

组合式 3D 机织增强复合材料树脂渗透性

祝成炎, 申小宏, 李艳清, 朱俊萍

(浙江理工大学 先进纺织材料与制备技术教育部重点实验室, 浙江 杭州 310018)

摘要 通过对玻纤进行包缠设计并在普通二维织机上试制了组合式 3D 机织结构预制件, 采用真空辅助成型工艺研制了复合材料。同时采用光学显微镜和 SEM 分别对织造中玻纤断裂情况和树脂在复合材料成型过程中的渗透性进行了研究。

关键词 3D 机织增强复合材料; 一步包缠技术; 真空辅助成型; 树脂渗透性

中图分类号: TS 106.68 **文献标识码**: A **文章编号**: 0253-9721(2005)04-0021-03

Resin permeability of combined 3D woven reinforced composites

ZHU Cheng-yan, SHEN Xiao-hong, LI Yan-qing, ZHU Jun-ping

(The Key Laboratory of Advanced Textile Materials and Manufacturing Technology, Ministry of Education, Zhejiang University of Science and Technology, Hangzhou, Zhejiang 310018, China)

Abstract Combined 3D woven preforms for reinforced composite application were designed and manufactured on the reformed common 2D loom with wrapped glass fiber. And the composite materials were fabricated by means of VARI (Vacuum Assisted Resin Infusion) process. The optical microscope and SEM were employed to analyze the damage of glass fiber during weaving and resin permeability in the course of molding of composite materials.

Key words 3D woven reinforced composite; one step wrapping technology; VARI; resin permeability

3D 机织增强复合材料, 是通过设计特殊的 3D 组织结构将多层纤维连接起来形成一个整体, 在三维织机或二维平面织机上织造预制件, 再与树脂复合而形成的特殊材料。由于在织物的厚度方向有专门的一组纤维或纱线连接, 大大改善了复合材料在厚度方向上的抗分层性能, 使其具有结构整体性好、层间断裂韧性高等优良的特性。但是由于高性能纤维如玻璃纤维等极易起毛而断裂, 因此, 在预制件的织造加工过程中会产生纤维的起毛断裂, 这样就会降低复合材料的性能^[1,2], 同时 3D 立体机织物结构的复杂性对织造技术有较高的要求, 造成了目前还不能大规模生产的现实问题。本文通过纤维一步包缠技术, 在纤维长丝外包覆锦纶长丝保护玻璃纤维以增加其耐磨性, 同时采用真空辅助成型工艺解决树脂在织物内的渗透。

1 预制件的制作

1.1 原料准备

预制件采用 E 玻璃纤维, 由杭州玻璃纤维厂生产。指标如下: 密度为 2.54 g/cm^3 ; 断裂强度为

3.289 cN/dtex ; 断裂伸长率为 1.38% ; 初始模量为 2.197 cN/dtex ; 经纬纱线密度分别为 $2.400, 1.200 \text{ tex}$, 经纬纱均用锦纶长丝包缠。

1.2 玻璃纤维包缠

包缠是采用机械的方法使纱线按照某种方式相互并合、加捻, 达到线形组合的目的。目前包缠可在不同类型的设备上, 包括环锭花式捻线机、空心锭花式捻线机、气流包缠机等。在本文中采用 HKVI51B 型三罗拉空心锭花式捻线机进行线形的组合加工, 图 1 为 HKVI51B 型花式捻线机的工艺示意图。

根据实验使用线形较粗的实际情况, 对花式捻线机参数进行了专门的调整, 并进行了多次的实验, 成功地制成了所需的线形。如图 2 所示, 玻璃纤维长丝束与锦纶长丝混合包缠。

在图 2 中可以看到呈伸直状态的玻璃纤维长丝束与锦纶长丝纤维相互混合, 并由呈螺旋形分布的锦纶长丝纤维在其外部包缠以形成稳定的线形结构。在这种线形中, 含有较低比例的锦纶长丝纤维, 对于玻璃纤维在复合材料中的体积分数不受影响。

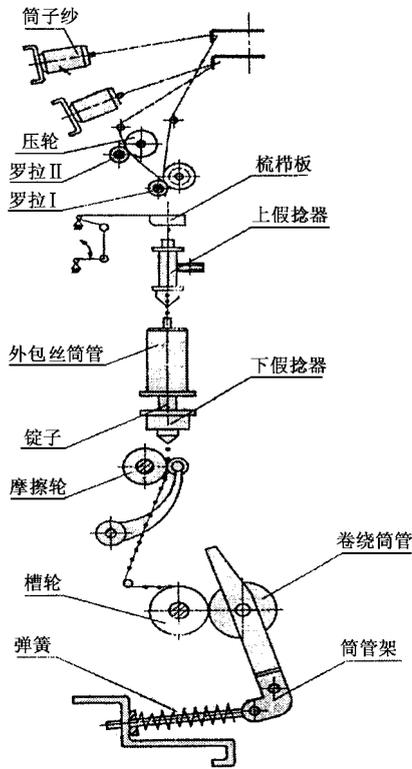


图 1 HKV151B 型花式捻线机工艺示意图

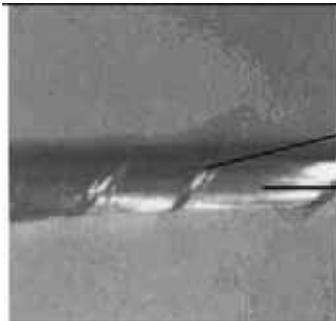


图 2 玻纤包缠示意图

1.3 3D 机织物结构设计及织造

3D 机织物板材预制件的结构形式有正交结构、准正交结构和角联锁结构。而角联锁结构依纱线走向的不同又可分为多种，

文献[3]曾作过介绍。

本文采用正交、准正交及角联锁 3 种基本结构，并用文献[4~6]报道的织造方法，试制了 3D 机织物，结构见图 3。

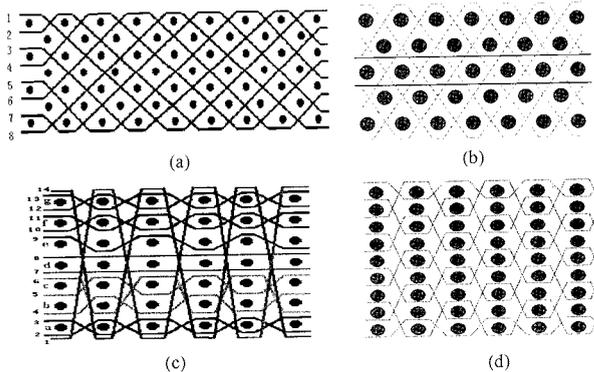


图 3 3D 机织物经向截面图

图 3(c) 采用正交结构、准正交结构和角联锁结构组合设计而成，在该结构中经纱与纬纱的层数分别为 12 层和 7 层，准正交结构 3 层，角联锁结构 3 层以及正交结构 1 层，最后采用了 2 根垂纱以连接各层纱线；图 3(a) 和图 3(b) 属于同一类角联锁结构，图 3(a) 为 4 层结构，图 3(b) 为 3 层结构，其中添加了 2 根增强经纱。

在织造 3D 结构机织物中，经纬纱均采用了相同的线形组合，即 2 400tex 玻纤 + 1 200 tex 玻纤，在普通 2D 平面小样机上试织 4 块小样。

2 复合材料的制作准备

2.1 基体材料

基体材料采用 R526A 乙烯基树脂，由美国 Saint-Gobain BTC Inc 和荷兰 Akzo Nobel Polymer Chemical Bv 生产。

乙烯基树脂是 20 世纪 60 年代发展起来的一类新型树脂，其特点是聚合物中具有端基不饱和双键，因而其兼有不饱和聚酯树脂与环氧树脂之优点。树脂粘度低，树脂链上的仲羟基对玻璃纤维等有优良的浸润性和粘结力，从而提高复合材料中纤维和树脂的界面结合强度。

2.2 真空辅助成型工艺

真空辅助成型工艺 (Vacuum Assisted Resin Infusion, 简称 VARI) 是一种新的低成本的材料大型制件的成型技术，它是在真空状态下排除纤维增强体中的气体，利用树脂的流动、渗透，实现对纤维及其织物浸渍，并在室温下进行固化，形成一定树脂/纤维比例的工艺方法。

VARI 工艺仅仅需要一个单面的刚性模具，用来铺放纤维增强体，其上模为柔性的真空袋薄膜，整个工艺操作在室温下进行，无需加热，还需一个真空泵抽真空加载负压压力，使树脂被均匀吸入预制件中，而无需额外的压力。具体工艺路线如图 4 所示。

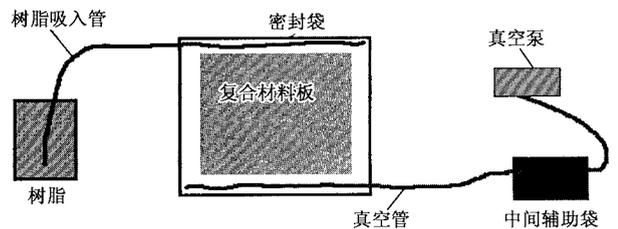


图 4 真空辅助成型工艺示意图

3 复合材料的制作

将 R526A 乙烯基树脂和 R438 催化剂混合均匀，再将准备好的不锈钢模具清洗干净，直到表面完

全光滑、干燥。然后在模具表面涂上几遍 R504 脱模剂。

在模具周围铺上低温密封带,放置预制件在密封带的中间。按次序铺上剥离板、透孔脱模薄膜、密封袋,再用密封带密封防止漏气。

制作环境:温度不能低于 20℃;相对湿度 50%;工作压力 100 kPa。

3D 机织复合材料样品参数见表 1。

表 1 3D 机织复合材料样品参数

样品	样品厚度/mm	纤维质量分数/%	纤维体积分数/%
A	5.569	0.697	0.487 4
B	4.857	0.586	0.369 1
C	截面厚度变化	0.620	0.402 8
D	7.535	0.646	0.430 0

4 实验分析

4.1 包缠玻纤织造前后表面状态

由于在织造过程中,经向玻纤要经过经纱与综眼的摩擦,经纱与经纱之间的摩擦以及经纱与钢筘之间的摩擦,所以经纱的玻纤断裂最为严重。从预制件中采集经纱,采用 MOTIC 体视显微镜对包缠玻纤放大 180 倍观察,如图 5(a)、(b)所示,发现玻纤纱线表面的纤维断裂现象较少。图 5(c)为多次摩擦后锦纶丝的断裂,表明采用本文的方法能有效地减少玻纤在织造过程中起毛断裂。



(a) 玻纤断裂图 (b) 玻纤断裂图 (c) 锦纶丝断裂图

图 5 玻璃纤维包缠纱

4.2 复合材料纵向截面

对所制得的样品取部分切割小样,在 JSM-5610LV 扫描电镜(美国 EDAX 公司)中放大 1500 倍观察,获得图 6 所示的电镜照片。

从图 6(a)、(b)沿纬向截面电镜照片中看出,玻璃纤维束中的单根玻璃纤维与树脂界面结合紧密,并且树脂能充分渗透到玻纤束的内部。照片中所示

到的微量缝隙是由于在打磨平面时处理不够完美而造成的。图 6(c)、(d)是沿经向截面中玻纤与树脂的界面,可以看出纤维和树脂之间结合紧密,并没有因为锦纶长丝的包缠而致使树脂不能充分渗透到玻璃纤维束的内部。说明采用这种工艺能符合复合材料的制作要求。

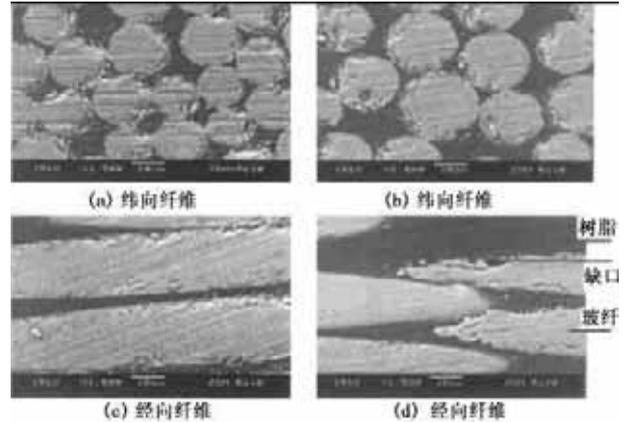


图 6 纤维与树脂界面图

5 结论

研究表明,将玻璃纤维用锦纶丝进行包缠,能够有效地减少玻纤在 3D 织造过程中的起毛断裂。采用正交、准正交及角联锁 3 种基本结构能够实现组合式 3D 机织组织,采用真空辅助成型工艺能成功地研制组合式 3D 机织增强复合材料。SEM 的观察表明树脂能充分渗透到经过包缠的玻纤纱内部,保证了复合材料内纤维-树脂界面的完整性。

参考文献:

[1] Rudov Clark S, Mouritz A P, Lee L, et al. Fibre damage in the manufacture of advanced three-dimensional woven composites[J]. Composites Part A, 2003, 34: 963 - 970 .

[2] Lee L, Rudov-Clark S, Mouritz A P, et al. Effect of weaving damage on the tensile properties of three-dimensional woven composites[J]. Composite Structures, 2002, 57: 405 - 413 .

[3] Soden J A, Hill B J. Conventional weaving of shaped preforms for engineering composites[J]. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 1998, 29: 757 - 762 .

[4] 汪蔚, 祝成炎. 三维机织物的组织结构与设计[J]. 浙江工程学院学报, 2001, (4): 179 - 200 .

[5] Chou S, He Chen. The weaving methods of three-dimensional fabrics of advanced composite materials[J]. Composite Structures, 1995, 33: 150 - 172 .

[6] 祝成炎. 立体织物结构及其织造技术[J]. 丝绸, 2000, (10): 33 - 35 .