

· 全尺寸零件结构试验 ·

蜂窝结构抗拉压性能实验研究及其数值模拟

徐永君, 李敏, 战颂, 阚常珍

(中国科学院力学研究所, 北京 100080)

摘要:文中对PVC材料圆形错排蜂窝结构的拉压等效模量及抗拉、抗压强度进行了实验研究,并利用ANSYS进行了三维有限元数值模拟。通过实验结果和数值模拟结果的比较得出,拉伸情况下,等效弹性模量和拉伸强度受夹具与蜂窝结构间的粘胶性质影响比较大;压缩情况下,等效弹性模量和压缩强度大于拉伸情况,并且结构的主要破坏形式为剪切破坏。对蜂窝结构进行强度设计必须以实验数据为依据。

关键词:圆形错排蜂窝结构; 等效模量; 抗压强度

中图分类号: TG113.25 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-7167(2007)11-0222-04

Tensile and Compressing Properties Study of Honeycomb Structure by Indoor Testing and Numerical Analysis

XU Yong-jun, LI Min, ZHAN Song, KAN Chang-zhen

(Institute of Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China)

Abstract: In this paper, experimental testing and three dimensional finite element (FE) simulations are carried out to obtain the equivalent Young's modules and strength of rotundity honeycomb configuration under uniaxial load. The compressing equivalent Young's modules and strength are bigger than that of tensile case. The tensile strength and Young's modules are great affected by the glue condition between clamp and the sample. The main type of failure is the break of the glue for tensile case and shear mode failure for compressing case.

Key words: rotundity loneycomb structure; equivalent Young's modulus; compressing strenght

CLC number: TG113.25

Document code: A

Article ID: 1006-7167(2007)11-0222-04

蜂窝结构具有多种构造形式并且应用广泛。如纸质蜂窝材料被广泛用作包装材料,文献[1]对纸木复合蜂窝夹心材料的力学性质进行了研究,并和原蜂窝纸板进行了比较,同时还研究了环境湿度对纸木复合蜂窝材料力学性能的影响。文献[2]对广泛用于工业锅炉中的蜂窝陶瓷蓄热式热交换器的蜂窝陶瓷制备工艺进行了探讨,文献[3]利用陶瓷球蓄热式热交换器内固体温度分布特征值的数学表达式,类推导出蜂窝陶瓷蓄热式热交换器的特性关系式,为蜂窝陶瓷蓄热式热交换器热工行为的进一步研究、优化设计方法的建立,及蜂窝蓄热式热交换器热工行为的评价提供了理论依据。另外对蜂窝结构的各种力学特性分析也是国内外研究的热点课题之一。Scarpa^[4]等利用有限元模拟了轴向加载下肋骨变形的力学特性对轴向几何参数的依赖性。Whitty^[5]等研究了通过改变结构的等效

Poisson比提高蜂窝结构的热和力学性能。文献[6]利用有限元法模拟计算了轴向载荷下一种蜂窝结构的Poisson比和弹性模量。

文献[7]研究了方形蜂窝结构的弹塑性屈曲。文献[8]对在超高速碰撞情况下的蜂窝夹芯板进行了仿真研究。文献[9]设计了圆形错排蜂窝结构剪切和四点弯曲实验,对剪切模量和剪切强度进行了实验研究,并利用ANSYS进行三维有限元模拟。本文对PVC材料圆形错排蜂窝结构的拉压等效模量及抗拉、抗压强度进行了实验研究,并利用ANSYS进行了三维有限元数值模拟。

1 实验设计与有限元模型

实验试件直接从工程实际用材料中截取,用PVC材料制成。试件设计和试验分析参照了文献[10]和[11]。如图1所示,图1(a)为抗压实验试件及实验设备和加载方式,试件尺寸为100×100×50,图1(b)为

收稿日期:2007-05-10

抗拉实验试件及实验设备和加载方式。抗压实验中不需要胶粘,而抗拉实验中必须胶粘,抗拉性质受黏结效果影响较大。

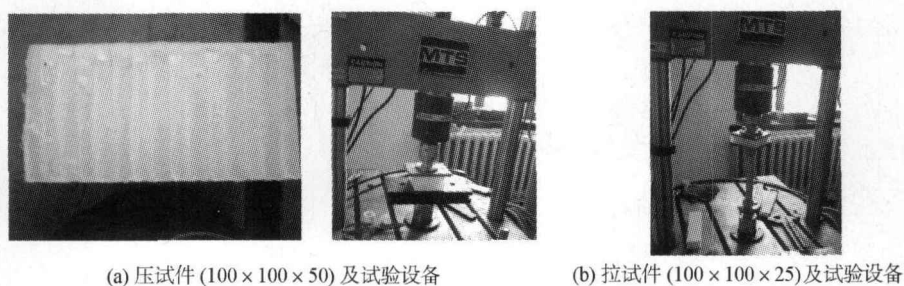


图 1 蜂窝结构拉压试件及试验设备

利用游标卡尺测量得实验试件蜂窝结构圆型的尺寸为壁厚 0.3 mm,外径为 0.8 mm,弹性模量取为, Poission 比取为 0.3。如图 2 所示,取原试件的四分之一进行计算,图 2(a)为蜂窝结构拉压试件有限元模

型,为了能模拟实际实验加载方式,在蜂窝结构的上端面加了一个弹性模量非常大的近似刚体板,下端面固定。图 2(b)为三维有限元网格划分,划分网格的难点在于刚体与蜂窝结构单元的节点对应。

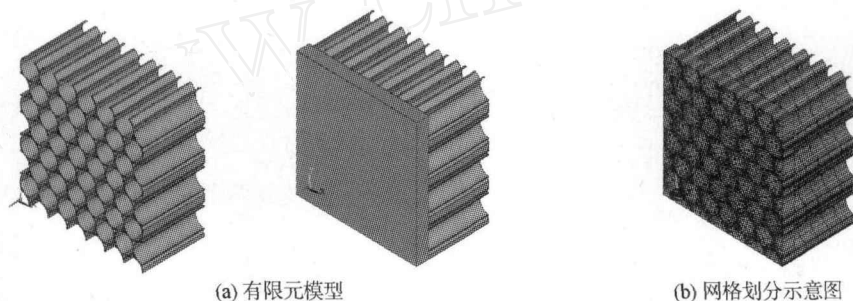


图 2 蜂窝结构拉压试件的有限元模型及网格划分

2 实验分析与数值分析

2.1 抗压实验

图 3 中分别给出 5 个试件受压过程的压力与位移关系曲线,取屈服点前曲线进行线性拟合,再通过拟合直线的斜率计算等效弹性模量,表 1 给出了各试件的压缩强度和等效弹性模量。图(f)为某一试件的破坏示意图,从图中可以看出主要是剪切屈服(或失稳)破坏,沿 45 度的剪切破坏带比较明显。

2.2 抗拉实验

图 4 中(a~e)分别给出 5 个试件受压过程的压力与位移关系曲线,取屈服点前曲线进行线性拟合,再通过拟合直线的曲率计算等效弹性模量,表 2 给出了各试件的压缩强度和等效弹性模量。

从压缩和拉伸实验可以看出,夹具粘胶对拉伸试验结果影响比较大,开胶是拉伸破坏的主要方式,且由于胶的影响,弹性模量和抗拉强度与压缩相比大幅度降低。比较实验曲线图 3 和图 4 可以看出,对于抗压实验拟合直线给出的等效弹性模量偏高,对于抗压实验拟合直线给出的等效弹性模量偏低。

表 1 压缩强度和等效弹性模量

试样 specimen	压缩强度 Compressing strength/MPa	等效弹性模量 Compressing modulus/MPa
1	1.95	46.4
2	1.9	58.1
3	2.16	67.2
4	2.15	68.2
5	2.03	69.1

表 2 拉伸强度和等效弹性模量

试样 Specimen	拉伸强度 Tensile strength /MPa	等效弹性模量 Tensile modulus /MPa
1	0.45	21.5
2	0.50	23.4
3	0.51	26.9
4	0.50	30.0
5	0.35	20.5

注:主要是开胶破坏。

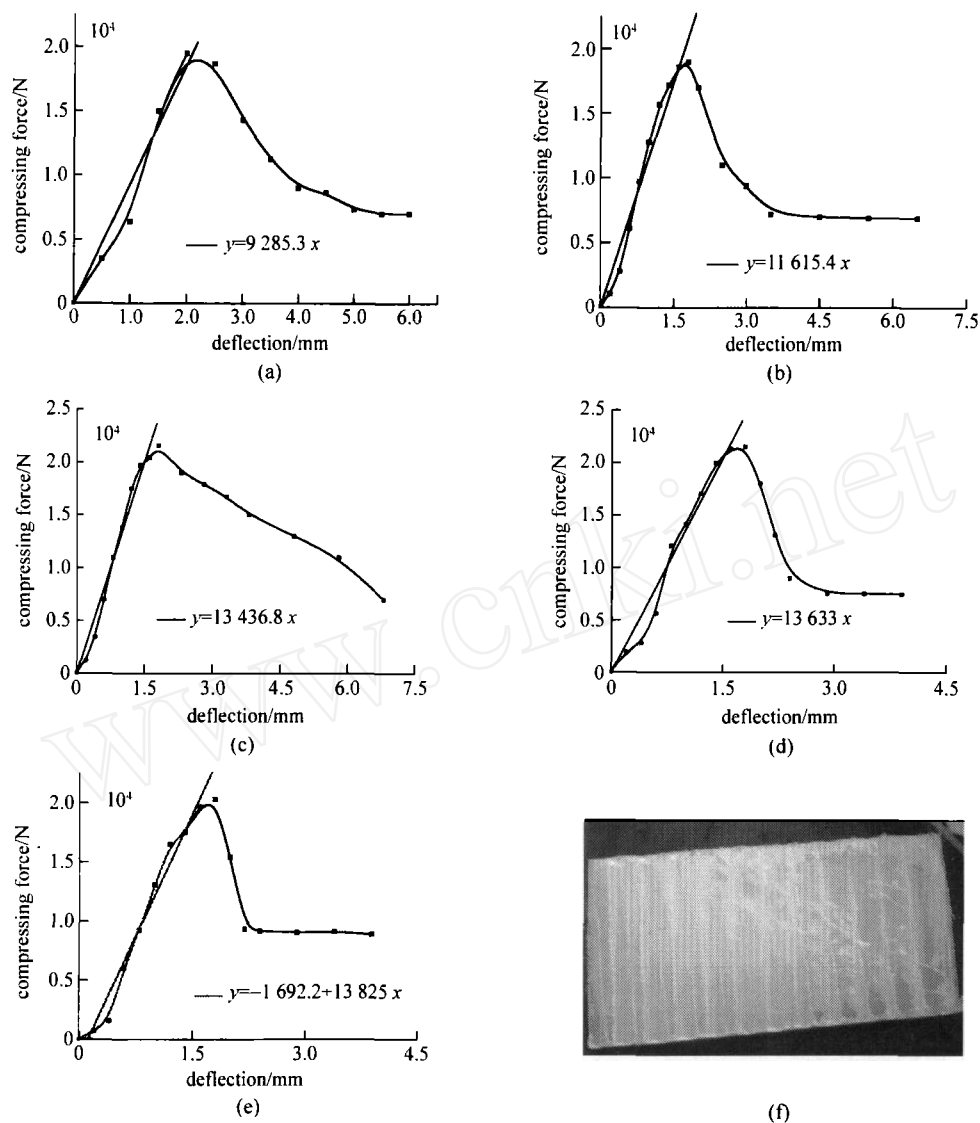


图 3 各试件的压力位移曲线及破坏示意图

2.3 数值分析

理论上等效弹性模量与实际弹性模量的比值等于实际面积与蜂窝结构面积的比值。采用图 2 所示三维有限元模型和网格划分进行拉压计算,等效弹性模量的计算结果为 $E_{eqv} = 36.22 \text{ MPa}$ 。数值模拟结果可以用于结构强度设计理论指导,数值模拟与试验存在着如下几点差异:

(1) 几何建模过程中为了网格划分,圆与圆间并不是交于一个点而是相互有嵌入。

(2) 实验试件圆与圆有黏结胶,而几何建模无法模拟黏结胶所占体积。

(3) 数值计算中所选取的并不是实验用试件的的实际弹性模量,只是选取了常用 PVC 材料的弹性模量,而实际中各种 PVC 材料的弹性模量差异比较大。

3 结论

蜂窝结构是广泛应用的一种结构形式,本文对

PVC 材料圆形错排蜂窝结构的拉压等效模量及抗拉、抗压强度进行了实验研究及三维有限元模拟。实验结果和数值模拟结果显示:

(1) 拉伸情况下等效弹性模量和拉伸强度受夹具与蜂窝结构间的粘胶性质影响比较大,主要破坏形式为开胶。

(2) 压缩情况下等效弹性模量和压缩强度大于拉伸情况并且主要破坏形式为剪切破坏。

(3) 数值模拟结果可以用于结构强度设计理论指导,但数值模拟与实验结果存在一定差异。

(4) 对蜂窝结构进行强度设计必须以实验数据为依据。

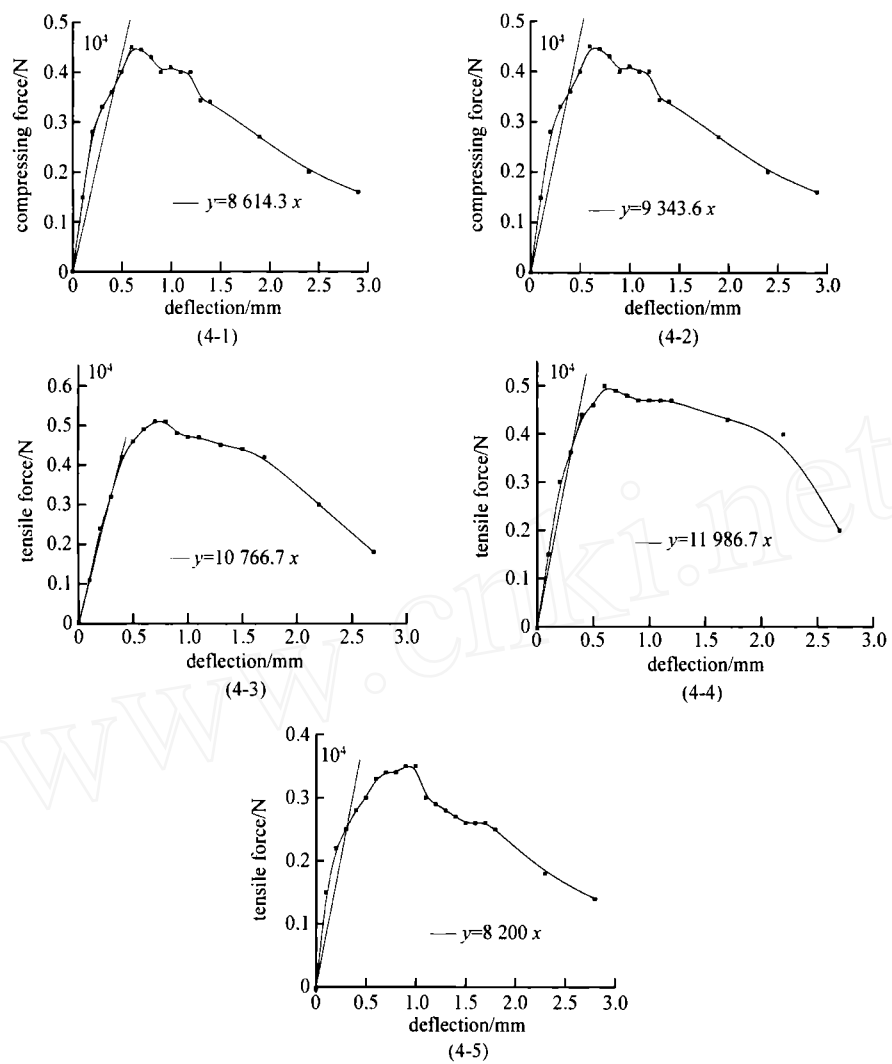


图 4 各试件的压力-位移曲线

参考文献 (References):

- [1] 徐朝阳,李大纲. 纸木复合蜂窝夹心包装材料物理力学性质研究[J]. 包装工程,2007,28(1):30-32. 39.
- [2] 胡定军,陈义胜,宋希文,等. 新型蜂窝陶瓷的研制(I)[J]. 包头钢铁学院学报,2003. 21(3):32-35.
- [3] 李朝祥,周灵敏,郭威,等. 蜂窝陶瓷蓄热式热交换器热工特性分析[J]. 安徽工业大学学报. 2007. 24(1):33-35.
- [4] Scarpa F. Numerical and experimental uniaxial loading on in-plane auxetic honeycombs. [J]. Strain Anal, 2000,35(5):383-388.
- [5] Whitty JPM. Towards the design of sandwich panel composites with enhanced mechanical and thermal properties by variation of the in-plane Poisson's ratios. Composites; Part A (2003). 34. pp. 525-34.
- [6] Abderrezak Bezazi. A novel centrosymmetric honeycomb composite structure. Composite Structures 71 (2005) 356-364.
- [7] K. Erami. Long-wave in-plane buckling of elastoplastic square honeycombs. [J]. International Journal of Plasticity. 2006. 22(9):1569-1585
- [8] 徐小刚,黄海,贾光辉. 蜂窝夹芯板超高速碰撞仿真. [J]. 北京航空航天大学学报,2007. 33(1):18-21.
- [9] 徐永君,李敏,战颂,等. 蜂窝结构抗剪强度的实验研究和数值模拟(见本刊).
- [10] ASTM: C297/C297M-04. Standard test method for flatwise tensile strength of sandwich constructions[S].
- [11] ISO 844: 2004 (E). Rigid cellular plastics-determination of compression properties[S].