

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2020.02.021

组分对 PC/PBT/GF 三元复合材料的影响

梁伟成,阮静,张浩

(上海日之升科技有限公司,上海 201109)

摘要:通过双螺杆挤出机制备了聚碳酸酯(PC)/聚对苯二甲酸丁二酯(PBT)/玻璃纤维(GF)三元复合材料,研究了PC, PBT, GF以及增容剂的含量对复合材料的影响。结果表明,在PC/PBT体系中,当PC:PBT=7:3时复合材料可以达到较好的刚韧平衡,拉伸强度为71.6 MPa,缺口冲击强度为10.21 kJ/m²;在PC/PBT/GF复合材料中GF可以起到异相成核的作用,提高了复合材料的结晶速度,随着GF含量的增加,弯曲强度逐渐增加,拉伸强度先上升后下降,缺口冲击强度先下降后上升;增容剂KH-550, AX8900以及PTW均能改善PC/PBT/GF三元复合材料的相容性,其中AX8900增容效果最佳,从力学性能表明,加入1%的AX8900,PC/PBT/GF复合材料的性能最平衡,弯曲弹性模量和缺口冲击强度分别是没有添加增容剂的1.13倍和2.11倍。

关键词:聚对苯二甲酸丁二酯;聚碳酸酯;玻璃纤维;增容剂;共混

中图分类号: TB33 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2020)02-0108-06

Effects of Components on PC/PBT/GF Ternary Composites

Liang Weicheng, Ruan Jing, Zhang Hao

(Shanghai SUNNY Technology Co., Ltd., Shanghai 201109, China)

Abstract : Polycarbonate (PC) / polybutylene terephthalate (PBT) / glass fiber (GF) ternary composites were prepared by a twin-screw extruder. The effects of PC, PBT, GF, and compatibilizer content on the composites were studied. The results show that in the PC / PBT system, when the PC : PBT = 7 : 3, the composites can achieve a good balance of stiffness and toughness, tensile strength is 71.6 MPa, notched impact strength is 10.21 kJ/m²; In the PC / PBT / GF system, GF can play a heterogeneous nucleation. It can increase the crystallization speed of the composite. With the increase of the GF content, the bending strength of composite gradually increases, and the tensile strength increases first and then decreases, and the notched impact strength decreases first and then increases; the mechanical properties of the composite show that the compatibilizers KH-550, AX8900 and PTW can be improved. Compatibility of PC / PBT / GF ternary composites, AX8900 has the best compatibilizing effect. From the mechanical properties, it is shown that with the addition of 1% AX8900, the performance of PC / PBT / GF composites is the most balanced, the flexural modulus and notched impact are 1.13 times and 2.11 times than the material without compatibilizer.

Keywords : polybutylene terephthalate ; polycarbonate ; glass fiber ; compatibilizer ; blending

聚碳酸酯(PC)/聚对苯二甲酸丁二酯(PBT)合金保持了结晶材料PBT的耐化学药品性好、易加工成型的特点又结合了非结晶材料PC缺口冲击强度高,尺寸稳定性好的优势,PC与PBT合金的共混本质上就是取长补短,具有很高的商业潜力,在汽车、家电以及电子电工等领域得到了广泛的应用^[1-4]。对于耐热性和力学性能要求较高的领域,简单的PC/PBT合金很难满足要求,玻璃纤维(GF)由于其高

强度、高模量且成本低廉,被广泛地应用在复合材料领域,利用GF增强PC/PBT合金,不仅可以提高复合材料的耐热性与力学性能,还可以提升复合材料的尺寸稳定性并且降低生产成本^[5]。目前对于PC/PBT合金的研究报道较多,但对PC/PBT/GF三元复合材料的报道较少,笔者采用GF增强PC/PBT合金,研究了各组分含量以及增容剂对复合材料性能的影响,为工业应用提供参考。

通讯作者: 梁伟成,硕士,工程师,主要从事高分子新材料改性工作 E-mail: liangweicheng@shsunny.com

收稿日期: 2019-12-09

引用格式: 梁伟成,阮静,张浩. 组分对PC/PBT/GF三元复合材料的影响[J]. 工程塑料应用, 2020, 48(2): 108-113.

Liang Weicheng, Ruan Jing, Zhang Hao. Effects of components on PC/PBT/GF ternary composites[J]. Engineering Plastics Application, 2020, 48(2): 108-113.

1 实验部分

1.1 原材料

PC: 1120, 万华化学集团有限公司;

PBT: GX111, 中国石化仪征化纤有限公司;

GF: EDR14-2000-960A, 巨石集团;

乙烯-丙烯酸丁酯-甲基丙烯酸缩水甘油酯 (GMA): PTW, 美国杜邦有限公司;

硅烷偶联剂: KH-550, 荆州市江汉精细化工有限公司;

乙烯-丙烯酸甲酯-GMA: AX8900, GMA 含量 7%~9%, 法国阿科玛公司;

抗氧化剂 168, 抗氧化剂 1010: 德国巴斯夫公司。

1.2 设备及仪器

双螺杆挤出机: SHJ-36 型, 南京诚盟化工机械有限公司;

注塑机: HTF80X1 型, 宁波海天股份有限公司;

电热恒温鼓风干燥箱: 东莞市徽创塑胶机械有限公司;

万能电子拉伸试验机: Z010 型, 德国兹韦克公司;

摆锤冲击试验机: HIT25P 型, 德国兹韦克公司;

差示扫描量热 (DSC) 仪: DSC200F3 型, 赛默飞世尔公司。

1.3 试样制备

首先将 PC 和 PBT 原料放置于 100℃ 烘箱中干燥 6 h; 然后按照一定配方, 在高速混合机中混合 30 min。将上述混合均匀的材料在双螺杆挤出机上熔融挤出, 各挤出段的温度分别设置为 230, 230, 240, 240, 240, 240, 240, 240, 230℃, 喂料电机频率 12 Hz, 螺杆转速为 400 r/min, 挤出后的粒子经过水冷, 切粒, 然后将粒子在 100℃ 烘箱中干燥 6 h 后用注塑机注塑成样条, 注塑温度为 230~240℃。

1.4 性能测试与表征

拉伸性能按照 ISO 527-1/2: 2012 测试, 拉伸速率 50 mm/min;

缺口冲击强度按照 ISO 179-1: 2010 测试;

弯曲性能按 ISO 178: 2010 测试, 测试速度 2 mm/min;

DSC 分析: 在氮气氛围下, 所有样品以 20℃/min 的升温速率从 20℃ 升温到 260℃, 并在此温度下保持 5 min, 然后以 20℃/min 的降温速率降温到 30℃ 以消除热历史, 之后以 10℃/min 的升温速

率升温到 260℃ 得到升温曲线, 最后以 20℃/min 的降温速率降温到 30℃ 得到降温曲线。

2 结果与讨论

2.1 不同比例下 PC/PBT 合金的性能

为了研究 PC 与 PBT 比例对合金力学性能的影响, 按照表 1 的配方, 制作出 5 种试样, 研究不同 PC 含量下的 PC/PBT 合金的拉伸与缺口冲击强度。

表 1 PC/PBT 合金配方

试样编号	PC	PBT	168	1010
1 [#]	10	90	0.2	0.2
2 [#]	30	70	0.2	0.2
3 [#]	50	50	0.2	0.2
4 [#]	70	30	0.2	0.2
5 [#]	90	10	0.2	0.2

(1) PC/PBT 合金的力学性能。

图 1 为不同 PC 含量的 PC/PBT 合金的拉伸强度和缺口冲击强度。由图 1 可知, 随着 PC 含量的增加, 合金的拉伸强度和缺口冲击强度都呈现出先增大后减少的趋势, 当 PC 含量为 70 份时, 拉伸强度为 71.6 MPa, 缺口冲击强度为 10.21 kJ/m², 两种力学性能都达到了最优值。

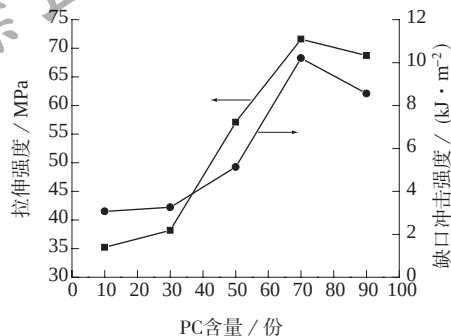


图 1 不同 PC 含量的 PC/PBT 合金的拉伸强度和缺口冲击强度

在 PC 含量低时合金主要表现了 PBT 的性能, 因此合金的力学性能相对较差, 随着 PC 含量的增加, 合金中 PC 逐渐由分散相向连续相转变, 合金开始表现出 PC 的性能, 由于 PC 的冲击以及拉伸性能较高, 所以力学性能开始增加, 当 PC 含量超过 70 份时性能开始下降, 是由于 PC 与 PBT 结构上都含有酯基, 理论上有一定的相容性但是毕竟有限, 而且在共混加工的过程中, 大量的反应性酯基很容易导致酯交换反应, 使得材料从简单的物理共混变成嵌段共聚物, 所产生的共聚物也会抑制两者的相容, 因此 PC 与 PBT 只是部分相容且存在相容性最优比例, 当 PC 含量超过 70 份时相容性下降, 因此 PC/PBT 合金的力学性能降低。

(2) PC/PBT 合金的 DSC 分析。

图 2 为不同比例下 PC/PBT 合金的 DSC 升温

的曲线。图2反映了合金的熔融行为,从图2可以看出,纯PBT的熔融峰为231℃,当PC与PBT熔融之后,合金材料的熔融峰值开始向低温偏移,当PC含量从10份增加到70份时,熔融峰值几乎不变,基本都保持在208℃左右,并且PC含量为70份时,合金出现了不太明显的冷结晶峰,PC含量超过70份时,合金的升温曲线中不再出现明显的熔融峰。

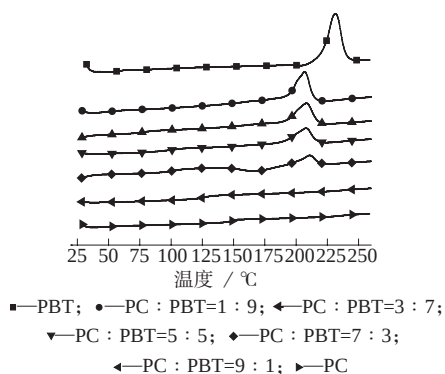


图2 不同比例的PC/PBT合金的DSC升温曲线

由于PC属于非结晶聚合物,分子链无法成为规则性排列,没有明显的熔点,因此在PC/PBT体系中随着PC含量增加,非结晶聚合物的性能逐渐占据主要地位,熔融峰值会出现降低直到熔融峰消失。PC含量为70份时出现了冷结晶峰,说明由于PC对PBT的结晶的抑制作用,使得PC/PBT合金结晶速度过慢且结晶不完全,使得当升温时,PBT的分子链段再次可以自由运动,继续排入晶核,完成结晶行为从而形成了冷结晶峰。当PC超过70份时,合金的熔融行为已经完全表现出了玻璃态聚合物的特征,说明合金的性能开始以PC的特性为主,PBT的性能已经完全受到了抑制^[5]。

图3示出了不同比例下PC/PBT合金的DSC降温曲线,纯PBT的结晶峰为176℃,当PC与PBT比例为1/9,3/7,5/5时结晶峰值分别为174℃,168℃和160℃。从图3可以看出,随着PC含量增加,合金的结晶峰逐渐降低,当PC含量达到90份,图像中无法看出明显的结晶峰。

图中的结晶峰下降直到消失,说明随着PC含量增加,材料的结晶能力下降,PC对PBT的结晶抑制作用越来越强,这是由于当PC含量较低时,虽然材料结晶性能下降了,但是PBT以连续相的形式存在,合金以PBT的性能为主表现了结晶性树脂的特征,因此结晶峰虽然降低但是依然存在;而PC含量较高时合金的结构相中PC成为连续相,PBT只是以分散相存在于树脂中,合金的结晶能力被完全抑

制,材料表现出非结晶材料的特性从而使得结晶峰消失^[6-8]。

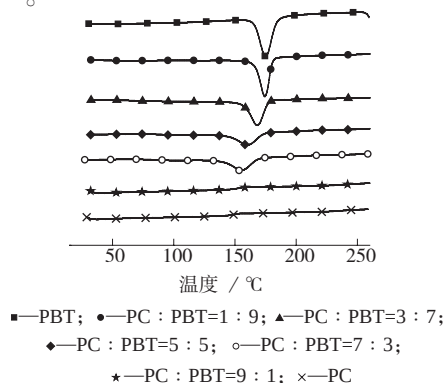


图3 不同比例的PC/PBT合金的DSC降温曲线

2.2 PC/PBT/GF三元复合材料的性能

通过上述分析,可以知道PC:PBT=7:3时,PC/PBT合金材料既可以保持一定结晶性聚合物的特征,力学性能又较为优异,因此选择在该比例下研究GF含量的变化对PC/PBT/GF三元复合材料性能的影响,为了体现配方的合理性,更加结合实际地反应GF含量对PC/PBT/GF材料的影响,因此在配方中加入2份的硅烷偶联剂作为增容剂,其配方见表2。

试样编号	PC	PBT	168	1010	GF	份
6 [#]	63	27	0.2	0.2	10	2
7 [#]	56	24	0.2	0.2	20	2
8 [#]	49	21	0.2	0.2	30	2
9 [#]	42	18	0.2	0.2	40	2
10 [#]	35	15	0.2	0.2	50	2

(1) GF含量对PC/PBT/GF三元复合材料力学性能的影响。

图4为不同GF含量的PC/PBT/GF复合材料的拉伸和弯曲性能。

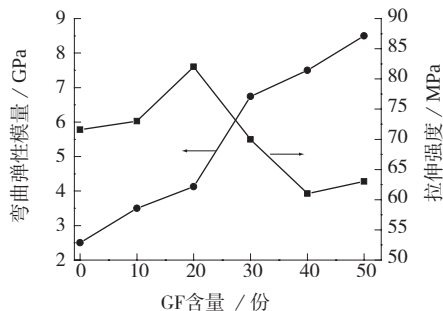


图4 不同GF含量的PC/PBT/GF复合材料的拉伸和弯曲性能

从图4可以看出,没有添加GF时PC/PBT合金的弯曲强度为2500 MPa,随着GF含量的增加,PC/PBT/GF复合材料的弯曲弹性模量增加,当GF含量达到50份时弯曲弹性模量达到8.5 GPa。随着GF含量的增加,PC/PBT/GF复合材料的拉

伸强度先增加后减少最后趋于稳定,在GF含量为20份时,拉伸强度最高为82 MPa。

由于GF的增强作用,随着GF含量的增加,PC/PBT/GF复合材料的刚性越来越高,因此PC/PBT/GF复合材料的弯曲弹性模量逐渐增加。但对于拉伸强度,由于其是对材料被破坏的难易程度的反应,随着GF含量的增加材料的刚性提高,因此PC/PBT/GF复合材料的强度有一定增加,但是GF含量过高时,由于PC材料内应力较大,容易开裂并且GF也是属于较脆的增强材料,导致了复合材料开裂的风险加大,在受到外力作用的过程中,PC/PBT/GF复合材料出现开裂的几率就越大,越容易被破坏,拉伸强度反而下降,因此当GF含量超过20份时,弯曲弹性模量仍然上升而拉伸强度出现了下降。

图5为不同GF含量的PC/PBT/GF复合材料的缺口冲击强度。从图5可以看出,随着GF含量的增加,复合材料的缺口冲击强度先减小后增大,在没有加入GF时,复合材料的缺口冲击强度为10.21 kJ/m²,当加入10份的GF后,PC/PBT/GF复合材料的缺口冲击强度迅速下降到3 kJ/m²,之后随着GF含量的增加缺口冲击强度逐渐增加,当GF含量为50份时,缺口冲击强度达到11 kJ/m²。

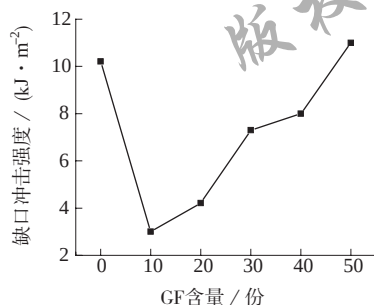


图5 不同GF含量的PC/PBT/GF复合材料的缺口冲击强度

从以上分析可以发现,当GF含量较低时,由于PC/PBT/GF复合材料的刚性增加且韧性下降,并且由于PC的存在,导致复合材料在加入GF后整体的脆性增加,同时对缺口的敏感程度也加大,因此缺口冲击强度发生了骤降,之后随着GF含量的增加,PC/PBT/GF复合材料中的GF开始连接了起来并且根据制件的形状形成了网状结构,为复合材料提供了“骨架”,从而使得GF在体系中的影响越来越高,逐渐克服了对缺口的敏感程度,因此缺口冲击强度又开始升高。

(2) 不同GF含量下PC/PBT/GF三元复合材料的DSC降温曲线。

当PC:PBT=7:3时,图6为不同GF含量的PC/PBT/GF复合材料的DSC降温曲线。从图6可以看出,随着GF含量的增加PC/PBT/GF复合材料的DSC曲线的结晶峰从不明显逐渐出现了较为明显的结晶峰,当GF含量为40份时在123℃和161℃出现了双结晶峰。由于PC抑制了材料的结晶性能,使得DSC降温曲线的结晶峰不明显,随着GF含量的增加结晶峰逐渐明显,说明材料的结晶性能有所提高,结晶速度加快。这是因为GF在树脂结晶的过程中可以充当成核剂的作用,促进异相成核且诱导复合材料的结晶,提高了结晶速度^[7]。但是PC对结晶的抑制作用依然存在,因此在GF含量为40份时,由于复合材料的结晶性能依然受到了部分抑制,所以出现了双结晶峰^[10-12]。

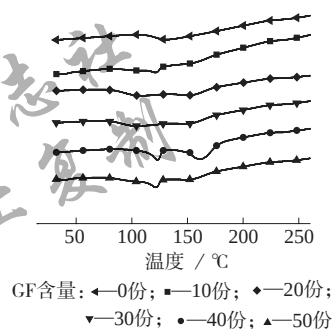


图6 不同GF含量的PC/PBT/GF复合材料的DSC降温曲线

2.3 增容剂对PC/PBT/GF三元复合材料性能的影响

PC/PBT/GF三元复合材料中,由于PC属于非结晶聚合物,PBT属于结晶性聚合物,GF属于无机非金属材料,材料的界面粘结不良,因此需要加入增容剂提高复合材料的结合力。笔者采用了两种双官能团化的乙烯类弹性体(AX8900和PTW),硅烷偶联剂(KH-550)作为增容剂,研究了它们的含量对PC:PBT=7:3且GF含量为30份时的PC/PBT/GF三元复合材料性能的影响,配方见表3。

表3 PC/PBT/GF复合材料配方 份

试样编号	PC	PBT	168	1010	GF	AX8900	PTW	KH-550
11 [#]	49	21	0.2	0.2	30			
12 [#]	49	21	0.2	0.2	30	1		
13 [#]	49	21	0.2	0.2	30	2		
14 [#]	49	21	0.2	0.2	30	3		
15 [#]	49	21	0.2	0.2	30		1	
16 [#]	49	21	0.2	0.2	30		2	
17 [#]	49	21	0.2	0.2	30		3	
18 [#]	49	21	0.2	0.2	30			1
19 [#]	49	21	0.2	0.2	30			2
20 [#]	49	21	0.2	0.2	30			3

(1) 增容剂对PC/PBT/GF三元复合材料力学

性能的影响。

图7为不同增容剂含量的PC/PBT/GF复合材料的弯曲弹性模量。从图7可以看出,随着3种增容剂含量的增加,弯曲弹性模量先增大后减少,且在含量为1份时,PTW和AX8900增容的复合材料的弯曲弹性模量都达到最大值,分别是未添加增容剂的1.1倍与1.13倍,当KH-550含量为2份时PC/PBT/GF复合材料的弯曲弹性模量最高,是未添加增容剂的1.09倍,当AX8900和PTW含量为3份时,PC/PBT/GF复合材料的弯曲弹性模量都出现明显下降,比未添加增容剂的PC/PBT/GF复合材料更低。相比而言,AX8900可以在更低的含量下使PC/PBT/GF复合材料的弯曲弹性模量更好。

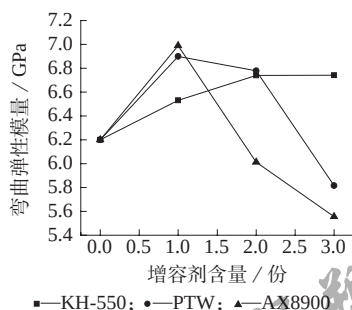


图7 不同增容剂含量PC/PBT/GF复合材料的弯曲弹性模量

图8为不同增容剂含量的PC/PBT/GF复合材料的缺口冲击强度。

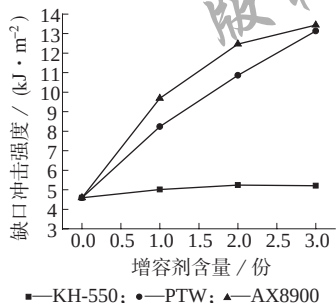


图8 不同增容剂含量PC/PBT/GF复合材料的缺口冲击强度

从图8可以看出,三种增容剂都可以使得PC/PBT/GF复合材料的缺口冲击强度有所上升,其中PTW和AX8900的增韧效果明显,PC/PBT/GF复合材料的缺口冲击强度与它们的强度呈现出正相关,在PTW和AX8900含量为1份时,PC/PBT/GF复合材料的缺口冲击强度,分别是未添加增容剂的1.79倍和2.11倍,在PTW和AX8900含量为3份时,分别是未添加增容剂的2.86倍和2.92倍。加入KH-550后,PC/PBT/GF复合材料的缺口冲击强度略有增加,当含量超过2份后逐渐趋于稳定,其含量为2份时的缺口冲击强度是未加增容剂的1.14

倍左右^[9]。

结合图7与图8可以发现,由于AX8900与PTW同属于反应性增韧型增容剂,拥有环氧官能团,可以同时和PBT与PC中的端羟基发生反应生成增容剂,起到增容的作用,但是当含量过高后,由于本身是弹性体,导致增韧效果明显,会使材料变软,弯曲弹性模量下降,因此在PC/PBT/GF复合材料中,将这两种材料作为增容剂使用时含量不宜超过1份,并且当AX8900含量为1份时,PC/PBT/GF复合材料的力学性能更好^[13-15]。

3 结论

(1) PC对PBT的结晶存在抑制效果,含量越高阻碍越大,PC:PBT=7:3时PC/PBT合金综合力学性能最优,拉伸强度为71.6 MPa,缺口冲击强度为10.21 kJ/m²。

(2) PC/PBT/GF三元复合材料中,随着GF含量的增加,弯曲弹性模量增加,拉伸强度先增加后下降再趋于稳定,缺口冲击强度先下降后上升。GF可以起到异相成核的效果,提高三元复合材料的结晶速度且含量越高效果越明显。

(3) 三种增容剂中,KH-550含量为2份时效果最佳,PTW和AX8900在含量为1份时效果最佳,在含量低于1份时主要起到增容的效果,当超过1份时增韧效果明显,会导致PC/PBT/GF三元复合材料的刚性下降,综合比较加入增容剂AX8900的PC/PBT/GF三元复合材料的增韧效果最好。

参考文献

- [1] 李宏,罗筑,于杰,等.PBT/PC共混体系相容性与力学性能的研究[J]. 功能材料,2009,40(1):162-165.
Li Hong, Luo Zhu, Yu Jie, et al. Study on the compatibility and mechanical properties of PBT/PC blends[J]. Functional Materials, 2009,40(1):162-165.
- [2] Dechet M A, Gómez B J S, Lanzl L, et al. Spherical polybutylene terephthalate (PBT)-polycarbonate (PC) blend particles by mechanical alloying and thermal rounding[J]. Polymers, 2018, 10(12).DOI:10.3390/polym10121373.
- [3] 杨革生,梁培亮,李满成,等.相对分子质量对玻纤增强PBT/PC的影响[J]. 现代塑料加工应用,2004(3):25-27.
Yang Gesheng, Liang Peiliang, Li Mancheng, et al. Effect of relative molecular mass on glass fiber reinforced PBT/PC[J]. Modern Plastics Processing Application, 2004(3):25-27.
- [4] 蒋刚军,董相茂,田征宇,等.挤出工艺对PC/PBT合金性能影响的研究[J]. 塑料工业,2019,47(6):77-80.

- Jiang Gangjun, Dong Xiangmao, Tian Zhengyu, et al. Study on the influence of extrusion process on the properties of PC/PBT alloys [J]. China Plastic Industry, 2019, 47 (6):77–80.
- [5] Wilkinson A N, Tattum S B. Melting, reaction and recrystallization in a reactive PC/PBT blend [J]. Polymer, 1997, 38(8):1 923–1 928.
- [6] 徐晓强, 陆波. PC/PBT 合金增韧改性的研究 [J]. 塑料工业, 2005, 33(4):15–17.
- Xu Xiaoqiang, Lu Bo. Study on toughening modification of PC/PBT blend [J]. China Plastic Industry, 2005, 33(4):15–17.
- [7] 朱亚峰. 玻璃纤维增强 PC/PBT 共混体系力学性能的研究 [J]. 工程塑料应用, 2009, 37(9):22–25.
- Zhu Yafeng. Study on mechanical properties of glass fiber reinforced PC/PBT blends [J]. Engineering Plastics Application, 2009, 37(9):22–25.
- [8] Wilkinson A N, Tattum S B. Melting, reaction and recrystallization in a reactive PC/PBT blend [J]. Polymer, 1997, 38(8):1 923–1 928.
- [9] 刘春林, 陈玲红, 周如东, 等. PC/PBT 共混物的结晶行为研究 [J]. 化工新型材料, 2008(7):63–64, 73.
- Liu Chunlin, Chen LingHong, Zhou Rudong, et al. Study on the crystallization behavior of PC/PBT blends [J]. New Chemical Materials, 2008(7):63–64, 73
- [10] 吴承旭, 周健, 李雪飞, 等. PBT/PC 合金塑料的性能与微观结构 [J]. 化工学报, 2010, 61(6):1571–1576.
- Wu Chengxu, Zhou Jian, Li Xuefei, et al. Properties and microstructure of PBT/PC alloy plastics [J]. Journal of Chemical Industry and Engineering, 2010, 61(6):1 571–1 576.
- [11] 陈晶斌, 潘勇军, 黄岐善. 玻纤增强 PC/PBT 合金的结晶行为 [J]. 工程塑料应用, 2017, 45(9):38–41, 46.
- Chen Jingbin, Pan Yongjun, Huang Qishan. Crystallization behavior of glass fiber reinforced PC/PBT alloy [J]. Engineering Plastics Application, 2017, 45(9):38–41, 46.
- [12] 梁伟成, 赵兵, 王嘉彬, 等. 成核剂对聚酯切片非等温结晶性能的影响 [J]. 纺织科学与工程学报, 2019, 36(1):110–115.
- Liang Weicheng, Zhao Bing, Wang Jiabin, et al. Effect of nucleating agent on non isothermal crystallization of polyester chips [J]. Journal of Textile Science and Engineering, 2019, 36(1):110–115
- [13] 朱亚峰. 乙烯-丙烯酸酯-甲基丙烯酸缩水甘油酯三元共聚物对 PC/PBT 共混体系性能的影响 [J]. 塑料工业, 2009, 37(S1):51–53.
- Zhu Yafeng. Effect of ethylene acrylate glycidyl methacrylate terpolymer on properties of PC/PBT blends [J]. China Plastics Industry, 2009, 37(S1):51–53
- [14] 王晶, 张天荣, 季冬, 等. E-MA-GMA 对 PC/PBT/Talc 复合材料的增韧 [J]. 工程塑料应用, 2018, 46(10):5–9.
- Wang Jing, Zhang Tianrong, Ji Dong, et al. Toughening of PC/PBT/Talc composites by E-MA-GMA [J]. Engineering Plastics Application, 2018, 46(10):5–9.
- [15] 汤俊杰, 史鹏伟, 李心良. GMA 官能化改性剂对 PC/PBT 合金材料性能的影响 [J]. 塑料工业, 2018, 46(6):13–17, 22.
- Tang Junjie, Shi Pengwei, Li Xinliang. Effect of GMA functional modifier on properties of PC/PBT alloy [J]. China Plastics Industry, 2018, 46(6):13–17, 22.