

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2021.11.022

不同形态玻璃纤维对尼龙 66 结构与性能影响

苏似鑫,马航飞,吴启升,沈皓涛,成裕强,陈运洁,吴丽旋,陈金伟

(广东轻工职业技术学院轻工技术学院,广州 510300)

摘要:采用双螺杆挤出机将尼龙 66 (PA66) 和短切玻璃纤维 (GF) 熔融共混,通过侧喂料口方式加入圆柱状和两种不同扁平度的 GF,制备生产出 GF 增强 PA66 复合材料 PA66/GF。采用电子万能试验机、差示扫描量热仪、扫描电子显微镜等研究了不同 GF 形态复合材料的力学性能、结晶能力、断面形貌和热稳定性等指标,并分析了 GF 在 PA66 基体中的分散性,探讨了 PA66/GF 复合材料力学性能与微观结构之间的关系。结果表明,圆柱状 GF 复合材料的整体力学性能优于扁平 GF 复合材料,随着 GF 含量增加,复合材料性能提高显著,但扁平 GF 复合材料的冲击强度较圆柱状 GF 复合材料更为优异,随着扁平度的增加,冲击性能有所提高;不同形态 GF 的复合材料具有显著各向异性,但对其熔融结晶行为及热稳定性的影响程度较小。

关键词: 尼龙 66 ; 玻璃纤维 ; 纤维形态 ; 结构与性能

中图分类号: TQ32 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2021)11-0119-07

Structure and Properties of polyamide 66 Effected by Different Glass Fibers

Su Sixin, Ma Hangfei, Wu Qisheng, Shen Haotao, Cheng Yuqiang, Chen Yunjie, Wu Lixuan, Chen Jinwei

(Guangdong Industry Polytechnic School of Light Chemical Technology, Guangzhou 510300, China)

Abstract : A twin-screw extruder was used to melt and blend polyamide 66 (PA66) and chopped glass fiber (GF). The GF reinforced PA66 composite PA66/GF was prepared by adding different forms of GF through side feeding orifice. The properties of three kinds of composites were studied by means of electronic universal testing machine, DSC, SEM and other modern testing equipment, and the mechanical properties, crystallization ability, section morphology and thermogravimetric properties of the composites were tested according to the standards. The dispersion of GF in the matrix and the interface between GF and resin were analyzed, and the relationship between mechanical properties and microstructure of reinforced composites was discussed. Test results show that the overall mechanical performance of cylindrical GF composite is better than that of flat GF composite, with the increase of GF content, performance improved significantly, but the impact strength of flat GF composite material is more outstanding, improving along with the increase of the degree of flat. Different forms of GF composites have obvious anisotropy, however, it has little effect on melting crystallization behavior and thermal stability.

Keywords : polyamide 66 ; glass fiber ; fiber morphology ; structure and performance

近年来,我国电动汽车制造工业实现了持续、稳步的发展,为相关行业的进步提供了巨大的机遇,但同时对于能源供给、环境等方面的影响也日益明显,而人们对于节能减排需求正在不断扩大。根据工业和信息化部最新出台的《新能源汽车产业发展规划(2021-2035年)》,市场上所有乘用车的能源消耗速度必须下调到 5.0 L/100 km^[1]。

研究结果表明,减轻车重已经成为目前实现汽车节能最直接、最有效的方法:汽车负载减轻 10%,燃料利用效率就会提高 6%~8%;车重每减轻 100 kg,百公里油耗可以减少 0.3~0.6 L^[2-3]。

“以塑代钢”已经成为大势所趋,玻璃纤维 (GF) 增强复合材料由于具有质量轻、强度高、成型工艺

基金项目: 福建工程学院重点科研创新平台开放基金项目 (KF-C19004), 广东省普通高校特色创新类项目 (2021KTSCX202, 2019GKTSCX014), 广州市科技计划项目基础与应用基础研究项目 (202102080524), 广东轻工职业技术学院 2020 年度大学生科研项目 (2020-12, 2020-18)

通信作者: 陈金伟, 博士, 研究员, 主要研究方向为高分子材料结构与性能

收稿日期: 2021-08-26

引用格式: 苏似鑫, 马航飞, 吴启升, 等. 不同形态玻璃纤维对尼龙 66 结构与性能影响 [J]. 工程塑料应用, 2021, 49(11): 119-125.

Su Sixin, Ma Hangfei, Wu Qisheng, et al. Structure and properties of polyamide 66 effected by different glass fibers[J]. Engineering Plastics Application, 2021, 49(11): 119-125.

好、抗氧化、耐腐蚀等优点,现已发展成为以塑代钢的理想材料^[1]。如果在能够有效保证驾驶员和汽车安全的条件前提下,用一种玻璃纤维或者增强剂改性的复合材料来取代汽车的金属零配件,可以极大地减轻和节省车重,达到“轻量化”的目的^[4-6]。尼龙 66 (PA66) 是一种结晶型聚合物^[7-8],具有优异的加工性能、力学性能、耐磨以及耐化学药品性,进一步改性后的 PA66 材料具有更优的综合性能^[9-11]。PA66 经过 GF 增强后,依靠纤维和树脂的牢固粘结,材料的力学强度明显提升;如果同时使用增韧剂增韧,得到的改性 PA66 材料将会具有平衡的刚性和韧性,此类材料广泛应用于汽车、家电和工具等领域。常见的解决方案如填充部分矿物,或者使用扁平 GF 替代常规的圆 GF,均可以明显改善成型制品的翘曲变形量^[12-13]。但填充部分矿物对力学性能的负面影响很大,而目前市场上主流的高性能扁平 GF 增强 PA66 在刚性和韧性方面和圆 GF 增强 PA66 依然存在一定的差距。

笔者以普通 PA66 作为基体,采用不同形态的短切 GF 进行改性。从纤维在基体中的分散形态、纤维与树脂界面的结合等方面分析了复合材料性能与结构之间的关系。

1 实验部分

1.1 实验原料

PA66: EP158, 相对黏度 2.67, 熔体质量流动速率 10.8 g/10 min, 华峰集团有限公司;

圆柱 GF: ECS301HP-3-H (以下简称为 H3), 其横截面直径为 10 μm , 长度 3 mm, 重庆国际复合材料有限公司;

扁平 GF: ECS301HP-3-M3 (以下简称为 M3), 横截面长径 24 μm 、短径 8 μm , 扁平比为 3, 重庆国际复合材料有限公司;

扁平 GF: ECS301HP-3-M4 (以下简称为 M4), 横截面长径 28 μm 、短径 7 μm , 扁平比为 4, 重庆国际复合材料有限公司;

γ -氨丙基三乙氧基硅烷: KH550, 南京康普顿曙光有机硅化工有限公司;

抗氧化剂: 1010, 168, 德国巴斯夫股份有限公司。

1.2 主要设备和仪器

双螺杆挤出机: 35 型, 长径比 40:1, 科倍隆(南京)机械有限公司;

注塑机: SZ-90 型, 广东华东机械有限公司;

电热鼓风干燥箱: SD101-3A 型, 南通华泰实验

仪器有限公司;

电子万能测试机: CMT4204 型, 深圳市新三思材料检测有限公司;

悬臂梁冲击试验机: HIT-2492 型, 承德市金建检测仪器有限公司;

扫描电子显微镜 (SEM): JSM-6460LV 型, 日本电子株式会社;

差示扫描量热 (DSC) 仪: Q-2000 型, 美国 TA 仪器公司;

同步 TGA/DSC 热分析仪: SDT Q600 型, 美国 TA 仪器公司;

电子密度测试仪: DX-120TC 型, 东莞市力测电子科技有限公司;

电子天平: JJ500 型, 美国双杰兄弟(集团)有限公司;

分析天平: CP224C 型, 奥豪斯仪器(上海)有限公司;

偏光显微镜: Axio Scope A1 Pol 型, 卡尔·蔡司公司。

1.3 样品制备

先将 PA66 树脂置于 80℃ 真空干燥箱中干燥 8 h 以去水分。按表 1 配方称量, 每组配方的原料总质量都取 3 kg。将 PA66、硅烷偶联剂、抗氧化剂, 放入高速混合机中混合 3 min。将混合物通过料斗加入同向双螺杆挤出机, GF 从挤出机的侧进料口加入, 挤出加工温度控制在 260~280℃, 螺杆转速设定在 300~400 r/min。经挤出、牵引、冷却、切粒后放置于 100℃ 烘箱干燥 4 h。

表 1 增强 PA66 材料质量配方

材料编号	PA66	H3	M3	M4	KH550	1010	168
H3-30	100	30			1	1.2	0.8
H3-40	100	40			1	1.2	0.8
H3-50	100	50			1	1.2	0.8
M3-30	100		30		1	1.2	0.8
M3-40	100		40		1	1.2	0.8
M3-50	100		50		1	1.2	0.8
M4-30	100			30	1	1.2	0.8
M4-40	100			40	1	1.2	0.8
M4-50	100			50	1	1.2	0.8

将干燥好的粒料通过注塑机成型制样, 注塑温度为 260~280℃, 注射速度为 60 mm/s, 注射压力为 80 MPa, 保压和冷却时间设定在 15 s, 熔胶储量通过设定螺杆后退 60 mm 实现, 背压调整为 0 MPa。每种试样的前三模都不取, 以减少过渡料带来的性能误差, 将注射好的样品裁剪放置在铝塑

复合袋中静置冷却 24 h 以消除内应力。

1.4 测试与表征

力学性能测试: 拉伸性能采用电子万能测试机按 GB/T 1040.1-2018 测试, 拉伸速率 10 mm/min; 弯曲性能采用电子万能测试机按 GB/T 9341-2008 测试, 弯曲速率 2 mm/min; 悬臂梁缺口冲击强度采用悬臂梁冲击试验机按 GB/T 1843.1-2008 测试。均在室温下进行, 每组样条至少测试 5 个数据取平均值。

SEM 表征: 观察复合材料的纵向脆性断口和冲击断口。测试前用液氮淬断, 对断面做喷金处理, 用相对低倍镜的 250 倍观察整体形貌, 以及玻纤与树脂接触界面的结合情况。

马弗炉灰分测试: 采用箱式电阻炉燃烧, 先称取 5 g 左右的试样, 灼烧温度为 800℃, 时间为 2 h, 待其彻底将树脂燃烧完后, 取出灰分进行称重, 即可计算灰分的百分比, 同时对残余的纤维灰分进行观察比对。

DSC 测试: 在高纯氮气保护环境中进行, 氮气流速为 60 mL/min, 升降温速率 10℃/min, 先从 25℃ 逐渐升高至 285℃, 恒温 5 min, 然后从 285℃ 降低至 25℃。

2 结果与讨论

2.1 PA66/GF 复合材料的力学性能

表 2 为不同配方 PA66/GF 复合材料的力学性能。

表 2 PA66/GF 复合材料的力学性能

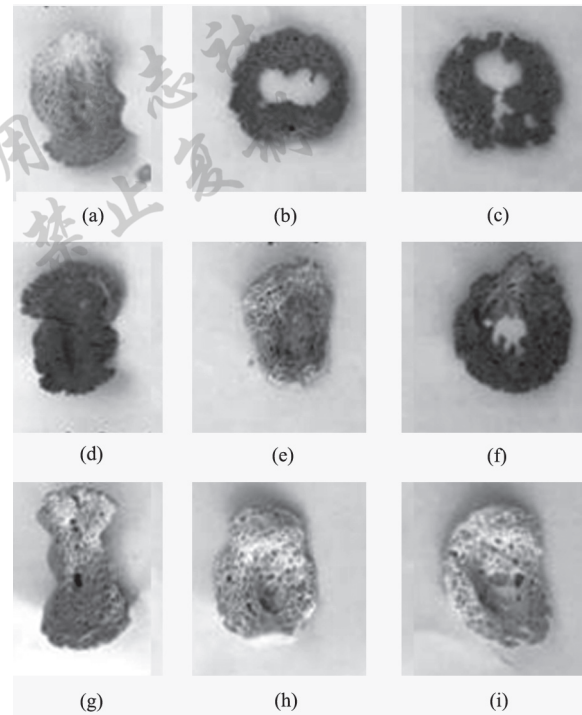
材料	拉伸弹性模量 / MPa	拉伸强度 / MPa	弯曲弹性模量 / MPa	弯曲强度 / MPa	弯曲断裂挠度 / mm	缺口冲击强度 / (kJ·m ⁻²)
PA66	2259.7	66.3	2512.2	111.3	9.67	7.63
H3-30	5166.4	168.9	5992.3	264.9	9.62	10.43
M3-30	4850.0	146.4	5907.5	223.8	6.95	12.92
M4-30	5616.5	151.9	6051.5	231.4	7.27	10.92
H3-40	4518.1	177.6	6696.6	274.7	8.89	12.47
M3-40	5700.5	170.0	6726.4	265.8	7.78	12.69
M4-40	6001.2	165.7	6658.8	263.2	7.63	13.23
H3-50	5977.1	201.6	7613.2	309.2	8.46	12.85
M3-50	5860.0	194.5	7490.1	297.0	7.91	14.89
M4-50	6124.2	181.9	7218.3	278.6	7.87	14.46

由表 2 可看出, 在 GF 添加量相同的复合材料中, 圆柱型 GF 可以提高试样的拉伸强度、弯曲强度、弯曲弹性模量和断裂挠度。随着扁平度增加, 在添加量 30 份时力学性能变化趋势并不是很明显, 但在添加量达到 40 份和 50 份时, 复合材料的拉伸强度、弯曲强度以及弹性模量出现下降趋势, 冲击强度

基本呈升高趋势。其中, 在三种不同 GF 掺量的体系中, GF 用量为 50 份时, 复合材料的拉伸性能和弯曲强度明显最好, 拉伸强度达到 201.6 MPa, 弯曲弹性模量达到 7613.2 MPa, 分别较同含量的扁平度为 4 的复合材料提高了 11% 和 5%, 其弯曲强度达到 309 MPa, 是纯 PA66 树脂的 2.8 倍。在冲击强度对比中, 扁平状 GF 复合材料的性能更优, 与拉伸性能呈相反趋势, 这说明 PA66/GF 复合材料具有一定的各向异性, 且这种各向异性在圆柱状 GF 复合材料中表现得更为明显。

2.2 PA66/GF 复合材料的灰分形貌

通过马弗炉升温煅烧不同形态 GF 复合材料的冲击测试样条, 灰分形貌如图 1 所示灰分含量数据见表 3。



a—H3-30; b—M3-30; c—M4-30; d—H3-40; e—M3-40; f—M4-40; g—H3-50; h—M3-50; i—M-50

图 1 PA66/GF 复合材料煅烧灰分形貌

表 3 PA66 及 PA66/GF 复合材料的灰分含量 %

样品	GF 质量分数	灰分	样品	GF 质量分数	灰分
PA66	0	0	M3-40	28	28.3
H3-30	23	22.3	M3-50	33	33.1
H3-40	28	27.6	M4-30	23	23.1
H3-50	33	32.5	M4-40	28	27.8
M3-30	23	22.6	M4-50	33	32.8

从图 1 可以看出, 圆柱状 GF 复合材料的灰分凝结得仍然很紧密, GF 用量为 30 份时, GF 的排布很紧实, GF 间的隙孔较小; 而扁平状 GF 复合材

料的灰分形貌相对分散,在 GF 含量较低时,GF 分布主要呈现在外围,核心相对少些,相比之下,圆柱状 GF 从一开始较低含量时就已经呈现结构排布相对纠缠更为紧密均匀的状态。随着 GF 含量增加,H3-50 试样的灰分从其外观上看,紧实效果更为显著,而在相同 GF 含量下,扁平 GF 体系灰分结构呈现出扩散性的网状。整体来讲,不论是形态如何的 GF,其细长的纤维容易被缠结在一起,所以通常在基础树脂中缠结形成网络,不是很容易分离,基本呈现聚集状态。根据 GF 煅烧后形成的宏观网络结构,可以推断能提高 PA66 / GF 复合材料的力学性能。

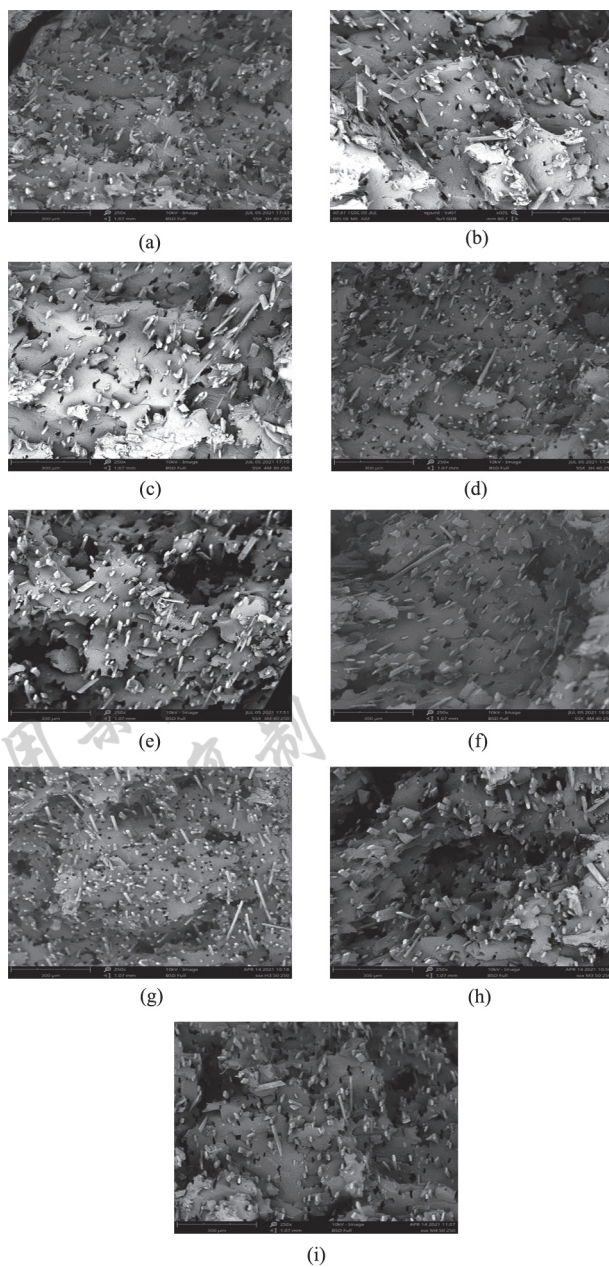
由于 GF 的熔点 680°C ,沸点是 1000°C ,PA66 的分解温度低于 500°C ,试验灼烧温度为 800°C ,此温度下 PA66 分解,GF 熔化但不挥发,因此可推断灰渣为 GF。通过灰分试验数据与 GF 含量的对比,发现 GF 含量与灰分基本一致。

2.3 PA66 / GF 复合材料的断面形貌

(1) 冲击断面。

图 2 是不同复合材料试样冲击断面 SEM 照片。微观结构决定材料性能,通过观察 PA66 / GF 复合材料的微观形貌可以直观了解 GF 在 PA66 基体中的分散状况以及与 PA66 基体间的相容性。在相同放大倍率下,可以明显观察到圆柱状 GF 复合材料的纤维数目比扁平系列的多,分布情况也较为零散,其单根 GF 的截面直径大约为 $10\ \mu\text{m}$,扁平度 3 的单根 GF 截面长径约为 $24\ \mu\text{m}$,扁平度 4 的单根 GF 截面长径约为 $28\ \mu\text{m}$ 。也就是说,在扁平度 4 的复合材料中,每根 GF 相当于由三根圆柱状 GF 并排形成束状,当外力沿纵向作用时易形成应力集中点,降低复合材料的拉伸性能、弹性模量等。

从以上复合材料中 GF 的剥离数量、断裂情况以及树脂的接触面情况,可以看出实验使用的圆柱状 GF 同 PA66 基体树脂结合得更为紧密,其分散更加均匀,单位空间内 GF 与树脂的接触面更广,样条在冲断的瞬间,圆柱状 GF 基本在靠近界面处断裂,表现出刚性效果;而扁平 GF 复合试样在冲断时,单根扁平 GF 能承受的外界应力相较于圆柱状 GF 是更加多元化的,因为扁平 GF 在树脂中结合时,在这种横向外力冲击方向上,其承受面是有多个角度的,当受冲击面面积更大时,形成的应力集中,比单一细长的圆柱状 GF 所能吸收的能量更多,抵抗外界冲击的能力也就越强,同时这种横向的增强效果随着扁平程度的增加,其抗冲击能力更优异,即增



a—H3-30 ; b—M3-30 ; c—M4-30 ; d—H3-40 ; e—M3-40 ;
f—M4-40 ; g—H3-50 ; h—M3-50 ; i—M-50

图 2 PA66 / GF 复合材料样条冲击断面 SEM 照片

强了复合材料的冲击强度。

(2) 沿熔融流动方向的断面。

如图 3 所示,沿流动方向从试样中间取一段 5 mm 长度样品,并浸入液氮沿流动方向淬断。

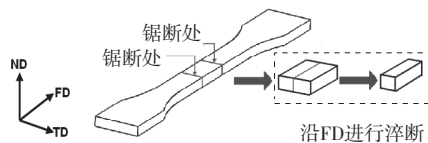
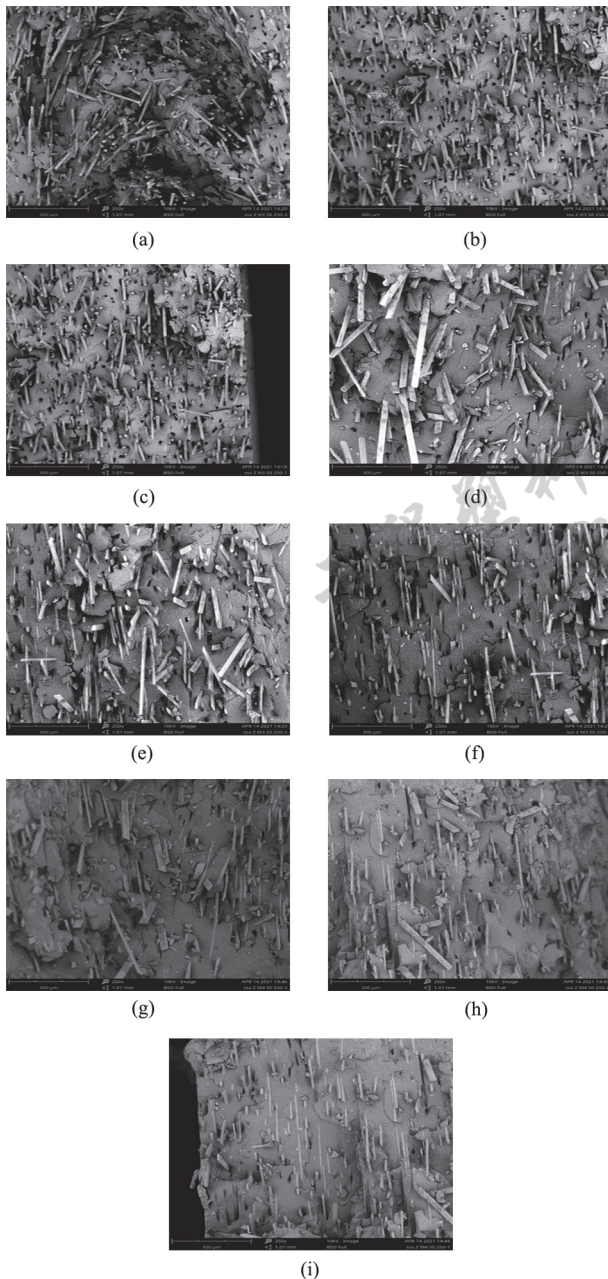


图 3 SEM 淬断试样制备过程示意图

采用 SEM 对淬断后的样品面从皮层到芯层进行逐层观察复合材料样品的 GF 分布情况。为了使测试结果有更好的可比性,选用增强效果较优异的 GF 添加量为 50 份的体系进行分析,统一取放大 250 倍皮下 300 μm 作为芯层、过渡层及皮层的观察位置^[14],分层 SEM 表征结果见图 4。图 4 中从皮层到芯层,存在共同的趋势:皮层的 GF 更趋向平行,基本沿着流动方向,越往芯层越趋向紊乱,为复



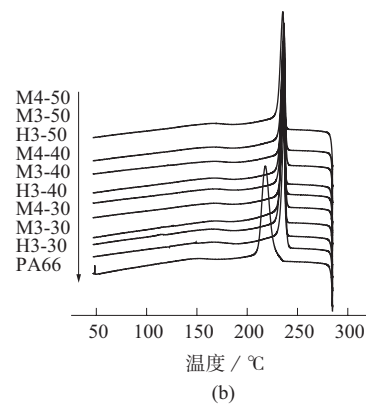
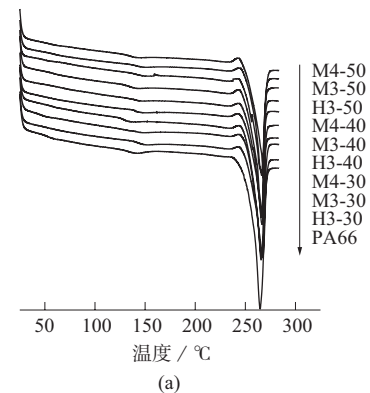
a—H3-50 芯层; b—H3-50 过渡层; c—H3-50 皮层;
d—M3-50 芯层; e—M3-50 过渡层; f—M3-50 皮层;
g—M4-50 芯层; h—M4-50 过渡层; i—M4-50 皮层

图 4 PA66/GF 复合材料拉伸样条纵向淬断断面 SEM 照片

合材料的外层刚性提供有力支持。从纤维形态上比较,圆柱状 GF 不仅保持有扁平 GF 的分散情况,其芯层的 GF 交织现象使得复合材料在纵向的承受效果不只是有树脂与 GF、树脂本身的连接,还有高密度的 GF 交织缠绕,形成网状编织态,使得核心强度更高,有利于增强材料的拉伸强度、模量。通过对比图 4a、图 4d、图 4g 可以看出,扁平度 3 的 GF 体系芯层也有内旋缠叠的交织态,但程度不及圆柱状 GF 复合材料,而扁平度 4 的 GF 体系这种芯层紊乱程度较弱,GF 之间基本延续过渡层的微平行状态,其沿熔体流动方向的力学性能,如拉伸强度,就达不到圆柱状 GF 复合材料交织状态的力学效果,也说明扁平度大的 GF 在注射成型过程中比圆柱状 GF 更容易沿着熔体流动方向移动。

2.4 PA66/GF 复合材料熔融结晶性能

图 5 为 PA66 及 PA66/GF 复合材料的升降温 DSC 曲线,表 4 列出了熔融和结晶参数。由表 4 可知,PA66/GF 复合材料与 PA66 相比,熔点都有所提高,说明加入 GF 使得整体的熔点有所上升,不同形状 GF 复合材料的熔点保持在 266 $^{\circ}\text{C}$ 上下,表明 GF 形态对复合材料的熔融行为影响不大。



a—升温曲线; b—降温结晶曲线

图 5 PA66 及 PA66/GF 复合材料的升降温 DSC 曲线

表4 PA66及PA66/GF复合材料的熔融结晶参数

材料	熔点/℃	结晶温度/℃	熔融焓/(J·g ⁻¹)	结晶度/%
PA66	264.7	218.0	58.95	30.23
H3-30	267.2	237.1	38.41	19.70
M3-30	266.0	236.0	44.78	22.96
M4-30	265.8	236.2	40.79	20.92
H3-40	266.6	236.7	38.35	19.67
M3-40	265.7	236.1	38.99	19.99
M4-40	266.7	235.8	38.04	19.51
H3-50	266.3	236.8	35.68	18.30
M3-50	266.4	236.4	34.59	17.74
M4-50	267.5	235.5	34.77	17.83

复合材料的结晶能力和结晶度对材料的最高使用温度和力学性能有影响,通过观察图5b中复合材料的结晶峰宽度,可以清楚地看到,加入GF后,复合材料的结晶生长速率显著增加,这主要是因为GF可以在PA66树脂中起到成核剂的作用。由表4可以看出,随着GF的加入,PA66的结晶度降低,说明GF的加入可以大大提高PA66的结晶速率,使PA66的结晶更容易。当PA66分子链冷却时,在较高的温度下可能立即发生结晶,说明GF诱导了PA66分子链的异相成核和结晶^[15]。在相同GF掺量下,不同GF形态对复合材料结晶度的影响较小。

3 结论

(1) GF在PA66基体中分散性较好,相互作用强。GF增强存在各向异性,随着扁平度增加,复合材料的各向异性现象更加显著。

(2) 圆柱状GF复合材料的整体力学性能优于扁平GF复合材料,扁平度高的GF复合材料的抗冲击性能更优。随着扁平度增加,材料的各向异性现象更加显著。常规的圆柱状GF复合材料的综合力学性能相对更强,基本达到了以塑代钢的效果。

(3) GF的加入可以诱导PA66分子链的异相成核和结晶,在相同GF添加比例下,不同GF形态对复合材料的熔融行为影响较小。

(4) 皮层GF排布呈现沿流动向平行分布,越往芯层,GF开始趋于回旋环绕状态,在圆柱状GF复合材料中,核心的紊乱区使得复合材料的整体力学性能更优良。

参考文献

- [1] 储梦飞. 注塑成型玻璃纤维增强PA66复合材料的各向异性力学性能[D]. 上海: 东华大学, 2019.
Chu Mengfei. A study on the anisotropy of injection molded short glass fiber reinforced pa66 composites[D]. Shanghai: Donghua University, 2019.
- [2] 张丽. 我国工程塑料产业现状分析与发展建议[J]. 化工新型材料, 2018, 46(12): 16-22.
Zhang Li. Current situation analysis and development suggestion of engineering plastics industry in China[J]. New Chemical Materials, 2018, 46(12): 16-22.
- [3] 冀杰. 第八届CPRJ车用塑料技术论坛展示会暨2018重庆汽车行业年会, 创新轻量化·深耕智能化[C]. 重庆汽车工程学会, 2018.
Ji Jie. The 8th CPRJ automotive plastics technology forum exhibition & 2018 Chongqing automotive industry annual conference "Innovation, Lightweight and Deep Development of Intelligence" [C]. Chongqing Automotive Engineering Society, 2018.
- [4] 陈林山, 陈翔. 塑料与复合材料在汽车轻量化设计中的应用[J]. 塑料工业, 2017, 45(7): 103-106.
Chen Linshan, Chen Xiang. Application of plastics and composite materials in lightweight design of automobile[J]. China Plastics Industry, 2017, 45(7): 103-106.
- [5] 吴飞. 基于轻量化概念的碳纤维复合材料汽车保险杠设计[J]. 塑料工业, 2018, 46(8): 14-17.
Wu Fei. Design of carbon fiber composite bumper for automobile based on lightweight concept[J]. China Plastics Industry, 2018, 46(8): 14-17.
- [6] 王莉莉, 高国强, 李松. 国外汽车用复合材料近况与发展趋势[A]. 第十六届玻璃钢/复合材料学术年会论文集[C]. 中国硅酸盐学会, 2005.
Wang Lili, Gao Guoqiang, Li Song. Recent situation and development trend of automobile composite materials abroad[A]. Proceedings of the 16th Annual Conference on FRP / Composites[C]. Chinese Ceramic Society, 2005.
- [7] 王正宏, 张敏, 黄宁选, 等. 尼龙66改性研究进展[J]. 工程塑料应用, 2014, 42(1): 121-125.
Wang Zhenghong, Zhang Min, Huang Ningxuan, et al. Progress in modification of nylon 66[J]. Engineering Plastics Application, 2014, 42(1): 121-125.
- [8] 张彩霞, 徐秀兵, 王居兰, 等. 玻纤增强尼龙66产品的制备与研究[J]. 广东化工, 2012, 39(15): 111-112.
Zhang Caixia, Xu Xiubing, Wang Julian, et al. Preparation and study of the glass fiber reinforced nylon 66 products[J]. Guangdong Chemical Industry, 2012, 39(15): 111-112.
- [9] Ishak Z A M, Berry J P. Impact properties of short carbon fiber reinforced nylon 66[J]. Polymer Engineering and Science, 1993,

- 33(22):1 483-1 488.
- [10] Fu X, Li J, Zhou Z, et al. Factors influencing the formability of GF / nylon-66 in one-step extrusion[J]. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2017, 89(1):1-11.
- [11] Liu J, Liu X G. The studying on the influence of coupling agents to short glass fiber reinforced polyamide composites[J]. Advanced Materials Researc, 2011, 181-182:836-841.
- [12] 张强,郭建鹏,孟成铭,等. 高表面低翘曲玻纤增强 PA 复合材料的制备和性能研究 [J]. 塑料工业, 2011, 39(11):32-34.
- Zhang Qiang, Guo Jianpeng, Men Chengming, et al. Preparation and properties study of GF reinforced PA composite with low warpage and better surface[J]. China Plastics Industry, 2011, 39(11):32-34.
- [13] 何勇,彭珂,曾庆文,等. 高强度低翘曲 PA66 复合材料的研究 [J]. 玻璃纤维, 2016(6):1-4.
- He Yong, Peng Ke, Zeng Qingwen, et al. Study on PA66 composite with high strength and low warpage[J]. Fiber Glass, 2016(6):1-4.
- [14] 陈金伟. 聚合物熔体振荡推拉成型试样的结构与性能研究 [D]. 广州: 华南理工大学, 2014.
- Chen Jinwei. Study on the structure and properties of sample molded by oscillating push-pull molding of polymer melt[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2014.
- [15] 张娜娜. 短切玻纤增强尼龙 12T 复合材料的制备及性能研究 [D]. 郑州: 郑州大学, 2018.
- Zhang Nana. Properties of short glass fiber reinforced PA12T composites[D]. Zhengzhou: Zhengzhou University, 2018.

欢迎订阅 2022 年《工程塑料应用》、《化学分析计量》及合订本光盘

邮发代号 24-42, 24-138 全国各地邮局均可订阅

也可直接通过邮局或银行汇款向《工程塑料应用》杂志社订阅《工程塑料应用》、《化学分析计量》及合订本光盘, 请注明订阅期刊 / 光盘的名称、收件人、邮编及地址。

《工程塑料应用》国内外公开发行的全国性塑料专业技术类刊物, 月刊, 大 16 开本, 每月 10 日出版。本刊为中文核心期刊, 是中国合成树脂供销协会会刊, 荣获首届、第二届、第三届全国期刊奖等多项国家、省部级优秀期刊奖, 入选美国化学文摘 (CA) 千种表。2022 年定价 20 元 / 期, 全年 240 元。目前杂志社尚有部分 2000 年以来的单册和合订本库存, 如需订阅, 请联系杂志社。

《化学分析计量》国内外公开发行的全国性分析、计量专业技术类刊物, 月刊, 大 16 开本, 每月 20 日出版。本刊为中国科技核心期刊, 荣获多项省部级优秀期刊奖, 入选美国化学文摘 (CA) 千种表。2022 年定价 20 元 / 期, 全年 240 元。目前杂志社尚有部分 2000 年以来的单册和合订本库存, 如需订阅, 请联系杂志社。

《工程塑料应用》、《化学分析计量》合订本光盘 杂志社已将《工程塑料应用》自创刊号 (1973 年) 至 2020 年底共 48 卷 374 期的期刊电子化, 并制成合订本光盘, 现公开发售; 同时也将《化学分析计量》自创刊号 (1992 年) 至 2020 年底

共 29 卷 141 期的期刊电子化, 并制成合订本光盘, 现公开发售。合订本光盘既可按作者、文题、关键词、年、期等分类查阅各期刊已发表的所有科技文章和科技信息的全文, 又可根据读者自定义的关键词进行全文检索, 非常方便、实用。《工程塑料应用》合订本光盘优惠售价 550 元; 《化学分析计量》合订本光盘优惠售价 260 元。

邮局汇款:

收款地址: 济南市天桥区田庄东路 3 号

收款单位: 《工程塑料应用》杂志社

邮编: 250031

电话: (0531)85878223 85878057 85878278

传真: (0531)85947355

银行汇款:

户 名: 山东非金属材料研究所

开户银行: 济南市工商银行经十一路支行

账 号: 1602001229014425546

网上订阅: <http://www.epa1973.com>