

文章编号: 1001-411X(2002)04-0081-03

刨花板界面结合强度的研究

李凯夫

(华南农业大学林学院, 广东 广州 510642)

摘要: 建立起微观力学模型, 可对刨花板界面结合情况进行分析. 由有限元法分析分离出剪应力和正应力, 从而论证了界面的破坏是由剪应力所致, 结合薄弱处在受拉刨花受力一端的胶层界面处.

关键词: 界面; 刨花板; 结合强度

中图分类号: S757.1

文献标识码: A

刨花板的界面是重要的“微结构”, 它对刨花板的物理、化学、力学、功能等特性起着至关重要的作用, 它的力学表征及其优化设计是刨花板工艺研究中重大技术之一, 引起各国研究者的极大关注. 界面结合强度是刨花板界面力学研究中重要参量, 目前在这个研究领域中最大障碍之一就是缺少有效的定量研究界面效应和界面结合强度的测试技术, 在界面控制与界面微观力学设计之间缺少桥梁, 国内外材料科学工作者对金属材料的界面力学进行了深入研究^[1]. 但是对于刨花板这类由木质材料构成的复合体来说, 界面结合强度的科学表征与测试鲜见报道. 建立可定量表征刨花板界面结合强度的测试技术, 分析影响界面结合强度的因素, 将界面微观结构特性与刨花板宏观力学性能联系起来, 建立预测模型, 从而实现制板工艺的优化控制. 为此本研究提出了刨花拔脱测试方法, 考察了界面应力的分布和影响结合强度的因素, 为科学描述刨花板界面结合强度提供理论依据.

1 材料与方法

1.1 材料

落叶松(*Larix gmelinii* Rupr.)和黑杨(*Populus nigra* L.)小径木的小头 $d=10\sim 20$ cm, 采用环式刨片机、长材刨片机和刨切机分别制备 6 种刨花, 各选取厚度 $0.40\sim 0.41$ mm 的刨花作为微观测试的原料, 刨花的含水率 $w=2.1\%\sim 3.3\%$. 采用 4 种脲醛树脂胶粘剂.

1.2 方法

Cox 于 1952 年首先提出界面应力模型, Broutman、结成良治分别发展了 Cox 模型, 得到了界面应力传递更为接近实际的结果, 他们提出界面应力分析的基本原则^[2,3]. Broutman 最早提出了界面强度的

测量方法, 深入探讨了树脂基复合材料中基体收缩时在界面产生的压力和摩擦力, 并将复合材料断裂功和剪切应力联合分析; Chua 采用单根纤维拔出实验来测量界面结合强度^[4], 而后又由 Broutman 进一步完善, 得到了理想的结果, 形成了界面应力研究体系. 黄玉东开发了复合材料界面结合强度原位测试仪(ISTTI), 并对复合材料的单纤维进行顶出测试^[5]. 陈荣开发了小型剪切实验机, 测试了复合丝的纵向剪切强度^[6]. 以上测试方法不能完全满足刨花板界面结合强度测试的要求, 特别是刨花质地松软, 形态各异, 测试时变形大, 很难精确测量其界面结合强度, 本研究将刨花板视为“砖墙”结构, 推导刨花互相叠层长度, 以叠层原理为依据, 计算最佳叠层长度, 设计微观力学模式与测试原理见图 1.

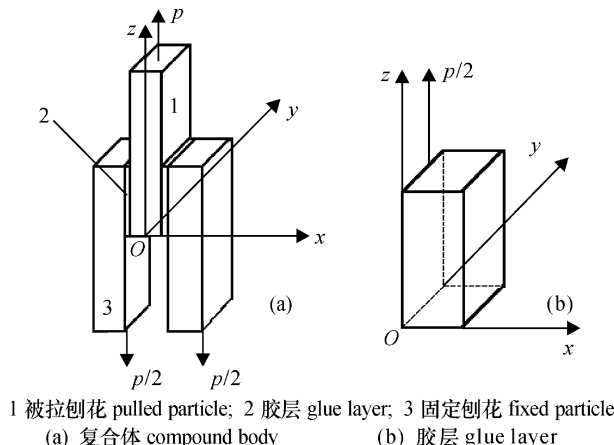


图 1 微观力学模型

Fig. 1 Model of the microcosmic mechanics

从图 1 可见, 被拉刨花周围依次为胶层和固定刨花, 模型以 z 轴为对称轴, 在拉力 p 的作用下, 刨花与胶层间发生剥离, 为使模型能有效地反映界面结合状况, 特作如下假设: (1) 刨花与胶层间的界面

收稿日期: 2001-10-28

作者简介: 李凯夫(1955-), 男, 教授, 博士.

基金项目: 华南农业大学引进人才基金资助项目(4400-K00001); 广东省自然科学基金资助项目(20000608)

1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

相对于刨花或胶层的厚度而言可视为“无限薄”，计算时忽略界面的厚度；(2)刨花与胶层在界面破坏之前始终服从线弹性本构关系，胶层为各向同性材料，以胶层为研究对象，将刨花视为横向各向同性材料，计算时输入刨花纤维方向的材料特性值；(3)根据最大应力失效判据，设界面分离是由无限靠近被拉刨花表面的胶层中最大剪应力所致。

为建立有效的微观力学评价模型，使之适应刨花板中刨花之间分离的要求，特对模型作如下要求：(1)模型应能反应胶层和刨花的变化，可直接输入胶层和刨花的尺寸、最大拉力、弹性常量；(2)模型应适应三维尺寸的变化，可模拟变化中的胶层形貌，描述位移场的变化；(3)模型应适应几种材料的弹性参量的变化，描述弹性变化过程；(4)模型可模拟界面层的形状，描述界面应力场的变化。

采用三维有限元法对胶层进行应力分布的分析，采用 20 个节点的立方体单元，共有 320 个单元和 1 781 个节点， z 轴为胶层叠层长度(推导得到的叠层长度为 2 5 mm)，分 10 格； y 轴为胶层的宽度(设计 5.0 mm)，分 8 格； x 轴为胶层的厚度(当施胶量为 50 g/m^2 时，测得胶层厚度约为 10 μm)，分 4 格。 xy 面为胶层上下表面， xz 面为胶层的侧面， yz 面为胶层与刨

花之间的界面。根据以上要求，采用大型结构通用程序(ADINA)、自动生成网络程序和应力分析程序，描绘界面及胶层各面的应力场图，分析应力场分布，计算最大应力和平均应力。将表 1 数据输入计算机，通过信息判断确定目标网络的类型、节点分布、边界支承、加载方式、组分类别等，由此生成坐标数据卡、单元数据卡、边界条件卡，生成满足模型要求的网络系统，采用 SUFER 软件处理得到界面应力，分离剪应力和正应力，构造三维空间应力场。

自行开发的测试装置由夹具、拉力传感器、均匀自动加载系统和信号采集、处理和显示系统组成。在刨花板界面结合强度测试中考察 4 个因素，即施胶量(30~100 g/m^2)、固化剂量($w=0.1\%\sim20.0\%$)、刨花宽度(2~8 mm)、施载速度(0.1~60.0 mm/min)，采用二次通用旋转组合设计法进行方案设计，研究各因素对界面结合强度的影响，为提供适宜的测试方法和建立数学模型提供理论依据。

2 结果与分析

对刨花和制备的胶条分别测量弹性模量，计算泊松比，结果见表 1。

表 1 刨花和胶粘剂的特性
Tab. 1 The properties of particles and adhesives

材料 ¹⁾ material	密度 density/ $(\text{g}\cdot\text{cm}^{-3})$	w (水 water)/ %	厚度 thickness/mm	宽度 width/mm	杨氏模量 modulus of elasticity/GPa	泊松比 poisons ratio
落叶松刨花 dahurian larch particle	0.528	8.0	0.40	5.00	1.69	0.31
黑杨刨花 black poplar particle	0.428	6.0	0.31	5.00	2.07	0.27
胶 1 adhesive1	1.201		5.21	15.00	0.20	0.42
胶 2 adhesive2	1.191		5.34	15.00	0.25	0.41

1) 胶 1 为刨花板用 UF；胶 2 为 DN-12UF

通过有限元法分析，在胶层的 yz 面(界面)可明显看到剪应力呈抛物面分布，最大应力在受拉一侧，在 y 轴方向应力变化不大。在被拉刨花与胶层的界面处距受拉侧约 1.2 mm 处，剪应力近似 0；最大应力为 4.07 MPa，另一端应力为 1.22 MPa(减少了 70%)，当刨花受拉时，刨花与胶层界面处首先在端面破坏。实测平均界面结合强度为 3.82 MPa(方差 0.88 MPa)，从而可知：(1)微观力学模型可较好的反映界面结合情况，测得的最大破坏应力接近界面结合强度；(2)刨花制备工艺直接影响界面结合状况，获得光滑平整、厚度均匀的刨花是提高界面结合强度的

关键技术。
当刨花树种、制备方法、复合工艺相同时，2 种胶粘剂杨氏模量分别为 0.195 和 0.246 GPa，前者界面最大应力比后者大 1.59 MPa，平均界面结合强度相差 2.00 MPa，由此可知，降低胶粘剂的刚度可改善界面结合状况。
当胶种、施胶量、复合工艺相同时，只因树种不同，最大剪应力相差 2.40 MPa，平均界面结合强度相差 2.29 MPa，黑杨刨花好于落叶松刨花的界面结合强度，从而可知，树种的选择与搭配是改善刨花界面结合的关键技术。

在被拉一侧刨花的界面处, 剪应力呈最大, 而最大剪应力在界面的两个端点处, 因此将 yz 面作为被破坏界面进行研究是适宜的. 在刨花受力端产生较大的剥离应力, 比剪应力略小, 其相差值为 $1.34 \sim 1.49 \text{ MPa}$, 在界面处产生的正应力作用的方向与测量刨花板内结合强度的方向相同, 这将有利于将刨花界面结合的研究引入刨花板宏观性能的分析中, 从而开辟了刨花板性能研究新的领域.

从材料力学与塑性力学原理可知, 在外力快速作用下, 塑性变形部分被固定而弹性变形部分表现明显, 比例极限与破坏应力明显增加; 与此相反, 在外力慢速作用下, 塑性变形表现明显, 破坏应力明显降低. 从实验结果可以看出, 随着施载速度增加, 界面结合强度呈增大的趋势. 当施载速度为 50 mm/min 时, 所测得的界面结合强度接近有限元法计算出来的最大剪应力(表 2).

表 2 最大剪应力与界面结合强度的比较¹⁾

Tab. 2 The maximum shearing stress and corresponding interface combination intensity for each treatment

编号 ²⁾ number	施载速度 rate of loading / $(\text{mm} \cdot \text{min}^{-1})$	界面结合强度 ³⁾ interface combination intensity / MPa	最大剪应力 maximum shearing stress / MPa
1	50	4.45(4.34)	4.61
2	50	4.02(4.01)	4.12
3	50	4.31(4.22)	4.60

1)施胶量 $w=12\%$, 固化剂量 $w=1\%$, 刨花宽度 5 mm ; 2)树种为落叶松(*Larix gmelinii* Rupr.), 1 为刨切刨花, 2 为普通刨花, 3 为长材刨片刨花; 3)括号中的数字为旋转组合设计法得到的模型计算值

3 结论

建立的微观力学模型可正确描述刨花界面结合

情况, 由有限元法分析可分离剪应力和正应力, 界面破坏主要是由剪应力所致, 结合薄弱处在受拉刨花受力一端的胶层界面处, 刨花板界面结合强度测试方法是可行的.

(1)改善刨花制备工艺, 旨在提高刨花表面平整和光滑度, 最大限度保持结构的完整性; 降低胶粘剂的刚度, 将有利于改善刨花与胶层界面的结合状况, 从而提高了刨花板的胶合强度. 树种和胶种的影响不容忽视, 选取易于胶合的树种或者与之相适应的胶种是提高刨花板胶合强度的关键技术.

(2)有限元分析法可计算出正应力, 应力的方向与刨花板内结合强度测试方向相同, 从而可将界面结合分析结果与刨花板内结合强度之间建立联系, 由微观研究直接预测宏观特性意义较大, 今后有必要对此进行深入研究.

(3)当施载速度为 50 mm/min 时, 界面结合强度与有限元分析法计算出的最大剪应力值接近.

参考文献:

[1] 吴人洁. 复合材料[M]. 天津: 天津大学出版社, 2000. 385—426.
[2] CHAMIS C C. Interface in polymer matrix composites[M]. New York: Academic Press 1974. 31—74.
[3] 结成 良治. 界面の力学[M]. 东京: 培风馆, 1993. 120—284.
[4] CHUO P S. The glass fiber—polymer Interface; Theoretical consideration for single fader pull out tests[J]. Composites Science and Technology, 1975, 22: 33—42.
[5] 黄玉东. SiC/ Al 界面剪应力的原位表征[J]. 材料工程, 1993, (11): 35—36.
[6] 陈 荣. C/ Al 复合材料界面结合强度对拉伸性能的影响[J]. 复合材料学报, 1993 10(2): 121—126.

Study on Interface Combination Intensity of Particleboard

LI Kai-fu

(College of Forestry, South China Agric. Univ., Guangzhou 510642 China)

Abstract: A microcosmic mechanics model was established and used to describe interface combination status of particle-board. Shearing stress and direct stress were separated by limited unit law analysis. It's demonstrated that the interface destruction was due to shearing stress and that the end of glue layer interface of pulled particle was the weak point of combination.

Key words: interface; particleboard; combination intensity