

定向纤维增强聚合物基复合材料拉伸试验能力验证结果 离群原因探析

李 萍 丁 辰 张 亮 白思源

北京中实国金国际实验室能力验证研究有限公司 北京 100081

摘 要: 本文在历年来实验室参加定向纤维增强聚合物基复合材料拉伸性能的测定能力验证结果离群原因分析的基础上, 从试验设备、数据处理、标准理解以及人员操作等方面总结了实验室常出现的问题以及影响试验结果准确性的因素, 以期提高实验室的检测水平。

关键词: 碳纤维; 复合材料; 拉伸试验; 能力验证

Analysis on the reasons for the deviation of tensile test results of oriented fiber reinforced polymer matrix composites

Ping Li, Chen Ding, Liang Zhang, Siyuan Bai

China NIL Research Center for Proficiency Testing, Beijing 100081, China

Abstract: In this paper, based on the experimental results of tensile properties of oriented fiber reinforced polymer matrix composites, the causes of outliers were analyzed, this paper summarizes the common problems in the laboratory and the factors affecting the accuracy of test results from the aspects of test equipment, data processing, standard understanding, and personnel operation, etc.

Keywords: carbon fiber, composite, tensile test, capability verification

1. 概述

碳纤维增强聚合物基复合材料是军民两用新材料, 具有高强、轻质、结构设计一体化等优点, 现已广泛应用于航空航天、武器装备、体育休闲、轨道交通和风电叶片等领域^[1]。

碳纤维增强聚合物基复合材料的力学性能对该类材料的研究及选用至关重要, 尤其是单向拉伸试验, 是应用最为广泛, 也是研究较多的一种试验方法。随着对碳纤维增强聚合物基复合材料研究的深入, 但目前国内其性能数据库尚不完善, 需要大量检测提供相关的性能数据。同时, 为了保证检测数据的一致性和可靠性, 北京中实国金国际实验室能力验证研究有限公司(以下简称中实国金)从2018年开始, 在全国范围组织实施了多轮次的定向纤维增强聚合物基复合材料拉伸性能的测定能力验证活动, 在一定程度上了解了国内各相关实验室在该领域的检测现状。本文在总结历年来实验室参加该项能力验证结果离群原因的基础上, 分别从对试验方法的

理解、试验技术的掌握以及试验数据的分析等角度探讨了影响定向纤维增强聚合物基复合材料拉伸试验结果的因素, 以期提高国内各相关实验室的检测水平。

2. 问题分析

定向纤维增强聚合物基复合材料的拉伸试验, 是在对试样匀速施加静态拉伸载荷直到断裂的过程中, 观察材料的变形行为, 从而测定其应力应变关系, 可以得到拉伸强度、拉伸弹性模量、拉伸破坏应变和泊松比等数据^[2]。笔者通过对大量能力验证结果分析, 从中发现并总结出一些影响拉伸性能测试结果准确性的因素。

2.1 影响力值准确性的因素

2.1.1 试验机量程的选择及校准

实验室在选择试验机量程时应根据被测样品力值的大小来选择。在GB/T 1446-2005^[3]中对试验机量程选择的规定为: “机械式和油压式试验机使用吨位的选择应使试样施加载荷落在满载的10%~90%范围内(尽量落在满载的一边)”。中实国金提供的多批次能力验证样品

最大拉伸力约为35kN,有实验室选用最大力值为300kN的试验机进行试验,这虽然符合标准的要求,但能力验证样品的最大拉伸力却落在了靠近低载的一边。此外,该试验机电力的校准未覆盖能力验证样品的力值范围,详见表1。上述因素都有可能造成该实验室拉伸强度结果的离群。

表1 实验室300kN试验机的校准记录

试验力检定			
最大试验力kN	试验力kN	示值相对误差%	重复性%
300	50	0.2	0.4
	100	0.2	0.4
	150	0.3	0.5
	200	0.2	0.2
	250	0.2	0.3
	300	0.2	0.4

2.1.2 对中性的影响

在定向纤维增强聚合物基复合材料拉伸试验过程中,设备的同轴度和夹持的对中性尤为重要。拉伸试验中理想的对中是试样的中心线与力值的加载线完全重合。如果对中性不好,会使试样产生弯曲、扭转变形,从而导致很大的局部应力,容易造成能力验证样品(0°碳纤维增强聚合物基复合材料)的劈裂或分层,从而导致拉伸强度结果的离群。

2.1.3 夹持方式的影响

试验机夹具的选用、夹持力的施加和夹持量的选择,对拉伸力值的影响不容忽视。较为理想的夹持方式应该是夹头夹面为细纹且分布均匀,夹持试样时夹满加强片。

有的实验室采用的夹头花纹较粗,且分布不均匀(可能是由于夹头磨损导致的),如图1所示。这样的夹头会对试样造成损伤,引起纤维提前破坏,从而使拉伸强度结果离群。

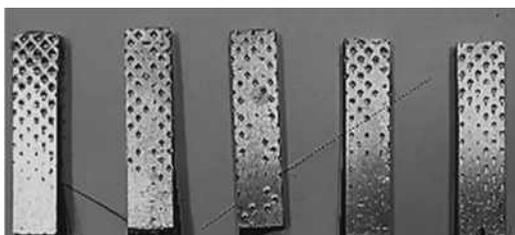


图1 实验室夹头花纹粗且分布不均匀

还有实验室夹持试样时夹持力过大,在加强片上留下较深的夹面花纹压痕,甚至使加强片扭曲变形,如图2所示。这种过大的加持力,会造成纤维的损伤,从而导致拉伸强度结果离群。



图2 过大的夹持力造成加强片扭曲变形

此外,还有实验室在样品夹持量的选择上存在问题。图3为实验室只夹持了部分加强片。这种夹持方式会造成夹头附近的纤维损伤,从而造成拉伸强度结果离群。

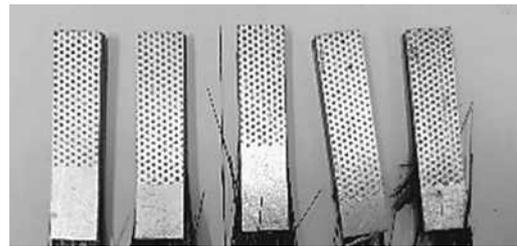


图3 实验室夹头没夹满加强片

2.2 影响应变测量的因素

2.2.1 标准概念混淆不清

试验人员混淆应变和位移的概念,导致和应变相关的测试参数,如拉伸弹性模量结果的离群。图4所示的实验室在计算拉伸弹性模量时,是在力-位移曲线上计算的,这种操作是错误的。

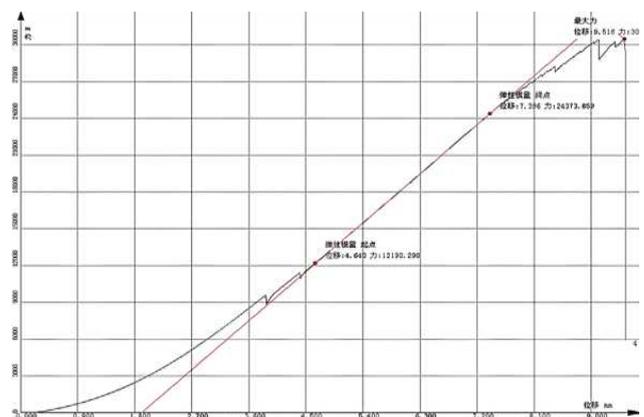


图4 实验室提交的力-位移曲线

2.2.2 应变数据采集频率的影响

在进行拉伸试验时,数据采集的速率应与载荷或应力应变的变化速率保持一致。表2所示为实验室采用应变计进行应变信息采集,数据采集频率为1Hz,采集频率过低,在数据点的间隔内会丢失一些信息,造成与应变相关的测试参数结果离群。

表2 实验室部分应变采集频率数据

时间/s	应变1	应变2	应变3	应变4
1	0	0	0	0
2	42.12395899	-19.90483849	44.52735549	-24.07434592
3	56.01157859	-11.58476025	51.87051177	-29.56796133
4	85.75410118	-35.87915991	90.81513735	-41.00474474
5	100.7685472	-26.5062687	98.38978073	-48.1297463

2.2.3 数据的处理

有的实验室采用的分析软件可能不是按照定向纤维增强聚合物基复合材料拉伸试验编写设置的,而试验人员完全依赖软件的分析结果,对标准不理解,未经人工核验,造成结果的错误。在GB/T 3354-2014^[4]中要求“非90°试样拉伸弹性模量在0.001~0.003纵向应变范围内计算”,有的实验室在计算拉伸弹性模量时,由设备软件自动分析选取直线段进行计算得出,详见图4,这显然与标准要求是不符的。

还有实验室计算拉伸弹性模量时,应变取值点选取为0.14473和0.32623,详见图5,比标准规定的高100倍,从而造成拉伸弹性模量结果偏低100倍。

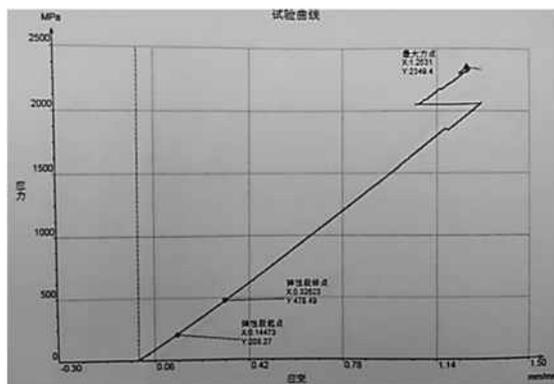


图5 实验室提交的应力-应变曲线

3. 小结

碳纤维增强聚合物基复合材料拉伸性能测试结果的准确性,主要受试验设备、数据处理以及人员技能等因素的影响。本文中提及的因素并不是全部因素,只是分析总结了历年能力验证中出现的一些问题,目前有些影响因素还无法进行量化。

建议实验室不仅要重视测力系统的检定/校准,尤其是设备的同轴度,也要重视应变测定系统的检定/校准,以保证与应变有关量测定的准确性,还要重视试样夹持的方法与技巧。此外,还需要加强对试验人员的技术培训、加强内部审核和质量监督等,以确保实验室测试结果的准确性。

参考文献:

- [1]唐见茂.碳纤维树脂基复合材料发展现状及前景展望[J].航天器环境工程, 2013(3): 269-280.
- [2]李建国.树脂基纤维增强复合材料拉伸试验的影响因素[J].理化检验-物理分册, 2013第49卷第7期: 444-488.
- [3]GB/T 1446-2005纤维增强塑料性能试验方法总则[S].
- [4]GB/T 3354-2014定向纤维增强聚合物基复合材料拉伸性能试验方法[S].