

复合板材双剪切试验方法与装置

杜 强,丁 荣,吕 晶,陈一秀

(长安大学 建筑工程学院,陕西 西安 710061)

摘 要:针对复合板材在工程应用中的力学性能分析需求,为测量其平行于试件面板方向的剪切破坏荷载,以能够较准确表征复合板材双剪状态下的应力分布情况,研究了复合板材双剪切试验方法,设计了双剪切试验装置,并对不同芯材和不同厚度的结构保温板进行了双剪切试验,分析了其破坏形态和剪切力学性能。研究结果表明:各试件双剪切破坏面形态合理,应力-应变曲线数据稳定;EPS(聚苯乙烯泡沫)芯材试件抗剪破坏形式为脆性破坏,而岩棉芯材试件受剪开裂后,抗剪强度不会立即丧失,而是逐渐降低;随着试件芯材厚度的增加,EPS 芯材试件应力峰值和应变随之减小,两者变化均为非线性,而岩棉芯材试件应力峰值随之减小,应变则无明显相关关系。该方法与装置为进一步研究复合板材的力学性能提供了试验方法。

关键词:建筑工程;双剪切;复合板材;试验方法;试验装置

中图分类号:TU502.6

文献标志码:A

Double shear testing method and device for composite panels

DU Qiang, DING Rong, LU Jing, CHEN Yi-xiu

(School of Civil Engineering, Chang'an University, Xi'an 710061, Shaanxi, China)

Abstract: With regard to the demand of mechanical performance of composited panels in the engineering application, the double shear testing method was studied and the device was designed, aiming to measure the shear failure load in the direction parallel to the panels and characterize the stress distribution of composite panels in double shear state. Double shear test on structural insulated panels with different core materials and thickness was conducted; the failure modes and mechanical properties were analyzed. The results show that the failure surface shapes of specimens in the double shear test are appropriate and the data of the stress-strain curve is steady. The shear failure mode of EPS cored specimens belong to brittle failure, while the rock wool cored specimens don't lose their strength immediately after cracking but gradually reduce. With the increase of core material thickness of the specimen, the peak stress and strain of EPS cored specimen reduce nonlinearly; while the peak stress of rock wool cored specimen reduces but strain has no obvious correlation. The method and device can provide testing method for further research on mechanical properties of composited panels. 2 tabs, 12 figs, 16 refs.

Key words: civil engineering; double shear; composite panels; testing method; testing device

收稿日期:2015-07-10

基金项目:教育部博士点基金项目(20110205120005);陕西省国际合作重点项目(2013KW13-01);中央高校科研基金高新技术项目(2014G2280013,310828151065);西安市建设科技计划项目(SJW201225,SJW201322,SJW2014003)

作者简介:杜 强(1981-),男,河南洛阳人,副教授,工学博士,E-mail:qiang_du@126.com。

0 引言

随着中国节能减排与建筑产业化战略的实施,具有保温芯材的复合板材在工程领域得到了越来越广泛的应用。目前针对复合板材的研究大都集中于材料的制备、保温、隔声等性能优化方面,针对其层合结构特点的力学试验方法研究相对有限^[1-5];尤其作为墙体构件的复合板材在水平荷载作用下常处于受剪状态,研究其抗剪性能十分关键。近年来,国内外学者对复合材料的剪切测试方法与抗剪性能进行了一定的研究。Thai 等提出了一种逆切线剪切变形理论,对正交复合板材的振动与屈曲进行了分析^[6];Chu 等基于双剪切机制和动力学理论,建立联动机制的动力学模型,提出了一种定量的双剪切分析方法^[7];Szekrényes 通过三阶剪切变形理论分析了分层正交复合板材的力学性能^[8];姜云鹏等对金属基复合材料双剪切试样的应力应变分布进行蠕变有限元计算分析,得到受剪区的应力应变随时间的分布规律^[9-10];谭永刚等提出了一种改进的压剪试验方法,通过改变加载方式来降低弯曲效应^[11]。

结合相关的理论研究,国内外学者对板材的剪切性能测试方法和装置进行了一些探索。王瑞等对双切口拉伸-压缩式层间剪切试验夹具及试验片形状与尺寸进行了改进设计,提出了双切口开孔拉伸式层间剪切强度测试和评价方法^[12];孔庆瑞等设计了一种方形截面试件剪切试验装置,解决了剪切试件与导轨板间的摩擦问题^[13];Magistris 等针对木材在剪切和压缩作用下的复合受力情况,设计了一种改进的剪切测试装置,并通过数值模拟验证了装置的可靠性^[14];Hossain 等研究了一种利用金属板的剪切变形能力吸收地震能量的被动耗能剪切面板设备,并建立了几何非线性有限元模型^[15]。

上述研究主要集中于对金属与木质板材抗剪性能的测试,针对常用于土木工程中的层合板材剪切性能测试方法的研究相对有限,如用作墙体构件的结构保温一体化板材在水平荷载作用下并非受到纯粹的剪切力,传统的测试方法所测得的抗剪强度无法有效表征其真实的受力情况。本文以此为出发点,研究复合板材的剪切试验方法及相应的装置。

1 试验方法和思路

本文根据复合板材用于建筑墙体时的实际受力情况,测量其在平行于试件面板方向的剪切破坏荷载,以能够较准确地表征复合板材双剪状态下的应

力分布情况。

在试验设计思路上,拟在 2 块相同试件之间粘接一块刚性板材进行提拉,使 2 块试件共同受剪,以测试其剪切强度。因此需要设计相应的辅助试验装置,来解决试件的支撑和连接问题。支撑部分用于固定试件并连接万能试验机上部,连接部分用于连接万能试验机下部。支撑部分由 3 部分组成,如图 1 所示:1 为 2 块底部向内弯折的 L 型钢板,侧面与底部分别开孔;2 为 1 块 T 型钢板,上部与试验机移动端相连;3 为 2 块相同的复合板材试件。连接部分由 2 部分组成,如图 2 所示:1' 为 3 条与支撑装置相连的导轨;2' 为与下部试验机相连的螺栓。通过此方法可测得试件的双剪切强度^[16]。

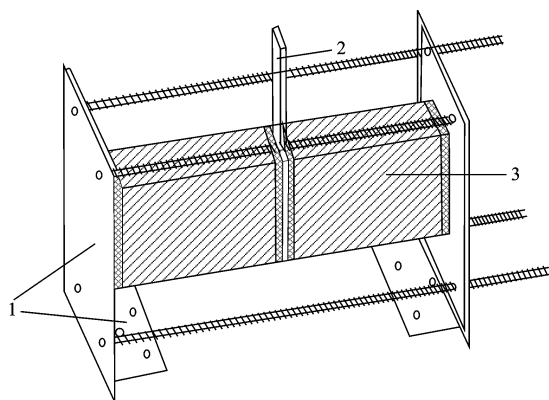


图 1 双剪切试验可调式支撑部分概念

Fig. 1 Conceptual design of adjustable supporting system for double shear test

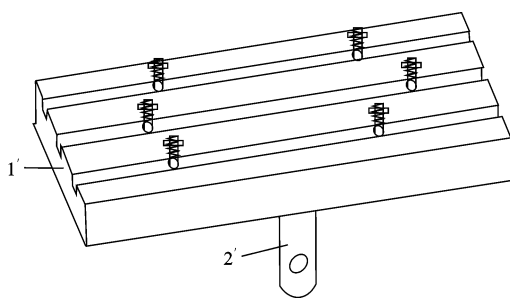


图 2 双剪切试验可调式连接部分概念

Fig. 2 Conceptual design of adjustable connecting system for double shear test

2 试验装置

双剪切试验可使用微控万能试验机完成,试验实现的关键是通过刚性支撑装置将荷载传递到试件上。通过设计 1 套支撑与连接装置来解决刚性支撑装置的问题。复合板材的厚度有多种规格,需要装置具有可调节性,并考虑其准确性和可操作性。装置分为上下两部分,上部为固定试件并完成双剪切

试验过程的支撑装置,下部为固定支撑装置和万能试验机的连接装置。

2.1 双剪切试验支撑装置

支撑装置(图 3)由 2 片厚 16 mm 的 400 mm×300 mm 的钢板组成,大钢板底部加工成 2 片 200 mm×100 mm 的小钢板并弯折成 L 型,按图 3(b)所示位置布置 4 个 $\Phi 20$ 圆孔。通过螺栓一端固定,一端可调。试验时,采用位移控制法确定两钢板之间的长度,可以供不同厚度的试件使用,并保证

使用过程中初始状态相同。

2.2 双剪切试验连接装置

连接装置(下页图 4)由下部螺栓和上部导轨组成,下部螺栓与万能试验机的底部相连,保证在试验过程中,装置不会因横向位移而影响试验结果。上部有 3 条导轨对应支撑装置小钢板的 3 个圆孔,每条导轨配有 2 套螺栓,螺栓可以在导轨内任意滑动,可根据试件尺寸调整两侧钢片之间的距离。

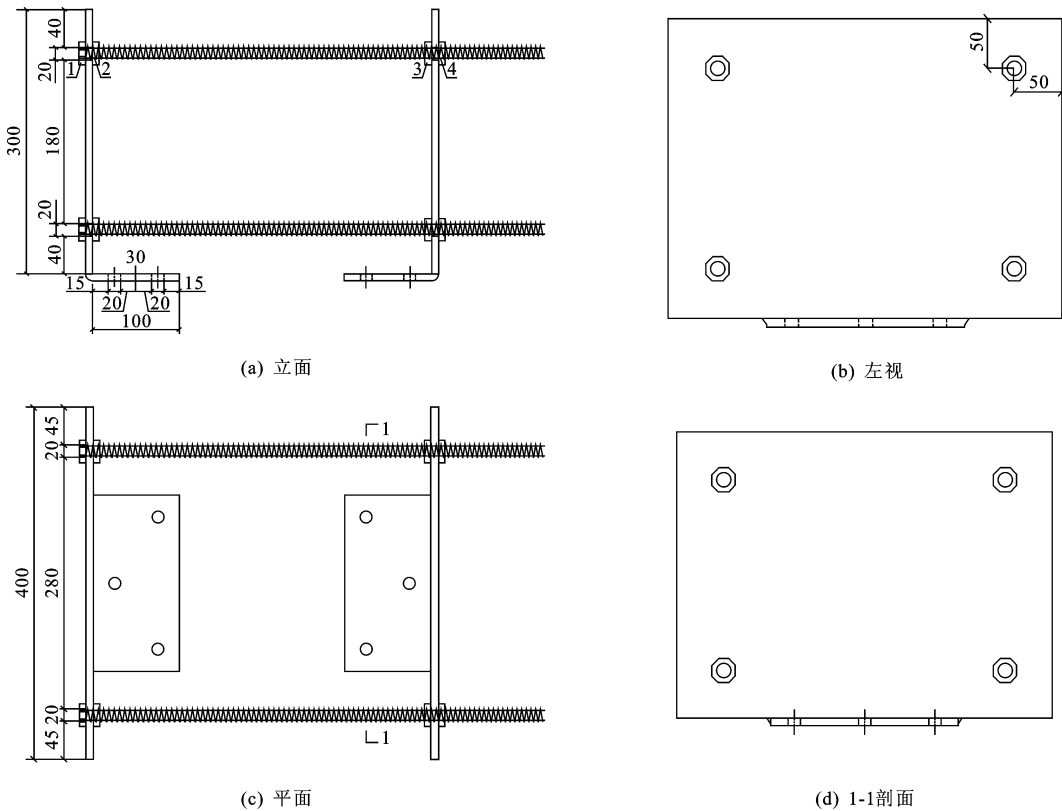


图 3 双剪切试验可调式支撑装置
Fig. 3 Adjustable supporting device for double shear test

2.3 装置使用方法

如图 1 所示,双剪切试验时,用高强螺栓将预先准备好的试件和钢板固定在支撑装置中。T 型钢板上部与万能试验机的横梁固定。两侧 L 型钢板底面通过高强螺栓固定在导轨上,可根据试件尺寸调整钢板之间的距离,从而保证装置的可调性。位置确定后,拧紧螺栓,将导轨下部固定在万能试验机上。至此,试件固定,试验准备工作完成。

3 实例验证

结构保温板(structural insulated panels, SIPs)是由 2 片定向高性能面材中间粘合硬质保温材料组成的具有一定结构功能的“三明治式”的夹心复合板

材,是一种节能环保建筑材料,在中国日益提高的节能减排与建筑工业化需求下,具有较大的应用空间。本文采用上述方法与装置对结构保温板进行双剪切试验,以验证其可应用性。

3.1 试件制备

本试验面板采用定向刨花板(oriented strand board, OSB),芯材分别采用聚苯乙烯泡沫(expanded polystyrene, EPS)和岩棉 2 种,粘结剂采用可保证试件粘结性能的 PU 胶,各材料参数介绍见下页表 1。试验依据 BS EN 12090—1997 中相关规定进行^[16]。试件横截面为 200 mm×100 mm, OSB 板厚 120 mm,考虑到结构和保温的实际要求, EPS 采用 50、100、150 mm 这 3 种厚度,岩棉采用

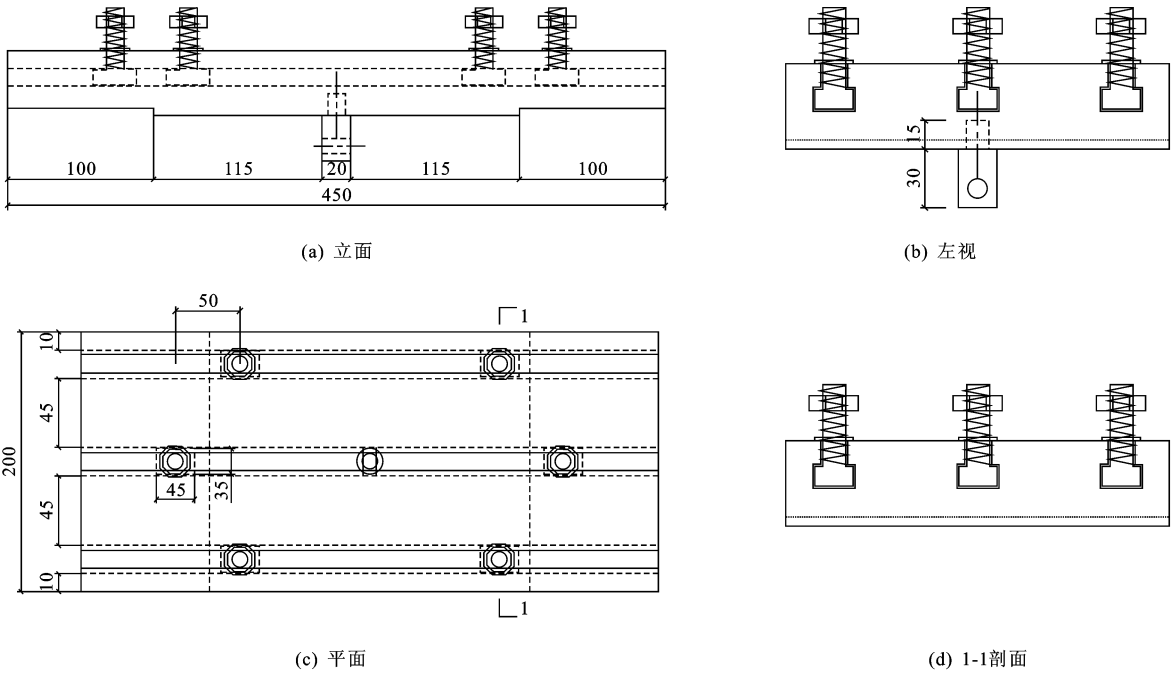


图 4 双剪切试验可调式连接装置

Fig. 4 Adjustable connecting device for double shear test

表 1 材料参数

Tab. 1 Parameters of materials

材料	OSB		EPS		岩棉	
力学参数	水平静曲强度/MPa	28	密度/($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	18	重度/($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	140
	垂直静曲强度/MPa	15	压缩强度/kPa	100	压缩强度/kPa	40
	内结合强度/MPa	0.45	断裂弯曲负荷/N	5	拉伸强度/kPa	7.5

数据来源:根据相关力学性能试验测定。

50、60、150mm 这 3 种厚度,每组 3 个试件。

3.2 试验过程及现象

加载采用位移控制,加载速度 3 mm/min,试验机自动采集试验过程中的荷载和相应的变形。采用拉伸剪切方式。开始加载后,粘接在 T 型板两侧的试件逐渐被提起,整个试件开始产生翻转趋势,随着荷载的继续增大,T 型板与试件粘结处首先开裂,荷载达到峰值,试件随之破坏,试验结束。下页图 5、图 6 分别为芯材 EPS 厚 50 mm 和岩棉厚 150 mm 的 SIP 试件破坏前后对比。

3.3 试验结果分析

试件的应力-应变曲线由试验所测得的荷载和变形计算得到,舍去无效数据,如下页图 7~图 12 所示。其中:ES100-2 表示厚 100 mm EPS 的第 2 组试件;YS60-1 表示厚 60 mm 岩棉的第 1 组试件;其他依次类推。峰值应力及应变见表 2。

试验结果表明,通过此试验方法和装置进行的双剪切试验应力-应变曲线趋势相似、数据较稳定。

同时,EPS 芯材试件剪切破坏形式为脆性破坏,试件一处被剪断,强度随即丧失。岩棉芯材试件剪切破坏形式为近塑性破坏,试件开裂后,抗剪强度不会立即丧失而是逐渐降低,这主要是由于岩棉被拉裂至破坏临界时,抗拉强度达到最大,随着拉力的增大,内部纤维陆续被撕裂,抗剪强度开始降低,直至试件被完全撕开,抗剪强度完全丧失。由表 2 可见,随着试件芯材厚度的增加,EPS 芯材试件应力峰值和应变随之减小,两者变化均为非线性;岩棉芯材试件应力峰值随之减小,应变则无明显相关关系。

表 2 双剪切应力峰值与应变

Tab. 2 Peak value of double shear stress and strain

种类	厚度/mm	剪切应力/kPa	剪切应变
EPS	50	87.73	0.066
	100	51.39	0.042
	150	33.29	0.033
岩棉	50	27.26	0.090
	60	12.80	0.034
	150	5.70	0.064

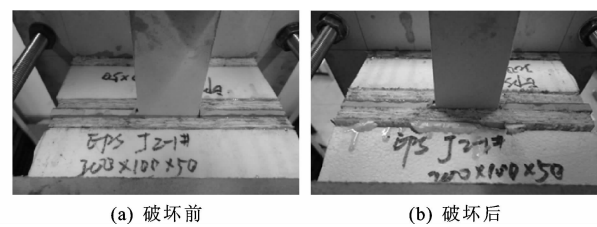


图 5 厚 50 mm EPS 芯材 SIP 试件双剪切试验前后形态对比
Fig. 5 Comparison before and after double shear test of 50 mm EPS cored specimen

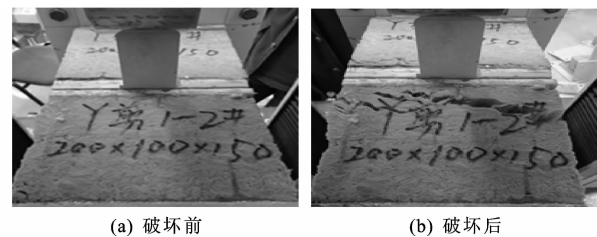


图 6 厚 150 mm 岩棉 SIP 试件双剪切试验前后形态对比
Fig. 6 Comparison before and after double shear test of 150 mm rock wool cored specimen

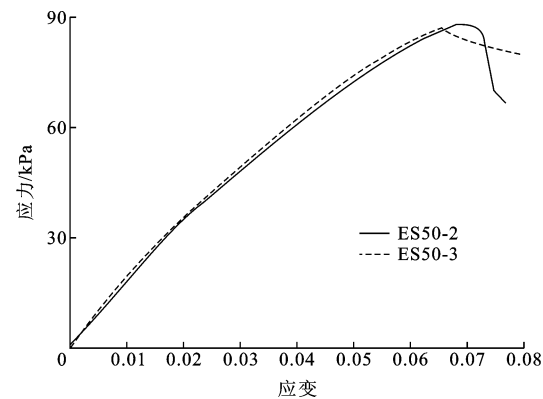


图 7 厚 50 mm EPS 双剪试验应力-应变曲线
Fig. 7 Stress-strain curves of 50 mm EPS cored double sheared specimen

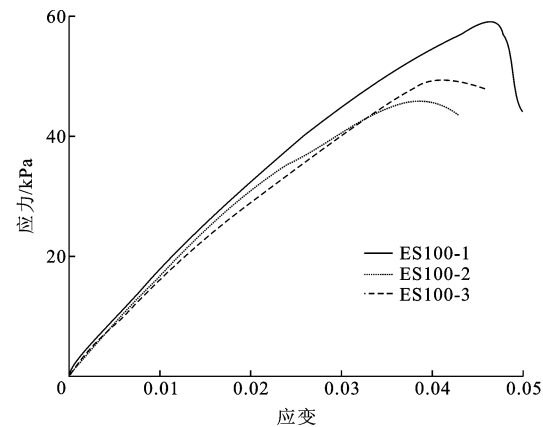


图 8 厚 100 mm EPS 双剪试验应力-应变曲线
Fig. 8 Stress-strain curves of 100 mm EPS cored double sheared specimen

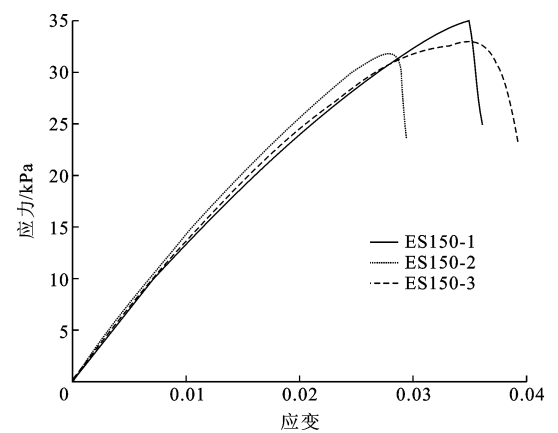


图 9 厚 150 mm EPS 双剪试验应力-应变曲线
Fig. 9 Stress-strain curves of 150 mm EPS cored double sheared specimen

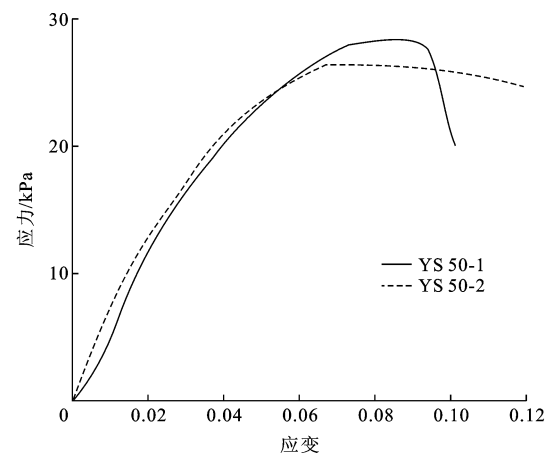


图 10 厚 50 mm 岩棉双剪试验应力-应变曲线
Fig. 10 Stress-strain curves of 50 mm rock wool cored double sheared specimen

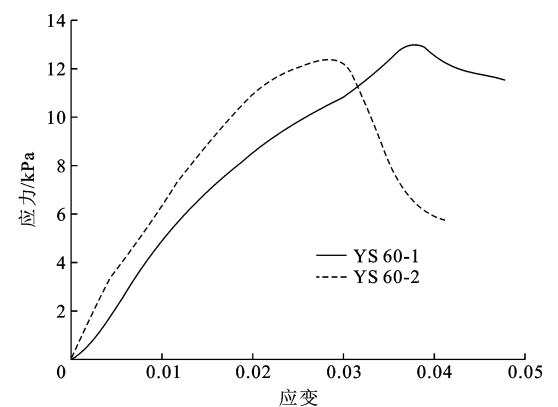


图 11 厚 60 mm 岩棉双剪试验应力-应变曲线
Fig. 11 Stress-strain curves of 60 mm rock wool cored double sheared specimen

4 结 语

(1)本文方法与装置可有效完成复合板材的双

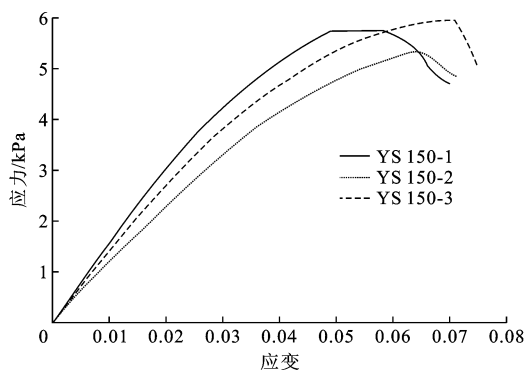


图 12 厚 150 mm 岩棉双剪试验应力-应变曲线

Fig. 12 Stress-strain curve of 150 mm rock wool cored double sheared specimen

剪切试验,并保证双剪切应力和应变的测量精度,尤其是为复合板材的抗剪切性能测试提供了试验方法和技术参考。

(2)该可调式剪切试验装置可对不同厚度复合板材进行双剪切试验。通过试验机记录剪切力-剪切位移,进行破坏界面分析,可提供较全面的复合板材剪切研究参数。结构保温板双剪切试验结果亦表明,试件厚度会影响材料性能的稳定性,随着厚度的增加,复合板材的力学稳定性下降。

(3)在双剪切试验方法与装置的进一步改进方面,可考虑用弯矩控制法代替位移控制法,提高支撑装置抗弯刚度有助于提高双剪切应力和应变的测量精度。

(4)此双剪装置具有结构简单可靠、操作方便等特点,在复合板材广泛应用的背景下,具有较好的推广价值。

参考文献:

References:

- [1] 孔凡涛,陈玉勇. γ -TiAl/TC4 复合板材的制备及组织性能研究[J]. 稀有金属材料与工程, 2009, 38(8): 1484-1486.
KONG Fan-tao, CHEN Yu-yong. Preparation of γ -TiAl/TC4 composite sheet and its microstructure and properties[J]. Rare Metal Materials and Engineering, 2009, 38(8): 1484-1486. (in Chinese)
- [2] Mohammed B Y, Tan C K, Wilcox S J, et al. Damage characterisation of carbon fibre reinforced composite plate using acoustic emission[J]. Key Engineering Materials, 2013, 558(6): 184-194.
- [3] 卢子兴,王晓英,俸翔. 复合材料层合板临界屈曲载荷分散性[J]. 复合材料学报, 2013, 30(1): 194-200.
LU Zi-xing, WANG Xiao-ying, FENG Xiang. Critical

buckling load discrepancy of composite laminates[J]. Acta Materiae Compositae Sinica, 2013, 30(1): 194-200. (in Chinese)

- [4] 李亮,贾普荣,王文贵,等. 复合材料铺层拼接层间断裂韧性的试验研究[J]. 应用力学学报, 2009, 26(2): 348-351.
LI Liang, JIA Pu-rong, WANG Wen-gui, et al. Fracture toughness test of composite with ply splice[J]. Chinese Journal of Applied Mechanics, 2009, 26(2): 348-351. (in Chinese)
- [5] 王玲,贾普荣,王文贵,等. 铺层拼接层合板抗拉强度研究[J]. 科学技术与工程, 2008, 81(11): 2874-2876.
WANG Ling, JIA Pu-rong, WANG Wen-gui. Study of tension strength for the laminate with ply splice[J]. Science Technology and Engineering, 2008, 81(1): 2874-2876. (in Chinese)
- [6] Thai C H, Ferreira A J M, Bordas S P A, et al. Iso-geometric analysis of laminated composite and sandwich plates using a new inverse trigonometric shear deformation theory[J]. European Journal of Mechanics-A/Solids, 2014, 43(1): 89-108.
- [7] Chu Z B, Huang Q X, Ma L F, et al. Research on rolling-cut double-side shear in kinetics[J]. Advanced Materials Research, 2011, 145: 420-423.
- [8] Szekrényes A. Application of reddy's third-order theory to delaminated orthotropic composite plates[J]. European Journal of Mechanics-A/Solids, 2014, 43(1): 9-24.
- [9] 姜云鹏,岳珠峰. 高温下的金属基复合材料双剪切试样应力应变有限元分析[J]. 材料工程, 2003(10): 23-25.
JIANG Yun-peng, YUE Zhu-feng. FEM Analysis of stress and strain on double shear specimens of metal matrix composites at high temperature[J]. Journal of Materials Engineering, 2003(10): 23-25. (in Chinese)
- [10] 岳珠峰,胡卫兵,吕震宙. 双剪切试样用于短纤维金属基复合材料的蠕变响应研究[J]. 金属学报, 2003, 39(1): 104-108.
YUE Zhu-feng, HU Wei-bing, LU Zhen-zhou. Application of the double shear creep specimens on the fiber-reinforced metal matrix composites[J]. Acta Metallurgica Sinica, 2003, 39(1): 104-108. (in Chinese)
- [11] 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.