

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2020.01.007

玄武岩纤维增强聚丙烯复合材料性能研究

苏昱^{1,2}, 郑骏驰^{1,2}, 孟征^{1,2}, 安峻莹^{1,2}, 陈婧^{1,2}, 姜昊^{1,2}, 赵亚凤^{1,2}

(1. 北京航天凯恩化工科技有限公司, 北京 100074; 2. 北京航天试验技术研究所, 北京 100074)

摘要:以聚丙烯 (PP) 树脂为基体, 加入玄武岩纤维 (BF) 和相关助剂, 通过双螺杆挤出机熔融共混制得相应复合材料。考查相容剂对 PP/BF 复合材料性能影响, 对 PP/BF 复合材料和 PP/玻璃纤维 (GF) 复合材料力学性能、微观形貌和耐热氧化等性能进行对比。通过实验数据分析, 加入相容剂后, 拉伸强度提高 126.8%, 弯曲强度提高 223.8%, 弯曲弹性模量提高 119.9%, 悬臂梁缺口冲击强度提高 223.2%。在同样质量配比下, PP/BF 复合材料较 PP/GF 复合材料拉伸强度提高 9.8%, 弯曲强度提高 11.0%, 弯曲弹性模量提高 5.8%, 悬臂梁缺口冲击强度降低 10.7%。从微观电镜分析, 加入相容剂可明显改善纤维与 PP 基材界面浸润程度。另外, BF 比 GF 更易使复合材料老化, 常规热氧化剂 1010 和 168 对纤维增强 PP 类材料耐老化效果并不好, 用等量自制热氧化剂可解决此问题。

关键词:玄武岩纤维; 玻璃纤维; 聚丙烯; 相容剂; 热氧化

中图分类号: TQ325.1+4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2020)01-0035-06

Study on Properties of The Basalt Fiber Reinforced Polypropylene Composites

Su Yu^{1,2}, Zheng Junchi^{1,2}, Meng Zheng^{1,2}, An Junying^{1,2}, Chen Jing^{1,2}, Jiang Hao^{1,2}, Zhao Yafeng^{1,2}

(1. Beijing Aerospace Chemical Engineering Co., Ltd., Beijing 100074, China;

2. Beijing Institute of Aerospace Testing Technology, Beijing 100074, China)

Abstract: A polypropylene (PP) composite filled by basalt fiber (BF) and some additives was prepared by melt blending with twin-screw extruder. The effect of compatibilizers on the performance of BF / PP composite was examined; meanwhile, the microscopic structure, the mechanical property and the thermo-oxidative stability of BF / PP composite and PP / glass fiber (GF) composite were compared. As shown by the result of characterizations, after a compatibilizer was used in a BF / PP composite, the tensile strength, the flexural strength, the flexural modulus and the notched Izod impact strength were increased by 126.8%, 223.8%, 119.9% and 223.2% respectively. Therefore, we verified that using a compatibilizer in could improve the mechanical property of BF / PP composite. When the filling amount of BF and glass fiber was same for the PP composite, the tensile strength, the flexural strength and the flexural modulus of BF / PP composite is 9.8%, 11.0% and 5.5% higher than those of GF / PP composite in turns. However, BF / PP composite has a 10.7% lower notched Izod impact strength than GF / PP composite. Scanning electron microscope was used to confirm that the interface between BF and PP was fully infiltrated with the assistance of the compatibilizer. Moreover, we confirmed that the BF / PP composite is more prone to aging than the GF / PP composite, and the conventional antioxidants, such as pentaerythrite tetra [β -(3,5-di-tert-butyl-4-hydroxyphenyl)-propionate](antioxidant 1010) and tris (2,4-ditert-butylphenyl) phosphite (antioxidant 168) are not useful enough for improving the thermo-oxidative stability of the PP composite filled with inorganic fiber, which is a problem that could be solved by using a self-made antioxidant.

Keywords: basalt fiber; glass fiber; polypropylene; compatibilizer; thermo-oxidative aging

聚丙烯 (PP) 是一种半结晶型的常规通用型塑料, 综合性能优异, 但其在实际应用中力学强度偏低、成型后尺寸稳定性一般、收缩率偏大等问题, 限制其在一些领域的应用^[1-3]。通常可以通过采用共

混填充填料的方法来改善。常用填料有滑石粉、碳酸钙、硫酸钡、蒙脱土、玻璃纤维 (GF)、碳纤维等, 其中纤维类填料比粉状矿粉在复合材料中有更高的强度和热稳定性。

通讯作者: 苏昱, 研发工程师, 主要从事高分子材料改性研究工作 E-mail: suyu4401@126.com

收稿日期: 2019-11-05

引用格式: 苏昱, 郑骏驰, 孟征, 等. 玄武岩纤维增强聚丙烯复合材料性能研究 [J]. 工程塑料应用, 2020, 48(1):35-40.

Su Yu, Zheng Junchi, Meng Zheng, et al. Study on properties of the basalt fiber reinforced polypropylene composites[J]. Engineering Plastics Application, 2020, 48(1):35-40.

玄武岩纤维 (BF) 是一种新型高性能无机纤维材料,具有稳定性好、电绝缘性好、抗腐蚀、抗燃烧、耐高温等优点,综合性能优良,原料成本低廉,天然环保,性价比高,在很大程度上可代替玻璃纤维,也是碳纤维的低价替代品^[4]。特别是玄武岩原矿石在生产熔化抽丝过程中不产生碱金属氧化物和硼等不环保物质,整个生产过程不会污染环境。更重要的是 BF 可以在一定自然条件下降解成土壤本质,避免了传统材料在二次加工或废弃过程中需消耗更多额外的能源和环境污染等缺点^[5],因此,对 BF 的研究和开发具有良好的社会效益与显著的经济效益。

考虑生产成本和 PP 复合材料其他性能,市场上通常用 E 型 GF 对 PP 进行改性。与 E 型 GF 相比,连续 BF 中含有 MgO, TiO₂, K₂O 和 Na₂O 多种金属氧化物成分,因而与玻璃纤维相比, BF 具有更好的耐腐蚀和耐水性能^[6-7],具体成分含量见表 1。

表 1 BF 与无碱 (E) 玻璃纤维的主要成分对比

化学主要成份	BF / %	E 型 GF / %
SiO ₂	51.6 ~ 59.3	52.0 ~ 53.4
Al ₂ O ₃	12.6 ~ 19.0	13.5 ~ 14.5
B ₂ O ₃	—	8.0 ~ 9.0
CaO	5.9 ~ 11.9	18.5 ~ 19.5
MgO	3.0 ~ 6.9	3.6 ~ 4.4
Na ₂ O+K ₂ O	2.5 ~ 6.0	0 ~ 1
TiO ₂	0.8 ~ 2.2	0 ~ 0.5
Fe ₂ O ₃ +FeO	9.0 ~ 14.0	0 ~ 0.6

笔者主要探讨相容剂对 PP/BF 复合材料性能的影响、BF 与 E 型 GF 分别增强 PP 复合材料的性能对比,以及不同复合材料的热氧老化性能。

1 实验部分

1.1 主要原材料

PP : 7726H, 燕山石化有限公司;

BF : 单纤维直径 7 μm, 四川航天拓鑫玄武岩纤维;

GF : E 型, 泰山玻璃纤维有限公司;

滑石粉: RS-7800, 4 ~ 5 μm, 昆山润石化工有限公司;

聚丙烯接枝马来酸酐 (PP-g-MAH) : HS1-030A, 广东合诚化工有限公司;

抗氧剂: 1010, 168, 德国巴斯夫公司;

复配型长效抗氧剂: 自制;

润滑剂: 乙撑双硬脂酸酰胺 (EBS) 和硅酮粉, 北京星贝达化工材料有限公司。

1.2 主要设备及仪器

注塑机: SA600 / 150 型, 浙江宁波海天塑机集

团有限公司;

高低温交变湿热试验箱: CTS-1 型, 重庆哈丁科技有限公司;

同向双螺杆挤出机: TSH-40 型, 南京创博机械设备有限公司;

高速混合机: SHR-500 型, 张家港亿利机械有限公司;

万能电子材料拉伸试验机: AGS-X 型, 日本岛津有限公司;

悬臂梁缺口冲击试验机: UTM-1422 型, 承德金建检测仪器有限公司;

硬度仪: HR-150A 型, 上海光学精密机械研究所;

密度仪: SQP 型, 德国赛多利斯集团;

色差仪: CM-3600A 型, 柯尼卡美能达 (中国) 投资有限公司;

扫描电子显微镜 (SEM) : QUANTA 450 型, 美国 FEI 公司。

1.3 复合材料制备

以配方总量为 100 份, 按质量百分比设计配方, 先将 PP 和助剂按表 2 配方配比在高混锅中充分混合搅拌 4 min 制成预混料, 再将预混料加入双螺杆挤出机主喂料口, 随后在挤出机侧喂料口加入 BF, 通过熔融共混后, 经水冷风干后进行造粒, 挤出机长径比为 44 : 1, 挤出机机筒温度从主喂料口到模头 1 ~ 12 段温度范围为 180 ~ 230℃, 生产过程中主机电流控制在 200 ~ 220 A, 调整主螺杆转速和喂料速度, 确保纤维含量为 30%。

表 2 不同质量比填充物的复合材料配方 %

原材料	试样编号			
	1 [#]	2 [#]	3 [#]	4 [#]
PP 7726H	69	64	64	64
BF	30	30	0	30
GF	0	0	30	0
HS1-030A	0	5	5	5
抗氧剂 1010	0.1	0.1	0.1	0
抗氧剂 168	0.2	0.2	0.2	0
自制复配抗氧剂	0	0	0	0.3
EBS	0.2	0.2	0.2	0.2
硅酮粉	0.5	0.5	0.5	0.5

注: 配方按质量百分比计算, 配方总量按 100 份设计。

粒料在 85℃ 下干燥 4 h, 用注塑机制备样条, 注塑机各段温度为 210 ~ 230℃, 注射压力 80 MPa, 保压压力 50 MPa, 保压时间 4 s, 冷却时间 15 s。本研究主要有四组实验, 分别为市场常用抗氧剂

1010 / 168 按 0.1% / 0.2% 质量比复配的 PP / BF, PP / PP-g-MAH / BF, PP / PP-g-MAH / GF 和自制抗氧剂的 PP / PP-g-MAH / BF, 按顺序各复合材料试样编号为 1[#], 2[#], 3[#], 4[#]。

1.4 性能测试

拉伸强度根据 GB / T 1040-2006 标准测试, 样条为国标 5A 型, 拉伸速度为 50 mm / min。

冲击强度根据 GB / T 1843-2008 测试, 样条尺寸为 80 mm × 10 mm × 4 mm, A 型缺口, 摆锤 5.5 J。

弯曲强度按 GB / T 9341-2008 测试, 样条尺寸为 80 mm × 10 mm × 4 mm, 测试速率为 2 mm / min。

硬度按 GB / T 3398.2-2008 测试, 样板厚度 6 mm, 试验力 588.4 N, 球压头直径 12.7 mm。

SEM 分析: 将带缺口样条在 25℃ 下用悬臂梁冲击试验机沿样条缺口冲断, 切取其断面, 观察垂直于熔体流动方向的断面, 测试时电压设置为 20 kV, 分别放大 3 000 倍和 20 000 倍进行扫描, 观察 BF 和 GF 在基体树脂内的状态。

成型收缩率按 GB / T 15585-1995 测试。

热氧老化在 150℃ 下持续高温加热直至表现发生变化。

2 结果与讨论

2.1 复合材料基础物性分析

表 3 为四种复合材料的物理和力学性能。

表 3 四种复合材料基础物性

性能	1 [#]	2 [#]	3 [#]	4 [#]
密度 / (g · cm ⁻³)	1.109	1.111	1.106	1.110
拉伸强度 / MPa	35.8	81.2	73.9	80.9
弯曲强度 / MPa	30.2	97.8	88.1	98.0
弯曲模量 / MPa	2 239.3	4 923.5	4 650.7	4 997.3
悬臂梁缺口冲击强度 / (kJ · m ⁻²)	4.3	13.9	15.4	13.6

对表 3 中的四个配方数据, 数据分析主要从以下几个方面进行对比: ① 1[#] 和 2[#] 数据对比了相容剂 HS1-030A 的加入对 PP / BF 复合材料性能的影响; ② 2[#] 和 3[#] 数据对比了 BF 和 GF 的添加对其复合材料性能的影响; ③ 2[#] 和 4[#] 数据对比抗氧剂对 PP / BF 复合材料性能的影响。

四种复合材料拉伸强度、弯曲强度及弯曲弹性模量、悬臂梁缺口冲击强度等数据如图 1 ~ 图 3 所示。

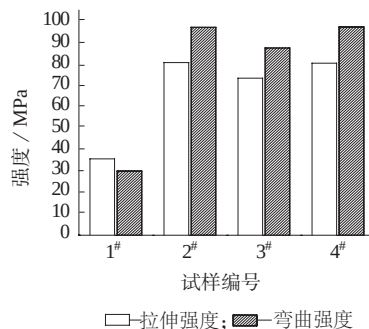


图 1 四种复合材料拉伸强度和弯曲强度

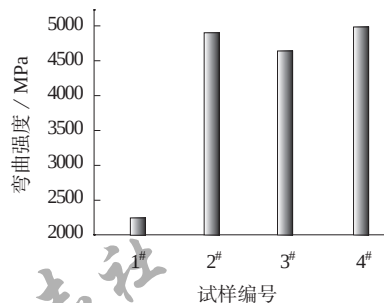


图 2 四种复合材料弯曲弹性模量

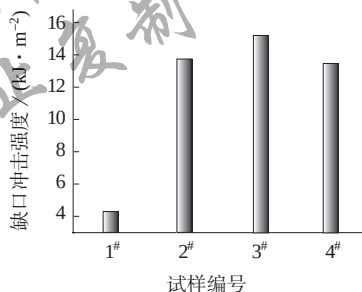


图 3 四种复合材料悬臂梁缺口冲击强度

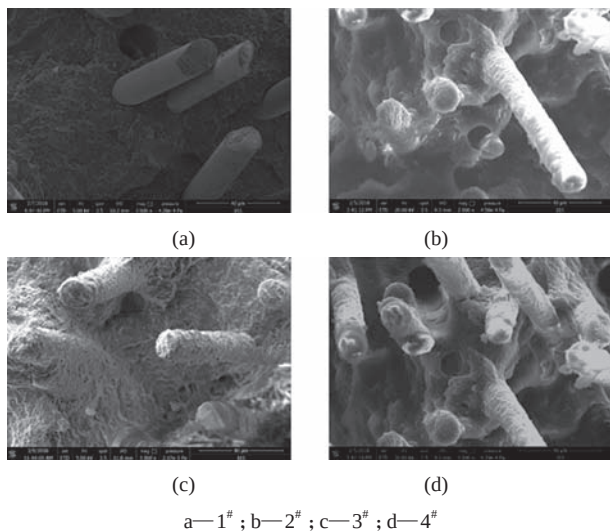
从 1[#] 和 2[#] 数据对比可以看出, 加入 5% 质量百分比的相容剂后, PP / BF 复合材料力学性能明显提升, 较 1[#] 样条相比, 2[#] 样条拉伸强度提高了 126.8%, 悬臂梁缺口冲击强度提高了 223.2%, 弯曲强度提高了 223.8%, 弯曲弹性模量提高了 119.9%, 数值提升非常明显。从数据分析来看, BF 基体和 PP 基体界面之间的结合强度是影响复合材料性能的重要因素, BF 生产出厂时通过硅烷偶联剂浸润处理过, 表面含有非常多硅羟基而呈现很高的极性, PP 是非极性树脂材料, 由于 BF 和 PP 两者极性相差较大, 单纯将两者通过双螺杆混合造粒, 复合材料的性能不佳。受到外界载荷时, 外界应力通过两者之间的界面进行传递, 界面结合力越强, 需要更大的外界应力才能破坏这种结合力。笔者选用牌号为 HS1-030A 材料作为相容剂来提高 PP 和 BF 的界面强度, 其主要成分为马来酸酐基团接枝 PP。该相容剂的加入可以很好地提高复合材料的综合性能,

主要是 BF 纤维表面硅羟基和接枝到 PP 大分子上的马来酸酐基团发生化学反应,通过化学键合方式和分子间氢键作用提高了复合材料界面强度^[8-9]。

从 2[#] 和 3[#] 数据对比可看出,在相同填充 30% 含量的情况下,PP/BF 复合材料密度为 1.111 g/cm³,PP/GF 密度为 1.106 g/cm³,PP/BF 复合材料相对更重,但并不太明显。另外,PP/BF 较 PP/GF 复合材料拉伸强度提高 9.8%,悬臂梁缺口冲击强度降低 10.7%,弯曲强度提高 11.0%,弯曲模量提高 5.8%。说明 PP/BF 复合材料刚性强度优于 PP/GF 复合材料,但其韧性偏低。对于刚性强度,一方面两种纤维在整个复合体系中均起到了骨架作用,可能实验所选 BF 刚性强度较 GF 高,另一方面,可能是 PP 能更好地包覆和浸润 BF,受到外力作用后,相同情况下 BF 较 GF 能更好地传递应力,从而分散所受外界应力,起到增强作用^[10-11]。关于两种复合材料的缺口冲击强度,在受到外力作用时可能 GF 较 BF 会发生更大的形变,从而能够吸收更多的冲击振动能量,而且冲击产生的裂纹在扩展过程中遇到 GF 会更多地抑制裂纹进一步变大^[12-13]。从 2[#] 和 4[#] 数据对比可看出,不同的抗氧剂对 PP/BF 复合材料基础性能并没有明显改变。通过基础数据对比,在 PP/BF 中增加相容剂会显著提高复合材料的各项力学性能。对比 PP/BF 和 PP/GF 复合材料,PP/BF 复合材料伸强度、弯曲强度提高、弯曲弹性模量更优异,但缺口冲击强度略差。而不同的抗氧剂对 PP/BF 复合材料基础性能并没有明显改变。

2.2 复合材料微观电镜分析

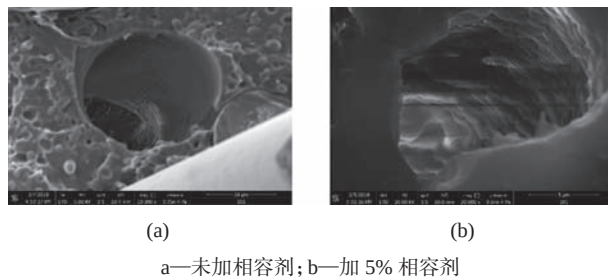
图 4 为四种复合材料 SEM 图。



a—1[#]; b—2[#]; c—3[#]; d—4[#]

图 4 四种复合材料 SEM 图

图 5 为加相容剂前后复合材料纤维强剥后 PP 基体孔洞对比图。



a—未加相容剂; b—加 5% 相容剂

图 5 加相容剂前后复合材料纤维强剥后 PP 基体孔洞对比图

从图 4 中 1[#] 和图 5 可以看出,与其他高性能纤维类似,BF 表面光滑,说明表面亦呈化学惰性,与基体 PP 接触部位有明显孔隙,从断裂面可以看出,BF 与基体 PP 的界面产生剥离现象,同时 BF 与 PP 基体的断裂位置并不在同一截面上,PP 基体断面处有较多外露纤维以及 BF 被拔出后留下的内表面光滑的孔洞,这种现象可以说明 PP 基体对 BF 纤维表面没有很好的浸润,两者界面间没有形成较强的粘结力,在 BF 与 PP 基体间有孔隙存在,致使复合材料承载外力的能力降低,这与其力学性能数据表现一致^[14]。

从图 4 中 2[#],3[#],4[#] 和图 5 分析,加入相容剂后,可以看出 BF 和 GF 这两种纤维表面均被 PP 基体包覆紧密,能够使得纤维与基体更好的缠结在一起,界面的粘结性明显增强,纤维与 PP 基体界面间的作用增强了,虽有孔洞现象,但孔洞内壁并不光滑,明显是基体撕裂而成坑洼状,故在外力作用下,纤维和基体间能更好地传递应力,表现为力学性能优异。

图 4 中 3[#]PP 基体包覆 GF 优于 2[#] 和 4[#]PP 基体包覆 BF 效果,说明该相容剂更适用于 GF 相容改性,2[#] 和 4[#] 效果相差不大。从 4 种复合材料的 SEM 观察也再一次辅助佐证了前面各复合材料的力学性能测试结果。

2.3 复合材料热氧老化分析

将四种不同复合材料放在 150℃烘箱中持续加热 96 h,此时复合材料样板表面均无纤维外露,测试材料加热前后色差变化值,使用同牌号色粉,通过色差变化大小来判断材料耐热老化性表现变化情况,具体数值见表 4。从表 4 数值可以看出,四种复合材料 150℃下加热 96 h 时,是否加相容剂并未对色差有明显影响,而填充 GF 的复合材料明显比填充 BF 复合材料耐老化效果好,当加入自制复配型抗氧剂后色差值 ΔE 只有 0.15,效果非常好。

表4 四种复合材料 150℃下加热 96 h 色差变化值

试样编号	老化前色差			老化后色差			色差变化值 ΔE
	L	a	b	L	a	b	
1 [#]	28.23	0.24	2.84	32.26	1.05	4.28	4.35
2 [#]	28.22	0.21	2.80	32.19	1.07	4.11	4.26
3 [#]	28.64	0.21	0.17	31.76	1.04	1.36	3.44
4 [#]	28.25	0.22	2.82	28.14	0.96	2.91	0.15

图6为四种复合材料样板热氧老化120 h时对比图。从图6可以看出,经过150℃高温加热120 h后,1[#]和2[#]复合材料样板表面PP基材料被完全破坏,纤维大量外露,表面颜色明显变浅,样板周边已经粉化,3[#]复合材料表面有部分已经开始粉化,表面有圆斑明显老化,玻纤外露,4[#]表现完好,没有任何变化。

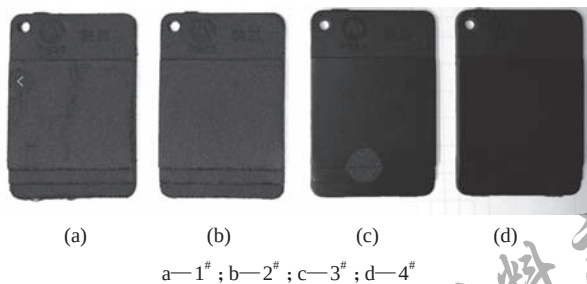


图6 四种复合材料样板热氧老化120 h时对比图

1[#]和2[#]复合材料样板表面明显比3[#]差,二者所用热氧老化剂一样,说明添加BF比GF更容易导致复合材料老化,很可能是BF中所含的一些金属元素在高温热氧环境下促进PP分子链断裂并发生分解。3[#]复合材料也有部分出现老化现象,说明GF也会促进PP老化。4[#]复合材料较前三种复合材料相比,说明自制复配型抗氧剂在耐热氧老化效果上更好,常规抗氧剂1010和168在较苛刻条件下耐老化效果并不好。

综合来看,4[#]复合材料各项性能表现优异,在一定条件下可替代常规PP/GF复合材料,具有广泛的应用前景。

3 结论

(1) 对于PP/BF复合材料,加入相容剂后,力学性能明显提升,悬臂梁缺口冲击强度提高223.2%,拉伸强度提高126.8%,弯曲强度提高223.8%,弯曲模量提高119.9%。

(2) 同样配比下,PP/BF复合材料较PP/GF复合材料,拉伸强度提高9.8%,悬臂梁缺口冲击强度降低10.7%,弯曲强度提高11.0%,弯曲模量提高5.8%,二者比重相近,在一定条件下PP/BF复合材料可替代PP/GF复合材料。

(3) 从微观电镜分析,加入相容剂可明显改善纤维与PP基材界面浸润程度。

(4) BF比GF更易使复合材料老化,常规热氧老化剂1010和168对纤维增强PP类材料耐老化效果并不好,用等量自制热氧老化剂可解决此问题。

参考文献

- [1] 吴国峰,雷亮,杨波,等.车用聚丙烯材料线性膨胀系数的影响因素分析[J].工程塑料应用,2017,3(45):134-137.
Wu Guofeng, Lei Liang, Yang Bo, et al. Analysis on influence factors of linear expansion coefficient of automotive polypropylene materials[J]. Engineering Plastics Application, 2017, 3(45):134-137.
- [2] 杨燕,李永华,罗忠富.聚丙烯抗热氧老化评价新方法研究[J].工程塑料应用,2011,39(2):66-68.
Yang yan, Li Yonghua, Luo Zhongfu. The new method research on Polypropylene thermal-oxygen aging evaluation [J]. Engineering Plastics Application, 2011, 39(2):66-68.
- [3] 孙昌辉,郭鹏,张师军.螺杆组合设计对玻纤增强聚丙烯类性能的影响[J].现代塑料加工应用,2019,31(5):24-27.
Sun Changhui, Guo Peng, Zhang Shijun. Effects of screw configuration design on properties of glass fiber reinforced polypropylene[J]. Modern Plastics Processing and Applications, 2019, 31(5):24-27.
- [4] 刘学慧.连续玄武岩纤维与碳纤维、芳纶、玻璃纤维的对比及其特性概述[J].山西科技,2014,1(29):87-90.
Liu Xuehui. The contrast and characteristics on continuous basalt fiber and carbon fiber, aramid fiber, glass fiber overview [J]. ShanXi Science and Technology, 2014, 1(29):87-90.
- [5] 吴剑青,钟智丽.玄武岩纤维在汽车行业上的应用前景[J].产业用纺织品,2012,259: 26-28.
Wu Jianqing, Zhong Zhili. The application prospect of basalt fiber in the automotive industry [J]. Industrial Textiles, 2012, 259: 26-28.
- [6] 胡显奇,申屠年.连续玄武岩纤维在军工及民用领域的应用[J].高科技纤维与应用,2005,30(6):7-13.
Hu Xianqi, Shen Tunian. The applications of continuous basalt fiber in the field of military and civilian [J]. High-Tech Fibers and Applications, 2005, 30(6):7-13.
- [7] 曹海琳,郎海军,孟松鹤.连续玄武岩纤维结构与性能试验研究[J].高科技纤维与应用,2007,32(5):8-13.
Cao Hailing, Lang Haijun, Meng Songhe. Experimental study on the structure and performance of continuous basalt fiber[J]. High-tech Fibers and Applications, 2007, 32(5):8-13.

- [8] 马旭辉,邱能兴,韩静.长玻璃纤维增强聚丙烯复合材料的研究[J].塑料科技,2013,41(12):65-68.
Ma Xuhui, Qiu Nengxing, Han Jing. The research on long glass fiber reinforced polypropylene composite material[J]. Plastic Science and Technology, 2013, 41(12):65-68.
- [9] Pu R, Dai G. Fiber dispersion and breakage in deep screw channel during processing of long fiber-reinforced polypropylene[J]. Fibers & Polymers, 2014, 15(7):1 507-1 516.
- [10] 贾巍.聚丙烯/碱式硫酸镁晶须共混物的相容性研究[D].石家庄:河北大学,2011.
Jia Wei. The research of polypropylene / alkali type magnesium sulfate whisker blend the compatibility[D]. Shijiazhuang: Hebei University, 2011.
- [11] 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):41-45.
Yu Fei, Chen Yezhong, Qian Zhijun, et al. The research of high performance glass fiber reinforced polypropylene[J]. China Plastics Industry, 2018, 46(10):41-45.
- [12] 韩跃新,陈旭,印万忠.碱式硫酸镁晶须填充聚丙烯的研究[J].有色矿冶,2007,5(23):42-45.
Han Yuxing, Chen Xu, Yin Wanzhong. Research of alkali type magnesium sulfate whisker filled polypropylene[J]. Non-Ferrous Mining and Metallurgy, 2007, 5(23):42-45.
- [13] 赵连云,谭洪生,杨彦功.椰壳纤维/IPC复合材料的应力-应变曲线拟合及界面改进[J].高分子材料科学与工程,2011,27(12):40-43.
Zhao Lianyun, Tan Hongsheng, Yang Yangong. Stress-strain curve fitting and interfacial modification of coir / IPC composites[J]. Polymer Materials Science and Engineering, 2011, 27(12):40-43.
- [14] 周红涛,刘华,王曙东,等.玄武岩纤维增强聚丙烯基复合材料的力学性能研究[J].玻璃钢/复合材料,2014(3):4-7.
Zhou Hongtao, Liu Hua, Wang Shudong, et al. The research of basalt fiber reinforced polypropylene composite material mechanics performance[J]. Glass Fiber Reinforced Plastic / Composite Materials, 2014(3):4-7.

投稿须知

1 稿件内容

稿件应注重科学性、实用性及时效性,要求技术新颖,论点明确,论据可靠,数据准确,文字通顺、简练。稿件内容必须真实,避免抄袭,请作者文责自负。引用他人成果时,请按《著作权法》有关规定说明出处。内容应未曾发表过或被其他出版物刊载过,且无一稿多投。

2 稿件要求

凡属于重大科技获奖的论文和重点项目资助的论文,请在来稿第一页注明名称及批准号,本刊将优先刊登。

(1) 题目、作者署名及单位。题目力求简明、醒目,反映出文章的主题,一般不超过20个汉字。作者姓名在题目下按序排列,不同工作单位的作者,应在姓名右上角加注阿拉伯数字序号。作者单位须写全称并注明省份、城市和邮政编码。联系人信息(包括姓名、学历或职称、主要研究方向)注在第一页下方。

(2) 摘要及关键词。论文需要同时提供中文和英文摘要,摘要以提供论文的内容梗概为目的,不加评论和补充解释,应简明、确切地论述研究目的、原理和结论,具有相对独立性。中文和英文摘要均要求采用报道性摘要类型。具体要求:中英文摘要均为一段式,内容比较具体,一般需要列举关键数据。中英文摘要内容基本一致,中文摘要以200~300字为宜,英文摘要可略详。关键词要求3~8个。

(3) 正文。正文各部分都应简洁明了。层次标题一律用阿拉伯数字连续编号,尽量减少层次;不同层次的数字之间用小圆点相隔,末位数字不加标点符号。如“1”,“1.1”等。文中量、单位及符号的使用应符合国际标准和国家标准。

(4) 图表。图表要设计合理,简单自明。每一幅图都应有图序和简短确切的图名,横纵坐标均要注明物理量及其单位,线条图要用矢量格式的图,或将*.opg, *.dwg, *.eps等格式的图打包压缩随投稿一起上传。表格请使用三线表,每一表格都应该有表序和简短确切的表题。图表标题一律用中文表达。

(5) 参考文献。以作者亲自阅读过的主要原始文献为限,不可引用非公开出版或发表的文献,不能引用其他文章中引用的但未经核对原文的文献,要注意引用最新的文献。参考文献要有一定的数量,研究性论文至少15篇。参考文献的著录按文章中引用的顺序依次排列,中文参考文献要有对照英文部分(英文部分不编号)。无论中外文的作者,一律采用姓前名后的形式著录;作者不超过3人时可全部著录,超过3人时,只著录前3位,其后加“等”或“et al”。综述类论文的参考文献著录项目适当简化,可参见本刊相关栏目文章样式。作者对所引文献的准确性和完整性负责。

3 投稿方式

请作者登陆“工程塑料网”(http://www.epa1973.net),进入杂志社之页,点击“网上投稿”后投稿。来稿请注明详细地址、电话、邮箱等信息,便于通知联系。一般一个月左右可以查询稿件审理意见,超过3个月未收到修改意见或回复的可自行处理。

4 注意事项

为适应我国信息化建设需要,扩大学术交流渠道,本刊已编入国内外著名数据库。稿件一经录用,将同时被数据库收录,作者著作权使用费与本刊稿酬一次性给付。如作者不同意收录,请在投稿时声明,否则将视为同意。