

表面处理对三维浅交弯联机织复合材料界面及弯曲性能的影响

冯古雨¹ 曹海建^{1,2} 周洪涛³ 钱 坤¹

(1 江南大学纺织服装学院,无锡 214122)

(2 南通大学纺织服装学院,南通 226019)

(3 盐城工业职业技术学院纺织服装学院,盐城 224005)

文 摘 以 2400 tex 无捻玻璃纤维粗纱为原料,在 SGA598 型三维织机上制备出一种三维浅交弯联机织复合材料预制体,使用硅烷偶联剂 KH-570 作为表面活性剂,采用涂抹、浸泡的方法对预制体进行表面处理以改善复合材料的界面性能。以环氧树脂 E51 和固化剂聚醚胺 WHR-H023 以质量比 3:1 的比例组成树脂体系,并将经过表面处理的预制体与树脂基体以质量比 1:1 的比例通过手糊的方式复合成型,制得三维浅交弯联机织复合材料。分别借助傅里叶红外光谱仪、原子力显微镜、万能材料试验机、扫描电镜等仪器来测试与验证 KH-570 对预制体及复合材料的处理效果。结果表明,经过 KH-570 处理后,预制体表面粗糙度增大、比表面积增加,从而使得纤维与树脂界面结合更加紧密;复合材料的弯曲性能随着 KH-570 的增加而增强;复合材料主要破坏形式为纤维断裂,纤维在树脂中抽拔现象较少。

关键词 表面处理,三维浅交弯联,玻璃纤维,环氧树脂,界面,弯曲性能

中图分类号:TS102.1

DOI:10.3969/j.issn.1007-2330.2016.02.005

Effect of Surface Treatment on Interfaces and Bending Property of 3D Curved Shallow-Crossing Linking Woven Composites

FENG Guyu¹ CAO Haijian^{1,2} ZHOU Hongtao³ QIAN Kun¹

(1 Key Laboratory of Eco-Textile of Ministry of Education, Jiangnan University, Wuxi 214122)

(2 College of Textile and Clothing, Nantong University, Nantong 226019)

(3 College of Textile and Clothing, Yancheng Institute of Industry Technology, Yancheng 224005)

Abstract Curved shallow-crossing linking reinforcement was prepared from glass roving of 2400 tex on a 3D weaving machine modeled SGA598. To improve interfacial properties between reinforcement and resin, the surface treatment of the reinforcement was conducted by smearing the silane coupling agent KH-570 onto the surface of the reinforcement and then dipping the reinforcement into the solution of KH-570. The resin matrix was composed of epoxy resin E51 and polyether amine WHR-H023 in a mass ratio of 1:1. The 3D curved shallow-crossing linking woven composite was then made from surface-treatment reinforcement and resin matrix in a mass ratio of 1:1 by hand lay-up method. Fourier transform infrared spectrum (FT-IR), atomic force microscope (AFM), universal material testing machine and scanning electron microscope (SEM) were used to characterize the treatment effect of KH-570 on reinforcement and the following composites. The results showed that after the treatment with surface-active agent KH-570, the surface roughness and specific surface area of fibers in the reinforcement increased which in turn led to a tighter integration between reinforcement and resin matrix; the bending properties of the 3D composites was enhanced with the increase of the amount of KH-570; the main failure mode of the 3D composites performed as fracture of fibers rather

收稿日期:2015-09-07

基金项目:国家自然科学基金(51302110, 51203062),江苏省产学研前瞻性联合研究项目(BY2013015-31)

作者简介:冯古雨,1992年出生,硕士研究生。主要从事纺织复合材料的制备及性能研究。E-mail:fengguyu890@163.com

通讯作者:曹海建,1979年出生,博士,副教授。主要从事轻量化复合材料的制备及应用。E-mail:caohaijian20010@163.com

than fibers pulling-out of the resin matrix.

Key words Surface treatment, Curved shallow-crossing linking, Glass fiber, Epoxy resin, Interface, Bending property

0 引言

三维浅交弯联机织复合材料是以三维浅交弯联机织物作为预制体,环氧树脂及固化剂作为树脂基体的新型三维机织复合材料^[1-2]。相比于传统的层合板结构,三维机织复合材料中屈曲缠绕的经纱在厚度方向上增强了复合材料,表现出更强的层间力学性能^[3-5]。由于其耐冲击、不易分层并且耐酸、耐碱、耐腐蚀的特性,三维浅交弯联机织复合材料一经问世便在建筑、交通、国防、航天航空等领域受到了广泛的关注^[6]。

玻璃纤维具有耐高温、阻燃、抗腐蚀、机械强度高等优点在复合材料方面应用广泛^[7-9];由于其表面光滑,并且呈现化学惰性,与树脂间的浸润性差,因此影响了复合材料的界面性能及整体的力学性能发挥^[10-12]。

针对玻璃纤维复合材料的界面性能,本文以硅烷偶联剂 KH-570 作为表面活性剂,以不同的预制体和表面活性剂的质量比,采用涂抹、浸泡的方式对纤维预制体的表面进行活化处理。重点通过考察经过表面处理的玻璃纤维表面粗糙度、复合材料的力学性能、破坏断面处的界面性能,以此来表征 KH-570 对复合材料预制体表面处理的作用及对复合材料弯曲性能的影响。

1 实验

1.1 预制体制备

使用 2 400 tex 的无捻玻纤粗纱作为原料制备出一种六层三维浅交弯联机织物,分别称取质量分数为纤维预制体的 5%、10%、15%、20% 的硅烷偶联剂 KH-570 作为玻璃纤维表面处理剂,国药集团提供。将 KH-570 均匀地倾倒在预制体的上下表面并反复涂抹,常温条件下放置 3 h 后将预制体放置在 80℃ 的烘箱内烘干。

1.2 复合材料制备

1.2.1 树脂基体

使用无锡树脂厂提供的凤凰牌 E-51 型环氧树脂,和聚醚胺 WHR-H023 固化剂以质量比为 3:1 的比例均匀混合,配制树脂胶液。

1.2.2 复合成型

使用手糊工艺制备复合材料,分别称取与预制体质量相同的树脂基体,放入真空桶中进行 30 min 的真空脱泡处理。使用脱模剂 807 对模具进行脱膜处理,使用脱模剂对模具擦拭 3 遍,每次间隔 20 min。宇航材料工艺 <http://www.yhclgy.com> 2016 年 第 2 期

称出 40% 的树脂胶液倒在模具中,将预制体平稳地铺在树脂胶液上,将剩下的 60% 树脂胶液倾倒在预制体表面,用刷子将树脂胶液涂抹均匀并使用猪鬃滚碾压以赶出其中的气泡。将处理好的织物连同模具一同放入为 70℃ 的烘箱中,经过 3 h 的固化过程,取出复合材料。根据 GB/T 1449—2005 (纤维增强塑料弯曲性能试验方法)^[18] 切割成尺寸为 126 mm×15 mm×6.3 mm 的试样,备用。

1.3 性能测试仪器

使用红外光谱分析仪 NICOLET-10,检测硅烷偶联剂 KH-570 处理前后玻璃纤维表面官能团的变化。使用原子力显微镜 CSPM-3000,分别扫描硅烷偶联剂处理前后的玻璃纤维表面粗糙度。使用 Instron3385H 型万能材料试验机对复合材料弯曲试样进行测试,分析不同质量分数硅烷偶联剂处理后复合材料的弯曲性能。使用日本 Hitachi 公司的 SU1510 型扫描电子显微镜对复合材料弯曲破坏断面进行表征,分析复合材料破坏情况。

2 结果与分析

2.1 红外光谱

分别对硅烷偶联剂 KH-570 处理前后的玻璃纤维进行红外光谱扫描,观察玻璃纤维表面官能团的变化。得到的红外光谱曲线如图 1 所示。

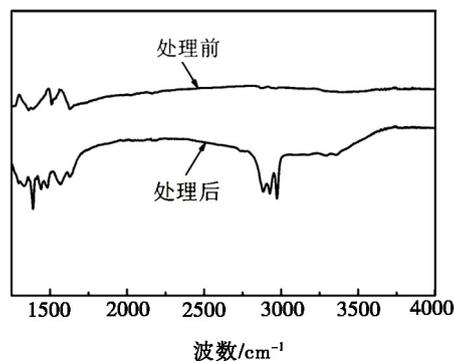


图 1 KH-570 表面处理前后玻璃纤维红外光谱

Fig. 1 FT-IR spectra of glass fibers before and after surface treatment of KH-570

由图 1 可以看出,表面处理在玻璃纤维原本官能团较少,化学活性较差的表面接枝上了羟基和化学活性较强羟基,提高了预制体表面活性。经过处理后的玻璃纤维表面红外光谱中 2 800 ~ 3 000 cm^{-1} 上出现了典型的饱和烃基特征峰,3 300 ~ 3 400 cm^{-1} 上出现了羟基的特征峰,这说明硅烷偶联剂已经成功的接枝

在了玻璃纤维表面。

2.2 纤维表面形貌

分别使用原子力显微镜对硅烷偶联剂 KH-570

处理前后的玻璃纤维进行观察,分析表面活性剂对玻璃纤维表面粗糙度的影响。原子力显微镜对处理前后的玻璃纤维表面形貌扫描结果如图 2 所示。

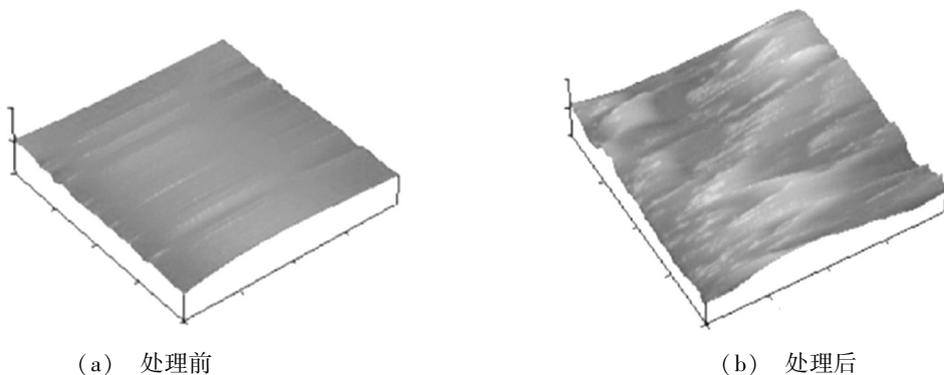


图 2 KH-570 表面处理前后纤维表面 AFM 图像

Fig. 2 AFM images of fibers before and after surface treatment of KH-570

由图 2 可以看出,未经过表面处理的玻璃纤维表面十分光滑、平整;而经过硅烷偶联剂处理后的玻璃纤维表面出现了不同程度的突起。这说明硅烷偶联剂成功的附着在玻璃纤维的表面,使得玻璃纤维表面粗糙度增加,比表面积增大^[14]。

2.3 弯曲性能

2.3.1 弯曲特性

对复合材料的弯曲性能进行测试,获得的弯曲应力—应变曲线如图 3 所示。可以看出,三维浅交弯联机织复合材料在承受弯曲载荷时,第一阶段复合材料的弯曲应力随弯曲应变的增加呈直线上升趋势,复合材料处在弹性形变阶段;第二阶段,随着弯曲载荷继续作用,复合材料的弯曲应力逐渐达到最大值,此时复合材料上表面树脂发生堆积变形,下表面树脂开裂,纤维暴露在外;随后的第三阶段,复合材料在弯曲载荷作用下发生急剧破坏,树脂破碎脱落,纤维脆断,复合材料被彻底破坏。

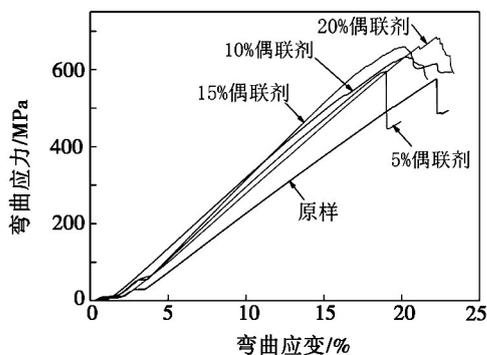


图 3 复合材料弯曲应力—应变曲线

Fig. 3 Bending stress and strain curves of 3D composites

2.3.2 弯曲性能

三维浅交弯联机织复合材料的弯曲性能随着 KH-570 含量的增加而增强。未经处理的预制体制成的复合材料弯曲强度为 576.20 MPa,以 5%、10%、15%、20% 含量偶联剂处理后制成的复合材料弯曲强度分别 595.99、632.90、659.55 和 685.31 MPa。

这是由于硅烷偶联剂作为表面活性剂的使用使得玻璃纤维的表面接枝上了活性较强的基团,增加了玻璃纤维的表面活性;同时硅烷偶联剂的附着使得玻璃纤维表面的粗糙度增大,增加了玻璃纤维的比表面积。

2.4 破坏形貌

对复合材料弯曲破坏断面进行扫描,结果如图 4 所示。

在 400 倍放大倍率下可以清楚地看到受到弯曲载荷破坏的复合材料中纤维与树脂间的界面结合情况,在图 4(a)中可以看到,未经过表面处理的玻璃纤维增强复合材料中玻璃纤维表面十分光滑平整,在受到弯曲载荷破坏时大块的树脂直接与纤维分离,复合材料的破坏过程中树脂与纤维之间的脱粘现象严重,较差的复合材料界面性能,影响了复合材料整体力学性能的发挥。

在图 4(b)~(e)可以看到,经过表面处理的玻璃纤维增强复合材料在发生弯曲破坏时,很少发生大面积纤维与树脂脱粘的现象,更多的表现为纤维在发生拉伸变形后在树脂中的抽拔和纤维的断裂,尤其是图 4(d)、(e)中纤维与树脂断裂基本发生在同一个平面上,说明纤维与树脂间几乎没有发生相对移动,这种优良的复合材料界面性能提高了复合材料的整体性,增强了复合材料的力学性能。

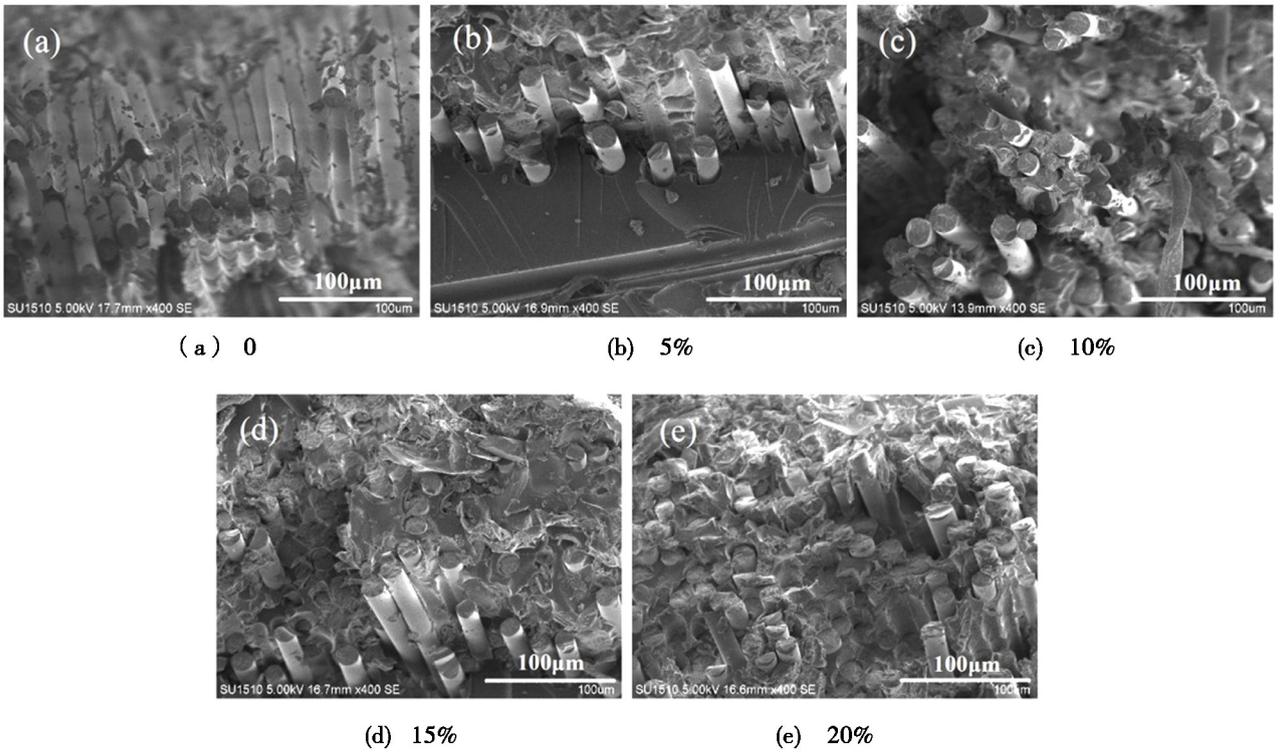


图4 复合材料弯曲破坏微观形貌

Fig. 4 Microstructure of bending failure of 3D composites

3 结论

(1) 经过 KH-570 处理后, 预制体表面粗糙度增大、比表面积增加、纤维与树脂界面结合更加紧密。

(2) 三维浅交弯联机织复合材料的弯曲性能随着 KH-570 的增加而增强; 材料主要破坏形式为纤维断裂, 纤维在树脂中抽拔现象较少。

(3) 使用质量分数为 25% 的硅烷偶联剂对纤维表面进行处理时, 复合材料试样的弯曲性能达到最优。

参考文献

[1] COX B N, DADKHAH M S, MORRIS W L. On the tensile failure of 3D woven composites[J]. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 1996, 27(6): 447-458.

[2] 张秀丽, 金长虹, 张振国. 玻璃纤维增强复合材料的机械切割性能研究[J]. *功能材料*, 2010, 41(3): 505-507.

[3] HUANG G, ZHONG Z. Tensile behavior of 3D woven composites by using different fabric structures[J]. *Materials & Design*, 2002, 23(7): 671-674.

[4] BADAWI M S S S. Development of the weaving machine and 3d woven spacer fabric structures for lightweight composites materials[M]. Vdm Verlag Dr. m01ller Aktiengesellschaft & Co. kg, 2008.

[5] VAIDYA U K, HOSUR M V, EARL D, et al. Impact response of integrated hollow core sandwich composite panels [J]. *Compos Part A*, 2000, 31(8): 761-772.

[6] PARK S J, PARK W B, LEE J R. Characterization of the impact properties of three-dimensional glass fabric-reinforced vinyl ester matrix composites[J]. *Journal of Materials Science*, 2000, 35(24): 6151-6154.

[7] 廖子龙, 乌云其其格. 环氧树脂/玻璃纤维复合材料性能研究与应用[J]. *工程塑料应用*, 2008(9): 47-50.

[8] 肖艳. 玻璃纤维复合材料的应用[J]. *模具制造*, 2013(4): 76-80.

[9] 尹志娟, 王丽雪, 姜珊. 玻璃纤维增强环氧树脂基复合材料的低温性能研究[J]. *黑龙江工程学院学报(自然科学版)*, 2010(1): 50-52.

[10] 孙丽莉, 贾玉玺, 孙胜, 等. 界面强度对纤维复合材料破坏及力学性能的影响[J]. *山东大学学报(工学版)*, 2009(2): 101-103.

[11] 林松, 卫彦, 孙蔚, 等. 玻璃纤维增强光固化树脂基齿科生物复合材料的半互穿网络结构界面的形成及力学性能[J]. *复合材料学报*, 2009(6): 85-90.

[12] 陈平, 陈辉, 刘其贤. 偶联剂对玻璃纤维/环氧基复合材料界面介电性能的影响研究[J]. *复合材料学报*, 1996(3): 2-5.

[13] 曹海建, 钱坤, 盛东晓. 2.5D 机织复合材料结构与力学性能关系的研究[J]. *玻璃钢/复合材料*, 2009(3): 13-15.

[14] 黄玉东, 曹海琳, 邵路, 等. 碳纤维复合材料界面性能研究[J]. *宇航材料工艺*, 2002, 32(1): 19-24.