

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2021.09.020

不同成核剂对扩链增韧 PA6 结晶行为和力学性能影响

刘诗^{1,2}, 朱永军^{1,2}, 郑雄峰^{1,2}, 李陵洲^{1,2}, 雷勇^{1,2}

(1. 湖北合聚高分子材料有限公司, 湖北江陵 434100; 2. 武汉合聚塑化新材料有限公司, 武汉 430000)

摘要:通过在增韧尼龙 6 (PA6) 树脂中添加扩链剂、成核剂, 研究了扩链剂、成核剂对 PA6 结晶行为和力学性能的影响。结果表明, 扩链剂 4468 可以促进增韧 PA6 材料的结晶, 能显著提高缺口冲击强度, 但会降低其它力学性能; 成核剂 (P22, LH-501, HK145) 可以促进增韧 PA6 材料的结晶, 其中成核剂 P22 能显著提高弯曲弹性模量和熔体流动速率, 但会降低其它力学性能。成核剂 (P22, LH-501, HK145) 和扩链剂 4468 协同作用可以促进扩链增韧 PA6 材料的结晶, 但会大幅度降低扩链增韧 PA6 材料的缺口冲击强度, 其它力学性能有所提高。其中成核剂 P22 和扩链剂 4468 协同作用时, 会大幅度降低对扩链增韧 PA6 材料的缺口冲击强度。

关键词: 尼龙 6; 成核剂; 扩链剂; 结晶行为; 力学性能

中图分类号: TQ323.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2021)09-0103-06

Effect of Different Nucleators on Crystallization and Mechanical Properties of PA6

Liu Shi^{1,2}, Zhu Yongjun^{1,2}, Zheng Xiong Feng^{1,2}, Li Lingzhou^{1,2}, Lei Yong^{1,2}

(1. Hubei Heju Polymer Materials Co., Ltd., Jiangling 434100, China; 2. Wuhan Heju New Chemical Materials Co., Ltd., Wuhan 430000, China)

Abstract: The influence of chain agent and nucleator on the crystallization behavior and mechanical properties of nylon 6 (PA6) resin was studied. The results show that chain agent 4468 can promote crystallization of PA6 material, significantly improve impact strength but reduce mechanical properties. Nucleator (P22, LH-501, HK145) can promote crystallization of PA6 material, where nucleator P22 significantly improves the bending modulus and melting index, but reduces other mechanical properties. The synergy of nucleator (P22, LH-501, HK145) and chain agent 4468 can promote crystallization of PA6 material, but greatly reduce the impact strength of PA6 material and improve other mechanical properties. When nucleator P22 and the chain expansion agent 4468 cooperate, the impact strength on the chain amplification PA6 material will be greatly reduced.

Keywords: nylon 6; nucleating agent; chain extender; crystallization behavior; mechanical property

尼龙 6 (PA6) 为半结晶聚合物, 由于存在酰胺基团, 分子链间易形成氢键, 在力学性能、耐热性、耐化学腐蚀性以及金属粘附性能上具有良好的表现, 产品在纺织、家电、汽车等领域有广泛应用^[1-2]。加工成型过程中需要经过熔融、冷却结晶的过程, 在冷却过程中部分分子链从无序状态转变到有序结晶态。尼龙的结晶过程与加工工艺密切相关, 产品的最终性能与其结构 (包括结晶) 有着密切的联系^[3-4]。PA6 材料在受到冲击载荷时, 容易发生破坏。常通过添加增强剂、增韧剂提高材料的抗冲击强度, 但可能会造成其他力学性能的降低^[5-7]。PA6 作为

一种半结晶聚合物, 其分子量和结晶情况很大程度上决定了 PA6 的性能, 目前提高 PA6 分子量的方法中, 扩链改性具有工艺简单、投资成本低、加工效率高、可控性好等特点, 成为增黏改性的研究热点。成核剂则通过加快结晶速率、增加结晶密度和促使晶粒尺寸微细化改变树脂的结晶行为, 从而达到缩短成型周期、提高制品透明性、表面光泽、拉伸强度、刚性、热变形温度、抗冲击性。因此如何提高 PA6 的分子量、改善其结晶具有重要意义。目前国内外对聚酯的扩链、增韧研究开展了许多工作, 但有关聚酰胺 (PA) 扩链增韧体系的研究报道则较少。

基金项目: 湖北省揭榜制科技项目鄂科技发资 [2020]24 号 (2020BED009)

通信作者: 刘诗, 研发工程师, 主要从事聚合物改性、聚合物结构与性能以及聚合物共混改性等方面的研究

收稿日期: 2021-07-03

引用格式: 刘诗, 朱永军, 郑雄峰, 等. 不同成核剂对扩链增韧 PA6 结晶行为和力学性能的影响 [J]. 工程塑料应用, 2021, 49(9):103-108.

Liu Shi, Zhu Yongjun, Zheng Xiong Feng, et al. Effect of different nucleators on crystallization and mechanical properties of PA6[J]. Engineering Plastics Application, 2021, 49(9):103-108.

笔者通过添加成核剂、扩链剂,以及二者之间的相互作用来研究其对增韧 PA6 材料结晶行为和力学性能的影响。

1 实验部分

1.1 主要原材料

PA6: YH800, 湖南岳化化工股份有限公司;

抗氧化剂四[β -(3,5-二叔丁基-4-羟基苯基)丙酸]季戊四醇酯: Irganox1010, 德国巴斯夫公司;

抗氧化剂三[2,4-二叔丁基苯基]亚磷酸苯酯: Irgafos168, 德国巴斯夫公司;

增韧剂马来酸酐接枝聚烯烃弹性体: N413, 宁波能之光新材料科技有限公司;

扩链剂: 4468, 德国巴斯夫公司;

成核剂: P22, 布吕格曼化工亚洲有限公司;

成核剂: LH-501, 北京泰纳科新材料科技有限公司;

成核剂: HK-145, 东莞三合化工有限公司。

1.2 主要设备及仪器

双螺杆挤出机: TE35 型, 南京瑞亚挤出机械设备有限公司;

电热鼓风干燥箱: DHQ-9245A 型, 上海一恒科学仪器有限公司;

注塑机: 90F2V 型, 东华机械有限公司;

万能拉力试验机: CMT4204 型, 美斯特工业系统(中国)有限公司;

热变形/维卡软化温度试验机: ZWK1302-A 型, 美斯特工业系统(中国)有限公司;

熔体流动速率(MFR)试验机: ZRZ1452 型, 美斯特工业系统(中国)有限公司;

简支梁冲击试验机: ZBC-1251-A 型, 美斯特工业系统(中国)有限公司;

差式扫描量热(DSC)仪: DSC-3 型, 梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司。

1.3 试样制备

将经过干燥的所有原材料按表 1 中组成比例混合均匀后, 挤出、造粒, 挤出温度 230~245℃, 螺杆转速 200 r/min, 挤出料条经水槽冷却后切粒得到 PA6 材料。将制备的 PA6 粒料经 80~100℃下鼓风干燥 3~4 h, 注塑温度 210~250℃, 射嘴温度 255℃, 在注塑机上注塑成标准测试样条。样条在恒温恒湿箱中放置 24 h 后, 按照国家标准测试。

表 1 PA 材料配方设计

试样 编号	YH800	抗氧化剂	增韧剂 N413	扩链剂 4468	成核剂	备注
1 [#]	99.6	0.4	0	0	0	对照实验
2 [#]	94.6	0.4	5	0	0	只加增韧剂
3 [#]	94.4	0.4	5	0.2	0	加增韧、扩链剂
4 [#]	94.4	0.4	5	0	0.2	成核剂: P22
5 [#]	94.4	0.4	5	0	0.2	成核剂: LH-501
6 [#]	94.4	0.4	5	0	0.2	成核剂: HK145
7 [#]	94.2	0.4	5	0.2	0.2	成核剂: P22
8 [#]	94.2	0.4	5	0.2	0.2	成核剂: LH-501
9 [#]	94.2	0.4	5	0.2	0.2	成核剂: HK145

1.4 性能测试

(1) 力学性能测试。

拉伸强度按 ISO 527-2019 测试, 拉伸速率 50 mm/min;

弯曲强度按 ISO 178-2016 测试, 测试速率 1 mm/min;

简支梁缺口冲击强度按 ISO 179-2010 测试;

MFR 按 ISO 1133-2011 测试, 温度和负荷分别为 275℃, 5 kg;

热变形温度按 ISO 175-2010 测试, 压力为 0.45 MPa。

(2) DSC 分析。

称取 5~10 mg 干燥试样, 在 N₂ 保护下, 以 10℃/min 的升温速率从 50℃加热到 250℃, 恒温 5 min 以消除热历史。然后以 10℃/min 的降温速率从 250℃降到 50℃, 记录降温曲线, 再以 10℃/min 的升温速率从 50℃升到 250℃, 记录升温曲线。

2 结果与讨论

2.1 扩链剂对增韧 PA6 结晶行为和性能的影响

(1) 扩链剂对增韧 PA6 结晶行为的影响。

表 2 为加入扩链剂 4468 前后, 增韧 PA6 的热力学参数。

表 2 为加入扩链剂前后, 增韧 PA6 的热力学参数

样品	$T_c/^\circ\text{C}$	$T_m/^\circ\text{C}$	$\Delta T_c/^\circ\text{C}$	$\Delta T_m/^\circ\text{C}$	$\Delta H_m/(\text{J}\cdot\text{g}^{-1})$	$X_c/\%$
1 [#]	187.45	220.66	33.21	16.61	41.33	20.77
2 [#]	187.66	221.85	34.19	18.5	44.89	18.5
3 [#]	188.57	221.43	32.86	18.19	42.21	17.51

注: T_c 为结晶温度, T_m 为熔融温度, ΔT_c 为过冷度; ΔT_m 为熔程; ΔH_m 为熔融焓值; X_c 为结晶度, $X_c = \Delta H_m / \Delta H_{m0} \times 100\%$, PA6 的平衡熔融焓 $\Delta H_{m0} = 199 \text{ J/g}$ 。

由表 2 可以得知, 加入增韧剂后, PA6 的熔融温度提高了 1.19℃, 熔融焓提高了 3.56 J/g, 结晶温度提高了 0.21℃, 结晶度提高了 1.79%, 说明加入增韧剂后, PA6 更易结晶; 过冷度提高了 0.98℃, 表

明增韧剂的添加降低了 PA6 材料的结晶速率,主要是因为 POE-g-MAH 上的酸酐基团在熔融过程中与 PA6 中的端氨基发生化学键合反应,一定程度上破坏了 PA6 分子链结构的规整性,从而导致了结晶行为的变化^[7-8]。图 1 为加入增韧剂 N413、扩链剂 4468 前后,增韧 PA6 的 DSC 曲线。从图 1 看出 1[#], 2[#], 3[#] 样品的熔融峰均为单峰,添加增韧剂 N413 后, 2[#] 样品的结晶峰向高温方向移动,说明增韧剂对 PA6 有异相成核作用。

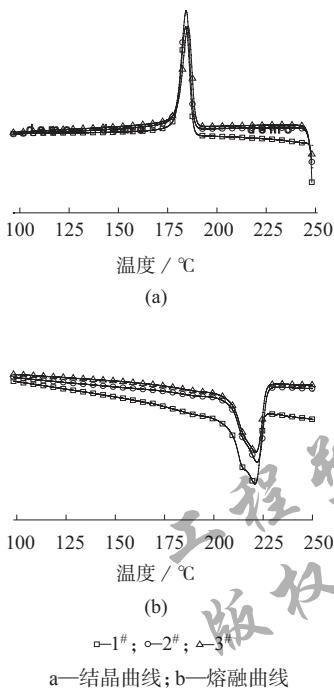


图 1 加入扩链剂前后增韧 PA6 的 DSC 曲线

由图 1 还可以得知,当继续加入扩链剂,3[#] 样品的结晶峰向高温方向移动,说明扩链剂对增韧 PA6 有异相成核作用。增韧 PA6 的熔融温度降低了 0.42℃,结晶峰温度提高了 0.91℃。同样,表 2 中数据表明,扩链剂的加入使得增韧 PA6 的过冷度降低了 1.33℃,表明加入扩链剂后,提高了增韧 PA6 结晶速率;另外结晶度、熔融焓的降低也表明了增韧 PA6 材料结晶规整度的降低。造成这一现象的原因是因为扩链剂中环氧基团与 PA6 的端羧基或者端氨基反应,破坏了 PA6 分子链结构规整性,PA6 的分子量增加了,分子链的柔顺性降低了^[8-9]。分子间作用力的提高,使得分子间相互靠紧,形成的交联点过多,分子间彼此缠结比较严重,更易发生结晶。

(2) 扩链剂对增韧 PA6 力学性能的影响。

表 3 为加入扩链剂前后,增韧 PA6 的力学性能数据。

表 3 加入扩链剂前后增韧 PA6 的力学性能

样品	拉伸强度 /MPa	弯曲强度 /MPa	弯曲弹性模量 /MPa	缺口冲击强度 / (kJ·m ⁻²)	热变形温度 /℃	MFR / [g·(10min) ⁻¹]
1 [#]	75.5	93.2	2 289	4.5	111	120
2 [#]	64.3	78.3	1 904	17.7	95	88.9
3 [#]	61.0	79.3	1 956	21.9	100	86

由表 3 可知,加入增韧剂后,PA6 的拉伸强度、弯曲强度和弯曲弹性模量分别降低了 14.83%, 15.99%,16.82%,冲击强度提高了 2.93 倍,热变形温度降低了 18℃,MFR 降低了 25.92%。加入增韧剂 N413 后,显著提高了 PA6 材料的缺口冲击强度,一方面是因为 POE 接枝马来酸酐表面呈极性,这有利于 PA6 基体中分散和增强界面的相互作用;另一方面是因为可以很好的分散于 PA6 树脂中少量的弹性体,在受到冲击时产生的银纹和剪切带,可以吸收大量的能量。另外,拉伸强度、弯曲强度和弯曲弹性模量降低则是因为少量的增韧剂会破坏 PA6 基材的均匀性,使得 PA6 的分子间作用力降低,抵抗外力破坏的能力降低;PA6 刚性的降低则是导致材料热变形温度降低的原因。

由表 3 还可以得知,当继续加入扩链剂,增韧 PA6 的拉伸强度则降低了 5.13%,是因为扩链剂的加入降低了增韧 PA6 的结晶度和结晶规整度;弯曲强度、弯曲弹性模量分别提高了 1.28% 和 2.73%,是因为扩链剂中的环氧基团与 PA6 的端羧基或端氨基发生反应,提高了增韧 PA6 的分子量;热变形温度提高了 5℃,是因为扩链剂的加入提高了增韧 PA6 的刚性和分子量,耐热性也随之提高;MFR 降低了 2.9 g/10 min,是因为增韧 PA6 的分子量提高,黏度增加,导致材料的流动性降低;扩链剂的加入对提高材料的缺口冲击强度最为显著,增韧 PA6 的缺口冲击强度提高了 23.73%,是因为增韧 PA6 分子量的提高,在抵挡冲击载荷破坏时,可以吸收更多的能量。

2.2 成核剂对增韧 PA6 结晶行为和性能的影响

(1) 成核剂对增韧 PA6 结晶行为的影响。

表 4 为加入成核剂前后,增韧 PA6 的热力学参数。

表 4 加入不同成核剂增韧 PA6 的热力学参数

样品	T _c /℃	T _m /℃	ΔT _c /℃	ΔT _m / ℃	ΔH _m / (J·g ⁻¹)	X _c /%
2 [#]	187.66	221.85	34.19	18.5	44.89	22.56
4 [#]	190.13	224.87	34.74	17.11	35.45	17.81
5 [#]	189.53	220.85	31.32	17.3	43.84	22.03
6 [#]	191.17	220.69	29.52	16.22	43.98	22.10

图2为加入不同成核剂(P22, LH-501, HK145)增韧PA6的DSC曲线。

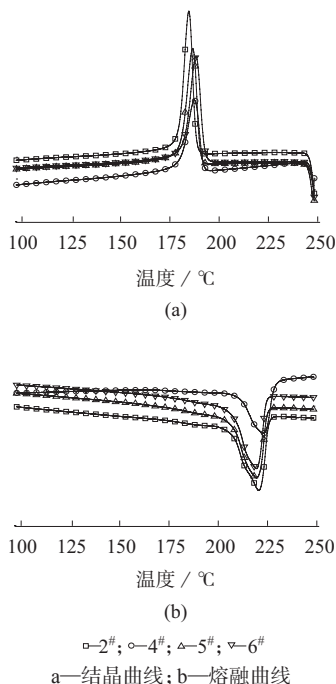


图2 加入不同成核剂增韧PA6的DSC曲线

从表4和图2中数据可以看出,加入成核剂P22, LH-501, HK145后样品的结晶峰均向高温方向移动,提高了1.88~3.51℃,说明成核剂在熔体降温过程中有异相成核作用,使增韧PA6在较高温度下开始结晶;过冷度降低了0.45~4.86℃,表明加入成核剂P22, LH-501, HK145后,增韧PA6更易结晶。这是因为P22为有机/无机粉末型成核剂,当无定型成核剂粉末添加到聚合物熔体中,容易被均匀分离成细小微粒,形成细致均匀的晶体结构,起到非常有效的成核作用;LH-501属于液体成核剂,能较好的分散在基体中,与增韧PA6相容性好,增韧PA6能够快速结晶,有效提高结晶速率,另一方面LH-501分子上的环氧基能与增韧PA6的端羧基或端氨基反应,破坏增韧PA6分子链结构的规整性,增韧PA6的分子量也会增大;HK145是芳基磺酸钙成核剂,添加少量的HK145成核剂可使增韧PA6结晶成核自由能降低,大大提高结晶速率^[9-10]。

由图2可知,加入成核剂P22, LH-501, HK145后,结晶度、熔融焓均下降,但是下降的比例不同,说明增韧PA6的结晶规整度并不相同。加入成核剂P22, LH-501, HK145后,熔程均变窄,加入HK145的样品比加入P22, LH-501的样品的结晶规整度相对更均一^[2]。

(2) 成核剂对增韧PA6力学性能的影响。

表5为加不同成核剂(P22, LH-501, HK145)增韧PA6样品的力学性能。加入成核剂后,对增韧PA6的力学性能造成了变化。加入成核剂P22, LH-501, HK145后,拉伸强度分别降低了4.2%, 5.6%, 5.8%;弯曲强度分别降低了0.89%, 0.9%, 2.9%;缺口冲击强度分别降低了28.8%, 21.5%, 23.2%。弯曲弹性模量均有不同程度的提高, MFR提高。主要是因为加入成核剂后,结晶度和结晶规整度均一性降低,抵抗冲击载荷的能力降低,导致增韧PA6的刚性提高,韧性降低。结晶度对热变形温度影响比较大,导致热变形温度有所降低^[11]。MFR提高,改善了流动和脱模性。

表5 加入不同成核剂增韧PA6的力学性能

样品 编号	拉伸强 度/MPa	弯曲强 度/MPa	弯曲弹性 模量/ MPa	缺口冲击 强度/ (kJ·m ⁻²)	热变形温 度/℃	MFR/ [g·(10min) ⁻¹]
2 [#]	64.3	78.3	1904	17.7	95	88.9
4 [#]	61.6	77.6	2093	12.6	72	100
5 [#]	60.7	77.3	2067	13.9	83	104
6 [#]	60.6	76	2073	13.6	86	108

2.3 成核剂对扩链增韧PA6结晶行为和性能的影响

(1) 成核剂对扩链增韧PA6结晶行为的影响。

图3为加入不同成核剂(P22, LH-501, HK145)后扩链增韧PA6的DSC曲线。从图3看出,样品熔融峰为单峰,熔点升高。由图3可知,加入成核剂

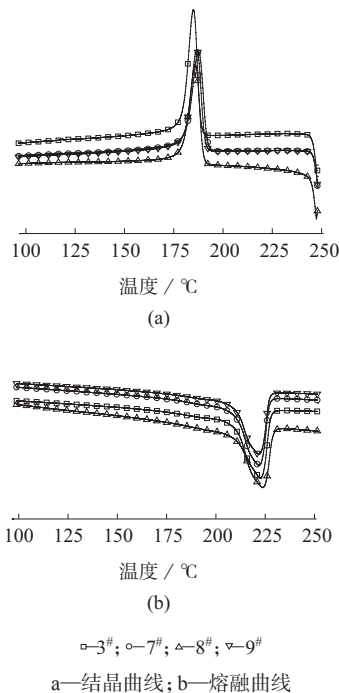


图3 加入不同成核剂、扩链剂增韧PA6的DSC曲线

P22, LH-501, HK145 后样品的结晶峰均向高温方向移动,提高了 $0.81 \sim 2.54^{\circ}\text{C}$,说明成核剂在熔体降温过程中有异相成核作用,使扩链增韧 PA6 在较高温度下开始结晶。加入成核剂 LH-501, HK145 后,熔融焓和结晶度均下降,熔程降低,说明加入成核剂后,扩链增韧容易结晶。而加入成核剂 P22 后,熔融焓提高了 3 J/g ,结晶度提高了 3.85% ,表明加入 P22 成核剂后,扩链增韧 PA6 结晶速率降低;熔程变窄,说明结晶规整度相对均一。表 6 为加入成核剂前后扩链增韧 PA6 的热力学参数。

表 6 加入成核剂前后扩链增韧 PA6 的热力学参数

样品	$T_c / ^{\circ}\text{C}$	$T_m / ^{\circ}\text{C}$	$\Delta T_c / ^{\circ}\text{C}$	$\Delta T_m / ^{\circ}\text{C}$	$\Delta H_m / (\text{J} \cdot \text{g}^{-1})$	$X_c / \%$
3 [#]	188.57	221.43	32.86	18.19	42.21	17.51
7 [#]	191.1	220.72	29.62	16.15	45.21	21.36
8 [#]	189.38	220.75	31.37	16.56	35.41	17.79
9 [#]	190.11	222.52	32.41	16.71	33.05	16.61

(2) 成核剂对扩链增韧 PA6 力学性能的影响。

表 7 为加入不同成核剂 (P22, LH-501, HK145) 后扩链增韧 PA6 的力学性能。

表 7 加入不同成核剂增韧 PA6 / 扩链剂材料的力学性能

样品 编号	拉伸强 度 / MPa	弯曲强 度 / MPa	弯曲弹性 模量 / MPa	缺口冲击 强度 / ($\text{kJ} \cdot \text{m}^{-2}$)	热变形温 度 / $^{\circ}\text{C}$	MFR / [$\text{g} \cdot (10\text{min})^{-1}$]
3 [#]	61.0	79.3	1956	21.9	100	86
7 [#]	67.4	87.3	2214	9.6	108	103
8 [#]	64.3	82.4	2139	14.4	105	107
9 [#]	64.2	82.8	2040	13.7	103	105

由表 7 可知,加入成核剂 P22 后拉伸强度、弯曲强度和弯曲弹性模量分别提高了 10.5% , 10.1% , 13.2% ; 加入成核剂 LH-501 拉伸强度、弯曲强度和弯曲弹性模量分别提高了 5.4% , 3.9% , 9.4% ; 加入成核剂 HK1451 拉伸强度、弯曲强度和弯曲弹性模量分别提高了 5.2% , 4.4% , 4.3% 。其中加入 P22 成核剂对扩链增韧 PA6 拉伸强度、弯曲强度和弯曲弹性模量提高最为显著。这是因为 P22 成核剂更容易形成细致均匀的晶体结构,扩链增韧 PA6 结晶度和结晶规整度均一性得到提高。由表 7 还可知,加入成核剂后热变形温度升高了 $3 \sim 5^{\circ}\text{C}$,是因为加入成核剂后,刚性提高;熔体流动速率提高了 $17 \sim 21 \text{ g} / (10 \text{ min})$,是因为加入成核剂后,刚性增强,提高了脱模,改善了材料流动性;冲击强度降低比较明显,降低了 $34.25\% \sim 56.16\%$ 其中加入 P22 成核剂的扩链增韧 PA6 的缺口冲击强度降低最明显。主要是因为成核剂很容易分散在 PA6 树脂中,减少了 PA6 与增韧剂之间的接触^[12],增韧剂作为弹性体在

受到冲击时产生的微裂纹减少了,吸收的能量变少了,抗冲击载荷能力降低,因此冲击性能降低明显。

3 结论

(1) 扩链剂 4468 可以促进增韧 PA6 材料的结晶,能显著提高冲击强度,但会降低拉伸强度、弯曲强度、弯曲弹性模量、热变形温度和 MFR。

(2) 成核剂 (P22, LH-501, HK145) 可以促进增韧 PA6 材料的结晶,其中成核剂 P22 能显著提高弯曲弹性模量和 MFR,但会降低拉伸强度、弯曲强度、缺口冲击强度和热变形温度。

(3) 成核剂 P22, LH-501, HK145 和扩链剂 4468 协同作用可以促进扩链增韧 PA6 材料的结晶,拉伸强度、弯曲强度、弯曲弹性模量、热变形温度和 MFR 均有所提高,但会大幅度降低扩链增韧 PA6 材料的缺口冲击强度,不过仍比纯 PA6 的冲击性能要高。其中成核剂 P22 和扩链剂 4468 协同作用对扩链增韧 PA6 材料的缺口冲击强度影响最大。

参考文献

- [1] 周雷. 低吸水性 PA6 材料的制备 [J]. 工程塑料应用, 2019, 47(9):41-45.
Zhou Lei. Development of PA6 materials with low water absorption[J]. Engineering Plastics Application, 2019, 47(9):41-45.
- [2] 康安娜. 尼龙 6 的凝聚态结构调控与高性能化研究 [D]. 北京: 北京化工大学, 2018.
Kang Anna. Study on the condensed state structure regulation and high-performance modification of polyamide 6[D]. Beijing: Beijing University of Chemical Technology, 2018.
- [3] 刘志鹏, 孔美, 梁文娟, 等. 高填充尼龙 6 基复合材料非等温结晶行为的研究 [J]. 塑料科技, 2020, 334(2):27-33.
Liu Zhipeng, Kong Mei, Liang Wenjuan, et al. Study on non-isothermal crystallization behavior of high filled nylon6-based composites[J]. Plastics Science and Technology, 2020, 334(2):27-33.
- [4] 王伟, 丁剑峰, 夏浙安, 等. 扩链改性回收尼龙 6 / 碳纤维复合材料的结构与性能 [J]. 华东理工大学学报: 自然科学版, 2020(5):613-620.
Wang Wei, Ding Jianfeng, Xia Zhean, et al. Structure and properties of recycled polyamide 6 / carbon fiber composites modified by chain extension[J]. Journal of East China University of Science and Technology: Natural Science Edition, 2020(5):613-620.
- [5] 郭红. POE-g-MAH 的制备及其改性 PA6 的研究 [D]. 沈阳: 辽宁大学, 2019.
Guo Hong. Preparation of POE-g-MAH and study on modified PA6[D]. Liaoning University, 2019.
- [6] 王建科, 宫蕾. 聚烯桂弹性体增韧聚酰胺的研究 [J]. 广东橡胶, 2019(8):22-25.

- Wang Jianke, Gong Lei. Study on toughening polyamide with polyolefin elastomer[J]. Guangdong Rubber, 2019(8):22-25.
- [7] 刘志鹏,孔美,梁文娟,等.高填充尼龙6基复合材料非等温结晶行为的研究[J].塑料科技,2020,334(2):27-33.
- Liu Zhipeng, Kong Mei, Liang Wenjuan, et al. Study on non-isothermal crystallization behavior of high filled nylon 6-based composites[J]. Plastics Science and Technology, 2020,334(2):27-33.
- [8] 丁剑峰,王伟,刘耀,等.无机成核剂改性聚酰胺6/碳纤维复合材料的结构与性能[J].中国塑料,2020,321(12):11-19.
- Ding Jianfeng, Wang Wei, Liu Yao, et al. Structure and properties of polyamide 6 / carbon fiber composites modified with inorganic nucleating agents[J]. China Plastics, 2020,321(12):11-19.
- [9] 赵文林,何洁冰,莫志华,等.成核剂在尼龙6中的结晶效率和应用性能研究[J].广东化工,2019,46(4):36-37.
- Zhao Wenlin, He Jiebing, Mo Zhihua, et al. Study on crystallization efficiency and application of nucleator nylon 6[J]. Guangdong Chemical Industry, 2019,46(4):36-37.
- [10] 潘伟楠,相恒学,翟功勋,等.共聚酰胺6/66相对分子质量对其结晶和流变性能的影响[J].纺织学报,2019,402(9):14-20.
- Pan Weinan, Xiang Hengxue, Zhai Gongxun, et al. Influence of relative molecular weight of copolyamide 6 / 66 on crystallization and rheological properties thereof[J]. Journal of Textile Research, 2019,402(9):14-20.
- [11] 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,2019,351(1):19-23.
- Liu Jianwei, Wang Zhaoqing, Tian Guofeng, et al. Performance of toughened PA612 / PA6 alloys[J]. Engineering Plastics Application, 2019,351(1):19-23.
- [12] 叶少勇,王亚溪,杨硕,等.POE-g-MAH对玻纤增强高温尼龙复合材料力学性能的影响[J].工程塑料应用,2019,47(3):26-30.
- Ye Shaoyong, Wang Yaxi, Yang Shuo, et al. Effect of POE-g-MAH on mechanical properties of glass fiber reinforced high temperature polyamide composites[J]. Engineering Plastics Application, 2019,49(3):26-30.

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。