



中华人民共和国国家标准

GB/T 41955—2022

聚合物基复合材料多向层合板 无开孔压缩试验方法

Test method for compression of fiber reinforced polymer matrix
composite multi-directional laminates without open-hole

2022-12-30 发布

2023-04-01 实施

国家市场监督管理总局 发布
国家标准化管理委员会

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国建筑材料联合会提出。

本文件由全国纤维增强塑料标准化技术委员会(SAC/TC 39)归口。

本文件起草单位：中国航发北京航空材料研究院、安徽佳力奇先进复合材料科技股份有限公司、天津爱思达航天科技有限公司、北京玻璃钢院检测中心有限公司、中航试金石检测科技(大厂)有限公司、北京机电工程研究所、中国直升机设计研究所、河北工业大学、北京航空航天大学、中机检测有限公司。

本文件主要起草人：王雅娜、赵魏、周青文、陈新文、鲁原、王翔、张海雁、路强、康彦龙、张毅、刘含洋、唐占文、王灿、王贞、赵丽滨、刘丰睿、张代军、范晓望、刘大辉。

聚合物基复合材料多向层合板 无开孔压缩试验方法

1 范围

本文件描述了聚合物基复合材料多向层合板无开孔压缩试验方法的原理、试验设备、试样、试验条件、应变计和引伸计的使用方法、试验步骤、试验结果和试验报告。

本文件适用于连续纤维增强聚合物基复合材料对称、均衡多向层合板无开孔压缩性能的测定。编织复合材料平板无开孔压缩性能的测定可参照使用。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中,注日期的引用文件,仅该日期对应的版本适用于本文件;不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB/T 1446 纤维增强塑料性能试验方法总则

GB/T 3961 纤维增强塑料术语

3 术语和定义

GB/T 3961 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

弯曲百分比 percent bending

以试验过程中试样前、后表面中心处背对背粘贴的一对纵向应变计的示值差异表征的试样弯曲变形程度。

4 原理

采用无中心孔的多向层合板试样,将试样/夹具组合件夹持于试验机夹头中加载,使试样工作段均匀受载,获得多向层合板的压缩性能。

5 试验设备

5.1 试验机

试验机应符合 GB/T 1446 的规定。

5.2 变形和测量装置

5.2.1 采用引伸计或应变计测量变形,相对误差不应超过 $\pm 1\%$,且满足:

a) 引伸计:标距为 25 mm,量程为 0 mm~2.5 mm;

b) 应变计:可采用单轴应变计或双轴应变计,并应配有应变记录装置。

5.2.2 游标卡尺:分度值不低于 0.01 mm。

5.3 扭矩扳手

扭矩扳手的相对误差应不超过±1%。

5.4 压缩试验夹具

压缩试验夹具见图 1,由两个短夹板/长夹板组合件、两块支撑板和两块钢垫片组成。每个短夹板/长夹板组合件和支撑板上分别钻两个孔,并配对使用。压缩夹具各部分尺寸见附录 A。

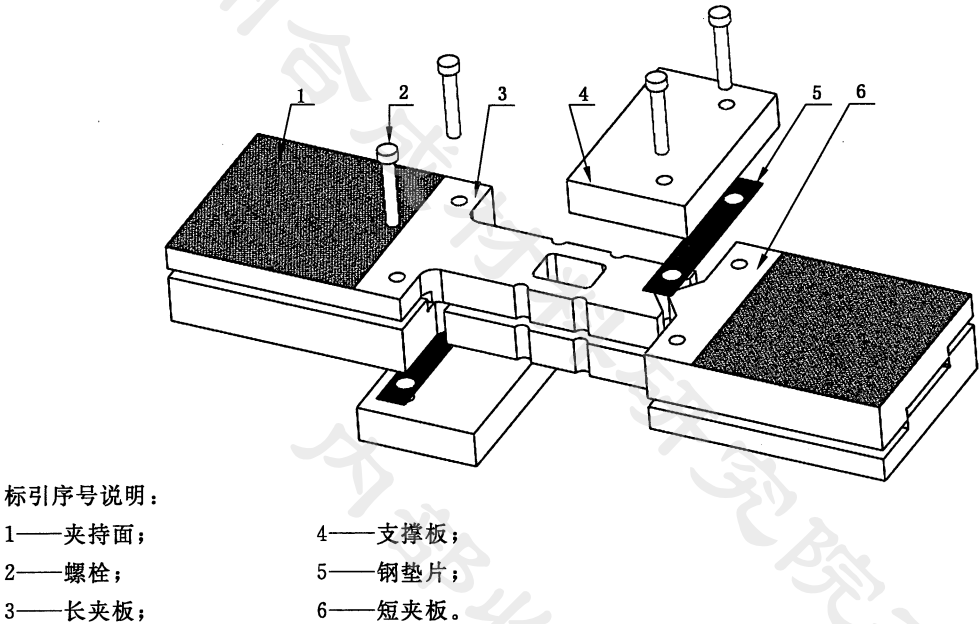


图 1 压缩试验夹具示意图

6 试样

6.1 试样形状及尺寸

试样形状及尺寸见图 2,其中试样长度(l)为 300 mm,试样宽度(w)为 36 mm,试样厚度(h)一般为 3 mm~5 mm,推荐试样厚度为 4 mm。

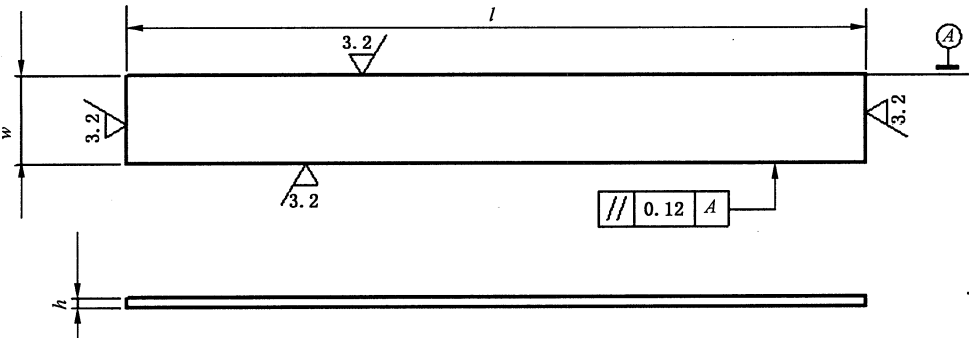


图 2 试样形状及尺寸

6.2 铺层形式

试样应具有对称、均衡的铺层形式。 0° 铺层的比例不宜超过 85%。

6.3 试样制备

试样按照 GB/T 1446 的规定制备。

6.4 试样数量

每组有效试样应不少于 5 个。

7 试验条件

7.1 实验室标准环境条件

温度： $(23 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ ；相对湿度： $(50 \pm 10)\%$ 。

7.2 试样状态调节

试验前，试样在实验室标准环境下至少放置 24 h。

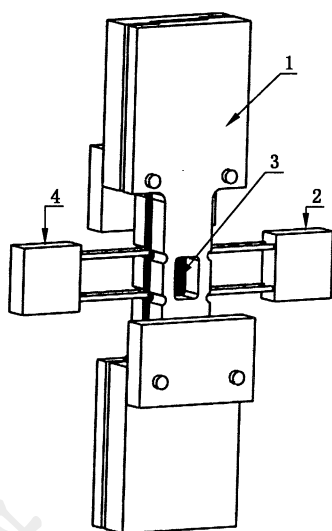
8 应变计和引伸计的使用方法

8.1 应变计的使用方法

选择应变计测量应变时，在试样工作段中心处前、后表面背对背地粘贴两个纵向的单轴应变计。若需计算泊松比，应在试样工作段中心处前、后表面背对背粘贴一对横向的单轴应变计和一对纵向的单轴应变计，或背对背粘贴一对双轴应变计。

8.2 引伸计的使用方法

选择引伸计测量应变时，一组试样中的第 1 根试样仍需采用应变计测量应变，若第 1 根试样的弯曲百分比（见 10.1）通过试验有效性的判断（见 10.2），同组其他试样方可采用引伸计测量应变。在夹具长夹板缺口处对试样的侧边安装 1 个或 2 个引伸计，并采用皮筋固定。引伸计的安装示意图见图 3。



标引序号说明:

- 1 —— 夹具;
- 2, 4 —— 引伸计;
- 3 —— 试样。

图 3 引伸计安装示意图

9 试验步骤

9.1 试验前准备

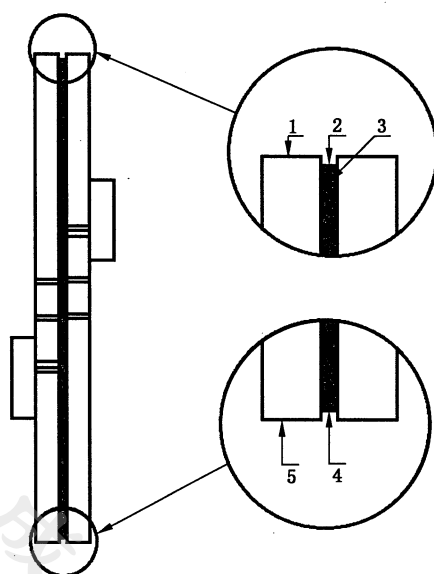
9.1.1 检查试样外观,如有缺陷和不符合尺寸及制备要求,应予作废。

9.1.2 用游标卡尺测量试样工作段范围内 3 处的宽度(w)、厚度(h),取平均值。尺寸测量精确到 0.01 mm。

9.1.3 如果使用应变计测量应变,则在试样前、后表面粘贴应变计。

9.2 试样安装

9.2.1 将试样安装于夹具中,使试样两端与压缩夹具的两端平齐。但对于具有较大压缩变形的试样,可使压缩夹具的两端分别超出试样两端一段距离(约 1 mm~2 mm),见图 4。



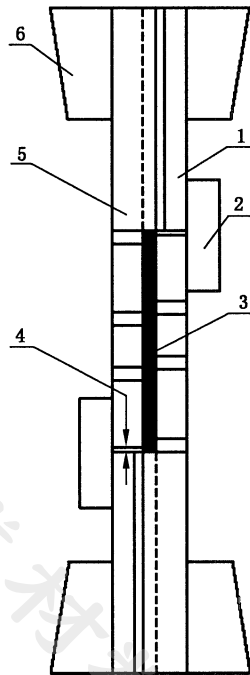
标引序号说明:

- 1——夹具上端面;
- 2——试样上端面;
- 3——试样;
- 4——试样下端面;
- 5——夹具下端面。

图 4 试样/夹具组合件的装配示意图

9.2.2 采用小于 $7 \text{ N} \cdot \text{m}$ 的力矩拧紧夹具上的 4 个螺栓,保证试样不会从夹具中脱出。

9.2.3 将试样/夹具组合件放置在试验机夹头中(见图 5),使组合件的中心线与试验机的加载中心线保持一致,夹持长度为 $50 \text{ mm} \sim 80 \text{ mm}$,推荐夹持长度为 80 mm 。



标引序号说明：

- 1——短夹板；
- 2——支撑板；
- 3——试样；
- 4——长夹板与短夹板之间的间隙；
- 5——长夹板；
- 6——楔形夹块。

图 5 液压夹持加载示意图

9.2.4 采用液压夹持加载的方式对试样/夹具组合件施加夹持力,夹持力约为 20 MPa~28 MPa,然后以 7 N·m 的力矩再次拧紧夹具上的 4 个螺栓。

9.2.5 如果采用引伸计测量应变,在夹具长夹板的缺口处安装 1 个或 2 个引伸计。

9.3 试验

9.3.1 以 2 mm/min 的加载速率对试样连续加载,连续记录载荷-应变曲线和载荷-位移曲线,直至最大载荷,并且载荷从最大载荷回落至最大载荷的 70% 为止。

9.3.2 记录最大载荷、破坏载荷(若不同于最大载荷),以及破坏瞬间或尽可能接近破坏瞬间的应变。

9.3.3 记录试样的失效模式。有效的失效模式应为发生在试样中部 100 mm 范围内工作段的破坏,试样在夹持部位发生的任何破坏均为不可接受的失效模式。

10 试验结果

10.1 弯曲百分比

弯曲百分比按公式(1)计算：

$$B_x = \frac{|\epsilon_{1x} - \epsilon_{2x}|}{|\epsilon_{1x} + \epsilon_{2x}|} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中:

B_x ——试样的弯曲百分比;

ε_{1x} ——试样前表面纵向应变计的示值;

ε_{2x} ——试样后表面纵向应变计的示值。

10.2 基于弯曲百分比的试验数据有效性判断

若采用无开孔压缩模量(见 10.4)计算范围中心点处的应变数据计算得到的弯曲百分比 $B_x \geq 10\%$, 则无开孔压缩模量计算结果无效。

若无开孔压缩强度、无开孔压缩破坏应变所对应的弯曲百分比 $B_x \geq 10\%$, 则无开孔压缩强度和无开孔压缩破坏应变数据无效。

10.3 无开孔压缩强度

无开孔压缩强度按公式(2)计算, 计算结果保留 3 位有效数字:

$$\sigma_{uc} = \frac{P_{max}}{wh} \dots\dots\dots (2)$$

式中:

σ_{uc} ——无开孔压缩强度, 单位为兆帕(MPa);

P_{max} ——试样破坏前的最大载荷, 单位为牛顿(N);

w ——试样工作段的宽度, 单位为毫米(mm);

h ——试样工作段的厚度, 单位为毫米(mm)。

10.4 无开孔压缩模量

无开孔压缩模量按公式(3)计算, 计算结果保留 3 位有效数字:

$$E_c = \frac{P_u - P_l}{(\varepsilon_{xu} - \varepsilon_{xl})wh} \dots\dots\dots (3)$$

式中:

E_c ——无开孔压缩模量, 单位为吉帕(GPa);

P_u ——与 ε_{xu} 对应的载荷, 单位为牛顿(N);

P_l ——与 ε_{xl} 对应的载荷, 单位为牛顿(N);

ε_{xu} ——纵向应变范围的上限值(0.3%, 采用试样前、后表面纵向应变计示值的平均值);

ε_{xl} ——纵向应变范围的下限值(0.1%, 采用试样前、后表面纵向应变计示值的平均值)。

对于破坏应变低于 0.6% 的情形, 0.1%~0.3% 范围内的应变-应力曲线可能已经偏离线性段, 建议此时用于计算无开孔压缩模量的应变范围选为破坏应变的 25%~50%。

10.5 无开孔压缩泊松比

无开孔压缩泊松比按公式(4)并采用无开孔压缩模量(见 10.4)计算范围的应变数据计算, 计算结果保留 3 位有效数字:

$$\nu_c = -\frac{\varepsilon_{yu} - \varepsilon_{yl}}{\varepsilon_{xu} - \varepsilon_{xl}} \dots\dots\dots (4)$$

式中:

ν_c ——无开孔压缩泊松比;

ε_{yu} ——与 ε_{xu} 对应的横向应变测量值(采用试样前、后表面横向应变计示值的平均值);

ε_{yl} ——与 ε_{xl} 对应的横向应变测量值(采用试样前、后表面横向应变计示值的平均值)。

10.6 统计

对于每一组试样,按照 GB/T 1446 的规定计算每一种测试性能的算术平均值、标准差和离散系数。

11 试验报告

试验报告应包括下列内容:

- a) 本文件编号;
- b) 试验项目和名称;
- c) 材料牌号、规格、铺层方式和纤维体积含量;
- d) 材料来源;
- e) 试样编号、尺寸和数量;
- f) 试验温度和相对湿度;
- g) 试验设备;
- h) 用于计算多向层合板无开孔压缩模量的应变取值范围;
- i) 试验结果单值、算术平均值、标准差、离散系数;
- j) 试验人员和日期;
- k) 其他。

附 录 A

(资料性)

多向层合板无开孔压缩试验夹具

A.1 多向层合板无开孔压缩试验夹具的长夹板示意图见图 A.1。

单位为毫米

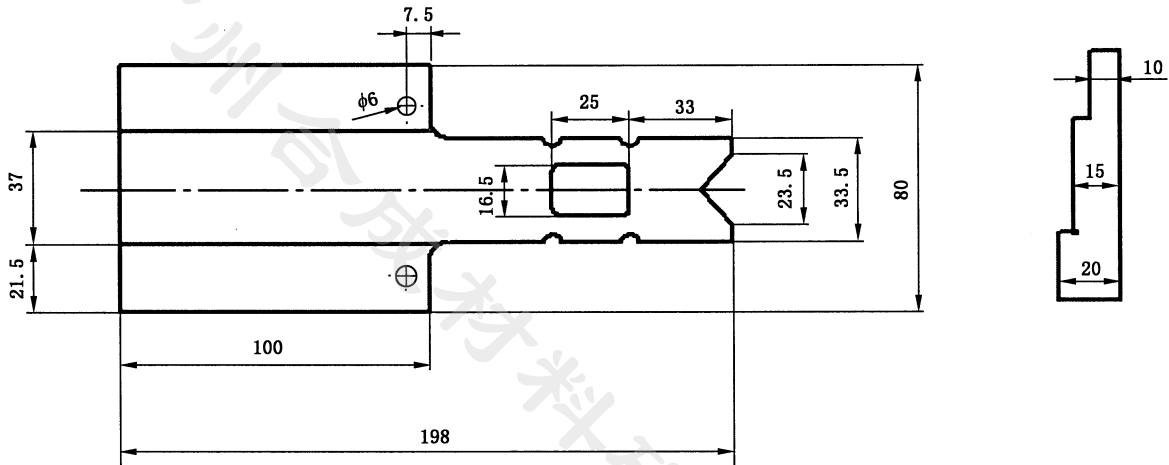


图 A.1 长夹板示意图

A.2 多向层合板无开孔压缩试验夹具的短夹板示意图见图 A.2。

单位为毫米

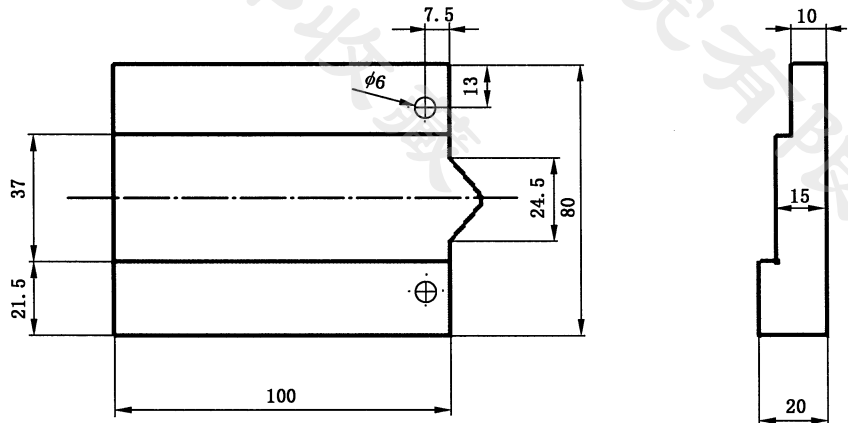


图 A.2 短夹板示意图

A.3 多向层合板无开孔压缩试验夹具的支撑板示意图见图 A.3。

单位为毫米

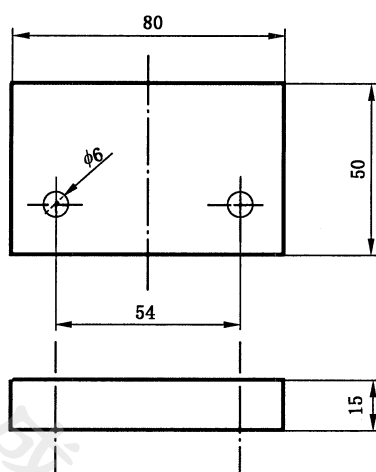


图 A.3 支撑板示意图