

亚麻/PP 复合材料的制备及其弯曲性能研究

王德高¹ 张璐^{1,2} 刘丽妍^{1,2}

(1. 天津工业大学纺织学院, 天津 300387)

(2. 天津工业大学复合材料研究所天津市和教育部共建先进纺织复合材料重点实验室, 天津 300387)

摘要 将亚麻纤维作为增强体,与聚丙烯(PP)纤维进行混合,同时与PP长丝形成PP包覆亚麻的纱线结构,利用机织工艺织造成机织布作为复合板材的预制件,采用层合热压方法制备亚麻/PP复合材料。通过对板材弯曲性能进行测试,研究了制备工艺、纱线结构以及亚麻纤维含量(质量分数)等因素对复合材料弯曲性能的影响。研究表明,“三明治”铺层方法制备的板材较“混纤法”制备的板材体现出更优异的弯曲性能;与加捻纱相比,包覆纱结构板材表现出更优良的弯曲性能;以亚麻/PP包覆纱为增强体的复合材料,当亚麻纤维质量分数为46%时,其弯曲性能最优良。

关键词 亚麻纤维;聚丙烯;机织;热压;弯曲性能

Flexural Properties of Flax Fiber Reinforced PP Composite

WANG Degao¹, ZHANG Lu^{1,2}, LIU Liyan^{1,2}

(1. School of Textiles, Tianjin Polytechnic University, Tianjin 300387) (2. Key Laboratory of

Advanced Textile Composites (Tianjin Polytechnic University) Ministry of Education, Tianjin 300387, China)

ABSTRACT Flax fiber was used as reinforcing material to commingle with polypropylene (PP) fiber to realize the mixture of two materials at the stage of yarn. Meanwhile, PP filaments were introduced to produce a core-spun yarn with flax/PP as core and PP filament as outer sheath. The commingled yarns were woven into 2-D fabric which was used as the pre-fabricated material. The composite laminates were prepared by hot press technology. The effects of manufacture technology, yarn structure and fiber weight fraction on flexural properties of composites were investigated through analyzing the flexural testing results. The results show that the properties of composites made by sandwich stacking method are better than the properties of composites made by fiber blending method, and wrap yarns demonstrate a significant improvement over twisted yarns when they are used in the manufacture of composites. When flax/PP wrap yarns are involved in the process of composite lamination, 46% of flax fiber fraction is considered the best ratio as far as flexural properties are concerned.

KEYWORDS flax fiber; polypropylene (PP); weaving; hot press; flexural properties

1 引言

随着人们环保意识的日益增强,众多的环境材料科学工作者都在积极研究具有净化环境、防止污染、可替代有害物质、能减少废弃物的再生资源,他们作了大量研究工作,并取得了重大进展^[1]。天然植物纤维由于可生物降解、容易种植、机械性能优良,近年来已广泛应用于工业领域。随着技术的提高,天然纤维复合材料应用领域已从航空航天和国防军工扩展到建筑与土木工程、陆上交通运输、船舶和近海工程、化工防腐、电气与电子、体育与娱乐用品、医疗器械与仿生制品以及家庭办公用品等各个部门^[2]。

本研究选取力学性能优良的亚麻纤维作为增强体,密度较小的聚丙烯为基体,利用亚麻纤维的可纺

性,与聚丙烯纤维进行混合^[3],同时利用PP长丝形成包覆亚麻的纱线结构,采用机织法制备机织布作为预制件,经过层合热压制备亚麻/PP复合材料板材。本试验用到了加捻纱与包覆纱两种纱线结构。

首先,为比较制备方法对复合材料性能的影响,试验采用了两种铺层方法,即“三明治”法和“混纤法”。其次,为比较纱线结构对复合材料弯曲性能的影响,试验利用“混纤法”,制备了不同纤维质量的加捻纱和包覆纱结构的试样。最后,试验利用“混纤法”和包覆纱制备了不同纤维质量的板材试样,用以比较纤维质量对复合材料弯曲性能的影响。

2 实验

2.1 主要材料

亚麻纤维,未脱胶漂白,平均直径 23.19 μm ,

黑龙江佳木斯佳鹏亚麻有限责任公司;

PP 纤维, 0.67tex, 平均长度 110 mm, 山东陵县
华龙化纤有限公司;

PP 长丝, 33.2tex, 北京涤纶实验厂;

聚丙烯树脂, 河北利恒塑胶公司;

增强材料, 亚麻平纹织物(使用购买的亚麻纤维自己织造而成)。

2.2 仪器与设备

花式捻线机, ON100030 型, 日本 Ozeki Noboru 公司;

织机, FAST-190, 意大利 SMIT 公司; 万能强力仪, 5567, 美国英斯特朗;

热压机, YTD71-45A, 天津锻压机床厂;

电子显微镜, KYKY-2800 型, 北京科学仪器厂。

2.3 复合材料的制备

2.3.1 包覆纱的制备

将 PP 纤维梳理成条, 再按比例将 PP 条子与亚麻条子混合并条, 加工所得的条子中亚麻纤维的质量分数为: 18%、33%、46%、50%、60% 及 68%, 100% 亚麻含量的条子也制好备用。用两种纺纱方法将上述条子分别纺成两组纱线: (1) 利用环锭纺制备加捻纱; (2) 引入 PP 长丝在花式捻线机上制备包覆纱, 包覆纱没有被加捻, PP 长丝包覆在纱线的表面, 纺出 PP 包覆亚麻纱。

2.3.2 机织布的织造

分别用加捻纱与包覆纱作为纬纱, PP 长丝作为经纱, 织造平纹布, 织物中的亚麻纤维具有高度同向性。在平纹布的制备中加捻纱与包覆纱均表现出较好的可织性。

2.3.3 板材的制备

采用 0/0 的铺层方法用于热压。其中, 由 100% 亚麻含量的条子制备的平纹布(加捻纱结构与包覆纱结构)采用与水刺 PP 纤维毡交替铺层的方法进行热压形成复合材料板材。热压时先将热压机的上下板面预热到 60℃, 将织物放入热压机, 闭合上下热压板并施加压力至 15 MPa, 平稳升温至 190℃, 并保持 20 min, 关闭电源使其在室温下保压并降至室温, 脱模并进行板材修整, 按标准裁制试样块。

2.4 弯曲性能测试

依据 ASTM D790-03 对试样进行三点弯曲测试。试样的尺寸为 12.7 mm × 3 mm × 70 mm, 测试

速度为 1.28 mm/min, 测试跨距为 48 mm。

3 结果分析

由于热塑性树脂熔体粘度大, 浸渍纤维比较困难, 本试验采用混纤纱制备技术先将增强纤维和基体纤维在单丝级混杂, 然后再热压成型, 在热压过程中, PP 熔融成为树脂基体, 在很大程度上克服了浸渍困难的问题。另外, 花式捻线机制备的纱线中引入 PP 长丝, 亚麻纱线表面毛羽较多, 摩擦系数大, PP 长丝由多根复丝组成, 比较蓬松, 因此亚麻纱极易被 PP 长丝包覆。

3.1 织物铺层方式对弯曲性能的影响

采取两种方式制备板材: (1) 采用 PP 包覆亚麻纱(由 PP 长丝与 100% 亚麻条子所纺的包覆纱)织成的织物与 PP 维毡交替铺层(0/0)的方法进行热压形成板材, 即“三明治”法; (2) 将利用亚麻与 PP 纤维混纺纱制备而成的机织布层叠铺放(0/0), 即“混纤法”。从生产成本角度比较, 这两种铺层方法各有优点。由于“三明治”铺层方法省去了大量的纺纱与织造的工作, 生产成本相对降低。然而, 对于“混纤法”, 由于在操作过程中只需要将同一种织物进行铺层, 因此操作方便、快捷。

表 1 给出了不同铺层方法的复合材料板弯曲性能测试结果。

表 1 不同铺层方法复合材料板弯曲性能测试结果

Tab. 1 Influence of fiber mixing methods on laminate properties

纱线结构	加捻纱		包覆纱	
铺层方式	三明治法	混纤法	三明治法	混纤法
亚麻含量/%	33	33	33	33
弯曲强力/MPa	138.6	117.4	122.5	117.8
弯曲模量/GPa	10.7	9.4	11.0	10.4

对于加捻纱结构的复合材料, 采用“三明治”法制备的板材的最大弯曲模量及最大弯曲强力比“混纤法”制备的板材高出约 10%。对于包覆纱结构的复合材料, 采用两种方法制备的板材弯曲性能差别较小。两种不同铺层方法制备的板材截面形态的电子显微镜照片如图 1 所示。两张照片均选用包覆纱结构复合材料板材进行比较。

从图 1 中可以清楚看出, 采用“混纤法”制备的板材中亚麻纤维均匀地、独立地分布在树脂基体中, 而“三明治”法制备的板材中亚麻纤维仍以纱线为

单位分布。

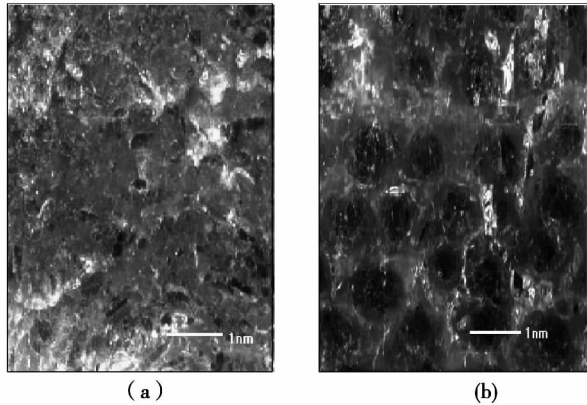


图1 不同铺层方法板材截面形态电子显微镜照片(左:混纤法;右:三明治法)
Fig.1 Digital images of polished cross section
(left: mixing; right: sandwich)

3.2 纱线结构影响弯曲性能

有研究表明,亚麻增强环氧树脂复合材料中,包覆纱结构复合材料较加捻纱结构复合材料体现出更优良的机械性能^[4]。本试验比较了在热塑性复合材料中是否存在相同的结果。由于试验室加工条件所限,我们只测试“混纤法”铺层制备的板材比较加捻纱和包覆纱两种不同纱线结构对板材弯曲性能的影响。图2所示为两种不同纱线结构制成的板材体现出了迥异的风格。

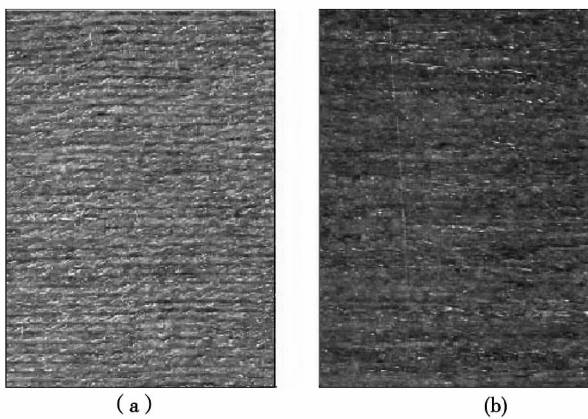


图2 不同纱线结构制备的板材。加捻纱板材(a), 包覆纱板材(b)
Fig.2 Composite laminates made by different yarn structures
Composite made by twisted yarn structure(a)
and wrap yarn structure(b)

图3和图4为板材弯曲性能曲线。图3中可以看出,与加捻纱结构相比,随着纤维含量(质量百分比)的增加,包覆纱结构板材的弯曲模量呈现出显

著的、持续的增长,与相同条件下的加捻纱结构比较,当亚麻纤维含量达到18%时,增长22%;纤维质量分数达到46%时,增长了大约31%。产生这种差别的主要原因是纱线结构不同。

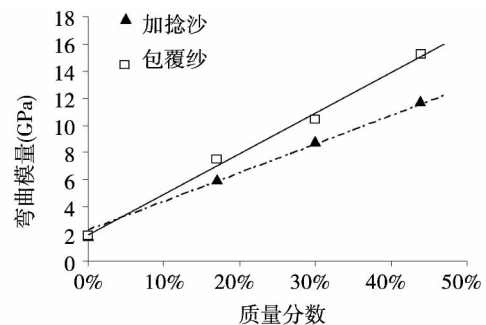


图3 弯曲模量变化曲线
Fig.3 Flexural modulus of flax/pp blended yarns reinforced composites

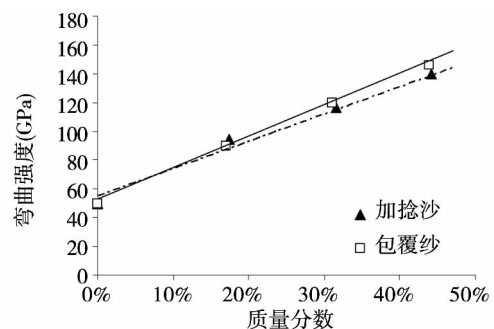


图4 弯曲强力变化曲线
Fig.4 Flexural strength of flax/pp blended yarns reinforced composites

在加捻纱中,纤维以纱线轴心为中心呈螺旋轨迹分布,这样的结构虽然有利于织造,但复合材料中的纤维却不能全部用来承载来自纱线轴心方向的外力。而在包覆纱中,全部纤维均沿着纱线轴线方向平行地、顺直地分布,在复合板材中,这种结构使每根纤维都能承载来自纱线轴向的外力。

从图4可以看出,两种纱线结构的板材其弯曲强力相差较小。当纤维含量为46%时,包覆纱结构板材比加捻纱结构板材高出大约6%。当纤维含量为18%时,两者之间的差异几乎消失。

3.3 纤维含量(质量百分比)影响弯曲性能

本试验比较了包覆纱结构复合材料在不同纤维含量前提下的弯曲性能,测试结果如表2所示。

从表2可以看出,3号板材的亚麻纤维含量为46%,此时无论是弯曲模量还是弯曲强力都最大。6号板材的亚麻纤维含量最多,达到68%,应该表现出较好的弯曲性能,然而结果却与预料相反,这是因

为当增强纤维过多时,树脂浸润不够充分^[5],板材中会出现贫树脂区及干点等瑕疵,当复合板材受到外力时,基体不能有效的传递外力,进而影响材料的弯曲性能。1号板材的纤维含量最少,由于过少的亚麻纤维对树脂基体的增强不够充分,这使得复合材料的弯曲机械性能大大降低。

表2 不同纤维含量板材弯曲性能
Tab.2 Flexural results of different fiber ratios
wrap yarn Reinforced composites

编号	亚麻含量/%	弯曲模量/GPa	弯曲强度/MPa
1	18	7.5	89.9
2	33	10.4	117.8
3	46	15.3	145.6
4	50	13.0	137.3
5	60	12.9	121.2
6	68	12.4	113.8

4 结 语

(1) 采用相同纱线结构作为增强体时,用“三明治”铺层方法制备的板材较“混纤法”制备的板材体现出更优异的弯曲性能。

(2) 与加捻纱结构相比,包覆纱结构热塑性复合材料表现出更优越的弯曲性能,由两种不同纱线结构制备的板材也体现出截然不同的外观特征。

(3) 以亚麻/PP 包覆纱为增强体的板材,亚麻含量为46%的板材在本次试验中体现了最好的弯

曲特性。

参 考 文 献

- [1] 王前文,赵磊. 亚麻纤维增强聚丙烯基复合材料的隔声性能研究[J]. 玻璃钢/复合材料, 2014(6): 66-69.
Wang Qianwen, Zhao Lei, et al. Acoustic Properties of Polypropylene composites reinforced by flax fiber [J]. Fiber reinforced plastics/composites, 2014(6): 66-69.
- [2] 徐贵海,任子龙. 苕麻、黄麻织物增强环氧树脂复合材料力学性能的研究[J]. 纤维复合材料, 2015(3): 13-17.
Xu Guihai, Ren Zilong, et al. Research on Mechanical Properties of Ramie Fabrics and Jute. Fabrics Reinforced Epoxy Resin [J]. Fiber Composites, 2015(3): 13-17.
- [3] 王善元,张汝光. 纤维增强复合材料[M]. 上海: 中国纺织大学出版社, 1998: 147.
- [4] Awa S. Doumbia, Mickaël. Castro. Flax/polypropylene composites for lightened structures: Multi scale analysis of process and fiber parameters [J]. Material & Design, 2015(87): 331-341.
- [5] J Moothoo, S Allaoui. A study of the tensile behavior of flax tows and their potential for composite processing [J]. Material & Design, 2014(55): 764-772.

(收稿日期: 2016-05-19)

作者简介: 王德高(1994-),男,广东人,学士。研究方向: 复合材料的制备与力学性能测试。E-mail: 602749556@qq.com.

通讯作者: 张璐,女,天津人,博士。研究方向: 复合材料制备与力学性能的测试。E-mail: luzhanganny@aliyun.com.

碳纤维及其复合材料资讯

Chomarat 公司研发用于汽车工业的大丝束纤维无卷曲织物

Chomarat 公司正在将大丝束 LCCF(低成本碳纤维)制成 C-Ply 产品,并提出从美国橡树岭国家实验室(ORNL)引进使用低成本碳纤维的优化设计。Chomarat 公司正在与一级汽车供应商和 ORNL 合作加工这些大丝束以满足各项基础标准。

“复合材料构成的解决方案可以减轻车辆质量,但其必须在一定条件下具有经济效益才能够大范围应用。每种工艺、材料必须通过竞争才能找到自身的位置。”Chomarat 集团总经理 Micheal Cognet 解释说。

使用 LCCF(低成本碳纤维)的 C-Ply 就是 Chomarat 研发的最具经济效益的低成本解决方案。