

碳玻混杂纤维复合改性聚酰胺 66 的研究

杨道显¹ 陈宪宏²

(1. 湖南工业大学材料与制造学院 湖南株洲 412007; 2. 湖南工业大学包装与材料工程学院 湖南株洲 412000)

摘要: 本研究以聚酰胺 66 (PA66) 为树脂基体、纤维[玻璃纤维 (GF)、碳纤维 (CF)、碳玻混杂纤维(CGF, 1:1)]为增强体、马来酸酐接枝聚乙烯弹性体(POE-g-MAH)为相容剂,采用双螺杆挤出制备了纤维增强 PA66 复合材料,研究了纤维种类、含量对复合材料的力学性能、熔融结晶行为的影响。研究结果显示:在 30%纤维含量时,CGF 增强 PA66 复合材料的抗冲强度是 CF 复合材料的 118.9%,拉伸、弯曲强度分别是 GF 复合材料的 116.0%、121.9%。CGF 复合材料能在较大保留 CF 复合材料强度的情况下提升材料韧性与流动性能,降低了复合材料体系的成本以及加工成本,为 CGF 的实际应用提供了基础数据。

关键词: 聚酰胺 66; 混杂纤维; 玻璃纤维; 碳纤维; 力学性能

Mechanical Properties of Carbon Fiber/Glass Fiber Hybrid Polyamide 66 Composites

Yang Daoxian, Chen Xianhong

(1.School of Materials and Manufacturing, Hunan University of Technology, Zhuzhou 412007, Hunan;2. School of Packaging and Materials Engineering, Hunan University of Technology, Zhuzhou 412000, Hunan)

Abstract: In this paper, polyamide 66 (PA66) was used as resin matrix, fiber [glass fiber, carbon fiber, carbon glass mixture (1:1)]reinforcement, maleic anhydride grafted polyethylene elastomer (POE-g-MAH) as compatibilizer, and fiber reinforced PA66 composite materials were prepared by a twin-screw extrusion. The effects of fiber type and content on the mechanical properties and crystallization behavior of the composite were studied. The results show that when the fiber content is 30%, the impact strength of CGF reinforced PA66 composite material is 118.9% of CF composite material, and the tensile and bending strength are 116.0% and 121.9% of GF composite material, respectively. The CGF composite material can improve material toughness and flow performance while retaining the strength of CF composite materials, reduce the cost of composite material systems and processing costs, and provide basic data for the practical application of CGF.

Key words: polyamide 66; hybrid fiber; glass fiber; carbon fiber; mechanical properties.

0 前言

近年来随着工业化进程不断加速,温室气体的排放量与日俱增,导致全球气候变暖,严重威胁全球人类的生存环境。各国政府高度重视,将低碳生活作为人们生活的重要抓手,降低温室气体对环境的影响。汽车作为人们必不可少的交通工具,在温室气体排放量中占有举足轻重的比例,为了降低其对环境的影响,各国都在大力推动汽车轻量化的发展。纤维增强聚酰胺材料以其低密度、高强度、耐腐蚀性、抗疲劳性等优点成为重要的发展方向^[1-3]。而混杂纤维复合材料不仅能保留单一增强材料的性能,又因其可塑性大,使复合材料在低成本的情况下实现了多功能化,如抗冲击性能、耐候性能、抗静电、抗摩擦性能等^[4-5]。采用碳玻混杂纤维用于增强体,主要是利用二者各自的优势,形成协同复合效应,同时还能降低复合材料的生产成本,满足制品在不同工况下的使用要求。Naik 等^[6]通过理论计算和试验分析了碳玻混杂纤维复合环氧树脂材料受力情况,并提出了降低缺口敏感性和改善抗冲击性能的方法。曾帅等^[7]研究了不同碳玻混杂比纤维复合环氧树脂材料的力学性能,发现材料的模量与其纤维的分布情况有关。Gurusideswar 等^[8]制备芳纶石墨混杂纤维复合改性环氧树脂,结果显示其拉伸应力-应变和断裂韧性都有所提高。Yasser Boucenna^[9]在 30%玻纤含量的 PA66 复合材料中添加炭黑(CB)并对其结晶行为进行研究,突出了 GF 的成核作用,且确认 CB 的加入有利于体系结晶。Gültürk Cansu^[10]等人则对行业中

广泛应用的 30%玻纤复合材料进行回收利用率的研究,发现在 3 次机械回收循环后材料的热稳定性和结晶度无明显变化,刚度略有下降,熔体流动指数增加。热塑性复合材料因其可回收再利用而受到产业界的青睐,本研究通过采用玻璃纤维、碳纤维、碳玻混杂纤维对 PA66 增强的影响,探讨其影响规律,为碳玻混杂纤维的实际应用提供指导。

1 实验部分

1.1 主要原材料

聚酰胺 66 (PA66): EPR27 型,平顶山神马工程塑料有限责任公司;短切碳纤维 (CF): SYT45-24K 型,中复神鹰碳纤维股份有限公司;玻璃纤维 (GF): 568H 型,中国巨石股份有限公司;碳玻混杂纤维 (CGF): CF:GF=1:1 (w/w);相容剂 (POE-g-MAH): W1E,科艾斯化学有限公司;抗氧剂: 1098、168,利安隆新材料科技有限公司;润滑剂: PETS,广州伟伯科技有限公司。

1.2 主要设备

双螺杆挤出机: SHJ-35B,南京盛驰橡胶机械制造有限公司;注塑成型机: PT80,广东力劲塑机智造股份有限公司;摆锤式冲击试验机: ZBC7400-BX,美特斯工业系统(中国)有限公司;电子万能试验机: CMT,美特斯工业系统(中国)有限公司;熔体流动速率仪: MF1-1221,承德精密试验机有限公司;热变形温度测定仪: RV-300,承德精密试验机有限公司;SEM: MIRA4,泰思肯有限公司。

1.3 试样的制备

试样分别采用 GF、CF 以及 CGF 改性 PA66, 具体配方设计如表 1 所示。

试样制备过程如下: 将 PA66 于鼓风干燥箱中 120℃ 烘烤 4h 去除水分, POE-g-MAH 含量固定为 3%^[11], 助剂总含量固定为 2%。将干燥后的 PA66、POE-g-MAH 以及助剂混合均匀后从双螺杆挤出机主喂料口送入, 纤维从侧喂料口进, 并挤出造粒, 得到 GF 增强 PA66 复合材料(GF/PA66)、CF 增强 PA66 复合材料(CF/PA66)以及 CGF 增强 PA66 复合材料(CGF/PA66)。挤出机 1~9 区以及机头温度分别为 200℃、260℃、285℃、285℃、280℃、275℃、260℃、250℃、240℃、285℃, 所得复合材料在 120℃ 下干燥 6h 后注塑成型, 获得测试所需样条, 注塑机 1~5 区温度设置分别为 275℃、285℃、285℃、275℃、260℃。

表 1. 不同纤维复合材料的配比

Table 1. The composition ratio of different fiber composites

材料类型	编号	主要成分	组成比例
10%GF/PA66	1#	PA66/GF/POE-g-MAH	85/10/3
20%GF/PA66	2#	PA66/GF/POE-g-MAH	75/20/3
30%GF/PA66	3#	PA66/GF/POE-g-MAH	65/30/3
40%GF/PA66	4#	PA66/GF/POE-g-MAH	55/40/3
10%CF/PA66	5#	PA66/CF/POE-g-MAH	85/10/3
20%CF/PA66	6#	PA66/CF/POE-g-MAH	75/20/3
30%CF/PA66	7#	PA66/CF/POE-g-MAH	65/30/3
40%CF/PA66	8#	PA66/CF/POE-g-MAH	55/40/3
10%CGF/PA66	9#	PA66/GF/CF/POE-g-MAH	85/5/5/3
20%CGF/PA66	10#	PA66/GF/CF/POE-g-MAH	75/10/10/3
30%CGF/PA66	11#	PA66/GF/CF/POE-g-MAH	65/15/15/3
40%CGF/PA66	12#	PA66/GF/CF/POE-g-MAH	55/20/20/3

1.4 测试与表征

(1) 力学性能测试

力学性能测试: 冲击、拉伸和弯曲性能分别按照 GB/T 1043-2008、GB/T 1040-2006 以及 GB/T 9341-2008 进行测试。

(2) 形貌观察

扫描电镜 (SEM): 使用 MIRA4 型扫描电子显微镜 (泰斯肯有限公司) 对经喷金处理后冲击断裂样品的断口进行放大观察, 放大倍率 5000x。

(3) 差示扫描量热法

差示扫描量热仪 (DSC): 使用 NETZSCH DSC300 型 DSC 仪 (德国耐驰) 进行 PA66 及其复合材料的热分析。取一定量样品在 N₂ 保护氛围下, 以 10℃/min 的升温速率从 25℃ 升温到 280℃, 恒温 3min; 然后以 10℃/min 的降温速率从 280℃ 降温至 25℃; 再次以升温速率 10℃/min 二次升温至 280℃, 并进行记录。

2. 结果与讨论

2.1 不同纤维及其含量对复合材料力学性能的影响

CF 具有强度高、密度低、耐磨性优良等特点, 但价格昂贵, 因此限制了其在许多方面的应用^[12]。通过以 GF 代替部分 CF, 在尽可能保留 CF 复合材料优异性能的前提下, 降低材料体系的成本, 拓展其应用领域。

2.1.1 对拉伸性能的影响

图 1 是 CF、GF 及 CGF 增强 PA66 复合材料的拉伸强度的影响曲线。由图可知, 纤维的加入大幅提高了树脂拉伸性能, 拉伸强度

均随纤维含量增加而显著增大。纤维含量从 10% 提升到 30% 过程中材料的拉伸强度明显提升, 而在含量 > 30% 时增大的幅度减缓, 这是由于当纤维含量 > 30% 后, 一方面其相互之间的缠绕加剧, 使其在体系中的分散均匀性降低; 另一方面, 随着纤维含量的增加, 体系的粘度迅速增大, 致使体系在冷却结晶过程中晶体数量减少 (详见后续对结晶行为的影响部分) 以及晶体缺陷增多, 试样受力时容易出现应力集中导致开裂^[13]。在纤维含量 30% 时, CGF/PA66 的拉伸强度为 202.1MPa, 是 GF/PA66 的 116.0%, CF/PA66 的 88.8%; 纤维含量 40% 时, 为 GF/PA66 的 113.7%、CF/PA66 的 87.6%, 说明与 CF 增强改性 PA66 相比, 采用 CGF 改性 PA66 对拉伸性能的影响不大。还可看出, 纤维的种类对拉伸强度影响从大到小的顺序为: CF > CGF > GF。

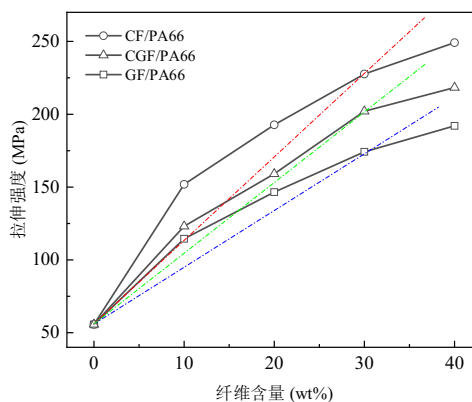


图 1. 不同纤维及其含量对复合材料拉伸性能的影响

Fig. 1. The effect of different fibers and their content on the tensile properties of composites

2.1.2 对弯曲性能的影响

图 2 为 CF、GF 及 CGF 增强 PA66 对弯曲强度的影响曲线。由图可知, 随着纤维含量的增加弯曲强度快速增大, 但在含量 > 30% 后, 增大幅度减缓。这是由于当纤维含量 ≤ 30% 时, 其在 PA66 中分散比较均匀 (详见形貌观察部分), 能有效地将载荷传递到材料整体^[14]; 当纤维含量 > 30% 时, 因基体树脂含量减少, 体系粘度增大, 纤维在基体中的流动性变差, 加之纤维之间的缠绕加剧, 致使纤维在体系中的分散均匀性变差, 有效传递弯曲载荷能力相对下降。在其含量为 30% 时, GF、CGF 和 CF 复合材料的弯曲强度分别为 233.3、284.5 和 324.9MPa, CGF/PA66 的弯曲强度是 GF/PA66、CF/PA66 的 121.9% 和 87.6%, 说明与 CF 改性 PA66 相比, 采用 CGF 改性 PA66 对弯曲性能的影响也不是十分显著。从图上还可看出, 增强纤维的种类对弯曲强度影响从大到小的顺序为: CF > CGF > GF。

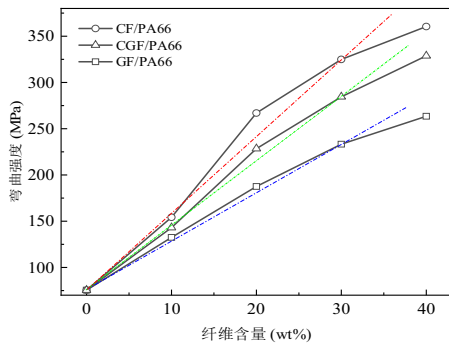


图 2. 不同纤维及其含量对复合材料弯曲性能的影响

Fig. 2. The effect of different fibers and their contents on bending properties of composites

2.1.3 对冲击性能的影响

图 3 是不同纤维及其含量对 PA66 复合材料冲击强度 (缺口) 的影响结果。由图可发现, 随纤维含量的增加, 冲击强度整体呈现为先明显增大 (含量 $\leq 30\%$) 后显著减缓 (含量 $> 30\%$) 的变化趋势, 其中, 在含量 $\leq 30\%$ 时, CF/PA66 以及 CGF/PA66 复合材料的冲击强度则是先轻微下降后上升现象, 这可能是由于在低含量纤维复合材料中, GF 与 PA66 的界面相容性更佳, 能更好发挥其抗冲作用, 因 CF 无法与 PA66 界面形成良好相容, CF 在体系中起到阻碍晶体形成的作用, 导致所形成的晶体缺陷增多, 进而使冲击强度降低^[15]。在纤维含量 $> 30\%$ 后, 冲击性能呈现显著减缓的变化, 这主要是由于体系粘度进一步增大, 纤维分散均匀性相对变差所致。然而三种增强体复合材料的减缓程度存在差异, 这是由于相容剂 POE-g-MAH 对三种纤维增容程度存在差异造成的。对 GF/PA66 复合材料而言, 由于相容剂的存在能在一定程度上与 GF 表面官能团反应形成较好的增容效果, 抑制树脂基体的裂纹扩展^[16], 因此下降幅度相对较小; 对 CF/PA66 复合材料而言, 因其表面与 POE-g-MAH 进行增容反应的官能团较少^[17], 随其含量增加, CF 与基体之间的界面强度相对较低, 导致冲击强度下降; CGF/PA66 正好介于二者之间。在纤维含量为 30% 时, GF、CGF 和 CF 增强复合材料的冲击强度分别为 16.0、13.8 和 11.6 KJ/m², CGF/PA66 的冲击强度分别是 GF/PA66、CF/PA66 的 86.3%、118.9%, 纤维的种类对冲击强度影响从大到小的顺序为: GF > CGF > CF。

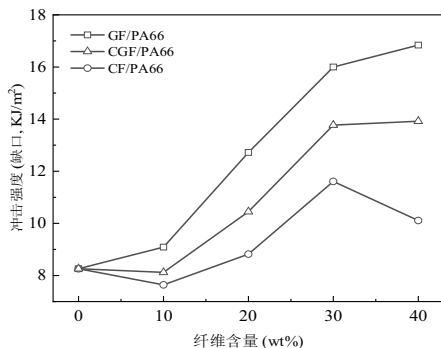
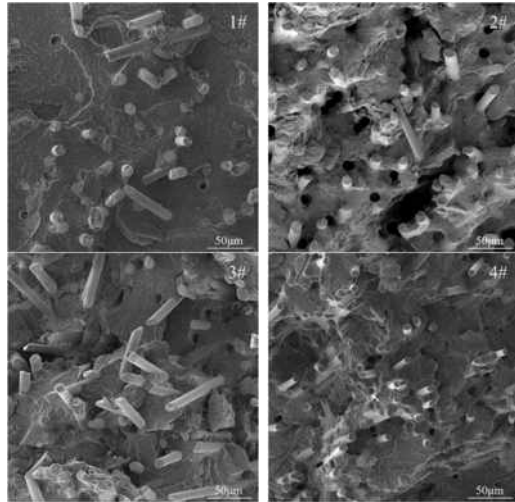


图 3. 不同纤维及其含量对复合材料冲击性能的影响

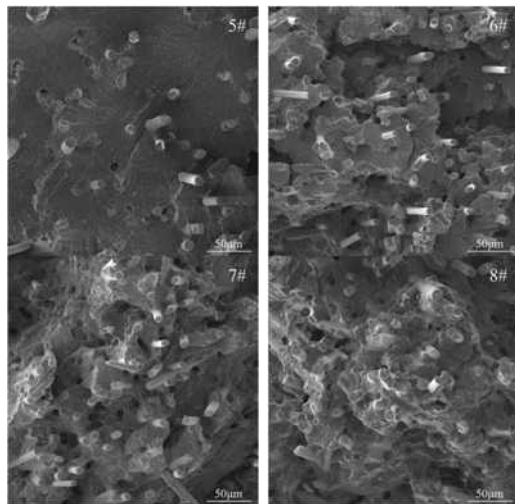
Fig. 3. The effect of different fibers and their content on the impact properties of composites

2.2 不同纤维及其含量复合材料冲击断口形貌观察

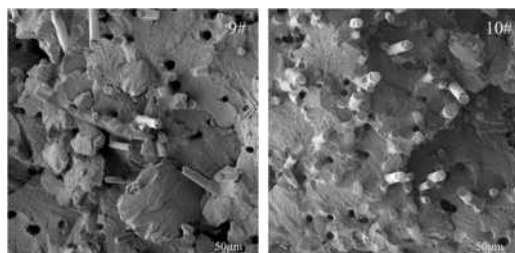
图 4 为不同复合材料的冲击断口 SEM 照片。可以发现, 纤维含量 $\leq 30\%$ 时, 纤维的分散情况较好, 这有利于复合材料整体承载力的提升^[18]。从相同含量的 SEM 放大图可以明显观察到, 在 GF 复合材料所拔出的纤维表面呈凹凸不平状、比较粗糙, 说明其表面覆盖了一层基体物质 (PA66), 而 CF/PA66 复合材料所拔出的纤维直径明显比 GF 复合材料中的小, 且其表面粗糙度相对较低, 表明 CF 与 PA66 相容性要逊于 GF/PA66 复合材料, 界面结合强度比 GF 复合材料差。当纤维含量 $> 30\%$ 后, 通过细察、比较 SEM 照片可以发现, 纤维之间缠绕、团聚现象变得严重, 说明纤维分散均匀性降低^[19,20], 这与前面力学性能所反映的规律一致^[21-23]。

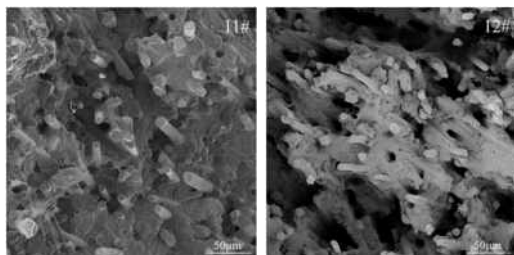


A. 不同含量 GF/PA66 复合材料 SEM



B. 不同含量 CF/PA66 复合材料 SEM





C. 不同含量 CGF/PA66 复合材料 SEM

图 4. 不同纤维含量复合材料的 SEM 照片

Fig. 4. SEM photographs of GF/PA66, CF/PA66 and CGF/PA66 composites with different contents.

2.3 不同纤维及其含量对复合材料熔融结晶行为的影响

对热塑性聚合物基复合材料而言,基体的熔融、结晶行为将直接影响复合材料的性能,为此对复合材料进行了 DSC 检测,结果如图 5-7 所示。从第二次升温曲线(图 5、6 和 7 中的 a 图)可以看出,基体 PA66 与三种纤维复合材料样品在 250~265℃ 温区均出现了两个明显的熔融峰,其中在 263℃ 及 251℃ 附近的双峰分别归属于 α 晶型和 β 晶型的熔融峰^[24];与纯基体 PA66 相比,三种复合材料熔融峰峰位发生了轻微变化,低温熔融峰向高温方向移动了 2~4℃,高温熔融峰向低温位移动了 2℃ 左右,这主要是因为纤维的加入影响了 α 晶型与 β 晶型晶体结构的完整性,使 α 晶型晶体结构的完整性降低,使 β 晶型晶体结构的完整性提高^[25],同时也说明纤维的添加有利提高复合材料体系的耐温性能。从图谱中还可发现,纤维的含量对复合材料的双熔融峰的峰位的影响很小,表明纤维含量对熔融温度影响不大,且由于两个熔融温度的相互靠近,这对该类材料的成型加工工艺温度精准控制大有裨益。图 5、6、7 中的 b 图为不同纤维及含量的复合材料 DSC 降温曲线,不难发现,复合材料的结晶过程呈现几乎相同的变化规律,仅观察到一个明显的结晶峰,分别在 237.3℃ (GF/PA66)、236.3℃ (CF/PA66)、236.5℃ (GCF/PA66)、227.7℃ (PA66) 附近,与纯 PA66 相比复合材料的结晶温度提高了约 9℃,说明纤维的加入有利于基体 PA66 在高温下结晶,起到了异相成核剂的作用。在相同纤维比例下,纤维种类对结晶度从大到小的顺序为,GF \geq GCF \geq CF,这与 GF、CF 以及 GCF 与基体 PA66 的相容性的影响基本一致;对同一复合材料体系,结晶度随纤维含量增加而降低,这主要是由于随着纤维含量的增加,体系粘度不断增大,不利于 PA66 分子进行有序排列所致。

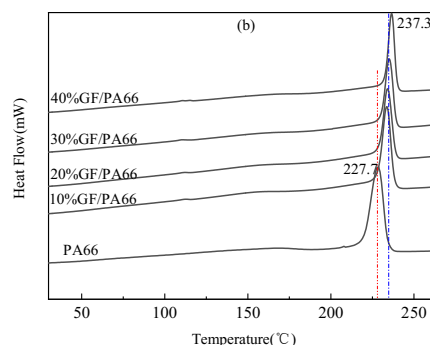


图 5 不同含量玻璃纤维复合材料 DSC 曲线: (a)升温; (b)降温

Fig. 5. DSC curves of glass fiber composites with different contents:

(a)heating process; (b)cooling process

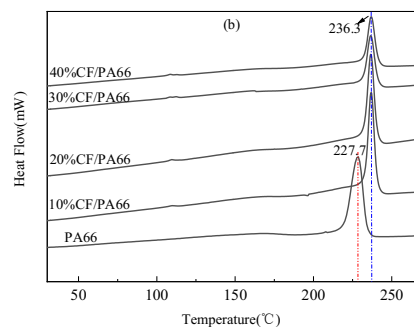
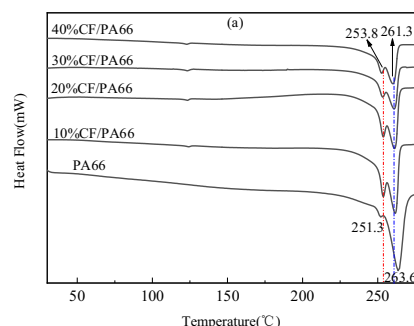
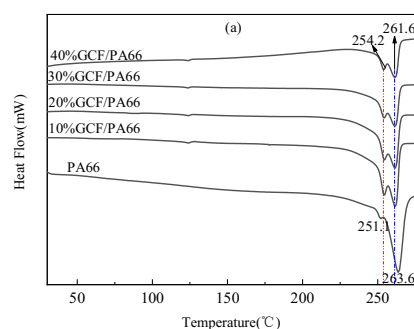
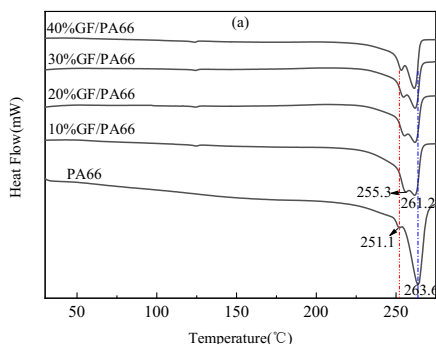


图 6 不同含量碳纤维复合材料 DSC 曲线: (a)升温过程; (b)降温过程

Fig. 6. DSC curves of carbon fiber composites with different contents:

(a)heating process; (b)cooling process



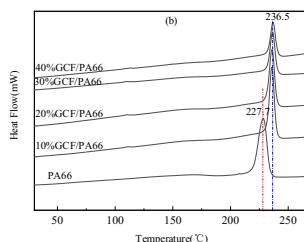


图 7 不同含量混杂纤维复合材料 DSC 曲线: (a)升温过程; (b)降温过程

Fig. 7. DSC curves of hybrid fiber composites with different contents: (a)heating process; (b)cooling process

3 结论

本研究以 PA66 为基体, GF、CF 和 CGF (1:1) 为增强剂, 制备了不同纤维含量的 GF/PA66、CF/PA66 和 CGF/PA66 复合材料, 研究了三种纤维对复合材料的影响。研究发现, 随着纤维含量的增加, 三复合材料的整体力学性能基本都呈现出增大的变化规律, 但在含量高于 30%后增大的趋势减缓; 三种增强纤维对复合材料的力学性能的综合增强效果从大到小的顺序为: CF > CGF > GF; 在相同的纤维含量时, CGF/PA66 复合材料对比碳纤维复合材料, 保留了 CF/PA66 复合材料 90%左右的弯曲、拉伸强度, 且韧性要优于单一碳纤维复合材料。

参考文献:

- [1]张垚,李静,陈文刚等.工程塑料作为对摩擦材料的应用及发展现状[J].塑料工业,2023,51(10):21-29+42.
- [2]牛永平,刘任晖,杜三明等.混杂纤维/POE-g-MAH 复合增强 PA66 耐磨材料[J].工程塑料应用,2017,45(02):12-16.
- [3]赵丽,葛铁军.混合纤维对尼龙 66 的增刚研究[J].沈阳化工大学学报,2011,25(03):246-249.
- [4]鞠录岩,林浩瀚,李伟等.碳/玻混杂纤维铺层顺序对其复合材料力学性能的影响[J].兵器材料科学与工程,2023,6(01):6-7.
- [5]彭哲琦,汪昕,梁训美等.混杂纤维发热格栅的力学性能及力阻效应[J].复合材料科学与工程,2022,(11):82-89.
- [6]Naik N K, Ramasimha R, Arya H. Impact response and damage tolerance characteristics of glass - carbon/epoxy hybrid composite plates[J]. Composites Part B Engineering, 2001, 32(7):565-574.
- [7]曾帅,贾智源,侯博等.碳纤维-玻璃纤维层内混杂单向增强环氧树脂复合材料拉伸性能[J].复合材料学报,2016,33(02):297-303.
- [8]Gurusideswar S, Velmurugan R. Strain rate sensitivity of glass/epoxy composites with nanofillers[J]. Materials & Design, 2014, 60(8): 468-478.
- [9]Boucenna Y ,Layachi A ,Cherfia A , et al.Non-Isothermal Crystallization Kinetics and Activation Energy for Crystal Growth of Polyamide 66/Short Glass Fiber/Carbon Black Composites[J].Materials,2023,16(22):231-233.
- [10]Cansu G ,Hale B .Effects of mechanical recycling on the properties of glass fiber - reinforced polyamide 66 composites in automotive components[J].e-Polymers,2023,23(1):15-22.
- [11]邹梦娇,陈福林,岑兰等.马来酸酐接枝聚合物的制备及其应用研究进展[J].弹性体,2013,23(03):66-71.
- [12]Bahlouli S, Makhlof A, Haddaoui N. Influence of nanosized

CaCO₃ content in tailoring the structure, the morphology and the thermal and mechanical properties of iPP/PA66/PP-g-MA alloy[J]. International Journal of Polymer Analysis and Characterization, 2021,24(01):1-18.

[13]姜林,曹尚刚,刘鸣飞,薛平.分散相含量对 PP/PA66 原位微纤复合材料微观形态和性能的影响[J].工程塑料应用,2023,51(1):22-2733.

[14]唐帅.低磨损高性能玻璃纤维增强 PA66 复合材料的制备及性能研究[J].上海塑料,2020(01):18-25.

[15]张超. POE-g-MAH 对 PA66 性能的影响[J]. 上海塑料, 2022, 50(02): 26-30.

[16]Liu Z, Wang J, Na H, et al. Effect of Inorganic Fillers on Morphology and Mechanical Properties of PA66/POE-g-MAH/Filler Composites[J]. Journal of Macromolecular Science, Part B, 2011, 50(3): 484-492.

[17]吕佳霖,刘志高.硼改性碳纤维的研究进展[J].化工新型材料,2021,49(10):1-5.

[18]Lee C S, Kim H J, Amanov A, et al. Investigation of very high cycle fatigue of PA66-GF30 GFRP based on fiber orientation[J].Composites Science and Technology, 2019, 180(18):94-100.

[19]Tang G, Chang D, Wei G, et al. The Effect of Arylboronic Acid Treatment of Carbon Fiber on the Mechanical and Tribological Properties of PA66 Composites[J].Polymer-Plastics Technology and Engineering, 2012, 51(4): 329-332.

[20]Sang L , Wei Z .Morphology, Structure, and Properties of Carbon Fiber - Polyamide Composites[M].John Wiley & Sons, 2016,33(12):2-4.

[21]Fujihara K, Huang Z M, Ramakrishna S. Influence of processing conditions on bending property of continuous carbon fiber reinforced PEEK composites[J]. Composites Science and Technology, 2004, 64(16):2525-2534.

[22]Chen Q, Chatzigeorgiou G, Robert G ,et al. Viscoelastic-viscoplastic homogenization of short glass-fiber reinforced polyamide composites (PA66/GF) with progressive interphase and matrix damage: New developments and experimental validation[J].Mechanics of materials, 2022(06):164.

[23]Ranjan K ,Kumar S M ,Mozammil M S H , et al.Study of thermal and mechanical behavior by analyzing reinforcement effect of graphene nanoplatelets on polyamide-66 composite system developed via melt-mixing technique[J].Materials Research Express,2023,10(10):45-49.

[24]马晓敏,邢立学,谭洪生等.连续碳纤维增强 PA66 复合材料的结晶与力学性能[J].中国塑料,2019,33(02):40-46+61.

[25]Seok J K ,Shin Y K ,Cheol Y K .Effect of Carbon Fiber Orientation on the Physical Properties and Crystallization Behavior of Nylon 66/Carbon Filler Composites[J].Polymer Korea,2019,43(4):547-552.

作者简介:

杨道显,湖南工业大学硕士研究生,出生年月:1998.11.08,性别:男,民族:侗,学历:硕士研究生在读,籍贯:湖南省怀化市新晃侗族自治县,职称:无,研究专业方向:高分子材料。

陈宪宏,男,湖南汨罗人,湖南工业大学教授,博士生导师,出生年月:1966-1,性别:男,民族: ,学历:博士,籍贯:湖南汨罗,职称:教授,研究专业方向:聚合物基复合材料及新能源电极材料。

湖南省自然科学基金,基金号:2022JJ50004。