

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2021.06.006

基于滤板应用的玻璃纤维增强聚丙烯复合材料

王文超¹, 王艳芝¹, 张振利², 张居亮², 魏冰²

(1. 中原工学院纺织学院, 郑州 451191; 2. 河南大张过滤设备有限公司, 河南许昌 461672)

摘要: 针对聚丙烯 (PP) 滤板生产和应用过程中出现的应力开裂问题, 展开玻璃纤维 (GF) 增强 PP (GFRP) 复合材料的制备及性能研究。以均聚 PP (hPP) 和共聚 PP (cPP) 为基体, 通过添加 GFRP 母粒, 采用熔融共混挤出的方法制备 GFRP 复合材料, 考察了不同基体及 GF 含量变化对复合材料力学性能、结晶性能和耐溶剂性的影响。结果表明, GF 能够提高所有 PP 复合材料的拉伸强度和拉伸弹性模量, 但降低了断裂伸长率; GF 还能够提高 hPP 的冲击强度, 但会降低 cPP 的冲击强度; 随着 GF 含量增加, hPP 和 cPP 等比例混合基体的复合材料的力学性能接近两种基体的复合材料性能平均值; 添加适量的 GF 还可提高 PP 的结晶度和耐溶剂性; 滤板中 GF 质量分数不低于 8% 时综合性能较好。

关键词: 聚丙烯; 玻璃纤维; 滤板; 力学性能; 结晶性能; 耐溶剂性

中图分类号: TQ325.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2021)06-0031-06

Glass Fiber Reinforced Polypropylene Composite based on Application of Filter Plate

Wang Wenchao¹, Wang Yanzhi¹, Zhang Zhenli², Zhang Juliang², Wei Bing²

(1. School of Textile, Zhongyuan University of Technology, Zhengzhou 451191, China;

2. Henan Dazhang Filtration Equipment Co. Ltd., Xuchang 461672, China)

Abstract: The preparation and properties of glass fiber (GF) reinforced polypropylene (PP) (GFRP) composites were studied in view of the stress cracking problems in the production and application of PP filter plates. The GFRP composite was prepared by melt blending extrusion with homo-polypropylene (hPP) and co-polypropylene (cPP) as raw materials. The effects of different matrix and GF content on the mechanical properties, crystallization properties and solvent resistance of composites were studied. The results show that the addition of GF can improve the tensile strength and modulus, and reduce the total elongation under maximum force for all composite specimens. Experimental data also reveals that GF can also improve the impact strength of hPP based composite, but reduce that of cPP based composite. With the increase of GF content, the mechanical properties of the composites with the same proportion of hPP and cPP are closer to the average value of hPP/GF and cPP/GF. Test data also show that crystallinity and swelling resistance of PP increase in appropriate GF content. On the other hand, when GF content in the filter plate is not less than 8%, the comprehensive performance is better.

Keywords: polypropylene; glass fiber; filter plate; mechanical property; crystallization property; solvent resistance

聚丙烯 (PP) 具有成本低、综合性能优良和易于加工等优点, 被广泛应用于纺织、家电、包装及汽车等民用领域^[1-2]。为了满足 PP 在工程领域的应用, 近年来常使用玻璃纤维 (GF) 增强 PP 制成复合材料, 以改善 PP 的力学强度和耐热性等性能^[3]。GF 在复合材料中起着增强骨架的作用, 能够有效地承

担载荷, 从而显著提高 PP 的力学性能^[4-5]。

滤板是压滤机过滤的核心部件, 现多采用 GF 增强 PP (GFRP) 复合材料制作, 具有质量轻、成本低等优势, 但在生产和应用过程中经常会出现应力开裂的问题, 难以满足过滤行业日渐苛刻的实际生产需要^[6]。

基金项目: 2021 年度河南省高等学校重点科研项目 (21A430047)

通信作者: 王艳芝, 教授, 主要研究方向为纤维复合材料和非织造材料

收稿日期: 2021-03-16

引用格式: 王文超, 王艳芝, 张振利, 等. 基于滤板应用的玻璃纤维增强聚丙烯复合材料 [J]. 工程塑料应用, 2021, 49(6): 31-36.

Wang Wenchao, Wang Yanzhi, Zhang Zhenli, et al. Glass fiber reinforced polypropylene composite based on application of filter plate[J]. Engineering Plastics Application, 2021, 49(6): 31-36.

笔者针对某压滤机企业的生产实际,要求滤板实现刚韧平衡且具有较好的耐溶剂性,选择均聚 PP (hPP) 和共聚 PP (cPP) 为基体,研究了 GF 含量对复合材料力学性能及结晶性能的影响。

1 实验部分

1.1 主要原料

hPP: T30s, 中国石油化工股份有限公司北京燕山分公司;

cPP: K8303, 中国石油天然气股份有限公司;

GFRP 母粒: GFRP-M, 吴桥志鸿塑料制品制造有限公司;

其它助剂: 市售。

1.2 设备及仪器

高速混合机: SHR-25A 型, 张家港市鑫源机械制造有限公司;

注塑机: SY300-I 型, 宁波市鄞州新兴地质冶金机械有限公司;

万能制样机: WZY-240 型, 承德金和仪器制造有限公司;

万能试验机: Y6026R 型, 武汉国量仪器有限公司;

冲击测试仪: XJJ-5 型, 承德市大加仪器有限公司;

差示扫描量热 (DSC) 仪: DSC-25 型, 美国 TA 仪器公司。

1.3 试样制备

将 PP 与 GFRP-M 及其它助剂按比例在高速混合机中混合均匀, 然后用注塑机注塑成标准试样, 注塑机三段温度依次为 220, 230, 190 °C, 注射压力 4 MPa。其中基体 PP 采用 hPP, cPP 及二者等比例混合物三种方式。

1.4 性能测试

拉伸性能按 GB/T 1040.2-2006 测定, 拉伸速率 50 mm/min, 夹距 100 mm; 简支梁缺口冲击强度按 GB/T 1843-2008 测定, A 型缺口。

耐溶剂性按 GB/T 11547-2008 测定, 甲苯溶液水浴恒温 70 °C, 浸泡 6 h, 清洗干燥后称重, 记录样条浸泡前后质量。

DSC 测试: 在氮气气氛下, 将约 5 mg 试样装入铝坩埚内, 升温至 200 °C 并保持 5 min 以消除热历史, 然后降至 30 °C, 恒温 5 min, 最后再升温至 200 °C, 升降温速率均为 10 °C/min, 记录相应的曲线, 并计算相对结晶度^[7]。

2 结果与讨论

2.1 GF 含量对复合材料力学性能的影响

(1) 拉伸强度。

图 1 为不同 GF 含量 GFRP 复合材料的拉伸强度。从图 1 可以看出, 随着 GF 含量增加, 复合材料的拉伸强度均明显提高。当 GF 质量分数增加到 16% 时, 复合材料的拉伸强度比纯 PP 提高 1 倍左右。这主要由于高强度的 GF 在复合材料中起增强作用, GF 含量的增加使之逐渐交织形成三维网络结构, 成为复合材料的承载骨架。

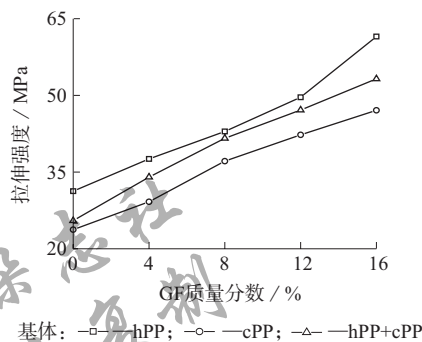


图1 不同 GF 含量 GFRP 复合材料的拉伸强度

从图 1 还可看出, 在 GF 含量相同情况下, PP 基体不同, GFRP 复合材料的拉伸强度存在明显差异, hPP 为基体的 GFRP 的拉伸强度最大, 其次是 hPP 和 cPP 等比例混合基体的 GFRP, 而 cPP 为基体的 GFRP 的拉伸强度最小。GF 质量分数为 16% 时, hPP 和 cPP 等比例混合基体的 GFRP 的拉伸强度为 53.2 MPa, 接近 hPP 为基体的 GFRP 与 cPP 为基体的 GFRP 的拉伸强度平均值 54.3 MPa。因为相较 cPP, hPP 的分子间作用力更大, 使基体能够承受更大的载荷, 其规整的分子结构还使聚集体具有较高结晶度, 可以更好地向纤维传递应力。另一方面, hPP 的熔体流动速率更高, 对 GF 浸润包覆得更好且 GF 保留长度更长, GF 增强效果也就更好^[8]。

(2) 拉伸弹性模量。

图 2 为不同 GF 含量 GFRP 复合材料的拉伸弹性模量。由图 2 可以看出, 随着 GF 含量增加, 复合材料的拉伸弹性模量均明显提高。当 GF 质量分数增加到 16% 时, hPP 和 cPP 为基体的 GFRP 的拉伸弹性模量分别达到 5.77 MPa 和 4.19 MPa, 其中 hPP 为基体的 GFRP 与纯 PP 相比提高了 193%。这是由于随着 GF 含量增加, 在复合材料的任一横截面中都有更多的 GF 来承担负荷^[5], 同时基体形变受到越来越多的 GF 约束, 因而复合材料的拉伸弹

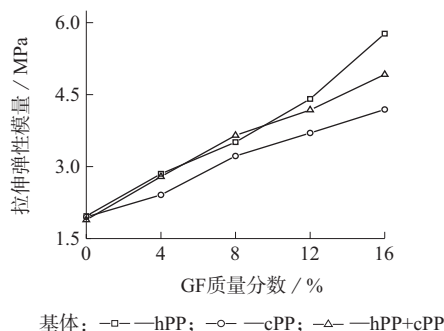


图2 不同GF含量GFRP复合材料的拉伸弹性模量

性模量逐渐递增。而hPP分子链排列更为规整,结晶度高,分子间作用力更大,抵抗变形的能力更强。

(3) 断裂伸长率。

图3为不同GF含量GFRP复合材料的断裂伸长率。由图3可看出,随着GF含量增加,复合材料的断裂伸长率均明显降低。当GF质量分数超过8%时,下降趋势变得缓和;当GF质量分数为16%时,hPP为基体的GFRP的断裂伸长率下降幅度最大,与纯PP相比降低33%,而cPP为基体的GFRP断裂伸长率下降幅度最小,与纯PP相比仅降低8%。这是由于非均相聚合物体系的性质主要取决于其聚集态结构,具有较大长径比的GF是刚性材料,其在应力作用下更容易取向,而形变量十分有限,较小的变形可导致材料抵抗断裂的能力下降,这也是纤维增强复合材料的一个常见弱点^[9]。另外,由于hPP结晶度高,聚集态结构受GF影响更大,而cPP的有序程度较低,聚集态结构受GF影响较小,故cPP为基体的GFRP断裂伸长率下降幅度最小。

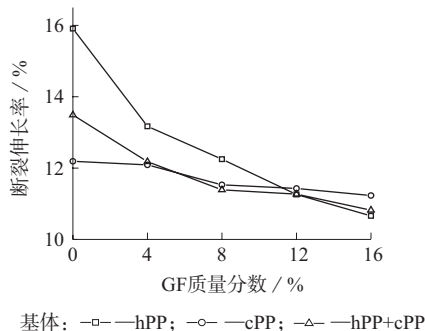


图3 不同GF含量GFRP复合材料的断裂伸长率

(4) 冲击强度。

图4为不同GF含量GFRP复合材料的冲击强度。由图4可知,随着GF含量增加,hPP为基体及hPP和cPP等比例混合基体的GFRP的冲击强度均呈先降低后提高的趋势,变化较小;而cPP为基体

的GFRP的冲击强度则逐渐降低,GF质量分数为4%时,冲击强度比纯PP下降了51%,当GF质量分数超过12%后,冲击强度下降趋势明显放缓。

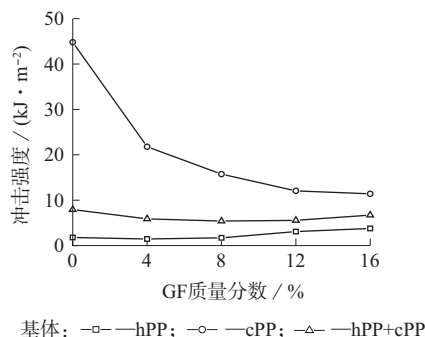


图4 不同GF含量GFRP复合材料的冲击强度

对于hPP及hPP和cPP等比例混合基体的GFRP而言,当GF含量较低时,GF对复合材料起到异相成核作用,使材料晶片厚度降低,晶粒细化;随着GF含量增加,GF在复合材料中相互缠绕,骨架作用加强,当受到外力冲击时,应力得到有效传递和分散,使其能吸收更多的能量,提高冲击强度^[10]。对于cPP为基体的GFRP而言,由于cPP是高抗冲击PP,GF的加入极大地降低了PP分子的自由活动空间,使PP基体的冲击强度急剧下降,远超过GF骨架的应力传递作用。

力学性能测试结果说明,GF能够提高GFRP复合材料的拉伸强度和拉伸弹性模量,但降低了断裂伸长率;GF还能够提高hPP的冲击强度,但会降低cPP的冲击强度。以hPP和cPP等比例混合基体的GFRP为例,当GF质量分数超过8%后,拉伸强度和拉伸弹性模量继续提高,但其断裂伸长率下降趋势减缓,冲击强度由下降转变为上升,这说明某压滤机企业在生产实际中采用4%GF添加量是不太合理的,GFRP复合材料的强度和韧性还有很大提升空间。在相同的GF增强条件下,hPP为基体的GFRP的拉伸强度最高,冲击强度最低;cPP为基体的GFRP的拉伸强度最低,冲击强度最高。从两种PP基体的角度来解释,hPP由单一的丙烯单体聚合而成,分子链中不含乙烯单体,分子链的规整度很高,因此材料的结晶度高,冲击性能较差;cPP由丙烯单体和少量的乙烯单体共聚得到,有较高的冲击强度^[11]。随着GF含量增加,hPP和cPP等比例混合基体GFRP力学性能接近两种基体的GFRP性能平均值,半晶态基体在复合材料中的实际应用有待进一步研究。

2.2 GF 含量对复合材料结晶和熔融行为的影响

(1) hPP 为基体的 GFRP 复合材料。

图 5、图 6 分别是 hPP 为基体的 GFRP 复合材料的结晶和熔融曲线。从图中可以看出,随着 GF 含量增加,结晶峰温度逐渐向高温方向移动,熔融峰温度小幅提高,熔程逐渐减小。

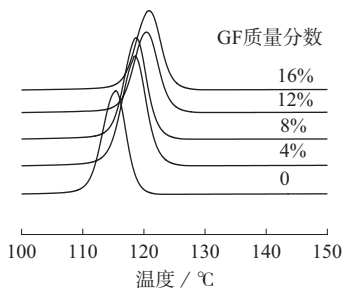


图 5 hPP 为基体的 GFRP 复合材料的 DSC 结晶曲线

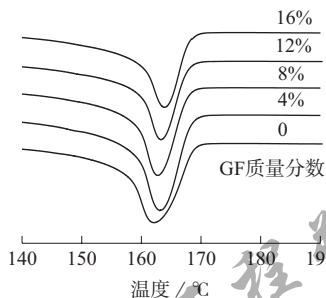


图 6 hPP 为基体的 GFRP 复合材料的 DSC 熔融曲线

表 1 为 hPP 为基体的 GFRP 的 DSC 特征参数。可以看出,随着 GF 含量增加,结晶温度逐渐提高,GF 质量分数为 16% 时, GFRP 的结晶温度较纯 PP 提高了 5.5℃; GF 质量分数为 4% 时, GFRP 的熔融温度较纯 PP 提高了 1.06℃。GFRP 的熔程逐渐减小,证实了 hPP 在较高温度下结晶时,由于链段活动能力强,结晶比较完善,晶粒尺寸比较接近,因此材料在较小的温度范围内全部发生熔融^[12]。此外,随着 GF 含量增加, GFRP 的熔融热焓和结晶度均呈先增大后减小的趋势。这是由于复合体系中少量 GF 可以充当成核剂,促进 hPP 异相成核,提高结晶度^[7]。而当 GF 用量较大时,界面无序区增多,结晶度反而

表 1 PP 为基体的 GFRP 复合材料的 DSC 特征参数¹⁾

GF 质量 分数 / %	$T_c / ^\circ\text{C}$	$T_m / ^\circ\text{C}$	$\Delta T_m / ^\circ\text{C}$	$\Delta H_m / (\text{J} \cdot \text{g}^{-1})$	$X_c / \%$
0	115.36	162.10	12.12	99.14	47.44
4	118.52	163.16	10.23	109.76	54.70
8	118.72	162.75	9.65	94.26	49.02
12	120.43	163.31	8.90	82.31	44.75
16	120.86	163.85	9.22	82.62	47.06

注: 1) T_c 为结晶温度; T_m 为熔融温度; ΔT_m 为熔程; ΔH_m 为熔融热焓; X_c 为结晶度。

降低^[13]。GFRP 的结晶温度提高说明了结晶速率加快,能够缩短滤板成型周期,提高生产效率。

(2) cPP 为基体的 GFRP 复合材料。

图 7、图 8 分别是 cPP 为基体的 GFRP 复合材料的结晶和熔融曲线。从图中可以看出,随着 GF 含量增加,结晶峰温度先向高温方向移动,后趋于稳定,熔融峰温度小幅提高,熔程无明显变化。

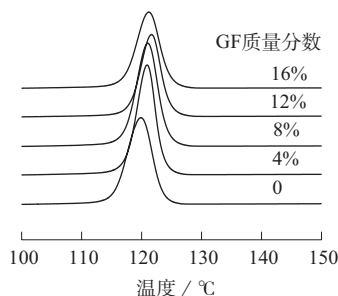


图 7 cPP 为基体的 GFRP 复合材料的 DSC 结晶曲线

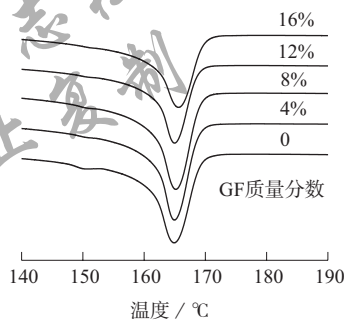


图 8 cPP 为基体的 GFRP 复合材料的 DSC 熔融曲线

表 2 为 cPP 为基体的 GFRP 的 DSC 特征参数。可以看出, GF 质量分数为 4% 时, GFRP 的结晶温度较纯 PP 提高了 1.04℃。随着 GF 含量增加, GFRP 的熔融温度逐渐提高,但提升幅度较小。与 hPP 为基体的 GFRP 相比, cPP 为基体的 GFRP 的特征温度变化更小,说明 GF 对 cPP 的结晶影响较弱,所以 cPP 为基体的 GFRP 的熔程变化规律也不明显。此外,纯 cPP 的 DSC 熔融曲线不仅在 165℃ 附近存在一个 α 晶型的主峰,在 150℃ 附近还存在一个较弱的肩峰,这表明 cPP 内含有 β 晶型^[14],是 cPP 韧性较好的原因之一。添加 GF 后,肩峰逐渐消失, β 晶型转变为 α 晶型。此外,随着 GF 含量

表 2 PP 为基体的 GFRP 复合材料的 DSC 特征参数

GF 质量 分数 / %	$T_c / ^\circ\text{C}$	$T_m / ^\circ\text{C}$	$\Delta T_m / ^\circ\text{C}$	$\Delta H_m / (\text{J} \cdot \text{g}^{-1})$	$X_c / \%$
0	119.89	164.89	8.95	83.86	40.12
4	120.93	164.97	7.78	81.83	40.78
8	121.03	165.16	8.41	89.68	46.64
12	121.12	165.73	8.85	72.10	39.20
16	121.20	165.61	8.96	66.88	38.10

增加, GFRP 的熔融热焓、结晶度均呈先增大后减小的趋势,与 hPP 为基体的 GFRP 变化规律一致。当 GF 质量分数为 8% 时, GFRP 的熔融热焓、结晶度最大,相较于纯 PP 其结晶度提高了 16.3%。

(3) hPP 和 cPP 等比例混合基体的 GFRP 复合材料。

图 9、图 10 分别是 hPP 和 cPP 等比例混合基体的 GFRP 复合材料的结晶和熔融曲线。从图中可以看出,随着 GF 含量增加,结晶峰温度逐渐向高温方向移动,熔融峰温度先小幅提高后趋于稳定,熔程逐渐减小。

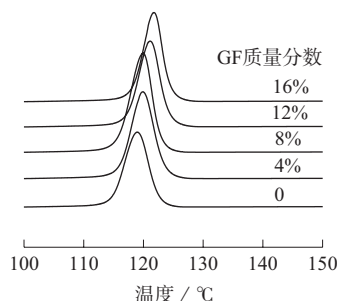


图 9 hPP 和 cPP 等比例混合基体的 GFRP 复合材料的 DSC 结晶曲线

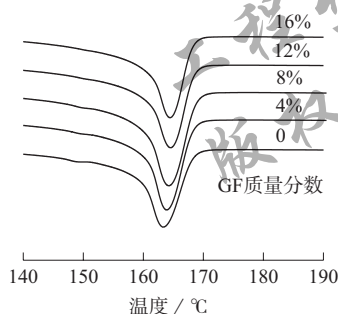


图 10 hPP 和 cPP 等比例混合基体 GFRP 复合材料的 DSC 熔融曲线

表 3 为 hPP 和 cPP 等比例混合基体的 GFRP 的 DSC 特征参数。可以看出,随着 GF 含量增加,结晶温度逐渐提高,GF 质量分数为 16% 时, GFRP 的结晶温度较纯 PP 提高了 2.78℃; GF 质量分数为 4% 时, GFRP 的熔融温度较纯 PP 提高了 0.58℃。值得注意的是,以 hPP, cPP 为基体的 GFRP 的熔融温度范围分别在 162~164℃ 和 164~166℃,而 hPP 和 cPP 等比例混合基体的 GFRP 的熔融温度范围在 163~165℃,接近前两者的平均值。随着 GF 含量增加, GFRP 的熔程逐渐减小,熔融热焓、结晶度均呈先增大后减小的趋势,说明 GF 对 cPP 起到了异相成核作用。当 GF 质量分数为 8% 时, GFRP 的熔融热焓、结晶度最大,相较于纯 PP 其结晶度提高了 34.1%。总之, hPP 和 cPP 等比例混合基体的 GFRP

的 DSC 特征参数接近 hPP, cPP 为基体的平均值,参数变化规律与 hPP 为基体的 GFRP 更接近。

表 3 hPP 和 cPP 等比例混合基体 GFRP 复合材料的 DSC 特征参数

GF 质量 分数 / %	$T_c / ^\circ\text{C}$	$T_m / ^\circ\text{C}$	$\Delta T_m / ^\circ\text{C}$	$\Delta H_m /$ ($\text{J} \cdot \text{g}^{-1}$)	$X_c / \%$
0	118.97	163.32	9.55	77.69	37.17
4	119.90	163.90	8.79	86.75	43.23
8	119.93	164.25	9.43	90.83	47.24
12	121.14	164.54	8.81	79.03	42.97
16	121.75	164.47	8.29	75.49	43.00

通过对不同基体的 GFRP 复合材料的 DSC 结晶和熔融曲线分析,发现添加少量 GF 有促进 PP 结晶的作用,对 hPP 及 hPP 和 cPP 等比例混合基体的 GFRP 作用较为明显。两者结晶度变化规律接近,与冲击强度变化规律相反,结晶度提高时冲击强度降低。这是因为添加少量 GF 会促进 hPP 结晶,结晶度增大,分子链排列更紧密有序,分子链间结合力变强,分子链间空隙变小,当材料受到外力冲击时,链段运动变得困难,故而冲击强度减小。当 GF 用量较大时,由于 GF 的存在,界面无序区增多,结晶度降低,同时 GF 形成的骨架能够吸收大量的冲击能量,所以冲击强度增大。另外,可以看出三种 PP 基体的 GFRP 的熔融热焓、结晶度均呈先增大后减小的趋势,其中 cPP 及 hPP 和 cPP 等比例混合基体的 GFRP 在 GF 质量分数为 8% 时达到最大。

2.3 耐溶剂性对比

耐溶剂性与滤板使用寿命直接相关,耐溶剂性差的滤板在使用过程中易产生溶胀开裂问题,所以实验对比了 hPP, cPP, hPP 和 cPP 等比例混合,以及各自添加 16% GF 的 GFRP 的耐溶剂性,结果见表 4。实验观察到浸泡后的样条明显弯曲、体积增大,同时质量增加,这是由于在浸泡过程中甲苯使 PP 发生溶胀。显然, hPP 的耐溶剂性较好,可能由于 hPP 的结晶较完善的缘故,甲苯分子不易扩散进入其内部^[15]。hPP 和 cPP 等比例混合能够中和两者的耐溶剂性,添加 16% GF 能够明显改善 PP 的耐溶剂性,和前面分析的 GF 使 PP 分子自由空间减小且结晶度提高的作用相一致。

表 4 样条在 70℃ 甲苯溶液中浸泡 6 h 的质量变化

类别	基体	浸泡前质量 / g	浸泡后质量 / g	增重百分比 / %
未添加 GF	hPP	1.77	2.01	14
	cPP	1.73	2.18	26
	hPP+cPP	1.70	2.02	19
添加 16% GF	hPP	1.91	2.08	9
	cPP	1.94	2.25	16
	hPP+cPP	1.83	2.07	13

3 结论

(1) GF 能够提高 GFRP 复合材料的拉伸强度和拉伸弹性模量,但降低了断裂伸长率;GF 还能够提高 hPP 的冲击强度,但会降低 cPP 的冲击强度。在相同 GF 含量条件下, hPP 为基体的 GFRP 的拉伸强度最高,冲击强度最低; cPP 为基体的 GFRP 的拉伸强度最低,冲击强度最高。随着 GF 含量增加, hPP 和 cPP 等比例混合基体 GFRP 的力学性能接近两种基体的 GFRP 的性能平均值。

(2) 添加少量 GF 有促进 PP 结晶的作用,对 hPP 作用较为明显。三种 PP 基体的 GFRP 的熔融热焓、结晶度均呈先增大后减小的趋势,其中 cPP 及 hPP 和 cPP 等比例混合基体的 GFRP 在 GF 质量分数为 8% 时达到最大。

(3) hPP 的耐溶剂性优于 cPP,添加 GF 能够改善 PP 的耐溶剂性。

(4) PP 滤板中 GF 添加量应不低于 8%,同时选择 hPP 和 cPP 等比例混合基体或依据应用需求适当调整两者比例,兼顾刚性、韧性及耐溶剂性。

参考文献

- [1] 季新宇,王立岩,宋敬星,等.短玻璃纤维增强聚丙烯复合材料的制备及其力学性能的研究[J].合成纤维工业,2017,40(3):49-51.
Ji Xinyu, Wang Liyan, Song Jingxing, et al. Study on preparation and mechanical properties of short glass fiber reinforced polypropylene composite[J]. Synthetic Fiber Industry, 2017, 40(3):49-51.
- [2] 刘仿军,吕恒勇,李亮,等.汽车内饰件用聚丙烯材料的研究[J].塑料科技,2013,41(6):49-52.
Liu Fangjun, Lyu Hengyong, Li Liang, et al. Research on polypropylene materials used in automotive interior parts[J]. Plastics Science and Technology, 2013, 41(6):49-52.
- [3] Luo Guojun, Liu Gang, Chen Yunlei, et al. High performance glass fiber reinforced polypropylene realized by reactive extrusion technology[J]. Composites Science and Technology, 2018. doi:10.1016/j.compscitech.2018.07.009.
- [4] 万炳甲,王明义.玻纤增强聚丙烯复合材料研究进展[J].工程塑料应用,2019,47(11):139-143,155.
Wan Bingjia, Wang Mingyi. Research progress of glass fiber reinforced polypropylene composite materials[J]. Engineering Plastics Application, 2019, 47(11):139-143, 155.
- [5] 王帮进,陈金伟,吴喜元,等.玻璃纤维增强聚丙烯材料的性能研究[J].山东化工,2020,49(17):37-38.
Wang Bangjin, Chen Jinwei, Wu Xiyuan, et al. Research on the properties of glass fiber reinforced polypropylene materials[J]. Shandong Chemical Industry, 2020, 49(17):37-38.
- [6] 雷志天,张华,周巧霞.玻璃纤维增强聚丙烯在压滤机滤板中的应用[J].广州化工,2011,39(21):67-68.
Lei Zhitian, Zhang Hua, Zhou Qiaoxia. Application of glass fiber reinforced polypropylene in filter plate of filter press[J]. Guangzhou Chemical Industry, 2011, 39(21):67-68.
- [7] Wang Yuming, Cheng Lihong, Cui Xiaoqian, et al. Crystallization behavior and properties of glass fiber reinforced polypropylene composites[J]. Polymers, 2019, 11(7).doi:10.3390/polym11071198.
- [8] 俞飞,陈业中,钱志军,等.高性能玻纤增强聚丙烯的研究[J].塑料工业,2018,46(10):34-38.
Yu Fei, Chen Yezhong, Qian Zhijun, et al. Research on high performance glass fiber reinforced polypropylene[J]. China Plastics Industry, 2018, 46(10):34-38.
- [9] 江学良,周亮吉,黄胜,等.改性玻璃纤维填充聚丙烯复合材料的制备与力学性能[J].武汉工程大学学报,2015,37(3):52-57.
Jiang Xueliang, Zhou Liangji, Huang Sheng, et al. Preparation and mechanical properties of modified glass fiber filled polypropylene composites[J]. Journal of Wuhan Institute of Technology, 2015, 37(3):52-57.
- [10] 王选伦,张凌瑞,尹皓,等.短玻纤和连续玻纤增强聚丙烯复合材料的性能比较研究[J].山东化工,2016,45(1):6-9.
Wang Xuanlun, Zhang Lingrui, Yin Hao, et al. Performance comparison of short glass fiber and continuous glass fiber reinforced polypropylene composites[J]. Shandong Chemical Industry, 2016, 45(1):6-9.
- [11] Delli E, Giliopoulos D, Bikiaris D N, et al. Fibre length and loading impact on the properties of glass fibre reinforced polypropylene random composites[J]. Composite Structures, 2021. doi:10.1016/j.compstruct.2021.113678.
- [12] 冯计民,陶克明,孔晓明.差示扫描量热法(DSC)对聚乙烯、聚丙烯制品的检验[J].刑事技术,1992(1):1-5.
Feng Jimin, Tao Keming, Kong Xiaoming. Inspection of polyethylene and polypropylene products by differential scanning calorimetry (DSC)[J]. Criminal Technology, 1992(1):1-5.
- [13] Bogoeva-Gaceva G, Janevski A, Mader E. Nucleation activity of glass fibers towards iPP evaluated by DSC and polarizing light microscopy[J]. Polymer, 2013. doi:10.1016/S0032-3861(00)00659-5.
- [14] 周满,米大山,张杰.改性玻璃纤维增韧 PP 复合材料的性能研究[J].现代塑料加工应用,2016,28(3):8-11.
Zhou Man, Mi Dashan, Zhang Jie. Study on properties of modified glass fiber toughened PP composites[J]. Modern Plastics Processing and Application, 2016, 28(3):8-11.
- [15] 许凌峰,邵景昌,付俊祺,等. PC/PET 合金的制备及其耐溶剂机理[J].工程塑料应用,2020,48(5):114-117,128.
Xu Lingfeng, Shao Jingchang, Fu Junqi, et al. Preparation of PC/PET alloy and its solvent resistance mechanism[J]. Engineering Plastics Application, 2020, 48(5):114-117, 128.