

玻璃纤维/环氧树脂复合材料损伤与断裂过程的声发射特性*

The Feature of Acoustic Emission on the Damage and Fracture in Composite of Glass-fiber/epoxy

郑州大学机械学院 (450052) 刘怀喜 张恒 闫耀辰

【摘要】研究了几种不同的玻璃纤维增强的树脂基复合材料在承受拉伸载荷时的损伤与断裂行为。结果表明:损伤与断裂的不同阶段,可用声发射信号的几种关联图进行区分。

关键词 复合材料 声发射 损伤与断裂

Keywords composite, acoustic emission, damage and fracture

纤维增强复合材料比强度高、比模量高等优良性能得到许多领域的重视。对其破坏过程和损伤机理的研究是复合材料及其结构研制、设计与质量检验的重大课题^[1]。在这方面,声发射技术以实时监测破坏过程为特点,是一种有效地检查动态缺陷的无损检测方法。世界上许多国家利用声发射技术研究环氧复合材料的声发射特性,在进行了大量实验研究之后^[2],人们发现声发射计数、恒载声发射、费利西蒂比、幅度和延时等是反映复合材料损伤阶段、损伤机理的重要参量^[3]。

声发射技术是通过检测记录材料结构在受力状态下突然释放的应力波,来判断结构内部的损伤部位、损伤阶段、损伤机理和严重程度等。其基本原理是利用材料结构表面布置传感器,将应力波转换为电信号,通过放大器将电信号放大进入声发射仪,再对这些信号进行数字处理,形成声发射参数。

纤维增强复合材料的损伤类型复杂(常有基体开裂、界面脱粘、纤维断裂等),声发射信号极其丰富。如何从丰富的声发射信号中区分与各种断裂类型相对应的信号,并发现各自的特点与规律,这是声发射技术应用于复合材料损伤检测中需要解决的重要问题。在这方面,不少科技工作者已做了很多工作,有过一些报道,但数据很分散,并且往往是对某一种材料的某一种状态进行检测数据报道,缺乏系统性和全面性。基于此情况,我们对现在常用的多种纤维(玻璃纤维、C 纤维、芳纶纤维)增强的复合材料进行大量的系统的声发射实验,找出各种损伤类型

的声发射信号的规律,从而可以区分损伤类型,判别损伤严重程度。

1 试件制备与实验仪器

1.1 试验材料

所用试验材料为:1)市售的正交网纹玻璃布,A;2)含 SiO₂96%的斜纹玻璃布,B;3)市售的普通玻璃丝、196 树脂、固化剂、促凝剂,C。通过手糊成型制成一定厚度(d)的板,然后切割成如图 1 所示尺寸的拉伸试样。

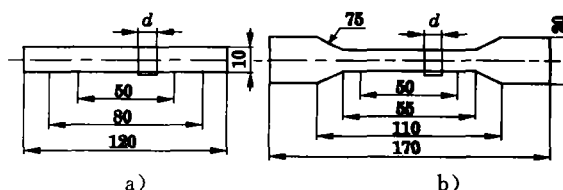


图 1 拉伸试样

将材料分为 A、B、C 3 组,其中 A、C 制成等截面试样(见图 1a);B 组有等截面和如图 1b 所示的哑铃式的试样。

取样方式:A 组为纤维方向处于平行-垂直承载方向;B 组为纤维方向与承载方向成正负 45°;C 为纤维束单向层铺,纤维方向平行于承载方向。

所用主要设备:北京科海恒生科技有限公司生产的 CSAE-2001 型声发射仪;青山试验机厂生产的 LDS-50P 型电子拉伸机。

1.2 有关参数的确定

电子拉伸机拉伸速度为 3 mm/min。

根据资料^[4]及反复实验将声发射仪的有关参数

[3] 沈金文,吕广庶,马壮等.在热震过程中热障涂层的裂纹形成和扩展.新技术新工艺,2002(4):39-41.

责任编辑 韩方丁

设为:增益 40 dB;阈值 40 dB;PDT(信号峰值定义时间)40 ms;HDT(撞击定义时间)180 ms;HLT(撞击闭锁时间)300 ms。

1.3 实验结果及其分析

每组试件的数量是 15 个,但由于仪器及人为因素的影响,做成功的有 12~15 个,从各关联图曲线的特征看:同一种材料有许多共性得到了体现,但不是完全像均质的金属那样能使有关性能的测试数据较好地重复。通过对前述众多类型的关联图的分析,我们发现可以用如下 4 种关联图来区分和评定纤维增强聚合物基复合材料的损伤类型和损伤阶段。

图 2 为 A 组试样在拉伸过程中所采集到的声发射数据经处理后得到的 4 组关联图。

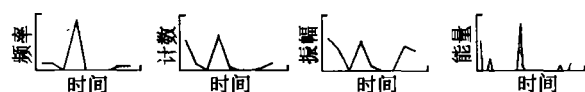


图 2 A 组试样的 4 组关联曲线

从图 2 可知:各种曲线明显分为 3 个阶段,第 1 阶段和第 3 阶段信号的频率较低,能量也较低;第 2 阶段频率较高,能量也较高。但 3 个阶段的最大振幅差别不大。当损伤进行到每一阶段时卸下试样进行观察。通过肉眼、显微镜及理论分析得知:第 1 阶段的损伤为基体开裂,第 2 阶段为基体与横向纤维界面开裂,第 3 阶段为纤维断裂。

图 3 为 B 组的等截面试样在拉伸过程中声发射信号的关联曲线。

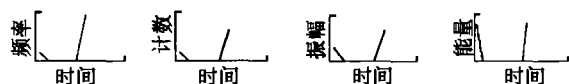


图 3 B 组等截面试样的 4 组关联曲线

从图 3 中可看出:曲线形状较简单,明显分为 2 个阶段,且两信号之间有很长一段无信号期。通过观察和分析可知:试样只有基体开裂、基体与纤维界面的开裂 2 种损伤形式,并无纤维断裂。原因是:该组试样的纤维方向与拉伸载荷方向成 45°,在该方向上剪应力最大,而拉应力很小,结果是纤维与基体界面的开裂而导致最终断裂,纤维不被拉断,故整个损伤过程只分为 2 个阶段。

图 4 为 B 组哑铃形试样的 4 组关联曲线。

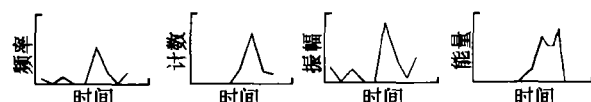


图 4 B 组哑铃形试样的 4 组关联曲线

对比图 3 与图 4 可知:图 4 曲线较图 3 曲线复杂,原因是因为制成哑铃形试样时,有过渡圆弧的存在,

在此处的受力状态、大小等与标距处有所不同,在不同的时间里还有一些其他形式的损伤出现,具体细节还有待于进一步的研究。

图 5 为 C 组试样在拉伸过程中声发射信号关联曲线。

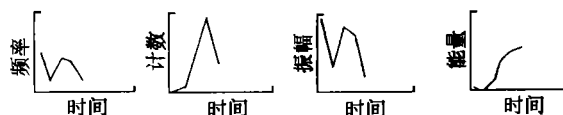


图 5 C 组试样的 4 组关联曲线

从图 5 中可知:损伤过程分为 2 个阶段。第 1 阶段的能量与振铃计数较低,但频率较高;第 2 阶段的能量和振铃计数较高。通过观察与分析得知:整个损伤过程为首先是基体的开裂,然后是纤维断裂而导致最终破坏,分别对应关联图中的 2 个阶段。

2 结语

1) 用时间-频率、时间-计数、时间-振幅、时间-能量关联图能比较清晰地区分玻璃纤维增强的树脂基复合材料的损伤各阶段。

2) 正交网纹玻璃布增强的材料(纤维垂直-平行承载方向),其损伤形式主要有:基体开裂、基体-纤维界面开裂、纤维断裂 3 种形式,在上述 4 种关联图中依次对应着 3 个阶段,其中第 2 阶段(即基体-纤维界面开裂)的频率和能量远高于其他 2 个阶段。

3) 斜纹玻璃布增强的材料(纤维方向与承载方向成 45°),其损伤阶段分为基体开裂和基体-纤维界面开裂 2 个阶段,分别对应着关联图上的 2 个阶段。

4) 玻璃丝单向层铺材料(纤维方向平行与载荷方向)的损伤过程分为:基体开裂、纤维断裂 2 个阶段,在声发射关联图上明显表现为 2 个阶段。

5) 从声发射关联图可知哑铃形试样的损伤过程明显较等截面试样的损伤过程更为复杂。

[参考文献]

- [1] 周履. 复合材料及其结构的力学进展. 广州:华南理工大学出版社,1991:243-250.
- [2] 郭艳阳. APMOC/环氧复合材料层板断裂特性声发射研究. 第五届青年材料科学讨论会. 湖南,1995:50-55.
- [3] 金周庚. 碳/环氧复合材料破坏类型声发射表征. 全国第四届声发射会议论文集,1989:89-95.
- [4] CSAE-2001 声发射仪用户操作说明书.

* 国家自然科学基金资助项目(19972063)

责任编辑 韩方丁