

文章编号:1671-6833(2011)04-0018-04

缝合复合材料泡沫夹层结构侧压剪切力学性能试验研究

刘华峰¹,赵凯辉²,王佩艳¹,岳珠峰¹

(1. 西北工业大学 力学与土木建筑学院,陕西 西安 710072; 2. 河南理工大学 机械与动力工程学院,河南 焦作 454000)

摘 要: 选用3种相同材料制造的夹层结构形式未缝合、锁式缝合和达夫汀缝合复合材料泡沫芯夹层结构,进行了侧压和剪切实验,研究了缝合方法对缝合夹层结构力学性能和破坏模式的影响。试验数据和观察结果表明,泡沫夹层结构缝合后较未缝合在侧压和剪切的强度刚度均得到了极大提高,而不同的缝合方法对结构强度和模量改变是不同的。达夫汀缝合方法在提高剪切强度和模量优于锁式缝合,但在提高侧压刚度上和锁式缝合相差不大。

关键词: 复合材料;泡沫夹芯;达夫汀缝合;锁式缝合

中图分类号: TB332

文献标志码: A

0 引言

复合材料泡沫夹层结构是由高强度高模量的树脂基复合材料作为面板、轻质的闭孔泡沫芯材和将面板与芯材连接在一起的胶接层3部分构成^[1]。这种结构具有较高的比强度和比刚度,同时还具有优良的抗冲击、抗振动、隔热、隔音等特性,目前作为功能结构和承载结构材料已用于航空、航天、船舶、汽车、建筑、制冷、石油、化工、包装、工业造型设计等诸方面。但是闭孔硬质泡沫作芯材的复合材料夹层板在一些带有振荡性的应用场合,比如轨道交通,经常会开胶、脱粘,甚至会引起芯子塌陷、面板凹陷和皱褶失稳,耐久性也难以评定,这严重限制了泡沫芯夹层结构的应用。因此,国外提出了缝纫泡沫夹层复合材料的新概念^[2]。缝线的引入加强了结构的横向力学性能,但也使得缝纫泡沫夹层复合材料结构的变形特点和破坏模式不同于未缝泡沫夹层复合材料,因此对其破坏模式和机理研究都属于当务之急。

但是,目前缝合方法对结构性能的研究大多集中在缝合层板结构中。研究也大多是层板缝合中普遍采用的锁式缝合、改进的锁式缝合和链式缝合。Kang和Lee^[3]认为链式缝合或改进的锁式缝合由于在表面处缝线多次挠曲,在表层将形成大量的线圈,造成纤维的严重扭结,而锁式缝合则

由于线圈在中间,造成的扭结最小,因此链式缝合比锁式缝合造成更多的损伤。Vandermeij^[4]认为锁式缝合形成的线圈在结构中央,容易造成应力集中。由于这些研究均针对缝合的复合材料层和板而非复合材料泡沫夹芯结构^[5],同时对新出现的单边 TUFTING 缝合方法对结构性能的影响未见报道。因此笔者选用3种相同材料制造的复合材料泡沫夹层结构形式:即未缝合、锁式缝合和达夫汀缝合夹层结构,进行了剪切、侧压实验,研究缝合方法对缝合夹层结构力学性能和破坏模式的影响。

1 侧压和剪切试验

1.1 研究目的

①试验获得3种复合材料泡沫夹层结构受侧压和剪切外力时的力学性能。②通过不同类型夹层结构的对比试验,评定缝合方法对各类结构性能和破坏模式的影响,为进一步的结构设计和理论分析提供性能分析数据。

1.2 夹层结构缝合类型和材料

为了定量比较不同缝合方法复合材料夹层结构的效率,选择3种夹层结构进行试验对比研究:①未缝合泡沫芯层结构,即由复合材料面板、闭孔泡沫芯组成,面板和芯层未缝合;②全厚度采用锁式缝合的泡沫芯夹层结构;③全厚度采用达夫汀

收稿日期:2011-02-10;修订日期:2011-05-16

基金项目:国家“863”高技术研究发展计划资助项目(2009AA04Z418);国家自然科学基金资助项目(50775183)。

作者简介:刘华峰(1972-),女,黑龙江集贤人,西北工业大学博士生,主要研究方向为复合材料力学行为。E-mail:

zkh20042004@yahoo.com.cn.

方式缝合的泡沫芯夹层结构。3种夹层结构的面板均由国内某研究所研制。面板为 T300 碳纤维织物,夹层芯材为 ROHACELL 51 WF 闭孔泡沫,面线和底线分别为 44.44 特克斯和 166.7 特克斯的 Kevlar29 纱线。两类试验中试件均分为未缝合、锁式缝合、达夫汀缝合 3 组,每组各包含 6 个试件。其中侧压试件长 60 mm,宽 30 mm,厚 9 mm;剪切试件长 120 mm,宽 40 mm,厚 9 mm。Z 向增强泡沫夹层复合材料的力学性能按照 GB/T1454—2005(侧压强度和模量)、GB1455—88(剪切强度和模量)进行测试。所有试验在 CSS44200 电子万能试验机上完成。试验温度:室温 25℃。相对湿度:52%。试件上贴应变片测量应变,由自动采集系统记录数据。

2 试验结果及分析

力学性能综合试验结果如表 1 所示。

表 1 3 种夹层结构的力学性能综合表

Tab.1 The mechanical property of three structures

缝合方法	侧压		剪切	
	强度/ MPa	模量/ MPa	强度/ MPa	模量/ MPa
未缝合	53.40	10.80	0.86	27.43
锁式缝合	105.62	11.71	2.46	156.18
达夫汀缝合	116.38	11.51	6.02	435.16

2.1 剪切载荷下的试验结果

由表 1 可知,锁式缝合与未缝合夹层相比较,剪切强度和模量分别提高 2.87 倍和 5.7 倍。而达夫汀缝合与未缝合夹层比较,强度提高了 7 倍,模量提高了 15.9 倍。说明缝线的存在增大了泡沫夹层结构的剪切强度和剪切模量。而两种缝合方法中达夫汀缝合方法较锁式缝合方法对结构强度和模量的提高更好。

3 种泡沫夹层结构剪切载荷下的载荷-位移曲线对比如图 1 所示。3 种结构加载曲线都是载荷增加到最大载荷后,突然下降。表明结构都是在最大载荷下突然剪切破坏。

破坏模式对比如图 2~4 所示。未缝合泡沫夹层由于是泡沫承受剪力,最后沿泡沫厚度中部被剪断,夹层结构在瞬间失效(图 2)。而缝制泡沫夹层除了泡沫,缝线也参与承受剪切载荷,但锁式缝合结构,因面线和底线交叉有应力集中点,缝线较单边达夫汀缝合的相对较弱,因此破坏模式大部

分为泡沫夹芯和缝线在面板之间被剪断(图 3)。而达夫汀缝合因为缝线能承受更大剪切载荷,因此缝线和泡沫并不破坏,最后的破坏模式为夹层面板和泡沫之间脱胶(图 4)。

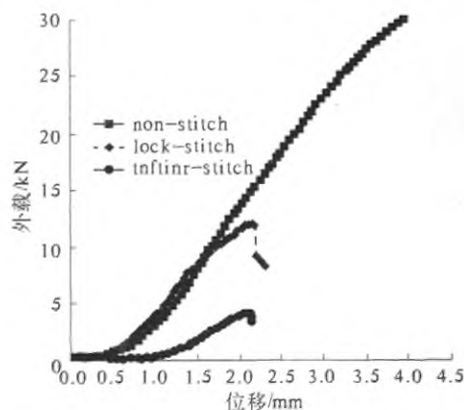


图 1 3 种结构剪切载荷下的载荷-位移曲线

Fig.1 The load-displacement curves of three structures under shear load

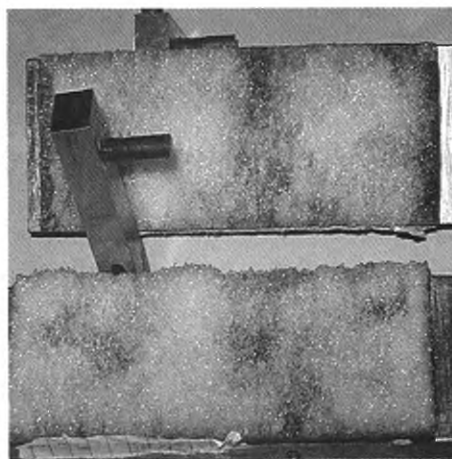


图 2 未缝合结构剪切载荷下破坏模式

Fig.2 Failed shear specimens for non-stitched structure



图 3 锁式缝合结构剪切载荷下破坏模式

Fig.3 Failed shear specimens for lock-stitched structure

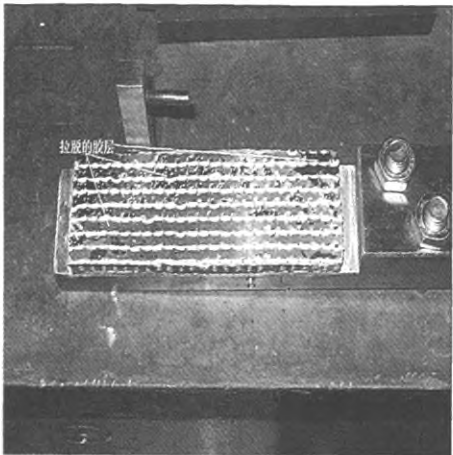


图 4 达夫汀缝合结构剪切载荷下破坏模式
Fig.4 Failed shear specimens for tufting stitched structure

2.2 侧压载荷下试验结果

3 种泡沫夹层结构侧压载荷下的载荷 - 位移曲线对比如图 5 所示. 对于 3 种夹层结构, 都是载荷线性增加到最大破坏载荷后, 结构开始破坏, 出现卸载, 卸载到一定程度后, 结构仍然能够承载, 然后再次卸载承载, 至最后完全破坏.

无缝合泡沫芯夹层结构破坏模式首先是结构整体向外屈曲, 屈曲后结构仍然能够继续承受载荷, 随着载荷的增大, 泡沫和面板界面分层至最后卸载(图 6). 而两种缝合泡沫芯夹层板, 由于缝线树脂柱抑制了界面的分层, 同时起到支撑的作用, 从而避免了面板的向外屈曲, 其破坏模式为在较高载荷水平下面板断裂并和泡沫夹芯脱胶(图 7 和图 8).

由于缝线抑止了泡沫和面板的分层, 从而避免了面板向外屈曲, 因此结构侧压强度大幅提高.

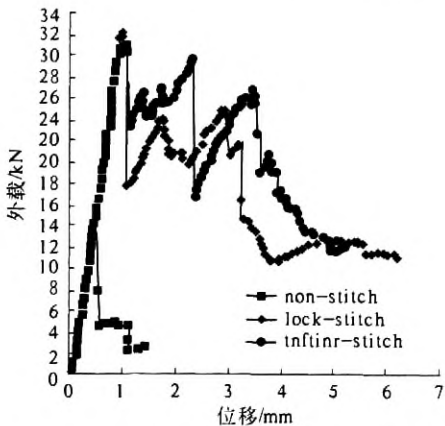


图 5 3 种结构在侧压载荷下的载荷 - 位移曲线
Fig.5 The load-displacement curves of three structures under edgewise compression

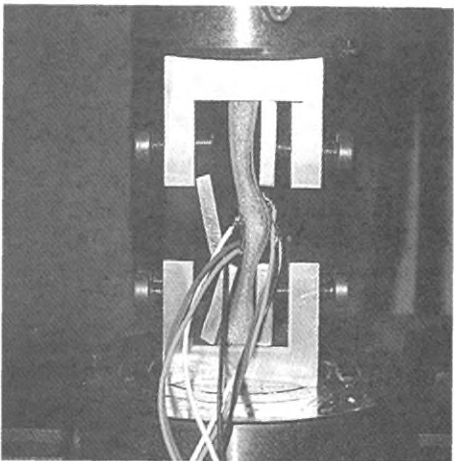


图 6 无缝合试件侧压下失效模式
Fig.6 Failed edgewise compression specimens for non-stitched structure

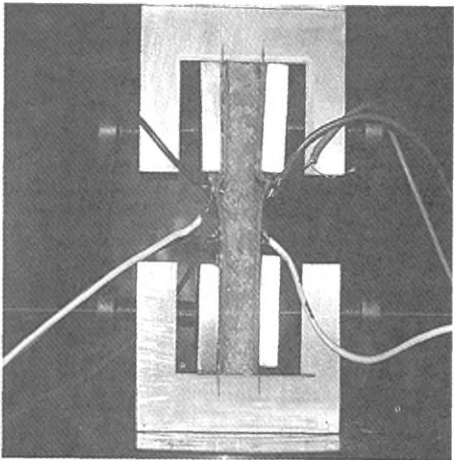


图 7 锁式缝合结构侧压下的破坏模式
Fig.7 Failed edgewise compression specimens for lock-stitched structure

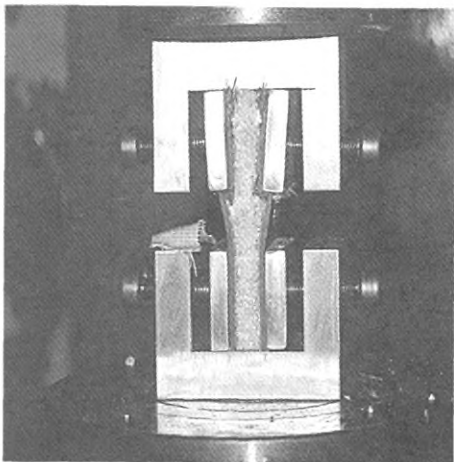


图 8 达夫汀缝合结构在侧压载荷下的破坏模式
Fig.8 Failed edgewise compression specimens for tufting stitched structure

锁式缝合结构的侧压强度和刚度比未缝合结构提高 1.97 倍和 1.1 倍以上,达夫汀缝合较未缝合结构强度提高 2.18 倍,刚度提高 1.1 倍.但是由于主要是面板而非缝线承受压缩载荷,所以 2 种缝合方法对强度和模量提高的程度相差不大.

3 结论

通过对 3 种不同类型夹层结构侧压和剪切的对比试验,评定了各种夹层结构的承载能力、破坏模式.结果表明,使用低成本 VARI 工艺制造的全厚度缝合的复合材料闭孔泡沫芯夹层结构大大提高了承载能力.

(1)使用低成本 VARI 工艺制造的全厚度锁式缝合和达夫汀缝合的复合材料闭孔泡沫芯夹层结构比未缝合结构在侧压和剪切载荷下大大提高了强度和模量.

(2)泡沫芯夹层结构在锁式缝合和达夫汀缝合方法下,缝线树脂柱参与承载,参与程度与缝合方法相关,改变了破坏过程和破坏模式.

(3)侧压时压力主要由面板而非缝线树脂柱承受,故达夫汀缝合和锁式缝合在改善侧压刚强度上差别不大.

参考文献:

- [1] 张向,李晶月. 复合材料夹芯板组合单元有限元分析[J]. 郑州大学学报:自然科学版,1995,27(1):30-37.
- [2] 黄涛. 缝绉泡沫夹层复合材料力学性能研究[D]. 西北工业大学工程力学系,2004.
- [3] KANG T J, LEE S H. Effect of stitching on the mechanical and impact properties of woven laminate composite[J]. Comp. Mat. 1994, 28: 1574-1587.
- [4] VANDERMEY N E, MORRIS D H, MASTERS J E. Damage development under compression fatigue loading in a stitched unwoven graphite/epoxy composite material[R]. NASA Report PB91-236026, 1991.
- [5] 黄涛,矫桂琼. 缝绉泡沫夹层结构芯子剪切模量研究[J]. 机械强度,2007,29(1):113-117.

Mechanical Behavior Tests of Composites Stitched Sandwich Panels

LIU Hua-feng¹, ZHAO Kai-hui², WANG Pei-yang¹, YUE Zhu-feng¹

(1. School of Mechanics Civil Engineering and Architecture Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China; 2. School of Mechanical and Power Engineering, Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454000, China)

Abstract: Experiments on three kinds of composite foam core sandwich structures under edgewise compression and core shear were presented in this paper. Unstitched foam, lock-stitched foam and tufting stitched foam sandwich structures were produced using the same face material in order to study the stitch methods how to influence the mechanical property and failure modes. The experimental results showed the significant increasing in the strength and modulus of edgewise compression and core shear of the stitched foam sandwich structures. Different stitch methods caused different change of the strength and modulus of stitched structures. Tufting stitch had better ability than lock-stitch in the increasing in the shear strength and modulus but had the same ability as the lock-stitch in the edgewise compression. The results could be used in structural design and theoretical analysis.

Key words: composite material; foam core sandwich panel; tufting stitch; lock-stitch