

# Study on Properties of Glass Fiber Modified PET Using Acrylic Acid Graft Compatibilizer

Huan Liu, Haoyu Wen, Longlong Zeng

Yibin Plastic Packing Materials Co., Ltd., Yibin Sichuan  
Email: 270727107@qq.com

Received: July 7<sup>th</sup>, 2019; accepted: July 22<sup>nd</sup>, 2019; published: July 29<sup>th</sup>, 2019

---

## Abstract

Through adding the Acrylic graft compatibilizer into the system of polyethylene terephthalate (PET) and glass fiber (short), the composite was obtained by twin-screw extruder. Test shows: With the increase of compatibilizer, the Tg, Tc and Tm of composites are gradually reduced, the tensile strength is reduced too. The elongation at break is gradually increased but much lower than pure in PET materials, the impact strength is increased with the increase of compatibilizer, and the hardness is decreased. But all of them are better than the properties of pure PET materials. In practical applications, the appropriate proportion of compatibilizer should be selected according to the actual situation, thus properties of composite materials could be assured to meet the requirements of specific occasions.

## Keywords

Polyethylene Terephthalate, Glass Fibre (Short), Acrylic Acid Graft Compatibilizer, Reinforcement Modification

---

# 丙烯酸接枝相容剂用于玻纤增强PET复合材料的性能研究

刘欢, 温浩宇, 曾龙龙

四川省宜宾普拉斯包装材料有限公司, 四川 宜宾  
Email: 270727107@qq.com

收稿日期: 2019年7月7日; 录用日期: 2019年7月22日; 发布日期: 2019年7月29日

## 摘要

通过向聚对苯二甲酸乙二醇酯(PET)和玻璃纤维(短)的混合体系中加入一定量的丙烯酸接枝相容剂,经过双螺杆造粒得到玻纤增强PET复合材料,经测试表明:随着相容剂含量的增加,玻纤增强PET复合材料的玻璃化转变温度、冷结晶温度和熔融温度均逐渐降低,拉伸强度逐渐降低,断裂伸长率逐渐升高但远低于纯PET材料;冲击强度随着相容剂含量增加而增加,复合材料硬度随相容剂含量增加而降低,但均高于纯PET材料。在应用过程中,应根据实际情况选择合适的相容剂添加比例,调节复合材料性能,满足特定场合使用要求。

## 关键词

聚对苯二甲酸乙二醇酯, 短玻璃纤维, 丙烯酸接枝相容剂, 增强改性

Copyright © 2019 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

聚对苯二甲酸乙二醇酯,简称PET,是一种无毒无害、可与食品直接接触的材料[1],其具有优异力学性能、耐化学药品性能、电绝缘性、耐候性等综合性能[2],广泛应用于汽车、电器、包装等行业。但是作为一种工程塑料,其物理性能在一定程度上甚至低于ABS等材料,并且存在结晶速度慢、尺寸收缩率大、制品冲击强度低等缺点,不能满足某些特殊使用场合[3]。

玻纤增强PET复合材料,是一种通过在PET添加玻璃纤维(以下简称“玻纤”)而对其进行增强改性后得到的材料,其具有高强度、高抗冲性等特点,可极大地扩宽PET材料的应用范围。本文主要使用丙烯酸接枝相容剂,采用共混改性方法制备的玻纤增强PET复合材料,并对其性能进行了研究。

## 2. 实验材料及方法

### 1、实验材料

制备玻纤增强PET复合材料的原料如表1所示。

Table 1. Materials

表 1. 实验用材料信息

原料名称	备注
聚对苯二甲酸乙二醇酯(PET)	宜宾普什牌号: WP-66151
玻璃纤维(短)	/
丙烯酸接枝相容剂	/

### 2、实验配方及比例

PET树脂的力学性能一般随着玻纤用量的增加而明显提高,但玻纤质量分数达到30%时,性能提高趋于平缓[4]。实验中选择玻纤质量分数为30%,将PET、玻璃纤维(短)及丙烯酸接枝相容剂(简称“相容剂”)按一定比例混合均匀后造粒,实验配方及比例见表2。

**Table 2.** Composition of the glass fiber modified PET  
**表 2.** 实验配方表

样品编号	PET	玻纤(短)	相容剂
M0	100	0	0
M1	70	30	0
M2	67	30	3
M3	64	30	6
M4	61	30	9
M5	58	30	12
M6	55	30	15

### 3、主要实验设备

本实验所用的主要设备信息如表 3 所示。

**Table 3.** Important Equipments  
**表 3.** 实验主要设备表

设备名称	型号	生产厂家
塑料混合机	SSB-50	东莞市艳翔机械设备有限公司
同向双螺杆挤出机	HPL27/40	成都先锋塑胶装备有限公司
注塑机	MI1600/540	海天塑机有限公司
差热扫描量热仪(DSC)	DSC214	德国耐驰公司
万能试验机	XLD-10L	承德金建公司
摆锤冲击实验机	XJC-10	承德金建公司
邵氏硬度计	GS-709G Type D	TECLOCK Corporation

### 4、玻纤增强 PET 复合材料的制备及样品制备

将 PET 树脂在 160℃ 烘干 4 小时后,与玻纤(短)、丙烯酸接枝相容剂按照一定比例混合均匀,再在同向双螺杆挤出机(SSB-50)中熔融挤出,经冷却、切粒后,得到粒状玻纤增强 PET 复合材料。挤出温度为 265℃~280℃,机头温度为 275℃,切粒长度 4 mm。

将玻纤增强 PET 复合材料在 130℃ 烘干 4 小时后,采用注塑机(MI1600/540)制成样条。注塑温度 275℃。在相同条件下,通过注塑机(MI1600/540)采用纯 PET 原料制备对比样条(M0)。

## 3. 实验结果及分析

### 1、热性能

纯 PET 材料和 30%玻纤含量 PET 复合材料 DSC 测试数据如表 4 所示。

**Table 4.** The DSC test results of glass fiber reinforced PET composites  
**表 4.** 玻纤增强 PET 复合材料 DSC 测试结果

样品	Tg/℃	Tc/℃	Tm/℃
M0	74.4	128.3	252.1
M1	72.4	124.8	254.5

注: Tg——玻璃化转变温度; Tc——冷结晶峰温度; Tm——熔融峰温度。

由表 4 中可以看出, 向纯 PET 中加入一定量(30%)的玻纤(短)后,  $T_g$  和  $T_c$  均有所降低, 经过分析, 纯 PET 样条在制备前无需造粒, 而玻纤复合材料是通过双螺杆造粒机得到的, 挤出过程中, 由于热与剪切的双重作用, 使 PET 分子链发生断裂, 导致粘度下降, 从而引起  $T_g$  和  $T_c$  降低; 玻纤的加入, 由于异相成核作用以及玻纤和树脂间因热收缩性质不同而产生的界面应力对其周围基体树脂的结晶产生应变诱导作用等, 都会促进 PET 材料的结晶[5] [6] [7], 表现出  $T_m$  升高, 虽然粘度降会对  $T_m$  产生一定影响, 但从结果看, 加玻纤后的复合材料  $T_m$  仍高于对比样纯 PET 的  $T_m$ 。

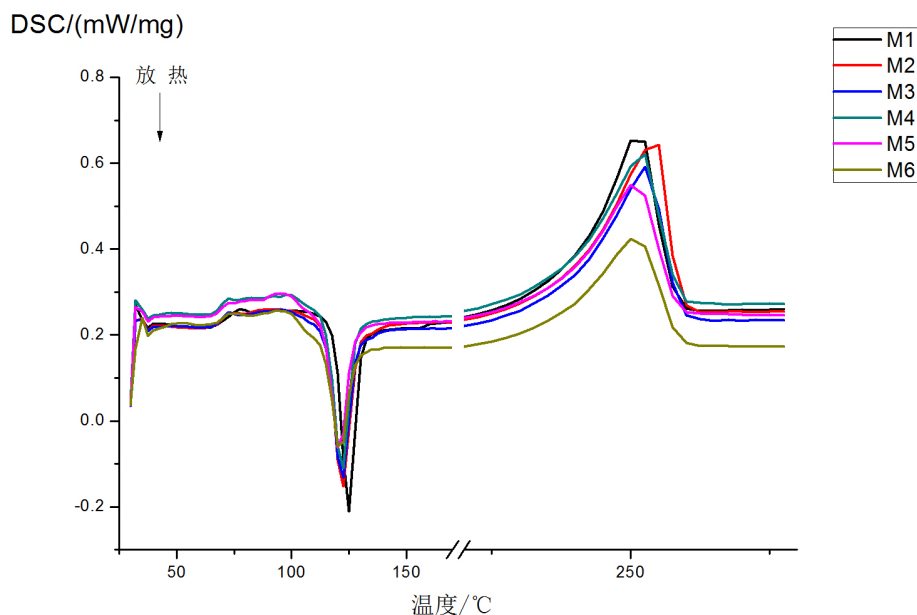
向复合材料中加入相容剂后, 不同相容剂含量下玻纤增强 PET 材料的 DSC 测试数据如表 5 所示, 曲线图如图 1 所示。

从图中可以看出, 随着相容剂含量的增加, 改性材料的  $T_g$  逐渐降低, 这是由于在玻纤含量(质量分数)一定的情况下, 相容剂的加入使 PET 分子链间的作用力减小, 分子链更容易活动, 从而表现出玻璃态转变温度  $T_g$  降低, 同时也表现出熔融温度  $T_m$  降低。

同时, 加入相容剂后 M2 的冷结晶温度比 M1 有所降低, 说明相容剂的加入改善了 PET 与玻纤的界面相容性, 降低了界面应力对周围基体树脂的诱导结晶作用, 故带来冷结晶温度  $T_c$  降低。但从 M2-M6 看出  $T_c$  变化不大, 说明, 在添加比例 3% 前, 因添加相容剂而导致的结晶改变已达到极限。

**Table 5.** The DSC test results of glass fiber reinforced PET material with different compatibilizer contents  
**表 5.** 不同相容剂含量下玻纤增强 PET 材料 DSC 测试结果

样品	$T_g/^\circ\text{C}$	$T_c/^\circ\text{C}$	$T_m/^\circ\text{C}$
M1	72.4	124.8	254.5
M2	69.6	121.9	252.6
M3	69.7	121.8	252.7
M4	68.8	121.9	252.3
M5	69.5	120.7	250.9
M6	68.8	121.1	250.8

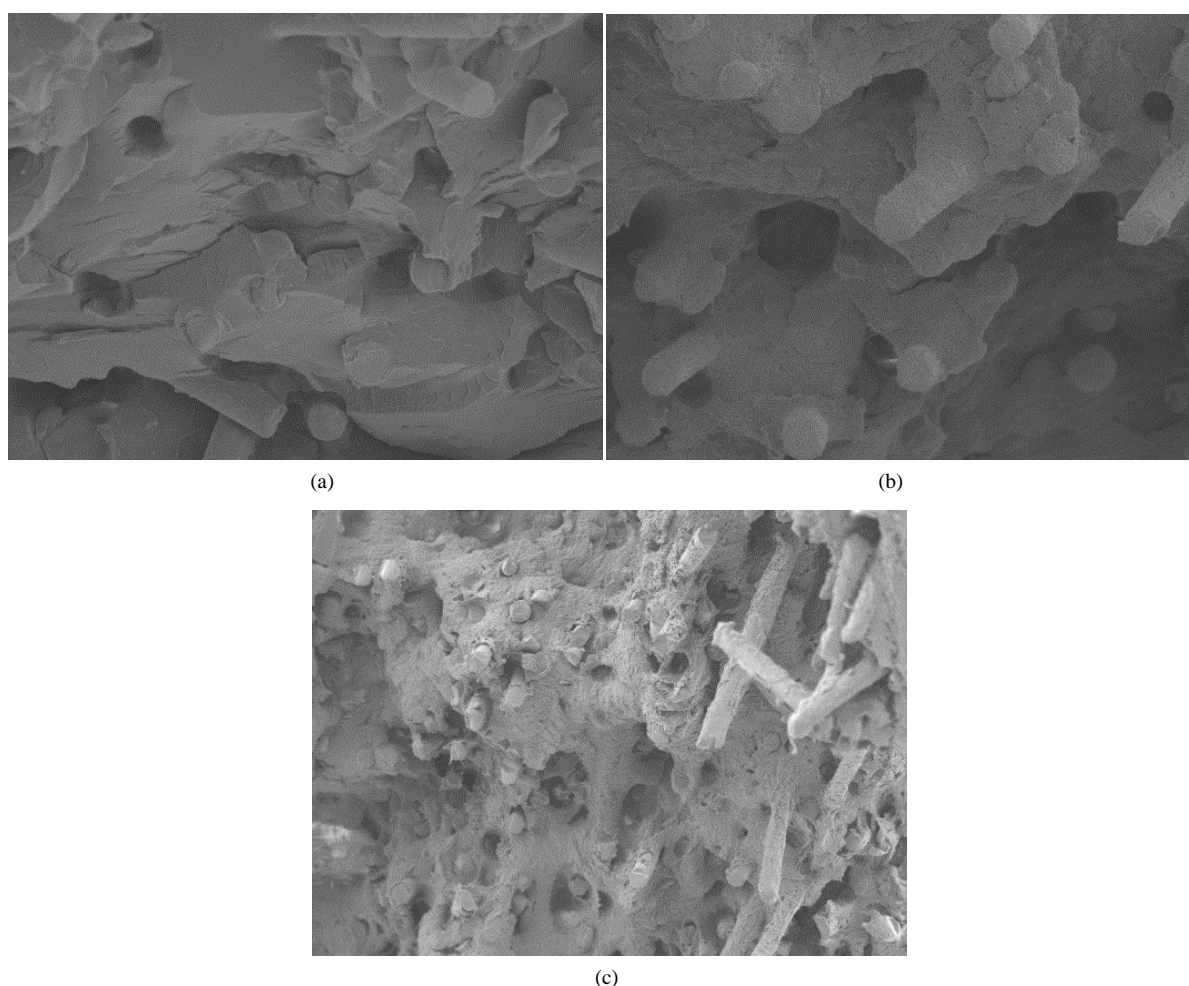


**Figure 1.** The DSC curves of glass fiber reinforced PET material with different compatibilizer contents

**图 1.** 不同相容剂含量下玻纤增强 PET 材料的 DSC 曲线图

## 2、SEM 分析

图 2 是玻纤增强 PET 复合材料制备的样条冲击断口的 SEM 照片。



**Figure 2.** The SEM photographs of impact section of the glass fiber reinforced PET composites (a) 0% compatibilizer in glass fiber reinforced PET composite (b) 3% compatibilizer in glass fiber reinforced PET composite and (c) 9% compatibilizer in glass fiber reinforced PET composite

**图 2.** 玻纤增强 PET 复合材料制备的样条冲击断口的 SEM 照片(a) 0%相容剂玻纤增强 PET 复合材料(b) 3%相容剂玻纤增强 PET 复合材料(c) 9%相容剂玻纤增强 PET 复合材料

从(a)可以看出, 没有添加相容剂的玻纤增强 PET 复合材料断口成明显的解理断裂面形貌, 属于脆性断裂, 断面光滑、能观察到较为明显的冲击后留下的裂纹, 同时断面存在许多玻纤脱落留下的孔洞, 且断面上的玻纤表面较为干净, 反映出 PET 和玻纤粘接并不好。从图(b)可以看出断面上的玻纤表面已有一层 PET, 说明相容剂改善了 PET 与玻纤的结合, 断口形貌呈现出由脆性断裂向韧性断裂转变。从图(c)可以看出, 随着相容剂含量的增加, 断面处孔洞进一步减少, PET 和玻纤的结合性能进一步增强, 已观察不到断面存在因冲击而产生的裂纹。

## 3、机械性能

玻璃纤维在复合材料中起着骨架的作用, 当玻纤含量(质量分数)一定时, 相容剂的含量影响着复合材料的性能。不同配方的玻纤增强 PET 复合材料力学性能见表 6。

从表 5 可以看出, 向纯 PET 中添加一定量的玻纤(短)后, 比起纯 PET 来拉伸强度和冲击强度均出现

较大增加,这是因为玻纤的加入一方面结晶过程容易在界面处发生,提高了PET的结晶速率,界面把纤维和基体粘成一个整体并将外加应力从基体传递给增强玻璃纤维,使玻璃纤维的强度和模量得到充分发挥,复合材料拉伸时,玻纤从PET中抽出,充分提高了材料承受载荷的能力,表现出拉伸强度升高;加入玻纤后,复合材料的断裂伸长率从501.2%下降到15.3%,下降幅度大,是因为复合材料中PET基材与玻纤的界面存在缺陷,在受拉伸应力时,PET基材会产生裂纹并迅速扩大,导致复合材料发生“脆断”,即断裂伸长率大幅降低;同时,简支梁缺口冲击实验中,由于受到冲击时也会产生裂纹并扩散,并伴随着裂纹导致的应力集中作用,使材料的冲击强度比纯PET材料更低。

**Table 6.** The mechanical properties of glass fiber reinforced PET composites

**表 6.** 不同配方的玻纤增强 PET 复合材料力学性能

配方编号	拉伸强度/MPa	断裂伸长率/%	简支梁缺口冲击强度/KJ·m <sup>-2</sup>
M0	60.1	501.2	7.62
M1	95.4	15.3	5.81
M2	89.5	16.4	11.12
M3	84.5	17.1	12.90
M4	84.1	19.3	13.80
M5	76.8	20.2	18.47
M6	73.3	21.0	21.71

在配方中引入相容剂后,相容剂使复合材料分子间的间隙增大,分子间运动更加容易,导致玻纤增强PET复合材料的拉伸强度逐渐降低。但是由于相容剂的加入,改善了复合材料中PET和玻纤两项界面的性能[8][9],增加了界面黏接力,使其更加有机的结合起来,在拉伸和冲击过程中,可有效阻止裂纹的产生及扩散,从而表现出断裂伸长率增加、冲击强度增大。从实验结果可看出,随着相容剂含量的增加,复合材料的拉伸强度进一步降低、断裂伸长率进一步升高。从前面的DSC实验结果看,虽然相容剂有一定的诱导结晶作用,但比例低于3%时,诱导结晶效果已达饱和,过高的比例会导致PET结晶度降低,也是复合材料物理性能发生上述变化的一个原因。

从表6也可以看出,不加相容剂的复合材料拉伸强度虽然最高,但是冲击强度甚至低于纯PET材料。相容剂的加入,虽然导致拉伸强度有所降低,但会使冲击强度大幅增加,在相容剂添加比例为3%时,冲击强度上升约91%,拉伸强度只下降约6%;在实际使用过程中,应根据实际情况选择合适的相容剂添加比例,调节复合材料性能,满足特定场合使用要求。

玻纤增强PET复合材料的拉伸强度和冲击强度均大幅高于纯PET材料,具有高强度、高抗冲性能。

同时,我们测试了不同配方的玻纤增强PET复合材料的邵氏硬度(Shore D),详细信息见表7。

**Table 7.** The hardness of glass fiber reinforced PET composites with different formulas

**表 7.** 不同配方的玻纤增强 PET 复合材料的硬度性能

配方编号	M0	M1	M2	M3	M4	M5	M6
邵氏硬度 (Shore D)	61.5	79	76	75	74	72	71

从表6中看出,在向纯PET原料中加入一定量的玻纤后,材料的硬度会出现较大幅度的升高;随着相容剂的加入,复合材料的硬度逐渐降低,材料逐渐变软,也从侧面印证相容剂的加入,使PET分子间作用力减小。

## 4. 结论

- 1、随着相容剂含量的增加, 玻纤增强 PET 复合材料的  $T_g$ 、 $T_c$  和  $T_m$  均逐渐降低;
- 2、随着相容剂含量的增加, 玻纤增强 PET 复合材料的拉伸强度逐渐降低, 但均高于纯 PET 材料, 具有较高拉伸强度; 断裂伸长率逐渐增加, 但均远远低于纯 PET 材料;
- 3、在不添加相容剂时, 玻纤增强 PET 复合材料的冲击强度低于纯 PET 材料, 随着相容剂的加入, 玻纤增强 PET 复合材料的冲击强度大幅提高, 并随着相容剂含量的增加而增大, 具有高抗冲性;
- 4、玻纤增强 PET 复合材料的硬度比纯 PET 材料更高; 但随着相容剂含量的不断提升, 复合材料的硬度反而逐渐下降, 但均高于纯 PET 材料。
- 5、在应用过程中, 应根据实际情况选择合适的相容剂添加比例, 调节复合材料性能, 满足特定场合使用要求。

## 参考文献

- [1] 刘俊松, 邓怀京. 浅谈 PET 瓶食品包装的循环再用[J]. 包装与食品机械, 1997(2): 25-26.
- [2] 陈俊, 宋波, 袁绍彦, 等. PET/POE-g-MAH 的性能研究[J]. 中国塑料, 2004(3): 20-22.
- [3] 王晓艳, 严海彪, 胡小明, 等. PET 增韧改性研究进展[J]. 塑料科技, 2009, 37(11): 87-91.
- [4] 刘学习, 庄辉, 程勇峰, 程振民, 戴干策. 长玻纤增强 PET 工程塑料的性能研究[J]. 塑料工业, 2006, 34(12): 26-28.
- [5] 安军, 刘佑习. 玻璃纤维增强 PET 工程塑料性能及界面研究[J]. 高分子材料科学与工程, 1996(5): 83-88.
- [6] Yokoshima, T. and Kitamura, T. (1997) Reinforced Flame-Retarded Polyester resin Compositions: EP.
- [7] 裴运同, 杨军忠, 李德文, 陈灵文. 增强阻燃 PET 工程塑料的研究[J]. 中国塑料, 2003, 17(1): 58-62.
- [8] 刘士君. 相容剂的作用原理与合成[J]. 内蒙古石油化工, 2010, 36(8): 81.
- [9] 杜新胜, 彭仁苹, 徐惠俭, 等. 嵌段及接枝共聚物相容剂的研究与应用进展[J]. 塑料助剂, 2015(2): 11-14.

### 知网检索的两种方式:

1. 打开知网首页: <http://cnki.net/>, 点击页面中“外文资源总库 CNKI SCHOLAR”, 跳转至: <http://scholar.cnki.net/new>, 搜索框内直接输入文章标题, 即可查询; 或点击“高级检索”, 下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2160-7613, 即可查询。
2. 通过知网首页 <http://cnki.net/> 顶部“旧版入口”进入知网旧版: <http://www.cnki.net/old/>, 左侧选择“国际文献总库”进入, 搜索框直接输入文章标题, 即可查询。

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: [ms@hanspub.org](mailto:ms@hanspub.org)