

# 芦苇/碳纤维补强PP/EVA复合材料性能研究

夏英,张馨月,张锋锋,任庆龙,李智佳

(大连工业大学 纺织与材料工程学院,辽宁 大连 116034)

**摘要:**将芦苇(L)、碳纤维(C)与聚丙烯(PP)和乙烯-乙酸乙烯共聚物(EVA)进行共混,制备了L/C/PP/EVA复合材料,并研究L/C复配比例对复合材料性能的影响。结果表明:当L/C复配比例为1:5时,PP/EVA复合材料的综合力学性能较好;与L/C/PP/EVA复合材料相比,改性芦苇和碳纤维复配补强PP/EVA复合材料的拉伸强度、弯曲强度和冲击强度分别提高了1.44 MPa,4.76 MPa和0.83 kJ·m<sup>-2</sup>,但加工流动性有所下降。

**关键词:**芦苇纤维;碳纤维;聚丙烯;乙烯-乙酸乙烯共聚物;复合材料;改性

**中图分类号:**TQ325.1<sup>+</sup>4;TQ327.3;S564<sup>+</sup>.2 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-890X(2018)02-0142-04

聚丙烯(PP)是一种通用塑料,具有密度小、来源丰富、价格低廉、化学稳定性好、性价比高及易于回收利用和加工成型等优点,但同时存在低温韧性差、不耐老化、对缺口敏感、尺寸收缩率大和抗冲击性能差等缺点<sup>[1]</sup>,因此在工程塑料和结构材料方面的应用受到限制。为了提高PP的韧性,通常将PP与橡胶类弹性体混合,如氢化苯乙烯-丁二烯-苯乙烯嵌段共聚物、乙丙橡胶、乙烯-辛烯共聚物 and 三元乙丙橡胶等<sup>[2-6]</sup>。混并用虽然在一定程度上提高了PP的韧性,但不可避免地会降低其模量和强度。

近年来,天然纤维补强热塑性复合材料越来越受到人们的重视<sup>[7]</sup>。芦苇纤维是天然植物纤维,不仅价格便宜、生长周期短、来源广泛,而且是一种生物可降解性的材料,因此有望成为未来补强复合材料的一种新型材料<sup>[8-9]</sup>。

碳纤维是同时具有纤维柔软可加工性和碳材料强抗拉力的无机纤维。碳纤维补强复合材料主要是以碳纤维作为补强体相、树脂作为基体相成型的复合材料,碳纤维及其复合材料是国家重点投资和开发的潜在材料。碳纤维由于具有高强轻质的特殊性能,在一些重大基础工程、高端装备和采油等领域的应用需求不断扩大<sup>[10-12]</sup>。目前,碳纤维及其复合材料已经成为我国新材料行业的领军产品<sup>[13-14]</sup>。而有关芦苇纤维和碳纤维复配补强

PP/乙烯-乙酸乙烯共聚物(EVA)复合材料的研究尚未见报道。

本工作将碳纤维(C)、芦苇(L)与PP/EVA进行熔融共混,制备L/C/PP/EVA复合材料,并研究L/C复配比例对复合材料性能的影响。

## 1 实验

### 1.1 原材料

EVA-18,VA质量分数为0.18,东莞市鸿君塑胶原料有限公司产品;PP,牌号J340,盘锦华锦乙烯有限责任公司产品;短切3 mm芦苇,海宁安捷复合材料有限责任公司产品;浓硫酸,天津市瑞金特化学品有限公司产品;无水乙醇(优级纯),天津市光复科技发展有限公司产品;氢氧化钠(分析纯)和甲酸(分析纯),天津科密欧化学试剂有限公司产品;硅烷偶联剂KH550,南京道宁化工有限公司产品。

### 1.2 主要设备与仪器

SK-160B型两辊开炼机,160 mm×320 mm,上海思南橡胶机械有限公司产品;QLB-50D/Q型平板硫化机,无锡市中凯橡塑机械有限公司产品;HY-W型万能制样机,河北省承德试验机厂产品;202-00A型电热干燥箱和FW100型高速万能粉碎机,天津市泰斯特仪器有限公司产品;XRZ-400型熔融指数仪,吉林大学仪器厂产品;Zeiss Mikroskop Axiopla型偏光显微镜(POM),德国蔡司光学仪器有限公司产品;RGT-5型微机控制电

**作者简介:**夏英(1966—),女,浙江绍兴人,大连工业大学教授,博士,主要从事高分子材料的加工与改性研究。

子万能试验机和RXJ-50型液晶显示冲击试验机,深圳市瑞格尔仪器有限公司产品;JSM-6460LV型扫描电镜(SEM),日本电子公司产品。

### 1.3 试样制备

#### 1.3.1 芦苇纤维碱处理

配制一定质量浓度的氢氧化钠溶液,按照每10 mL溶液2 g的比例加入芦苇纤维,在一定温度下处理一定时间之后抽滤。首先用甲酸溶液(质量分数为0.03)洗除残留氢氧化钠,然后用去离子水洗涤3次,并在100 °C的鼓风干燥箱中干燥8 h备用,得到碱处理芦苇记,为AL。

#### 1.3.2 硫酸/硅烷偶联剂联合处理碳纤维

用去离子水将浓硫酸稀释成浓度为1 mol·L<sup>-1</sup>的硫酸溶液,按照每10 mL溶液5 g的比例加入碳纤维,在80 °C下反应2 h。

用去离子水配制质量分数为0.25的乙醇溶液,称取一定量的硅烷偶联剂KH550配制成质量分数为0.007 5的乙醇水溶液。称取一定量干燥后的碳纤维,按照每10 mL溶液5 g的比例加入到配好的硅烷偶联剂KH550乙醇水溶液中,在80 °C下反应2 h,得到的处理后碳纤维记为SSiC。

#### 1.3.3 复合材料

将经处理的干燥芦苇纤维和碳纤维与PP和EVA于(180±2) °C两辊开炼机上混炼8 min,混炼均匀后下片,在(180±3) °C/15 MPa×5 min条件下硫化,热压过程中进行3次排气处理,再在15 MPa下冷压20 min得到试样,放置24 h后裁样。

### 1.4 性能测试

悬臂梁缺口冲击强度按GB/T 1943—2009《木材横纹抗压弹性模量测定方法》测试;弯曲强度按GB/T 9341—2008《塑料 弯曲性能的测定》测试,弯曲速率为2 mm·min<sup>-1</sup>;拉伸强度按GB/T 6344—2008《软质泡沫聚合材料 拉伸强度和断裂伸长率的测定》测试,拉伸速率为50 mm·min<sup>-1</sup>;

将样品置于载玻片上,然后在加热台上熔融并压成薄片,在偏光显微镜下记录结晶形态;加工流动性按照GB/T 3682—2008《热塑性塑料熔体质量流动速率和熔体体积流动速率的测定》测试,温度为230 °C,负载为2.16 kg;SEM测试按照GB/T 16594—2008《微米级长度的扫描电镜测量方法通则》进行,试样经过液氮冷冻脆断,断口表面进行喷金处理。

## 2 结果与讨论

### 2.1 L/C复配比例对复合材料力学性能的影响

L/C复配比例对PP/EVA复合材料力学性能的影响见表1。

由表1可见:当L/C复配比例由1:1~1:5变化时,随着碳纤维比例的增大,复合材料的拉伸强度和弯曲强度呈增大趋势,当L/C复配比例为1:5时,均为最大值,而冲击强度呈先增大后减小再增大的趋势;当L/C复配比例由2:1~5:1变化时,随着芦苇纤维比例的增大,复合材料的拉伸强度和弯曲强度呈减小趋势。综合考虑复合材料的力学性能,选择L/C的复配比例为1:5。

### 2.2 纤维对PP/EVA复合材料力学性能的影响

纤维对PP/EVA复合材料力学性能的影响见表2。

由表2可见:芦苇/碳纤维复配对PP/EVA复合材料的韧性有明显的增强作用,改性芦苇和改性碳纤维补强效果更好;AL/SSiC/PP/EVA复合材料的拉伸强度、弯曲强度和冲击强度分别比L/C/PP/EVA复合材料提高了1.44 MPa,4.76 MPa和0.8 kJ·m<sup>-2</sup>。这主要是由于经过改性的芦苇纤维和碳纤维表面羟基减少、极性降低,增强了与基体的相容性,有利于与基体产生界面粘合,从而使复合材料的力学性能得到改善。

表1 L/C复配比例对PP/EVA复合材料力学性能的影响

项 目	L/C复配比例								
	1:1	1:2	1:3	1:4	1:5	2:1	3:1	4:1	5:1
拉伸强度/MPa	23.85	24.08	23.66	25.73	26.61	24.87	23.04	21.69	19.97
弯曲强度/MPa	30.85	30.27	31.09	32.88	33.76	30.39	28.80	26.47	27.36
冲击强度/(kJ·m <sup>-2</sup> )	5.06	5.59	4.90	4.23	5.08	4.57	5.08	4.40	4.86

注:纤维用量为30份,PP/EVA总用量为70份,用量比为4:1。

表2 纤维对PP/EVA复合材料力学性能的影响

项 目	PP	PP/EVA	L/C/PP/ EVA	AL/SSiC/ PP/EVA
纤维复配比例			1 : 5	1 : 5
拉伸强度/MPa	23.53	17.96	26.61	28.05
弯曲强度/MPa	31.41	22.21	33.76	38.52
冲击强度/(kJ·m <sup>-2</sup> )	14.8	52.8	5.1	5.9

注:同表1。

### 2.3 纤维对复合材料加工性能的影响

纤维对PP/EVA复合材料加工性能的影响见表3。

表3 纤维对PP/EVA复合材料加工性能的影响

项 目	PP	PP/EVA	L/C/PP/ EVA	AL/SSiC/ PP/EVA
纤维复配比例			1 : 5	1 : 5
熔体流动速率/ (g·min <sup>-1</sup> )	0.116	0.304	0.256	0.183

注:同表1。

由表3可见:与PP/EVA复合材料相比,纤维补强PP/EVA复合材料的加工流动性均有所降低;AL/SSiC/PP/EVA复合材料的熔体流动速率比PP/EVA和L/C/PP/EVA复合材料分别下降了0.121和0.073 g·min<sup>-1</sup>。这主要是由于未改性的芦苇和碳纤维表面极性较强,不易与基体发生缠结,相容性较差,纤维取向起主导作用;而改性纤维与基体的相容性变好,但是改性纤维在树脂中的破坏树脂连续性作用大于取向作用,因此熔体流动速率有所降低。

### 2.4 复合材料的POM分析

复合材料的POM照片见图1。

从图1可以看出:L/C/PP/EVA复合材料中出现了许多大而亮的区域,这些区域中的球晶尺寸较大、边界不规则,分布明显不均,同时未改性纤维出现部分团聚现象,即在基体中分散不均匀;AL/SSiC/PP/EVA复合材料中球晶的分布变得较均匀,结晶区域内没有大而亮的区域出现,球晶细化且尺寸变得均匀,这有利于提高复合材料的力学性能。

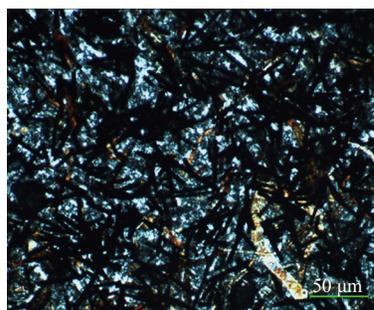
### 2.5 复合材料的SEM分析

复合材料的SEM照片见图2。

由图2可以看出:L/C/PP/EVA复合材料中可观察到团聚成束状的芦苇纤维,纤维表面有竖条纹的碳纤维,当复合材料受到外力作用时,光滑的

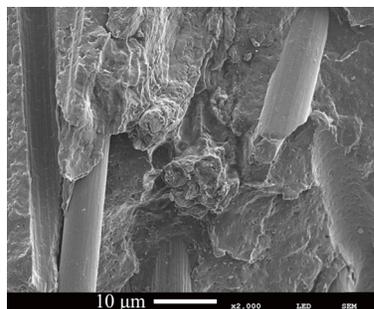


(a) L/C/PP/EVA

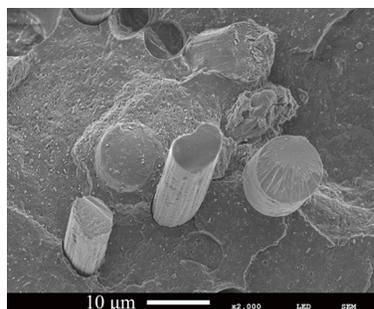


(b) AL/SSiC/PP/EVA

图1 复合材料的POM照片(放大200倍)



(a) L/C/PP/EVA



(b) AL/SSiC/PP/EVA

图2 复合材料的SEM照片(放大2 000倍)

碳纤维从基体中剥离后形成长沟槽,碳纤维容易从基体中被大量抽离,与基体相容性较差,同时能看到部分芦苇纤维团聚在基体中,说明与基体的

相容性较差;经表面改性后的纤维从基体中拔出的长度变小,且未出现剥离沟槽结构,说明改性纤维与基体的相容性得到提高,从而增大了与基体之间的界面粘合力,使复合材料的力学性能明显提高。

### 3 结论

(1) L/C复配对PP/EVA复合材料有补强作用,当L/C复配比例为1:5时,PP/EVA复合材料的综合力学性能较佳。

(2) 与L/C/PP/EVA复合材料相比,改性芦苇和碳纤维复配对PP/EVA复合材料的补强效果更为明显,拉伸强度、弯曲强度和冲击强度分别提高了1.44 MPa,4.76 MPa和0.8 kJ·m<sup>-2</sup>。

(3) AL/SSiC/PP/EVA复合材料的熔体流动速率比PP/EVA和L/C/PP/EVA复合材料分别下降了0.121和0.073 g·min<sup>-1</sup>,纤维补强后复合材料的加工流动性有所下降。

### 参考文献:

- [1] 郑水林. 粉体表面改性[M]. 北京:中国建材工业出版社,2003.
- [2] Tam W H, Cheuang T, Li R K Y. An Investigation on the Impact Fracture Characteristics of EPR Toughened Polypropylene[J]. Polymer Testing, 1996, 15(4):363-379.
- [3] Meligi G, Yoshii F, Sasaki T, et al. Accelerated Degradability of Polypropylene by Blended Rubber[J]. Polymer Degradation and Stability, 1997, 57(3):241-246.

- [4] Arroyo M, Zitzumbo R, Avalos F. Composites Based on PP/EPDM Blended and Aramid Short Fibers. Morphology/Behaviour Relationship[J]. Polymer, 2000, 40(16):6351-6359.
- [5] Yu Z Z, Lei M, Ou Y C. Study on Compatibilization and Toughening of a Copolyester with a Maleated Thermoplastic Elastomer[J]. Polymer, 2002, 43(25):6993-7001.
- [6] 李善良. SEBS/PP热塑性弹性体压缩永久变形性能的研究[J]. 橡胶工业, 2016, 63(6):329-331.
- [7] Kraiem D, Pimbert S, Ayadi A, et al. Effect of Low Content Reed (Phragmites Australis) Fibers on the Mechanical Properties of Recycled HDPE Composites[J]. Composites: Part B, 2013, 44:368-374.
- [8] Zhao H, Yan H X, Zhang C W, et al. Pyrolytic Characteristics and Kinetics of Phragmites Australis[J]. Evidence-based Complementary and Alternative Medicine, 2011, 40:1-6.
- [9] 孙占英,刘素明,赵雄燕,等. 芦苇纤维增强低密度聚乙烯复合材料力学性能研究[J]. 工程塑料应用, 2012, 40(9):32-35.
- [10] 贺福. 碳纤维及其应用技术[M]. 北京:化学工业出版社,2004:10-12.
- [11] 刘雄亚,欧阳国恩,张华新,等. 透光复合材料、碳纤维复合材料及其应用[M]. 北京:化学工业出版社,2006:285-320.
- [12] 贺福,王茂章. 碳纤维及其复合材料[M]. 北京:科学出版社,1995:1-32.
- [13] Babatope B, Isaac D H. The Effects of Matrix Orientation on the Mechanical Properties of a Drawn Short Fiber Reinforced Thermoplastic Composite[J]. Science and Engineering of Composite Materials, 1992, 2(2):73-84.
- [14] Karsli N G, Aytac A. Effects of Maleated Polypropylene on the Morphology, Thermal and Mechanical Properties of Short Carbon Fiber Reinforced Polypropylene Composites[J]. Materials and Design, 2011, 32(7):4069-4073.

收稿日期:2017-08-21

## Study on Properties of Reed Fiber and Carbon Fiber Reinforced PP/EVA Composite

XIA Ying, ZHANG Xinyue, ZHANG Fengfeng, REN Qinglong, LI Zhijia

(Dalian Polytechnic University, Dalian 116034, China)

**Abstract:** The reed fiber (L)/carbon fiber (C)/polypropylene (PP)/ethylene-vinyl acetate copolymer (EVA) composite was prepared by blending L/C and PP/EVA, and the effect of L/C blending ratio on the properties of the composite were investigated. The results showed that when the L/C blending ratio was 1:5, the mechanical properties of PP/EVA composite was better. Compared with the L/C/PP/EVA composite, the tensile strength, flexural strength and impact strength of the modified carbon fiber and modified reed fiber reinforced PP/EVA composite increased by 1.44 MPa, 4.76 MPa and 0.8 kJ·m<sup>-2</sup>, respectively, but its processing property decreased slightly.

**Key words:** reed fiber; carbon fiber; PP; EVA; composite; modification