

# 复合材料层合板性能的研究分析

朱英<sup>1</sup> 孟昭兴<sup>2</sup>

(1. 山东协和学院 山东 济南 250109; 2. 济南职业学院 山东 济南 250000)

**摘要:**为了分析复合材料层合板在横向低速冲击作用下损伤与变形情况,通过实验分析、软件建模,更清晰的复合材料层合板在受到冲击时候的性能。先建立了单层板的实验操作 得出材料受冲击的实验数值, 再在采用力与相对位移表示的材料模型的基础上,建立了各向同性层损伤模型,结合传统的应力失效准则和断裂力学中的能量释放率准则定义界面损伤演化规律,更好的分析材料的性能。

**关键词:**复合材料 ;层合板 ;损伤 ;低速冲击 ;

## 0 引言

复合材料是一种混合物。复合材料按其组成为金属与金属复合材料、非金属与金属复合材料、非金属与非金属复合材料。按其结构特点又分为:

(1) 纤维增强复合材料。将各种纤维增强体置于基体材料内复合而成。如纤维增强塑料、纤维增强金属等。

(2) 夹层复合材料。由性质不同的表面材料和芯材组合而成。通常面材强度高、薄;芯材质轻、强度低,但具有一定刚度和厚度。分为实心夹层和蜂窝夹层两种。

(3) 细粒复合材料。将硬质细粒均匀分布于基体中,如弥散强化合金、金属陶瓷等。

(4) 混杂复合材料。由两种或两种以上增强相材料混杂于一种基体相材料中构成。与普通单增强相复合材料比,其冲击强度、疲劳强度和断裂韧性显著提高,并具有特殊的热膨胀性能。分为层内混杂、层间混杂、夹芯混杂、层内/层间混杂和超混杂复合材料。

复合材料可以综合各种组成材料的优点,使一种材料具有多种性能,可以针对性能的需要进行对材料的设计和制造,制成多种形状,其优点还有比强度、比模量高、抗疲劳性、减震性、高温性能和抗破坏安全性能的优点,但其缺点脆性不足,需要提高其脆性性能。

本文主要针对纤维复合材料层合板在低冲击载荷下,损伤机理的研究。重点是通过实验和建模分析其相关数据与受载模型。

## 1 实验过程

### (1) 实验概况

仪器:电液伺服疲劳试验机;过程:循环正弦波加载;加载频率 10Hz,应力比  $R=0.1$ ,温度:室温。材料:单向层符合材料合板 T300K/KH-304。

选试件进行拉伸实验,试件尺寸,厚 2.5mm,宽 25mm,长 220mm

### (2) 静强度实验结果

为确定疲劳试验加载循环应力最大值,首先进行的拉伸实验数据如下表 1.静强度实验结果。

表 1.静强度实验结果

试件编号	破坏载荷/KN	试件宽度/mm	试件厚度/mm	截面积/mm <sup>2</sup>	极限强度/MPa	极限强度均值/MPa
1-1	54.87	25.10	2.76	69.276	792.16	
1-2	51.23	24.96	2.60	64.896	789.54	790.16
1-3	50.68	25.10	2.56	64.256	788.79	

(3) 复合材料在受载时候损伤演化规律如下图 1 所示:

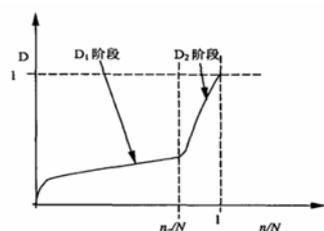


图 1 复合材料疲劳损伤演化规律

## 2 复合材料层合板结构力学模型

纤维增强树脂基复合材料层合板受到外物低速冲击载荷作用时,一部分冲击动能转变为可恢复的弹性应变能,另一部分却被材料所吸收,造成了不可恢复的损伤(如基体开裂、脱层损伤和纤维断裂等)。

对于单向增强的复合材料层合板来说,在低速冲击作用下其主要的损伤模式有层内损伤(基体开裂、纤维的脆性断裂和纤维-基体界面剥离)和层间损伤(即脱层损伤)。因此,根据复合材料层合板的损伤特征,模型通过以下两种成分构成。

(1) 宏观材料特性为正交各向异性的单层板,在有限元模型中采用板壳单元来建立。

(2) 将铺设角度不同的两相邻层粘接起来的界面层,在有限元模型中采用界面单元来建立。

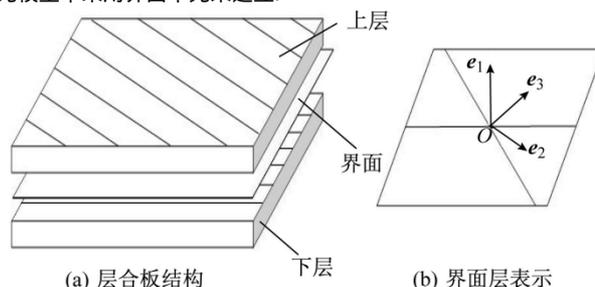


图 2 复合层合板模型

## 3 单层板逐渐累积损伤分析模型

基于应力描述的准则进行复合材料进一步的损伤判定。通过观察其结构中的应变在复合材料结构发生损伤前后保持连续,变化比较平滑。因此更适合被用来作为复合材料结构中损伤演化的判据<sup>[7]</sup>。其变化规律如下图 3 所示。

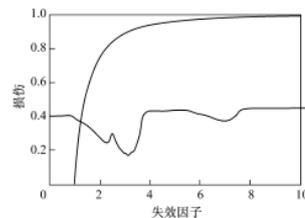


图 3 损伤变量变化规律

## 4 界面层模型

大量试验表明,层合板的脱层损伤在铺设角度不同的两相邻层之间的界面处产生并扩展。采用在可能发生脱层的界面处引入界面单元的方法可以有效地预测脱层损伤的产生、损伤的扩展直至最后脱层发生<sup>[8-10]</sup>。

### 4.1 界面单元

放置在两相邻单层板之间的典型三维界面单元,它是由连接对

(下转第 192 页)

(上接第 184 页)  
应的上下单层板单元的 2 个表面构成。

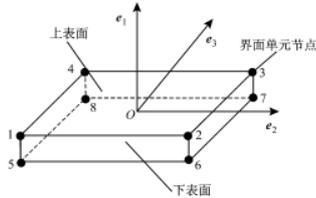


图 4 三位界面单元的空间表示

#### 4.2 算例分析

在通用有限元软件 ABAQUS /Explicit 的基础上,进行了碳纤维复合材料层合板在低速冲击作用下的动态响应分析.考虑到几何、材料和边界条件的对称性,建立了整个模型的 1/2, 根据冲击有效区域,有限元模型如图 5 所示。

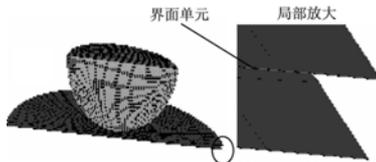


图 5 有限元模型

#### 5 结论

本文基于有限元方法,提出了一个有效的数值模型来分析,并在相关实验的基础上,在低速冲击作用下,分析纤维复合材料层合

板结构内部的损伤和变形机理.分别建立了考虑层内损伤的单层板损伤分析模型和考虑层间脱层损伤的层间界面脱层损伤模型,并用有限元软件 ABAQ US /Explicit 中的相关程序实现。数值仿真与实验结果的对比,验证了该模型可以 有效地预测复合材料层合板结构在低速冲击作用下的损伤机理。

#### 参考文献:

- [1]不同冲击能量对层合板损伤及剩余强度的影响[J]. 崔海坡,温卫东,张阿龙. 航空动力学报. 2015(10)
  - [2]张彦.来新民.朱平等复合材料铺层板低速冲击作用下损伤的有限元分析.[J]上海交通大学学报, 2004, 08(1):116- 119.
  - [3]含穿孔损伤复合材料层合板刚度降模型[D].李伟.中国民航大学.2008
  - [4]含低速冲击损伤复合材料层板剩余强度及疲劳性能研究 [D] 朱炜焱.2012(7)
  - [5]冲击能量对 EW200/E51 复合材料层合板损伤的影响.[J]. 卫新亮;张智敏;刘毅;温伟;李稳.工程塑料应用 2020(6)
- 作者简介:朱英,1986年5月 硕士研究生 讲师 单位:山东协和学院 邮编:250101
- 项目:1.2018 年度山东省高等学校科研计划项目 编号: J18RA075
- 2.2018 年度山东省自然科学基金计划 编号: ZR2018PEE014