复合材料学报 第18卷 第4期 11月 2001年
ACTA MATERIAE COMPOSITAE SINICA Vol. 18 No. 4 November 2001

文章编号: 1000-3851(2001)04-0119-04

木塑复合材料疲劳性能的研究

程 羽[1], 郭 成[1], 景成芳[1], 金志浩[1], 叶克林[2]
(1. 西安交通大学 机械工程学院, 西安 710049; 2. 中国林业科学院 木材工业研究所 100091)

摘 要: 研究了杨木和桦木两种不同结构的木材与木塑复合材料(WPC)的疲劳性能和疲劳裂纹的扩展机理。研究结果表明, WPC的最大应力与循环寿命的对数呈线性关系; 木材的疲劳载荷随树脂含量的增加呈线性增大, 杨木的S-N曲线斜率受树脂含量的影响, 疲劳裂纹沿木纤维方向扩展。桦木塑料复合材料(PC> 30 wt.%)疲劳裂纹以"Z"字型方式扩展。

关键词: 木塑复合材料; 疲劳性能; 裂纹扩展
中图分类号: TB332 **文献标识码:** A

FATIGUE PROPERTIES OF WOOD PLASTIC COMPOSITES

CHENG Yu[1], GUO Cheng[1], JING Cheng-fang[1], JING Zhi-hao[1], YE Ke-Lin[2]
(1. Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China; 2. Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China)

Abstract: The fatigue properties of two types of wood (P. Ussurensis and B. Platyphylla) and wood plastic composites were analyzed by three-point bend fracture testing, and fatigue crack propagation models were investigated. Test results show that the maximum stress of wood plastic composites presents a linear relationship with logarithmic fatigue life. Fatigue load increases linearly with enhanced polymer content. For P. Ussurensis, the slope of S-N fatigue curve is influenced by polymer content in wood, and fatigue crack grows along wood fibre. For B. Platyphylla plastic composites (PC> 30 wt.%), fatigue crack grows in the shape of 'Z' along the height of the specimen.

Key words: wood plastic composites; fatigue properties; crack propagation

木材作为一种再生资源, 自古以来一直是国民经济的重要材料, 该材料具有许多突出的优点, 如质量轻、比强度高、成本低廉、加工简易、生产过程能耗低等, 因此受到人们的广泛关注。但作为一种单一材料, 它存在着绝对强度低、刚性差、易腐蚀、易燃烧、易开裂等明显的不足, 应用场合极受限制。如何克服木材的缺点、改善其性能, 一直是材料科学工作者探索的目标[1~3]。

木塑复合材料(Wood-Plastic Composites 简称WPC)是以木材浸以其它高分子有机物单体或预聚物, 通过物理和化学方法引发聚合而形成的改性材料, 由于材料的各组分之间可以相互取长补短, 故能获得单一材料所不具备的优良性能, 如尺寸稳定性好、强度高、耐磨性及耐蚀性优良、外观美丽等, 具有很大的应用前景。美国、日本、西欧等工业发达国家已在汽车工业、兵器行业、建筑行业、家具和工业品制作方面得到了一定程度的应用[4]。随着对WPC研究的不断深入, 其应用范围不断扩大, 在工程结构方面的应用目前已初见报道, 但有关材料疲劳行为方面的研究却很少, 不论是研究的深度还是研究的广度甚至还不如先进复合材料, 因此对该材料的使用带来了许多不利的影响[5]。

本文中对疏松型的杨木和致密型的桦木两种不同结构的木材, 分别浸以不同含量的树脂, 研究了不同树脂含量对木材疲劳性能的影响规律以及疲劳裂纹的形成与扩展机理, 这些研究为合理使用WPC, 进一步扩大其应用范围提供了实验依据。

1 实验方法

1.1 实验材料

实验所用材料为杨木和桦木的新鲜园木, 在相同部位选取纹理通直且无任何缺陷的部位进行锯解

收稿日期: 1999-12-17; 收修改稿日期: 2000-08-01
基金项目: 林业部木材科学技术重点实验室开放基金资助项目
作者介绍: 程 羽(1962), 男, 工学博士, 副教授, 研究方向: 先进材料成形技术, 材料加工过程的计算机仿真。

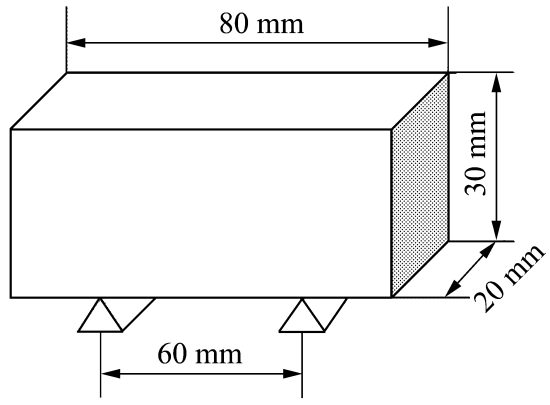

图 1　疲劳试样尺寸

Fig. 1　The dimensions of sample

和烘干后,按图 1 所示制备疲劳试样。将干燥的木材置于浸渗罐中,抽至限定的真空度并保持 30 min 后,注入含 0.5 % 浓度引发剂的聚合物单体,再分别施加不同的浸渗压力,保持不同的浸渗时间后,取出样品采用塑料薄膜包封水浴方法进行热聚合(聚合温度为 85～90 ℃,聚合时间为 2 h),得到不同树脂含量的木塑复合材料。聚合物单体采用上海试剂厂生产的甲基丙烯酸甲酯,引发剂为西安化学试剂厂生产的偶氮二异丁腈。

1.2　实验设备和方法

试验采用三点弯曲疲劳试验方法在 Rell Amsler HFP-5100 型高频疲劳实验机上进行,保持频率为 40 Hz,由于木材的疲劳破坏是一个缓慢的过程,因此定义实验机在载荷骤降的时刻为木材疲劳最终破坏时刻,如果循环周次达到 10^6 后试样仍然未被破坏,停止实验,认为载荷低于该材料的疲劳载荷。

对每一应力水平选取 3～5 个试样,通过取平均的方法得到该应力水平下材料发生疲劳断裂时的循环周次(疲劳寿命)。根据木材的受力性质,本文中采用了压应力载荷,控制应力循环系数(应力比) R 为 0.5,得到最大应力与对数疲劳寿命之间的关系曲线,即 S-N 曲线,同时观察疲劳裂纹的扩展方式。

2　实验结果及讨论

2.1　木材的 @-;　曲线

杨木与桦木的 S-N 曲线如图 2 所示,从图中可以看出,不论对疏松型的杨木还是致密型的桦木,其最大应力与对数疲劳寿命都呈线性关系。对于给定的疲劳寿命,桦木所承受的疲劳载荷高于杨木,这与该材料的静强度优于杨木相一致。对实验数据进行拟合后,分别得到这两种材料的最大应力 S 与疲劳寿命 N 之间的对应关系如下:

杨木:　$S = 20.98 - 1.31\lg N \quad N \le 10^6$

桦木:　$S = 55.91 - 5.04\lg N \quad N \le 10^6$

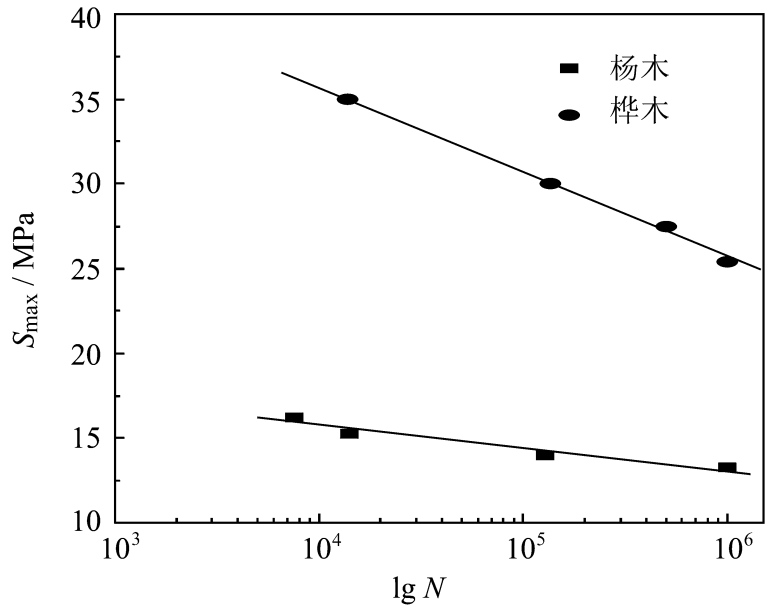

图 2　木材的 S-N 曲线

Fig. 2　S-N fatigue curves

比较这两条直线可以看出,桦木 S-N 曲线的斜率大于杨木,意味着由于杨木静强度比较低,且组织结构比较疏松,因此对该材料在高周疲劳中,裂纹产生很快,但在其后的裂纹扩展过程中,疏松的结构对裂纹尖端产生钝化,减缓了裂纹的扩展速度。因此疏松型的杨木出现了疲劳载荷低、曲线斜率低的现象。而对于致密型的桦木,则结果正好和杨木相反。

2.2　树脂含量对 @-;　曲线的影响

不同树脂含量木材的 S-N 曲线如图 3 所示,从

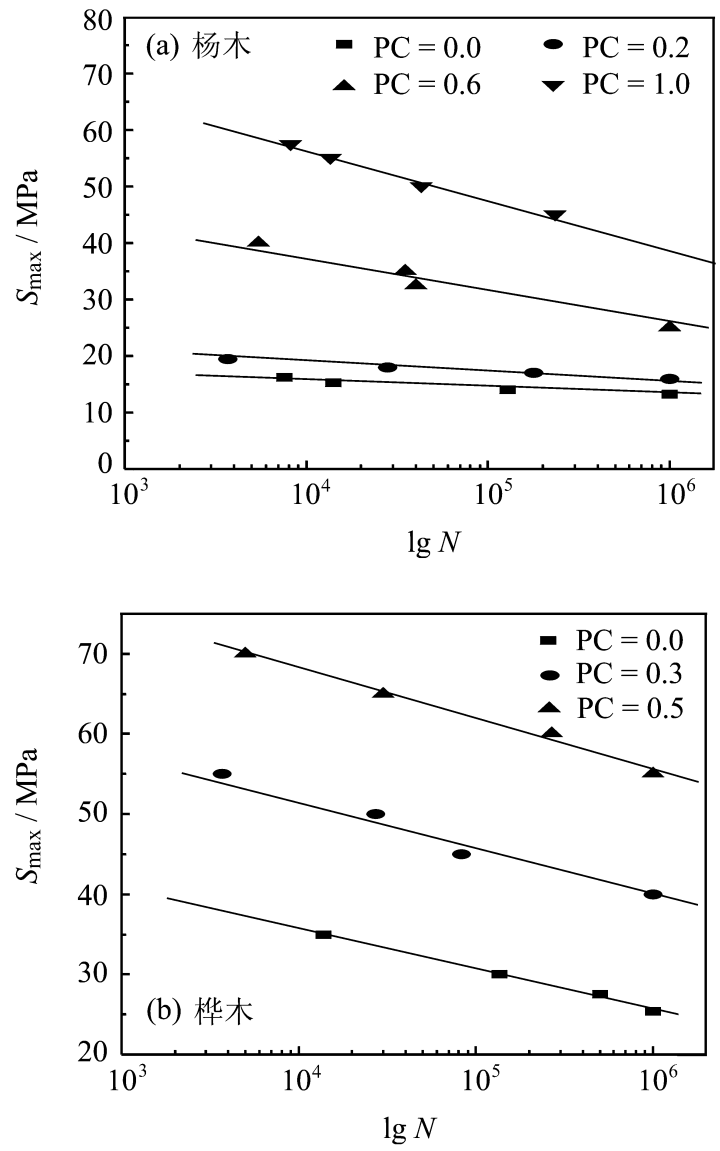

图 3　树脂含量对 S-N 曲线的影响(图中 PC 表示树脂含量)

Fig. 3　The effect of polymer content on S-N curve

图中可见, 不论是杨木还是桦木, 随着树脂含量的增加, 材料的疲劳性能都得到了改善。其主要原因是由于树脂浸入木材后, 单体在引发剂的作用下, 于木材内部发生了聚合反应, 形成的聚合物填充于毛细管内, 似网络一样分布于木材中, 从而提高了木材的静态力学性能, 同时也改善了材料的疲劳性能。

对于杨木而言, 随着树脂含量的提高, S-N 直线的斜率增大, 这主要是由于树脂填充到木材的空隙中, 减少了材料的孔隙度, 引起了疲劳裂纹扩展速率的加快。而对于桦木而言, 由于材料本身组织结构比较致密, 因此树脂填充所引起对疲劳裂纹扩展速率的影响不大, 因此随树脂含量的增加, S-N 直线斜率变化相对较小。

图 4 所示为疲劳载荷与树脂含量的关系曲线(疲劳寿命 $N = 10^6$), 从图中可见, 不论对杨木还是桦木, 随着树脂含量的增加疲劳载荷呈线性增加。实验结果表明, 疲劳载荷与树脂含量之间的关系可由下式表示:

$$\text{杨木:}\quad y = 11.68 + 0.26x$$

$$\text{桦木:}\quad y = 24.57 + 0.584x$$

式中, 为 y 疲劳载荷(MPa); x 为木材的树脂含量(wt%)。树脂含量每增加 10 %, 杨木疲劳载荷大约增加 2.6 MPa, 桦木大约增加 5.84 MPa。

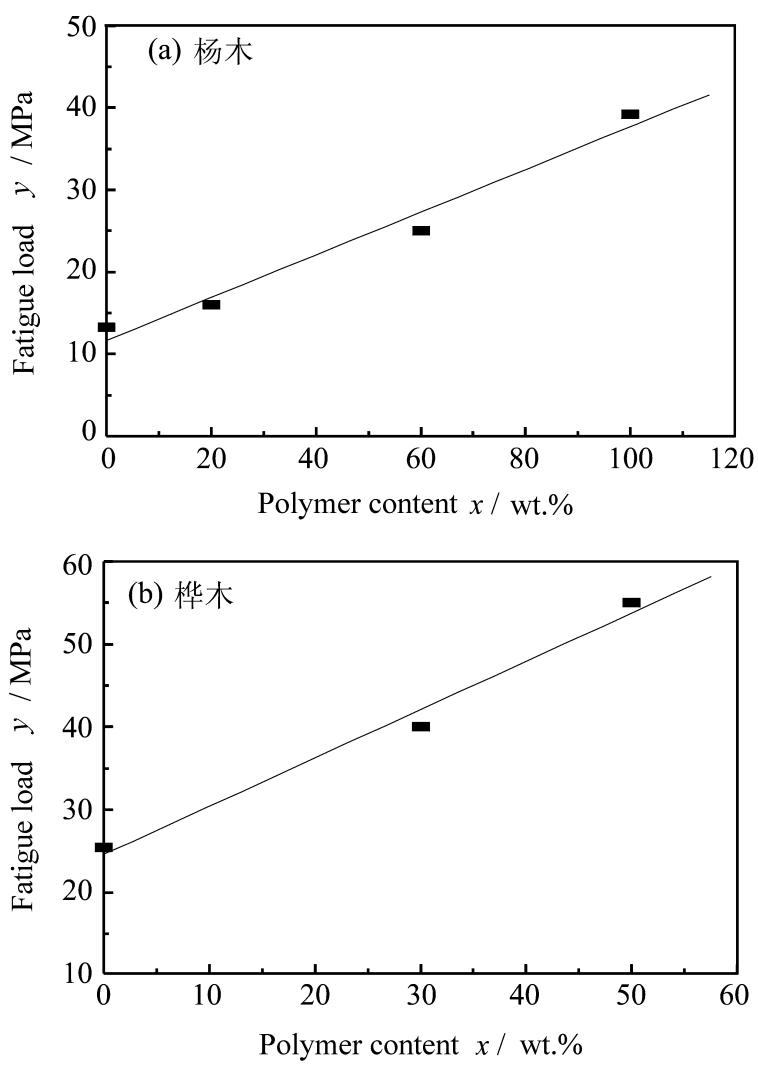

图 4　树脂含量对疲劳载荷的影响

Fig. 4　The effect of polymer content on fatigue load

2.3　疲劳裂纹扩展分析

在疲劳实验过程中, 对疲劳裂纹的扩展进行观察发现, 对于杨木(包括 WPC) 其裂纹扩展呈现一种试样端面劈裂的断裂形式(见图 5(a)), 其主要原因是由于木材是一种由木纤维组成的各向异性材料, 纤维之间的结合强度远小于纤维本身的强度, 在裂纹尖端处应力场的作用下, 首先造成纤维间的开裂, 随后裂纹沿纤维方向扩展, 使裂纹呈现端面劈裂的断裂形式。

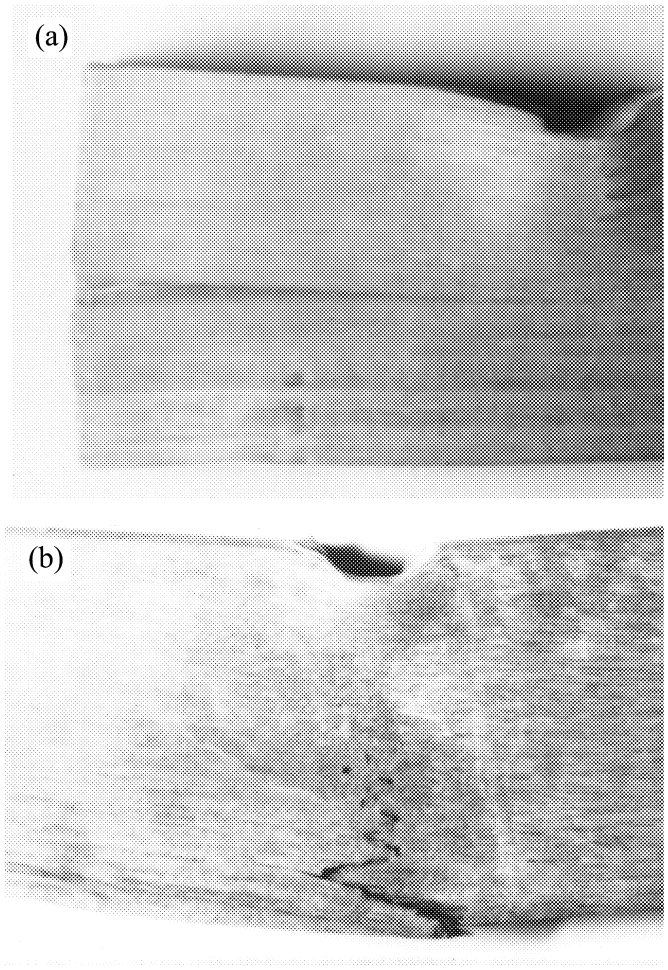

图 5　疲劳裂纹扩展方式

Fig. 5　The shapes of fatigue crack propagation

而对于桦木, 其裂纹扩展方式与杨木相同, 也呈现端面劈裂的断裂形式, 但随着木材中树脂含量的增加(树脂含量大于 30 wt%), WPC 中疲劳裂纹的扩展形式转变成一种 "Z" 字形方式(见图 5(b))。这主要是由于桦木组织结构比较致密, 加之树脂与木材纤维素之间产生的化学反应, 大大提高了木材纤维之间的结合强度, 从而造成了试样在疲劳断裂过程中呈现裂纹沿纤维方向扩展与纤维断裂交替进行的情况出现。

3　结　论

(1) 不论是疏松型的杨木还是致密型的桦木, 其最大应力与对数疲劳寿命都呈线性关系, 杨木的疲劳载荷低于桦木, S-N 曲线的斜率小于桦木。

(2) 随着木塑复合材料(WPC)中树脂含量的增加,木材的疲劳载荷呈线性增加,杨木的 S-N 曲线斜率随树脂含量的增加而增大,树脂含量的变化对桦木的 S-N 曲线斜率影响不大。

(3) 对于杨木(包括 WPC)和桦木其疲劳裂纹的扩展呈现试样端面劈裂的形式,对于桦木塑料复合材料(PC> 30 wt%),疲劳裂纹的出现了"Z"字型方式。

参考文献:

[1] Rowell R M. Wood-polymer combinations, the chemical modification of wood by alkoxysilane coupling agents [J]. Wood Sci & Tech, 1985, 19(1): 67- 73.

[2] 王 恺,张 奕. 积极开发木质复合材料、优化木材资源高效利用 [J]. 木材工业,1990, 4(1): 19- 20.

[3] 任重远,李 邦. 聚丙烯酸酯木塑复合材料 [J]. 复合材料学报,1993, 11(3): 7- 12.

[4] 谷口操. WPC的研究、开发——现状与未来 [J]. 木材工业(日),1997, 47(7): 304- 309.

[5] Tsal K T, Ansell M P. The fatigue properties of wood in flexure [J]. J Mater Sci, 1990, 25: 865- 878.

《复合材料结构修理指南》出版发行

《复合材料结构修理指南》已于 2001 年 6 月由航空工业出版社正式出版。

先进复合材料在航空航天领域应用日益增多,在其他工业领域应用也与日俱增。在生产制造和使用过程中构件的缺陷和损伤在所难免。因此复合材料结构的修理是必须解决的关键技术问题之一。

该书由中国航空工业沈阳飞机设计研究所陈绍杰研究员主编,其内容主要是在国内系统发展研究的基础上写出,适当参考了国内外其他有关资料,具有较强的工程应用性、指导性和通用性,是国内该技术领域第一本较系统的工具书。

全书共 8 章和两个附录,介绍了复合材料结构修理必备的基本知识,各种典型结构各种缺陷损伤的修理方法,包括国内适用的修理用材料体系,详尽的修理工艺流程及所用的工具和设备,修理设计和分析及其基本内容;也给出了修理的无损检测、质保安全、修理站建设及相关内容。本书基本可以指导国内复合材料结构修理的工程实践,满足复合材料结构修理的技术需求。

该书主要用于航空航天领域复合材料结构的修理,特别是各种军机、民机上复合材料构件的修理,也可用于其他民用及工业领域复合材料结构的修理,也可用作高等院校相关专业的参考书和修理培训的教材。特别应该指出的是,复合材料修理现已发展成为一门广具应用前景的高新技术产业,用该技术不仅可以修理复合材料结构,也可修理金属飞机结构,也可修理其他金属结构和设备,甚而现已推广到大量修理基础设施的混凝土等建筑结构,本书将会在这些领域的修理中提供有益的借鉴和参考,发挥其应有的作用。

本书 16 开精装本,333 千字,定价(含邮寄费) 70.00 元,欲购本书者,可通过邮局(或银行)汇款。航空工业出版社地址:北京安外小关东里 14 号(100029),账号:0149190047,开户银行:交行北京亚运村分理处。

(航空工业出版社　　邵　箭)