

苧麻纤维/碳纤维/聚乙烯复合材料的性能研究

盛旭敏

(重庆理工大学材料科学与工程学院, 重庆 400054)

摘 要 将苧麻纤维(RF)、短切碳纤维(SCF)混杂加入低密度聚乙烯(LDPE)树脂中,考察了纤维混杂方式、马来酸酐接枝物添加方式对 LDPE/RF/SCF(100/10/5)复合材料力学性能的影响。结果表明:以 SCF/LDPE 为表层,以 RF/LDPE 为芯层的夹芯结构 LDPE/RF/SCF(100/10/5)复合材料拉伸强度较 LDPE/RF(100/15)复合材料提高了 49%,冲击强度提高 78%;体系中添加 3 份的马来酸酐接枝物(LDPE-g-MAH)后,复合材料冲击强度提高了 8%,马来酸酐接枝物改善复合材料冲击强度比改善拉伸强度更有效。扫描电镜结果表明 LDPE-g-MAH 能改善麻纤维、碳纤维与基体间的界面结合。

关键词 苧麻纤维,碳纤维,混杂,聚合物复合材料,夹芯结构

Mechanical property of RF/SCF/LDPE hybrid composite

Sheng Xumin

(College of Material Science and Engineering, Chongqing University of Technology,
Chongqing 400054)

Abstract A ramie fiber/short-chopped carbon fiber/low density polyethylene (RF/SCF/LDPE) hybrid composite was developed. The effects of fiber hybrid modes and LDPE-g-MAH adding modes on the mechanical properties of LDPE/RF/SCF(100/10/5) were investigated respectively. The results showed that the tensile strength of LDPE/RF/SCF(100/10/5) with a “sandwich structure” when SCF/LDPE laminae as outer layer and RF/LDPE laminae as core layer was 49% higher than that of LDPE/RF (100/15) and the impact strength of composites increased by 78%. When the content of LDPE-g-MAH was 3phr, the impact strength of composites increased by 8%. The result also showed that LDPE-g-MAH was more effective in improving impact strength of composites, compared with tensile strength. SEM micrograph showed that LDPE-g-MAH can improve the interfacial bonding between the fibers and the matrix.

Key words ramie fiber, carbon fiber, hybrid, polymer composite, sandwich structure

随着人们环保意识不断增强,“绿色、低碳”已成为复合材料发展的关键词。以麻纤维为代表的植物纤维制备聚合物复合材料,可以兼顾环保与成本要求,在汽车制造、建筑业等领域日益受到关注^[1-3]。

与传统增强纤维/聚合物复合材料相比,麻纤维/聚合物复合材料的力学性能尚不能令人满意。将麻纤维与玻纤、碳纤长纤以及粘胶、芳纶等其他有机纤维混杂制备聚合物复合材料,能在一定程度上改善复合材料的性能。目前针对麻纤维/玻纤/聚合物复合材料的研究相对较多,而针对麻纤维/碳纤维/聚合物复合材料的相关研究较少,尤其对于麻纤维混杂短切碳纤维制备聚合物复合材料的研究非常薄弱^[4]。

本研究以苧麻纤维、短切碳纤维为填料,以低密度聚乙烯(LDPE)树脂为基体,考察了苧麻纤维与碳纤维混杂方式以及添加马来酸酐接枝物对复合材料力学性能的影响。

1 实验部分

1.1 主要原料与设备

低密度聚乙烯(LDPE, 2426H, 密度 0.92 g/cm³),兰州石化公司;苧麻纤维(RF):外购原麻后自制;国产短切碳纤维(SCF, 长度 5~8mm),市售;马来酸酐接枝低密度聚乙烯(LDPE-g-MAH),广东东莞志诚塑化有限公司;其他化学试剂,市售。

电热鼓风干燥箱(BPG-9070A 型),上海一恒科

基金项目:重庆市教委科学技术研究项目(KJ1709203)

作者简介:盛旭敏(1977-),女,硕士,副教授,主要从事植物纤维/聚合物复合材料改性及成型方面的研究。

学仪器有限公司;高速混合机(SHR-10 型),江苏白熊机械有限公司;双辊开炼机(BL-6175-A 型),宝轮精密仪器有限公司;电动加硫成型机(BL-6170-A20T 型),宝轮精密仪器有限公司;微机控制电子万能试验机(CMT6104 型),美斯特工业系统(中国)有限公司;摆锤式冲击试验机(ZBC1400-B 型),美斯特工业系统(中国)有限公司;扫描电子显微镜(SEM,JSM6460LV 型),日本电子株式会社。

1.2 试样制备

将苧麻(原麻)制成长度为 8~10mm 的苧麻纤维,碱处理后烘干备用^[5]。

将苧麻纤维、碳纤维与 LDPE 经双辊塑炼拉片(塑炼温度为 105~115℃);再经模压法压制成型后制得样条(压制温度为 135~145℃)。工艺过程见图 1。

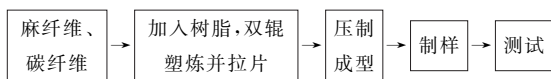


图 1 苧麻纤维/碳纤维/聚乙烯复合材料试样制备工艺过程图

1.3 性能测试及形貌观察

拉伸强度、拉伸模量和断裂伸长率按 GB/T 1040—2006 测试,拉伸速率 50mm/min;冲击强度按 GB/T 1843—2008 测试,试样缺口底部剩余宽度 8mm。复合材料微观形貌取冲击试样经液氮脆断后观察断面,观察前,对试样断面进行了真空镀金处理。

2 结果与讨论

2.1 空白实验

将苧麻纤维(RF)按 15 份/每百份树脂的用量直接添加到 LDPE 树脂中制备复合材料并测试力学性能,结果见表 1,以此作为空白实验数据,方便对比。

表 1 LDPE/RF(100/15)复合材料的力学性能

复合材料组成	冲击强度/ (kJ·m ⁻²)	拉伸强度/ MPa	拉伸模量/ MPa	断裂伸 长率/%
LDPE/RF(100/15)	13.08	7.29	103.49	23.52

2.2 纤维混杂方式对复合材料力学性能的影响

在苧麻纤维(RF)用量为 10 份、短切碳纤维(SCF)用量为 5 份的前提下,分别采用 4 种纤维混杂方式制备 LDPE/RF/SCF 复合材料,力学性能见表 2。其中混杂方式 2—4 均需要先将 RF 与 1/2 用

量的 LDPE 经双辊塑炼获得 RF/LDPE 片料,并将 SCF 与剩余 1/2 用量的 LDPE 经双辊塑炼获得 SCF/LDPE 片料。

混杂方式 1:将 RF、SCF 先经高速混合机初混后,再与 LDPE 经双辊塑炼后热压成型。

混杂方式 2:将 RF/LDPE 片料(片料 I)与 SCF/LDPE 片料(片料 II)按“片料 I-片料 II-片料 I”的顺序叠合形成夹芯结构然后热压成型。

混杂方式 3:将 RF/LDPE 片料(片料 I)与 SCF/LDPE 片料(片料 II)按“片料 II-片料 I-片料 II”的顺序叠合形成夹芯结构然后热压成型。

混杂方式 4:将 RF/LDPE 片料、SCF/LDPE 片料分别裁剪为宽 10mm 的长条,在同一平面中交替铺陈,层层叠合后热压成型。

表 2 纤维混杂方式对 LDPE/RF/CF(100/10/5)

复合材料力学性能的影响

混杂方式	冲击强度/ (kJ·m ⁻²)	拉伸强度/ MPa	拉伸模量/ MPa	断裂伸长率/ %
混杂方式 1	18.37	9.43	111.33	35.54
混杂方式 2	17.89	9.56	99.29	42.86
混杂方式 3	23.33	10.89	164.54	23.80
混杂方式 4	18.12	8.82	107.35	21.50

对比表 1、表 2 可知,在纤维总量相同的情况下,无论采用何种混杂方式,LDPE/RF/SCF(100/10/5)复合材料的冲击强度、拉伸强度均明显优于 LDPE/RF(100/15)复合材料。其中采用混杂方式 3 制备的 LDPE/RF/SCF(100/10/5)复合材料,其冲击强度较 LDPE/RF(100/15)复合材料提高了 78%,拉伸强度较 LDPE/RF(100/15)复合材料提高了 49%。由此可见,将麻纤维与短切碳纤混杂制备聚合物复合材料,能在一定程度上改善复合材料的性能。此外,以 SCF/LDPE 为表层,RF/LDPE 为芯层的夹芯结构更有利于提高复合材料的力学性能。故后续实验采用混杂方式 3 开展进一步研究。

2.3 马来酸酐接枝物对复合材料力学性能的影响

研究表明^[6-9],在聚合物基纤维增强复合材料中添加马来酸酐接枝聚合物,往往可以改善纤维/树脂的界面粘结,从而进一步提高复合材料的力学性能。为此,在 LDPE/RF/CF(100/10/5)复合体系中按照不同方式分别添加 1 份、3 份和 5 份的马来酸酐接枝线性低密度聚乙烯(LLDPE-g-MAH),所制复合材料的力学性能见表 3。

表 3 马来酸酐接枝物用量对 LDPE/RF/CF(100/10/5)
复合材料力学性能的影响

接枝物 用量/ 份	接枝物 添加方式	冲击 强度/ ($\text{kJ} \cdot \text{m}^{-2}$)	拉伸 强度/ MPa	拉伸弹 性模量/ MPa	断裂 伸长 率/%
0	—	23.33	10.89	164.54	23.80
1	只添加于芯层	20.58	10.20	174.80	105.03
1	只添加于表层	23.03	9.17	161.28	23.46
1	表、芯层各加 0.5 份	20.20	10.08	136.83	62.29
3	只添加于芯层	20.34	10.20	164.69	89.11
3	只添加于表层	25.17	10.19	150.32	57.23
3	表、芯层各加 1.5 份	20.75	10.34	161.31	78.02
5	只添加于芯层	16.09	11.01	116.22	72.83
5	只添加于表层	21.70	8.72	146.59	22.11
5	表、芯层各加 2.5 份	20.03	10.54	145.75	80.04

由表 3 可知,总体看来,在 LDPE/RF/CF(100/10/5)复合体系中添加马来酸酐接枝物,可以在一定程度提高材料的冲击强度,当马来酸酐接枝物用量为 3 份且仅添加于复合材料表层时,复合材料的冲击强度达到 25.17 kJ/m^2 ,较添加前提高了 8%。复合体系中添加马来酸酐接枝物后,复合材料的拉伸强度提高幅度不大,拉伸强度最佳值为 11.01 MPa 。由此可见添加马来酸酐接枝物,对改善 LDPE/RF/CF 复合材料的冲击强度比改善拉伸强度更有效。

2.4 SEM 分析

图 2 为添加马来酸酐接枝物前后 LDPE/RF/CF(100/10/5)复合材料的 SEM 图(SCF 在表层、RF 在芯层)。由图 2(a)可见,夹芯结构复合材料断面存在较多微米级孔洞,究其原因,应为碳纤维受外力作用而从 LDPE 树脂中拔出造成,说明碳纤维与

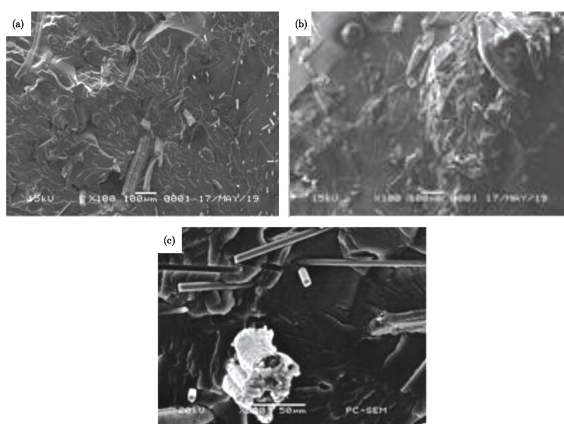


图 2 添加马来酸酐接枝物前后 LDPE/RF/CF
(100/10/5)复合材料的 SEM 图

[(a)添加前,断面 SEM;(b)添加后,断面($\times 100$);
(c)添加后,断面($\times 500$)]

基体结合不够紧密。此外,复合材料中的麻纤维与基体界面结合较差,纤维与基体界面区域存在明显间隙;甚至可以观察到部分麻纤维从基体中剥离脱落留下的痕迹。

由图 2(b)可见,添加马来酸酐接枝物后 LDPE/RF/CF(100/10/5)复合材料中碳纤维脱落导致的断面孔洞明显少于添加前,说明添加马来酸酐接枝物后碳纤维与基体的界面结合有一定程度的提高。由图 2(c)可见,LDPE/RF/CF(100/10/5)复合材料中的麻纤维在外力作用下较少从基体剥落,而多呈现折断状态,说明添加马来酸酐接枝物后,麻纤维与基体的界面结合有一定改善。由于麻纤维、碳纤维与基体界面结合均有不同程度的提高,使复合材料的力学性能得以提升。

3 结论

(1)无论采用何种纤维混杂方式,LDPE/RF/SCF(100/10/5)复合材料的冲击强度、拉伸强度均明显优于 LDPE/RF(100/15)复合材料。

(2)以 SCF/LDPE 为表层,RF/LDPE 为芯层的夹芯结构更有利于提高复合材料的拉伸强度,具有这种夹芯结构的 LDPE/RF/SCF(100/10/5)复合材料的拉伸强度较 LDPE/RF(100/15)复合材料提高了 49%,冲击强度提高了 78%。

(3)具有夹芯结构的 LDPE/RF/CF(100/10/5)复合材料中添加 3 份马来酸酐接枝物(仅添加于复合材料表层)时,复合材料的冲击强度达到最佳值 25.17 kJ/m^2 ,较添加前提高了 8%。体系中添加马来酸酐接枝物,对复合材料拉伸强度提高幅度不大,最佳拉伸强度最为 11.01 MPa 。可见体系中添加马来酸酐接枝物,对改善复合材料冲击强度更有效。

(4)SEM 结果显示添加马来酸酐接枝物后,麻纤维、碳纤维与基体界面结合增强,从而使复合材料性能得以改善。

[致谢:实验工作由本校高分子材料与工程专业毕业生谭伟文、王昱霏和马文鑫同学协助完成,特表示感谢。]

参考文献

- [1] Omrani E, Menezes L, Rohatgi P K. State of the art on tribological behavior of polymer matrix composites reinforced with natural fibers in the green materials world[J]. Engineering Science and Technology, an International Journal, 2016, 19 (2): 717-736.

(下转第 78 页)