

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2018.01.002

硅灰石填充尼龙 1010 复合材料摩擦磨损性能

刘玉坤,王帅,刘浩,刘文涛,何素芹,朱诚身

(郑州大学材料科学与工程学院,郑州 450001)

摘要:在制备硅灰石填充尼龙(PA)1010复合材料的基础上,测试了复合材料的摩擦磨损性能,通过扫描电子显微镜(SEM)观察摩擦面的形貌,探讨了摩擦磨损机理,分析了复合材料的力学性能和热性能对摩擦磨损性能的影响。结果表明,硅灰石的加入大幅降低了PA1010与钢材间的摩擦系数和磨损量。当硅灰石质量分数为70%时,复合材料的摩擦系数和磨损量仅为纯PA1010的54.7%和11.4%,PA1010的耐磨性得到显著改善。硅灰石的加入减轻了PA1010的粘着磨损和疲劳磨损,当硅灰石质量分数为70%时只有轻微的犁沟现象。随着热变形温度和拉伸弹性模量的提高,体积磨损量降低,摩擦系数逐渐减小。

关键词:尼龙1010;硅灰石;摩擦磨损;磨损机理;拉伸弹性模量;热变形温度

中图分类号:TQ327.8 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-3539(2018)01-0005-04

Tribological Properties of Nylon1010/Wollastonite Composites

Liu Yukun, Wang Shuai, Liu Hao, Liu Wentao, He Suqin, Zhu Chengshen

(College of Material Science and Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: Nylon 1010 / wollastonite composites were prepared by melt blending. The tribological properties were investigated through the reciprocating sliding wear test, the friction surface topography and the abrasion mechanism was analyzed by SEM, the relationships of tribological properties with elastic modulus and heat deflection temperature were discussed. The results show that the friction coefficient and wear loss of nylon 1010 / wollastonite composites decreases dramatically with the increasing of the wollastonite content. The friction coefficient and wear loss of nylon1010 with wollastonite mass fraction of 70% are about 54.7% and 11.4% of the pure nylon 1010 respectively. The resistance to wear of nylon1010 gets much better. The adhesive wear and fatigue wear have reduced with the addition of wollastonite, there is only furrow phenomenon on the wearing surface when wollastonite content is 70wt%. The friction coefficient and wear loss of nylon 1010 / wollastonite composites decreases with the raise of tensile elastic modulus and heat deflection temperature.

Keywords: nylon1010; wollastonite; friction and wear; abrasion mechanism; tensile elastic modulus; heat deflection temperature

聚合物及其复合材料在实际工程中越来越多的作为机械零件使用,对有相对运动和承力场合而言,要求材料的耐磨性和力学性能也日渐提高,制备减摩耐磨性良好的聚合物及其复合材料也日益受到重视^[1-7]。有相对运动的零件的接触表面在力的作用下,必然有摩擦,从而造成磨损。材料的摩擦学性能必然要受到力学性能的影响,弄清两者之间的关联性有助于聚合物及其复合材料的结构设计、配方

设计和制备工艺设计,从而满足使用要求和提高使用质量。

尼龙(PA)1010作为我国特有的工程塑料,有很多优异的性能而被广泛应用,作为齿轮、轴承等受力且有相对运动机械零件材料使用时,要求其具有优良的耐磨性。刘玉坤等通过熔融共混过程制备了PA1010/硅灰石复合材料^[8-9],已探讨了硅灰石的填充量对PA1010的挤出和注塑工艺、力学性能和

基金项目:河南省高等学校重点科研项目(16A430044)

通讯作者:何素芹,教授,主要从事高聚物结构与性能研究 E-mail: hesq@zu.edu.cn

收稿日期:2017-11-20

引用格式:刘玉坤,王帅,刘浩,等. 硅灰石填充尼龙 1010 复合材料的摩擦磨损性能[J]. 工程塑料应用,2017,46(1):5-8.

Liu Yukun, Wang Shuai, Liu Hao, et al. Tribological properties of nylon1010 / wollastonite composites[J]. Engineering Plastics Application, 2017, 46(1):5-8.

热性能的影响。笔者主要研究其摩擦磨损性能,通过扫描电子显微镜 (SEM) 分析其磨损机理,探讨力学性能和耐热性与摩擦学性能间的相关性。

1 实验部分

1.1 主要原材料

PA1010: 熔点 205℃, 上海臻威股份有限公司;

硅烷偶联剂: KH-550, 南京曙光化工有限公司;

硅灰石: 长径比小于 15 : 1, 长度约 20 μm , 新余市南方硅灰石实业有限公司。

1.2 主要仪器及设备

摩擦磨损试验机: HSR-2M 型, 上海尉氏仪器技术有限公司;

SEM: JSM-6700F 型, 日本 JEOL 公司;

动态热机械分析 (DMA) 仪: DMA242C 型, 德国 NETZSCH 公司。

1.3 试样制备

硅灰石经硅烷偶联剂改性后, 与 PA1010 按一定量在高速捏合机中混匀, 然后熔融挤出制备硅灰石填充 PA1010 复合材料^[8], 根据性能测试要求注射成型试样。复合材料中硅灰石的质量分数分别为 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60% 和 70%。

1.4 性能测试

摩擦磨损性能测试: 在高速摩擦磨损试验机进行测试, 采用往复式摩擦副, 干摩擦, 时间为 120 min, 载荷为 30 N, 实验温度为 15~19℃, 湿度为 31%~35%, 丙酮擦拭摩擦副和各试样表面, 晾干后安装测试。

摩擦系数的测定: 每隔 8 s 计算机自动采集一次正压力、摩擦力矩及摩擦力等数据, 由此计算出摩擦系数, 记录摩擦力、摩擦力矩、摩擦系数随时间的变化曲线。

体积磨损量的测定: 摩擦结束后, 用扫描探针测量磨痕的长、宽、深, 计算出磨损量。

SEM 观察: 将各试样磨损面在真空下镀金, 在加速电压 15 kV 下用 SEM 观察其断面拍照。

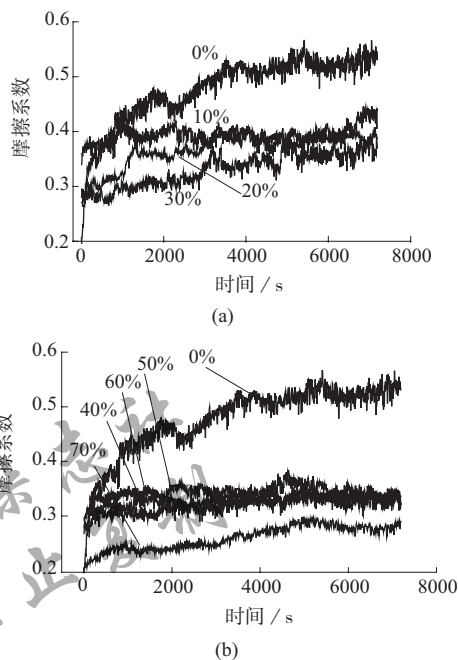
热变形温度测定: 测试在 DMA 仪进行, 弯曲模式, 矩形试样尺寸为 60.0 mm $\times$ 10.0 mm $\times$ 4.0 mm。测试温度为 -170~180℃, 测试频率为 1~33 Hz, 升温速率为 10℃/min, 取模量为 0.97 GPa 时的温度为试样的热变形温度。

2 结果与讨论

2.1 摩擦系数和磨损量

图 1 为 PA1010 及其复合材料的摩擦系数随着

时间的变化曲线。纯 PA1010 的摩擦系数最大, 波动也较大, 达到摩擦稳定的时间较长, 即跑和时间 (摩擦开始到摩擦稳定的时间) 较长。随着硅灰石的加入, 摩擦系数不断减小, 且很快地进入摩擦稳定期。



a—硅灰石质量分数为 0%, 10%, 20%, 30% 的 PA1010 / 硅灰石复合材料; b—硅灰石质量分数为 0%, 40%, 50%, 60%, 70% PA1010 / 硅灰石复合材料

图 1 不同硅灰石含量的 PA1010 / 硅灰石复合材料摩擦系数随时间的变化曲线

由图 1 得到的各试样的摩擦系数与硅灰石含量的关系曲线如图 2 所示。随硅灰石含量的增加摩擦系数逐渐降低, 纯 PA1010 的摩擦系数为 0.53, 硅灰石质量分数由 10% 增加到 70%, 摩擦系数几乎呈线性下降, 当硅灰石质量分数为 70% 时, 复合材料的摩擦系数降到了 0.29, 只有纯 PA1010 摩擦系数的 54.7%, 这说明硅灰石的加入大幅度降低了 PA1010 的摩擦系数, 明显改善了 PA1010 的耐磨性能。

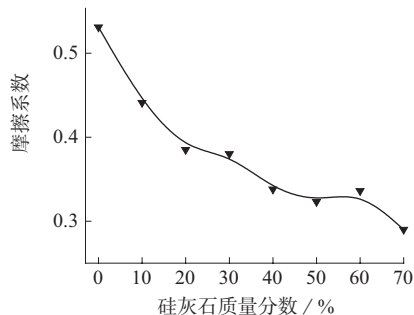


图 2 PA1010 / 硅灰石复合材料摩擦系数与硅灰石含量的关系

图 3 示出了体积磨损量与硅灰石含量的关系曲线。PA1010 / 硅灰石复合材料的体积磨损量随硅灰石含量的增加而减小,纯 PA1010 的体积磨损量为 1.76 mm^3 ,当硅灰石质量分数为 10% 时,磨损量只有 0.72 mm^3 ,只有纯 PA1010 的 40.9%;而当硅灰石质量分数为 70% 时,PA1010 / 硅灰石复合材料磨损量最小,为 0.20 mm^3 ,仅为纯 PA1010 的 11.4%。所以硅灰石的加入可大幅改善 PA1010 的耐磨性。

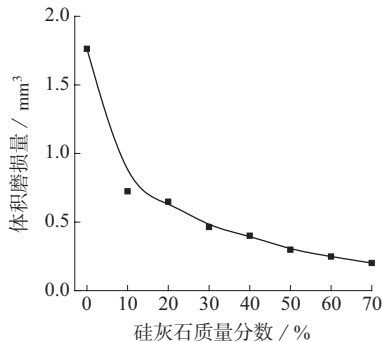
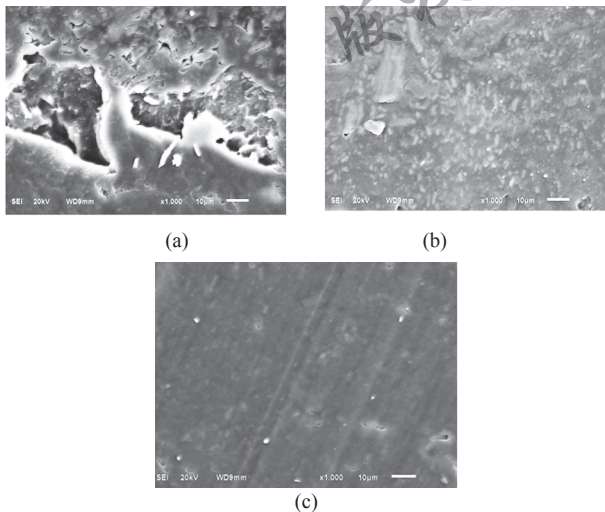


图 3 PA1010 / 硅灰石复合材料体积磨损量与硅灰石含量的关系

2.2 摩擦磨损机理分析

通过磨损表面的形貌分析磨损机理,可为材料的改性方法提供理论依据。采用 SEM 观察了纯 PA1010 及其 PA1010 / 硅灰石复合材料的摩擦表面,其照片如图 4 所示。



a—纯 PA1010 ; b—硅灰石质量分数为 20% 的 PA1010 / 硅灰石复合材料; c—硅灰石质量分数为 70% 的 PA1010 / 硅灰石复合材料

图 4 纯 PA1010 及 PA1010 / 硅灰石复合材料的摩擦面的 SEM 照片

由图 4a 可看出,纯 PA1010 的磨损表面受损严重,凹凸不平,存在着明显的粘着和熔融现象,明显存在有胶合后的撕裂痕迹。这说明 PA1010 在摩擦过程中主要存在粘着磨损和疲劳磨损。随着摩擦时间的延长,摩擦面间开始产生摩擦热,并且随着摩擦

的进行,摩擦接触面处温度不断升高,当温度升高到接近 PA1010 熔融温度时,试样开始有熔化现象,产生熔体流动,从而使摩擦球与 PA1010 之间粘着在一起,粘着点在往复摩擦的过程中被进一步撕裂,加剧粘着磨损现象。摩擦面接触处的 PA1010 基体所受应力达到受压屈服极限时,试样发生形变,使得试样受力增大,最终 PA1010 基体产生应力开裂而进一步出现疲劳磨损。

由图 4b 和图 4c 可看出,加入硅灰石的复合材料的摩擦磨损表面较为平整光滑,硅灰石含量越高,复合材料的磨损面越平整,图 4c 中基本上只观察到较为轻微的犁沟现象。无机刚性硅灰石的加入增大了复合材料的承载力,耐磨性增强,这也与摩擦系数和磨损量的降低结果相符合。

2.3 摩擦磨损性能与力学性能的关系

前面已分析,随硅灰石含量的增加,摩擦系数和磨损量逐渐降低,由前期工作可知^[8],PA1010 / 硅灰石复合材料的拉伸弹性模量也明显提高。图 5 示出了硅灰石质量分数分别为 0,10%,20%,30%,40%,50%,60%,70% 的 PA1010 / 硅灰石复合材料摩擦系数和磨损量与拉伸弹性模量的关系曲线。拉伸弹性模量越大,摩擦系数和磨损量越低。拉伸弹性模量表征了材料的硬度,拉伸弹性模量越大,材料越硬,摩擦面不易受损,耐磨性越好。

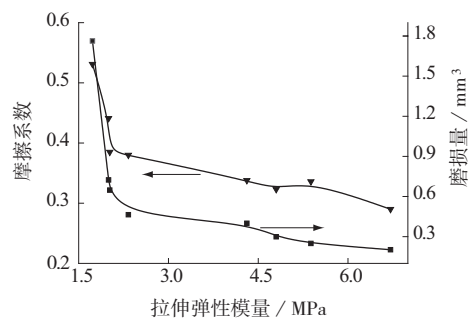


图 5 PA1010 / 硅灰石复合材料摩擦系数和磨损量与拉伸弹性模量的关系

图 6 示出硅灰石质量分数分别为 0,10%,20%,30%,40%,50%,60%,70% 的 PA1010 / 硅灰石复合材料摩擦系数和磨损量与热变形温度的关系曲线。随热变形温度的升高,摩擦系数和磨损量也呈明显的下降趋势。硅灰石使 PA1010 的热变形温度升高,这可以减轻试样的粘着磨损和胶合磨损,改善 PA1010 基体的耐磨性。硅灰石的加入使 PA1010 的摩擦磨损性能增强,其原因就是提高了 PA1010 的力学性能和热稳定性。

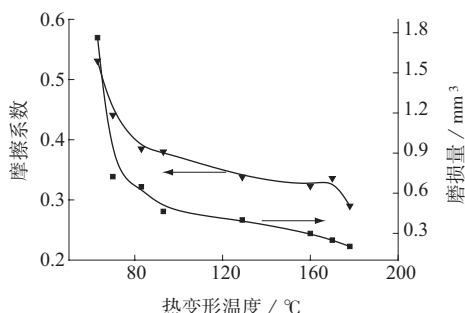


图6 PA1010 / 硅灰石复合材料摩擦系数、磨损量与热变形温度关系

3 结论

(1) 硅灰石的加入,显著降低了PA1010与钢材间的摩擦系数和磨损量,到达摩擦稳定的时间缩短。

(2) 纯PA1010主要为粘着磨损和疲劳磨损,并伴随着少量的磨粒磨损,随硅灰石的加入磨损减轻,当硅灰石的质量分数为70%时只有轻微的犁沟现象。

(3) 硅灰石含量越多,复合材料的拉伸弹性模量越大,热变形温度越高,摩擦系数和磨损量越低,复合材料的耐磨性越好。

参考文献

- [1] Brushan B, Wilcock D F. Wear behavior of polymeric compositions in dry reciprocating sliding[J]. Wear, 1982, 75(1):41-70.
- [2] Lai Shiquan, Li Tongsheng, Liu Xujun, et al. The tribological properties of PTFE filled with thermally treated nano-attapulgite[J]. Tribology International, 2006, 39(6):541-547.
- [3] 杨东亚,王月,董悦,等. 不同纳米填料增强 PPS-PTFE 共混物的摩擦磨损性能分析[J]. 功能材料, 2014, 45(6):6011-6015.
Yang Dongya, Wang Yue, Dong Yue, et al. Tribological

performances of different nanoparticles reinforced PPS-PTFE blends[J]. Journal of Functional Materials, 2014, 45(6):6011-6015.

- [4] Ozsoy I, Ozsoy N, Unal H, et al. Evaluation of the influences of wax content on the tribological and mechanical performance of polytetrafluoroethylene-blended polyamide[J]. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part J-Journal of Engineering Tribology, 2013, 227(12):1399-1405.
- [5] Pesetskii S S, Bogdanovich S P, Myshkin N K. Polymer nanocomposites with thermoplastic matrices-processing and tribology[J]. Journal of Macromolecular Science Part B-Physics, 2013, 52(12):1784-1810.
- [6] Unal H, Esmer K, Mimaroglu A. Mechanical, electrical and tribological properties of graphite filled polyamide6 composite materials[J]. Journal of Polymer Engineering, 2013, 33(4):351-355.
- [7] 滕兵,王世博. 铸型尼龙端面扭动摩擦接触模型及实验验证[J]. 摩擦学学报, 2014, 34(1):73-78.
Teng Bing, Wang Shibao. Friction contact model and experimental investigation of mc nylon composite under face-on-face torsion[J]. Tribology, 2014, 34(1):73-78.
- [8] 刘玉坤,牛景新,王龙,等. 硅灰石填充尼龙 1010 复合材料的制备与力学性能[J]. 工程塑料应用, 2013, 41(9):47-50.
Liu Yukun, Niu Jingxin, Wang Long, et al. Preparation and characterization of nylon1010 / wollastonite composites[J]. Engineering Plastics Application, 2013, 41(9):47-50.
- [9] 刘玉坤,牛帅,牛景新,等. 尼龙 1010 / 硅灰石复合材料的热性能研究[J]. 工程塑料应用, 2014, 42(11):93-96.
Liu Yukun, Niu Shuai, Niu Jingxin, et al. Study on thermal properties of nylon1010 / wollastonite composites[J]. Engineering Plastics Application, 2014, 42(11):93-96.

(上接第4页)

参考文献

- [1] Khulbe K C, Hamad F, Feng C, et al. Study of the surface of the water treated cellulose acetate membrane by atomic force microscopy[J]. Desalination, 2004, 161(3):259-262.
- [2] Kiran, Rana D S, Balokhra R L, et al. A thermodynamic study of 1,4-dioxane across cellulose acetate membrane under different conditions[J]. Fluid Phase Equilibria, 2012, 322:148-158.
- [3] Abedini R. A novel cellulose acetate (CA) membrane using TiO₂ nanoparticles:Preparation, characterization and permeation study[J]. Desalination, 2011, 277(1):40-45.
- [4] Edgar K J, Buchanan C M, Debenham J S, et al. Advances in cellulose ester performance and application[J]. Progress in Polymer Science, 2001, 26(9):1605-1688.
- [5] Wibowo A C, Misra M, Park H M, et al. Biodegradable nanocomposites from cellulose acetate:Mechanical, morphological, and thermal properties[J]. Composites Part A: Applied Science & Manufacturing, 2006, 37(9):1428-1433.
- [6] Park H M, Mohanty A K, Drzal L T, et al. Effect of sequential mixing and compounding conditions on cellulose acetate / layered silicate nanocomposites[J]. Journal of Polymers and the Environment, 2006, 14(1):27-35.
- [7] Ayuk J E, Mathew A P, Oksman K. The effect of plasticizer and cellulose nanowhisker content on the dispersion and properties of cellulose acetate butyrate nanocomposites[J]. Journal of Applied Polymer Science, 2009, 114(5):2723-2730.
- [8] Chou W L, Yu D G, Yang M C. Influence of coagulant temperature and on-line drawing on the mechanical properties and permeation performance of cellulose acetate hollow fibers[J]. Journal of Polymer Research, 2005, 12(3):219-229.
- [9] 祝振鑫. 膜材料的亲水性、膜表面对水的湿润性和水接触角的关系[J]. 膜科学与技术, 2014, 34(2):1-4.
Zhu Zhenxin. Hydrophilicity, wettability and contact angle[J]. Membrane Science and Technology, 2014, 34(2):1-4.