

## 2.5D 石英纤维织物增强二氧化硅基复合材料 弯曲性能测试研究

于佩志 张涛 王晓薇

(航天材料及工艺研究所,北京 100076)

**文 摘** 简要介绍了 2.5D 石英纤维织物增强二氧化硅基复合材料弯曲性能测试装置,通过对比试验研究了试样跨厚比、变形测量等对材料弯曲性能的影响,用数理统计的方法对总体均值进行了显著性检验,合理确定了材料弯曲性能测试的试验参数。

**关键词** 2.5D 石英,复合材料,弯曲性能

### Flexural Property Testing for 2.5D SiO<sub>2</sub> Fiber-reinforced SiO<sub>2</sub> Composite

Yu Peizhi Zhang Tao Wang Xiaowei

(Aerospace Research Institute of Materials and Processing Technology, Beijing 100076)

**Abstract** The testing machine for the flexural properties of 2.5D SiO<sub>2</sub> fiber-reinforced SiO<sub>2</sub> composite is introduced first, and the effects of span-to-thickness ratio, deformation, ect. on the flexural property of this composite are studied by means of control test. The testing data are analyzed with method of mathematic statistics. Finally, testing parameters for flexural properties of 2.5D SiO<sub>2</sub>/ SiO<sub>2</sub> composite are confirmed reasonably.

**Key words** 2.5D SiO<sub>2</sub>, Composite, Flexural property

#### 1 前言

多向编织复合材料是一种新兴的结构复合材料,除保持复合材料层合结构的优点(比强度大、比模量大等)外,并较好地消除了铺层复合材料因层间薄弱所导致的层间强度低及抗损伤能力差等缺点,在很大程度上改善了复合材料的性能,使其具有更优良的可设计性<sup>[1~3]</sup>。在航空、航天、汽车等行业具有广阔的应用前景。

整体编织 SiO<sub>2</sub> 复合材料由于具有强度高、耐高温、抗热震、抗核爆、抗激光与电性能好等优点,

在航天行业有重要应用价值。其中 2.5D 石英纤维织物增强二氧化硅(简称 2.5D SiO<sub>2</sub>/ SiO<sub>2</sub>) 基复合材料能同时满足防热、透波、承载等三项功能,是一种新型多功能材料。其弯曲性能——弯曲强度、弹性模量、断裂应变是设计及材料研究的重要力学性能参数,目前国内外还没有关于该种复合材料弯曲性能测试的标准试验方法。由于 2.5D SiO<sub>2</sub>/ SiO<sub>2</sub> 复合材料的编织方式及结构单元较大,试样尺寸等因素对弯曲性能测试有重要影响。本

收稿日期:2003-10-24

于佩志,1974 年出生,硕士,主要从事材料力学性能测试工作

文通过对比试验研究了试样跨厚比、变形测量等对 2.5D SiO<sub>2</sub>/SiO<sub>2</sub> 复合材料弯曲性能的影响,用数理统计的方法对总体均值进行显著性检验,合理地确定材料弯曲性能测试参数。

## 2 试验

### 2.1 装置

弯曲试验装置由 100 kN 电子万能试验机、动态应变仪、*x y* 记录仪、挠度引伸计及弯曲夹具等组成。图 1 为弯曲试验夹具示意图。弯曲试验夹具由加载压头和支座组成,二者与试样接触部位应为半圆柱表面。加载压头圆弧半径 *R* 为 5 mm,支座圆弧半径 *r* 为 2 mm。加载压头对试样跨距中间施加作用力,变形测量是在同一试样上既可用挠度引伸计测定挠度值,又可用应变片测定试样底面的拉伸应变。

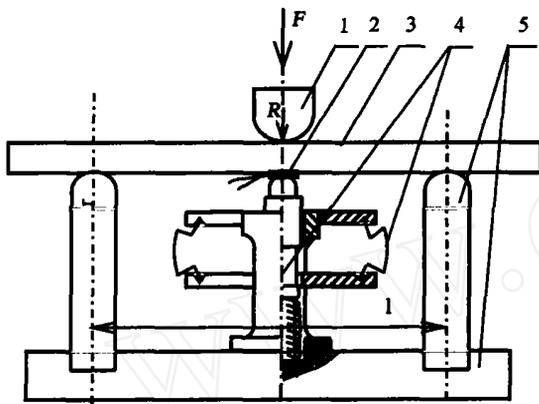


图 1 弯曲试验夹具示意图

Fig. 1 Apparatus schematic for flexural property testing

1—加载压头;2—电阻应变片;3—试样;  
4—挠度引伸计;5—支座。

### 2.2 方案设计

对于复合材料弯曲性能的测试,国内外标准中常用的是三点弯曲法,试样形状一般为直条体。为了准确测定 2.5D SiO<sub>2</sub>/SiO<sub>2</sub> 复合材料的弯曲性能,对试样的跨厚比、变形测量方法等进行了研究。

#### 2.2.1 试样的跨厚比

弯曲试样的几何尺寸主要由试样的跨厚比决定,三支点加载方式试样既受弯矩作用,又受剪力作用,剪切影响随着跨厚比的增大而逐渐减小<sup>[4]</sup>。确定试样跨厚比应保证试样弯曲试验时不应出现层间剪切破坏。

宇航材料工艺 2004 年 第 5 期

表 1 列出几种常用试验标准中弯曲性能的试验参数。从表 1 可以看出,常用弯曲试验所采用的试样宽度一般为 15 mm 左右,厚度不大于 10 mm,跨厚比一般为 16。对于单向纤维增强塑料或平面铺层的复合材料来讲,为了避免在试验中出现试样层间破坏,需将跨厚比增至 24 或 32;而对于硬塑料和纤维增强塑料的模压、手糊制品或多向纤维增强复合材料来讲,由于材料的层间强度相对较高,弯曲试验时不易出现层间破坏,在材料长度有限的情况下,可将跨厚比适当减小至 10 或 12。

由于 2.5D SiO<sub>2</sub>/SiO<sub>2</sub> 复合材料的结构单元较大,试样尺寸也应相应增大,因此采用的试样尺寸拟定宽度 *b* 为 15 mm、厚度不大于 10 mm、跨厚比分别为 12、16、32。

表 1 弯曲性能试验参数

Tab. 1 Parameters for flexural property testing

标准号	标准名称	试样宽度 / mm	试样厚度 / mm	跨厚比
GB1449—83	玻璃纤维增强塑料 弯曲性能试验方法	15	1~10	16
GB3356—99	单向纤维增强塑料 弯曲性能试验方法	12.5	1~4	32
	硬塑料及纤维增强 塑料弯曲性能试验 方法	15	1~10	10 16 24 32
DqES77—98	三向纤维增强复合 材料弯曲性能试验 方法	10	6	12

#### 2.2.2 变形测量方法

为了研究不同变形测量方法对弯曲模量的影响,在同一试样上采用挠度法与应变片法同时测量弯曲模量,这样可以避免因材料不均匀性对测试的影响。

### 2.3 试验条件影响的处理方法

不同的试验条件对试验结果是有影响的,但影响程度如何,不同条件测出的试验数据是否可比,是否有显著性差异,为了作出正确的判断,采用数理统

计中的 t 检验<sup>[6]</sup>,对各种试验条件的影响进行比较处理。

使用 t 检验时,要求先检验两组试验结果的标准差是否有显著性差异,为此应先使用数理统计中的 F 检验。如果 F 检验表明两组试验结果的标准差有明显差异,则两组试样不属于同一母体,就不必再进行 t 检验。因此 F 检验是 t 检验的前提。

### 3 结果与讨论

#### 3.1 跨厚比对弯曲性能的影响

为了验证试样尺寸的合理性,针对两种状态(未浸树脂、浸树脂) 2.5D SiO<sub>2</sub>/ SiO<sub>2</sub> 复合材料加工的试样截面尺寸为 8 mm ×15 mm,跨厚比分别为 12、16 和 32 的三种试样进行对比试验,跨厚比对材料弯曲性能影响见表 2、表 3。以跨厚比为 16 的试样测定的弯曲性能值作为基准进行比较(显著性水平 = 0.05)。

从表 2、表 3 中可以看出,对于两种状态、三种不同跨厚比的试样弯曲性能数据的标准差和均值均没有显著性差异。因此在弯曲试验方法中规定,弯曲试样的宽度为 15 mm,厚度不大于 10 mm,跨厚比为 16。若材料长度有限,可将试样跨厚比减小为 12。

表 2 2.5D SiO<sub>2</sub>/ SiO<sub>2</sub> 复合材料(未浸树脂)跨厚比对弯曲性能的影响

Tab.2 Effect of span-to-thickness ratio on flexural property of 2.5D SiO<sub>2</sub>/ SiO<sub>2</sub> composite( without resin )

试样尺寸 /mm	跨厚比	试验结果	弯曲强度 /MPa	弯曲模量 /GPa	断裂应变 / %
8 ×15 ×145	16	平均值 $\bar{x}$	38.4	14.7	0.63
		标准差 $S$	1.6	4.6	0.42
8 ×15 ×112	12	平均值 $\bar{x}$	39.9	12.0	0.62
		标准差 $S$	1.9	2.5	0.23
		t  计算值	1.350	1.153	0.047
		t 查表值	2.306	2.306	2.306
		影响情况	不显著	不显著	不显著

表 3 2.5D SiO<sub>2</sub>/ SiO<sub>2</sub> 复合材料(浸树脂)跨厚比对弯曲性能的影响

Tab.3 Effect of span-to-thickness ratio on flexural properties of 2.5D SiO<sub>2</sub>/ SiO<sub>2</sub> composite( with resin)

试样尺寸 /mm	跨厚比	试验结果	弯曲强度 /MPa	弯曲模量 /GPa	断裂应变 / %
8 ×15 ×145	16	平均值 $\bar{x}$	63.3	13.6	0.70
		标准差 $S$	3.7	1.6	0.087
8 ×15 ×272	32	平均值 $\bar{x}$	59.1	12.4	0.65
		标准差 $S$	2.7	0.85	0.23
		t  计算值	2.050	0.941	0.455
		t 查表值	2.306	2.306	2.306
		影响情况	不显著	不显著	不显著

#### 3.2 两种状态弯曲模量测定方法的比较

在同一试样上用应变片法与挠度法测定弯曲模量,由于测试方法不同,测定的试验数据会存在一定的差异。为确定该差异是否会影响到其总体均值,以应变片法测定的弯曲模量为基准进行 t 检验(显著性水平 = 0.05),检验结果见表 4。

表 4 2.5D SiO<sub>2</sub>/ SiO<sub>2</sub> 复合材料两种弯曲模量测定方法比较  
Tab.4 Comparison of testing methods for flexural modulus of 2.5D SiO<sub>2</sub>/ SiO<sub>2</sub> composite GPa

测量方法	试验结果	未浸树脂	浸树脂
应变片法	平均值 $\bar{x}$	11.6	20.4
	标准差 $S$	1.7	1.5
挠度法	平均值 $\bar{x}$	11.9	19.1
	标准差 $S$	0.78	2.1
	t  计算值	0.359	1.126
	t 查表值	2.306	2.306
	影响情况	不显著	不显著

从表 4 可以看出,对于两种状态 2.5D SiO<sub>2</sub>/ SiO<sub>2</sub> 复合材料,用应变片法与挠度法测定弯曲模量没有显著性差异,这说明两种方法可以通用。可采用应变片法测量试样的弯曲模量和断裂应变,若只测量试样的弯曲模量,则可采用挠度法。

#### 4 结论

(1)采用数理统计方法对各种不同的试验条件进行检验比较,确定了 2.5D SiO<sub>2</sub>/SiO<sub>2</sub> 复合材料的弯曲性能试验条件。

(2)对于两种状态 2.5D SiO<sub>2</sub>/SiO<sub>2</sub> 复合材料,用三点弯曲法进行弯曲性能测试,采用不同的跨厚比 12、16 和 32,其弯曲性能数据的总体均值无显著性差异。

(3)对于两种状态 2.5D SiO<sub>2</sub>/SiO<sub>2</sub> 复合材料,在同一试样上用应变片法与挠度法测定弯曲模量没有显著性差异。

#### 参考文献

- 1 吴德隆,沈怀荣. 纺织结构复合材料的力学性能. 长沙:国防科技大学出版社,1998:1~7
- 2 卢子兴,冯志海,寇长河等. 编织复合材料拉伸力学性能的研究. 复合材料学报,1999;16(3):129~134
- 3 梁军,陈晓峰,庞宝君等. 多向编织复合材料的力学性能研究. 力学进展,1999;29(2):197~210
- 4 沈美玲. 三向石英复合材料弯曲性能的测试研究. 见:航天材料及工艺论文集,1997:241~254
- 5 QJ2099—91. 三向纤维增强复合材料弯曲性能试验方法
- 6 GB/Z18—91. 金属材料力学性能数据表达准则

(编辑 李洪泉)

---

## 《化学与粘合》征订启事

中国科技核心期刊

中国科技论文统计源用刊

中国学术期刊综合评价数据库来源期刊

《美国化学文摘》(CA)收录期刊

《中国化学化工文摘》收录期刊

《中国期刊网》、《中国学术期刊(光盘版)》收录期刊

《中国核心期刊(遴选)数据库》收录期刊

《化学与粘合》是报道中国石油化工、高分子新型材料、合成胶粘剂行业的最新研究成果和最新技术成就的学术兼技术性刊物,创刊于 1964 年。本刊登载内容有:研究报告、学术论文、实验简报、分析测试报告;专论与综述;化工技术、胶接工艺、科技成果推广和新产品应用实例以及近期国内外胶粘剂文献增主题录等。

适用于从事石油化学、化工及胶粘剂的研究、研制、生产及应用的科研技术人员、管理人员及高校师生订阅。

《化学与粘合》为双月刊,邮发代号 14—113;每期定价 9.00 元,全年定价 54.00 元。全国各地邮局均办理订阅,亦可向编辑部直接汇款订阅。

本刊愿为化学化工、胶粘剂产品、设备等供需厂家服务,承刊广告业务,望广为利用(广告许可证号:哈 2301004050003)。

编辑部地址:哈尔滨市中山路 164 号 邮编:150040 E-mail:xyxy@public.hr.hl.cn

电话:(0451)82639490 传真:(0451)82629290