

组合式 3D 机织物复合材料的拉伸性能

祝成炎, 高祯云, 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 采用正交和角联锁结构进行组合设计, 并使用玻璃纤维试织了 2 种不同结构的组合式 3D 立体机织物, 经与树脂复合制成增强复合材料, 对其拉伸性能进行了测试。结果表明, 组合式 3D 机织物增强复合材料具有接近正交 3D 机织物增强复合材料的弹性模量和抗拉强度。

关键词 组合式 3D 机织物; 织物结构; 复合材料; 拉伸性能

中图分类号: TS 106.68 文献标识码: A 文章编号: 0253-9721(2005)05-0014-03

Tensile strength property of combinational 3D woven composites

ZHU Cheng-yan, GAO Zhen-yun, 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 Combinational designs were performed by using orthogonal and angular interlocked structures, and two kinds of 3D woven fabric with different structures were woven accordingly with glass fibers on the trial basis. The fabrics were then reinforced with resin and the tensile strength property of the resultant composites was tested. The results show that the Young's modulus and tensile strength of the combinational 3D woven fabric reinforced composite are close to that of the 3D orthogonal woven fabric reinforced composite.

Key words combinational 3D woven fabrics; fabrics structure; composites; tensile strength

3D 机织物结构的多样性使其增强复合材料性能具有可设计性, 所以受到复合材料界的广泛关注。3D 机织物根据经纱的取向不同, 主要有正交和角联锁 2 种结构。许多研究^[1-3]表明, 正交结构中纱线呈直线状排列, 使其增强复合材料具有较高的拉伸性能, 但与角联锁结构相比具有较低的层间连接强度, 因角联锁结构的所有经纱在层间穿插连接。不过, 角联锁结构增强复合材料具有较差的拉伸性能。

不同结构的 3D 机织物复合材料之间的性能是相互制约的, 某一性能优越是以其它性能的损失为代价的, 正如正交和角联锁结构增强复合材料的性能具有同样明显的优点和缺点。本文试图结合这 2 种结构的各自优点, 采用组合的方式设计, 试制了 2 种 3D 机织物, 并探讨其复合材料拉伸性能的变化。

1 组合式 3D 机织物结构设计

如图 1(a), (b) 所示的结构分别为典型的角联锁和正交 3D 机织结构, 图 1(c), (d) 所示的结构为结合角联锁和正交结构而形成的组合式结构。

图 1 中的点、线分别代表纬纱、经纱, 并定义纬

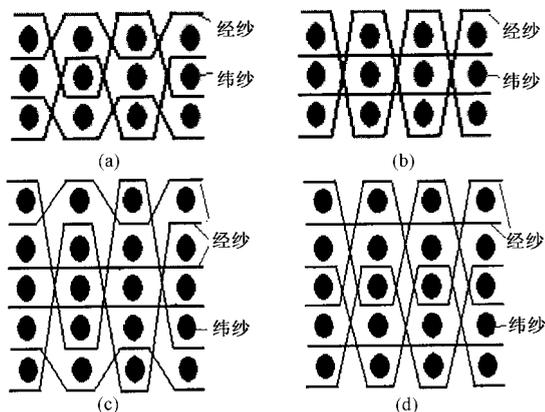


图 1 3D 机织物结构

纱层数为织物层数。为了描述方便, 用 S1、S2、S3 和 S4 分别表示图 1(a), (b), (c) 和 (d) 4 种结构。S3 结构可称为“内接正交”, 因为中间 3 层采用了正交结构, 分别从结构的上下 4 层来看, 使用 2 根经纱(接结经)通过角联锁结构连接, 使 5 层纬纱连接成整体; S4 结构可称为“层接正交”(正交层接), 从 S4 结构的上下 3 层可见, 织物结构采用正交结构设计, 使用 4 根经纱通过角联锁结构连接使织

物结构成为一体。

2 实验部分

2.1 原材料

选用杭州玻璃集团公司生产的规格为2 400 tex的无碱玻璃纤维,江苏吴江学联树脂厂生产的雪鹤牌6101环氧树脂作基体,浙江永在化工有限公司生产的永生牌650聚酰胺作固化剂。

2.2 实验设备

HKV151型花式捻丝机、GUI01A型试样织机、XLB D/Q450×500×1-Z型0.5 MN电热模压成型机、RGM 200A型电子万能材料试验机。

2.3 机织物预制件

3D机织物一般采用多经方法织造^[4],可在稍加改造的普通织机上织制出如图1所示的4种结构。为了避免纤维在织造过程中损伤,在织造前采用锦纶长丝包覆玻璃纤维长丝束。织物所用经纱和纬纱均为2×2 400 tex玻璃纤维+156 dtex/48 f锦纶6(外包)。织物规格如表1所示。

表1 3D机织物规格

织物代号	层数	单层经密/ (根·(10 cm) ⁻¹)	单层纬密/ (根·(10 cm) ⁻¹)
S1	3	20	5
S2	3	20	5
S3	5	10	10
S4	5	10	10

2.4 成型工艺

树脂胶液以6101环氧树脂与650聚酰胺的质量比为1:0.8混配,加入少量丙酮作稀释剂,使胶液粘度范围控制在0.2~0.8 Pa·s之间,以便能渗透到织物内部。采用模压成型工艺,在100℃温度下固化3 h,将固化好的复合材料脱模后,常温下放置1周,再进行性能测试。S1、S2、S3、S4这4种3D机织物复合材料的纤维体积含量分别为47.3%、48.5%、51.6%、53.7%。

2.5 拉伸测试

从复合板材切割5个250 mm×25 mm(长×宽)试样,并在试样端部用环氧树脂粘贴加强片(铝片),以防止在拉伸过程中试样打滑以及在拉伸试样的夹头处断裂。按GB/T 1447—82测试方法,使用RGM 200A型电子万能材料试验机测试复合材料板的纵向(织物经向)拉伸性能,在标距100 mm,拉伸速率为5 mm/min,室温下进行拉伸实验。测试结果取5次测试结果的平均值。

3 结果与讨论

3.1 弹性模量的比较

弹性模量表征材料对弹性变形的抗力,在弹性阶段内,应力和应变成正比,模量值越大,则在相同应力下产生的弹性变形就愈小。由于经纱具有不同的屈曲程度,当复合材料在弹性阶段内受力时,屈曲程度小的经纱先受力,而屈曲程度大的经纱不完全受力或受力较小,出现了经纱受力不均的现象。图2为复合材料拉伸断口的形貌(使用Motic K1300型体视显微镜在100倍下拍摄),断口并不整齐,反映了材料在拉伸过程中存在经纱受力不均现象。

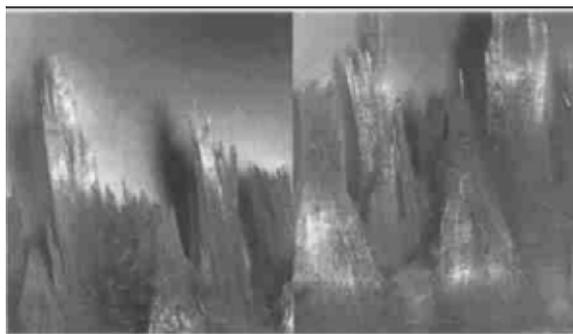


图2 复合材料拉伸断口的形貌

通过比较表2中4种3D机织增强复合材料的弹性模量可知,材料的弹性模量从大到小依次为:S2、S4、S3和S1。S4的弹性模量比S2低了21.33%,但比S1高了38.41%;S3的弹性模量虽介于S1与S2之间,但比S4低了11.16%。

表2 复合材料弹性模量及抗拉强度的比较

织物结构	弹性模量/ GPa	最大抗拉强度/ MPa	单位体积含量 抗拉强度/MPa
S1	4.53	169.2	3.58
S2	7.97	256.4	5.29
S3	5.57	231.5	4.49
S4	6.27	267.3	4.98

3.2 体积含量对抗拉强度的影响

通过比较表2中4种3D机织物增强复合材料最大抗拉强度,可明显地看出,S4的最大抗拉强度值最大,而且S2、S3和S4的最大抗拉强度值远大于S1。S4的最大抗拉强度值比S2高出了4.29%,由于4种复合材料中纤维的体积含量不同,还不能直接由此得出S4织物结构的增强效果最好。为此将表2的最大抗拉强度结果折算成单位纤维体积分含量的材料抗拉强度,如表2所示。可见,S4和S3的单位纤维体积分含量抗拉强度比S2分别低了5.86%和15.12%,而比S1却高出了39.11%和25.41%。可

(下转第19页)

(上接第 15 页)

见, S4 具有 S2 同样优越的抗拉性能, 而 S3 稍逊于 S2, 但比 S1 的抗拉强度提高不少。

因此, S4 具有较高的弹性模量和抗拉强度, 与 S2 最为接近, 而 S3 的拉伸性能虽没有 S4 那样优越, 但比 S1 的弹性模量和抗拉强度提高不少。

4 结 论

结果表明, 所设计试制成的 2 种组合式 3D 机织物, 层接正交结构增强复合材料具有接近正交结构增强复合材料拉伸性能的优点, 内接正交结构增强复合材料的拉伸性能稍逊于层接正交结构, 但明显高于角联锁结构增强复合材料的拉伸性能。

参考文献:

- [1] 汪蔚, 祝成炎. 玻璃纤维 3D 机织物增强复合材料板材的研制与其拉伸性能研究[J]. 浙江工程学院学报, 2002, 19(3) : 145 - 148 .
- [2] Huang Gu, Zhong Zhili. Tensile behavior of 3D woven composites by using different fabric structures[J]. Materials and Design, 2002, 23(7) : 671 - 674 .
- [3] Callusa P J, Mouritza A P. Tensile properties and failure mechanisms of 3D woven GRP composites[J]. Composites : Part A, 1999, 30(11) : 1277 - 1287 .
- [4] Chou S, He Chen. The weaving methods of three-dimensional fabrics of advanced composite materials[J]. Composite Structures, 1995, 33(3) : 150 - 172 .