

现代化工

PET 树脂基无机纤维状矿物填充改性复合材料的制备及性能探究

刘威

浙江杰上杰新材料股份有限公司

DOI : 10. 32629/j pm. v7i 5. 8914

[摘要] 聚对苯二甲酸乙二醇酯 (PET) 属于一类应用广泛的工程塑料材料, 其实际应用往往受到结晶速率较慢、力学强度不足等本身固有缺陷的限制。经过添加无机纤维状矿物开展填充改性处理, 是提升这类材料整体性能的可行方式。这类改性处理可以让材料的力学强度、模量以及热稳定程度得到明显提升, 同时也能优化材料的加工表现和附加功能, 能拓宽 PET 在汽车领域、电子电气领域以及高端包装等多个方向的应用。文章研究了 PET 树脂基无机纤维状矿物填充改性复合材料的制备及性能, 期望能为相关人员提供参考。

[关键词] 聚对苯二甲酸乙二醇酯树脂; 无机纤维状矿物; 填充改性; 复合材料; 性能检测分析

Preparation and Performance Investigation of PET Resin-Based Inorganic Fiber-Mineral Filled Modified Composites

Liu Wei

Zhejiang Jieshangjie New Materials Co., Ltd.

[Abstract] Polyethylene terephthalate (PET) is a widely used engineering plastic material, yet its practical applications are often limited by inherent drawbacks such as slow crystallization rates and insufficient mechanical strength. Adding inorganic fiber-like minerals for filling modification provides a viable approach to enhance the overall performance of these materials. This modification significantly improves mechanical strength, modulus, and thermal stability, while also optimizing processing properties and additional functionalities, thereby expanding PET's applications in automotive, electronics, electrical engineering, and high-end packaging sectors. This study investigates the preparation and performance characteristics of PET resin-based inorganic fiber-mineral-filled modified composites, aiming to provide valuable insights for relevant researchers.

[Key words] polyethylene terephthalate resin; inorganic fibrous minerals; filling modification; composite materials; performance testing and analysis

引言:

聚对苯二甲酸乙二醇酯 (PET) 因为具备出色的物理化学属性和价格层面的优势, 在工业生产范围中拥有较高的应用份额。但这类材料本身自带的低结晶速率和力学表现未达到较高水平, 限制了其作为高性能工程塑料的进一步推广使用。近年

来, 科研人员运用天然或者合成的无机纤维状矿物对聚合物开展提升强度和韧性的处理, 已经成为高分子材料改性方向受到较多关注的研究内容。这类矿物依靠自身独特的纤维外观、较高的长径比以及不错的表面活性, 可以在 PET 基体内部构建起能发挥作用的应力传递结构, 同时共同提升材料的整体刚度、

抗冲击韧性以及热学相关性能，为研发新一代兼顾高性能和低成本 PET 基复合材料提供了可行的方向。

一、无机纤维状矿物填充 PET 复合材料的制备工艺

(一) 原料预处理与表面改性技术

将 PET 树脂放进真空干燥设备中，在 120 到 140° C 的环境中烘干 4 到 6 小时，让物料的含水率降到 0.02% 以下，避免在后续高温加工过程中出现水解降解的情况，防止树脂的分子量出现下降，同时避免复合材料的力学性能受到负面影响。另外，将无机纤维状矿物填料放在 80 到 100° C 的环境中烘干 12 小时，清除填料表面吸附的水分。之后运用硅烷偶联剂开展填料的表面改性作业，通过化学键合的方式在填料的表面附着有机官能团，降低填料整体的表面能，减少填料颗粒之间出现团聚的情况，强化填料和 PET 基体之间的界面结合强度。在改性作业的过程中，要严格控制偶联剂的添加剂量、反应时的温度以及反应持续的时长，确保偶联剂能够在填料表面形成分布均匀且附着牢固的包覆层，为后续开展熔融共混作业搭建稳定的前置条件。

(二) 熔融共混挤出工艺参数调控

熔融共混挤出是制备无机纤维状矿物填充 PET 复合材料的关键工序，会直接影响填料在基体中的分散状态，以及复合材料最终体现的各项性能。研究人员运用同向双螺杆挤出机开展熔融共混作业，设备的长径比通常要控制在 40 到 48 之间，将混炼强度和物料停留时间调整到足够的水平。挤出机的各个加热段要采用梯度温度设置，从靠近料斗的区段到机头位置依次调整为 230° C、240° C、250° C、255° C、260° C、260° C，这样可以使 PET 树脂充分熔融，同时避免树脂出现过度降解的情况。螺杆的转动速度要设定在 200 到 350 转每分钟的范围，如果转动速度太低，会造成混炼作业不够充分，如果转动速度太高，则会让纤维出现过度断裂的情况，削弱纤维带来的增强效果。无机纤维状矿物填料要运用侧喂料装置按照固定剂量加入，这样可以避免在主喂料口和树脂混合的过程中出现纤维被折断的情况。挤出之后形成的料条，经过水冷处理和风干作业之后再行切粒，最终得到复合材料的粒料，整个加工流程要在通入氮气的环境中进行，减少氧化降解的问题。

(三) 注塑成型与后处理工艺优化

注塑成型是将复合材料粒料加工成最终制品的关键步骤，工艺参数的精准控制会对制品的外观质量和力学性能产生直接影响。注塑环节的温度要设定在 250 到 270° C 之间，模具内部的温度要控制在 80 到 120° C 的范围，较高的模具温度可

以帮助 PET 树脂完成结晶过程，提升制品的耐热性能和尺寸稳定性。注射环节的压力要控制在 80 到 120MPa 之间，注射的速度设定在 50 到 80mm 每秒的范围，保压阶段的压力要设置为注射压力的 50% 到 70%，保压的持续时间控制在 10 到 20 秒，这样可以使熔体充分填充模具的型腔，同时补偿熔体冷却过程中出现的体积收缩。冷却的时长要根据制品的厚度进行调整，通常控制在 20 到 40 秒之间，避免制品在脱模时出现变形的情况。研究人员要对注塑完成后的制品开展退火作业，在 100 到 120° C 的环境中保温 2 到 4 小时，之后再缓慢冷却到室温，去除制品内部存在的内应力，提升制品的尺寸稳定性和力学性能。在退火作业的过程中，要严格控制温度升高和降低的速度，避免因温度变化太快，让制品产生新的内应力。

二、填充改性对 PET 基体结构与性能的影响机制

(一) 界面相互作用调控

无机纤维状矿物和 PET 基体之间的界面结合状态，直接决定了这类复合材料的整体表现。这种界面结合状态对应的作用原理，主要包括化学键合的作用，物理吸附的效果，以及界面相容的调整这三种主要方式。经过了完整表面改性的处理工序的无机纤维材料，这类纤维的表面会引入具备活性的官能基团，可以和 PET 分子链末端带有的羟基、羧基发生酯化反应，形成稳定的共价键结构，搭建出稳定的界面过渡层，让应力可以在这两相中高效传递。同时，拥有较大比表面积的无机纤维，可以和 PET 分子链形成强烈的范德华力以及氢键结合效果，能够限制 PET 分子链的自由活动空间，让材料的刚性和尺寸稳定性得到明显提升。添加相容剂的操作，经过减小两相之间的界面张力，可以改善无机纤维在 PET 基体中的分散均匀程度，减少界面处的缺陷和应力集中区域，避免材料在承受外力时出现界面脱粘和纤维被拔出的情况，在提升复合材料整体力学表现的程度上带来了明显的优化效果。

(二) 结晶行为演变规律

无机纤维状矿物可以作为高效的额外结晶触发位点，能够明显改变 PET 的结晶速度变化过程和晶体的整体结构特点。这类矿物的表面，可以为 PET 分子链的有序排列提供大量的结晶起始点位，减少结晶过程需要的能量门槛，让结晶开始的温度向更高的区间偏移，结晶的整体速度会加快，完成一半结晶量的时间可以缩短到纯 PET 材料的一半以下。同时，大量的结晶起始点位会阻碍大尺寸球晶的生长，催生出细小均匀的微晶结构，降低晶界处的缺陷和材料内部的内应力，让材料的韧性和抗冲击能力得到明显提升。结晶度的提高可以让 PET 分子链排

列更加紧密,强化分子之间的结合力,让材料的耐热变形能力、耐化学腐蚀能力和阻隔性能都得到明显提升,不过如果结晶度太高,会让材料变得更脆,需要通过调整无机纤维的添加量和加工时的各项参数来进行优化调整。

(三) 宏观性能协同效应

用无机纤维状矿物进行填充改性后, PET 复合材料的整体性能会在多个方面出现协同变化的特点。从力学表现的角度来看,无机纤维的骨架支撑作用可以让材料的拉伸强度,弯曲强度和弹性模量都得到明显的提升,当纤维的添加比例达到 30% 时,拉伸强度可以提高到纯 PET 材料的三倍以上,弯曲模量可以提升到原来的 2.5 倍以上,不过材料的断裂伸长率会出现一定程度的下降。在热稳定性相关的性能上,结晶度的提升和无机纤维的热阻隔效果,可以让材料的耐热变形温度得到明显的提升,在 1.8MPa 的负荷条件下,可以超过 200° C,材料的线膨胀系数可以降低 35% 以上,高温环境下的尺寸稳定性也得到了明显的改善。针对材料在流动加工时的表现来看,无机纤维的添加会让熔体的黏度和剪切应力都变大,让材料的流动难度有所增加,不过如果对纤维的表面处理方式和加工工艺进行调整优化,可以在保证材料整体性能的前提下,维持不错的加工成型效果。

三、PET/无机纤维状矿物复合材料的综合性能表征

(一) 力学性能表征

采用标准化的测试流程,开展全面评估 PET/无机纤维状矿物复合材料在不同载荷条件下体现出的力学响应特征,重点考查拉伸强度,以及弯曲强度,冲击强度以及弹性模量等重要指标的变化规律,判断无机纤维状矿物的含量,长径比,以及表面改性方式和力学性能之间的内在关系。经过静态力学测试获取材料的应力和应变曲线,对其变形机制和破坏模式作出解释,分辨出脆性断裂和韧性断裂各自的临界条件。剖析纤维取向分布对复合材料不同方向上的力学表现差异的影响,测算不同方向上强度和模量的差异程度。同时评估材料的硬度,耐磨性能和抗蠕变特性,梳理长期载荷作用下的力学性能衰减规律,为复合材料在实际工程应用中的结构设计提供可靠的力学参数依据。

(二) 热学性能表征

经过差式热扫描测试和热失重测试,开展全面分析 PET/无机纤维状矿物复合材料的热行为特征,测定其玻璃化转变温度,结晶温度,熔融温度以及热分解温度等重要热学指标的变化规律。判断无机纤维状矿物作为能促进结晶的添加剂对 PET

基体结晶动力学的影响,剖析结晶度,结晶速率以及晶体完善度的变化规律,梳理纤维表面处理对结晶行为的调控作用。经过热变形温度测试评估材料在高温载荷下的尺寸稳定性,明确其长期使用温度上限。同时梳理复合材料的热导率,线膨胀系数以及热收缩率等热物理性能,判断纤维含量和取向对热传导特性和热膨胀行为的影响机制,为材料在高温环境下的应用提供热学性能支撑。

(三) 微观结构与界面性能表征

经过电子扫描显微镜观察复合材料的断面形貌,判断无机纤维状矿物在 PET 基体中的分散状态,分布均匀性以及纤维长度保留情况,识别纤维团聚,断丝等缺陷的形成原因。经过断面形貌特征分辨纤维和基体之间的界面结合状态,确定纤维拔出,纤维断裂以及基体开裂等不同破坏形式的占比。经过红外光谱测试和 X 射线光电子测试判断界面区域的化学组成和化学键合情况,对界面结合的微观机制作出解释。同时经过 X 射线衍射测试剖析复合材料的晶体结构和取向度,结合原子力测试显微镜观察界面区域的微观形貌和力学性能分布,搭建微观结构和宏观性能之间的对应关系。

结语:

本文围绕以无机纤维状矿物为填料对 PET 树脂进行填充改性的可行性和有效性开展全面梳理。研究结果显示,经过合理的表面改性和工艺控制,纤维状矿物可以有效提升 PET 复合材料的力学强度,热变形温度以及结晶速率。未来的研究要侧重于开发更高效的界面相容剂,开展多种矿物的协同效应研究,并且深入研究复合材料在特定应用场景,例如轻量化结构件,高阻隔包装下的长期服役性能,为了推动其产业化过程,契合市场对高性能,可持续新材料的迫切需求。

[参考文献]

[1]王丽娟,李银霞,郭航,等.PET 基耐高温电池隔膜材料制备及其性能研究[J].造纸科学与技术,2025,44(12):33-34.

[2]李衍冬.PBT 含量对装饰用 GF 增强 PBT/PET 树脂熔融性能的影响[J].山西化工,2025(3).

[3]王泽男,杨淑娟,来雷,等.PET 合成用钛锆复合催化剂的制备及其性能[J].合成树脂及塑料,2023,40(5):7-11.

作者简介:刘威,出生年月:1986.01,男,汉族,籍贯:安徽亳州,学历:本科,职称:中级工程师,研究方向:钙锌稳定剂开发,PE 木塑润滑剂开发,PET 高填充制品解决方案,PVC 用特种功用加工助剂开发。