

# Application News

## No. i257

材料试验 AG-X Plus

## 复合材料 CFRP 的 MMB 试验

摘要：本文使用岛津公司 AG-X Plus 电子万能试验机，非接触式引伸计，MMB 夹具，根据 ASTM D6671/ D6671M-19 测试标准要求，采用速度控制方法试验。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，非接触式引伸计具有操作方便，精度高。

关键词：AG-X Plus MMB 视频引伸计

碳纤维增强塑料（CFRP）不氧化或生锈，并具有比传统材料更高的比强度和刚度。CFRP 的应用正在进行研究，重点是作为飞机材料的应用，需要强度和耐久性。然而，CFRP 层合板的优异力学性能仅限于强化方向（与纤维平行），未强化方向的 CFRP 层合板强度显著降低（例如，层间方向。）CFRP 层压板也容易受到冲击，冲击会对 CFRP 层压板造成内部损伤，如剥离层压板。因此在设计和产品开发采用 CFRP 层压板采用了损伤容限的设计，该设计考虑了内部损伤对材料强度的影响。损伤容限设计必须确

定材料对层间裂纹扩展的抵抗力，这是通过断裂韧性测试来完成的。由树脂基体和纤维组成的复合材料是各向异性的，评估这些材料不仅对断裂模式 I，而且对断裂模式 II（裂纹滑动模式）、断裂模式 III（裂纹撕裂模式）的研究，混合模式断裂也非常重要（见图 1）。混合模式弯曲（MMB）试验用于评估混合模式下的断裂韧性，该模式结合了模式 I 和模式 II。MMB 测试的特点是混合模比（以下简称模比）可以在随后的测试中改变。

### 实验部分

#### 1.1 仪器

AG-X Plus 电子万能试验机 视频引伸计 MMB 夹具

#### 1.2 分析条件

速度控制方式：位移速度控制

加载试验速率：0.5mm/min

传感器容量：5KN

引伸计型号：TRViewX 55S

试验夹具：MMB 夹具

试样规格：137X25.2X5.5mm（长 X 宽 X 厚）

### 试验介绍

#### 2.1 试验条件、步骤介绍

图 2 示出了用于 MMB 测试的夹具的示意图。利用 MMB 试验夹具，可以同时进行 I 型双悬臂梁（DCB）试验（ASTM D5528）和 II 型端部缺口弯曲（ENF）试验（JIS K 7086）。

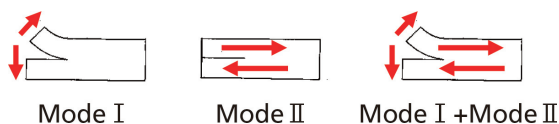


图 1. 模型示意图

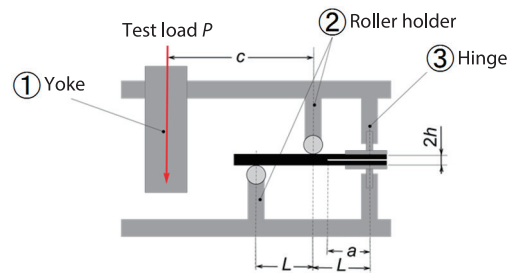


图 2. MMB 测试夹具模型示意图

图 3 为所用试样，图 4 为试验的设置。在试样侧面画上刻度标记，以确认裂纹扩展长度，并在试样上固定一个 I 型试验装置。在试样制备过程中，在两层之间插入 13μm 薄膜，将初始裂纹引入试样。在测试中，裂纹扩展长度需达到 10 mm（分层长度 a 为 35 mm）。在 TRViewX 非接触式数字视频引伸计上安装了一个特别镜头，以高分辨率捕捉刻度线的视频并确认视频上的裂纹扩展进度。

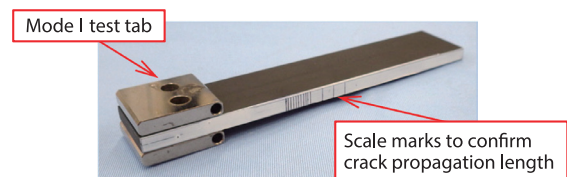


图 3. 试样

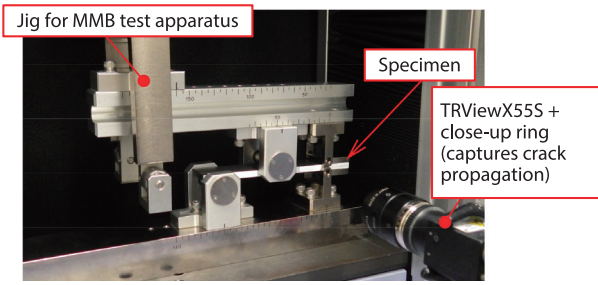


图 4. 试验装置

## 2.2 试验结果

TRView X 用于录制视频，因此在数据计算处理中，可以将录制的视频与测试结果同步起来。图 5 (b) 中的图像 (1) 到 (5) 对应于图 5 (a) 中所示的点 (1) 到 (5)。试验结果如表 1 所示。

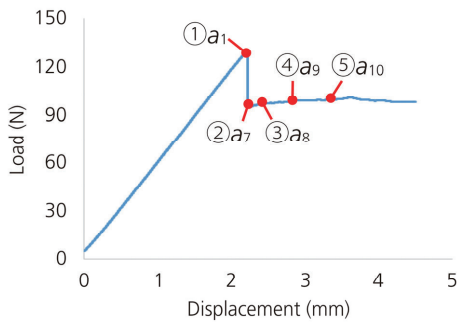


图 5 (a) . 力 - 位移曲线图

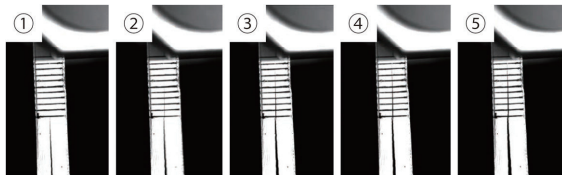


图 5 (b) 裂纹扩展图像

表 1 显示了在模数比 0.16 ( $c = 110, L = 50$ ) 下的测试结果，模数比是恒定的。没有显示  $a_2$  到  $a_6$  的测试结果，因为裂纹扩展在该区域非常迅速地发生，从而阻止了计算结果，因为无法在捕获的视频图像上确认分

层长度。ASTM D6671 要求根据裂纹起始点  $a_0$  的值计算总混合模式断裂韧性  $G_c$ 。确定  $a_0$  的方法有三种 (见图 6): (1) NL, (2) 5% / max 和 (3) VIS。通常,  $a_0$  的值按 (2) > (3) > (1) 的顺序增加。图 5 示出了在表 1 中所示的每个裂缝长度处捕获的视频图像。图 5 (b) 中的图像 (1) 至 (5) 对应于图 5 (a) 中的点 (1) 至 (5)。

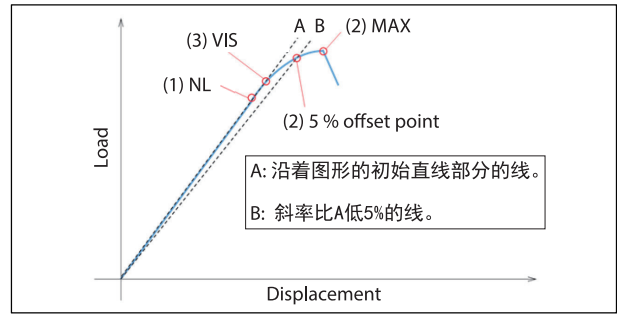


图 6 确定  $a_0$  方法曲线

表 1. 试验结果

裂纹扩展长度 $a$ (mm)	力 P (N)	G I (KJ/ m <sup>2</sup> )	G II (KJ/ m <sup>2</sup> )	G (KJ/ m <sup>2</sup> )	模比 G II / G	
$a_0$ 25	NL	113.7	0.232	0.046	0.278	0.165
	5%/max	130.4	0.303	0.060	0.363	0.165
$a_0$ 25	VIS	126.4	0.286	0.057	0.343	0.165
$a_1$ 26	1	97.3	0.664	0.045	1.333	0.157
$a_2$ 27	2	-	-	-	-	-
$a_3$ 28	3	-	-	-	-	-
$a_4$ 29	4	-	-	-	-	-
$a_5$ 30	5	-	-	-	-	-
$a_6$ 31	6	-	-	-	-	-
$a_7$ 32	7	94.6	0.323	0.062	0.385	0.162
$a_8$ 33	8	96.1	0.352	0.068	0.420	0.162
$a_9$ 34	9	97.2	0.379	0.074	0.453	0.163
$a_{10}$ 35	10	98.2	0.407	0.080	0.513	0.164

## 结论

岛津 AG-X Plus 电子万能试验机，配合 MMB 夹具，可按照 ASTM D6671 进行 MMB 试验，测定混合模式断裂韧性  $G_c$ 。此试验装置可满足 ASTM D6671 标准要求确定能量释放率  $G$  随裂纹扩展达到 25 mm (分层长度为 50 mm) 的变化的选项。

TRViewX 可用于确认裂纹扩展。使用 TRViewX 捕获与测试载荷 - 位移曲线结果同步的试样视频图像 (见图 5)，从而可以更轻松计算  $G_c$ 。使用此 MMB 测试设备几乎不会改变模式 I 和模式 II 的混合模式比率，从而可以准确、有效的进行混合模式测试。

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。