

Application News

No. i254

材料试验 AG-X plus

复合材料冲击后压缩试验

摘要：本文使用岛津公司 AG-X plus 电子万能试验机，根据 ASTM D7137 和 JIS K7089 两种测试标准要求，采用位移速度控制方法对受到冲击后的复合材料样品进行压缩试验。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：复合材料 剪切试验

碳纤维增强复合材料 (CFRP: Carbon fiber reinforced plastic) 与金属材料相比，比强度和比刚度较高，因其重量轻可节约燃料，所以被广泛应用于航空和航天领域。但是，CFRP 在纤维方向有着优势，但与纤维垂直的方向及层间的强度较低，如在 CFRP 层压板上施加压力，与纤维平行的方向可能会产生基质裂纹或发生层间剥离。并且 CFRP 的韧性较低，抗冲击能力较弱。也就是说，对 CFRP 层压板施加冲击负荷时，虽然并未发生外伤，但其内部可能已发生了基质破裂或层间剥离。现实中可能对 CFRP 造成冲

击负荷的示例有：工具掉落到 CFRP 制造的航空器机翼上，或在着陆时有碎石冲撞到机翼上等情况。因而，需要假设发生此类现象为前提进行试验。冲击后压缩试验 (CAI: Compression after impact) 即为其中之一。在冲击后压缩试验中，我们对样片施加指定的冲击载荷，通过非破坏性检查对样片的损伤程度进行检查，其后使用该样片进行压缩试验。本文向您介绍按 ASTM D7137 (JIS K 7089) 进行冲击后压缩试验的示例。

实验部分

1.1 仪器

AG-X plus 电子万能试验机 冲击后压缩试验夹具

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：1.25mm/min

传感器容量：250KN

软件：TRAPEZIUM X

试验夹具：冲击后压缩试验夹具

试验介绍

2.1 冲击试验

在冲击试验中使重量为 5kg，径距为 16mm 的半球状前端的钢球锤头，掉落至样片的中央，以对样片造成冲击。样片用 4 点铰接夹进行固定。由于标准中规定尽量避免二次冲击，因而试验中采用了防止二次冲击的结构。按照标准推荐的对每 1mm 的样片厚度施加 6.67J 的冲击能量。本次试验中为了进行比较，对每 1 mm 的样片厚度分别施加 6.7、5.0、3.3、1.7 J 共 4 个等级的冲击能量。

表 1 样品信息

尺寸 (mm)	:	100X450X4.36
层压方法	:	(45/0-45/90)
材质	:	T800, 22525-21

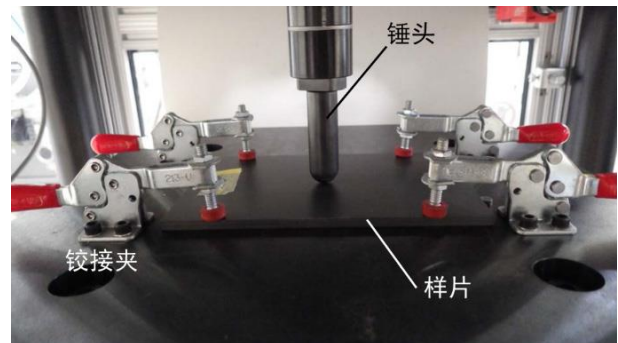


图 1 冲击试验

表 2 冲击试验条件

冲击能量 (J)	:	30.5, 22.9, 15.2, 7.6
试验次数	:	n=4

2.2 非破坏性检查

冲击试验后，使用非破坏性检查装置对层压板内发生的层间剥离面积及最大径距进行测量。在冲击后压缩试验的非破坏性检查中，通常使用超声波探伤装置。根据标准规定，在超声波探伤试验后，如果样片宽度的一半以上发生损伤，对整个截面的影响过大，需要降低冲击能量。图 2 为超声波探伤的试验状况。图 3 为采用冲击能量 30.5 J 进行冲击试验后的样片。由此可知，样片中央位置出现凹痕，但无法确认层间剥离导致的损伤区域。图 4 为各冲击能量下的超声波探伤结果。其中白色部分是发生层间剥离的区域。颜色越亮，表示剥离越严重。与图 3 比较可知，中央的凹痕以外的地方也发生了层间剥离，由此说明无法根据外部损伤确认内部损伤。还可知冲击能量越大，损伤面积就越大。根据超声波探伤试验得到的图像计算损伤面积和最大径距。以冲击能量 30.5 J 为例，计算损伤面积和最大径距后的图像如图 5 所示。图 6 和图 7 为冲击能量对应的损伤面积和最大径距。

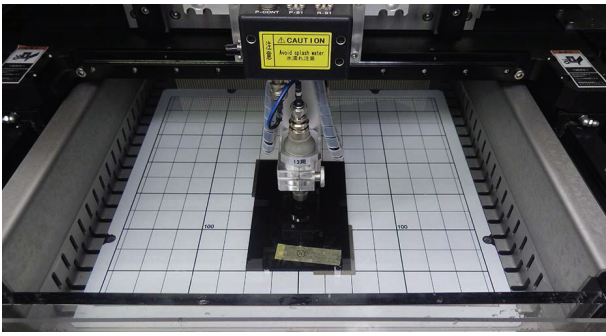


图 2 超声波探伤



图 3 冲击后的图片 (30.5J)

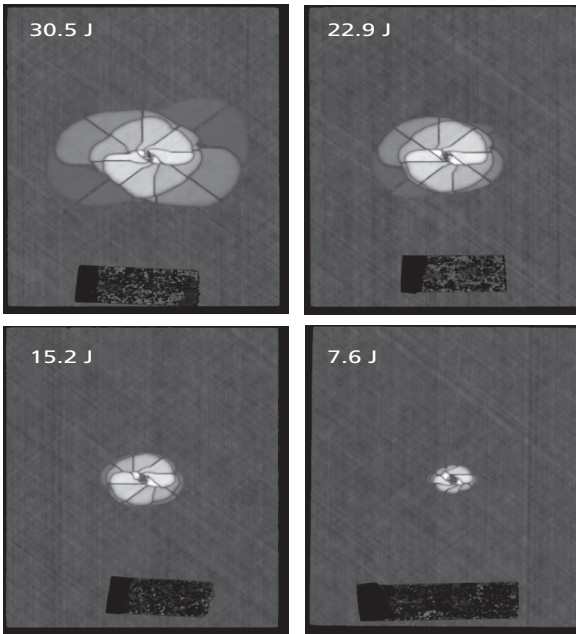
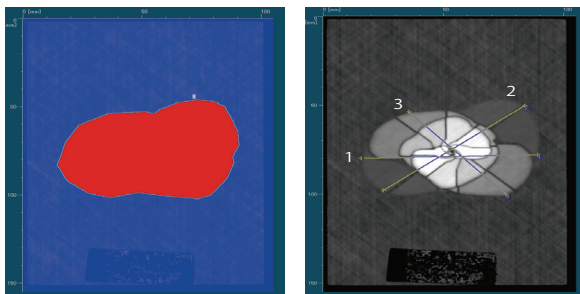


图 4 各冲击能量的探伤结果



区域 号码	面积率 (%)	绝对面积 (mm ²)
1	99.9988	3326.2400

NO.	距离 (mm)
1	73.03
2	75.50
3	61.37

图 5 探伤面积与最大径距示例

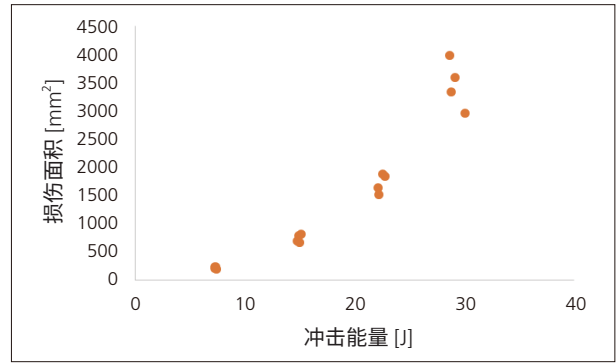


图 6 冲击能量对应损伤面积

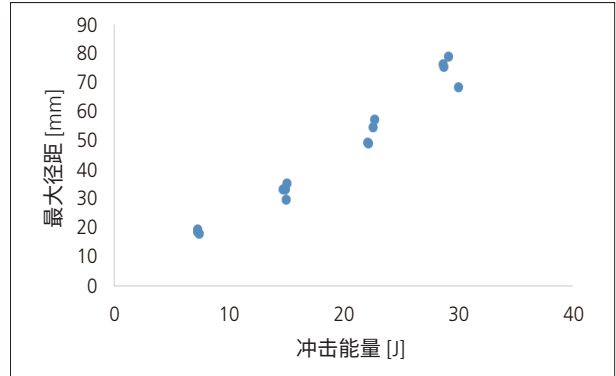


图 7 冲击能量对应最大径距

2.3 测试系统

需要在样片的正反面各选 2 处粘贴应变仪。图 8 为已粘贴应变仪的样片。在冲击后压缩试验中，图 8 中所示的试件在纵向方向先进行压缩到 10% 的预期抗压强度，在确认前和后应变仪之间的差值在 10% 以内后再进行 CAI 测试。试验速度 1.25mm/min，共测试 4 个样品。图 9 为试验状况。

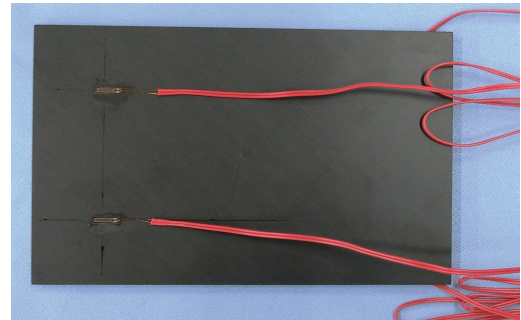


图 8 样片

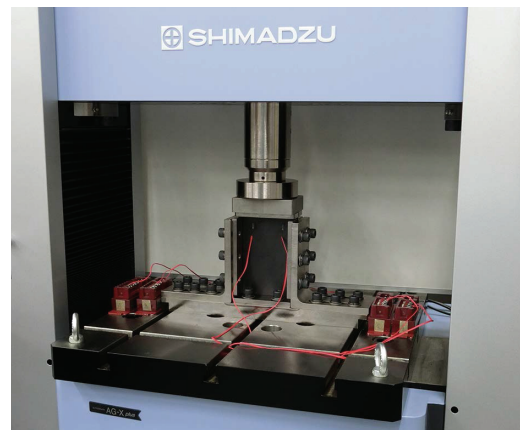


图 9 试验装置

■ 结果与讨论

3.1 试验结果

图 10 为受各冲击能量后，样品的压缩应力 - 应变曲线图；表 3 为各冲击能量对应的冲击后压缩强度和压缩弹性率的对应值。冲击后压缩弹性率按照标准中的规定，以应变 0.1 % ~ 0.3 % 的范围进行计算。但是，此次测量的冲击能量 30.5 J 的样片中存在断裂应变小于 0.3 % 的情况，针对此类样片，需要根据应力应变曲线中的线性范围计算弹性率。由图 10 和表 3 可知，冲击能量越小，冲击后压缩强度就越大。并且，冲击后压缩弹性率并不取决于冲击能量的大小，而几乎为固定值。图 11 为损伤面积与冲击后压缩强度的关系；图 12 为损伤的最大径距与冲击后压缩强度的关系。由此可知，损伤面积或最大径距越小，冲击后压缩强度就越大。另外，作为参考信息，不受冲击样品的进行试验，其压缩强度为 388MPa。

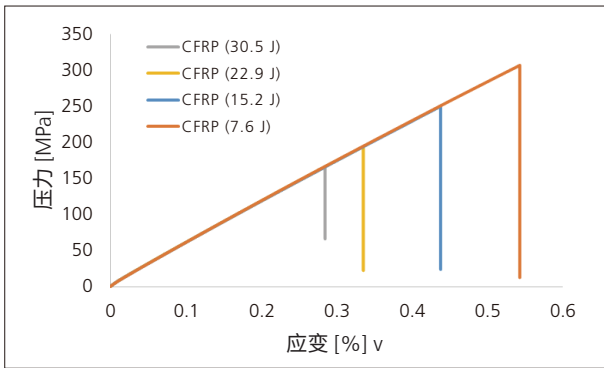


图 10 应力 - 应变曲线图

表 3 试验结果 (平均)

冲击能量 (J)	冲击后的压缩强度 (MPa)	冲击后压缩弹性率 (GPa)
30.5	162.9	57.2
22.9	203.3	56.4
15.2	246.4	56.0
7.6	308.6	56.3

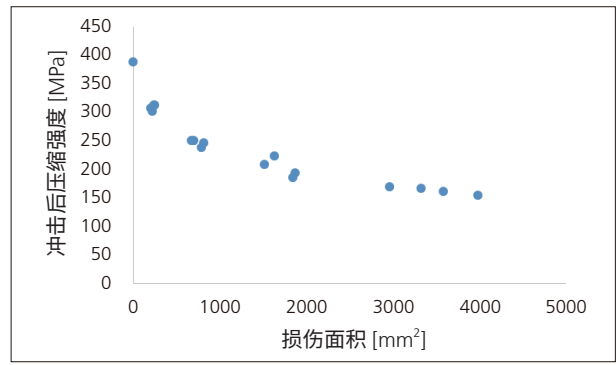


图 11 损伤面积与压缩强度的关系

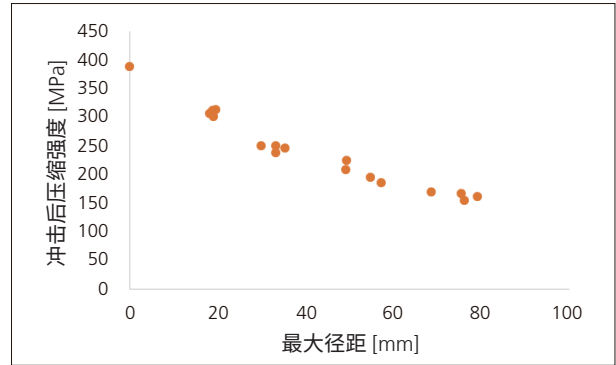


图 12 最大径距与冲击后压缩强度的关系

■ 结论

我们对样品施加了 4 种等级的冲击能量后进行了压缩试验。根据结果可知，施加的冲击能量越大，冲击后压缩强度就越小。并且，与无损伤状态比较后发现，即使是微弱的能量（此次试验中的 7.6 J 相当于 5 kg 的物品从 0.15 m 高处掉落能量）也会降低强度，因此进行冲击负荷试验尤为重要。使用本试验系统按照 ASTM D7137 (JIS K 7089) 进行冲击后压缩试验，可以有助于进行 CFRP 的评估。