

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2018.09.002

良外观高玻纤含量聚酰胺 66 复合材料的制备与性能

王忠强, 易庆锋, 王灿耀, 于海鸥, 蓝承东, 卢健体

(广东圆融新材料有限公司, 广东佛山 528300)

摘要: 采用同向双螺杆挤出机通过加入聚酰胺 (PA)66 / 6、聚己二酰间苯二甲胺 (MXD6) 以及含羧基超支化聚合物等功能性树脂制备了高玻纤含量 PA66 复合材料 (玻纤质量分数为 55%), 探讨了 PA66 / 6 和 MXD6 及其复配组合对复合材料的力学性能、流动性能、外观和热性能的影响。结果表明, 加入功能性树脂后, 复合材料的力学性能、熔体流动速率 (MFR) 和产品光泽度均得到明显提升, 而熔融温度和热分解温度下降、结晶温度升高, 但热变形温度基本没有变化。与加入 MXD6 的复合材料相比, 加入 PA66 / 6 的复合材料拉伸强度、缺口冲击强度、MFR、产品光泽度及结晶温度相对较高, 而弯曲强度、弯曲弹性模量、熔融温度和热分解温度较低。等质量比复配 PA66 / 6 和 MXD6 (两者质量比为 5 / 5) 可以起到互补作用, 但效果不显著; 在此基础上非等比例增加 PA66 / 6 和 MXD6 的用量 (两者质量比为 10 / 8), 复合材料的力学性能最佳, 其拉伸强度、弯曲强度、弯曲弹性模量和缺口冲击强度分别达到 248, 341, 17 263 MPa 和 18.5 kJ / m², MFR 达到 38.1 g / 10 min, 光泽度达到 62%, 熔融温度、结晶温度和初始热分解温度分别为 257.8, 222.6℃ 和 419.5℃, 最大热失重速率温度虽然最低, 但仍在 450℃ 以上, 具有较好的热稳定性。

关键词: 高玻纤含量; 聚酰胺 66 复合材料; 良外观; 功能性树脂; 力学性能; 流动性; 光泽度; 热性能

中图分类号: TQ322.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2018)09-0007-06

Preparation and Properties of PA66 Composites with High Glass Fiber Content and Good Appearance

Wang Zhongqiang, Yi Qingfeng, Wang Canyao, Yu Haiou, Lan Chengdong, Lu Jiantu

(Guangdong Aldex Advanced Plastic Co. Ltd., Foshan 528300, China)

Abstract : Polyamide (PA) 66 composites with high glass fiber content (the mass fraction of glass fiber is 55%) were prepared by co-rotating twin screw extruder with adding functional resins including PA66 / 6, poly(m-xylylene adipimide)(MXD6) and hyper-branched polymers with carboxyl. The effects of PA66 / 6 and MXD6 and their combination on the mechanical properties, melt flow properties, appearance and thermal properties of the composites were investigated. The results show that, after adding the functional resins, the mechanical properties, melt flow rate (MFR) and product gloss of the composites are increased obviously, but the melting and thermal decomposition temperature are decreased, the crystallization temperature is increased, moreover, the heat deflection temperature has no change basically. The tensile strength, notched impact strength, MFR, product gloss and crystallization temperature of the composite with PA66 / 6 are higher than those of the composite with MXD6, but the flexural strength and modulus, melting and thermal decomposition temperature are all lower. The combination of PA66 / 6 and MXD6 with equal mass ratio (5 / 5) can play a complementary role, but the effects are not obvious. Based on the combination, increasing the content of PA66 / 6 and MXD6 with non equal mass ratio (10 / 8), the composite has best mechanical properties, the tensile strength, flexural strength, flexural modulus and notched impact strength are 248, 341, 17 263 MPa and 18.5 kJ / m² respectively, MFR reaches 38.1 g / 10 min and product gloss is 62%, the melting, crystallization and initial thermal decomposition temperature are 257.8, 222.6℃ and 419.5℃ respectively, although the maximum thermal decomposition temperature is lowest but is still higher than 450℃, which indicates the composite has good thermal stability.

Keywords : high glass fiber content ; polyamide 66 composite ; good appearance ; functional resin ; mechanical property ; fluidity ; gloss ; thermal property

基金项目: 2016 年佛山市科技创新项目 (2016AG101493), 市工程中心项目 (2016GA001363)

通讯作者: 王忠强, 博士, 主要研究方向为高分子合成与共混改性 E-mail: jaw1985@sina.com

收稿日期: 2018-07-10

引用格式: 王忠强, 易庆锋, 王灿耀, 等. 良外观高玻纤含量聚酰胺 66 复合材料的制备与性能 [J]. 工程塑料应用, 2018, 46(9):7-12.

Wang Zhongqiang, Yi Qingfeng, Wang Canyao, et al. Preparation and properties of PA66 composites with high glass fiber content and good appearance[J]. Engineering Plastics Application, 2018, 46(9):7-12.

近年来,随着工业发展水平和产品品质要求的提高,通用工程塑料高性能化的研究逐渐提上日程,并且已经成为目前改性塑料的重点研究方向和发展前沿^[1-3]。玻璃纤维(GF)增强热塑性聚酰胺(PA)复合材料在机械工业、汽车零部件、精密仪器和电子电器等许多领域得到应用^[4-6]。其中,高GF含量(GF质量分数不低于50%)改性PA复合材料具有力学性能(尤其是刚性)高、尺寸稳定性优异、长期耐热性以及耐化学性和耐油性好等特点,可替代某些金属材料(如铝合金材料)用于汽车零部件和机械零部件等结构件上,可以有效地降低产品成本并减轻其质量,达到节能降耗的目的,因此受到业界的关注^[7-9]。

随着GF含量的提高,PA基体的熔体黏度增大,GF在基体中不容易均匀分散,导致复合材料的流动性较差且不均匀,在挤出过程中容易发生断条的现象,同时在产品表面容易引起浮纤,因此改善高GF含量PA复合材料产品的浮纤情况,成为各家改性塑料企业研究的热点之一^[10-11]。目前,国外塑料企业如美国杜邦、德国巴斯夫、日本旭化成等已有高GF含量PA复合材料产品,而国内只有少数改性塑料企业对高GF含量PA6复合材料进行了研究,且主要集中在力学性能、增韧改性、阻燃改性等方面,但是对高GF含量PA66复合材料的改性报道较少^[12-13]。因此,开发出具有优异力学性能的良好外观高GF含量PA66复合材料产品将具有广阔的应用市场前景。

针对高GF含量PA66复合材料存在外观差、加工流动性低的缺点,笔者采用功能性树脂对其进行改性,以期获得力学性能和加工流动性优异且具有高外观的高GF含量PA66复合材料。采用的功能性树脂主要有3种,分别为PA66/6、聚己二酰间苯二甲胺(MXD6)以及含羧基等反应官能团的超支化聚合物。PA66/6分子链的柔顺性和流动性较好,可以有效提高GF在基体树脂中的分散程度;MXD6由于含有空间位阻较大的苯环结构,其结晶速率较慢,可以延缓PA66结晶^[14],有利于GF在树脂中的分散;超支化聚合物具有高度支化的三维结构和大量活性的端基,分子链之间没有缠结,同时具有不结晶、低黏度和高化学反应活性等优点。通过在PA66中加入超支化聚合物,可以使超支化聚合物在共混过程中向聚合物流动相和分散相表面迁移,起到一种类似于表面活性剂的作用,从而使聚合

物熔体黏度降低,改善GF的分散与分布,从而改善PA66产品的外观^[15],但是加入的超支化聚合物用量超过0.4份时将对复合材料力学性能产生较大的负面影响。为此,将含羧基超支化聚合物的用量固定为0.2份,通过加入PA66/6和MXD6来改善高GF含量PA66复合材料的外观和加工流动性,探讨了PA66/6和MXD6的用量及其复配对复合材料力学性能、加工性能、外观以及热性能的影响,为后续的工业化生产提供理论依据和工艺参考。

1 实验部分

1.1 主要原料

PA66:EPR24,相对黏度2.4,神马实业股份有限公司;

PA66/6:C1202,相对黏度2.4,山东广垠新材料有限公司;

MXD6:熔体质量流动速率(MFR)为30 g/10 min(275℃,2.16 kg),日本三菱瓦斯化学公司;

含羧基超支化聚合物:熔点135℃,威海晨源分子新材料有限公司;

短切GF:568H,中国巨石股份有限公司;

抗氧剂1098、硅酮:珠海金发供应链管理有限公司。

1.2 主要设备及仪器

同向双螺杆挤出机:TSE-40型,南京瑞亚挤出机械有限公司;

注塑机:SA900II/260-B型,海天塑机集团有限公司;

电子万能试验机:E43-104型,美特斯工业系统(中国)有限公司;

冲击试验机:ZBC1400-2型,美特斯工业系统(中国)有限公司;

MFR测试仪:ZRZ1452型,美特斯工业系统(中国)有限公司;

光泽度仪:MG268plus型,日本柯尼卡美能达公司;

热变形维卡软化点试验机:C-HV6M-000型,英国英斯特朗公司;

差示扫描量热(DSC)仪:DSC214型,德国耐驰公司;

热重分析(TG)仪:TG209F3型,德国耐驰公司。

1.3 试样制备

将PA66、功能性树脂和其它助剂(不包括GF)按表1配方预先混合均匀,然后加入采用特定螺

杆组合的双螺杆挤出机中,将短切 GF 通过侧喂料加入,在螺杆转速 500 r/min、真空度 $-0.08 \sim -0.04$ MPa,料筒温度 $260 \sim 280$ °C 条件下进行挤出造粒。将制得的粒料在 120 °C 下干燥 4 h 以上,然后通过注塑制成标准试样,注塑温度 280 °C。

表 1 高 GF 含量 PA66 复合材料各组分用量 份

配方编号	PA66	PA66 / 6	MXD6	超支化聚合物	GF	助剂 ¹⁾
S ₀	45	0	0	0	55	0.4
S _p	35	10	0	0.2	55	0.4
S _M	35	0	10	0.2	55	0.4
S _{P1+M1}	35	5	5	0.2	55	0.4
S _{P10+M8}	27	10	8	0.2	55	0.4

注: 1) 助剂为抗氧剂 1098 和硅酮,用量分别为 0.2 份。

在配方设计方面,首先通过表 1 中 S₀, S_p 和 S_M 配方的对比,分别得到 PA66 / 6 和 MXD6 对高 GF 含量 PA66 复合材料力学性能、加工性能、外观以及热性能的影响;然后再固定 PA66 / 6 和 MXD6 总用量为 10 份,将 PA66 / 6 和 MXD6 按质量比 1 : 1 复配(即表 1 中 S_{P1+M1}),研究其复配效果对复合材料性能的影响;最后根据上述 4 种配方的对比结果,为增强 PA66 / 6 和 MXD6 的复配效果,分别将 PA66 / 6 和 MXD6 的用量提高,但考虑到 MXD6 的价格相对较贵(MXD6 的价格为 PA66 / 6 的近 2 倍),因此非等比例增加 PA66 / 6 和 MXD6 的用量,得到表 1 中的 S_{P10+M8} 配方,从而得到兼顾性能和成本的高 GF 含量 PA66 复合材料。

1.4 测试及表征

拉伸强度按 GB / T 1040-2006 测试,拉伸速率为 50 mm / min ;

弯曲性能按 GB / T 9341-2008 测试,测试速率为 2 mm / min ;

缺口冲击强度按 GB / T 1843-2008 测试,试样厚度为 4 mm ;

MFR 按 GB / T 3682-2000 测试,测试温度为 275 °C,载荷为 2.16 kg ;

光泽度按 GB / T 8807-1988 测试,入射角取 60° ;

热变形温度(HDT)按 GB / T 1634.2-2004 测试,载荷为 0.45 MPa ;

DSC 测试: 参照 GB / T 19466.3-2004,称量 $2 \sim 3$ mg 的试样置于 DSC 仪中,通过使用空坩埚作参比,以 50 mL / min 流量的高纯氮气为保护气氛,将试样从常温以 50 °C / min 的升温速率升至 300 °C 后,恒温 10 min,消除热历史,然后以 10 °C / min 的降温速率降至 30 °C,恒温 10 min,消除热历史,最

后以 10 °C / min 的升温速率升温至 300 °C,并记录 DSC 曲线;

TG 测试: 参照 GB / T 14837.1-2014,称量 5 mg 左右的试样置于 TG 分析仪中,将试样从常温以 10 °C / min 的升温速率升至 700 °C,气氛为高纯氮气,流量为 50 mL / min。

2 结果与讨论

2.1 功能性树脂对 PA66 复合材料力学性能的影响

表 2 为不同配方的高 GF 含量 PA66 复合材料的力学性能。

表 2 不同配方的高 GF 含量 PA66 复合材料的力学性能

配方编号	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)
S ₀	220	310	15 295	13.8
S _p	229	318	15 795	14.1
S _M	222	335	16 162	13.6
S _{P1+M1}	222	336	16 205	15.2
S _{P10+M8}	248	341	17 263	18.5

从表 2 可以看出,对于加入功能性树脂的复合材料,除加入 MXD6 的复合材料缺口冲击强度没有提高外,其它力学性能均得到提高,其中配方 S_p 下的复合材料拉伸强度和缺口冲击强度略高于配方 S_M,而弯曲强度和弯曲弹性模量则低于 S_M,并且将 PA66 / 6 和 MXD6 按质量比 1 : 1 复配后能起到一定的协同作用,配方 S_{P1+M1} 下的复合材料除拉伸强度低于配方 S_p 外,其它力学性能均高于配方 S_p 和 S_M,其中弯曲性能较配方 S_p 提高幅度更大,冲击性能较配方 S_M 提高幅度更大,表明两者产生了一定的互补作用。这可能是因为 PA66 / 6 与 PA66 同属于脂肪族 PA,而 MXD6 属于半芳香族 PA,故 PA66 / 6 与 PA66 的相容性要优于 MXD6,同时超支化聚合物的极性官能团能提高 GF 与树脂基体的界面粘结力,所以复合材料在受到外界拉力作用时,PA66 与 PA66 / 6 共混物分子链发生相对滑移所需要的拉力更大,同时拉力可以通过界面层传递到 GF 上,GF 与聚合物的界面粘结力越强,拉断时所需要施加的载荷越大,因此配方 S_p 下的复合材料拉伸强度较高;由于 MXD6 含有刚性的苯环结构,树脂刚性较大,故配方 S_M 下的复合材料弯曲强度和弯曲弹性模量较大;同时 PA66 / 6 属于链段柔顺性较好的脂肪族 PA,在受到外力冲击下,能吸收更多的能量,而 MXD6 属于链段刚性较大的半芳香族 PA,其链段柔顺性要差于 PA66,因此加入的 PA66 / 6 可使复合材料的缺口冲击强度有所提高,而加入 MXD6 则对复合材料的缺口冲击强度有一定的不利影响。

将 PA66 / 6 与 MXD6 按等质量比复配后,两种功能性树脂可以在一定程度上进行互补,但拉伸强度与仅加入 MXD6 的相同,说明这种互补作用还存在一定缺陷。采用非等比例增加 PA66 / 6 和 MXD6 用量的方法,使 PA66 / 6 用量高于 MXD6 用量,可以发现复合材料的力学性能均得到显著提升,拉伸强度、弯曲强度、弯曲弹性模量和缺口冲击强度分别达到 248, 341, 17 263 MPa 和 18.5 kJ / m²,明显高于配方 S_p, S_M 和 S_{p1+M1},说明这种配方设计具有较好的效果。

2.2 功能性树脂对 PA66 复合材料 MFR 和产品外观的影响

高 GF 含量 PA66 复合材料的加工流动性可以用 MFR 进行表征,一般来说, MFR 越高,复合材料流动性越好,其产品外观也会越好。产品外观可以用光泽度进行表征,其表示产品外观的光亮程度,光泽度不仅与材料的加工工艺(如模具温度、注塑温度、熔体温度等)相关,而且与材料本身的特性(如折射率、填料种类、黏度等)相关,而产品的光泽度越高,其外观也会越好^[16]。图 1 为不同配方的高 GF 含量 PA66 复合材料产品的外观,表 3 为相应的 MFR 和光泽度。

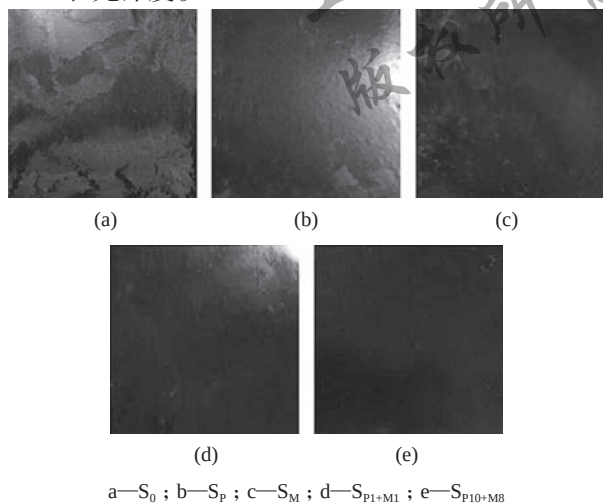


图 1 不同配方的高 GF 含量 PA66 复合材料产品的外观照片

表 3 不同配方的高 GF 含量 PA66 复合材料 MFR 与光泽度

配方编号	MFR / [g · (10 min) ⁻¹]	光泽度 / %
S ₀	17.4	51
S _p	56.9	64
S _M	28.6	57
S _{p1+M1}	31.2	59
S _{p10+M8}	38.1	62

从图 1 和表 3 可以看出,加入功能性树脂后,复合材料的 MFR 和光泽度得到提高,外观得到改善,其中 MFR 由配方 S₀ 的 17.4 g / 10 min 分别提高

到配方 S_p 的 56.9 g / 10 min 和配方 S_M 的 28.6 g / 10 min,光泽度由配方 S₀ 的 51% 分别提高到配方 S_p 的 64% 和配方 S_M 的 57%,其中相较于 MXD6, PA66 / 6 对复合材料 MFR 以及光泽度的提高幅度较大。这可能是因为 PA66 / 6 的熔融温度低于 PA66,其同一温度下的熔体流动性和分子链段的运动能力都优于 PA66, MFR 较高,故产品光泽度也得到相应改善;MXD6 属于半芳香族 PA,含有刚性苯环,在加工过程中可以降低 PA66 的结晶速率,避免了因 PA66 过早结晶而使 GF 分布不均以及外露,从而改善产品的表面光泽度和外观。通过等质量比复配 PA66 / 6 和 MXD6,复合材料的 MFR 和光泽度较配方 S_M 略有提高,但远低于配方 S_p,说明两者等质量比复配具有一定的互补作用,但效果不显著;采用非等比例增加 PA66 / 6 和 MXD6 用量的方法,可使复合材料的 MFR 和光泽度得到进一步提升,其中光泽度达到 62%,已接近配方 S_p,而 MFR 为 38.1 g / 10 min,也能够满足复合材料的加工要求。

2.3 功能性树脂对 PA66 复合材料热性能的影响

(1) HDT 测试结果分析。

图 2 为不同配方的高 GF 含量 PA66 复合材料的 HDT。从图 2 可以看出,各复合材料的 HDT 变化不大,说明功能性树脂的加入对复合材料 HDT 的影响很小。

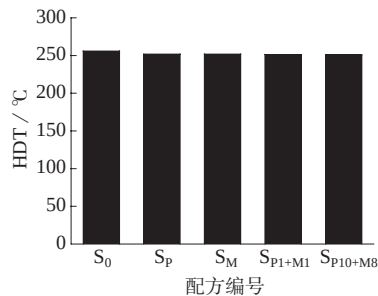


图 2 不同配方的高 GF 含量 PA66 复合材料的 HDT

(2) DSC 测试结果分析。

不同配方的高 GF 含量 PA66 复合材料的 DSC 曲线如图 3 所示,相应的熔融和结晶温度如表 4 所示。从表 4 可以看出,加入功能性树脂后,复合材料的熔融温度均有所下降,而结晶温度均有所上升,熔融温度下降表明复合材料可以在较低温度下熔融,这对其成型加工有利,结晶温度上升表明复合材料可以在较高温度下结晶,结晶变得相对较容易。配方 S_p 的熔融温度略低于配方 S_M,而结晶温度略高于 S_M。这是因为配方 S_p 中 PA66 / 6 的分子链柔顺性要好于配方 S_M 中的 MXD6,其比 MXD6 更容易

发生分子链间的相对滑移,表现为配方 S_p 的熔融温度较低,并且由于 MXD6 分子主链上为刚性的苯环结构单元,空间位阻较大,其分子链折叠进入晶格的速度要慢于 PA66 / 6,因此需要在相对较低的温度结晶,故配方 S_M 的结晶温度稍低。通过等质量比复配 PA66 / 6 和 MXD6 得到的复合材料熔融温度进一步提升,而结晶温度与配方 S_M 相差不大;通过非等比例增加 PA66 / 6 和 MXD6 的用量的方法,可使复合材料的熔融温度接近配方 S_M ,结晶温度与配方 S_p 相等。另外,由于配方 S_{P10+M8} 中 PA66 / 6 用量多于 MXD6,故其柔顺性要好于 S_{P1+M1} ,表现为熔融温度降低、结晶温度提高。

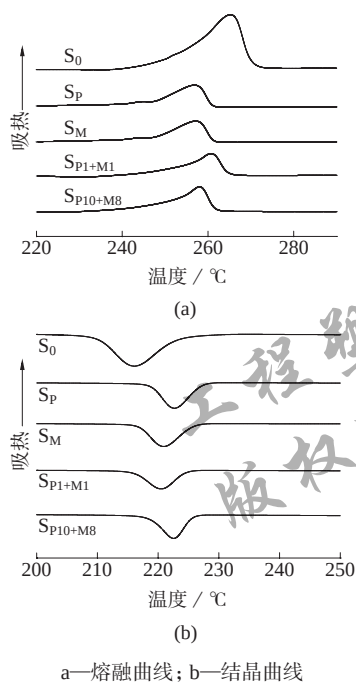


图3 不同配方的高 GF 含量 PA66 复合材料的 DSC 曲线

表4 不同配方的高 GF 含量 PA66 复合材料熔融与结晶温度 / °C

配方编号	熔融温度	结晶温度
S_0	265.2	216.1
S_p	256.9	222.6
S_M	257.3	220.9
S_{P1+M1}	260.8	220.7
S_{P10+M8}	257.8	222.6

(3) TG 测试结果分析。

不同配方的高 GF 含量 PA66 复合材料的 TG 曲线如图 4 所示。从图 4 可以看出,不同配方的复合材料 TG 曲线在 410 ~ 490 °C 的温度范围内只有一个失重平台,通过对 TG 曲线求一阶微分,可得其微分曲线 (DTG 曲线),而 DTG 曲线也只有一个热失重速率峰,说明不同配方的复合材料热降解过程可能是无规断链的一步降解过程,这与缩合聚合产

物的热降解机理相吻合^[17]。其热降解过程大致如下:随着温度的升高,各复合材料开始热降解,在热降解的初期,主要是 C—N 键发生断裂以及分子链间的酰胺基团交联脱水,同时酰胺基团交联产生的水又可以进一步促进酰胺基团的水解^[18],随着温度升高至最大热失重速率的温度附近,各复合材料分子链中的 C—C 键大量断裂,热降解逐渐趋于完全。

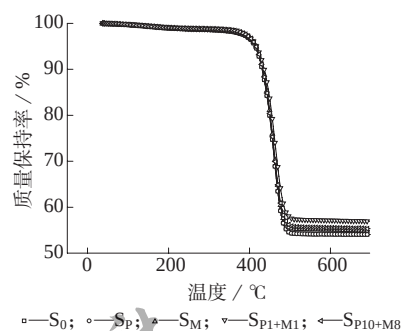


图4 不同配方的高 GF 含量 PA66 复合材料的 TG 曲线

由双切线法从图 4 中可以得到各复合材料的初始热降解温度 (T_{d0})、最大热失重速率温度 (T_{dp}) 以及热降解结束时的温度 (T_{df}),结果列于表 5。从表 5 可以看出,加入功能性树脂后,复合材料的热降解温度均降低,说明功能性树脂对复合材料热稳定性有一定的不利影响。配方 S_M 的 T_{d0} , T_{dp} 及 T_{df} 均较配方 S_p 的高,说明带有刚性苯环结构的 MXD6 对复合材料热稳定性的不利影响相对带有柔顺性链段的 PA66 / 6 较小。将两者等质量比复配后,复合材料的 T_{dp} 有所提高,而采用非等比例增加 PA66 / 6 和 MXD6 的用量的方法,复合材料的热降解温度有所下降,尤其 T_{dp} 下降更显著一些,在各配方中最低,这可能是因为配方 S_{P10+M8} 中带有柔顺性链段的 PA66 / 6 用量多于 MXD6,故复合材料热稳定性要低一些,但其 T_{d0} 在 410 °C 以上, T_{dp} 在 450 °C 以上,仍具有较好的稳定性。

表5 不同配方的高 GF 含量 PA66 复合材料的热分解温度 / °C

样品	T_{d0}	T_{df}	T_{dp}
S_0	421.7	487.5	464.5
S_p	417.7	483.1	460.0
S_M	420.6	485.0	461.9
S_{P1+M1}	420.7	484.7	464.4
S_{P10+M8}	419.5	484.6	458.7

3 结论

(1) 在高 GF 含量 PA66 复合材料中加入功能性树脂 PA66 / 6, MXD6 和超支化聚合物可以有效提高复合材料的力学性能、MFR 和产品光泽度,其中加入 PA66 / 6 的复合材料拉伸强度、缺口冲击强

度、MFR 和产品光泽度均高于加入 MXD6 的复合材料,但弯曲强度和弯曲弹性模量较低。等质量比复配 PA66 / 6 和 MXD6,可起到一定的互补作用,但效果并不显著;非等比例增加 PA66 / 6 和 MXD6 的用量,复合材料的力学性能得到显著提升,均高于其它配方下的复合材料,而 MFR 也达到 38.1 g / 10 min,产品光泽度接近加入 PA66 / 6 的复合材料,为 62%。

(2) 加入功能性树脂对复合材料的热变形温度影响不大。

(3) 加入功能性树脂后,复合材料熔融温度和热分解温度降低、结晶温度升高。加入 PA66 / 6 的复合材料熔融温度和热分解温度低于加入 MXD6 的复合材料,但结晶温度较高。等质量比复配 PA66 / 6 和 MXD6 后,复合材料熔融温度和最大热失重速率温度得到进一步提升;而非等比例增加 PA66 / 6 和 MXD6 的用量,会使复合材料熔融温度和热分解温度有所下降,结晶温度有所提升。

参考文献

- [1] Xie X L, Yu Z Z, Zhang Q X, et al. Synergistic effect of SEBS-g-MA and epoxy on toughening of polyamide 6 / glass fiber composites[J]. Journal of Polymer Science Part B Polymer Physics, 2007, 45(12):1 448-1 458.
- [2] Otaigbe J U, Harland W G. Studies in the properties of nylon 6-glass fiber composites[J]. Journal of Applied Polymer Science, 2010, 36(1):165-175.
- [3] Li D X, You Y L, Deng X, et al. Tribological properties of solid lubricants filled glass fiber reinforced polyamide 6 composites[J]. Materials and Design, 2013, 46(4):809-815.
- [4] Unal H, Mimaroglu A. Mechanical and morphological properties of mica and short glass fiber reinforced polyamide 6 composites[J]. International Journal of Polymeric Materials and Polymeric Biomaterials, 2012, 61(11):834-846.
- [5] Laura D M, Keskkula H, Barlow J W, et al. Effect of glass fiber surface chemistry on the mechanical properties of glass fiber reinforced, rubber-toughened nylon 6[J]. Polymer, 2015, 43(17):4673-4687.
- [6] Tsang K Y, Duquesnay D L, Bates P J. Fatigue properties of vibration-welded nylon 6 and nylon 66 reinforced with glass fibres[J]. Composites Part B Engineering, 2008, 39(2):396-404.
- [7] Demirci M T, Düzcükoğlu H. Wear behaviors of polytetrafluoroethylene and glass fiber reinforced Polyamide 66 journal bearings[J]. Materials & Design, 2014, 57:560-567.
- [8] 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.
- [9] Hassan A, Yahya R, Rafiq M I M, et al. Interfacial shear strength and tensile properties of injection-molded, short-and long-glass fiber-reinforced polyamide 6, 6 composites[J]. Journal of Reinforced Plastics and Composites, 2011, 30(14):1 233-1 242.
- [10] 梁全才, 陈健, 刘小林, 等. 高光滑高含量玻璃纤维增强 PA66 的制备及性能研究[J]. 工程塑料应用, 2013, 41(12):36-39.
- [11] Yan C, Li H, Zhang X, et al. Preparation and properties of continuous glass fiber reinforced anionic polyamide-6 thermoplastic composites[J]. Materials and Design, 2013, 46(4):688-695.
- [12] 李跃文. 玻璃纤维增强尼龙 66 改性研究进展[J]. 玻璃钢 / 复合材料, 2017(3):96-100.
- [13] Li Yuewen. Advance of improvement research of glass fiber reinforced Polyamide 66[J]. Fiber Reinforced Plastics / Composites, 2017(3):96-100.
- [14] Hassan A, Salleh N M, Yahya R, et al. Fiber length, thermal, mechanical, and dynamic mechanical properties of injection-molded glass-fiber / polyamide 6, 6:Plasticization effect[J]. Journal of Reinforced Plastics and Composites, 2011, 30(6):488-498.
- [15] 顾晓华, 曾鹏, 张希伟, 等. 新型共聚改性尼龙 MXD6 的合成及性能研究[J]. 材料导报: 纳米与新材料专辑, 2015(1):233-236.
- [16] Gu Xiaohua, Zeng Peng, Zhang Xiwei, et al. Synthesis and properties of modified nylon MXD6 polymers[J]. Materials Review: Nano and New Materials Album, 2015(1):233-236.
- [17] 赵辉, 王琳, 罗运军, 等. 超支化聚合物的应用研究进展[J]. 工程塑料应用, 2004, 32(5):67-69.
- [18] Zhao Hui, Wang Lin, Luo Yunjun, et al. Advance in application of hyperbranched polymer[J]. Engineering Plastics Application, 2004, 32(5):67-69.
- [19] 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.
- [20] 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.
- [21] Liu W, Zhu W, Li C, et al. Thermal degradation mechanism of poly(hexamethylene carbonate)[J]. Polymer Degradation and Stability, 2015, 112:70-77.
- [22] Wang G Y, Qiu Z B. Crystallization and melting behavior of biodegradable poly(ethylene succinate-co-6 mol % butylene succinate)[J]. Journal of Applied Polymer Science, 2011, 122(1):105-111.