

毛竹/杉木层积复合材弯曲与剪切破坏的微观形变过程¹⁾

王戈 江泽慧

于文吉

(国际竹藤网络中心,北京,100102)

(中国林业科学研究院)

摘要 利用扫描电镜在位拉伸方法(ISL-SEM),研究了毛竹/杉木层积复合材在受到外力作用下3点弯曲和剪切破坏的微观形变过程;结合扫描电镜所观测的形貌图,分析了该情况下层积材的典型破坏规律;总结了气干和水湿处理后,竹杉层积复合材剪切破坏模式以及气干条件下弯曲破坏模式。

关键词 毛竹杉木层积材;扫描电镜在位拉伸;弯曲;剪切;破坏模式

分类号 S781

Bending and Shearing Failure Process of Moso bamboo-Chinese Fir Laminated Composites/Wang Ge, Jiang Zehui (International Center for Bamboo and Rattan, Beijing 100102, P. R. China); Yu Wenji (Chinese Academy of Forestry)/Journal of Northeast Forestry University. -2008, 36(2). -27~29

The micro-failure process of three-point bending and shearing strength on Moso bamboo-Chinese fir laminated composites under loading was investigated by the in-situ linear-scan electron microscope method (ISL-SEM). The typical failure regularities were analyzed in accordance with the images observed by scanning electron microscope. The breakage patterns of Moso bamboo-Chinese fir laminated composites, including shearing failure after air-dry and water soaking and bending failure under air-dry condition, were also summarized.

Key words Moso bamboo-Chinese fir laminated composites; In-situ linear-scan electron microscope; Bending; Shearing; Failure patterns

复合材料的破坏行为是一种动态的过程,它可能是某一种变化或破坏形式先发生,也可能几种破坏形式同时发生。国内外对破坏后的木材或竹材状态已做过大量的研究,但对动态的破坏过程研究相对很少^[1-6]。利用扫描电镜在位拉伸方法可以对固体材料受力时的微区变形、破坏演化过程进行跟踪观察,为描述材料的形变、裂纹扩展和界面破坏规律提供了一种非常有用的手段^[7-9]。本文利用此方法研究毛竹与杉木层积复合材破坏时的动态变化过程,以直观图像的形式观察在施加外力的情况下,竹杉层积复合材弯曲和剪切破坏微观形貌,了解破坏发生的薄弱位置,为有针对性的改进层积材制造工艺提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料采集和试样加工

毛竹(*Phyllostachys pubescens* Mazel ex H. de Lebaie)采自浙江省杭州萧山区,5年生,取去除竹青和竹黄的精刨竹条。杉木(*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook.)采自湖南省汉寿县军山铺乡的人工林,树龄14 a,取弦向边材,四面刨光加工成杉木条。胶黏剂采用双组分聚异氰酸酯乳液型胶黏剂(简称EPI胶),购自太尔公司,型号为DYNOLINK-8000G。

试验用两种毛竹和杉木层积复合结构:①将毛竹条和杉木条分别加工成1 mm厚的薄条,选取上下表层为毛竹,芯层为杉木的层积复合形式进行胶合(简称BFB型),制成名义规格为(长×宽×厚)30 mm×5 mm×3 mm的弯曲试验用试样,含水率平衡为8%~10%。②将毛竹条和杉木条分别加工成2 mm厚的薄条,毛竹与杉木2层层积胶合(简称BF型),制成名义规格为(长×宽×厚)22 mm×8 mm×4 mm的胶层剪切试验用试样,其中胶层剪切面的面积为5 mm×8 mm。

胶合工艺:在25℃下,EPI胶黏剂主剂与助剂混合比为100:15,采用冷压胶合,涂胶量250 g/cm²,压力1.5 MPa,保压

时间60 min,卸压后室温堆放72 h。

1.2 试验原理及方法

用扫描电镜在位拉伸方法(简称ISL-SEM),采用扫描电镜及微拉伸仪进行研究,微拉伸仪置于扫描电镜样品室中。一般将按要求加工制备的试样固定在加载台上,利用不同的夹具进行拉伸、压缩、弯曲试验。施加于试样上的力作用在力传感器上,并将力传感器上所受到的拉力或压力转换成相应的电信号,利用计算机进行处理。同时,利用扫描电镜按照不同的放大倍率直接观察试件的变化情况,并将扫描图像记录下来。该方法可以对材料拉伸、压缩、弯曲等破坏形式进行在位观察,形貌图像完全用计算机采集、储存和编辑处理。

本试验设置采集记录显示间隔为5 N/点;加载最大力值为2 000 N;加载行程为0~5 mm;加载速度为0.005 mm/min。具体试验过程如下:

BFB型竹杉层积复合材ISL-SEM 3点弯曲试验——将BFB试样放入扫描电镜在位拉伸仪的3点弯曲夹具中固定,跨距20 mm,关闭在位拉伸室,抽真空,启动扫描电镜,设置加载参数。在加载的不同阶段观察材料侧面的变化状态,利用扫描电镜拍摄变化形貌图像,共测3组试样。试样及加载方式如图1所示。

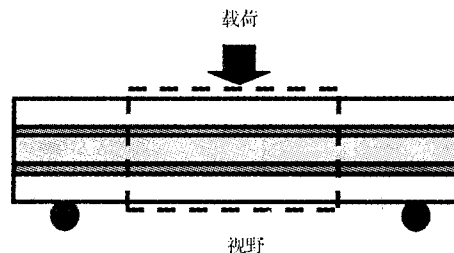


图1 BFB型3点弯曲ISL-SEM试验的加载方式示意图

BF型竹杉层积复合材ISL-SEM胶层剪切试验——将BF型试样放入扫描电镜在位拉伸仪的剪切夹具中固定,使胶合面位于加载力的中心线上进行检测,其它试验操作步骤同BFB 3点弯曲试验中所述。另外,为了更深入地了解水分对竹杉复合材料胶层界面的影响,还将BF型试样经过6 h 60℃水浸处理,然后4 h 105℃干燥,再进行ISL-SEM胶层剪切试验,每

1) 国家“十一五”支撑项目(2006BAD19B07)和国家林业局“948”引进项目(2003-4-27)。

第一作者简介:王戈,男,1965年8月生,国际竹藤网络中心,副研究员。

收稿日期:2007年5月16日。

责任编辑:张玉。

种处理方法各测3组试样。试样及加载方式如图2所示。

2 结果与分析

利用 ISL-SEM 方法试验获得的竹杉3层层积复合材料 BFB 型的弯曲动态破坏过程形貌见图3, BF 型2层复合材料干状态和水浸处理后试件的胶层剪切动态破坏过程形貌分别见图4和图5。ISL-SEM 法竹杉层积复合材料静曲强度和剪切强度测试结果见表1。

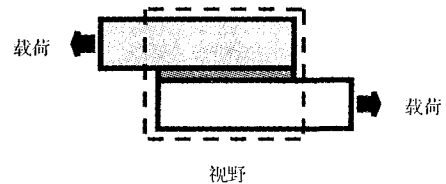


图2 BF型剪切破坏 ISL-SEM 试验的加载方式示意图

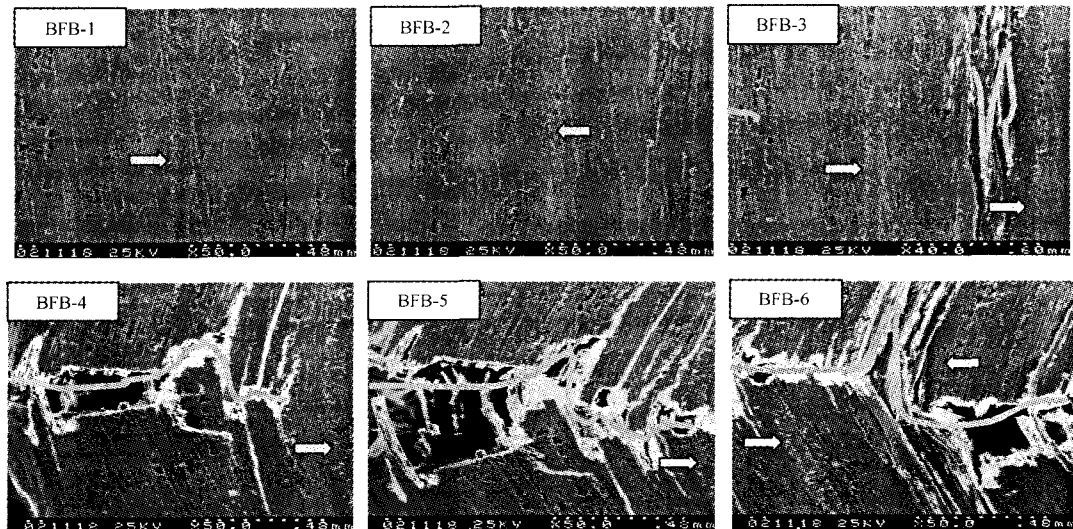


图3 BFB型层积复合材3点弯曲 ISL-SEM 试验的动态典型破坏过程形貌

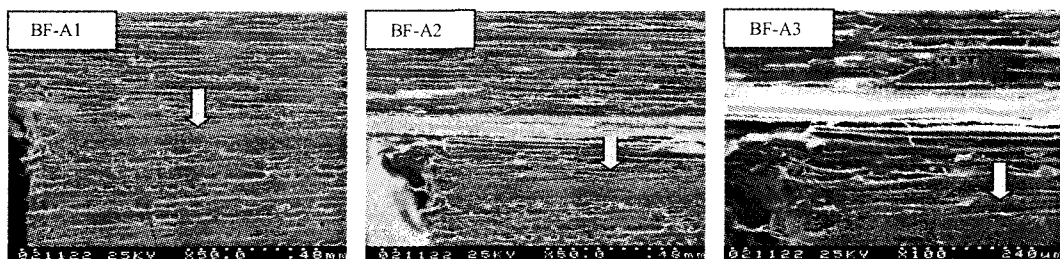


图4 气干条件下 BF 型层积复合材料 ISL-SEM 试验的动态剪切典型破坏过程形貌

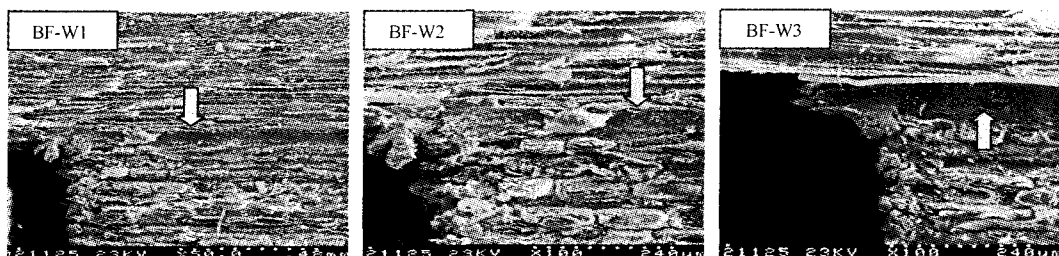


图5 经水浸干燥处理后 BF 型层积复合材料 ISL-SEM 试验的动态剪切典型破坏过程形貌

从图3以及试验的观察可知,毛竹和杉木3层层积复合材料(BFB型)的典型动态破坏过程为:加载开始,受压侧的竹材产生微小的变形,但毛竹和杉木以及各胶层并未产生变化(图3的BFB-1和BFB-2)。随着加载的继续,芯层杉木产生小的剪切裂纹(图3的BFB-3),接着受拉侧的毛竹表面开始断裂,维管束断裂与薄壁细胞的断裂交替进行(图3的BFB-4)。随着载荷的增加,裂纹延伸穿透靠近受拉侧的竹

杉之间胶层(图3的BFB-5),这时,杉木的剪切裂纹以及纤维的断裂也在进行,二者裂纹连通,并穿过另一个胶层,开始在受拉侧的毛竹层扩展,直至完全断裂(图3的BFB-6)。从整个破坏的过程看,胶层与毛竹的结合界面较为牢固,未产生破坏(图3的BFB-4、BFB-5、BFB-6箭头所示),胶层附近的杉木层有破坏的现象,主要为杉木的剪切破坏,胶层的破坏主要是以拉断为主。总结其破坏过程的模式见图6所示。

其总的破坏过程为受力竹表层变形以及芯层杉木剪切破坏(模式I);受拉竹材表层开裂(模式II),裂纹延伸,贯穿胶层(模式III),裂纹继续扩展,最后贯穿另一侧胶层直至受压层材料(模式IV)。

表1 ISL-SEM 法竹杉层积复合材料静曲强度和剪切强度测试结果

层积复合形式	静曲强度/MPa	剪切强度/MPa
BFB-A	79.7(0.8)	—
BF-A	—	4.3(0.6)
BF-W	—	3.0(0.5)

注:A-气干状态;W-经水浸干燥处理;括号中数值为标准差。

为了深入了解水对竹杉复合材料产生的影响,同时研究了气干和经水浸干燥处理后竹杉层积复合试件及其胶层剪切强度的变化。从图4可以明显看出,气干时,竹杉层积复合试件的剪切破坏主要发生在杉木一侧靠近胶层处,胶层与杉木的结合面并没有产生破坏和剥离(图4的BF-A1、BF-A2、BF-A3),它的破坏状态模型如图7中的模式一,气干状态竹杉胶合试件的木破坏率高,且大部分是杉木的破坏。试验中发现毛竹的表面破坏形式较少,说明毛竹本身的剪切强度较高,这与毛竹比杉木的剪切强度高的事实相符,并且毛竹气干状态的胶层强度也要高于杉木的本身强度^[10]。

从图5看出,经过水浸干燥处理后的竹杉层积复合试件,在进行剪切破坏试验时,破坏主要发生在胶层与杉木的胶合

层面,即胶层与杉木剥离(图5的BF-W1、BF-W2、BF-W3),它的破坏状态模式如图7中的模式二。说明水对胶层与杉木的破坏程度要大于对胶层与竹材的破坏程度。分析原因主要是因为毛竹的实质密度大,其渗透性也差,特别是径向,这一点从有关毛竹和杉木的渗透性可知,水分不易通过毛竹渗入到胶黏剂与之结合部位,仅通过侧部浸入,对EPI胶与竹杉的交联界面破坏程度相对较小;而杉木的情况不同,相对于毛竹,由于杉木密度低,并且存在横向的通道木射线,水分更容易通过杉木径向浸入杉木与胶层之间,通过湿热交替变化,产生较大应力变化,对胶层产生较大破坏。

从表1的数据也可以了解到,ISL-SEM方法得到的静曲强度和剪切强度的具体数值与宏观测试的平均数据(158 MPa)相比略小^[10-11]。由于本试验采用小尺寸试件,所取试样部位不完全一致,而且其材质缺陷和不均匀性变异的影响程度要明显高于宏观大尺寸试件,使得测得的强度较低,ISL-SEM方法试验测得的数值约为宏观测得的数值的60%,此结论与类似的研究成果结论相一致^[10]。另外,本试验采用的是去除竹青的竹肉部分也在一定程度上降低了强度,但数值之间的变化趋势与宏观相比类似,经过水浸处理后的试件胶层剪切强度均明显的降低。通过试验得知,在进行竹增强杉木层积材加工时,应当注意提高芯材杉木的抗剪切破坏能力以及加强杉木与胶黏剂界面结合性能。

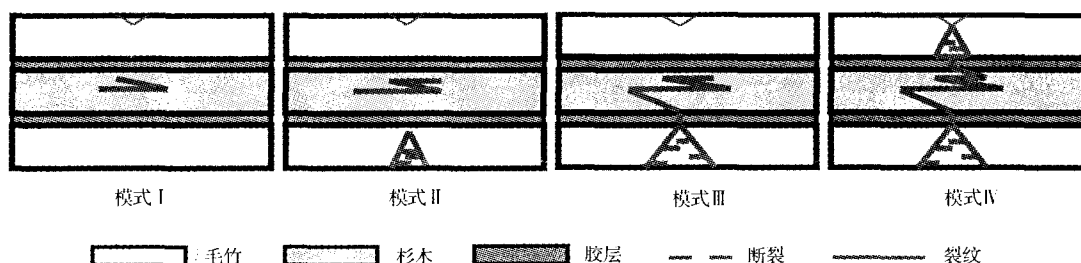


图6 BFB型复合材料3点弯曲破坏过程模式图

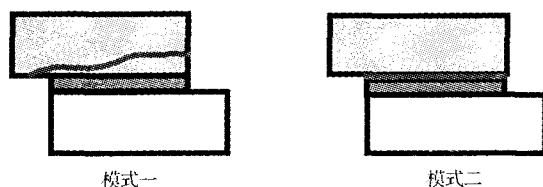


图7 BF型复合材剪切破坏模式

3 结论

对于BFB型的竹杉层积复合材料,3点弯曲破坏时,随着表面毛竹的拉伸和压缩破坏同时,芯部的剪切破坏比较严重,一定程度上降低材料的抗弯强度,影响竹材增强效力的发挥,需要注意在加工工艺上进行改进。

从BF型竹杉复合材料的剪切破坏试验可以得出,破坏模式主要以杉木本身沿着纵向的剪切分离为主,经过水浸干燥处理后,胶层的抗剪切的能力明显减弱,破坏是以胶层与杉木之间界面破坏为主。

通过对破坏形貌的试验观察和分析,总结出不同形式竹杉复合材料在受3点弯曲和纵向剪切力时,产生不同破坏形式的直观模式图可以表达材料破坏的变化规律,为改进胶合加工工艺提供指导。

参 考 文 献

- [1] 申宗圻. 木材学[M]. 北京:中国林业出版社,1982:55-56.
- [2] 洗杏娟,洗定国,叶颖薇. 竹纤维增强树脂复合材料及其微观形貌[M]. 北京:科学出版社,1995:9-26.
- [3] Kucera L A, Bariska M. On the fracture morphology in wood[J]. Wood Science and Technology, 1982, 16: 241-259.
- [4] Vasic Svetlana, Smith Ian, Landis Eric. Fracture zone characterization - micro - mechanical study[J]. Wood and Fiber Science, 2002, 34(1): 42-56.
- [5] Farrugia F, Perre P. Microscopic tensile tests in the transverse plane of earlywood and latewood parts of spruce[J]. Wood Science and Technology, 2000, 32(1): 65-82.
- [6] Gindler W. SEM and UV - microscopic investigation of glue lines in Parallam PSL[J]. Holz als Roh- und Werkstoff, 2001, 59: 211-214.
- [7] Zink Audrey G, Kartunova Elena. Wood failure in plywood shear samples measured with image analysis[J]. Forest Products Journal, 1998, 48(4): 69-74.
- [8] Sugimori Masatoshi, Lam Frank. Macro - void distribution analysis in strand - based wood composite using an X - ray computer tomography technique[J]. J Wood Science, 1999, 45: 254-257.
- [9] Bodig Jozsef, Jayne Benjamin A. Mechanics of wood and wood composites[M]. New York: Van Nostrand Reinhold Company Inc, 1982: 286-296.
- [10] 王朝晖. 竹材材性变异规律与加工利用的研究[D]. 北京:中国林业科学研究院, 2001: 86-90.
- [11] 鲍甫成, 江泽慧. 中国主要人工林树种木材性质[M]. 北京:中国林业出版社, 1998: 98-103; 222-228.