

Application News

No. i251A

材料试验 AG-X plus

复合材料剪切试验

摘要：本文使用岛津公司 AG-X plus 电子万能试验机，复合材料剪切夹具，根据 ASTM D5379 ISO14129 和 ASTM D7078 三种测试标准要求，采用位移速度对复合材料进行剪切试验。试验证明，岛津公司 AG-X plus 可满足试验标准的各项指标要求。

关键词：AG-X plus 复合材料 剪切试验

因为碳纤维强化塑料（CFRP）与以往的材料相比，具有高强度高刚性，且不会氧化生锈等特点，特别适用于强度和耐久性要求较高的工业产品。CFRP 复合材料不同于以往的均质材料，具有各向异性，在承受载荷的应力主轴方向呈现出拉伸、压缩、弯曲、面内剪切、面外剪切或兼有上述动向的复杂断裂现象。近年来，为了减少试制次数，降低新产品开发的成本，CAE 分析被广泛应用。为了提高对所设计产品的性能预测精度，需要采集各种数据，因此，在进行 CFRP 试验时，对于分别测量各断裂现象的试验方

法的要求越来越高。评价复合材料的试验方法有多种。其中，作为面内剪切试验方法，以纤维强化复合材料的纤维方向或织物层压材料为目标，在设有缺口的样片上取非对称的 4 个点加载弯曲负荷的 Iosipescu 法（ASTM D5379），以及在 $\pm 45^\circ$ 的层压材料上加载拉伸负荷的方法（ISO 14129）最为普及。本次试验使用 V-Notched Rail Shear 法（ASTM D7078），能够稳定进行面内剪切试验。另外，因样片的测量部位较大，可同时适用于无孔样片及短纤维系列 CFRP 层压材料的测量。

实验部分

1.1 仪器

AG-X plus 电子万能试验机 复合材料剪切夹具

1.2 分析条件

速度控制方式：位移速度控制

试验温度：室温

加载试验速率：2mm/min

传感器容量：50KN

软件：TRAPEZIUM X(单一试验)

试验夹具：复合材料剪切夹具

试验介绍

2.1 测量系统

图 1 为 ASTM D7078 中规定的样片信息。样片为 [0/90] 10 s 的交差层压材料，将东丽公司生产的 T800S 预浸料通过热压罐成型。样片上 31 mm 为测量部分（参照图 1），为了测量 -45° 以及 45° 方向的变形，将 2 轴式应变仪粘贴于加工有上下 V 型缺口的中央部位（标定部位中央）。将上述两个应变仪测得的应变数值代入公式，可求出剪切应变值，这是评价剪切弹性模量所不可或缺的特性数据。本次试验中在样片正面与背面分别设置了应

变仪。通过读取应变仪的输出数值并计算平均值，可准确得到样片上出现的剪切应变信息，由此确认样片正面与背面对称加载时的剪切应变负荷。图 2 和图 3 为试验的状况。通过 TRViewX（非接触式引伸计）得到的观察图像与从试验机得到的样片应力及应变仪的输出值相同，因此与各种数据进行比较的同时，可相对简单地对以往试验计量系统难以掌握的 CFRP 断裂过程进行评价。此外，根据 TRViewX 观察图像，可以通过 DIC（Digital Image Correlation）分析评价变形分布。为了进行 DIC 分析，需要使用喷涂式涂料。试验前在样片表面上喷出不规则图案。

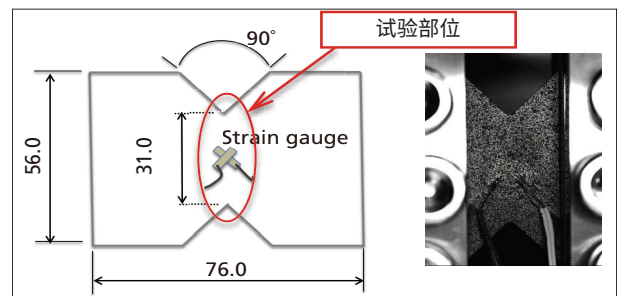


图 1 样片形状

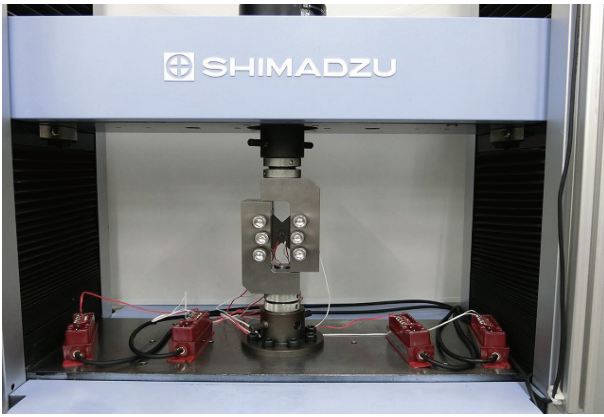


图 2 正在试验



图 3 正在拍摄

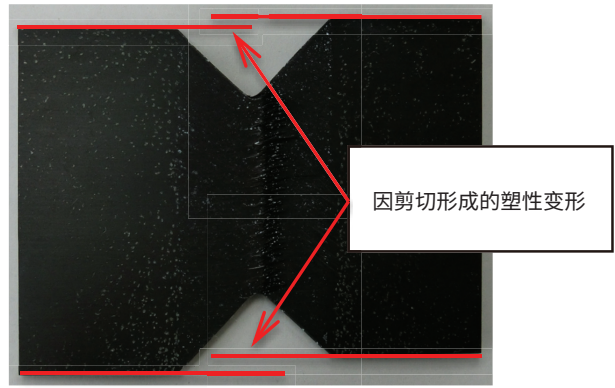


图 4 试验后样品

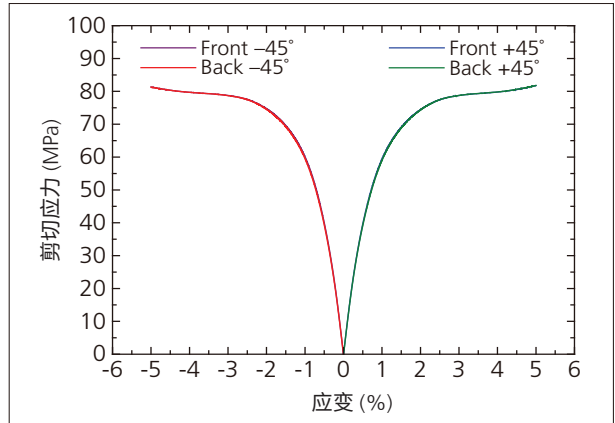


图 5 剪切应力 - 剪切应变曲线

结果与讨论

3.1 试验结果

表 1 为本次试验中采集的各种数据；图 4 为试验后的样片照片；图 5 为剪切应力 - 应变线（应变值为从应变仪读取的数值）；图 6 为剪切应力 - 剪切应变线图（剪切应变值为根据公式（1）算出的数值）；图 7 为剪切应力 - 位移线图。通过表 1 可知，各种剪切数据说明重复性良好。由图 5 和图 6 可知，由于样片表面与背面的应变仪显示出相同的输出值，可以推测样片上加载有对称且剪切应变良好的载荷。图 8 为样片的断裂状况。由图可知，在上部缺口附近出现的龟裂随着试验受力的急剧降低而向下部缺口方向延伸。图 9 为通过 DIC 分析得到的剪切应变分布图像。样片上出现的应变量以相应的颜色表示。应变量较小的部位以冷色（黑色、蓝色）表示，应变量较大的部位以暖色（橘色、红色）表示。随着试验的进展，发现 V 型缺口间的局部出现应变集中现象。

表 1 试验结果

试样	剪切弹性模量 (GPa)	剪切强度 (MPa)
1	4.63	121.72
2	4.55	120.00
3	4.58	120.05
平均值	4.59	120.60

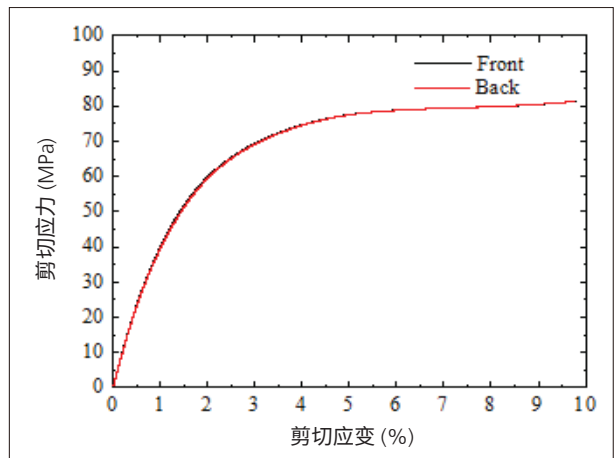


图 6 剪切应力 - 剪切应变曲线

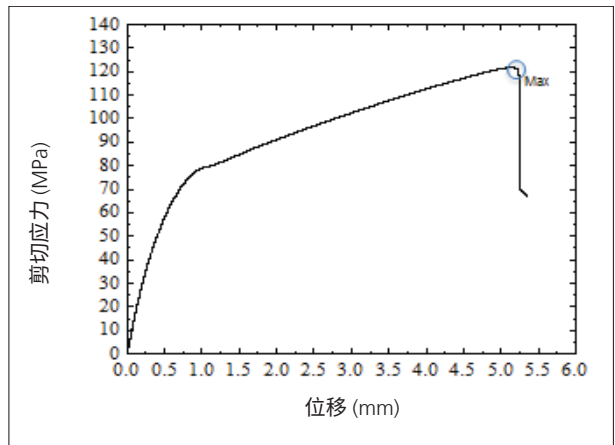


图 7 剪切应力 - 位移曲线

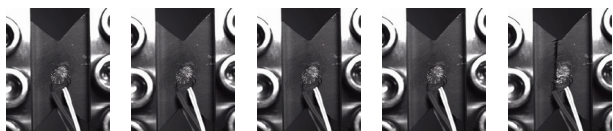


图 8 样品的断裂情况 (样品上断裂部位附近图像)

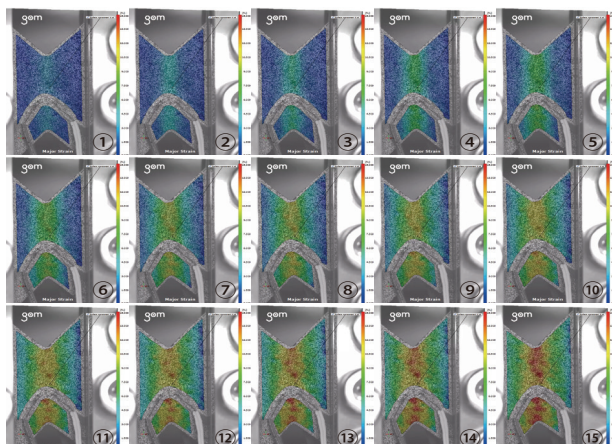


图 9 剪切应变分布 (DIC 分析图像)

■ 结论

综上所述, 使用本次试验系统可顺利进行 V-Notched RailShear (ASTM D7078) 的剪切试验。在系统中安装非接触式引伸计后, 不仅能够评价剪切弹性模量和剪切强度等基本数据, 还可做为分析 CFRP 破坏原理的参考数据, 实时跟踪样片的破坏状况, 以及通过 DIC 技术进行应变分析。