 性能测试

摩擦磨损性能评价在 MM-200 型环-块试验机上进行。偶件为淬火 45[#] 钢环, 硬度为 HRC 56, 直径为 d40 mm。试验前试样表面均用 500[#] 砂纸打磨, 然后用酒精棉球清洗, 在空气中晾干后备用。试验在室温、大气和干摩擦下进行。试环转速为 200 r/min(滑行速度 4.19 m/s)。无特殊说明外, 载荷为 100 N, 滑行时间为 60 min。

用感量为 0.1 mg 的电子分析天平测定复合材料试块磨损前后的质量损失。用 XHR-150 型塑料洛氏硬度计测定复合材料的硬度, 用光学显微镜观

① [基金项目] 江苏省应用基础研究资助项目(BJ2000030)

[收稿日期] 2000-11-07; [修订日期] 2001-02-12

[作者简介] 熊党生(1960-), 副研究员, 硕士。

察试块磨损表面及试环表面转移膜形貌。

2 实验结果与讨论

2.1 La₂O₃ 填充量对密度和硬度的影响

La₂O₃ 填充量对 PA1010 密度和硬度的影响如图 1 所示。可以看出，复合材料的密度随着 La₂O₃ 含量增加而上升，尤其是 La₂O₃ 含量在 5%~30% 范围内上升显著。La₂O₃ 含量在 0~15% 范围内硬度随着 La₂O₃ 含量增加而上升，在 15%~40% 范围内硬度随着 La₂O₃ 含量增加而下降。La₂O₃ 含量为 15% 的复合材料硬度最高，其值为 117 HRM。

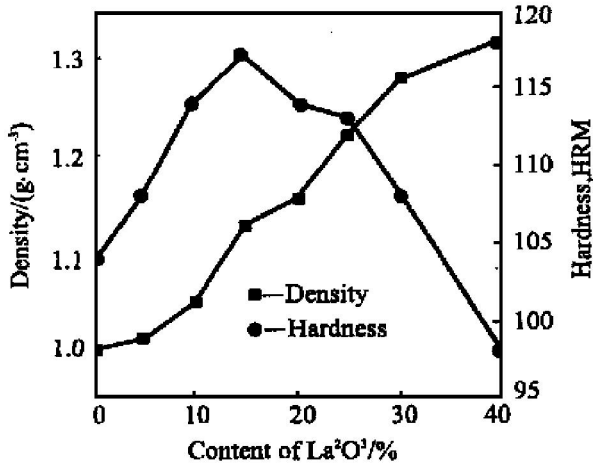


图 1 填充 PA1010 复合材料的密度和硬度随 La₂O₃ 含量的变化曲线

Fig. 1 Variations of density and hardness of PA1010 composite with content of La₂O₃

2.2 La₂O₃ 填充量对摩擦磨损性能的影响

PA1010 及其含 5%、10%、15%、30% 和 40% 的 La₂O₃ 复合材料的摩擦系数随滑行距离的变化曲线如图 2 所示。可见 PA1010 及其填充复合材料的起始摩擦系数都较低，随着滑行距离增加摩擦系数迅速上升，PA1010 的摩擦系数上升更加显著，达到最高值后又略有下降并趋于稳定。且 La₂O₃ 填充 PA1010 复合材料的起始摩擦系数随 La₂O₃ 含量的增加而有所降低。

取 800 m 以后较稳定状态下的摩擦系数的平均值为该材料的摩擦系数。图 3 所示为 La₂O₃ 填充量对 PA1010 复合材料摩擦系数和磨损率的影响。可以看出，磨损率和摩擦系数随 La₂O₃ 含量的变化趋势相似，La₂O₃ 含量在 0~10% 范围内，随着 La₂O₃ 含量增加摩擦系数和磨损率迅速下降，含量为 15% 时摩擦系数和磨损率最低，La₂O₃ 含量超过 15% 时

摩擦系数和磨损率略有上升。纯 PA1010 的磨损率是 La₂O₃ 填充 PA1010 复合材料的 3~8 倍。

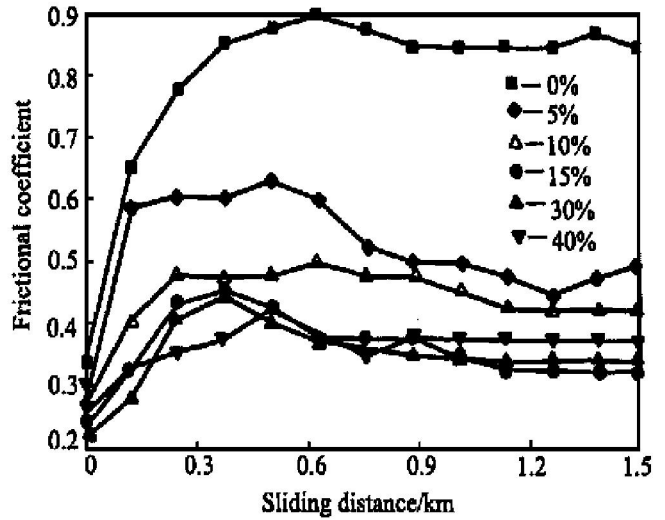


图 2 几种不同 La₂O₃ 含量的复合材料摩擦系数随滑行距离的变化曲线

Fig. 2 Variations of friction coefficient with sliding distance of composites contented different La₂O₃

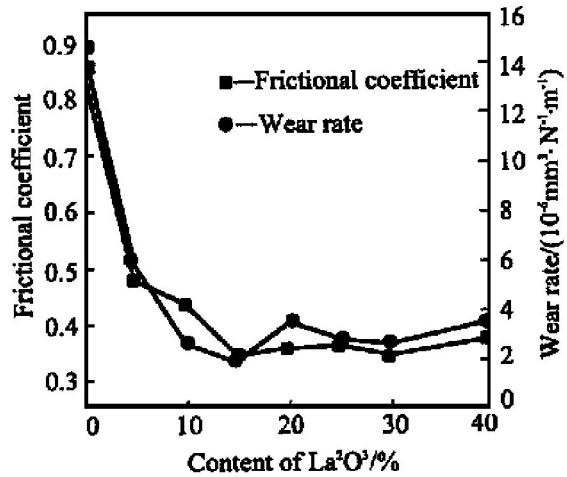


图 3 La₂O₃ 含量对 PA1010 复合材料摩擦系数和磨损率的影响

Fig. 3 Effects of La₂O₃ content on friction coefficient and wear rate of PA1010 composite

2.3 载荷对摩擦磨损性能的影响

载荷对 PA1010-15% La₂O₃ 复合材料的摩擦系数和磨损率的影响如图 4 所示。可以看出，在 100~200 N 载荷范围内，摩擦系数随载荷的增加变化不大，超过 200 N 后开始增加。磨损率在载荷低于 200 N 时基本稳定，但当载荷超过 250 N 时，磨损率急剧上升。

2.4 磨损表面形貌分析

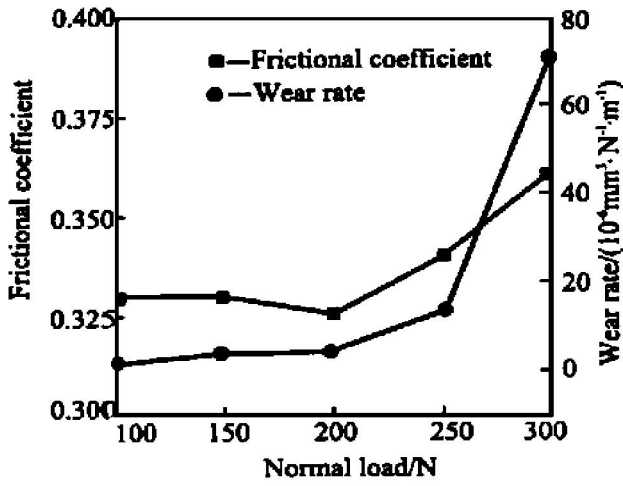


图 4 PA1010-15% La_2O_3 复合材料的摩擦系数和磨损率随载荷的变化曲线

Fig. 4 Variation of friction coefficient and wear rate with load of PA1010-15% La_2O_3 composite

PA1010及其含 La_2O_3 复合材料在载荷100 N, 摩擦1 h 后的磨损表面形貌如图 5 所示。可以看到, PA1010 磨损表面(图 5(a)) 除呈现出较深的犁沟外, 还有较严重的塑性变形和粘着, 并沿垂直于滑动方向布满了微裂纹, 这和其对应的最高磨损率相

一致(图 3)。含 5% La_2O_3 复合材料的磨损表面(图 5(b)) 犁沟仍较深, 但表面微裂纹的数量明显减少。含 15% La_2O_3 复合材料的磨损表面(图 5(c)) 较光滑, 已看不到微裂纹, 磨痕细密。而含 40% La_2O_3 复合材料的磨损表面(图 5(d)) 变得粗糙, 犁沟增宽加深。

图 6 所示为 PA1010 和 PA1010-15% La_2O_3 在偶件 45# 钢环表面形成的转移膜的形貌。可以看出 PA1010 在钢环表面的转移膜(图 6(a)) 极不均匀, 且存在剥落现象。含 15% La_2O_3 复合材料在钢环表面形成的转移膜(图 6(b)) 薄而致密, 且均匀光滑, 不存在剥落现象。

2.5 讨论

图 2 中的曲线表明, 在本试验条件下, PA1010 及其复合材料的摩擦系数随滑行距离的变化曲线可分为 3 个阶段, 即: 失水上升阶段、转移膜形成下降阶段和稳定摩擦阶段。在大气环境中, PA1010 及其复合材料都不同程度地吸水, 吸水引起溶胀, 削弱了 PA1010 分子间的氢键作用, 使材料的剪切强度降低。从图 2 中可以看到, 所有样品的起始摩

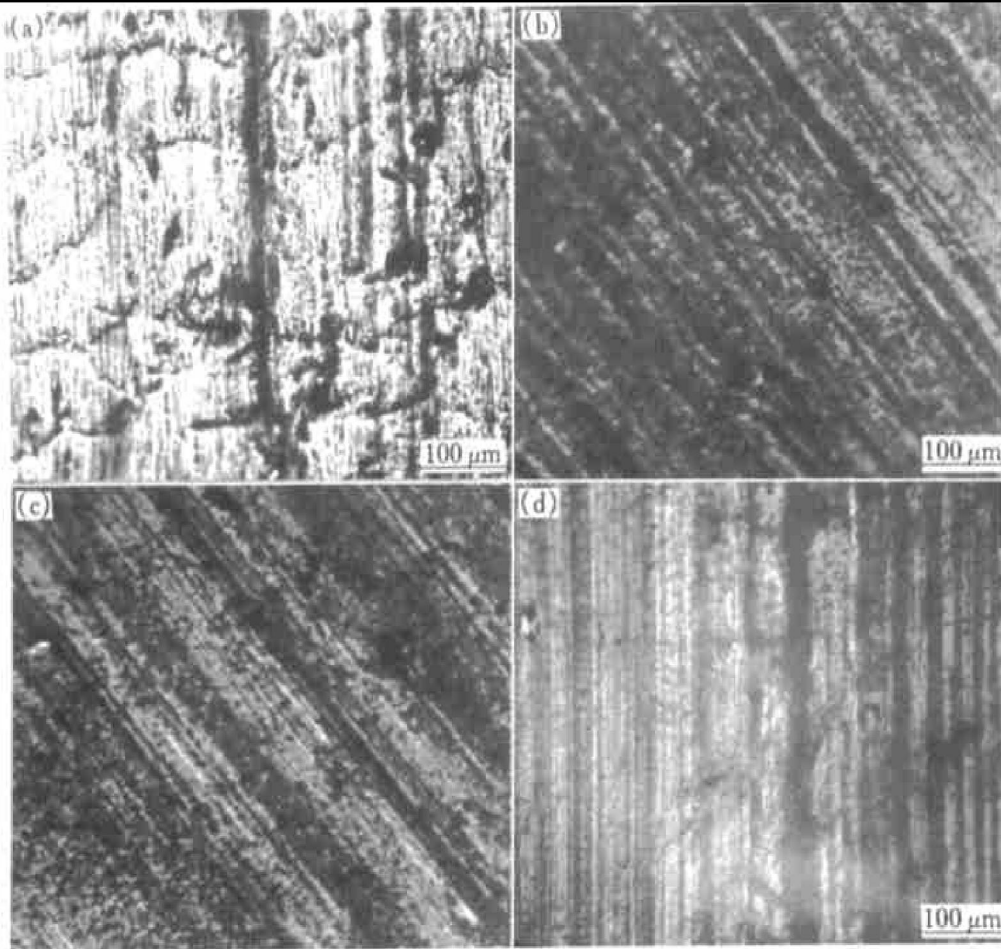


图 5 PA1010 及其 La_2O_3 填充复合材料的磨损表面形貌

Fig. 5 Morphologies of worn surfaces of PA1010 and PA1010 composites
(a) —PA1010; (b) —PA1010-5% La_2O_3 ; (c) —PA1010-15% La_2O_3 ; (d) —PA1010-40% La_2O_3

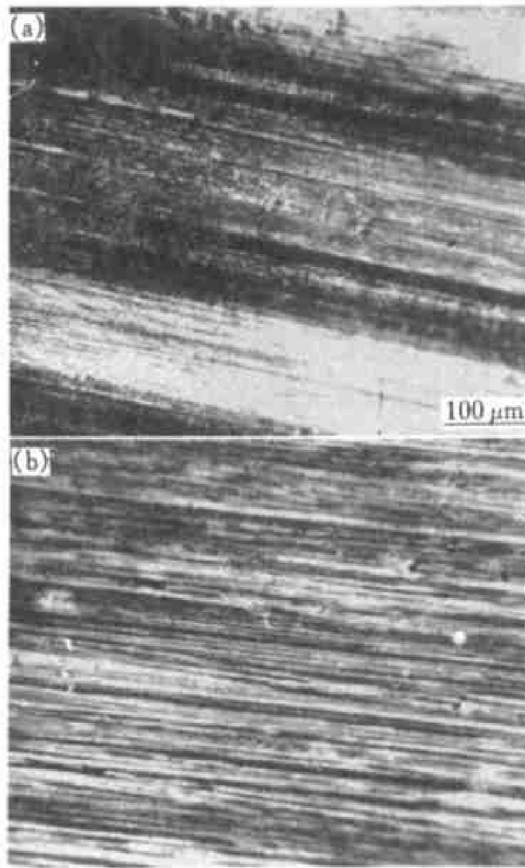


图6 PA1010和PA1010-15%La₂O₃复合材料在偶件45#钢环表面形成的转移膜的形貌

Fig. 6 Morphologies of transfer films on counterfaces against PA1010 and PA1010-15% La₂O₃ composite

(a) —PA1010; (b) —PA1010-15% La₂O₃

擦系数都远低于其稳态摩擦系数,说明吸水对摩擦行为有重要影响。随着滑行距离的增加,摩擦热使样品不断失水,摩擦系数迅速上升,达到最高值后,随着滑行距离的继续增加,转移膜逐渐形成,摩擦系数下降并趋于稳定。

La₂O₃ 稀土化合物具有六方层状结构,有润滑作用,加入PA1010后可减轻其与摩擦对偶粘着作用,使摩擦系数降低。从图5中看到,随着稀土化合物含量增加,摩擦表面变暗,这可能是因为稀土化合物在摩擦过程中产生分解并发生摩擦化学反应的原因。钢环表面的摩擦化学反应会使转移膜与钢环之间由原来的机械啮合转变为化学键合,增强转移膜与钢环之间的结合力,可减轻复合材料的磨损^[3]。比较图6(a)和图6(b)可见,PA1010-15% La₂O₃ 复合材料在偶件钢环上的转移膜比PA1010材料在偶件钢环上的转移膜致密、均匀。填充复合材料的磨损率比未填充材料的低近1个数量级(图3)。这些说明摩擦化学反应和转移膜对磨损的重要

影响。另一方面,当La₂O₃ 填充量超过15%,由于复合材料的强度(硬度)迅速下降(图1),而导致其磨损率随着La₂O₃ 填充量增加而上升的趋势(图3)。当载荷太高时(> 250 N),超过了转移膜的承载能力,转移膜将破裂,磨损迅速上升,同时由于摩擦热的结果,复合材料摩擦表面将产生软化,粘附性增强,使摩擦系数上升,图4的结果证实了上述观点。

3 结论

1) PA1010-La₂O₃ 复合材料密度随La₂O₃ 含量的增加而提高,而15% La₂O₃ 填充PA1010复合材料的硬度最高。

2) 在干摩擦条件下,添加La₂O₃ 稀土化合物可显著改善PA1010的摩擦磨损性能,当La₂O₃ 添加量为15%时,复合材料的减摩耐磨性能相对最佳,摩擦系数由0.87降低到0.33,磨损率降低近1个数量级。

3) PA1010的磨损主要表现为严重犁削,塑性变形和疲劳磨损,而La₂O₃ 填充PA1010复合材料的磨损转变为轻微犁削。PA1010-15% La₂O₃ 复合材料的磨损表面及其在偶件钢环表面形成的转移膜形貌相似,磨损面最光滑,这与其较好的摩擦磨损性能相对应。

[REFERENCES]

- [1] XIONG Chuan-xi, WEN Di-jiang. Polypropylene/Sr-Pb alloy nanocomposites [J]. Trans Nonferrous Met Soc China, 1999, 9(2): 312- 317.
- [2] XIONG Chuan-xi(熊传溪), WAN Ying(万影), WEN Di-jiang(闻荻江). 液锡及锡铅合金对聚丙烯的促流作用 [J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals(中国有色金属学报), 1999, 9(2): 268- 272.
- [3] YU Lai-gui, Bahadur S, XUE Qun-ji. An investigation of the friction and wear behaviors of particle filled polyphenylene sulfide composites [J]. Wear, 1998, 214: 54- 63.
- [4] WANG Lian-hui(汪联辉), ZHANG Wen-gong(章文贡), WANG Wen(王文). 稀土高分子聚合物及其应用 [J]. Chinese Rare Earths(稀土), 1999, 20(3): 58- 62.
- [5] CHEN Z X, SHEN Z Q. Anhydrous lanthanide chlorides doped rare earth polyacetylene [J]. Inorg Chem Acta, 1986, 122: 249- 253.

- [6] SONG Yu-lin(宋玉林), DONG Zhen-jian(董贞俭). 稀有金属化学 [M]. Shenyang: Liaoning University Press, 1991. 596– 597.
- [7] Sliney H E. Rare earth fluorides and oxides—an exploratory study of their uses as solid lubricants at temperatures to 1 800 F (1 000 °C) [M]. NASA TN D-5301, 1969.
- [8] LIANG Qi(梁起), ZHANG Zhi-jun(张治军), XUE Qun-ji(薛群基). LaF_3 纳米颗粒的摩擦学行为研究 [J]. Chinese Rare Earths(稀土), 1999, 20(2): 32– 34.
- [9] Lü Jir-jun(吕晋军), WANG Jing-bo(王静波), OUYANG Jin-lin(欧阳锦林), et al. 三氟化铈的高温热稳定性及其分解产物对摩擦磨损性能的影响和作用机理 [J]. Tribology(摩擦学学报), 1996, 16(4): 330– 336.
- [10] Lü Jir-jun, XUE Qun-ji, WANG Jing-bo, et al. The effect of CeF_3 on the mechanical and tribological properties of Ni-based alloy [J]. Tribology International, 1997, 30(9): 659– 662.
- [11] XIONG Dang-sheng(熊党生). 氟化铈添加量对镍基自润滑合金机械及高温摩擦学特性的影响 [J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals(中国有色金属学报), (待发表).
- [12] ZHANG Zhao-zhu(张招柱), XUE Qun-ji(薛群基), LIU Wei-min(刘维民), et al. 稀土化合物填充复合材料的摩擦磨损性能研究 [J]. Journal of China University of Mining & Technology(中国矿业大学学报), 1999, (摩擦学专辑) 28: 4– 6.

Friction and wear properties of PA1010 composites filled with La_2O_3

XIONG Dang-sheng, CHEN Lei, WANG Zhen-zhong

(College of Mechatronics and Materials Engineering, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221008, P. R. China)

[Abstract] PA1010 composites filled with La_2O_3 were prepared by hot squeeze method. The effects of content of La_2O_3 on density and hardness of the composite were investigated. The friction and wear behaviors of the composites were examined on an MM-200 ring-on-block wear tester. The morphologies of worn surfaces and transfer films were examined with an optical microscope. It was found that La_2O_3 can reduce the friction coefficient and wear rate of PA1010 significantly. When the content of La_2O_3 in PA1010 increases from 0 to 15%, the friction coefficient decreases from 0.87 to 0.33, and the wear rate decreases by about 1 order of magnitude. The wear mechanisms of PA1010 and PA1010-15% La_2O_3 composites are different. The serious plowing, plastic deformation, adhesion and fatigue wear are dominant for PA1010, and the transfer films of PA1010 on the counterface are not homogeneous and have tears in the films. The slight plowing governs wear is dominant for PA1010-15% La_2O_3 composite, the transfer films of PA1010-15% La_2O_3 composite on counterface are dense, smooth, thin and homogeneous. These conform to the wear resistance of PA1010 and PA1010-15% La_2O_3 composite.

[Key words] PA1010 composite; rare earth compound; friction and wear; transfer film

(编辑 黄劲松)