

夹层结构纸板压缩剪切夹具的改进及其验证

温时宝

(青岛科技大学, 青岛 266042)

摘要: 针对国家标准压缩剪切夹具测试夹多种层结构材料的剪切性能时,需要多个夹具,且夹具制作成本高的不足,对其进行了改进;将与试样粘合的加载板改为组合式结构,这样可以制作多组样品粘合板,测试时只需要组装即可,大大降低了夹具制作成本,提高了试验效率,而且样品准备制作更加方便。通过试验对改进的组合压缩剪切夹具与标准夹具进行了对比验证,结果表明组合夹具与标准夹具相比所得数据稍有差别,但压缩剪切载荷最大值差别在 $\pm 10\%$ 以内,提高了夹具的制作精度后,组合夹具完全可以代替标准夹具。

关键词: 夹层结构; 压缩剪切; 夹具; 蜂窝纸板; 高强瓦楞复合纸板

中图分类号: TB486; TB487 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2013)11-0072-05

Improvement and Verification of Compression Shear Fixture for Sandwich Structure Paperboard

WEN Shi-bao

(Qingdao University of Science and Technology, Qingdao 266042, China)

Abstract: Testing compression shear properties of sandwich structure by China national standard fixture, we need multiple fixtures when a number of samples are tested, and fixture cost is expensive and inconvenient. We improved the fixture for these defects. The loading plate bonded with sample was changed to assembly structure to make combination compression shear fixture (CCFS). Multiple sets adhesive plate was manufactured cheaply, reducing the production cost of fixture, improving testing efficiency and sample preparation. Contrast verification results by test between standard fixture and CCFS showed that compared with standard fixture, the data obtained by CCFS are slightly different, and maximum value difference of compression load shear is within 10%. It was concluded that CCFS can substitute standard fixture completely after improving manufacture accuracy.

Key words: sandwich structure; compression shear; fixture; honeycomb paperboard; high-strength corrugated paperboard

夹层结构剪切试验方法用于测定其芯子的剪切性能、面板的剪切变形以及剪切模量,是夹层结构性能测试的基本试验,包括两种试验方法:压缩剪切和拉伸剪切^[1-2]。夹层结构压缩剪切测试时,通常通过对与试样胶接的金属加载块施加压缩载荷,沿夹层结构面板方向对芯子产生平面剪切,从而测得芯子的剪切强度。若安装变形计,则可测出二面板或二加载钢板的相对位移,进而计算芯子的剪切弹性模量^[2]。对于夹层结构剪切试验夹具,研究人员在不断地进行完善,谭永刚^[3]等采用有限元法分析压剪试验对测量精

度的影响,验证该试验方法对高剪切模量夹层结构的适用性,提出了改进的压剪试验方法来提高测试的可靠性。SCHNEIDER K^[4]等设计了既能适应平面又能适应曲面夹层结构的压缩剪切夹具,可用于塑料纤维等复合材料夹层结构的测试。

目前对于夹层结构纸板大多限于易于测试的平压、侧压和弯曲性能研究^[5-7],以及采用有限元方法对其进行力学模拟^[8-9],而对纸板剪切性能的研究较少。文中主要说明一种适用于夹层结构纸板压缩剪切测试的夹具以及对该夹具的验证,以便于进行夹层

收稿日期: 2013-04-09

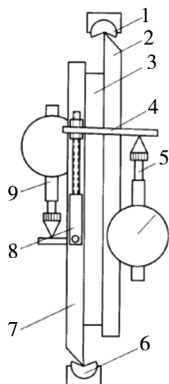
作者简介: 温时宝(1976-),男,山西平遥人,博士生,青岛科技大学讲师,主要研究方向为运输包装材料与结构设计以及功能高分子材料。

结构纸板性能测试。

1 夹层结构纸板压缩剪切夹具的改进

1.1 国标中压缩剪切夹具的不足

夹层结构材料压缩剪切测试前需将所测试材料与夹具粘合在一起,测试需将夹具上安装的两只变形计调零,然后到万能试验机进行测试,测试时所用压缩剪切夹具示意如图 1 所示。按照标准中的压缩剪



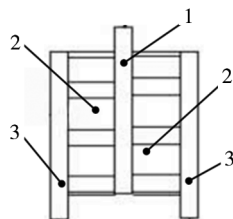
1,6—压头垫块;2,7—加载金属板;3—试样;4,8—测试变形的附件;
5,9—变形计

图 1 国家标准中的压缩剪切夹具示意^[1]

Fig. 1 Compression shear fixture in China national standard

切夹具结构,一套夹具每次只能测试一个试样。一般说来,对实验样品进行测试时,至少要测试 5 件样品,如果只有一套实验夹具,完成该测试将需要较长时间,若测试多组样品,则需要的时间更长。因为测试之前样品与夹具的粘合以及固化需要较长时间才能达到测试要求,且试样与夹具的粘合制作也不方便,该装置中用于测位移变化的百分表非常灵敏,因而现有的实验夹具测试之前对变形计的调零十分不便。

邵文全^[10]等测试蜂窝纸板的压缩剪切强度时,未采用上述国标夹具结构进行测试,直接采用了一种简易对称式的压缩剪切测试结构,如图 2 所示。将 2 块蜂窝纸板粘贴于三层钢板(1 块加载钢板和 2 块支撑钢板)之间,3 块钢板的尺寸相同,但粘贴时将加载钢板高出试样,而支撑钢板底端与蜂窝纸板和加载钢板错开,以使试样有变形空间,其中 2 块蜂窝纸板和 2 块支撑钢板关于加载钢板对称。该装置测试压缩剪切时简便易行,但缺点是测试时 2 块支撑钢板不易保持竖直状态,特别是当 2 块被测试材料的质量明显不同时



1. 加载钢板;2. 蜂窝纸板;3. 支撑钢板

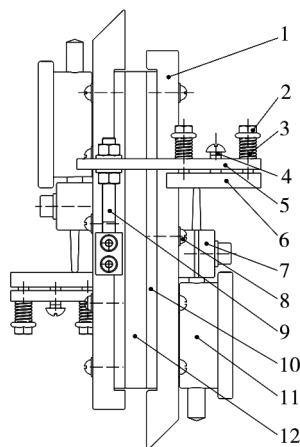
图 2 简易对称式压缩剪切夹具^[19]

Fig. 2 Simple symmetric compression shear fixture

会影响测试结果的准确性。

1.2 夹层结构纸板压缩剪切夹具的改进

考虑到国标压缩剪切夹具和简易对称式压缩剪切夹具的不足,笔者对国标压缩剪切夹具进行了改进,使之更符合实验要求并便于实验。改进后的可以快速更换试样的压缩剪切夹具(简称“组合夹具”)安装图见图 3。



1. 夹具主板;2. 六角法兰螺栓;3. 压缩弹簧;4. 变形计调零微调螺栓;
5. 变形计调零微调板;6. 变形计调零调节底板;7. 变形计固定件;8. 盘头螺钉;9. 变形计调零螺杆;10. 样品粘合板;11. 变形计;12. 测试样品

图 3 组合压缩剪切夹具安装

Fig. 3 Assembly diagram of combination compression shear fixture

由图 3 中可以看出,组合夹具包括 2 组夹具主板及其附属结构和 1 对样品粘合板。其中夹具主板及其附属结构包括 1 块夹具主板(1)、六角法兰螺栓(2)、压缩弹簧(3)、变形计调零微调螺栓(4)、变形计调零微调板(5)、变形计调零调节底板(6)、变形计固定件(7)、变形计调零螺杆(9)和变形计(11);1 对样品粘合板(10)与 1 个测试样品(12)粘合形成试样组件;将试样组件通过 20 个盘头螺钉(8)与 2 组夹具主板固定在一起。试样组件固定好之后,通过调节变形

计调零螺杆(9)将变形计调零微调板(5)与变形计(11)的位移测试头接近,再通过变形计调零微调螺栓(4)调节变形计调零微调板(5)使变形计(11)归零,由六角法兰螺栓(2)和压缩弹簧(3)保证变形计调零微调板(5)的平衡。测试完成后,拆开盘头螺钉(8),将试样组件从夹具主板上拆除,并更换安装下一组试样组件。经过这种改进的压缩剪切夹具测试时,变形计调零更加方便,而且可以制作多对样品粘合板,每次可以通过一套夹具完成多个剪切样品的测试,大大提高了实验的效率。该组合压缩剪切夹具已获得中国实用新型专利授权^[11]。

2 组合压缩剪切夹具的验证

为了验证改进夹具的可靠性,采用几种夹层结构纸板对组合压缩剪切夹具的测试结果与国家标准压缩剪切夹具进行了对比。

2.1 实验准备

2.1.1 实验仪器装置

实验仪器有:万能试验机,型号 GT-TCS-2000,高铁检测仪器有限公司生产;组合压缩剪切夹具(组合夹具),自制,其结构示意如图3所示;国家标准压缩剪切夹具(标准夹具),江都市明珠实验仪器厂制作。

2.1.2 测试样品制备

由于蜂窝纸板和高强瓦楞纸板为各向异性材料,因而分别对样品进行横向与纵向压缩剪切测试,见图4。

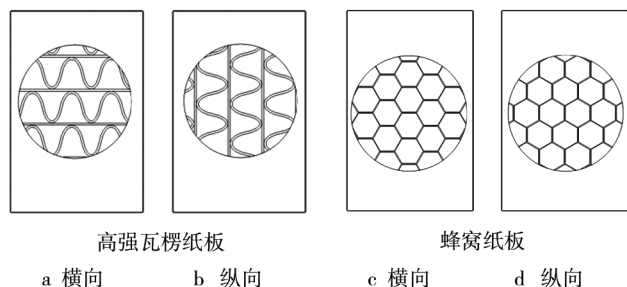


图4 纸板方向示意

Fig. 4 Schematic diagram of paperboard direction

实验所用黏合剂为合众 AAA 超能胶,浙江黄岩光华胶黏剂厂生产。选取 10, 15, 20, 30 mm 等 4 种厚度的蜂窝纸板和 20, 30 mm 等 2 种厚度的高强瓦楞纸板共 6 组试样,每组试样有 6 件样品,其中 1 件样品用标准夹具测试,其余样品用组合夹具测试。将纸板

按不同种类、厚度和方向裁切为 150 mm×60 mm 的样块,检查相同厚度样块的质量以保证试样的均一性。试样与加载金属板或样品粘合板粘合之前,用砂纸对钢板工作面打磨,并用酒精擦拭干净;用黏合剂将试样粘接在加载金属板或样品粘合板上,至少使黏合剂固化 24 h 并进行恒温恒湿处理。

2.2 压缩剪切实验

标准夹具:将整套夹具置于如图1所示的上下V形压头垫块中,调整试验机使上下变形计的读数相同,压紧并调整载荷零点,即可开始测试,见图5a;组合夹具:用螺钉把试样组件安装于夹具组上,然后再将整组夹具按照国家标准压缩剪切夹具的安装方法装于试验机上,见图5b。

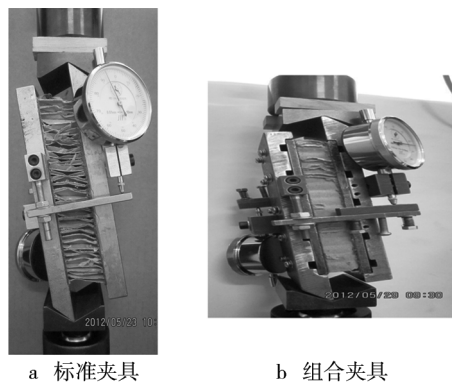


图5 压缩剪切夹具及试样安装

Fig. 5 Installation of compression shear fixture

测试时以 1 mm/min 的速度均匀施加载荷,连续加载直到试样破坏——纸芯倾斜、面纸与夹芯分离以及载荷-变形曲线下降,记录测试过程中的载荷和变形数据。测试时环境温度为 23 ℃,相对湿度为 50%。

2.3 2 种压缩剪切夹具的数据对比

6 组纸板样品得到了如图6所示的载荷-变形数据,每个小图中包含该样品 2 种夹具横向和纵向的测试数据。图6中:标准-纵向表示标准夹具、纵向样品的测试数据;标准-横向表示标准夹具、横向样品的测试数据;组合-纵向表示组合夹具、纵向样品的测试数据;组合-横向表示组合夹具、横向样品的测试数据。其中组合夹具所测数据为 5 件样品测试曲线的平均值。

通过图6可以看出,不同样品采用 2 种夹具所得测试数据曲线基本相同,每条数据曲线基本都呈现为 2 个阶段:线弹性变形段和屈服下降段。总体上看 2 种夹具所测的样品横向压缩剪切曲线一致性好,而样品纵向压缩剪切曲线一致性较差。通过观察可以发

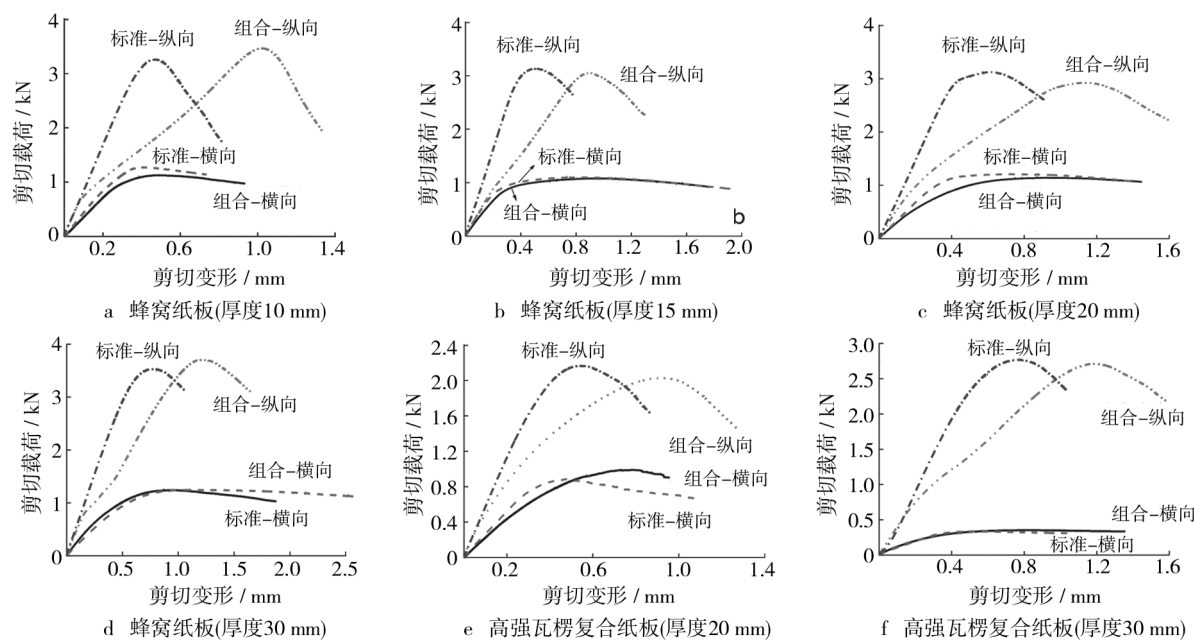


图6 2种夹具测得的载荷-变形曲线对比

Fig. 6 Comparison of load-displacement curves tested by two kinds of fixture

现,样品横向压缩剪切最大值都小于 1000 N,而样品纵向压缩剪切最大值都大于 2000 N。此外还可以发现,在相同剪切变形时组合夹具所测剪切载荷数值一般都要小于标准夹具所测数据。由于组合夹具制作比较粗糙,根据上述数据认为组合夹具结构在测试受压时本身也会发生一定的变形,压缩载荷越大与标准夹具的差别越明显。

两种夹具所得到的压缩剪切载荷最大值见表 1。

表 1 两种夹具所测的压缩剪切载荷最大值及其差值
Tab.1 Shear yield values and their difference tested by two kinds of fixture

样品及厚度	方向	标准夹具/N	组合夹具/N	差值/%
蜂窝纸板	横向	1265	1120	-10.4
(10 mm)	纵向	3255	3461	6.33
蜂窝纸板	横向	1094	1096	0.18
(15 mm)	纵向	3128	3050	-2.49
蜂窝纸板	横向	1173	1133	-3.41
(20 mm)	纵向	3122	2922	-6.41
蜂窝纸板	横向	1243	1241	-0.16
(30 mm)	纵向	3528	3700	4.88
高强瓦楞复	横向	886	989	9.87
合纸板(20 mm)	纵向	2162	2026	-6.29
高强瓦楞复	横向	331	353	6.65
合纸板(30 mm)	纵向	2764	2709	-1.99

由表 1 可见,所测各数据的差值基本都在 10% 以下,可以代替标准夹具使用。如提高组合夹具的制作精细程

度,组合夹具可以得到与标准夹具相同的数据曲线。

3 结语

针对国家标准压缩剪切夹具存在的不足进行了改进,并进行了试验验证。改进后的夹具装置变为组合式结构,可以制作多组样品粘合板,从而利用一套夹具装置进行多个样品的压缩剪切测试,试样组件制作方便,大大提高了试验的效率,若同时进行多件样品测试相对标准夹具可以大大降低夹具的制作费用。对改进的组合夹具验证表明,所得的压缩剪切载荷曲线与标准夹具稍有差别,压缩剪切载荷屈服值差别在 ±10% 以内。若进一步提高夹具的制作精度,组合夹具完全可以代替标准夹具使用。

参考文献:

[1] GB/T 1455—2005, 夹层结构或芯子剪切性能试验方法[S].
GB/T 1455—2005, Test Method for Shear Properties of Sandwich Constructions or Cores[S].
[2] ASTM 273—2000, Test Method for Shear Properties of Sandwich Constructions or Cores[S].
[3] 谭永刚,肖军,李勇,等. 夹层结构剪切试验方法分析与改进[J]. 复合材料学报,2008,25(3):115—120.

- TAN Yong-gang, XIAO Jun, LI Yong, et al. Analysis and improvement of the sandwich shear test method[J]. Acta Materiae Compositae Sinica, 2008, 25(3): 115-120.
- [4] SCHNEIDER K, LAUKE B, BECKERT W. Compression Shear Test (CST) - A Convenient Apparatus for the Estimation of Apparent Shear Strength of Composite Materials[J]. Applied Composite Materials, 2001, 8(1): 43-62.
- [5] 郭彦峰, 辛成龙, 许文才, 等. 蜂窝纸板结构平压性能有限元分析[J]. 包装工程, 2009, 30(1): 34-35, 40.
- GUO Yan-feng, XIN Cheng-long, XU Wen-cai, et al. Finite Element Analysis on the Flat Crush Property of Honeycomb Structure[J]. Packaging Engineering, 2009, 30(1): 34-35, 40.
- [6] 计宏伟, 徐革玲, 李俊超, 等. 蜂窝纸板侧压强度实验研究[J]. 包装工程, 2006, 27(6): 90-91.
- JI Hong-wei, XU Ge-lin, LI Jun-chao, et al. Experimental Investigation of Edgewise Compression Properties of High-strength Composite Corrugated Cardboard[J]. Packaging Engineering, 2006, 27(6): 90-91.
- [7] 温时宝. 高强瓦楞复合纸板侧压性能实验研究[J]. 包装工程, 2011, 32(19): 62-65.
- WEN Shi-bao. Experimental Investigation of Edgewise Compression Properties of High-strength Composite Corrugated Cardboard[J]. Packaging Engineering, 2011, 32(19): 62-65.
- [8] 徐永君, 李敏, 战颂, 等. 蜂窝结构抗剪性能实验研究及其数值模拟[J]. 实验室研究与探索, 2007, 26(10): 233-234.
- XU Yong-jun, LI Min, ZHAN Song, et al. Shearing Properties Study of Honeycomb Structure by Indoor Testing and Numerical Analysis[J]. Research and Exploration in Laboratory, 2007, 26(10): 233-234.
- [9] 李厚民. 蜂窝纸板受压时的有限元分析[J]. 包装工程, 2006, 27(1): 34-36.
- LI Hou-min. FEM Analysis of the Compression Properties of Honeycomb Paperboard[J]. Packaging Engineering, 2006, 27(1): 34-36.
- [10] 邵文全, 计宏伟, 李砚明, 等. 蜂窝纸板剪切强度实验研究[J]. 包装工程, 2008, 29(2): 10-11.
- SHAO Wen-quan, JI Hong-wei, LI Yan-ming, et al. Experimental Research on the Shear Strength of Honeycomb Paperboard[J]. Packaging Engineering, 2008, 29(2): 10-11.
- [11] 温时宝. 一种快速更换试样的夹层结构压缩剪切测试夹具: 中国, 201120160447. 7[P]. 2011-05-11.
- WEN Shi-bao. A Compression Shear Test Fixture with Rapid Replacement Sample for Sandwich Structure: China, 201120160447. 7[P]. 2011-05-11.
-
- (上接第 15 页)
- [4] 顾继友, 高振华, 谭海彦, 等. 异氰酸酯稻草刨花板制造工艺的研究[J]. 林产工业, 2000, 27(3): 14-18.
- GU Ji-you, GAO Zhen-hua, TAN Hai-yan, et al. Studies on Production Technology of Rice-straw Particleboard with Isocyanate Resins[J]. China Forest Products Industry, 2000, 27(3): 14-18.
- [5] 徐信武, 吴清林, 周定国, 等. 改性异氰酸酯胶黏剂稻草刨花板的研究[J]. 南京林业大学(自然科学版), 2003, 27(3): 21-25.
- XU Xin-wu, WU Qing-lin, ZHOU Ding-guo, et al. An Experimental Trial of Manufacturing Rice Straw-based Particleboard with Modified MDI Resin[J]. Journal of Nanjing Forestry University (Natural Science Edition), 2003, 27(3): 21-25.
- [6] 王高升, 邵文泉, 王丽, 等. 农作物秸秆缓冲包装材料的研制[J]. 包装工程, 2001, 22(6): 16-19.
- WANG Gao-sheng, SHAO Wen-quan, WANG Li, et al. Development of Cushioning Packaging Materials Making Use of Crops Straw[J]. Packaging Engineering, 2001, 22(6): 16-19.
- [7] 徐信武, 吴清林, 周定国, 等. 改性异氰酸酯胶黏剂稻草刨花板的吸湿特性[J]. 林产工业, 2003, 30(3): 18-21.
- XU Xin-wu, WU Qing-lin, ZHOU Ding-guo, et al. Fundamental Hygroscopic Characteristics of Rice Straw-based Particleboard with Modified MDI Resin[J]. China Forest Products Industry, 2003, 30(3): 18-21.
- [8] 严永林, 李新功, 刘晓荣. 稻草碎料板热压工艺研究[J]. 中南林业科技大学学报, 2012, 32(1): 126-129.
- YAN Yong-lin, LI Xin-gong, LIU Xiao-rong. Study on Hot-pressing Process of Straw Particle Board[J]. Journal of Central South University of Forestry and Technology, 2012, 32(1): 126-129.
- [9] 王逢瑚, 白波, 李鹏, 等. 原料表面碱液处理对稻草碎料板力学性能的影响[J]. 林业机械与木工设备, 2007, 35(11): 29-31.
- WANG Feng-hu, BAI Bo, LI Peng, et al. Effect of the Surface Alkali Liquor Processing on the Mechanical Properties of the Rice Straw Particle Board[J]. Forestry Machinery and Woodworking Equipment, 2007, 35(11): 29-31.