

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2021.10.010

低密度聚酰胺/PP 复合材料制备与性能

徐显骏^{1,2}, 杨硕^{1,2}, 叶少勇^{1,2}, 龙杰明^{1,2}, 麦杰鸿^{1,2}, 姜苏俊^{1,2}, 曹民^{1,2}

(1. 金发科技股份有限公司, 广东省特种工程塑料重点实验室, 广州 510663; 2. 珠海万通特种工程塑料有限公司, 广东珠海 519050)

摘要: 为了获得性能优异的轻量化材料, 通过熔融加工的方式将低密度聚酰胺 (PA1010) 和聚丙烯 (PP) 制备成合金, 研究了 PP 含量对 PA1010/PP 合金的结晶行为和力学性能的影响。通过加入空心玻璃微珠 (HGM) 制备了 PA1010/PP/HGM 复合材料。该复合材料的密度降低, 同时研究了马来酸酐接枝聚丙烯 (PP-g-MAH) 对 HGM 和基体界面相互作用的影响。差示扫描量热测试结果显示, PP 的引入抑制了 PA1010 的结晶, 而率先结晶的 PA1010 的异相成核作用促进了 PP 的结晶, 提高了 PP 的结晶温度和结晶度。力学性能测试结果显示, 当 PP 质量分数为 30% 时, 合金的缺口冲击强度为 13 kJ/m²; 而加入质量分数为 15% 的 HGM 后复合材料的缺口冲击强度降低至 2.7 kJ/m²。显微观察发现当 PP 质量分数为 30% 时, PA1010/PP 复合材料形成了特殊的相结构, 从而导致复合材料具有较高的缺口冲击强度; 但是由于 HGM 与基体树脂的界面结合较差, PA1010/PP/HGM 复合材料的冲击性能急剧降低。通过在 PA1010/PP/HGM 中引入 PP-g-MAH 来增加 HGM 与基体树脂的界面结合作用, PA1010/PP/HGM 复合材料的缺口冲击强度提高了 133%, 密度降低至 0.84 g/cm³, 获得了低密度、力学性能优异的轻量化复合材料。

关键词: 聚酰胺; 聚丙烯; 空心玻璃微珠; 低密度; 结晶; 力学性能

中图分类号: TQ324.8 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2021)10-0050-06

Preparation and Properties of Low Density Polyamide/PP Composites

Xu Xianjun^{1,2}, Yang Shuo^{1,2}, Ye Shaoyong^{1,2}, Long Jieming^{1,2}, Mai Jiehong^{1,2}, Jiang Sujun^{1,2}, Cao Min^{1,2}

(1. Guangdong Key Laboratory for Specialty Engineering Plastics, Kingfa Science and Technology Co., Ltd., Guangzhou 510663, China; 2. Zhuhai Vantec Specialty Engineering Plastics Co., Ltd., Zhuhai 519050, China)

Abstract: Low density polyamide (PA1010) and polypropylene (PP) alloy were prepared by melting process to obtain light-weight materials. The effects of PP content on the crystallization behavior and mechanical properties of the materials were investigated. Furthermore, PA1010/PP/HGM composites were prepared to reduce the density of the composites by adding hollow glass microspheres (HGM). The effects of maleic anhydride grafting polypropylene (PP-g-MAH) on the interaction between HGM and matrix were studied. Dynamic scanning calorimetry (DSC) test results show that PP inhibited the crystallization of PA1010, while the crystallization temperature and crystallinity of PP are increased, because the crystalline grain of PA1010 promoted the crystallization of PP via a process of heterogenous nucleation. The mechanical testing results show that the alloy is achieved with notched impact strength of 13 kJ/m² when PP content is 30%. When HGM with mass fraction of 15% is added, the notch impact strength of PA1010/PP/HGM composite is decreased to 2.7 kJ/m². Further microscopic observation show that special phase structures are formed when the PP content reaches 30%, which leads to good impact strength of the composite. The poor interface bonding between HGM and matrix resins causes the impact strength of PA1010/PP composite decreases sharply. PP-g-MAH is introduced into PA1010/PP/HGM to increase the interfacial bonding between HGM and matrix resin, the notch impact strength of the PA1010/PP/PP-g-MAH/HGM composites increases by 133%, and the density reduces to 0.84 g/cm³ by introducing PP-g-MAH, light-weight composites with low density and excellent mechanical properties are obtained.

Keywords: polyamide; polypropylene; hollow glass microspheres; low density; crystallization; mechanical property

通信作者: 杨硕, 博士, 高级工程师, 主要从事特种工程塑料研发及产品应用开发工作

收稿日期: 2021-07-15

引用格式: 徐显骏, 杨硕, 叶少勇, 等. 低密度聚酰胺/PP 复合材料制备与性能 [J]. 工程塑料应用, 2021, 49(10): 50-55.

Xu Xianjun, Yang Shuo, Ye Shaoyong, et al. Preparation and properties of low density polyamide/PP composites[J]. Engineering Plastics Application, 2021, 49(10): 50-55.

聚酰胺 (PA) 是重要的工程塑料,广泛应用于汽车、电子电气、轨道交通、建筑和军工等行业。美国杜邦公司第一次实现了 PA66^[1] 的商业化,随后又出现了 PA6^[2], PA610^[3], PA1010^[4], PA11^[5], PA12^[6], PA1212^[7] 等脂肪族 PA 品种,以及半芳香族 PA 如 PA10T^[8] 等。在众多的 PA 种类中,长碳链 PA1010 等具有较低的密度,密度可低至 1.02 g/cm³。聚丙烯 (PP) 是产量最大的一类通用塑料,和其它通用塑料相比具有较好的综合性能,是最有希望工程化的通用塑料。另外,PP 具有低密度的特性,密度低至 0.92 g/cm³。在保证使用力学性能的需求下,将长链 PA 和 PP 复合制备合金是材料低密度化的重要方法^[9-11]。但是,PA 与 PP 相容性很差,为了制备性能优良的 PA/PP 合金,需要解决 PP 在 PA 树脂中的分散及界面相容性等关键问题。目前,已有大量的研究报道 PA1010/PP 合金相关研究工作^[4,11-13],通过加入具有反应性官能团的增容剂与 PA 和 PP 共混,实现 PA 与 PP 相容性共混。笔者考察了不同比例的 PA1010/PP 合金的相容性及力学性能,通过引入空心玻璃微珠 (HGM) 进一步降低合金的密度,同时研究了马来酸酐接枝聚丙烯 (PP-g-MAH) 对合金体系的相形态和力学性能的影响。所制备的 PA1010/PP 合金具有较好的力学性能和低密度的特性,为电子电器轻量化框架材料提供了解决方案。

1 实验部分

1.1 主要原材料

PA1010: 熔体流动速率 (MFR) 为 20 g/10 min (260℃/2.16 kg), 山东东辰瑞森新材料科技有限公司;

PP: PP M60T, MFR 为 61 g/10 min (230℃/2.16 kg), 中国石油化工股份有限公司镇海炼化分公司;

HGM: IM16K, 明尼苏达矿务及制造业公司;

PP-g-MAH: BOND YRAM 1001CN, 以色列普利朗塑料工业有限公司。

1.2 仪器及设备

双螺杆挤出机: TES-40A 型, 南京瑞亚佛斯特高聚物装备有限公司;

注塑机: HTF86/TJ 型, 宁波海天塑机集团有限公司;

万能材料试验机: BT2-FR020TEW FR020TEW-A50 型, 德国 Zwick 公司;

差示扫描量热 (DSC) 仪: DSC 209F3 型, 德国

耐驰公司;

扫描电子显微镜 (SEM): JSM-6700 型, 日本 JEOL 公司;

多功能固体密度测试仪: QL-600E 型, 中国台湾省玛芝哈克公司。

1.3 样品制备

为了考察不同比例的 PA1010/PP 合金的性能, 将 PA1010 和 PP 树脂按照一定质量分数在高速混合机中混合均匀, 投入双螺杆挤出机中熔融共混, 熔体经圆形口模挤出成条, 进入水槽冷却后经切粒机造粒得到 PA1010/PP 合金材料颗粒。其中, 挤出螺杆转速为 300 r/min, 加工温度为 200~240℃。用以上步骤制得 PA1010/PP 合金, 后将混合料投入双螺杆挤出机中的主喂料口中, HGM 通过侧喂料机喂料, 经熔融共混后, 冷却造粒得到 PA1010/PP/HGM 复合材料颗粒。将 PP-g-MAH, PA1010 和 PP 按比例在高速混合机中混合均匀, 后将混合料投入双螺杆挤出机中主喂料口中, HGM 通过侧喂料机喂料, 经熔融共混后, 冷却造粒后得到 PA1010/PP/PP-g-MAH/HGM 复合材料颗粒。各个复合材料的配方见表 1。粒料经过注塑机在 210~250℃ 依据 ISO 标准注塑成样条用于力学性能测试。

表 1 PA1010/PP 合金及复合材料的配方组成 %

样品	样品编号						
	1 [#]	2 [#]	3 [#]	4 [#]	5 [#]	6 [#]	7 [#]
PA1010	90	80	70	60	66.5	59.5	56
PP	10	20	30	40	28.5	25.5	24
HGM					5	15	15
PP-g-MAH							5

1.4 性能测试与表征

拉伸性能按照 ISO 527-1-2012 测试, 拉伸速率为 10 mm/min;

冲击性能按照 ISO 180-2000 测试, 冲击速率为 2 mm/min;

弯曲性能按照 ISO 178-2010 测试, 弯曲速率为 2 mm/min;

密度按照 ISO 1183-1-2012 测试;

DSC 分析: 氮气气氛, 流速为 50 mL/min, 样品先升温至 280℃, 恒温 5 min, 然后冷却至 30℃, 再升温至 280℃, 升、降温速率均为 10℃/min;

SEM 测试: 使用冲击样条断面作为 SEM 观察的样品, 样品喷金后进行观察, 加速电压为 5 kV。

2 结果与讨论

2.1 PA1010/PP 合金的结晶行为

为了考察 PA1010/PP 合金的结晶性能, 分别

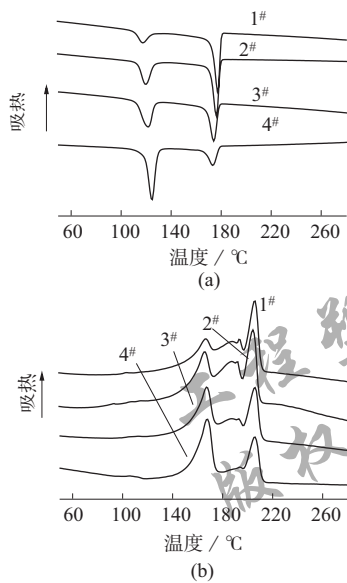
制备了PP质量分数为10%,20%,30%和40%的PA1010/PP合金材料。图1是PA1010/PP合金的DSC曲线,曲线计算的熔融和结晶数据见表2。其中PA1010和PP的结晶度(X_c)按照式(1)进行计算:

$$X_c = \frac{\Delta H_m}{\lambda \Delta H_m^0} \times 100\% \quad (1)$$

式中: λ ——共混物中聚合物的质量分数;

ΔH_m ——共混物中聚合物的熔融焓;

ΔH_m^0 ——聚合物完全结晶熔融焓,其中,PA1010的 $H_m^0=244\text{ J/g}^{[14]}$,PP的 $\Delta H_m^0=209\text{ J/g}^{[15]}$ 。



a—降温曲线;b—第二次升温曲线

图1 PA1010/PP合金材料的DSC曲线

表2 PA1010/PP合金材料DSC曲线数据

试样编号	PA1010				PP		
	$T_{m1}/^{\circ}\text{C}$	$T_{m2}/^{\circ}\text{C}$	$T_c/^{\circ}\text{C}$	$X_c/\%$	$T_{m1}/^{\circ}\text{C}$	$T_c/^{\circ}\text{C}$	$X_c/\%$
1 [#]	193.4	205.6	177.3	16.9	166.2	117.2	32.7
2 [#]	191.7	204.0	176.1	15.7	165.9	119.7	33.8
3 [#]	186.8	205.6	174.0	15.2	167.3	121.6	36.6
4 [#]	-	205.6	173.2	14.2	167.7	124.6	39.4

注: T_{m1} 为低温熔融峰的峰值温度; T_{m2} 为高温熔融峰的峰值温度; T_c 为材料的结晶温度。

结合图1a和表2的数据可以看出,随着PA1010/PP合金中的PP含量的增加,PA1010的结晶温度逐渐降低,而PP的结晶温度逐渐升高。对比结晶度数据可以看出,随着PP含量的增加,PA1010的结晶度逐渐降低,PP的结晶度逐渐升高。这说明,PP的引入抑制了PA1010的结晶,从而导致PA1010的结晶温度降低,材料需要较大的过冷

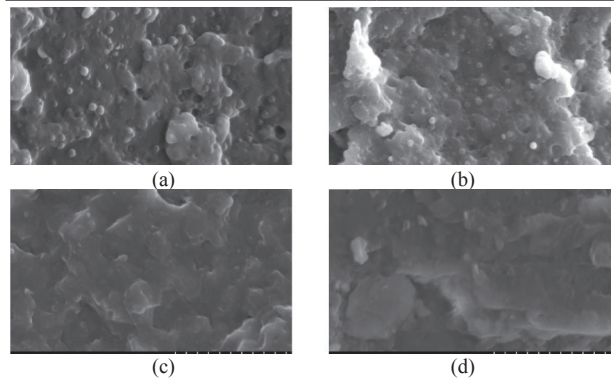
度才能完成结晶,同时结晶度降低。不同的是,率先结晶的PA1010对PP起到了异相成核的作用,导致PP的结晶温度逐渐增加,结晶度也逐渐增加。从图1b的升温曲线可以看出,PA1010出现了熔融双峰,低温峰是在缓慢冷却过程中率先形成的初级晶体的熔融峰,由于结晶不够完善,晶片厚度薄而导致熔点较低;高温峰是PA1010正常结晶形成的完善晶体的熔融峰。随着PP含量的增加,PA1010的熔融峰面积逐渐降低,低温熔融峰逐渐消失,结晶被抑制;同时,PP的熔融峰面积逐渐增加;两种树脂的熔融峰位置并未发生明显变化。

2.2 PA1010/PP合金材料的力学性能和微观形态

分别对PP质量分数为10%,20%,30%和40%的PA1010/PP合金材料进行力学性能测试,测试结果见表3。由表3可看出,随着PP含量的增加,合金材料的拉伸强度和弯曲强度逐渐降低,拉伸强度从46 MPa降低至42 MPa,弯曲强度从63 MPa降低至59 MPa,这是由于PP的初始强度较低,与PA1010混合后降低了合金材料的强度。当PP的质量分数为30%时,合金材料的缺口冲击强度达到了13 kJ/m²,而当PP质量分数为10%,20%和40%时,合金材料的缺口冲击强度较低,均小于6 kJ/m²。为了进一步分析导致合金材料力学性能发生突变的原因,笔者对PA1010/PP合金材料的缺口冲击断面的微观形貌进行了分析,SEM测试结果如图2所示。

表3 PA1010/PP合金材料的力学性能

项目	试样编号			
	1 [#]	2 [#]	3 [#]	4 [#]
拉伸强度/MPa	46	45	45	42
弯曲强度/MPa	63	64	62	59
弯曲弹性模量/MPa	1 620	1 697	1 682	1 659
悬臂梁缺口冲击强度/(kJ·m ⁻²)	5.8	4.9	13	4.3
密度/(g·cm ⁻³)	1.02	1.01	0.99	0.98



PP质量分数:a—10%;b—20%;c—30%;d—40%

图2 PA1010/PP合金材料的微观SEM照片

由图2可以看出,当PP质量分数为10%时,PP在PA1010基体中呈现出典型的“海岛”结构,PP分散相尺寸在 $8\sim 10\ \mu\text{m}$ 左右。随着PP含量的增加,当PP质量分数为20%时,合金材料依然呈现典型的“海岛”结构,PP分散相尺寸 $6\sim 8\ \mu\text{m}$ 左右,有进一步缩小的趋势。当PP质量分数为30%时,球状的PP分散相消失,两相间呈现出类似“双连续”结构的“相中有相”结构^[16]。而当PP质量分数增加到40%时,球状的PP分散相重新出现,而且PP分散相的尺寸明显大于 $10\ \mu\text{m}$,是由于PP和PA1010之间的相容性较差,PP相在高含量下难以有效分散导致的。

由表3和图2还可以看出,当PP质量分数为30%时,合金材料的微观形态呈现出“相中有相”的结构,而且合金材料的缺口冲击性能较高,综合性能最好;因此,在下面的研究中均采用PP质量分数为30%的PA1010/PP合金作为树脂基体。

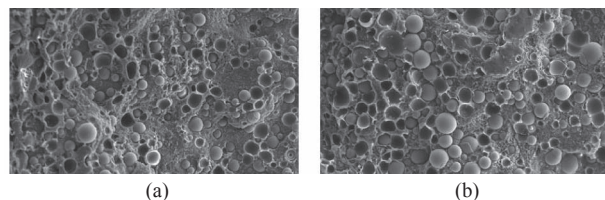
2.3 PA1010/PP/HGM复合材料的性能

在PP质量分数为30%的PA1010/PP树脂基体中引入HGM,降低复合材料的密度。表4为当HGM质量分数为5%和15%时复合材料的力学性能。添加5%的HGM时,复合材料的密度降低至 $0.95\ \text{g}/\text{cm}^3$;当HGM质量分数增至15%,复合材料的密度降低至 $0.87\ \text{g}/\text{cm}^3$,HGM显著降低了复合材料的密度。但对比表4和表3中PP质量分数为30%的数据可看出,在复合材料中引入HGM显著降低了复合材料的缺口冲击强度,由 $13\ \text{kJ}/\text{m}^2$ 降低至 $3\ \text{kJ}/\text{m}^2$ 以下,材料丧失了实际使用价值。

表4 PA1010/PP/HGM复合材料的力学性能

项目	试样编号	
	5 [#]	6 [#]
拉伸强度/MPa	45	39
弯曲强度/MPa	63	60
弯曲弹性模量/MPa	1 779	1 972
悬臂梁缺口冲击强度/($\text{kJ}\cdot\text{m}^{-2}$)	2.9	2.7
密度/($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	0.95	0.87

图3为PA1010/PP/HGM复合材料的微观形貌SEM照片。由图3可看出,不管HGM质量分数是5%还是15%,HGM在树脂基体中的分散效果较好,没有明显的团聚和“破珠”。但从图3可以看出,复合材料断裂过程中被拔出的HGM留下的大量孔洞;残留表面的HGM表面比较光滑,和树脂基体之间有明显的界面剥离。这说明,HGM和树脂基体的相容性较差,界面结合作用差。在受到外力作用下,HGM容易从树脂基体中脱出剥离,从而成



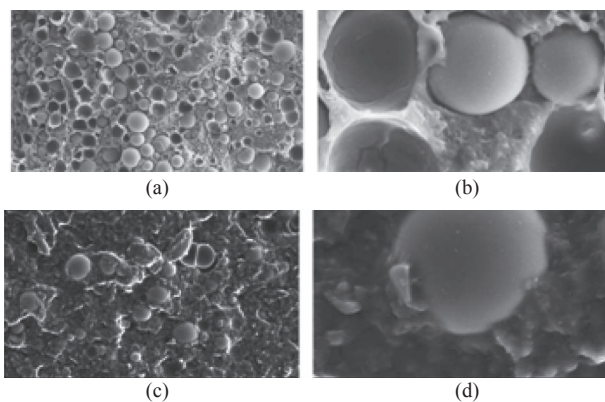
HGM质量分数: a—5%; b—15%

图3 PA1010/PP/HGM复合材料的微观形貌SEM照片

为缺陷点,导致复合材料在较低的应力下就会发生断裂,复合材料的缺口冲击强度骤降。

2.4 PP-g-MAH对PA1010/PP/HGM复合材料性能的影响

为了增加HGM与PA1010/PP树脂基体之间的界面结合,在PA1010/PP/HGM复合材料中添加了质量分数为5%的PP-g-MAH,研究了PP-g-MAH对PA1010/PP/HGM复合材料性能的影响。图4是PP-g-MAH质量分数为0%,5%的PA1010/PP/HGM复合材料的缺口冲击断面的SEM微观照片。由图4可以看出,在未添加PP-g-MAH时,材料表面可以观察到大量裸露的HGM以及大量的HGM拔出留下的孔洞,且从图4b可以明显看出HGM与基体树脂出现界面剥离,界面结合差,相容性差;这与图2的分析结果是一致的。而当体系中引入PP-g-MAH之后(见图4c和图4d),大部分HGM都被树脂基体包埋,仅有少量的孔洞和裸露在外的HGM;从放大的图像中可以看出,即使是裸露在外的HGM表面也有大量的树脂包裹,这说明HGM与基体的界面结合较好。



PP-g-MAH质量分数: a—0%(放大400倍); b—0%(放大3000倍); c—5%(放大400倍); d—5%(放大3000倍)

图4 未加入与加入PP-g-MAH的PA1010/PP/HGM复合材料微观形貌SEM照片

添加了PP-g-MAH的复合材料的力学性能列于表5。由表5可以看出,由于添加的PP-g-MAH增加了HGM与树脂基体的界面结合作用,复合材

料的缺口冲击强度由 2.7 kJ/m^2 增加至 6.3 kJ/m^2 ,提升了 133%。同时,较好的填料/基体界面结合作用,也使得复合材料的拉伸强度、弯曲强度和弯曲弹性模量略微增加。更重要的是,较好的界面结合使得 HGM 可以在双螺杆挤出和注塑过程中被树脂更好包裹保护,从而降低了 HGM “破珠”的比例,复合材料的密度也从 0.87 g/cm^3 降低至 0.84 g/cm^3 。综上所述,PA1010/PP/HGM/PP-g-MAH 复合材料具有较低的密度、较好的刚性和韧性,可以作为低密度的结构框架材料应用在电子电器领域,进一步拓宽了 PA/PP 合金的应用范围。

表 5 PA1010/PP/HGM/PP-g-MAH 复合材料的力学性能

项目	7# 试样
拉伸强度 /MPa	42
弯曲强度 /MPa	65
弯曲弹性模量 /MPa	2053
悬臂梁缺口冲击强度 /($\text{kJ} \cdot \text{m}^{-2}$)	6.3
密度 /($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	0.84

3 结论

通过制备不同 PP 含量的 PA1010/PP 合金材料,研究了 PP 含量对 PA1010/PP 合金结晶行为和力学性能的影响;通过加入 HGM 来降低 PA1010/PP 复合材料的密度,分析了导致复合材料的缺口冲击强度骤降的原因。最后,通过在复合材料中加入 PP-g-MAH,增加了 HGM 与树脂体系的界面结合,获得了力学性能优异且密度更低的 PA1010/PP 复合材料。结论如下:

(1) 在 PA1010/PP 合金中,PP 的加入阻碍 PA1010 的结晶从而导致 PA1010 的结晶温度和结晶度同时降低;而率先结晶的 PA1010 为 PP 提供了异相成核点,PP 的结晶温度和结晶度同时升高。

(2) 当 PP 质量分数为 30% 时,PP 分散相尺寸的进一步细化使得复合材料形成“相中有相”的微观结构,复合材料具有较高的缺口冲击强度。

(3) HGM 可以显著降低复合材料的密度。当 HGM 质量分数为 15% 时,PA1010/PP/HGM 复合材料的密度降低至 0.87 g/cm^3 ;但是由于 HGM 与树脂基体的界面结合较差,复合材料的缺口冲击强度降为 2.7 kJ/m^2 。

(4) PP-g-MAH 显著提升了 HGM 与树脂基体的界面结合作用,当 PP-g-MAH 质量分数为 5%,HGM 质量分数为 15% 时 PA1010/PP/HGM/PP-g-MAH 复合材料的缺口冲击强度提升了 133%,同时密度降低至 0.84 g/cm^3 ,具有优异的综合性能。

参考文献

- [1] Hao Xiangyang, Gai Guosheng, Lu Fangyun, et al. Dynamic mechanical properties of whisker / PA66 composites at high strain rates[J]. Polymer, 2005, 46(10):3 528-3 534.
- [2] Myalski J, Godzisz M, Olesik P. Effect of carbon fillers on the wear resistance of PA6 thermoplastic composites[J]. Polymers, 2020, 12(10).DOI:10.3390/polym12102264.
- [3] Marset D, Dolza C, Fages E, et al. The effect of halloysite nanotubes on the fire retardancy properties of partially biobased polyamide 610[J]. Polymers, 2020, 12(12):3 050-3 071.
- [4] 高歌,叶福明. PP/PA1010 共混物的形态结构及力学性能的研究[J]. 高分子材料科学与工程, 1999, 15(1):114-117.
Gao Ge, Ye Fuming. Study on morphology and mechanical properties of PP / PA1010 blends[J]. Polymer Materials Science and Engineering, 1999, 15(1):114-117.
- [5] Rodrigues A, Bastos I, Kappel M, et al. Micromechanical property study of nylon 11 and organoclay systems for offshore flexible pipe[J]. Fibers and Polymers, 2021.DOI:10.1007/s12221-021-0391-5.
- [6] Hosseini S, Schkel M, Baran L, et al. Non-uniform crystallinity and temperature distribution during adjacent laser-assisted tape winding process of carbon / PA12 pipes[J]. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2020, 111(11-12):1-20.
- [7] 刘民英,赵清香,王玉东,等. 石油发酵尼龙 1212 的合成、性能及应用[J]. 工程塑料应用, 2002, 30 (9):37-40.
Liu Mingying, Zhao Qingxiang, Wang Yudong, et al. Synthesis, property and application of petroleum fermentation nylon 1212[J]. Engineering Plastics Application, 2002, 30(9):37-40.
- [8] 张传辉,麦堪成,曹民,等. 高温尼龙研究进展[J]. 工程塑料应用, 2012, 40(11):98-103.
Zhang Chuanhui, Mai Kancheng, Cao Min, et al. Research progress in heat resistant nylon[J]. Engineering Plastics Application, 2012, 40(11):98-103.
- [9] Zhang Xiaomin, Li Xinglin, Wang Dongmei, et al. Morphology, thermal behavior, and mechanical properties of PA1010 / PP and PA 1010 / PP-g-GMA blends[J]. Journal of Applied Polymer Science, 2015, 64(8):1 489-1 498.
- [10] Zhang Xiaomin, Yin Jinghua. Interaction characterization of PA1010 / PP blends using PP-g-AA as compatibilizer[J]. Polymer Engineering & Science, 2010, 37(1):197-204.
- [11] Zhang X, Yin Z, Na T, et al. Morphology, mechanical properties and interfacial behaviour of PA1010 / PP / PP-g-GMA ternary blends[J]. Polymer, 1997, 38(24):5 905-5 912.
- [12] Yan L T, Sheng J. Analysis of phase morphology and dynamics of immiscible PP / PA1010 blends and its partial-miscible blends during melt mixing from SEM patterns[J]. Polymer, 2006, 47(8):2 894-2 903.
- [13] 杨凤霞,杜荣妮,李博,等. POE-g-PMMA 反应性增容 PA1010 /

- PP 共混物的性能研究[J]. 高分子学报, 2010(3):366-371.
- Yang Fengxia, Du Rongni, Li Bo, et al. Properties of PA1010 / PP blends modified by reactive compatibilization With POE-g- PMAH[J]. Acta Polymerica Sinica, 2010(3):366-371.
- [14] Li Yadong, Ma Yizhu, Yan Fufeng, et al. Nonisothermal crystallization kinetics of flame : Prayed polyamide 1010 / nano ZrO₂ composite coatings[J]. Journal of Applied Polymer Science, 2007, 106(3):1 535-1 543.
- [15] Varga J, Stoll K, Menyhárd A, et al. Crystallization of isotactic polypropylene in the presence of a β -nucleating agent based on a trisamide of trimesic acid[J]. Journal of Applied Polymer Science, 2011, 121(3):1 469-1 480.
- [16] 马桂秋, 娄杰, 张丁浩, 等. 显微镜图像分析研究聚丙烯 / 尼龙 1010 共混物相结构及其性能 [J]. 高分子学报, 2008(1):18-26.
- Ma Guiqiu, Lou Jie, Zhang Dinghao, et al. Studies on phase structures and properties of polypropylene / polyamide 1010 blends by analysis of microscope photographs[J]. Acta Polymerica Sinica, 2008(1):18-26.

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,纵横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 <http://www.epa1973.net>, 点击“作者投稿”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。