

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2015.05.019

MCPA6 / 改性聚硅氧烷复合材料的摩擦磨损性能^{*}

梁杰铭,林志勇,周雪梅,李勇,洪海艺

(国立华侨大学材料科学与工程学院,福建厦门 361021)

摘要:采用阴离子聚合法制备了浇铸尼龙 6 (MCPA6) / 改性羟基封端聚二甲基硅氧烷 (MHPDMS) 原位复合材料,研究了不同 MHPDMS 含量对复合材料在水润滑及干摩擦条件下的摩擦磨损性能影响。结果表明,在干摩擦条件下,复合材料的摩擦系数随滑动时间增加先增大后减小最后达到平衡,随着 MHPDMS 含量的增加,复合材料在稳定阶段的摩擦系数变化不大,但是磨损量逐渐减小, MHPDMS 质量分数为 4% 的复合材料磨损量仅为 MCPA6 的 25%; 在水润滑条件下,复合材料的摩擦系数随滑动时间增加先增大后平衡,随着 MHPDMS 含量的增加,复合材料的稳定摩擦系数基本没有变化,磨损量先减小后增大,当 MHPDMS 质量分数为 2% 时,磨损量最小,为 MCPA6 的 50% 左右。复合材料在水润滑条件下的稳定摩擦系数比干摩擦条件下的小,但磨损量比干摩擦条件下的大很多。复合材料在干摩擦条件下的磨损机理主要是粘着磨损和疲劳磨损,而在水润滑条件下主要为犁削磨损和磨粒磨损。

关键词:改性聚硅氧烷; 浇铸尼龙 6; 原位复合材料; 摩擦磨损; 水润滑

中图分类号: TQ323.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2015)05-0093-04

Friction and Wear Properties of MC Nylon 6 / Modified Hydropolydimethylsiloxane Composites

Liang Jieming, Lin Zhiyong, Zhou Xuemei, Li Yong, Hong Haiyi

(College of Materials Science and Engineering, Huaqiao University, Xiamen 361021, China)

Abstract : MCPA6 / modified hydropolydimethylsiloxane (MHPDMS) in-situ composites were prepared by anionic polymerization method, the effects of different MHPDMS content on friction and wear properties of the composites under the conditions of dry grinding and in water lubrication were studied. The results show that under the condition of dry grinding, the friction coefficient of the composite first increases, then decreases and achieves balance at last with the increase of sliding time, with the increase of MHPDMS content, the friction coefficient at stable stage changes little, but the wear loss is reduced in turn, the wear loss of the composite with 4% MHPDMS is only 25% of that of MCPA6. Under the condition of water lubrication, the friction coefficient of the composite first increases and then becomes balance with the increase of sliding time, with the increase of MHPDMS content, the stable friction coefficient has no changes basically, the wear loss first decreases and then increases, when the mass fraction of MHPDMS is 2%, the wear loss is minimum, which is only about 50% of that of MCPA6. Compared with the condition of dry grinding, the stable friction coefficient under water lubrication is smaller, but the wear loss is much higher. Under the condition of dry grinding, the wear mechanism is mainly adhesive wear and fatigue wear, under the condition of water lubrication, the wear mechanism is mainly ploughing wear and abrasive wear.

Keywords : modified hydropolydimethylsiloxane ; MC nylon 6 ; in-situ composite ; friction and wear ; water lubrication

浇铸尼龙 6 (MCPA6) 是一种性能优异的工程塑料,被广泛应用于齿轮、轴承、螺母等产品。这些产品都常用于较潮湿的环境,由于 MCPA6 分子链中含有酰胺键,易与水形成氢键,长久使用会使 MCPA6 吸水,导致材料尺寸稳定性降低,进而影响其耐磨性以及产品在潮湿、高载荷条件下的使用寿命^[1-3]。

聚硅氧烷材料具有表面张力低、低温柔韧性好、热稳定性高、耐水性和耐候性好,电绝缘性、憎水防潮性、生理惰性及生物相容性优异等优点

^[4-5],为了改善 MCPA6 的吸水性及耐磨性,笔者首先采用甲苯二异氰酸酯 (TDI) 对羟基封端聚二甲基硅氧烷 (HPDMS) 进行改性,制备改性 HPDMS (MHPDMS),然后利用阴离子聚合的方法制备了 MCPA6 / MHPDMS 原位复合材料,并研究其在水润滑及干摩擦条件下的摩擦磨损性能。

^{*} 福建省自然科学基金项目 (2012J0101),福建省科技重大项目 (2014H61010109)

联系人: 林志勇,教授,主要从事聚合物复合体系研究

收稿日期: 2015-03-16

1 实验部分

1.1 原料

己内酰胺:聚合级,湖南巴陵石化有限公司;

氢氧化钠(NaOH):分析纯,中国医药集团上海化学试剂厂;

TDI:分析纯,天津市化学试剂研究所;

HPDMS:分子量 700 g/mol,中昊晨光研究院。

1.2 仪器及设备

磨损试验机:M-2000型,承德科华实验机厂;

扫描电子显微镜(SEM):SU8010型,日本日立公司。

1.3 MCPA6/MHPDMS 原位复合材料的制备

将一定量的 HPDMS 加入到三口烧瓶中,然后再慢慢滴加入 TDI,反应一段时间后,得到产物 MHPDMS。

将一定量的己内酰胺于 150℃ 条件下抽真空,溶解后加入一定量的 NaOH,再按质量分数 0%, 1%, 2%, 3%, 4% 分别加入 MHPDMS,继续抽真空 1 h,在其黏度未变大时倒入 170℃ 模具中恒温 0.5 h 后脱模即可得到 MCPA6/MHPDMS 原位复合材料,然后制成标准试样。

1.4 性能测试

摩擦磨损性能按 GB/T 3960-1983 测试,试样尺寸为 30 mm × 7 mm × 6 mm,用 0.1 mg 电子分析天平称量测试前后的试样质量,计算磨损量,通过测力传感器测量摩擦力矩,每隔 3 min 记录一次,以最后稳定阶段的平均力矩来计算摩擦系数;

将磨损后的试样表面喷金后,在 SEM 下观察其表面形态并拍照。

2 结果与讨论

2.1 不同条件下 MHPDMS 含量对复合材料摩擦系数的影响

图 1 为不同 MHPDMS 含量的复合材料在干摩擦条件下的摩擦系数随滑动时间的变化情况。从图 1 可以看到,干摩擦过程分为两个阶段——磨合阶段和稳定阶段,在磨合阶段摩擦系数急剧增加,纯 MCPA6 在磨合的过程中摩擦系数达到最大,在 2.5 左右;随着滑动时间的增加,纯 MCPA6 和复合材料的摩擦系数均先增大后减小然后达到平衡。这是因为在摩擦实验初期,对偶件表面比较粗糙,与对摩擦试样表面的作用比较大。随着摩擦实验的进行,试样表面经过与对偶件的粘着、转移,表面层黏度下

降,形成转移膜。图 2 为干摩擦条件下 MHPDMS 含量对复合材料稳定阶段的摩擦系数影响。从图 2 可知,干摩擦条件下 MHPDMS 的含量对复合材料稳定阶段的摩擦系数影响微小,这是因为在稳定摩擦阶段均已形成转移膜。

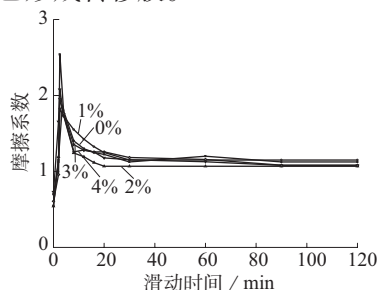


图 1 干摩擦条件下滑动时间对不同 MHPDMS 含量的复合材料摩擦系数的影响

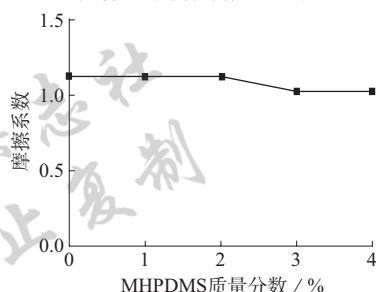


图 2 干摩擦条件下 MHPDMS 含量对复合材料稳定摩擦系数的影响

图 3 为不同 MHPDMS 含量的复合材料在水润滑条件下的摩擦系数随滑动时间的变化情况。从图 3 可知,在水润滑条件下,纯 MCPA6 和复合材料的摩擦系数随滑动时间的增加均先增大后趋于平衡。这主要是因为,在摩擦开始时,对偶件与试样之间作用力比较大,摩擦一段时间后,由于水润滑的作用,在试样与对偶件之间形成一层水膜,使摩擦系数趋于平衡。

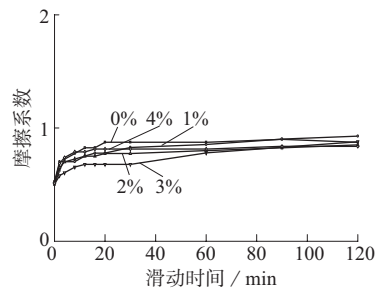


图 3 水润滑条件下滑动时间对不同 MHPDMS 含量的复合材料摩擦系数的影响

图 4 为水润滑条件下 MHPDMS 含量对复合材料稳定阶段的摩擦系数影响。由图 4 可知,水润滑条件下 MHPDMS 的含量对复合材料稳定阶段的摩擦系数影响也较小,复合材料的稳定摩擦系数为 0.7~0.9,比干摩擦条件下的低。

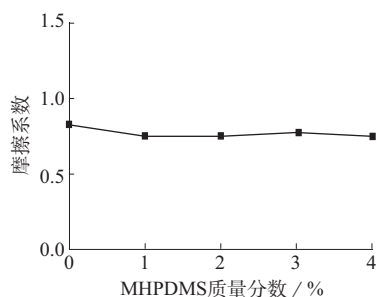


图4 水润滑条件下 MHPDMS 含量对复合材料稳定摩擦系数的影响

2.2 不同条件下 MHPDMS 含量对复合材料磨损量的影响

图5为在载荷 200 N、滑动速度 0.42 m/s 的干摩擦条件下复合材料磨损量随 MHPDMS 含量的变化情况。从图5可以看出,纯 MCPA6 的磨损量比复合材料的磨损量要高,复合材料的耐磨性能明显高于纯 MCPA6,并且随着 MHPDMS 含量的增加,磨损量减小, MHPDMS 质量分数为 4% 的复合材料的磨损量仅为纯 MCPA6 的 25%。这可能是因为 MHPDMS 具有优良耐磨性和良好的润滑性能,在摩擦过程中,起到润滑体与对偶件的作用。图6为纯 MCPA6 及复合材料在干摩擦条件下的磨损面照片。从图6可以看出,纯 MCPA6 以及复合材料在干摩擦条件下,磨损面都呈现出深色的氧化膜,并且实验过程中发现,对偶件上也形成一层薄膜,这是由于试样在与对偶件摩擦的过程中形成了稳定的转移膜,减弱了基体的磨损^[6-8]。

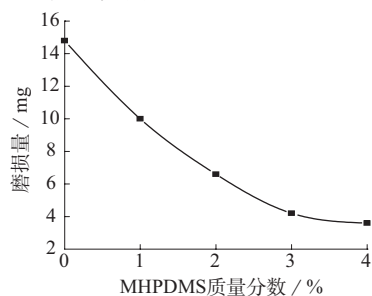


图5 干摩擦条件下复合材料磨损量随 MHPDMS 含量的变化情况

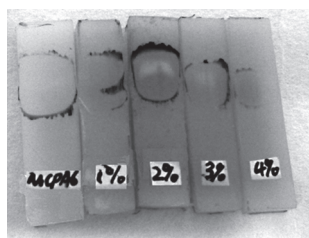


图6 纯 MCPA6 及复合材料在干摩擦条件下的磨损面

图7为在载荷 200 N、滑动速度 0.42 m/s 的水润滑条件下复合材料磨损量随 MHPDMS 含量的变化情况。从图7可以看出,复合材料的磨损

量明显低于 MCPA6,且随 MHPDMS 含量的增加先减小后增大,并且在 MHPDMS 质量分数为 2% 时达到最小,为 MCPA6 的 50% 左右。这是因为 MHPDMS 本身具有疏水能力,在水润滑条件下的对磨的过程中,减少了基体的吸水性,使磨损量下降,所以加入少量的 MHPDMS 有助于磨损量的减少,当其质量分数大于 2% 时,因其与 MCPA6 相容性较低,界面粘结性差,且容易团聚,导致了原位复合材料中形成部分空隙,进而吸水使磨损量增大,同时由于 MCPA6 吸水,摩擦的过程中在水流冲刷的情况下,磨削易脱落,增大了磨损量。图8为纯 MCPA6 及复合材料在水润滑条件下的磨损面照片。从图8可以看出,其磨损表面很光滑,并没有形成转移膜。

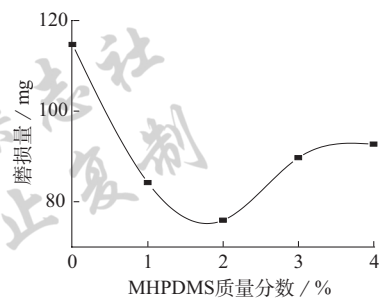


图7 水润滑条件下复合材料磨损量随 MHPDMS 含量的变化情况

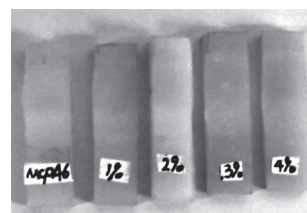
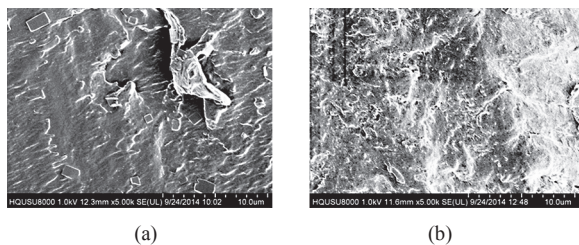


图8 纯 MCPA6 及复合材料在水润滑条件下的磨损面

与干摩擦条件下的结果相比,水润滑条件下 MCPA6 及其复合材料的磨损量要远远大于干摩擦条件下的磨损量。主要原因是,干摩擦条件下,摩擦副表面的接触温度较高,摩擦系数大且不稳定,并且摩擦的过程中在摩擦副上形成了一层转移膜^[6-11]。而在水润滑条件下,可以在对磨表面形成一层水膜而将摩擦副隔开,减少了粘着磨损,水流带走了摩擦产生的热量,降低了摩擦副表面的温度。但是水流同时也将磨粒冲走,转移膜无法形成,导致磨损量增加^[9-11]。

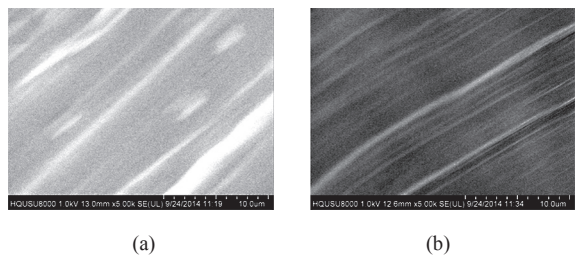
2.3 SEM 分析

为了进一步研究复合材料的磨损机理,通过 SEM 对纯 MCPA6 及 MHPDMS 质量分数为 2% 的复合材料在干摩擦及水润滑条件下的磨损面进行了表征,如图9和图10所示。



a—纯 MCPA6 ; b—MCPA6 /MHPDMS 复合材料

图9 纯 MCPA6 及复合材料在干摩擦条件下的磨损面 SEM 照片



a—纯 MCPA6 ; b—MCPA6 /MHPDMS 复合材料

图10 纯 MCPA6 及复合材料在水润滑条件下的磨损面 SEM 照片

从图9可以看出,在干摩擦条件下,由于在对磨的过程中摩擦生热^[6-9],使得纯 MCPA6 及复合材料在摩擦过程中出现塑性变形和块状而被粘着在对磨表面,在纯 MCPA6 中部分磨屑在对磨的过程中融化然后呈现出褶皱(如图9a所示);但纯 MCPA6 及复合材料在干摩擦条件下的磨损表面并没有大块的磨粒,磨损面则凹凸不平,磨损的机理主要是粘着磨损和疲劳磨损^[11]。

从图10也可以看到,水润滑条件下,纯 MCPA6 及复合材料磨损面的形貌与干摩擦条件下完全不同,其磨损面都是一条条平整的细纹,这是因为在水润滑的条件下,摩擦表面形成一层水膜将摩擦副隔开而减少了粘着磨损,并且水起到了冷却的作用,但也是因为水流的冲刷,使得磨粒都随着水流冲走,磨损量变大。水润滑条件下纯 MCPA6 及复合材料的磨损机理是犁削磨损和磨粒磨损^[11]。

3 结论

(1) 在干摩擦条件下,纯 MCPA6 和 MCPA6 /MHPDMS 原位复合材料的摩擦系数随滑动时间的增加均先增大后减小再趋于平衡;随着 MHPDMS 含量的增加,复合材料的摩擦系数变化不大,磨损量逐渐降低,当 MHPDMS 质量分数为4%时,复合材料的磨损量仅为纯 MCPA6 的25%。

(2) 在水润滑条件下,纯 MCPA6 及复合材料的摩擦系数随滑动时间的增加先增大后趋于平衡;随着 MHPDMS 含量增加,复合材料的摩擦系数基本没有变化,磨损量先减小后增大,当 MHPDMS 质量

分数为2%时,磨损量最小,为 MCPA6 的50%左右。

(3) 水润滑条件下复合材料的稳定摩擦系数比干摩擦条件下的小,但磨损量比干摩擦条件下要大很多。

(4) 在干摩擦条件下,复合材料的磨损机理主要为粘着磨损和疲劳磨损,而在水润滑条件下复合材料的磨损机理主要是犁削磨损和磨粒磨损。

参考文献

- [1] 孙向东,孙旭东,张慧波. MC 尼龙改性研究的新进展[J]. 工程塑料应用,2003,31(2):59-63.
Sun Xiangdong, Sun Xudong, Zhang Huibo. New advance in the modification of MC nylon[J]. Engineering Plastics Application, 2003,31(2):59-63.
- [2] Li Duxin, Deng Xin, Wang Jin, et al. Mechanical and tribological properties of polyamide 6-polyurethane block copolymer reinforced with short glass fibers[J]. Wear, 2010, 269:262-8.
- [3] Shin M W, Kim S S, Jang H. Friction and wear of polyamide 66 with different weight average molar mass[J]. Tribol Lett, 2011, 44(2):151-158.
- [4] 幸松民,王一璐. 有机硅合成工艺及产品应用[M]. 2版. 北京:化学工业出版社,2008.
Xing Songmin, Wang Yilu. Silicone synthetic process and application[M]. 2nd ed. Beijing:Chemical Industry Press,2000:9.
- [5] Song Zhengwei, Zhu Jiaming, Jiang Lanying. Novel polysiloxaneimide / polyetherimide non-woven fabric composite membranes for organophilic pervaporation[J]. Journal of Membrane Science, 2014, 472:77-90.
- [6] 申荣华,何林. 摩擦材料及其制品生产技术[M]. 北京:北京大学出版社,2010.
Shen Ronghua, He Lin. Friction materials and its products production technology[M]. Beijing: Peking University Press, 2010.
- [7] Li Yadong, Ma Yizhu, Xie Bing, et al. Dry friction and wear behavior of flame-sprayed polyamide1010 / n-SiO₂ composite coatings[J]. Wear, 2007, 262:1 232-1 238.
- [8] Unal H, Mimaroglu A. Friction and wear performance of polyamide 6 and graphite and wax polyamide 6 composites under dry sliding conditions[J]. Wear, 2012, 289:132-137.
- [9] Sierros K A, Morris N J, Kukureka S N, et al. Dry and wet sliding wear of ITO-coated PET components used in flexible optoelectronic applications[J]. Wear, 2009, 267:625-631.
- [10] Meng H, Sui G X, Xie G Y, et al. Friction and wear behavior of carbon nanotubes reinforced polyamide6 composites under dry sliding and water lubricated condition[J]. Composites Science and Technology, 2009, 69(5):606-611.
- [11] EL-Tayeb N S M, Liew K W. On the dry and wet sliding performance of potentially new frictional brake pad materials for automotive industry[J]. Wear, 2009, 266:275-287.