

Application News

No.51

材料试验 HITS-T

碳纤维复合材料内部损伤过程可视化 及冲击强度机理

摘要：本文使用岛津公司高速冲击试验机 HITS-T，三点弯曲夹具，恒温箱，高速摄像机，X-Ray CT，根据 JIS K 7074 标准进行碳纤维复合材料弯曲试验。试验证明，岛津公司 HITS-T 可满足试验标准的各项指标要求，并通过恒温箱、高速摄像机，X-Ray CT 满足对碳纤维复合材料内部损伤过程和冲击强度机理的观察。

关键词：碳纤维复合材料 高速冲击

纤维增强塑料 (FRP) 比钢和铝等金属材料具有更高的单位重量力学性能，因此现在被用作各种工业产品中金属的替代材料。特别是近年来，高质量的碳纤维、含碳纤维的树脂浸渍、预浸料和先进的成型技术得到了发展。因此，FRP 目前已得到广泛的认可，并有着广泛的实际使用记录，而且也开始用于飞机和汽车的主要结构部件，其中高可靠性是必不可少的。然而，在碳纤维增强塑料 (CFRP) 的情况下，它由碳纤维和树脂组成，结合粘结剂界面的存在，破坏过程也具有极其复杂的机制。此外，在实际应用中，使用不连续的 CFRP 纤维板来提高成形性，尽管这极大地改善了形状设计的自由度，但动力学原理也更加复杂。由于近年来碳纤维复合材料具有更高的成形性等性能，因此有望在工业产品中得到更广泛的应用。

人们对这种材料的高度兴趣，也正在进行积极的研究，但是

目前，仍从理论上 / 定量上阐明动力学原理，以解释可靠性尚不足以解决这一问题。其中的关键是精确观测现象的可视化技术，和在模拟真实环境下同时测量动态特性的技术。如果能够积极利用这些分析 / 测量技术，阐明具有未来潜力的高性能材料的动力学机理，就可以对产品设计进行反馈，实现满足规范要求的可靠性设计，而这反过来又将有助于新材料的更广泛使用 / 扩展。弯曲试验是测量机械特性的一种简单方法，并已在标准中得到标准化。因为测试操作很简单，可以使用相对小型的紧凑型试验机，这种方法在复合材料领域应用较多。

因此，我们采用岛津高速冲击试验机 HITS-T 并通过恒温箱、高速摄像机，X-Ray CT 对碳纤维复合材料内部损伤过程和冲击强度机理的观察。

■ 实验部分

1.1 仪器

HITS-T 高速冲击试验机 三点弯曲夹具 恒温箱 X-ray CT

1.2 分析条件

弯曲应变率 [s]: 0.01, 0.1, 1.0, 10

试验温度 [°C]: -30, 0, 25, 50, 75, 100

传感器容量: 10KN

最大试验速度: 20m/s

视野: 17.5mm

像素大小: 512X512 像素

体素等效长度: 0.034 毫米 / 体素

CT 成像时间: 10min

■ 试验介绍

2.1 试验条件介绍

图 1 显示了 3 点弯曲试验系统，该系统的开发是为了能够记录弯曲变形条件下试件的内部。该测试系统可安装在岛津 SMX-100CT 内。图 1 (a) 示出了 CT 系统中的弯曲试验系统，并且 (b) 示出了弯曲试验系统的示意图。试件记录部分叠加在压痕附近的 X 射线光轴上，其中最高应力发生在三点弯曲过程中。弯曲变形的载荷是通过支点侧的移动来施加的，而三点弯曲压头是固定的。压头由树脂制成，不妨碍 X 射线的传播，弯曲试验力由图中所示的两个测力传感器测量。在实际记录中，可以观察行程和试验力以及内部损伤的关连情况，其随弯曲变形而变化，例如，通过将支点和压头仅接触试样时的状态设置为零，从该状态开始，支点侧每压入压头侧大约每 0.7 毫米的步长，并记录每一步 CT 图像。

其次，利用液压高速冲击试验机、恒温箱，对同一材料弯曲强度的温度依赖性和应变速率依赖性进行了评价，并研究了树脂基体的粘弹性数据与理论关系。在 HITS-P10 岛津液压高速冲击试验机上新开发了弯曲夹具用于此次试验，恒温箱如图 2 所示。为了观察弯曲压头高速撞击、损坏试件时的状况，将高速摄像机放置在试件的前部，对准样品。

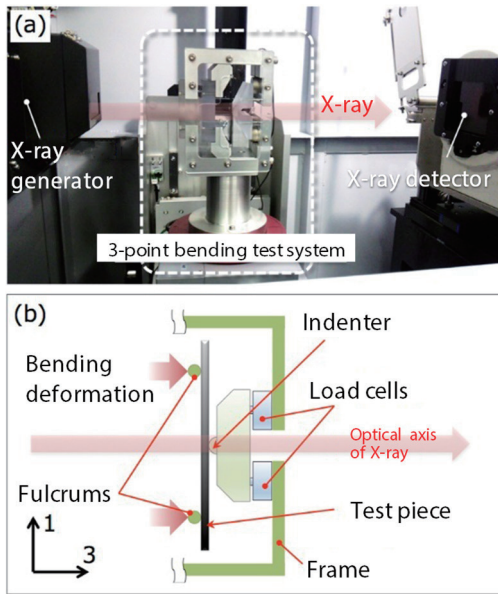


图 1. 三点弯曲系统

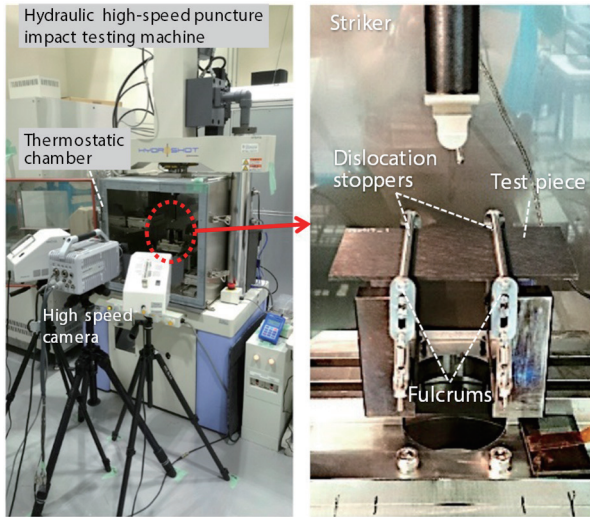


图 2. 恒温箱及三点弯曲夹具

2.2 试验结果

图 3 示出样品不同截面不同角度下的 CT 图像。图 4 示出了每个指定弯曲行程处的损伤情况图像分析与结果。从图中可以清楚地看到，随着弯曲变形的增加，宽度方向上的损伤扩展，压头正下方的压缩侧的损伤也逐渐加深。同时，图 5 所示的关系可以通过测量出图像上压头下的损伤深度，并可根据试验力计算并绘制弯曲应力曲线。根据数据与图象，可以确定损伤发生在非线性开始的位置，并且应力增量随着损伤深度的加深而减小。换言之，从这一关系可以得出，试验力 - 位移曲线中弯曲刚度的降低是由于内部损伤引起的。这对于材料和结构设计是非常有价值的信息，并且与系数一起，也有助于建立用于数值模拟的损伤过程模型。

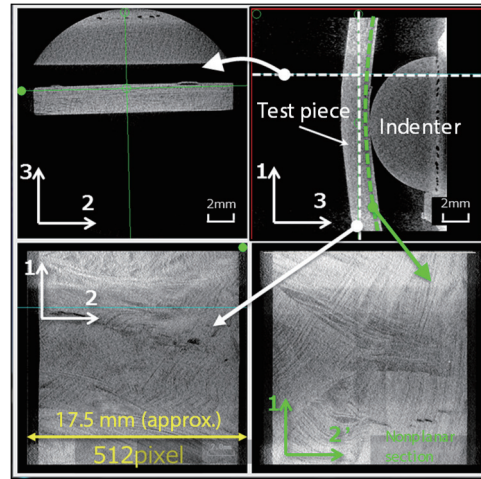


图 3. 弯曲加载过程中的 X 射线 CT 图像

Bending stroke	0.0mm	5.2mm	6.6mm	7.2mm	8.5mm
1-2' nonplanar section images					
1-3 section					
Enlarged view of 1-3 section					
Damage depth	0.0mm	0.1mm	0.41mm	0.41mm	0.48mm

图 4. 弯曲变形引起的内部损伤条件转变

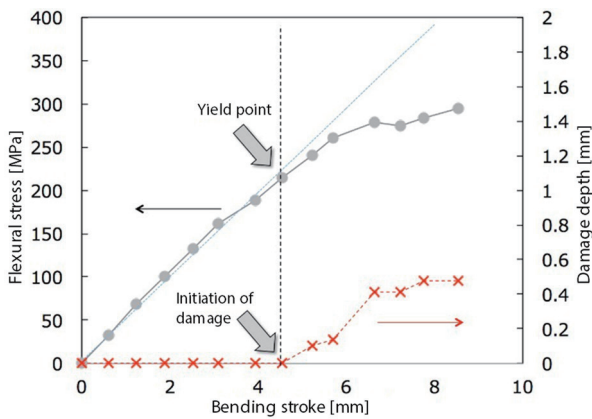


图 5. 弯曲变形非线性行为与损伤深度的关系

图 6 展示了样品受高速弯曲的过程与结果，位移和试验力转换成弯曲应力 - 应变曲线的示例，高速照相机面向测试件的正面放置，以观察、拍摄被撞针高速撞击而损坏测试件的情况，并与载荷、位移曲线上多个点一一对应的图像。在图 6 中的图表中，在达到最大应力之后，当撞击点 (3) 正下方压缩侧的表层发生损伤时，试验力减小，随后，由于拉伸侧也发生损伤，试验力在点 (4) 之后逐步减小。基于这些结果，现在可以详细解释弯曲变形过程中如何发生损伤。图 7 示出了弯曲强度与应变率和温度的关系图。可以理解，弯曲强度随着温度的降低而增加，也随着应变率的增加而增加。

同时，通过用高速摄像机拍摄、记录从强度增加到失效的整个过程，还可以捕获各分层间失效位置实际图象。

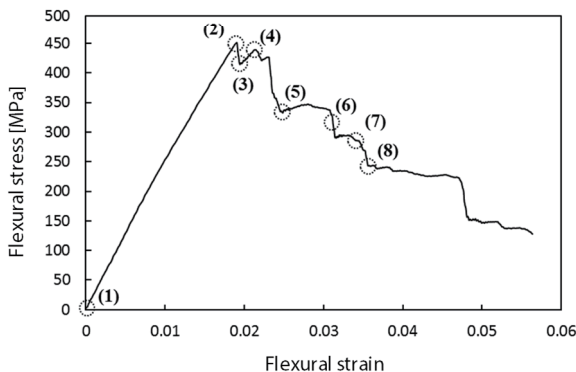
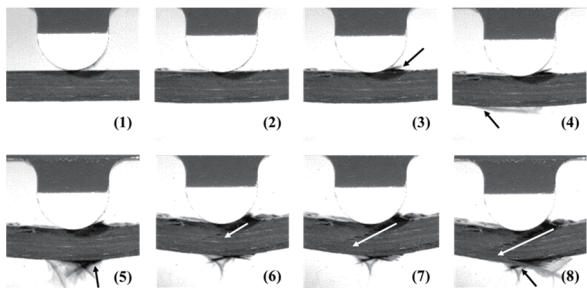


图 6. 弯曲变形时应力应变曲线及高速图像记录

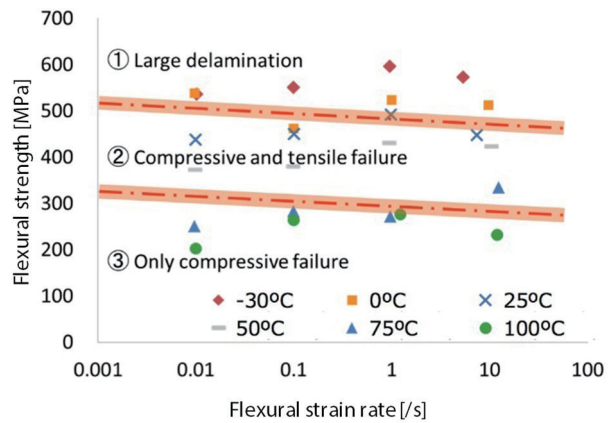


图 7. 弯曲强度与温度应变率的关系

■ 结论

在本试验中，一方面应用特制三点弯曲试验装置和 X-Ray、CT (SMX-100CT)，组成综合三点弯曲试验系统，使用 CT 实时观察样品弯曲过程中内部的状态，与力、变形进行综合分析；另一方面应用岛津高速冲击试验机 HITS-T 和高速摄像机做三点弯曲试验，能够高精度再现高速撞击、变形实况。各种高、精确测量仪器与传统力学分析设备配合使用，可扩展研究领域与改变研究方向，促进技术快速发展。

岛津应用云



岛津企业管理（中国）有限公司
岛津（香港）有限公司

<http://www.shimadzu.com.cn>

用户服务热线电话： 800-810-0439
400-650-0439

免责声明：

* 本资料未经许可不得擅自修改、转载、销售；
* 本资料中的所有信息仅供参考，不予任何保证。
如有变动，恕不另行通知。