

基于纤维包覆法制备碳纤维增强热塑性复合材料

罗金亮, 阮芳涛, 徐珍珍, 钱思琦, 侯大寅*

(安徽工程大学 纺织服装学院, 安徽 芜湖 241000)

摘要: 采用热塑性长丝包覆碳纤维束和热压法制备单向碳纤维增强复合材料, 测试了试样的拉伸和冲击性能, 研究了长丝包覆在树脂浸润过程中缩短流程的作用。同时, 采用了多向包覆法制备了聚酯/芳纶长丝包覆碳纤维束并得到单向碳纤维增强复合材料, 包覆芳纶进一步提高了热塑性复合材料的力学性能, 结果表明: 和碳纤维增强聚酯复合材料相比, 芳纶/碳纤维增强聚酯复合材料拉伸强度增加了22.8%和49.5%, 冲击强度增加了65.8%和45.6%。

关键词: 包覆碳纤维束; 拉伸; 冲击; 树脂浸润; 力学性能

中图分类号: TB332

文献标识码: A

文章编号: 2095-414X(2019)02-0012-04

0 引言

连续碳纤维增强热塑性树脂基复合材料 (CCFRTP) 具有较好的断裂韧性, 耐损伤容限和抗冲击性, 可循环利用并且生产周期短, 近年来已经成为了复合材料研究领域的热点^[1,2]。发展合适的成型加工工艺是扩大 CCFRTP 应用的关键, 目前, 制备 CCFRTP 的成型工艺包括热压罐、拉挤成型、缠绕成型等传统成型工艺和超声波固结、电子束固结、真空辅助成型等新型成型技术^[3], 大部分的成型方法基本原理是将热塑性树脂进行熔融, 然后与碳纤维进行浸渍, 由于热塑性树脂的加工温度高, 熔融粘度大, 使得其与碳纤维的浸渍困难, 浸润界面性能较差。为了让增强碳纤维获得较好的浸润, 最直接的办法就是缩短浸渍流程, 基于该原理的成型方法有树脂薄膜叠层, 粉末浸渍法, 树脂溶解法, 混纤法等。阮寅春^[4]等采用将碳纤维织物和 PPS 树脂薄膜制备成干态预浸料, 然后将多层预浸料叠合层铺于热压模具中得到复合材料层压板, 较高的压力可以提高树脂和纤维的浸润性, 但同时也会引起纤维的屈曲, 可以采用逐级加压的方法进行克服。徐安长^[5]等人将 PEEK 等树脂在 DMF 溶液中溶解, 然后将碳纤维束置于低粘度的溶液中浸渍, 去除溶剂后干燥制备得到预浸料, 再经过热压工艺即可得到层压板, 这种方法在预浸料的制备过程中溶剂需要完全去除, 以避免产生孔隙。张宝艳^[6]等人采用共编纱制备了热塑性复合材料, 研究了纤维种类和丝束大小对复合材料浸润效果和空隙含量的影响, 结果表明, 增强纤维丝束越小, 浸润效果越好。混合编织法容易造成增强纤维束产生屈曲, 不能保持线性, 影响复合材料的力学性能。

本研究通过纤维包覆法制备了聚酯 (PET) 长丝包覆碳纤维束 (CCF), 以聚酯树脂作为基体, 碳纤维作为增强材料, 制备得到了碳纤维增强热塑性树脂复合材料, 并采用多向包覆法制备了芳纶 (AF) 长丝包覆碳纤维复合材料, 研究了芳纶包覆对复合材料力学性能的影响。

1 实验

1.1 原料及设备

碳纤维 MT300C-3K, 河南永煤碳纤维有限公司; 聚酯长丝, 直径为 0.3mm, 东莞博蒂斯新材料公司; 14 芳纶, 浙江轩泰新材料有限公司; 平板硫化机, XLB-D75, 青岛科高橡塑塑料机械技术装备有限公司; 纤维包覆机, 课题组自主研发。

1.2 实验方法

*通讯作者: 侯大寅 (1962-), 男, 教授, 研究方向: 通用航空用三维结构增强复合材料制备及力学性能。

基金项目: 安徽省自然科学基金重大项目 (KJ2017ZD13); 安徽工程大学引进人才科研启动基金 (2016YQQ018)。

1.2.1 包覆碳纤维的制备

包覆装置的核心部分为旋转套筒, 在套筒周围安装有多个纱线管, 纱线管上可以安放各类纱线。制备开始时, 首先将碳纤维束穿过空心套筒并固定在收集装置上, 再将长丝绑于碳纤维束上, 利用马达带动套筒和纱线管绕套筒中心旋转, 同时, 碳纤维束随着收集装置往上运动, 制备成长丝包覆碳纤维束。图1为长丝缠绕包覆碳纤维的过程示意图, 采用放置聚酯长丝的一个纱线管进行缠绕时, 制备得到 PET/CCF 纤维束; 采用分别放置聚酯长丝和芳纶长丝的两个纱线管进行缠绕包覆时, 得到 AF1/PET/CCF 纤维束; 当采用放置芳纶长丝的两个纱线管和一个放置聚酯长丝的纱线管进行缠绕包覆时, 得到 AF2/PET/CCF 纤维束。长丝包覆过程中, 碳纤维的上升速度和缠绕长丝旋转的速度比为 1: 3.5。

1.2.2 单向复合材料的制备

将长丝包覆碳纤维纤维束均匀的卷绕于直径为 15cm 的塑料圆筒上, 卷绕密度为 2 束/mm, 宽度为 15cm, 并沿圆筒最大直径两侧用双面胶将纤维固定, 然后将双面胶从中间切开, 得到两块尺寸约为 15 × 25cm 的长方形单向纤维布。

再将四块单向纤维布叠合置于热压板上, 采用平板硫化仪将其热压制备成单向碳纤维增强热塑性复合材料。热压复合的温度为 260℃, 压力 5MPa, 热压时间 7min, 保压时间 8h, 复合材料的制备过程如图 2 所示。

1.3 测试与表征

1.3.1 拉伸测试

拉伸测试按照 GB/T 3354-2014 标准^[7], 在 WCW-20 电子万能试验机上进行 (济南天辰试验机制造有限公司)。

1.3.2 冲击测试

冲击测试按照国家标准 GB/T 3356-2014^[8], 在 XJJ-50S 简支梁冲击试验机进行 (济南恒思盛大仪器有限公司), 摆锤的预仰角为 160°, 摆锤能量为 7.5J。

1.3.3 SEM 观测

将测试后试样进行打磨, 喷金, 采用 S-4800 扫描电子显微镜观察纤维浸润情况及断口形貌。

2 结果与讨论

2.1 拉伸性能研究

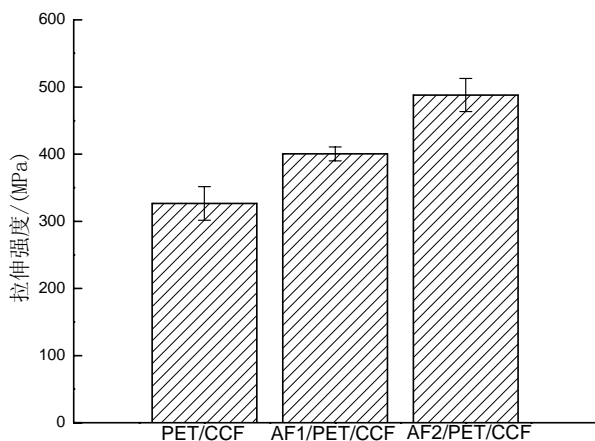


图 2 不同复合材料试样的拉伸强度

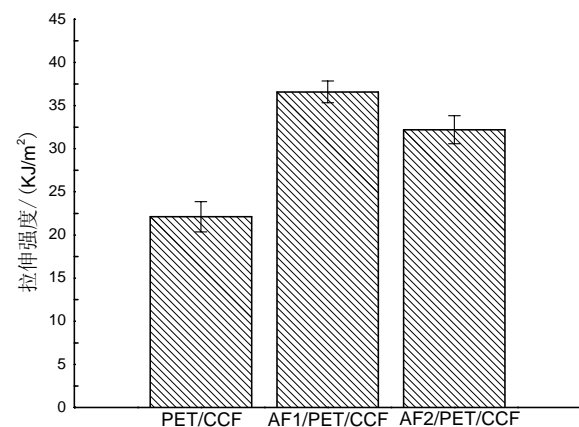


图 3 不同复合材料试样的冲击强度

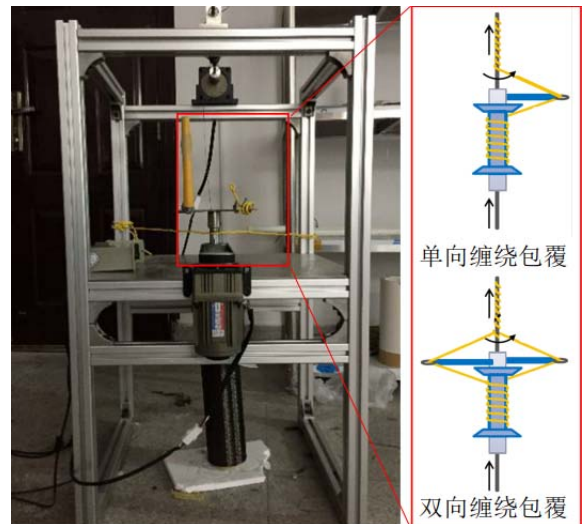


图 1 长丝缠绕包覆过程示意图

碳纤维增强聚酯、芳纶长丝单向包覆碳纤维增强聚酯及芳纶长丝双向包覆碳纤维增强聚酯的拉伸强度见图 2。芳纶长丝单向包覆使得碳纤维增强聚酯的拉伸强度从 326.4MPa 提升到了 400.8MPa, 提升幅度为 22.8%, 芳纶长丝双向包覆碳纤维增强聚酯的拉伸强度为 488.0MPa, 和未包覆芳纶的试样相比, 拉伸强度提升了 49.5%。在各类的试样制备过程中, 保持碳纤维在复合材料中的含量都一样, 单向布的密度为 2 束/mm, 可以排除碳纤维体积含量对拉伸强度的影响。因此, 包覆芳纶能够提升复合材料的拉伸强度, 芳纶是一类高性能纤维, 也具有较高的拉伸强度。根据复合材料的混合定律, 复合材料的强度也会得以提升。和热塑性纤维与碳纤维进行机织等混织不同的是, 采用芳纶和聚酯长丝相互缠绕包覆碳纤维, 一方面可以缩短聚酯树脂对碳纤维及芳纶的浸渍流程, 使复合材料中的各组分可以更好的形成浸润界面; 另一方面, 在制备包覆碳纤维的过程中, 聚酯和芳纶长丝为屈曲旋转状态, 作为增强相的始终保持碳纤维为线形竖直状态, 因此可以保持较好的力学性能。

2.2 冲击性能研究

图 3 为不同复合材料试样的冲击强度, 和未包覆芳纶的试样相比, 包覆芳纶试样的冲击强度有了大幅度的提升。其中, AF1/PET/CCF 的冲击强度提升幅度达 65.8%, AF2/PET/CCF 的冲击强度提升幅度为 45.6%。碳纤维是一种由片状石墨微晶沿纤维轴向方向堆砌而成的高强度高模纤维, 但其力学性能具有方向性, 在拉伸方向的强度和模量较高, 但是抗剪切性能较差, 因此, 碳纤维增强复合材料的抗冲击性能是比较差的, 而包覆芳纶在一定程度上可以阻止碳纤维在横向上的破坏, 从而提高碳纤维复合材料的冲击性能。从理论上讲, 包覆的层数越多, 其阻止碳纤横向破坏的能力越大, 而实验结果表明, 包覆两层芳纶之后, 其冲击强度提升的幅度没有包覆一层芳纶的试样高。图 4 为不同试样的冲击破坏断面 SEM 图, 从图 4 (a) 可以看出, 涤纶包覆碳纤维复合材料界面浸润性较好, 但是, (a)与(b)的对比中可以看出包覆芳纶之后, 界面融合的不是很均匀, (a)图的树脂残留量较(b)明显多一点, 从(c)图的中看芳纶表面的聚酯树脂很少, 浸润性太差, 导致不能有效的起到承接应力的作用, 芳纶量的增加导致整体树脂浸润性降低, 使得涤纶与两层芳纶包覆碳纤维复合材料的冲击强度增加幅度降低。

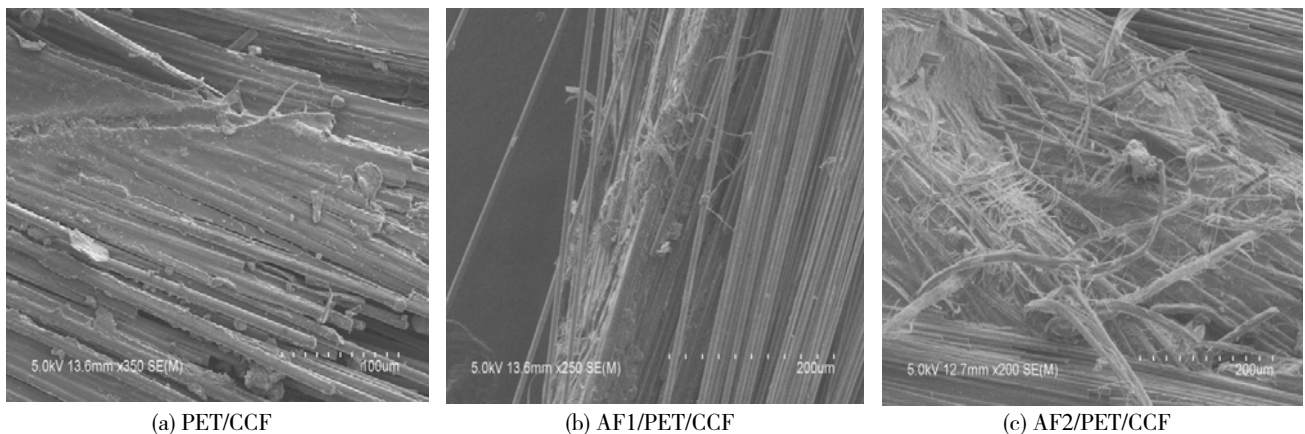


图 4 冲击破坏试样的断面 SEM 图

3 结论

本研究通过纤维缠绕包覆和热压法制备了性能优异的单向碳纤维增强聚酯复合材料, 并且采用芳纶长丝包覆进一步提升了复合材料的力学性能, 实验结果如下:

(1) 芳纶长丝包覆可以提升碳纤维增强聚酯复合材料的拉伸强度, 其中一层芳纶包覆提升幅度为 22.8%, 二层芳纶包覆可以提升 49.5%, 符合复合材料的复合规律;

(2) 芳纶长丝包覆可以阻止碳纤维在横向上的剪切等破坏, 从而提高碳纤维复合材料的冲击性能, 一层芳纶包覆提升幅度为 65.8%, 二层芳纶包覆可以提升 45.6%;

(3) 采用包覆法可以缩短热塑性树脂和碳纤维之间的浸渍熔程, 因此碳纤维和聚酯树脂间的浸润性较好, 但是, 选用的芳纶长丝和聚酯的界面结合性能太差, 导致芳纶包覆量的增加, 材料的冲击性能反而下降。

参考文献:

- [1] 孙银宝, 李宏福, 张博明. 连续纤维增强热塑性复合材料研发与应用进展[J]. 航空科学技术, 2016, 27(5): 1-7.
- [2] Friedrich K. Carbon fiber reinforced thermoplastic composites for future automotive applications[J]. 2016, 1736(1): 193-203.
- [3] 于天森, 高华兵, 王宝铭, 等. 碳纤维增强热塑性复合材料成型工艺的研究进展[J]. 工程塑料应用, 2018, (4).
- [4] 阮春寅, 丁江平, 张翼鹏, 等. 碳纤维织物增强聚苯硫醚复合材料的制备及性能[J]. 材料导报, 2012, 26(14): 77-81.
- [5] Xu A, Bao L, Nishida M, et al. Molding of PBO fabric reinforced thermoplastic composite to achieve high fiber volume fraction[J]. Polymer Composites, 2013, 34(6): 953-958.
- [6] 张宝艳, 边俊形, 陈祥宝, 等. 用共编织制备热塑性复合材料[J]. 复合材料学报, 2003, 20(3): 17-21.
- [7] GB/T3354-2014, 定向纤维增强聚合物基复合材料拉伸性能试验方法[S].
- [8] GB/T3356-2014, 定向纤维增强聚合物基复合材料弯曲性能试验方法[S].

Preparation of carbon Fiber Reinforced Thermoplastic Composites Based on Fiber Coating Method

LUO Jin-liang, RUAN Fang-tao, XU Zhen-zhen, QIAN Si-qi, HOU Da-yin

(College of Textile and Garment, Anhui Polytechnic University, Wuhu Anhui 241000, China)

Abstract: The unidirectional carbon filament reinforced composites were prepared by thermoplastic filament coated carbon fiber bundle and hot-pressed method. The tensile and impact properties of the composites were tested and the role of filament coating in shortening the process of resin infiltration was studied. At the same time, polyester/aramid filament coated carbon fiber bundle was prepared by multidirectional coating method and unidirectional carbon fiber reinforced composite was obtained. The mechanical properties of thermoplastic composite were further improved by coating aramid fiber. Compared with carbon fiber reinforced polyester composites, the tensile strength of aramid fiber / carbon fiber reinforced polyester composites increased by 22.8% and 49.5% .the impact strength increased by 65.8% and 45.6%.

Key words: coated carbon fiber bundle; tensile ; impact; resin infiltration; mechanical properties