

GF 增强 PA6 复合材料的力学与摩擦性能研究^{*}

谢莹 李笃信 赵丽 李文娟

方映杰

(中南大学粉末冶金国家重点实验室,长沙 410083) (湖南映鸿科技有限公司,新化 417600)

摘要 采用熔融共混法制备玻璃纤维(GF)增强尼龙(PA)6 复合材料,研究了 GF 含量对 PA6/GF 复合材料力学性能和摩擦性能的影响,并利用扫描电子显微镜对复合材料的磨损机理进行分析。结果表明,GF 显著影响复合材料的力学性能和摩擦性能,GF 质量分数为 15% 时增强效果较好,PA6/GF 复合材料的缺口冲击强度比纯 PA6 提高 5 倍,摩擦因数降低 43%,磨损量减少 33%。GF 含量较低时,PA6/GF 复合材料的磨损以磨粒磨损和粘着磨损为主,含量较高时则主要表现为磨粒磨损和疲劳磨损。

关键词 尼龙 6 玻璃纤维 复合材料 力学性能 摩擦磨损性能

尼龙(PA)是机械零件制造常用的高分子材料之一^[1]。通过加入高性能纤维[玻璃纤维(GF)或碳纤维]、无机颗粒或固体润滑剂,可提高 PA 的力学强度和耐磨性能,然而大量的研究集中在 PA1010、MCPA6 等^[2-6]。PA6 由于具有优良的物理、力学与耐磨性能,被广泛应用于各种承载场合(如轴承、齿轮、滑块等),但其在干摩擦时摩擦因数较高,潮湿环境下吸水性强、抗蠕变性能差和力学性能降低等缺陷限制了其进一步应用^[7]。GF 增强 PA6 是常用的重要方法之一,研究 PA6/GF 复合材料的摩擦行为具有重要的理论和实践意义。

笔者以 PA6 为基体材料,系统研究了 GF 增强 PA6 复合材料的力学与摩擦性能,考察了 GF 含量对 PA6/GF 复合材料性能的影响,并利用扫描电子显微镜(SEM)进行分析,研究其磨损机理,以期获得具有优良耐磨性能的 PA6 复合材料,为扩大其应用范围提供依据。

1 实验部分

1.1 原材料

PA6、GF:深圳市昌泰塑胶有限公司。

1.2 主要仪器、设备

双螺杆挤出机:CTE35 型,南京科亚机械有限公司;

注塑机:HTF200-W1 型,宁波海天塑机集团有限公司;

切粒机:J01A-90 型,泰州市润扬调速电机厂;

布氏硬度计:HD1-1875 型,广州试验仪器厂;

电子万能试验机:CMT-7205 型,珠海三思试验设备有限公司;

简支梁摆锤冲击试验机:XJJ-5 型,承德市金建检测仪器有限公司;

多功能微摩擦磨损测试仪:UMT-3 型,美国 CERT 公司;

电子分析天平:JA2003 型,精度为 0.1 mg,沈阳朝阳衡器厂;

SEM:JSM-6363LV 型,日本 JEOL 公司。

1.3 试样制备

将 PA6、GF 经前处理后通过双螺杆挤出机熔融共混并造粒,粒料经真空干燥处理,送入注塑机于 230~250℃ 条件下注射成型制成 PA6/GF 复合材料试样。

1.4 性能测试与表征

以无水乙醇为介质,通过排液法测定试样密度,重复实验测量 5 次取平均值;

表面硬度按 GB/T 2411-1980 测试;

拉伸强度和断裂伸长率按 GB/T 1040-2006 测试;

缺口冲击强度按 GB/T 1043-1993 测试;

摩擦磨损性能按 GB/T 3960-1983 测试。试样尺寸为 25 mm×25 mm×10 mm。在干摩擦、室温、接触载荷 160 N、转速 1500 r/min、试验时间 120 min 条件下测试。由测试仪读取摩擦因数,利用电子分析天平称量,测定试样的磨损质量损失。测试结果均取 3 个平行试样测试数据的平均值。

利用 SEM 观察试样的磨损表面形貌。

2 结果与讨论

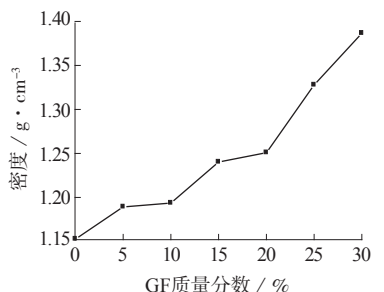
2.1 物理与力学性能

图 1 所示为 GF 含量对 PA6/GF 复合材料物理性能的影响。由图 1 可以看出,PA6/GF 复合材料的密度和硬度随 GF 含量的增加而逐渐增大。这是

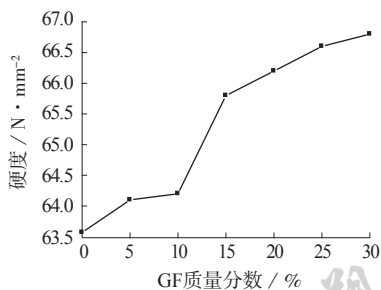
^{*} 粉末冶金国家重点实验室基金项目(2009060129)

收稿日期:2010-08-22

因为 GF 具有较高的密度和硬度,其含量的增加必然会使复合材料的密度和硬度增大。硬度增大使得复合材料抵抗表面机械压力的能力增强,对提高材料摩擦性能有利。



(a)

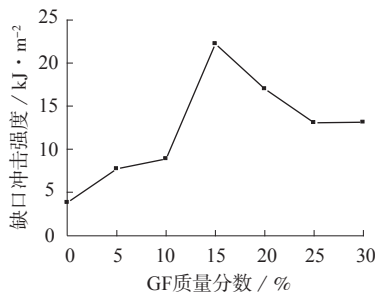


(b)

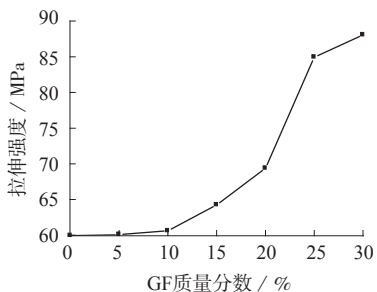
a—密度; b—硬度

图1 GF含量对PA6/GF复合材料的密度和硬度的影响

图2所示为GF含量对PA6/GF复合材料的力学性能的影响。由图2可知,PA6/GF复合材料的缺口冲击强度和拉伸强度均随GF含量的增加而增



(a)



(b)

a—缺口冲击强度; b—拉伸强度

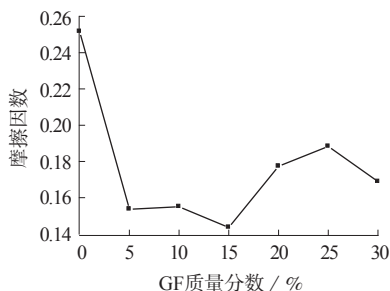
图2 GF含量对PA6/GF复合材料的力学性能的影响

大。当GF质量分数为15%时,复合材料的缺口冲击强度最大,比纯PA6提高了5倍;但随着GF含量的进一步增加,缺口冲击强度有所下降。而当GF质量分数为30%时,PA6/GF复合材料的拉伸强度达到最大。这是因为GF在PA6中起到骨架结构式的作用,GF受力时沿轴向传递,应力被迅速扩散,可以有效阻止裂纹增长,加上GF具有较大的弹性模量,使PA6的拉伸强度和缺口冲击强度显著提高。

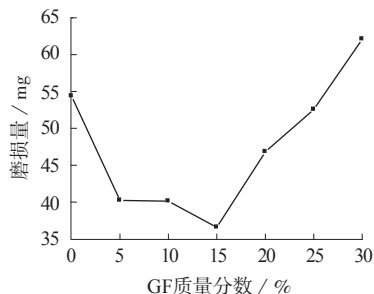
因此,GF的加入对PA6/GF复合材料的物理和力学性能改善显著,起到了明显的增强增韧作用。

2.2 摩擦磨损性能

图3为载荷160 N时PA6/GF复合材料的摩擦学性能随GF含量的变化曲线。由图3可以看出,随着GF含量的增加,PA6/GF复合材料的摩擦因数和磨损量逐渐降低,当GF质量分数为15%时,摩擦因数为0.1436,与纯PA6相比降低43%,磨损量减少33%,二者均达到最小值。这是由于GF的加入改变了PA6基体的结构,使得PA6/GF复合材料的硬度增加,当进行摩擦时,GF优先承担了接触表面的大部分载荷,使磨损首先发生在较耐磨的GF上,对基体起到一定的保护作用,从而减少了PA6/GF复合材料的磨损量。



(a)



(b)

a—摩擦因数; b—磨损量

图3 PA6/GF复合材料的摩擦因数和磨损量曲线

此后,随着GF含量的继续增加,PA6/GF复合材料摩擦因数和磨损量均随之增大,当GF质量分数为30%时,磨损量大于纯PA6。这是因为GF含

量增大,纤维在基体中的分散均匀性变差,部分纤维之间出现彼此相连而无树脂粘结现象;同时,纤维与基体粘结性能变差导致其与 PA6 的结合不牢固,在磨损过程中出现严重脱落现象,复合材料磨损量大幅度增加,耐磨性降低。另外,GF 含量过高时,其熔融后的流动性与可加工性较差,试样制备比较困难。

图 4 所示载荷 160 N 时,不同含量 GF 增强 PA6 复合材料的摩擦因数随时间的变化曲线。由图 4 可以看出,试验时间内纯 PA6 的摩擦因数持续升高,而 GF 增强 PA6 复合材料的摩擦因数在较短时间内便趋于稳定,且不同含量 GF 增强 PA6 复合材料摩擦因数趋于稳定的时间相差很小。这是因为纯 PA6 本身热稳定性较差,随着摩擦时间的增加,摩擦界面产生的摩擦热使得 PA6 局部熔融而发生剧烈磨损,导致磨屑增加。GF 的加入提高了 PA6/GF 复合材料的热传导和热稳定性,从而使得其耐磨性能提高。在摩擦试验初期,对偶件表面比较粗糙,表面微突体对摩擦试样的犁削作用比较大,而且摩擦副之间尚未形成转移膜,所以摩擦因数比较大;随着摩擦试验的进行,PA6 基体不断被对偶件粘走,试样中的 GF 逐渐暴露出来,承担了大部分的载荷,使实际接触面积变小。另外,PA6/GF 复合材料的摩擦因数在整个试验范围内均小于纯 PA6,说明 GF 的加入有效改善了 PA6 的摩擦性能。

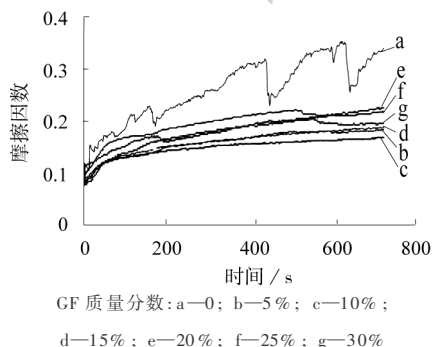
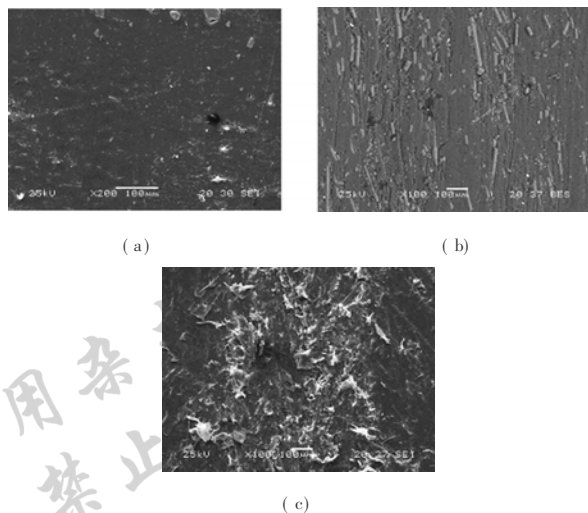


图 4 PA6/GF 复合材料的摩擦因数与时间的关系曲线

2.3 磨损机理

高分子材料的磨损是一个非常复杂的动态过程,与材料的硬度和耐热性等密切相关。通常磨损并不是以单一形式出现,而是以多种磨损形式并存,且主要磨损形式往往随工况条件而改变。根据 Archard 的磨损规律,即硬质材料与软质材料对磨时,软质材料的磨损量与其硬度成反比,即填充 GF 提高复合材料的硬度是增强其耐磨性的一个重要因素^[10]。磨损机制的不同主要是由复合材料的硬度

随着 GF 含量的增加而逐渐增大引起的,在硬度较低时,粘着磨损占优势;随着硬度的增加,磨粒磨损或疲劳磨损逐渐占据主导。另外,GF 的加入较好地分散了摩擦时所产生的热量,抑制了复合材料表面温度的升高,减少了磨损过程中的热破坏。图 5 所示为干摩擦条件下,不同 GF 含量的 PA6/GF 复合材料磨损表面形貌的 SEM 照片。



GF 质量分数: a—0; b—15%; c—30%

图 5 PA6/GF 复合材料的磨损表面形貌的 SEM 照片 (×100)

由图 5a 可以看出,纯 PA6 磨损表面光滑,以粘着磨损占主导,伴随磨粒磨损。这是因为在摩擦过程中,摩擦热不断积聚,PA6 熔融随试样往复运动而发生塑性流动所致。从图 5b 可以看出,磨损表面平滑,并裸露出纤维,同时可见少量纤维脱落,裸露于复合材料表面的纤维一方面起承载作用,另一方面可阻止对偶件表面微突体对基体的切削作用,因此,粘着磨损减小,主要表现为磨粒磨损。从图 5c 可见,PA6/GF 复合材料磨损表面存在较多磨屑和犁沟,磨损机理主要表现为磨粒磨损,同时伴随少量粘着磨损和疲劳磨损。此时,GF 在基体中分散不均,与基体粘结性能变差,摩擦过程中容易脱落而形成磨粒磨损。

3 结论

(1) GF 增强 PA6 有效改善了 PA6 的力学性能。随着 GF 含量增加,PA6/GF 复合材料的密度、硬度、拉伸强度和缺口冲击强度明显增大,力学性能逐渐提高。当 GF 质量分数为 15% 时,PA6/GF 复合材料缺口冲击强度达到最大,比纯 PA6 提高了 5 倍。

(2) GF 增强 PA6 复合材料的摩擦因数和磨损量均随 GF 含量的增加先降低后增加。当 GF 质量

分数为 15% 时,摩擦因数和磨损量最低,与纯 PA6 相比,分别降低降低 43% 和 33%。

(3) 不同 GF 含量的 PA6/GF 复合材料的磨损机理有所不同。纯 PA6 主要表现为粘着磨损;当 GF 含量较低时,PA6/GF 复合材料的磨损机理主要表现为粘着磨损和磨粒磨损;当 GF 含量较高时,则主要表现为磨粒磨损和疲劳磨损。

参考文献

- [1] Yamanaka K, Ohmori Y. Effect of boron on transformation of low-carbon low-alloy steels [J]. Trans AIME, 1977, 17(6): 93-101.
- [2] Zheng Liyan, Wang Yanling, Wan Yizeng, et al. Preparation and properties of in situ polymerized fiber-reinforced nylon composites [J]. Journal of Materials Science, 2002, 21(13): 987-989.
- [3] Kim S W, Jo W H, Lee M S, et al. Effects of shear on melt exfoliation of clay in preparation of nylon 6/organoclay nanocomposites [J]. Polym Journal, 2002, 34(3): 103-111.

- [4] Jordan J, Jacob K I, Tannenbaum R, et al. Experimental trends in polymer nanocomposites—A review [J]. Materials Science and Engineering A, 2005, 393(1/2): 1-11.
- [5] Srinath G, Gnanamoorthy R. Effect of nanoclay reinforcement on tensile and tribo behaviour of nylon 6 [J]. Journal of Materials Science, 2005, 40(2): 2897-2901.
- [6] 罗毅,肖勤莎.尼龙 6 的生产状况及发展趋势 [J]. 现代塑料加工应用, 1997, 9(6): 53-58.
- [7] Watanabe M, Yamaguchi H. The friction and wear properties of nylon [J]. Wear, 1986, 110(2): 379-388.
- [8] 张士华,陈光,崔崇,等.玻璃纤维增强 MC 尼龙复合材料的摩擦磨损性能研究 [J]. 摩擦学学报, 2006, 26(5): 452-456.
- [9] 葛世荣,王伟华,王军祥.玻璃纤维增强尼龙 1010 复合材料的摩擦学性能研究 [J]. 摩擦学学报, 2000, 20(6): 427-430.
- [10] 王世博,葛世荣,王庆良,等.氧化锌晶须填充尼龙 1010 复合材料的摩擦磨损性能 [J]. 机械工程材料, 2006, 30(5): 72-75.

MECHANICAL AND TRIBOLOGICAL PROPERTIES OF GLASS FIBER REINFORCED POLYAMIDE 6 COMPOSITES

Xie Ying, Li Duxin, Zhao Li, Li Wenjuan

(State Key Laboratory of Powder Metallurgy, Central South University, Changsha 410083, China)

Fang Yingjie

(Ying Hong Technology Co. Ltd., Xinhua 417600, China)

ABSTRACT Glass fiber reinforced polyamide 6 (PA6) composites were prepared by melt blending. The effects of glass fiber on the mechanical properties and tribological behaviors of the composites were investigated. The wear mechanism of the material was examined by means of scanning electron microscopy (SEM). The results showed that the mechanical and tribological properties of composites were significantly affected by the proportion of glass fiber. The optimal reinforcing effect of PA6 was attained when the proportion of glass fiber reached 15%. The impact strength of PA6/GF increased by 5 times and the friction coefficient and wear mass of composites were reduced approximately 43% and 33% respectively compared with those of pure PA6. The main wear mechanism of composites with low proportion of glass fiber was abrasive and adhesive wear while that was abrasive and fatigue with high proportion of glass fiber.

KEYWORDS glass fiber, PA6, composite, mechanical property, friction and wear behavior

Heinz 采用可循环 PET 材质塑料瓶

目前,Heinz 正在将其塑料 HP 瓶逐渐转换为 PET 材质,此举可谓是该系列九年以来第一次实施的包装变革。新的包装设计突出了 HP 的多功能性,公司也希望借此吸引更多新的消费者关注此品牌。新的 PET 瓶可循环利用,外观如玻璃般澄澈透亮,封口处更是采用了“升-皮”设计,消费者能轻易将薄膜从封口上拉开并剥除。此外,新的 HP 产品也换上了新的名字 HPPepper,这是一款含盐含糖更少的版本。为了明确告诉消费者整个系列产品间的区别,包装上还采用了 Heatometers 说明产品辣的程度。(世界包装博览网)

金发科技 2000 t 碳纤维项目奠基

金发科技碳纤维项目在广州市萝岗区九龙镇奠基。预计项目将在 2011 年 6 月前开始投产,首期产值预计可达 10 亿元。全面投产后将实现年产 2000 t 高性能 PAN 碳纤维的生产规模,年产值将达 100 亿元。

金发科技碳纤维项目是广东省和广州市重点项目。占地面积 30 万 m²,建筑面积 40 万 m²。作为碳纤维科研生产基地,该项目引进国外氧化炉、碳化炉等先进设备,配置相应的生产辅助设备。

碳纤维复合材料耐腐蚀性强、韧性大、电磁性能好、电阻率高。2000 年以来,全球对碳纤维的需求急剧增加,包括波音公司在内的大型企业对碳纤维的需求加速了价格上涨趋势。目前国内的生产和使用尚处起步阶段,不少企业加大了在碳纤维方面的研发生产。(中证报)

巴斯夫聚合物分散剂及树脂 10 月提价

巴斯夫将对其在欧洲、非洲及西亚地区出售的聚合物分散剂和添加剂提价 100 欧元/t,对树脂及分散剂粉末提价 170 欧元/t。公司表示,不断上涨的原料价格促成了此次提价。涉及提价的产品主要用于胶粘剂、建筑涂料及建筑化学品领域。(中聚网)