

碳纤维复合材料层合板的拉伸性能及破坏机理探析

韩少燕¹ 门静¹ 刘青峰²
(1 西安交通大学城市学院 陕西 西安 710018; 2 西安知象光电有限公司 陕西 西安 710018)

摘要: 本文通过对碳纤维复合材料层合板进行单向拉伸试验, 对其力学损伤行为进行了分析。分别得到了不同厚度的层合板的破坏荷载与应力—应变曲线, 探讨了层合板的拉伸力学性能, 以及破坏机理分析。
关键词: 碳纤维层合板; 拉伸试验; 力学性能

0 引言

材料作为社会发展的物质基础, 传统的单相材料已经越来越难以满足工程发展需求, 所以多相的复合材料迅速发展起。复合材料综合两种及两种以上单相材料的优势, 通过基体增强基使复合材料达到更好的力学性能。目前复合材料已经广泛应用于机械、生物医学、航空航天、石油化工和建筑等领域。

由碳纤维与树脂基复合而成的碳纤维增强树脂基复合材料(以下简称碳纤维复合材料)具有轻质高强、耐疲劳和抗腐蚀等显著特点, 用途十分广泛。但在实际制造及使用过程中, 碳纤维复合材料层合结构界面不可避免的会出现一些缺陷或裂纹, 随着外载荷的增加以及变形的增加, 层间的应力集中也会不断增大, 初始的缺陷随之扩展进而产生新的裂纹, 例如在层间界面的裂纹如果进一步扩展, 复合材料层合板会产生分层断裂。如果不采取任何措施任其自由扩展下去, 将会产生不可估量的损失。回顾历史上的桥梁、轮渡、空难等事故会发现, 构件发生破坏时的工作应力均远低于材料屈服极限, 其原因就是构件内部存在不同程度的缺陷或初始裂纹, 从而降低了构件的实际断裂强度 [2]。因此, 研究碳纤维复合材料层合结构界面裂纹扩展机理, 进而寻求有效的缓裂止裂措施是十分重要的。

本文通过对碳纤维层合板的单向拉伸试验来获得层合板的相关力学性质, 了解其裂纹扩展与损伤行为, 为后续进一步研究其损伤破坏机理提供研究基础。

1 试验模型

试验采用碳纤维 / 树脂基复合材料层合板为基本材料, 试验所使用的碳纤维丝束数是 3k。试验所使用的试件尺寸分别为 248mm×25mm×3mm 和 248mm×25mm×4mm。每种厚度的层合板试件均制备两件, 编号分别为 T3-1 和 T3-2, T4-1 和 T4-2。为了避免在试验过程中试件被夹具夹坏,

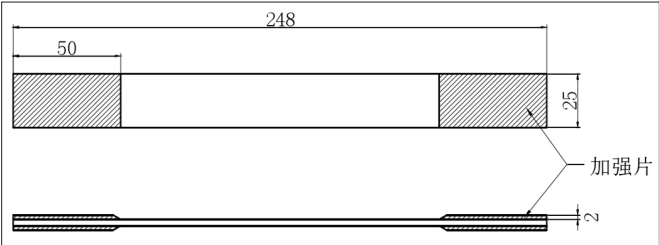


图 1 试件尺寸

所以在试件两端夹持如图 1 所示的铝制加强片。

2 拉伸过程

该试验所使用的实验仪器为 CSS-88100 万能试验机, 该设备能够施加的最大载荷为 100kN。试验参考《ASTM D3039/D3039M 高分子基复合材料的拉伸性能测试方法标准》[5] 标准进行设计。通过位移控制来完成载荷的施加, 加载速度为 0.2mm/min, 试验过程中根据材料变形、开裂速度等情况适当减缓加载速度。

3 试验结果与讨论

3.1 试件损伤分析

下表列出了碳纤维增强树脂基复合材料层合板的破坏荷载以及破坏强度。

表 破坏荷载与应力

试件编号	破坏荷载 (kN)	极限应力 (MPa)	平均应力 (MPa)
T3-1	43.71	583.6	603.02
T3-2	46.01	613.5	
T4-1	61.7	617.1	
T4-2	59.8	597.9	

试件 T3-1 断裂破坏时的最大载荷为 43.71kN, 试件断裂为两部分, 断裂后的长度分别为 209mm 和 41mm, 断口处可以观察到明显的纤维断裂后的纤维丝, 该试件的主要失效原因是由于基体和纤维的拉伸断裂。

试件 T3-2 断裂破坏时的最大载荷为 46.01kN, 试件断裂为两部分, 断裂后的长度分别为 204 mm 和 46 mm, 断口处除了能观察到纤维断裂后的纤维丝, 还能观察到层合板间的开裂。该试件的主要失效原因是由于基体和纤维的拉伸断裂以及层间开裂。

试件 T4-1 发生断裂破坏时的最大载荷为 61.7 kN, 试件断裂为两部分, 断裂后的长度分别为 205mm 和 45mm , 最外侧的碳纤维板沿着层间剥落, 剥落长度为 81mm。断口处可以观察到纤维断裂后的纤维丝, 以及外侧碳纤维板间的层间开裂。基体和纤维的拉伸断裂以及层间开裂是该试件的主要失效形式。

试件 T4-2 产生断裂破坏时的最大载荷为 59.8 kN, 试件断裂为两部分, 断裂后的长度分别为 205mm 和 44mm, 断口处可以观察到纤维断裂后的纤维丝。基体和纤维的拉伸断裂是该试件的主要失效形式。

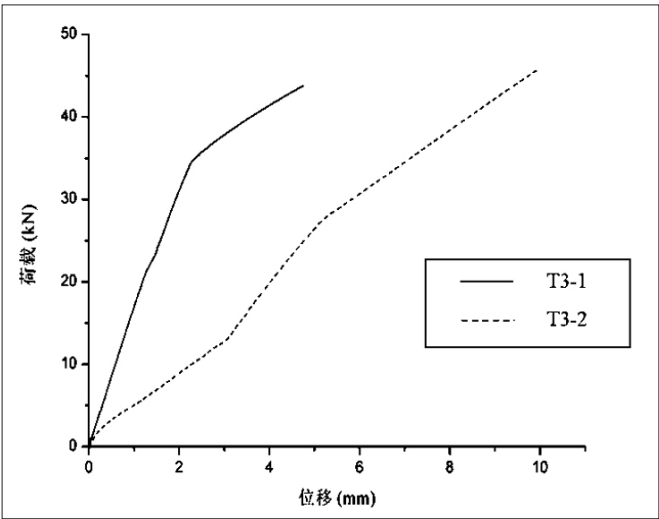


图 2 T3-1 和 T3-2 试件的载荷位移曲线

3.2 载荷位移曲线

图 2 和图 3 是两种厚度的层合板在单向拉伸试验时的载荷位移曲线。

观察图 2 和图 3 可以发现，载荷—位移曲线按其特点大致分为两个阶段，第一阶段是近似的直线段，在该阶段材料是线弹性的，根据胡克定律载荷 - 位移曲线满足直线特点。第二阶段是出现损伤后的近似的直线段，此时材料已经出现不同程度的损伤，有效的承载面积会有所降低，经过材料内部进行载荷重新分配后，依旧能够承担外载荷的增加，但是材料的等效弹性模量有明显的降低，随着外载荷的不断增加最终达到了材料的破坏极限，试件完全断裂。

4 结语

- (1) 通过对不同厚度的碳纤维复合材料层合板进行单向拉伸试验，得到了层合板的破坏载荷，同时得到了其破坏应力，以此为基础可以展开后续材料力学性质的讨论。
- (2) 通过观察试件的断口形态，得到了层合板的不同破坏形式，为后续研究复合材料层合板的破坏机理提供试验

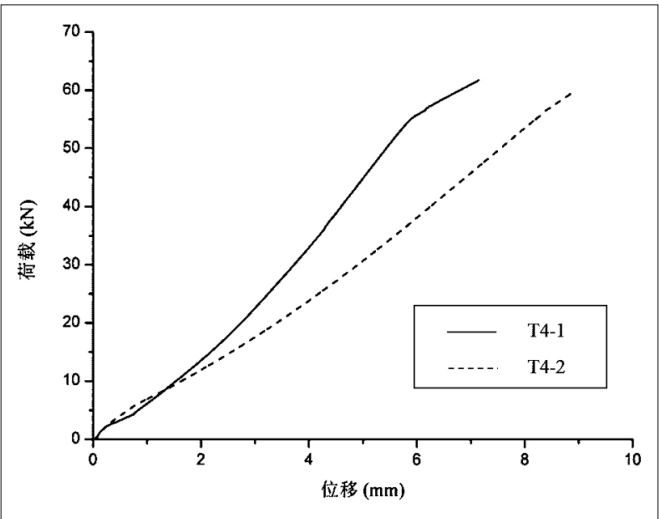


图 3 T4-1 和 T4-2 试件的载荷位移曲线

依据。

课题项目：本文为西安交通大学城市学院校级科研青年专项课题“复合材料裂纹产生与扩展研究”（项目编号：2019Q9）研究成果。

参考文献：

[1] 赵丽滨, 龚愉, 张建宇. 纤维增强复合材料层合板分层扩展行为研究进展 [J]. 航空学报, 2019, 40(01): 171-199.

[2] 孙奇. 预置裂纹复合材料层合板拉伸性能及裂纹扩展分析 [D]. 大连理工大学, 2020.

[3] 王景春, 王庭慰, 肖峰等. 基于 ANSYS 的复合材料层合板的拉伸失效模拟 [J]. 塑料, 2012, 41(4): 94-97.

[4] 郑锡涛, 李泽江, 杨帆. Z-pin 增强复合材料层合板断裂韧性试验研究 [J]. 复合材料学报, 2010, 27(4): 180-188.

[5] ASTM INTERNATIONAL. D3039: Standard test method for tensile properties of polymer matrix composite materials[J]. ASTM International, West Conshohocken (PA), 2000.

