

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2022.09.006

PA6I/6T 对高 GF 含量 PA66 复合材料性能和外观的影响

宋伟强^{1,2}, 孙东泽¹, 何星础², 王宏森², 安顺利², 郭震宇¹, 郭梓栋¹, 俞锐¹, 宋宇琪¹

(1. 河南工业大学材料科学与工程学院, 郑州 450001; 2. 河南海瑞祥科技有限公司, 河南平顶山 467100)

摘要:采用双螺杆挤出机熔融共混制备尼龙 (PA) 66/PA6I/6T/ 玻纤 (GF) 复合材料, 研究了 PA6I/6T 含量对 PA66/PA6I/6T/GF 复合材料熔融与结晶性能、力学性能、热变形温度、熔体流动速率 (MFR)、吸水率和表面形貌的影响。结果表明, 当 GF, PA66 与 PA6I/6T 的用量分别为 50, 45, 5 份时, 复合材料的表面光滑, 无明显“浮纤”现象, 其拉伸强度、弯曲强度、弯曲弹性模量、悬臂梁缺口冲击强度、热变形温度、MFR、熔融峰温度、结晶峰温度和吸水率分别为 215 MPa, 292 MPa 和 1.48 GPa, 11.3 kJ/m², 232℃, 42.0 g/(10 min), 254℃, 230℃和 0.60%。在高 GF 含量时, 添加适量的 PA6I/6T 能够改善 PA66/PA6I/6T/GF 复合材料的“浮纤”现象, 而不会影响复合材料的使用性能。

关键词: 尼龙 6I/6T; 尼龙 66; 玻璃纤维; 浮纤; 力学性能; 加工性能; 热性能

中图分类号: TQ327.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2022)09-0034-05

Effects of PA6I/6T on Properties and Appearance of PA66 Composites with High Glass Fiber Content

Song Weiqiang^{1,2}, Sun Dongze¹, He Xingchu², Wang Hongsen², An Shunli², Guo Zhenyu¹, Guo Zidong¹, Yu Rui¹, Song Yuqi¹

(1. School of Materials Science and Engineering, Henan University of Technology, Zhengzhou 450001, China;

2. Henan Hairuixiang Technology Co., Ltd., Pingdingshan 467100, China)

Abstract: Nylon 66 (PA66)/PA6I/6T/glass fiber (GF) composites were prepared by using a twin-screw extruder and melt blending modification technology. The effects of PA6I/6T content on the melting and crystallization properties, mechanical properties, thermal deformation temperature, melt flow rate (MFR), water absorption and surface topography of the composites were studied. The results show that when the amount of GF, PA66 and PA6I/6T are 50, 45, 5 phr respectively, the surface topography of the composite is smooth and there is no obvious “floating fiber” phenomenon. The tensile strength, bending strength, bending modulus of elasticity, notched Izod impact strength, thermal deformation temperature, MFR, melting peak temperature, crystallization peak temperature and water absorption are 215 MPa, 292 MPa and 1.48 GPa, 11.3 kJ/m², 232 °C, 42.0 g/(10 min), 254 °C, 230 °C and 0.60%. When the GF content is high, adding an appropriate amount of PA6I/6T can improve the “floating fiber” phenomenon of PA66/PA6I/6T/GF composites without affecting the service properties of the composites.

Keywords: nylon 6I/6T; nylon 66; glass fiber; floating fiber; mechanical property; processability; thermal property

在玻纤 (GF) 增强尼龙 (PA) 复合材料生产过程中, GF 外露 (浮纤) 是增强改性复合材料的一个通病^[1-4]。随着 GF 含量的增加, 样品的表面性能变差, 加工困难, 尤其是在高含量 GF 情况下, “浮纤”更为严重^[5-9]。GF 外露在制品表面, 比较粗糙, 降低了表面光滑度, 在一些情况下降低了材料的使用性能。因此, 改善“浮纤”问题一直是研究的热点^[10-13]。

“浮纤”是由于 GF 与 PA 基体树脂的流动性不一致而且 PA 与 GF 结合能力不强所造成的。因此,

影响 PA 熔融流动性和 PA 与 GF 结合力的因素都会或多或少影响“浮纤”现象, 这也使得“浮纤”现象的形成不仅与 PA 材料组成和特性有关, 还与成型加工过程有关, 有着较大的复杂性和不确定性。在其它条件一定的情况下, 提高基体树脂的熔体流动性能够改善“浮纤”现象^[14-17]。

无定形、非晶型半芳香透明 PA6I/6T 和 PA6T/6I 具有高刚性、坚韧、耐冲击、耐化学溶剂、耐低温脆性、吸水率小^[18]等优点。曹凯凯等^[19]利用熔融共

通信作者: 宋伟强, 博士, 教授, 主要从事高分子材料改性及加工

收稿日期: 2022-06-13

引用格式: 宋伟强, 孙东泽, 何星础, 等. PA6I/6T 对高 GF 含量 PA66 复合材料性能和外观的影响 [J]. 工程塑料应用, 2022, 50(9):34-38.

Song Weiqiang, Sun Dongze, He Xingchu, et al. Effects of PA6I/6T on properties and appearance of PA66 composites with high glass fiber content[J]. Engineering Plastics Application, 2022, 50(9):34-38.

混技术制备了 PA6/PA6T/6I 合金材料,当 PA6T/6I 质量分数为 10%~25% 时,合金在保持一定冲击韧性的同时,具有较好的综合性能。杨汇鑫等^[20]以 PA6T/6I 为树脂基体,铜铬氧化物为激光镭射助剂,制备了 PA6T/6I 基激光直接成型功能材料,当 GF 质量分数为 30%、激光镭射助剂质量分数为 8%、注塑模具温度为 175℃ 时,GF 增强 PA6T/6I 基激光直接成型功能材料模塑器件的外观最佳。杨军辉等^[21]采用熔融共混改性技术制备了 PA66/PA6T/6I/GF 复合材料,当 GF 质量分数为 30%,PA6T/6I 质量分数大于 20% 时,复合材料表面制品的“浮纤”问题得到解决,综合性能稳定。蒋姗等^[22]采用差示扫描量热 (DSC) 法对 PA66/PA6I/6T 共混物的非等温结晶行为进行了研究,结果表明,PA6I/6T 具有良好的熔融流动性,少量添加 PA6I/6T 可提高 PA66 的结晶速率及结晶度,随着 PA6I/6T 的添加,PA66 的结晶速率及结晶度呈现先增大后减小的趋势。

鉴于 PA6I/6T 具有良好的熔融流动性,笔者研究了 PA6I/6T 对 PA66/GF 复合材料性能及“浮纤”现象的影响。

1 实验部分

1.1 主要原材料

PA66 : EPR27,河南神马尼龙化工有限公司;

PA6I/6T : PA-TI1207,山东广垠新材料有限公司;

GF : EDR17-2400-988A,巨石集团;

炭黑色母、抗氧剂:自制。

1.2 主要仪器与设备

双螺杆挤出机: SHJ-36 型,南京瑞亚杰挤出机械制造有限公司;

DSC 分析仪: DZ-DSC300 型,南京大展检测仪器有限公司;

万能试验机: WDW-2010 型,承德市聚缘检测设备制造有限公司;

冲击试验机: XJU-5.5D 型,承德市聚缘检测设备制造有限公司;

水分测定仪: QL-720C 型,厦门米德电子科技有限公司;

熔体流动速率 (MFR) 仪: XNR-400C 型,承德市聚缘检测设备制造有限公司;

热变形维卡软化温度试验机: ZWK1302-2 型,美斯特工业系统 (中国) 有限公司;

超景深显微镜: RX-100 型,日本浩视 (中国)

有限公司。

1.3 样品制备

PA66/PA6I/6T/GF 复合材料配方见表 1。预先在 100℃ 干燥基体树脂 PA66 和 PA6I/6T。按表 1 配方称取原料,然后掺混均匀,采用双螺杆挤出机挤出造粒。挤出机各区的温度依次为 150,275,270,270,265,260,265,265,270℃,机头温度为 265℃,主机转速为 730 r/min,喂料转速为 440 r/min。将制得的复合材料粒料在 100℃ 恒温干燥箱中烘干 4 h 后,经注塑机制备成标准样条,注塑机温度为 265~270℃,注塑时间为 26 s。样品静置 24 h 后再进行性能检测。

表 1 PA66/PA6I/6T/GF 复合材料配方 份

编号	PA66	PA6I/6T	GF	炭黑色母	抗氧剂
1 [#]	50	0	50	2	0.4
2 [#]	45	5	50	2	0.4
3 [#]	40	10	50	2	0.4
4 [#]	30	20	50	2	0.4

1.4 性能测试

DSC 分析: 氮气气氛,升 / 降温速率为 20℃ / min,温度范围为 30~320℃,第一次升温至 300℃ 后保温 5 min,然后降温至 60℃,再升温至 320℃;

拉伸性能按照 GB/T 1040-2006 测试,测试温度为 23℃,跨度为 50 mm,拉伸速率为 10 mm/min ;

弯曲性能按照 GB/T 9341-2008 测试,测试温度为 23℃,跨度为 64 mm,弯曲速率为 2 mm/min ;

悬臂梁缺口冲击强度按照 GB/T 1843-2008 测试,A 型缺口,测试温度为 23℃,摆锤能量为 5.5 J ;

热变形温度按照 GB/T 1634.1-2004 测试,试样规格为 80 mm×10 mm×4 mm,负荷为 1.8 MPa,升温速率为 2℃ /min ;

吸水率按照 GB/T 1034-2008 测试;

MFR 按照 GB/T 3682-2000 测试,温度为 270℃,负荷为 2.16 kg ;

试样表面形貌分析: 用数码相机拍照试样并进行分析,用超景深显微镜观察试样表面形貌。

2 结果与讨论

2.1 PA66/PA6I/6T/GF 复合材料的熔融与结晶分析

不同 PA6I/6T 含量的 PA66/PA6I/6T/GF 复合材料的 DSC 降温曲线和二次升温曲线如图 1 和图 2 所示。

从图 1 可以看出,4 种 PA66/PA6I/6T/GF 复合材料都只有一个结晶峰,1[#] 样品的结晶峰温度为 231℃;2[#] 样品的结晶峰温度为 230℃,相对 1[#] 样

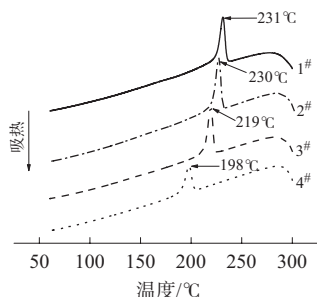


图1 PA66/PA6I/6T/GF 复合材料的 DSC 降温曲线

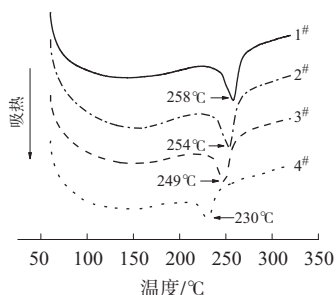


图2 PA66/PA6I/6T/GF 复合材料的 DSC 第二次升温曲线

品下降 1℃; 3[#] 样品的结晶峰温度为 219℃, 相对 1[#] 样品下降 12℃, 下降明显; 4[#] 样品的结晶峰温度为 198℃, 相对 1[#] 样品下降 33℃, 下降更明显。对 PA66 和 PA6I/6T 两种基体树脂来说, PA6I/6T 的结晶能力很差, 而 PA66 的结晶能力很强。尽管 PA6I/6T 分子链间也会形成氢键, 但不足以使僵硬且结构上规整性较差的分子链进行有规律的排列, 因而加入 PA6I/6T 的 2[#]、3[#] 和 4[#] 样品表现出非结晶性, 在降温曲线上不会出现归属于 PA6I/6T 的结晶峰。因此, 图 1 中的降温结晶峰应该归属于 PA66。酰胺基团之间有规律性的氢键作用以及分子链本身的柔顺性使 PA66 具有很强的结晶能力, 少量 PA6I/6T 树脂 (2[#] 样品) 的加入对 PA66 的结晶过程没有显著的影响。对 4[#] 样品来说, 大量 PA6I/6T 分子链通过氢键及范德华作用力进入 PA66 大分子链之间, 一方面, 通过与 PA66 大分子链形成氢键, 取代了原有 PA66 自身链间氢键 (取代作用), 另一方面, 僵硬的 PA6I/6T 分子链隔离开了 PA66 的大分子链, 链间范德华作用力减弱 (隔离作用)。这两种作用降低了 PA66 分子链的运动能力, 使其只能在较低温度下结晶。

从图 2 可以看出, PA6I/6T 的取代和隔离作用也会降低 PA66 大分子链有序排列的能力, 使其晶粒尺寸减小, 晶体结构完善程度下降, 在较低温度下出现熔融过程。当然, 对 PA66 熔融过程的影响程度与 PA6I/6T 的用量有关。1[#] 样品的熔融峰温度为 258℃, 2[#]、3[#]、4[#] 样品的熔融峰温度分别为 254、249、

230℃, 相对 1[#] 样品分别下降了 4、9、28℃。

从上述 DSC 分析数据可以明显看出, 4[#] 样品的结晶温度和熔融温度都显著降低, 降低幅度在 30℃ 左右。

2.2 PA66/PA6I/6T/GF 复合材料综合性能

不同 PA6I/6T 含量的 PA66/PA6I/6T/GF 复合材料综合性能见表 2。

表2 不同 PA6I/6T 含量的 PA66/PA6I/6T/GF 复合材料的综合性能

项目	1 [#]	2 [#]	3 [#]	4 [#]
拉伸强度 /MPa	206	215	217	216
弯曲强度 /MPa	292	292	306	295
弯曲弹性模量 /GPa	1.45	1.48	1.52	1.50
悬臂梁缺口冲击强度 /(kJ·m ⁻²)	10.9	11.3	11.2	10.6
热变形温度 /℃	230	232	226	172
MFR/[g·(10 min) ⁻¹]	24.6	42.0	34.8	33.0
吸水率 /%(48 h)	0.65	0.60	0.52	0.50

从表 2 可以看出, 随着 PA6I/6T 加入量的增加, PA66/PA6I/6T/GF 复合材料的力学性能呈现先增大后减小的趋势, 其中 3[#] 样品的拉伸强度、弯曲强度、弯曲弹性模量最大, 分别为 217 MPa、306 MPa 和 1.52 GPa, 2[#] 样品的悬臂梁缺口冲击强度最大, 为 11.3 kJ/m², 拉伸强度、弯曲强度、弯曲弹性模量分别为 215 MPa、292 MPa 和 1.48 GPa。

从表 2 还可以看出, 随着 PA6I/6T 加入量的增加, 复合材料的热变形温度呈现先增大后减小的趋势。与未加 PA6I/6T 的 1[#] 样品相比, 加入 5 份 PA6I/6T 的 2[#] 样品的热变形温度为 232℃, 提升 2℃, 但加入 10 份 PA6I/6T 的 3[#] 的热变形温度为 226℃下降 4℃, 加入 20 份 PA6I/6T 的 4[#] 样品的热变形温度为 178℃, 显著下降 58℃。热变形温度用于表征聚合物或高分子材料耐热性的优劣。很显然, 少量 PA6I/6T 对 PA66/GF 复合材料耐热变形能力的提高是有利的, 过量的 PA6I/6T 会显著降低 PA66/GF 复合材料的耐热性。热塑性塑料的热变形温度主要依赖于材料的结构特征如分子排向、残留应力、晶体结构、结晶度、填充剂的取向、各向异性等。加入 20 份 PA6I/6T 时, 显著降低了 PA66/PA6I/6T/GF 复合材料的 PA66 的结晶性, 从而造成耐热性下降。

从表 2 还可以看出, 随着 PA6I/6T 加入量的增加, 复合材料的 MFR 呈现先增大后减小的趋势。加入 5 份 PA6I/6T 的 2[#] 样品的 MFR 最大, 达到 42.0 g/(10 min), 是不含 PA6I/6T 的 1[#] 样品的近 2 倍, 比加入 20 份 PA6I/6T 的 4[#] 样品高近三分之一。

从表 2 还可以看出, 随着 PA6I/6T 加入量的增

加, PA66/PA6I/6T/GF 复合材料的吸水率逐渐下降 2[#] 样品的吸水率为 0.60%, 4[#] 样品的吸水率最大, 为 0.50%。PA 的吸水性来源于分子链中的酰胺基团, 酰胺基团含量越高, 其吸水率就越大。与 PA66 相比, PA6I/6T 分子链中酰胺基团所占比例较低, 因而随着 PA6I/6T 含量的增加, 复合材料吸水率降低。

2.3 PA66/PA6I/6T/GF 复合材料的表面形貌

不同 PA6I/6T 含量的 PA66/PA6I/6T/GF 复合材料样品的数码相机照片和超景深显微镜照片分别如图 3 和图 4 所示。

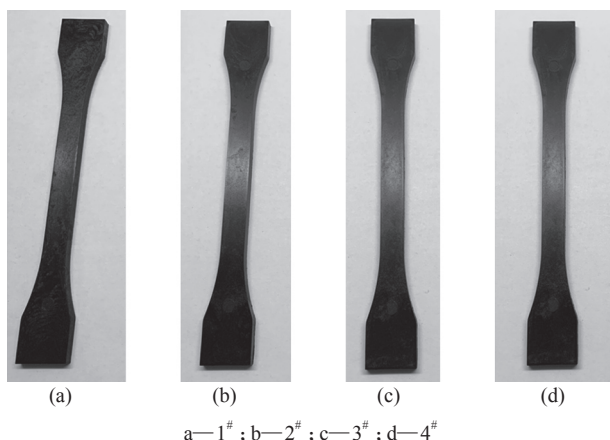


图 3 不同 PA6I/6T 含量的 PA66/PA6I/6T/GF 复合材料样品的数码相机照片

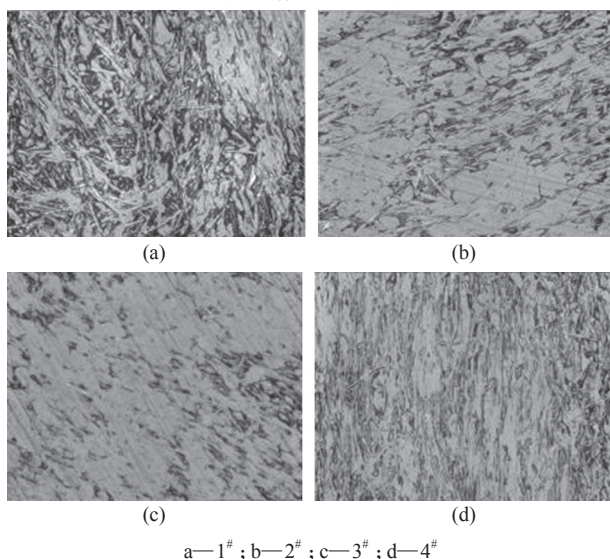


图 4 不同 PA6I/6T 含量的 PA66/PA6I/6T/GF 复合材料样品表面的超景深显微镜照片

从图 3 可以看出, 1[#] 样品表面“浮纤”较为明显, GF 外露较多, 2[#] 和 3[#] 样品表面较为光滑, 无明显“浮纤”现象, 4[#] 样品表面相比于未添加 PA6I/6T 的 1[#] 样品表面, “浮纤”现象稍有改善, 但是相比于 2[#] 和 3[#] 样品表面, 其表面仍有“浮纤”。从图 4 可以看出, 1[#] 和 4[#] 样品表面粗糙, 且 1[#] 样品表面的 GF 排列不

整齐, 而 2[#] 和 3[#] 样品的表面较为光滑且 GF 排列整齐, 这与图 3 的结果一致。造成“浮纤”现象的原因有: 一是 GF 和树脂的流动性有差异, 使两者有分离的趋势; 二是 GF 和树脂之间的粘接力不足, GF 摆脱树脂基体的束缚逐渐向表面累积而外露; 三是塑料熔体注入型腔时与型腔表面接触的 GF 没有及时被熔体充分包围, 造成 GF 外露。2[#] 样品的 MFR 最高, 3[#] 样品的 MFR 次之, 其熔体流动性好, 因此其表面光滑、无明显“浮纤”现象。塑料熔体注入型腔时会形成“喷泉”效应, GF 由内部向外表流动, 从而与型腔表面接触。模具型面温度较低, GF 就会被瞬间冻结。如果在冻结前树脂熔体及时包覆 GF, 就会改善表面“浮纤”现象。提高 MFR 能改善高含量 GF 增强 PA 的表面“浮纤”现象, 这也是在产业化生产时常把提高 MFR 作为改善表面光滑度的重要方法的原因。

3 结论

加入 PA6I/6T 对 PA66/GF 复合材料的综合性能和表面形态都会产生影响。在 GF 含量较高 (50 份) 时, 随着 PA6I/6T 加入量的增加, PA66/PA6I/6T/GF 复合材料的力学性能、热变形温度和 MFR 均呈现先增大后减小的趋势, 而熔融峰温度、结晶峰温度和吸水率呈现下降趋势。加入 5 份 PA6I/6T 的 2[#] 样品表面最为光滑, 无明显“浮纤”现象, 其拉伸强度、弯曲强度、弯曲弹性模量、悬臂梁缺口冲击强度、热变形温度、MFR、熔融峰温度、结晶峰温度和吸水率分别为 215 MPa, 292 MPa 和 1.48 GPa, 11.3 kJ/m², 232 °C, 42.0 g/(10 min), 254 °C, 230 °C 和 0.60%。在高 GF 含量时, 适量的 PA6I/6T 能够改善 PA66/PA6I/6T/GF 复合材料的“浮纤”现象, 而不会影响复合材料的使用性能。

参考文献

- [1] 甘典松, 刘跃军, 刘学文, 等. 星形支化 PA6 在高玻纤增强 PA66 体系中的应用 [J]. 工程塑料应用, 2021, 49(9):45-49.
Gan Diansong, Liu Yuejun, Liu Xuewen, et al. The application of star-branched PA6 in high glass fiber reinforced PA66 system [J]. Engineering Plastics Application, 2021, 49(9):45-49.
- [2] 别明智. 高含量玻纤增强尼龙 66 的制备及性能研究 [J]. 塑料工业, 2014, 42(12):111-114.
Bie Mingzhi. Research on the preparation and property of high content glass fiber reinforced nylon 66 [J]. China Plastics Industry, 2014, 42(12):111-114.
- [3] 孙红玲. 玻璃纤维增强尼龙 66 复合材料的制备与性能研究 [D]. 郑州: 郑州大学, 2012.
Sun Hongling. Preparation and properties of glass fiber reinforced nylon 66 composites [D]. Zhengzhou: Zhengzhou University, 2012.

- [4] 崔峰波. 长玻璃纤维增强尼龙复合材料的制备及性能研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2011.
- Cui Fengbo. Study on preparation and performance of long fiber-glass reinforced polyamide composites[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2011.
- [5] 田国锋, 王朝进, 王召青, 等. 高含量玻璃纤维增强 PA66/PA6I 复合材料的制备及性能研究[J]. 塑料工业, 2018, 46(12): 140-143.
- Tian Guofeng, Wang Chaojin, Wang Zhaoqing, et al. Preparation and properties of high content glass fiber reinforced PA66/PA6I composite material[J]. China Plastics Industry, 2018, 46(12): 140-143.
- [6] 丁超, 张亚军, 郑一泉, 等. 玻纤增强聚酰胺/酚醛树脂复合材料制备及性能[J]. 工程塑料应用, 2021, 49(6): 21-26.
- Ding Chao, Zhang Yajun, Zheng Yiquan, et al. Preparation and performance of glass fiber reinforced polyamide/phenolic resin composites[J]. Engineering Plastics Application, 2021, 49(6): 21-26.
- [7] 曲日华, 王立岩, 张龙云, 等. 玻璃纤维增强尼龙 66 复合材料的结构与性能[J]. 合成纤维工业, 2020, 43(1): 27-31.
- Qu Rihua, Wang Liyan, Zhang Longyun, et al. Structure and properties of glass fiber reinforced nylon 66 composite[J]. China Synthetic Fiber Industry, 2020, 43(1): 27-31.
- [8] 曲日华. 高性能纤维增强尼龙 66 复合材料的制备及应用研究[D]. 沈阳: 沈阳工业大学, 2020.
- Qu Rihua. Preparation and application of high performance fiber reinforced nylon 66 composites[D]. Shenyang: Shenyang University of Technology, 2020.
- [9] 张九夫, 罗开强, 徐军, 等. 长玻璃纤维增强 PA66 复合材料的综合性能及其影响因素研究[J]. 中国塑料, 2022, 36(3): 1-8.
- Zhang Jiufu, Luo Kaiqiang, Xu Jun, et al. Study on comprehensive properties and influencing factors of long glass fiber reinforced PA66 composites[J]. China Plastics, 2022, 36(3): 1-8.
- [10] 徐培琦, 曲敏杰, 贾婷, 等. 低浮纤 GFRPP 复合材料的非等温结晶行为[J]. 现代塑料加工应用, 2019, 31(4): 17-20.
- Xu Peiqi, Qu Minjie, Jia Ting, et al. Nonisothermal crystallization behavior of low floating fiber GFRPP composites[J]. Modern Plastics Processing and Applications, 2019, 31(4): 17-20.
- [11] 陈佰全, 陈智文, 郑友明, 等. 高含量玻璃纤维增强尼龙复合材料的制备与性能[J]. 工程塑料应用, 2021, 49(8): 31-36, 53.
- Chen Baiquan, Chen Zhiwen, Zheng Youming, et al. Preparation and properties of high content glass fiber reinforced PA composites[J]. Engineering Plastics Application, 2021, 49(8): 31-36, 53.
- [12] 梁叶云, 余倩, 张道洪. 超支化聚酯制备高玻纤含量的尼龙/玻纤复合材料[J]. 功能材料, 2018, 49(6): 6103-6106, 6113.
- Liang Yeyun, Yu Qian, Zhang Daohong. Preparation of nylon/glass fiber composites with high glass fiber content by using hyperbranched polyester[J]. Journal of Functional Materials, 2018, 49(6): 6103-6106, 6113.
- [13] 江翼, 谭麟, 梁惠强, 等. 玻纤增强尼龙 66 流动性及表面光泽度的研究[J]. 塑料工业, 2012, 40(10): 80-83.
- Jiang Yi, Tan Lin, Liang Huiqiang, et al. The study on the mobility and surface gloss of glass fiber reinforced nylon 66[J]. China Plastics Industry, 2012, 40(10): 80-83.
- [14] 黄贤页. PA66/玻纤复合材料的制备及其流变性能的研究[D]. 南昌: 南昌大学, 2020.
- Huang Xianye. The preparation and rheological properties of PA66/glass fiber composite[D]. Nanchang: Nanchang University, 2020.
- [15] 杨克俭, 甘典松, 宋克东, 等. 玻纤增强高流动性尼龙 6 的研究[J]. 工程塑料应用, 2012, 40(12): 28-31.
- Yang Kejian, Gan Diansong, Song Kedong, et al. Glass fiber reinforced high flow nylon 6[J]. Engineering Plastics Application, 2012, 40(12): 28-31.
- [16] 黄自华, 杨克俭, 胡天辉, 等. 高流动性 PA6 在 GF 增强 PA66 体系中的应用[J]. 工程塑料应用, 2014, 42(2): 16-19.
- Huang Zihua, Yang Kejian, Hu Tianhui, et al. Application of high-flow nylon 6 on glass fiber reinforced nylon 66 system[J]. Engineering Plastics Application, 2014, 42(2): 16-19.
- [17] 刘文虎, 张利建, 刘有才. 高流动性尼龙 6 的玻纤增强改性研究[J]. 化工技术与开发, 2020, 49(7): 1-4.
- Liu Wenhua, Zhang Lijian, Liu Youcai. Glass fiber reinforced modification of high fluidity nylon 6[J]. Technology Development of Chemical Industry, 2020, 49(7): 1-4.
- [18] 蒋思源, 刘玉飞, 何敏, 等. 脂肪族尼龙抗吸水性及其机理的研究进展[J]. 上海塑料, 2021, 49(5): 1-6.
- Jiang Siyuan, Liu Yufei, He Min, et al. Research progress on water absorption resistance and mechanism of aliphatic nylon[J]. Shanghai Plastics, 2021, 49(5): 1-6.
- [19] 曹凯凯, 伍威, 甘顺昌, 等. PA6-PA6T/6I 合金的制备及性能[J]. 工程塑料应用, 2018, 46(8): 7-11.
- Cao Kaikai, Wu Wei, Gan Shunchang, et al. Preparation and properties of nylon 6-nylon 6T/6I alloys[J]. Engineering Plastics Application, 2018, 46(8): 7-11.
- [20] 杨汇鑫, 杨硕, 徐显骏, 等. 半芳香族耐高温尼龙 PA6T/6I 基 LDS 功能材料制备及性能[J]. 工程塑料应用, 2021, 49(1): 1-6.
- Yang Huixin, Yang Shuo, Xu Xianjun, et al. Preparation and performance of semi-aromatic heat-resistant nylon PA6T/6I for laser direct structuring applications[J]. Engineering Plastics Application, 2021, 49(1): 1-6.
- [21] 杨军辉, 易勇, 曹凯凯, 等. 透明尼龙 PA6T/6I 在 GF 增强 PA66 体系中的应用[J]. 塑料工业, 2020, 48(5): 40-43.
- Yang Junhui, Yi Yong, Cao Kaikai, et al. Application of transparent nylon PA6T/6I in GF reinforced PA66[J]. China Plastics Industry, 2020, 48(5): 40-43.
- [22] 蒋姗, 谢聪, 杜欣瑶, 等. PA66/PA6I6T 共混物非等温结晶动力学及性能[J]. 高分子材料科学与工程, 2020, 36(5): 98-106, 116.
- Jiang Shan, Xie Cong, Du Xinyao, et al. Non-isothermal crystallization kinetics and properties of PA66/PA6I6T blends[J]. Polymer Materials Science & Engineering, 2020, 36(5): 98-106, 116.