

三维编织工艺参数对复合材料拉伸性能的影响

刘 谦 李嘉禄 李学明

(天津纺织工学院复合材料研究中心 天津 300160)

摘 要 通过一系列的实验比较和分析研究,客观地评价了三维编织工艺参数对复合材料拉伸性能的影响。实验结果表明:三维编织复合材料具有良好的力学性能,纤维表面编织角、纤维体积分数和纤维束细度对复合材料拉伸性能有较大的影响。

关键词 三维编织复合材料,拉伸性能,编织角,纤维体积分数,纤维细度

Influence of 3D Braiding Technology Parameters on Tensile Properties of Composites

Liu Qian Li Jialu Li Xueming

(Tianjin Institute of Textile Science and Technology Tianjing 300160)

Abstract In this paper, based on a series of experimental comparison and analysis, the influence of three dimensional braiding technology parameters on the tensile properties of composites is evaluated. The results show that the 3D braided composites have good mechanical behavior, and the yarn orientation angle, fiber volume fraction and tow size are important factors to the improvement of properties.

Key words 3D braided composites, Tensile property, Yarn orientation angle, Fiber volume fraction, Tow size

1 前言

三维编织复合材料因其优良的抗冲击损伤性能、力学性能和耐烧蚀性能受到航空航天部门的重视,并有不少结构件和功能件采用了这种材料^[1]。三维编织复合材料具有结构设计灵活、异型件一次编织成型、结构不分层、整体性高等特性^[2,3],然而,这种材料的力学性能数据较少,影响了其可靠性的评估。本文通过一系列的实验集中研究了三维编织工艺参数对复合材料拉伸性能的影响,实验和分析的结果一方面丰富了三维编织复合材料的力学性能数据库;另一方面为三维编织复合材料的应用提供了依据。

2 实验

由于没有三维编织复合材料拉伸性能的测试标

准,本文以国标 GB1447—83(玻璃纤维增强塑料拉伸性能试验方法)为依据^[4],同时参考了美国材料试验(ASTM)的一些测试标准^[5]。测试机为岛津 AG—250KNE型万能材料试验机,测定拉伸弹性模量的加载速度为2 mm/min,测定拉伸强度的加载速度为5 mm/min。

试验过程中采用了引伸仪(Extensometer)。引伸仪是用于测量试样长度延长的一种高精度仪器,主要用于测试微小变形量,可提高材料模量的测试精度。本文实验中所用的引伸仪是岛津 SG50—10。实验使用的预制件均为四步法1×1三维编织物,由天津纺织工学院复合材料研究所自行研制的三维编织机制造^[6]。它的复合固化工艺为树脂传递模塑法(RTM)。试样总长为250 mm,夹具间距离为170

收稿日期:1999-12-21

刘谦,1969年出生,博士,主要从事三维编织复合材料的微观结构和力学性能的研究工作

宇航材料工艺 2000年 第1期

— 55 —

mm。

3 纤维体积分数对复合材料试件拉伸性能的影响

3.1 试样参数

试样为三维编织玻璃纤维/环氧树脂复合材料。玻璃纤维是南京玻璃钢研究院生产的高强度玻纤,细度为 1 200 Tex,密度为 2.54 g/cm³。树脂采用 TDE-85 环氧树脂。试样参数见表 1,表中数据为五个数据的平均值。

表 1 不同纤维体积分数试样参数

Tab.1 Specimen parameters of different fiber volume fraction

组号	主体纱	纤维表面编织角 / (°)	纤维体积分数 / %
V ₁	19 ×6	30.3	41.0
V ₂	21 ×6	30.7	44.5
V ₃	23 ×6	30.3	53.6

3.2 测试结果

表 2 为不同纤维体积分数的试样拉伸力学性能测试结果,表中初始模量为拉伸伸长在 0.09 mm ~ 0.14 mm 之间的值。从表中可以看出:

(1) 随纤维体积分数的增加,三维编织复合材料的初始模量、断裂应力、最大载荷变大;

(2) 随纤维体积分数的变化,三维编织复合材料的断裂应变和断裂伸长的变化不大。

表 2 不同纤维体积分数的试样拉伸力学性能

Tab.2 Tensile properties of different fiber volume fraction specimens

组号	纤维体积分数 / %	初始模量 E/ GPa	断裂应力 / MPa
V ₁	41.0	19.961	246
V ₂	44.5	19.994	345
V ₃	53.6	20.825	407

组号	断裂应变 / %	最大载荷 / kN	断裂伸长 / mm
V ₁	7.78	43.86	13.12
V ₂	8.72	64.17	13.09
V ₃	7.96	69.69	11.99

图 1 为不同纤维体分数的三维编织复合材料的应力—应变图,从图中可以看出以下几点。

(1) 编织复合材料的应力—应变曲线为双线性。试件的初始模量较二次模量要大得多。

(2) 随着编织物纤维体分数的增大,复合材料的拉伸强度、初始模量和二次模量均随之增大。反之则性能下降。

(3) 随着纤维体积分数增大,复合材料的破坏断裂功增大,也就是材料的耐疲劳性能提高。

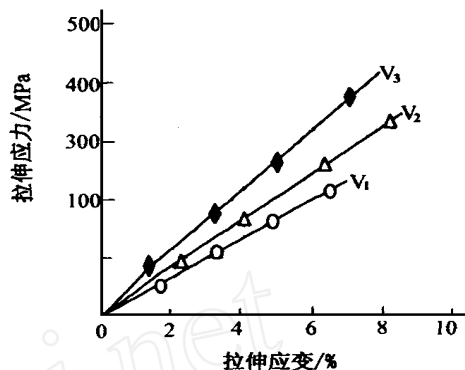


图 1 不同纤维体积分数复合材料应力—应变图

Fig.1 Tensile stress-strain curves of different fiber volume fraction composites
V₁、V₂、V₃ 含义见表 1。

4 纤维束细度对复合材料试件拉伸性能的影响

4.1 试件参数

为了研究纤维束细度对三维编织复合材料拉伸性能的影响,制造了三组试样,纤维束细度分别为 960 Tex、1 200 Tex 和 1 440 Tex。试件参数见表 3。

表 3 不同纤维束细度的试样参数

Tab.3 Specimen parameters of the different fiber tow size

组号	主体纱 m × n	表面编织角 / (°)	纤维束细度/ Tex
S ₁	23 ×7	30	960
S ₂	21 ×6	30	1 200
S ₃	19 ×5	33	1 440

4.2 测试结果

表 4 为不同纤维束细度三维编织复合材料的拉伸力学性能值。为了使数据具有可比性,表中初始模量亦为拉伸伸长在 0.09 mm ~ 0.14 mm 之间的值。

宇航材料工艺 2000 年 第 1 期

表 4 不同纤维束细度的拉伸性能平均值

Tab. 4 Tensile properties of different fiber tow size composites

组号	初始模量 E/ GPa	断裂应力 / MPa	断裂应变 / %	最大载荷 / kN	最大伸长 / mm
S ₁	15.09	301	8.02	48.90	13.08
S ₂	19.99	345	8.72	64.17	13.09
S ₃	21.28	311	7.61	47.11	11.47

4.3 应力—应变图

图 2 为不同纤维细度三维编织复合材料的应力—应变图。从图表中可以看出以下几点。

(1) 编织复合材料的应力—应变曲线为双线性, 初始模量较二次模量大。

(2) 随着编织物纤维束细度的增大, 复合材料的初始模量和二次模量均随之增大。反之则下降。

(3) 随着编织物纤维束细度的增大, 复合材料的拉伸应力先增大后又下降。

(4) 纤维束细度适当时, 不仅拉伸应力较大, 而且拉伸应变也较大, 故拉伸断裂功较大, 材料抗疲劳破坏性能好。

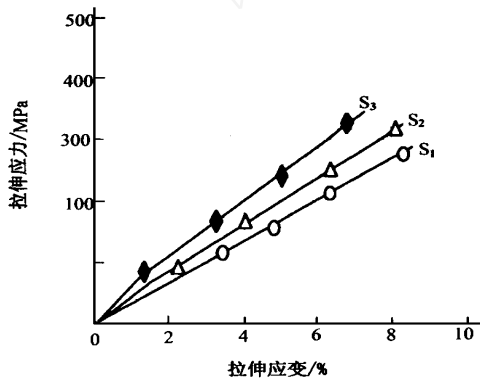


图 2 不同纤维束细度复合材料的应力—应变图

Fig. 2 Tensile stress-strain curves of different fiber tow size composites
S₁、S₂、S₃ 含义见表 3。

5 编织角对复合材料试件拉伸性能的影响

5.1 试件参数

试件为碳纤维/环氧树脂复合材料。试件参数

宇航材料工艺 2000 年 第 1 期

见表 5。

表 5 三维编织复合材料试件参数

Tab. 5 Specimen parameters of 3D braided composite

试件编号	表面角 / (°)	花节长度 / mm	试件宽 × 厚 / mm	纤维体积 分数 / %
2—1—1	19	6.0	48.00 × 6.20	46.6
2—1—2	22	5.3	47.80 × 5.48	50.8
2—1—3	22	5.6	48.00 × 6.22	47.9
2—2—1	30	3.9	48.00 × 5.90	41.0
2—2—2	31	3.3	48.20 × 6.50	51.7
2—3—1	37	3.1	48.10 × 5.54	49.1
2—3—2	36	3.3	48.10 × 5.10	46.9
2—3—3	37	3.2	48.16 × 5.22	47.2

5.2 测试结果

表 6 为不同表面编织角的三维编织复合材料拉伸力学性能值。

表 6 不同表面编织角的三维编织复合材料拉伸力学性能

Tab. 6 Tensile properties of different fiber apparent angle composite

试件编号	拉伸模量 / GPa	最大载荷 / kN	断裂应力 / MPa	断裂应变 / %
2—1—1	58.85	165.1	555	0.946
2—1—2	64.50	184.4	704	1.026
2—1—3	55.40	140.2	470	0.846
2—2—1	28.60	104.6	370	0.610
2—2—2	19.25	93.1	297	0.817
2—3—1	18.05	59.9	225	1.013
2—3—2	21.51	70.7	288	1.090
2—3—3	19.48	73.5	292	1.012

试件破坏应力和表面编织角的关系见图 3, 试件的拉伸弹性模量与表面编织角的关系见图 4。从图中可知:

(1) 随着三维编织物表面编织角的增大, 试件的破坏应力减小;

(2) 随着三维编织物表面编织角的增大, 试件的

拉伸弹性模量减小。

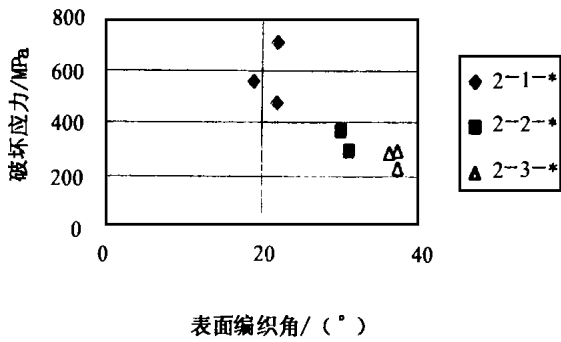


图3 试件破坏应力和表面编织角的关系

Fig.3 Relationship between fiber apparent angle and ultimate stress

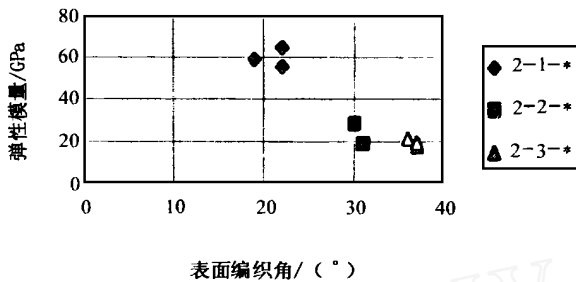


图4 拉伸弹性模量与表面编织角的关系

Fig.4 Relationship between fiber apparent angle and tensile modulus

6 结论

三维编织复合材料是性能良好的复合材料。选择合理的编织工艺参数会提高编织复合材料的性

能。纤维编织角越小,纤维体积分数越大,纤维束细度适中,有利于复合材料性能的改进。在进行实验过程中,三维编织复合材料的拉伸性能具有以下几点。

(1) 三维编织复合材料的应力—应变曲线呈双线性特点,即曲线在初始和最后阶段为线性,这种双线性是由材料的性质决定的。

(2) 三维编织复合材料拉伸断裂过程中没有屈服点产生,说明材料为脆性材料。材料破坏时,纤维为脆性断裂,纤维间的基体存在很大的塑性变形。

(3) 三维编织复合材料的拉伸模量随纤维体积分数的增大而增大,随纤维束细度的增大而增大。

(4) 三维编织复合材料的拉伸断裂强度随纤维体积分数的增大而增大,随纤维束细度的增大而增大。

参考文献

- 1 玻璃纤维增强塑料拉伸性能试验方法. 国家标准局, GB1447—83
- 2 定向纤维复合材料拉伸性能试验方法. ASTM D3039
- 3 刘谦. 三维编织复合材料的纤维束微观结构和力学性能分析. 天津纺织工学院硕士研究生毕业论文, 1998
- 4 Ko F K. Three-dimensional fabrics for composites. Textile Structural Composites, 1989: 129 ~ 171
- 5 Joor-hyung Byun, Tsu-Wei Chou. Process-microstructure composites. Composites Science and Technology, 1996; 56: 235 ~ 251
- 6 Li W, Hammad M, El-shiekh A. Structural analysis of 3D braided preforms for composites, Part I: The four step preforms. J. Text. Inst., 1990; 81(4): 491 ~ 514