

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2014.01.008

碳纤维增强 PE-UHMW / 木粉复合材料的力学性能^{*}

游志培, 康美云, 李大纲, 邓巧云

(南京林业大学材料科学与工程学院, 南京 210037)

摘要: 为了改善超高分子量聚乙烯 (PE-UHMW) 的加工性能, 提高其力学性能, 以木粉和碳纤维为填料, 制备了高填充量碳纤维增强 PE-UHMW / 木粉复合材料。研究了碳纤维含量对 PE-UHMW / 木粉复合材料弯曲性能、拉伸性能及动态热机械性能的影响。研究表明, 加入碳纤维可提高 PE-UHMW / 木粉复合材料的弯曲强度及拉伸强度。拉伸强度和弯曲强度都随着碳纤维的含量的增加呈现出先增加后减小的趋势。当碳纤维质量分数为 3% 时, 弯曲强度达到最大值, 为 25.2 MPa, 比未加碳纤维时提高了 46.5%。当碳纤维质量分数为 2% 时, 弯曲强度达到最大值, 为 38.4 MPa, 比未加碳纤维时提高了 27.1%。随着碳纤维含量的增加, 复合材料的储能模量显著提高。碳纤维的加入使复合材料的损耗因子峰值增大。

关键词: 超高分子量聚乙烯; 木粉; 碳纤维; 力学性能

中图分类号: TQ325.12 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2014)01-0036-04

Mechanical Properties on Carbon Fibers Reinforced PE-UHMW / Wood Flour Composites

You Zhipei, Kang Meiyun, Li Dagang, Deng Qiaoyun

(College of Materials Science and Engineering, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China)

Abstract : In order to improve the processing properties and mechanical properties of ultra high molecular weight polyethylene(PE-UHMW), the wood powder and carbon fibers were used as the filled materials. High filler content PE-UHMW / wood powder composites were prepared by mixed melt extrusion method. The effect of carbon fiber content on flexural properties, tensile properties and dynamic mechanical properties of the composites were investigated. The results show that the flexural strength and tensile strength of the composites are improved by adding carbon fibers. With the increasing of carbon fiber content, tensile strength and flexural strength of the composites are increased first and then decreased. When the mass fraction of carbon fiber is 3%, flexural strength of the composite reaches the maximum value(25.2 MPa), which is improved by 46.5% than that of composite without carbon fibers. When the mass fraction of carbon fibers is 2%, the tensile strength of the composite reaches the maximum value(38.4 MPa), which is improved by 27.1% than that of the composite without carbon fibers. With the increase of the content of carbon fibers, storage modulus of the composite is improved significantly. Carbon fibers can increase loss factor peaks of the composites.

Keywords : ultra-high molecular weight polyethylene ; wood flour ; carbon fiber ; mechanical property

木粉是木塑复合材料最常用的生物质填料, 木粉 (或木纤维) 与其它植物纤维相比具有原料易得、成本低、所得制品木质感强的优点^[1]。目前用于木塑复合材料 (WPC) 生产的塑料主要有聚乙烯 (PE), 聚丙烯 (PP) 和聚氯乙烯 (PVC) 等。

超高分子量聚乙烯 (PE-UHMW) 具有普通 PE 及其它工程塑料不可比拟的优异性能, 但由于自身固有的热变形温度低、蠕变大、表面硬度差等缺点, 使其应用受到限制。无机填料如碳黑、三氧化二铝、二硫化钼及高岭土等是 PE-UHMW 改性的常用填料^[2-5], 其目的是提高 PE-UHMW 的硬度、弹性模量以及抗磨粒磨损能力。

A. Mahfoudh 等^[6]研究了木粉含量对 PE-UHMW 的密度、硬度、形态和力学性能的影响, 研究表明, 木粉的加入增加了木塑复合材料的密度、硬度、拉伸弹性模量和弯曲弹性模量, 但是, 当木粉质量分数为 30% 时, 拉伸强度从纯 PE-UHMW 的 41.6 MPa 下降到 8.4 MPa, 且其木粉的最大填充量只有 30%。

^{*} 国家自然科学基金项目 (31170514, 31370557), 江苏高校优势学科建设项目 (PAPD)

联系人: 李大纲, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为功能性包装材料、木塑复合材料

收稿日期: 2013-10-22

笔者用木粉作为填料,对 PE-UHMW 进行改性,并以短碳纤维作为增强材料,制备了一种新型的高填充木塑复合材料,木粉的质量分数高达 80%,研究了碳纤维含量对 PE-UHMW / 木粉复合材料弯曲性能、拉伸性能及动态热机械性能的影响。木粉的加入提高了 PE-UHMW 的加工性能和抗蠕变性能,短碳纤维的加入提高了复合材料的拉伸强度和弯曲强度。

1 实验部分

1.1 主要原材料

PE-UHMW : L5000, 日本三井公司;

杨木粉: 颗粒大小为 150 ~ 180 μm ;

碳纤维: T300, 长度约为 5 mm, 日本东丽公司。

1.2 主要仪器与设备

哈克微量混合流变仪: HAAKE Minilab II 型, 赛默飞世尔科技有限公司;

万能力学试验机: CMT4202 型, 深圳新三思材料检测有限公司;

动态热机械分析 (DMA) 仪: DMA 242D 型, 德国耐驰机械仪器有限公司。

1.3 试样制备

先将原材料杨木粉与 PE-UHMW 在 105 $^{\circ}\text{C}$ 下干燥 24 h, 然后按表 1 配方分别称取 PE-UHMW、木粉、碳纤维, 置于高速混合机中混合约 5 min, 制得预混料。将预混料加入微量混合流变仪中进行共混, 螺杆为同向锥形双螺杆, 温度设为 180 $^{\circ}\text{C}$, 螺杆转速为 30 r/min, 共混时间为 10 min, 然后从特定的口模挤出成型, 制成 50 mm $\times$ 3.8 mm $\times$ 1 mm 的试样, 用于拉伸性能和动态热机械性能测试。将在微量混合流变仪中混合均匀的木塑复合材料在热压机上压成厚度为 2 mm 的板, 再把 2 mm 厚的板制成 50 mm $\times$ 5 mm $\times$ 2 mm 的试样, 用于弯曲性能测试。

表 1 碳纤维增强 PE-UHMW / 木粉复合材料配方 %

试样编号	PE-UHMW 质量分数	木粉质量分数	碳纤维质量分数
a	20	80	0
b	20	79	1
c	20	78	2
d	20	77	3
e	20	76	4
f	20	75	5

1.4 性能测试

弯曲性能按照 GB / T 9341-2008 测试;

拉伸性能按照 GB / T 1040.3-2006 测试;

DMA : 采用三点弯曲模式, 温度范围为 30 ~ 150 $^{\circ}\text{C}$, 升温速率为 2 $^{\circ}\text{C} / \text{min}$, 频率为 1 Hz。

2 结果与讨论

2.1 碳纤维含量对 PE-UHMW / 木粉复合材料弯曲性能的影响

图 1 为碳纤维含量对 PE-UHMW / 木粉复合材料弯曲性能的影响。

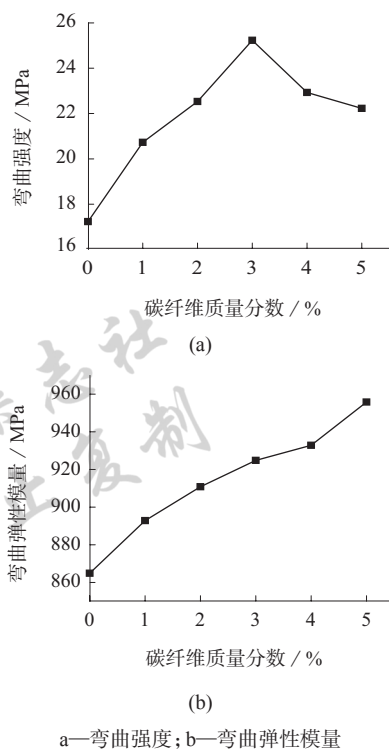


图 1 碳纤维含量对 PE-UHMW / 木粉复合材料弯曲性能的影响

由图 1a 可以看出,随着碳纤维含量的增加,复合材料的弯曲强度呈现先增加后减小的趋势。当碳纤维质量分数为 1%~3% 时,复合材料的弯曲强度随着碳纤维含量的增加而增加。这是由于碳纤维的强度和刚度较大,在复合材料中能较好地分散,当受外力作用时,界面能使外力均匀地传递给增强纤维,使外力有效地在增强纤维之间得到缓冲,从而提高了碳纤维增强复合材料的弯曲强度。当不加碳纤维时,复合材料的弯曲强度为 17.2 MPa;当碳纤维质量分数为 3% 时,复合材料的弯曲强度达到最大值,为 25.2 MPa,比不加碳纤维时提高 46.5%。当碳纤维质量分数为 3%~5% 时,复合材料的弯曲强度随着碳纤维含量的增加呈下降趋势。这是由于当碳纤维达到一定含量后,基体与纤维不易均匀结合,产生较弱的界面,当材料受力时,容易产生界面脱附和纤维拔出,应力传递效率降低^[7]。

由图 1b 可以看出,随着碳纤维含量的增加,复

合材料的弯曲弹性模量呈增加趋势。这是由于材料的弯曲弹性模量主要由材料的刚性决定,而碳纤维的加入增加了复合材料的硬度和刚性。没有加入碳纤维时,复合材料的弯曲弹性模量为 865 MPa;加入质量分数为 5% 的碳纤维后,复合材料的弯曲弹性模量达到 956 MPa,比不加碳纤维时提高了 10.5%。

2.2 碳纤维含量对 PE-UHMW / 木粉复合材料拉伸性能的影响

图 2 为碳纤维含量对 PE-UHMW / 木粉复合材料拉伸性能的影响。

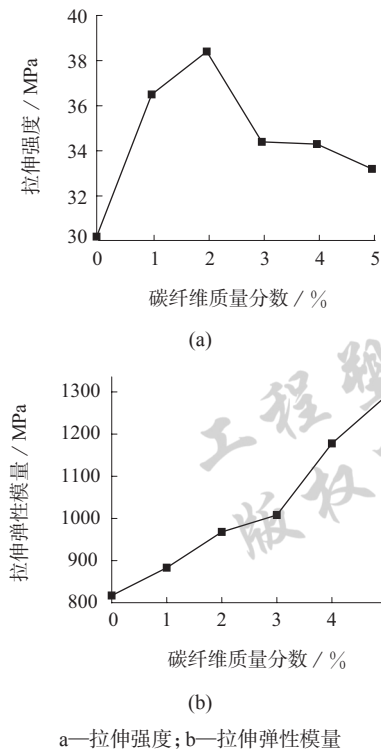


图 2 碳纤维含量对 PE-UHMW / 木粉复合材料拉伸性能的影响

由图 2a 可以看出,随着碳纤维含量的增加,复合材料的拉伸强度呈现出先增加后减小的趋势。当碳纤维质量分数为 1%~2% 时,复合材料的拉伸强度随着碳纤维含量的增加而增加。这是由于碳纤维的强度较大,在复合材料中能较好地分散,从而提高复合材料的拉伸强度。当不加碳纤维时,复合材料的拉伸强度为 30.2 MPa;当碳纤维的质量分数达到 2% 时,复合材料的拉伸强度达到最大值,为 38.4 MPa,比不加碳纤维时提高 27.1%。当碳纤维质量分数为 2%~5% 时,复合材料的拉伸强度随着碳纤维含量的增加而下降,引起其下降的原因与弯曲强度下降的原因相同。

由图 2b 可以看出,随着碳纤维含量的增加,复

合材料的拉伸弹性模量呈增大趋势,这与弯曲弹性模量的测试结果一致。当不加碳纤维时,复合材料的拉伸弹性模量为 817 MPa,加入质量分数为 5% 的碳纤维时,其拉伸弹性模量达到 1292 MPa,比不加碳纤维时提高 58.1%。说明加入碳纤维可大幅度提高复合材料的拉伸弹性模量。

2.3 碳纤维含量对木塑复合材料动态力学性能的影响

图 3 为不同碳纤维含量下, PE-UHMW / 木粉复合材料储能模量和损耗因子与温度的关系曲线。

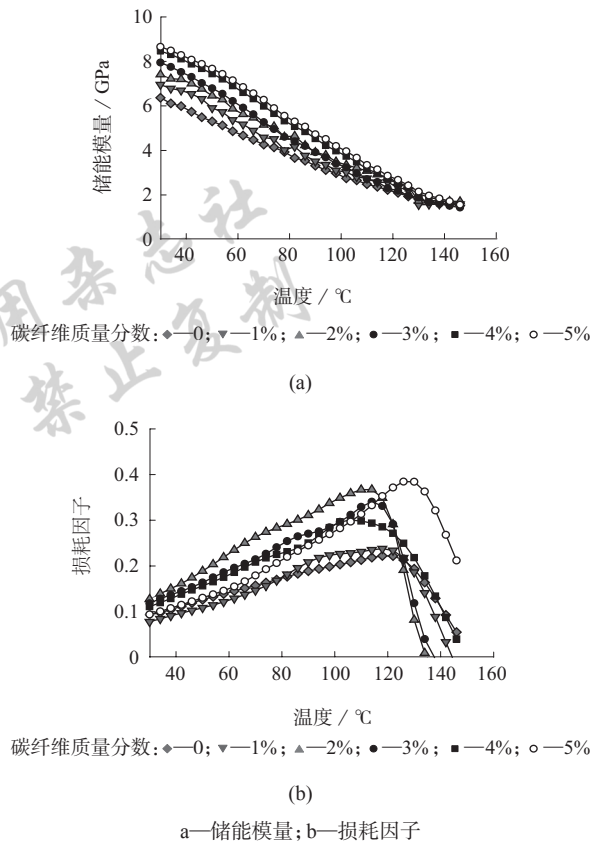


图 3 不同碳纤维含量下 PE-UHMW / 木粉复合材料储能模量和损耗因子与温度的关系曲线

由图 3a 可以看出,随着碳纤维含量的增加,复合材料的储能模量显著提高,在 30°C 时,未加碳纤维的复合材料的储能模量为 6.3 GPa,当碳纤维质量分数为 5% 时,复合材料的储能模量达到 8.7 GPa,比未加碳纤维时增加了 38%。说明碳纤维的加入能有效增加复合材料的刚性,这与静态弯曲弹性模量的测试结果是一致的。这主要是由于复合材料通过界面将载荷转移至木粉和碳纤维上,使木粉和碳纤维能够有效承担载荷,从而使复合材料的刚性增加,储能模量增大^[8]。

由图 3b 可以看出,复合材料的损耗因子均出现

峰值,碳纤维的加入使复合材料的损耗因子峰值增大,特别是当碳纤维质量分数为 5% 时,损耗因子峰值是无碳纤维的 2 倍。说明碳纤维的加入可能增加了碳纤维与 PE-UHMW 界面间的摩擦热损耗。当碳纤维质量分数为 1%~4% 时,随着碳纤维的加入,复合材料的损耗因子峰值向低温方向移动,说明在温度升高时,复合材料的分子链移动能力增加;当碳纤维质量分数为 5% 时,复合材料的损耗因子峰值向高温方向移动,说明在温度升高时,较高的碳纤维含量使得复合材料的分子链移动能力下降^[9]。

3 结论

(1) 碳纤维的加入提高了复合材料的弯曲强度和拉伸强度。当碳纤维质量分数为 2% 时,弯曲强度达到最大值(25.2 MPa);当碳纤维质量分数为 3% 时,拉伸强度达到最大值(38.4 MPa)。

(2) 随着碳纤维含量的增加,复合材料的储能模量显著提高。在 30℃ 时,当碳纤维质量分数为 5% 时,其储能模量达到 8.7 GPa,比未加碳纤维时增加了 38%。碳纤维的加入使复合材料损耗因子峰值增大。

参考文献

- [1] 王自瑛,李珊珊.高木粉填充量 PE 木塑复合材料的机械性能分析[J].塑料,2012,41(6):20-22.
Wang Ziyi, Li Shanshan. Mechanical properties analysis of high content wood flour filled PE composite[J].Plastics,2012,41(6):20-22.
- [2] 刘功德,李惠林.聚丙烯和二硫化钼对超高分子量聚乙烯复合材料摩擦磨损性能的影响[J].摩擦学学报,2004,24(1):21-24.
Liu Gongde, Li Huilin. Effect of polypropylene and molybdenum disulfide on friction and wear behavior of ultra high molecular weight polyethylene [J]. Tribology, 2004, 24(1):21-24.
- [3] Xiong Dangsheng, Ge Shirong. Friction and wear properties of UHMWPE / Al₂O₃ ceramic under different lubricating conditions[J]. Wear, 2001, 250(1-12):242-245.
- [4] 何春霞,丁为民,史丽萍.碳黑填充超高分子量聚乙烯复合材料摩擦磨损性能研究[J].摩擦学学报,2004,24(5):453-456.
He Chunxia, Ding Weimin, Shi Liping. Friction and wear properties of carbon black filled ultrahigh molecular weight polyethylene composite[J].Tribology, 2004, 24 (5):453-456.
- [5] 熊传溪,陈涛,董丽杰,等.高岭土 / 四针状 ZnO 晶须填充 UHMWPE 的研究[J].武汉理工大学学报,2005,27(2):1-3.
Xiong Chuanxi, Chen Tao, Dong Lijie, et al. Study on properties of kaolin / quardrupedal crystal whisker of zinc oxide cofilled UHMWPE[J]. Journal of Wuhan University of Technology, 2005, 27(2):1-3.
- [6] Mahfoudh A, Cloutier A, Rodrigue D. Characterization of UHMWPE / wood composites produced via dry-blending and compression molding[J]. Polymer Composites, 2013, 34 (4):510-516.
- [7] 关苏军,万春风,汪丽娜,等.玄武岩纤维增强木塑复合材料的力学性能[J].复合材料学报,2011,28(5):162-167.
Guan Sujun, Wan Chunfeng, Wang Lina, et al. Mechanical properties of basalt fiber reinforced wood-plastic composites[J]. Acta Materiae Compositae Sinica, 2011, 28(5):162-167.
- [8] 宋艳江,王宝云,羊海棠,等.界面改性对 HDPE 木塑复合材料性能的影响[J].塑料,2011,40(5):87-89.
Song Yanjiang, Wang Baoyun, Yang Haitang, et al. Effect of interfacial modification on the properties of wood / HDPE composite[J]. Plastics, 2011, 40(5):87-89.
- [9] 宋永明,肖泽芳,王清文.木粉 / 再生聚苯乙烯复合材料的动态机械性质分析[J].东北林业大学学报,2004,32(5):29-31.
Song Yongming, Xiao Zefang, Wang Qingwen. Dynamic mechanical property of wood flour and recycled polystyrene composites[J]. Journal of Northeast Forestry University, 2004, 32(5):29-31.

优惠销售 2000 ~ 2013 年中国工程塑料复合材料技术研讨会《论文集》及论文集光盘

中国合成树脂供销协会加工与应用分会为了配合 2000 ~ 2013 年先后召开的中国工程塑料复合材料技术研讨会,共编辑、出版了 14 本《论文集》。其内容涉及工程塑料及通用塑料的合成与改性、加工、应用、测试、模具、设备新技术,以及文献综述、评论等,突出了我国工程塑料行业发展规划、热点分析。现尚有部分《论文集》,以及应广大读者要求加工制作的论文集光盘,现以优惠价格(含邮费)销售,欢迎订阅。

1. 2000 ~ 2013 年中国工程塑料复合材料技术研讨会《论文集》,优惠价 380 元 / 套。

2. 2000 ~ 2013 年中国工程塑料复合材料技术研讨会论文集光盘,优惠价 260 元 / 盘。本光盘除收录上述 14 本《论文集》的全部内容外,还包括约 2 700 人次的会议代表通讯录。

邮编汇款

收款单位: 山东济南市田庄东路 3 号杂志社

邮 编: 250031

电 话: (0531)85878223 85878057 85878278

传 真: (0531)85947355

银行汇款

户 名: 中国兵器工业集团第五三研究所

开户银行: 济南市工商银行经十一路支行

帐 号: 1602001229014425546

网上订购: <http://www.epa1973.com>