

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2020.01.006

聚丙烯 / 鳞片石墨导热复合材料的制备及性能

王铮铮¹, 刘德居^{1,2}, 周海军², 陈孝起², 李策³, 肖继君¹, 李彦涛²

(1. 河北科技大学, 石家庄 050018; 2. 河北省科学院能源研究所, 石家庄 050081; 3. 河北翔腾贸易有限公司, 石家庄 050000)

摘要:以聚丙烯(PP)为基体,鳞片石墨(FG)为填料,通过添加偶联剂、开炼机混炼、模压成型的方法,制备了具有较高导热率和优良力学性能的PP/FG导热复合材料。考察了硅烷偶联剂的品种及用量、FG的粒径及含量对复合材料导热率和力学性能的影响。结果显示,使用偶联剂处理的FG对复合材料的力学性能具有一定的增强作用,但是材料的热导率降低;当KH-550添加量为FG含量的1%时,材料的力学性能最好;随着FG粒径的增大,材料的热导率明显提高,力学性能相应下降,粒径为17 μm的FG与148 μm的FG制备的复合材料相比,热导率提高了52.3%,拉伸强度和弯曲强度分别由34.4 MPa和51.5 MPa下降到25.1 MPa和43.0 MPa;随着FG含量的增加,材料的热导率增大,当17 μm的FG含量为70%时,材料的热导率是纯PP的22.1倍,拉伸弹性模量和弯曲弹性模量也随之增大,断裂拉伸应变和断裂弯曲应变减小,拉伸强度和弯曲强度先减小后增大,并且在FG含量为20%时降到最低。

关键词:鳞片石墨;聚丙烯;复合材料;力学性能;热导率

中图分类号: TQ325.1+4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2020)01-0030-05

Preparation and Properties of Polypropylene / Flake Graphite Thermal Conductive Composites

Wang Zhengzheng¹, Liu Deju^{1,2}, Zhou Haijun², Chen Xiaoqi², Li Ce³, Xiao Jijun¹, Li Yantao²

(1. Hebei University of Science and Technology, Shijiazhuang 050018, China; 2. Hebei Research Institute of Energy Sources, Shijiazhuang 050081, China; 3. Hebei ADT Trading Co. Ltd., Shijiazhuang 050000, China)

Abstract: Polypropylene (PP) / flake graphite (FG) thermal conductivity composites with high thermal conductivity and excellent mechanical properties were prepared by adding coupling agent, mixing and molding with PP as matrix and FG as filler. Effects of the type and amount of silane coupling agent, particle size and content of FG on thermal conductivity and mechanical properties of the composites were investigated. The results show that FG treated with coupling agent enhanced the mechanical properties of the composites, while the thermal conductivity of the composite decreased. The composites show the best mechanical properties under KH-550 amount of 1%. With the increase of FG particle size, the thermal conductivity of the material show increased obviously and the mechanical properties decreased correspondingly. Comparing with the composites prepared by FG with particle size of 17 μm and 148 μm, the thermal conductivity of the material increased by 52.3%, the tensile strength and bending strength decreased from 34.4 MPa and 51.5 MPa to 25.1 MPa and 43.0 MPa, respectively. The thermal conductivity of the material increased with the increase of FG content. When FG content of 17 μm is 70%, the thermal conductivity of the material is 22.1 times that of pure PP, the tensile modulus and bending modulus also increased. While the tensile strain at break and bending strain at break decreased. The tensile strength and bending strength decreased first and then increased, and decreased to a minimum when FG content is 20%.

Keywords: flake graphite; polypropylene; composite; mechanical property; thermal conductivity

聚合物基导热复合材料由于其力学性能优良、耐腐蚀、阻垢、易加工、维护成本低等优点,可用于制造冷凝冷却器、散热器等设备,广泛应用于化工、建筑、电子、海水淡化等领域^[1-4],被认为是取代金属的

理想材料。目前常用制备方法是向基体树脂中添加具有高热导率材料,如氮化物^[5-8]、碳纤维(CFs)^[9-11]、石墨烯^[12-14]等。潘世濠等^[15]通过熔融共混法制备了尼龙6(PA6)/AlN导热复合材料,发现随着AlN

通讯作者: 李彦涛,正高级工程师,主要从事高分子材料的研究与开发 E-mail: 13903116163@163.com

收稿日期: 2019-11-03

引用格式: 王铮铮,刘德居,周海军,等. 聚丙烯 / 鳞片石墨导热复合材料的制备及性能[J]. 工程塑料应用, 2020, 48(1): 30-34, 45.

Wang Zhengzheng, Liu Deju, Zhou Haijun, et al. Preparation and properties of polypropylene / flake graphite thermal conductive composites[J]. Engineering Plastics Application, 2020, 48(1): 30-34, 45.

含量的增多,复合材料的热导率逐渐增大。Xiao Hou 等^[16]通过在聚二甲基硅氧烷(PDMS)复合材料中建立一种垂直的 CFs 结构,极大提高了复合材料的热导率。周慧等^[17]采用超声分散和原位聚合制备了聚甲基丙烯酸甲酯(PMMA)/石墨烯复合材料,研究发现石墨烯的使用可以显著提高 PMMA 的导热系数。但是石墨烯等导热填料存在价格昂贵、容易团聚等缺点,无法在导热复合材料中得到广泛应用。因此开发成本低、性能优异且使用广泛的聚合物基导热复合材料成为研究热点。

近年来,使用鳞片石墨(FG)改性聚丙烯(PP),制备低成本、高导热复合材料越来越受到关注^[18-19]。PP 价格低、耐腐蚀、力学性能优良、加工性能良好;FG 来源广泛、热导率很高,但是 FG 和 PP 的相容性差,难以混合均匀。为了解决上述问题,笔者通过添加偶联剂改善了 FG 与 PP 的相容性,利用开炼机的剪切力作用提高了 FG 在 PP 中的分散性,研究了偶联剂品种及其用量,FG 含量及其粒径对复合材料热导率及力学性能的影响,制得了具有较高热导率和较好力学性能的 PP/FG 导热复合材料,该材料在化工、建筑、电子、海水淡化等领域的换热设备应用前景广阔。

1 试验部分

1.1 主要原材料

FG: 碳含量 99%, 粒径分别为: 17, 27, 37, 74, 148 μm , 河北翔腾贸易有限公司;

PP: 230#, 粉末状, 熔体流动速率为 24.5 g/(10 min), 拉伸屈服强度 31 MPa, 茂名实华东成化工有限公司;

硅烷偶联剂: KH-550, KH-560, KH-570, 鼎海塑胶化工有限公司;

抗氧剂 1010: PLM-168, 阿拉丁试剂公司;

硬脂酸锌: 阿拉丁试剂公司;

无水乙醇: 分析纯, 天津市永大化学试剂有限公司。

1.2 主要设备及仪器

电热鼓风干燥箱: 101-3AB 型, 天津市泰斯特仪器有限公司;

高速粉碎机: ZN-400A 型, 长沙市岳麓区中南制药机械厂;

双辊开炼机: ZG-180 型, 东莞市正工机电设备有限公司;

平板硫化机: ZG-200T 型, 东莞市正工机电设

备科技有限公司;

万能制样机: WZY-240 型, 承德衡通试验检测仪器有限公司;

微机控制电子万能试验机: 104C 型, 深圳万测试验设备有限公司;

热常数分析仪: TPS-2500S 型, 瑞典 Hot Disk 有限公司;

扫描电子显微镜(SEM): Inspect S50 型, 美国 FEI 公司。

1.3 PP/FG 复合材料的制备

将一定量的 PP、抗氧剂、硬脂酸锌和经过偶联剂处理后的 FG 在高速粉碎机中混合均匀, 然后经开炼机混炼, 在模具中模压制得 PP/FG 导热复合材料。

1.4 测试方法

拉伸性能测试: 按 GB/T1040.1-2006 进行测试, 选 1B 型试样, 用电子引伸计测量应变。试样厚度为 (3 ± 0.2) mm, 试验速度: 2 mm/min。

弯曲性能测试: 按照 GB/T9341-2008 进行测试, 试样厚度为 (3 ± 0.2) mm, 试验速度: 2 mm/min。

采用热常数分析仪测试复合材料热导率, 探头半径为 6.403 mm, 测试温度 25 $^{\circ}\text{C}$, 试片尺寸: 40 mm $\times$ 40 mm $\times$ (3 ± 0.2) mm。

SEM 观察: 将不同的试样在液氮中冷却后淬断, 对断面进行喷金处理后观察形貌。

2 结果与分析

2.1 偶联剂品种对 PP/FG 复合材料性能的影响

偶联剂可改善无机填料与树脂的相容性, 达到提高复合材料力学性能的目的。笔者用硅烷偶联剂对 FG 进行处理, 添加 50% 粒径为 17 μm 的 FG, 偶联剂用量为 FG 含量的 1%, 试验结果见表 1。

表 1 不同偶联剂品种时 PP/FG 复合材料性能

偶联剂	热导率/ [W $\cdot$ (m $\cdot$ K) $^{-1}$]	拉伸强度/ MPa	拉伸模量/ GPa	断裂拉伸应变/ %	弯曲强度/ MPa	弯曲模量/ GPa	断裂弯曲应变/ %
未添加	1.92	30.0	6.73	0.64	50.2	8.61	0.76
KH-550	1.76	34.4	8.02	0.66	51.5	9.10	0.73
KH-560	1.83	30.4	6.56	0.86	49.8	6.04	0.95
KH-570	1.79	33.2	7.75	0.67	51.1	8.51	0.78

由表 1 可以看出, 未添加偶联剂的复合材料热导率为 1.92 W/(m $\cdot$ K), 而添加偶联剂的复合材料热导率都有不同程度的下降, 这可能是由于偶联剂本身的热导率很低, 包覆在 FG 表面后降低了导热

网络的导热通量。但是除 KH560 外,经过 KH550 和 KH570 处理 FG 后的复合材料的拉伸强度较未处理过的分别提高了 14.7% 和 10.7%,拉伸弹性模量分别提高了 19.2% 和 15.2%。而经过 KH-550 处理后,复合材料的拉伸强度、拉伸弹性模量、弯曲强度和弯曲弹性模量分别达到了最高的 34.4 MPa, 8.02 GPa, 51.5 MPa 和 9.10 GPa, 优于用另外两种偶联剂处理和未处理过 FG 的复合材料力学性能。

2.2 偶联剂用量对 PP/FG 复合材料性能的影响

由 2.1 可知, KH-550 在改善复合材料力学性能方面具有更好的效果。添加 50% 粒径为 17 μm 的 FG, 改变 KH-550 在 FG 中的含量, 制备导热复合材料, 试验结果见表 2。

表 2 不同 KH550 用量时 PP/FG 复合材料性能

用量 / %	热导率 / $[\text{W} \cdot (\text{m} \cdot \text{K})^{-1}]$	拉伸强度 / MPa	拉伸模量 / GPa	断裂拉伸应变 / %	弯曲强度 / MPa	弯曲模量 / GPa	断裂弯曲应变 / %
0.50	1.77	32.2	7.20	0.83	49.9	7.66	0.84
0.75	1.74	32.1	6.73	0.81	52.0	8.34	0.85
1.00	1.76	34.4	8.02	0.66	51.5	9.10	0.73
1.25	1.83	32.9	6.65	0.84	51.8	8.09	0.94
1.50	1.65	31.6	6.87	0.89	50.9	7.75	0.85

由表 2 可知, 随着 KH-550 用量的增加, 复合材料的性能存在一定差异。5 组实验数据显示复合材料的拉伸强度先增大后减小。当 KH-550 的含量为 1% 时, 拉伸强度明显增大, 拉伸模量和弯曲模量都有显著提高。而断裂拉伸应变和断裂弯曲应变都明显减小。以上结果都表明 KH-550 可以明显改善复合材料的力学性能, 只有弯曲强度未发生明显变化。

2.3 FG 粒径对 PP/FG 复合材料性能的影响

为了探究不同粒径的 FG 对复合材料的热导率和力学性能的影响, 在固定 FG 含量为 50%, KH-550 用量为 FG 含量 1% 的条件下, 分别选用粒径为 17, 27, 37, 74, 148 μm 的 FG 制备复合材料, 测试热导率和力学性能, 结果如图 1 和表 3 所示。

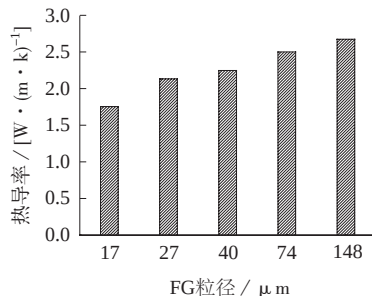


图 1 FG 不同粒径时复合材料热导率

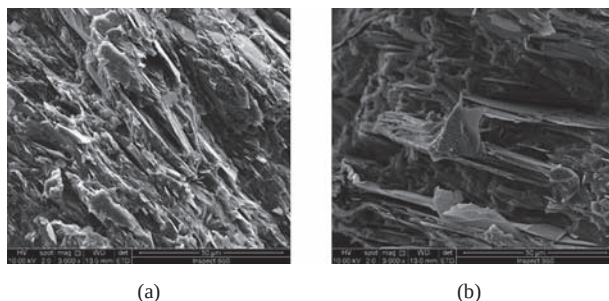
由图 1 可看出, 随着 FG 粒径的增大, 复合材料的热导率也在相应提高。FG 粒径为 17 μm 的复合材料热导率为 1.76 $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$, 而 FG 粒径为 148 μm 的复合材料的热导率达到了 2.68 $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$, 比前者提高了 52.3%。这是因为当 FG 粒径较小时, 比表面积较大, 在熔融混炼过程中, FG 颗粒被较薄而均匀的 PP 熔膜所包覆。模压时, 在压剪应力作用下 FG 颗粒不易被压扁挤碎而相互接触; 同时, 因为 FG 颗粒较少, 在一定空间内, FG 颗粒之间的隔膜数较多, 在材料中难以构成完整的导热网络, 所以热导率较低。相反, 当 FG 粒径较大时, 比表面积较小, FG 颗粒之间的 PP 熔膜较厚且不均匀, 在压剪应力作用下, FG 颗粒容易被挤剪破碎而相互接触, 为构成完整的导热网络提供了可能; 同时, 在相同空间内, FG 颗粒之间的间隙数也相对较少, 更有利于未被包覆的 FG 颗粒相互搭接构成比较完整的导热路径, 从而提高热导率。

表 3 FG 不同粒径时 PP/FG 复合材料力学性能的影响

粒径 / μm	拉伸强度 / MPa	拉伸模量 / GPa	断裂拉伸应变 / %	弯曲强度 / MPa	弯曲模量 / GPa	断裂弯曲应变 / %
17	34.4	8.02	0.66	51.5	9.10	0.73
27	32.5	6.74	0.91	50.4	7.79	0.93
37	30.5	6.53	0.77	49.0	8.01	0.86
74	27.9	6.48	0.80	44.3	7.35	0.87
148	25.1	6.83	0.54	43.0	7.12	0.86

从表 3 可以看出, 随着 FG 的粒径逐渐增大, 复合材料的拉伸强度与弯曲强度都在逐渐减小。当 FG 的粒径为 17 μm 时, 复合材料的拉伸强度为 34.4 MPa、拉伸弹性模量为 8.02 GPa、弯曲强度为 51.5 MPa、弯曲弹性模量为 9.10 GPa; FG 的粒径为 148 μm 时, 其拉伸强度下降到 25.1 MPa, 拉伸弹性模量下降到 6.83 GPa, 弯曲强度下降到 43.0 MPa, 弯曲弹性模量下降到 7.12 GPa。其原因可能是: 与大粒径的 FG 相比, 小粒径的 FG 具有更大的比表面积, 与 PP 混合得更加均匀, 模压冷却后产生的内应力小, 在承受应力时不易产生裂纹; 相反, 粒径大的 FG 与 PP 之间难以混合均匀, 容易出现较大的空穴、裂隙等缺陷, 在承受应力时就容易产生裂纹导致材料断裂, 降低材料的力学性能。另外由于 PP 与 FG 的膨胀系数不同, 在试样的冷却过程中, 两者的界面容易分离, FG 粒径越大, 分离越明显, 产生的内应力也越大, 从而降低了材料的力学性能。

对 50% FG 含量,使用不同粒径 FG 制得复合材料的形貌进行了观察,见图 2 所示。



FG 粒径: a—17 μm ; b—148 μm

图 2 不同粒径 FG 制备复合材料的 SEM 照片

由图 2 可以看出,17 μm FG 制备的试样断面比 148 μm FG 制得试样的断面更加规整。这说明与小粒径的 FG 相比,大粒径的 FG 更难与 PP 混合均匀,受力时两者的界面容易分离,导致复合材料的力学性能较差。

2.4 FG 含量对 PP/FG 复合材料性能的影响

为了考察 FG 的含量对 PP/FG 复合材料性能的影响,固定 FG 的粒径为 17 μm , KH-550 用量为石墨含量的 1%,制备 FG 含量不同的复合材料,实验结果如图 3、图 4 所示。

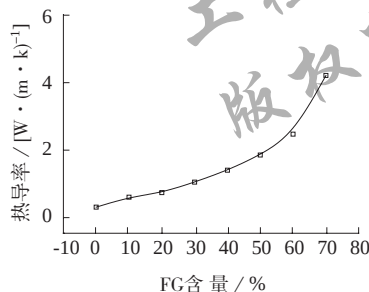
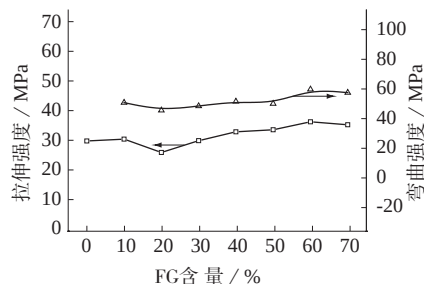
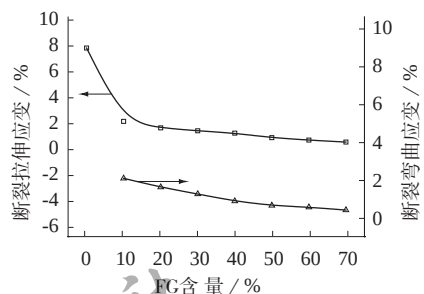


图 3 不同 FG 含量时复合材料热导率

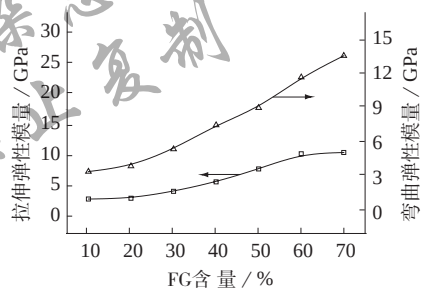
实验发现,FG 的填充量对 PP/FG 复合材料的热导率有着显著的影响。由图 3 可知,随着 FG 含量的增加,复合材料的热导率也随之增大;纯 PP 的热导率是 0.188 W/(m · K),当 FG 含量为 70% 时,复合材料的热导率达到了 4.16 W/(m · K),是纯 PP 的 22.1 倍。在 FG 含量低于 50% 时,复合材料的热导率随着 FG 含量的增加提高较慢,因为此时复合材料中的连续相是 PP,难以形成较为完整的导热网络,材料热阻很大;随着 FG 含量超过 50% 后,复合材料中的连续相由 PP 转变为 FG,使 FG 之间互相搭接机会大大增加,在复合材料中容易构建更加完整的导热网络,使热导率急剧增大。



(a)



(b)



(c)

a—强度; b—断裂应变; c—弹性模量

图 4 不同 FG 含量时复合材料力学性能

由图 4a 可知,随着 FG 含量的增加,拉伸强度先降低后升高,弯曲强度也总体呈现相似的趋势。当 FG 含量为 20% 时,复合材料的拉伸强度和弯曲强度分别下降到最小的 26.7 MPa 和 47.0 MPa;之后随着 FG 含量的增多,拉伸强度和弯曲强度随之增大,当 FG 含量为 60% 时,拉伸强度达到了 37.1 MPa,弯曲强度达到了 61.2 MPa。图 4b 显示断裂拉伸应变与断裂弯曲应变都随着 FG 含量的增加而减小。填充 10%FG 时,断裂拉伸应变为 1.92%,断裂弯曲应变为 2.15%;当 FG 含量增加到 70% 时,断裂拉伸应变下降到 0.32%,断裂弯曲应变下降到 0.49%。图 4c 显示复合材料的拉伸弹性模量和弯曲弹性模量都随着 FG 含量的增加而明显增大。原因主要是当 FG 含量较低时,复合材料中 FG 的分散浓度过低,此时 PP 基体承受了大部分的应力,复合材料能够吸收的塑性形变能很小;另一方

面,较少的FG含量还会使复合材料产生缺陷,在受到外力时更容易断裂;但是随着FG含量的增加,根据刚性粒子增强效应,FG作为刚性无机粒子可能产生增强的效果,使复合材料具有更好的力学性能。

3 结论

(1) 使用粒径 $17\ \mu\text{m}$ 的FG,在添加70%FG, KH-550为FG含量的1%的条件下,通过开炼机混炼、模压制备的PP/FG导热复合材料的热导率为 $4.16\ \text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$,拉伸强度 $36.1\ \text{MPa}$,拉伸弹性模量 $10.7\ \text{GPa}$,弯曲强度 $59.0\ \text{MPa}$,弯曲弹性模量 $13.72\ \text{GPa}$ 。

(2) 使用偶联剂可以提高复合材料的力学性能,但对热导率有一定的影响。用1%KH550处理FG制备的复合材料具有较好力学性能。较大粒径的FG更容易形成完整的导热网络,使热导率提高,但随着FG粒径的增大,复合材料的力学性能相应下降。

(3) 随着FG含量的增大,复合材料的热导率随之增大,拉伸强度和弯曲强度先降低后升高,在20%FG含量时降到最低;拉伸弹性模量和弯曲弹性模量都随着FG含量的增大而增大,断裂拉伸应变和断裂弯曲应变相应减小。

参考文献

- [1] 张陆旻. 导热高分子复合材料的制备、性能与应用[D]. 上海: 华东理工大学, 2010.
Zhang Luwen. Manufacturing, property and application of thermal conductive polymer composites[D]. Shanghai: East China University of Science and Technology, 2010.
- [2] Hauser R A, King J A, Pagel R M, et al. Effects of carbon fillers on the thermal conductivity of highly filled liquid-crystal polymer based resins[J]. Journal of Applied Polymer Science, 2008, 109(4): 2145–2155.
- [3] 刘宗浩. 用于 PEMFC 的石墨/聚合物复合材料双极板研究[D]. 天津: 天津大学, 2005.
Liu Zonghao. A study on the graphite/polymer composite bipolar plates in PEMFC[D]. Tianjin: Tianjin University, 2005.
- [4] Panwar V, Park J O, Park S H, et al. Electrical, dielectric, and electromagnetic shielding properties of polypropylene-graphite composites[J]. Journal of Applied Polymer Science, 2010, 115(3): 1306–1314.
- [5] Donnay M, Tzavalas S, Logakis E. Boron nitride filled epoxy with improved thermal conductivity and dielectric breakdown strength[J]. Composites Science and Technology, 2015, 110: 152–158.
- [6] Jung J, Kim J, Uhm Y R, et al. Preparations and thermal properties of micro- and nano-BN dispersed HDPE composites[J]. Thermochimica Acta, 2010, 499(S1–2): 8–14.
- [7] 李璟, 欧保全, 焦立才, 等. 复配填料含量对尼龙6导热复合材料性能的影响[J]. 工程塑料应用, 2015, 43(9): 134–137.
Li Jing, Ou Baoquan, Jiao Licai, et al. Effects of compound filler contents on properties of polyamide 6 thermally conductive composites[J]. Engineering Plastics Application, 2015, 43(9): 134–137.
- [8] Zhou Wenying, Qi Shuhua, Li Haidong, et al. Study on insulating thermal conductive BN/HDPE composites[J]. Thermochimica Acta, 2007, 452(1): 36–42.
- [9] Zhao Jiang, Ouyang Ting, Yang Yang, et al. Thermal conductivity enhancement of phase change materials with form-stable carbon bonded carbon fiber network[J]. Materials & Design, 2018, 143: 177–184.
- [10] 洪玉琢, 朱健, 冯正明, 等. PBT/CF导热复合材料的制备与研究[J]. 工程塑料应用, 2015, 43(4): 92–97.
Hong Yuzhuo, Zhu Jian, Feng Zhengming, et al. Preparation and research of thermally conductive PBT/CF composites[J]. Engineering Plastics Application, 2015, 43(4): 92–97.
- [11] Uetani K, Ata S, Tomonoh S, et al. Elastomeric thermal interface materials with high through-plane thermal conductivity from carbon fiber fillers vertically aligned by electrostatic flocking[J]. Advanced Materials, 2014, 26(33): 5857–5862.
- [12] Ding Peng, Su Shuangshuang, Song Na, et al. Highly thermal conductive composites with polyamide-6 covalently-grafted graphene by an in situ polymerization and thermal reduction process[J]. Carbon, 2014, 66(3): 576–584.
- [13] 马良, 陈楷炫, 莫冬传, 等. 石墨烯导热高分子复合材料的制备、性能与机理[J]. 化工学报, 2017, 68(S1): 18–25.
Ma Liang, Chen Kaixuan, Mo Dongchuan, et al. Preparation, properties and mechanism of thermal conductive graphene/polymer composites[J]. CIESC Journal, 2017, 68(S1): 18–25.
- [14] Marcéo A. Milani, Quijada R, Basso N R S, et al. Influence of the graphite type on the synthesis of polypropylene/graphene nanocomposites[J]. Journal of Polymer Science, Part A: Polymer Chemistry, 2012, 50(17): 3598–3605.
- [15] 潘世濠, 代培刚, 陈英杰, 等. 氮化铝/尼龙6复合材料导热性能的研究[J]. 广州化工, 2015, 43(11): 83–84+108.
Pan Shihao, Dai Peigang, Chen Yingjie, et al. Research on thermal conduction performance of AlN/PA6 composite material[J]. Guangzhou Chemical Industry, 2015, 43(11): 83–84+108.
- [16] Hou Xiao, Chen Yapeng, Dai Wen, et al. Highly thermal conductive polymer composites via constructing micro-phragmites communis structured carbon fibers[J]. Chemical Engineering Journal, 2019, 375.
- [17] 周慧, 陈晓松, 唐惠东. 聚甲基丙烯酸甲酯/石墨烯导热复合材料的制备及性能研究[J]. 塑料科技, 2017, 45(7): 53–57.

玻纤增强 PA612 复合材料的表现,降低了其对模温的依赖,改善产品的成型性。其次,通过研究不同含量 PE-HD-g-MAH 共混改性 PA612,我们发现共混改性后的产品拉伸强度有小幅度的下降(6%),但是缺口冲击有上升。结果表明,PE-HD-g-MAH 在 PA612 树脂中分散较好,对其有一定程度的增韧效果。最后,通过比较不同含量 PE-HD-g-MAH 的样品的饱和吸水率和尺寸变化率,结果发现 PE-HD-g-MAH 共混改性 PA612 可以有效降低其吸水率,提高 PA612 的尺寸稳定性,拓宽了其在电子电器等方面的应用。

参考文献

- [1] 罗河胜. 塑料材料手册[M]. 广州: 广东科技出版社, 2019.
Luo Hesheng. Plastics material handbook[M]. Guangzhou: Guangdong Science and Technology Press, 2019.
- [2] 邓如生, 魏远方, 陈步宁. 聚酰胺树脂及其应用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2002.
Deng Rusheng, Wei Yuanfang, Chen Buning. Polyamid resin and its application[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2002.
- [3] 李晖, 魏莉萍, 王湘明, 等. 吸水率对尼龙 66 力学性能的影响研究[J]. 工程塑料应用, 2008(8):64-67.
Li Hui, Wei Liping, Wang Xiangming, et al. Investigation on the influence of water absorption to the mechanical properties of nylon66 materials[J]. Engineering Plastics Application, 2008(8):64-67.
- [4] 周雷. PA66 产品尺寸稳定性的影响因素[J]. 工程塑料应用, 2019, 47(1):126-131.
Zhou Lei. Influencing factors on dimensional stability of PA66 products[J]. Engineering Plastics Application, 2019, 47(1):126-131.
- [5] 伦瑞欣. 生物基长碳链尼龙纤维的制备及结构性能研究[D]. 上海: 东华大学, 2016.
Lun Ruixin. Preparation and structural properties of bio-based long carbon chain nylon fibers[D]. Shanghai: Dongnhua University, 2016.
- [6] 王玉东, 付鹏, 李晓光, 等. 尼龙 612 等温结晶的球晶形态与生成条件[J]. 高分子材料科学与工程, 2009, 25(9):72-75.
Wang Yudong, Fu Peng, Li Xiaoguang, et al. The spherulitic morphology of nylon 612 and its formation conditions in isothermal crystallization[J]. Polymer Material Science and Engineering, 2009, 25(9):72-75.
- [7] 刘建伟, 王召青, 田国锋, 等. 增韧尼龙 612 / 尼龙 6 合金的性能[J]. 工程塑料应用, 2019, 47(1):15-19.
Liu Jianwei, Wang Zhaoqing, Tian Guofeng, et al. Performance of toughened PA612 / PA6 alloys[J]. Engineering Plastics Application, 2019, 47(1):15-19.
- [8] 陈宏伟, 全丹丹, 林志勇. 熔融条件对尼龙 612TPU 共混物中尼龙结晶行为的影响[J]. 化学工程与装备, 2010(8):34-36.
Chen Hongwei, Tong Dandan, Lin Zhiyong. Effect of melting conditions on crystallization behavior of nylon in nylon 612TPU blends[J]. Chemical Engineering & Equipment, 2010(8):34-36.
- [9] 产文涛, 曲希明, 俞昊, 等. 尼龙 612 及其共聚物流变性能的研究[J]. 合成纤维工业, 2019, 42(4):52-55.
Chan Wentao, Qu Ximing, Yu Hao, et al. Rheological behavior of nylon 612 and its copolymer[J]. China Synthetic Fiber Industry, 2019, 42(4):52-55.
- [10] Garcia D, Starkweather H W. Hydrogen bonding in nylon 66 and model compounds[J]. Journal of Polymer Science Part B: Polymer Physics, 2010, 23(3):213-230.
- [11] 张艳萍, 王军平, 刘凤山, 等. PA66 的结晶度及影响因素研究[J]. 工程塑料应用, 2012, 40(6):54-57.
Zhang Yanping, Wang Junping, Liu Fengshan, et al. Study on influential elements of the measurement to the crystallinity of PA66[J]. Engineering Plastics Application, 2012, 40(6):54-57.
- [12] Li Hongbo, Wu Jiawei, Huang Yaqiong, et al. Properties of polyamide 612 poly(vinyl alcohol) blends and their impact on free volume and oxygen barrier properties[J]. Journal of Polymer Research, 2018, 25(9):195.
- [13] 刘冰肖, 胡国胜, 张静婷, 等. 半芳香族共聚酰胺 10T 和 10T / 106 的非等温结晶动力学分析[J]. 塑料工业, 2019(4):110-114.
Liu Bingxiao, Hu Guosheng, Zhang Jingting, et al. Non-isothermal crystallization kinetics analysis of semi-aromatic copolyamides 10T and 10T / 106[J]. China Plastics Industry, 2019(4):110-114.
- [14] 曾鹏, 朱晓岗, 杨杰, 等. Jeziorny 法分析尼龙 MXD6 非等温结晶行为[J]. 科技视界, 2017, 29:43-44.
Zeng Peng, Zhu Xiaogang, Yang Jie, et al. Jeziorny method to analyze the non-isothermal crystallization behavior of nylon MXD6[J]. Science & Technology Vision, 2017, 29:43-44.
- [15] Zane Zelca1, Silvija Kukle, Janis Kajaks. Water absorption and tensile properties of hemp waste and polyethylene composites[J]. Materials Science and Engineering, 2019, 500:012 003.
- [16] 周慧, 陈 Xiaosong, Tang Huidong. Research on preparation and properties of PMMA / GR thermal conductivity composites[J]. Plastics Science And Technology, 2017, 45(7):53-57.
- [17] 吴佳玮, 吉鑫雨, 杨金帝, 等. 高热导率聚丙烯 / 石墨复合材料的制备与性能[J]. 工程塑料应用, 2016, 44(8):36-40.
Wu Jiawei, Ji Xinyu, Yang Jindi, et al. Preparation and properties of polypropylene / graphite composites with high thermal conductivity[J]. Engineering Plastics Application, 2016, 44(8):36-40.
- [18] 燕莎. 聚合物基导热复合材料的制备和性能研究[D]. 北京: 北京化工大学, 2012.
Yan Sha. Preparation and properties of polypropylene-based thermal conductive composites[D]. Beijing: Beijing University of Chemical Technology, 2012.