

综述

指接材研究现状与进展

林兰英, 傅峰

(中国林科院木材工业研究所; 国家林业局木材科学与技术重点实验室, 北京 100091)

摘要: 概述国内外指接材的研究和发展现状, 对指接材发展中存在的产品质量差、指接强度不高、指接接合不严密、材面质量粗糙等问题进行分析, 从指接刀具、胶黏剂、指接材性能评估方法等方面提出今后的研究方向。

关键词: 指接材; 性能; 胶黏剂

中图分类号: TS6 文献标识码: A 文章编号: 1001-8654(2007)04-0005-04

Research Status and Developing Trends of Finger-jointed Lumber

LIN Lan-ying, FU Feng

(Research Institute of Wood Industry, Chinese Academy of Forestry;

Key Lab of Wood Science and Technology of State Forestry Administration, Beijing 100091, China)

Abstract: This paper first reviews the research that has been done on finger-jointed lumber. It then analyzes the main problems that exist in the finger joint industry, such as low strength, poor quality, poor fit and surface roughness, etc. Finally, it presents some suggestions for future research on finger joints from finger cutter, adhesive and property evaluation methods.

Key words: finger-jointed lumber; properties; adhesive

指接是从斜接发展起来的一种木材接长方法。与端接和斜接相比较, 指接既能使短料长用、劣材优用, 有效地提高木材的利用率和产品的等级率, 又可保证一定的胶合面积, 在较小的胶合长度下达到较高的胶合性能, 同时设备投资少, 便于机械加工, 经济效益明显, 是目前应用最广泛的一种木材接长方法。在当今世界木材资源短缺和优质木材日益减少的情况下, 指接材是缓解木材供需矛盾的有效途径之一, 具有较大的发展潜力。

1 国内指接材的研究现状

我国指接材的生产起步于 20 世纪 80 年代^[1], 近年来得到快速发展, 但企业的生产规模和生产能力相

对较小, 指接类型和指榫形状也相对单一, 多以 12 mm 的短齿生产非结构用指接材。

研究主要集中在不同树种、胶种及指榫规格等工艺参数对指接材性能的影响方面。朱焕明等^[2]研究了间伐小径木材含水率、指接端压压力大小和时间、养护时间、涂胶量、指榫规格对指接材抗弯强度性能的影响, 通过方差分析确定了最佳的工艺条件。郝金城等^[3]探讨了指榫长度、端压、嵌合度、加压时间、涂胶量和胶黏剂种类等主要因子, 对指接材静曲强度的影响, 并分析了因子的交互作用, 以指接试件抗弯强度和外观质量指标进行综合分析, 提出了落叶松指接加工的最佳工艺条件。何林等^[4]以短周期间伐材和小径材为对象, 研究了指榫数量、位置对指接强度的影响, 认为指榫可以看作木材的若干不连续点, 对指接材的强度影响很大。

2 国外指接材的研究现状

国外对指接材的研究起始于 20 世纪 30 年代的德国^[5]。随着建筑业对结构用承载构件的需求量增

收稿日期: 2006-10-25; 修改稿: 2007-06-25

基金项目: 中日技术合作 JICA 渠道“中国人工林木材研究”项目内容之一; ITTO“改进与多种利用中国南方热带人工林木材, 以减少天然林供应不足”项目 (ITTO PD69/01) 的部分内容。

作者简介: 林兰英 (1979—), 女, 中国林科院木材工业研究所博士研究生。

通讯作者: 傅峰, 男, 中国林科院木材工业研究所研究员, 博士生导师。

加,指接材的研究和生产应用日益活跃,广泛开展了指榫接合方式、齿形参数、指接形状、树种等因素对结构用指接材性能影响的研究。

2.1 指榫接合方式

指榫接合方式是影响指接材强度性能的主要因素,目前有3种方式:羽型(feather)、翼型(reverse)和嵌入型(male-female)(见图1)。3种方式除榫肩不同以外,齿形参数完全相同。翼型和嵌入型是两侧有榫肩的接合,外表美观,常用于非结构材的指接。其中,翼型目前应用最广泛;嵌入型是通过使用模具一次加工成型的,目前应用较少。羽型的齿榫两侧无榫肩,适用于工件宽度和厚度一致的场合,接合强度高,一般用于结构材的指接。

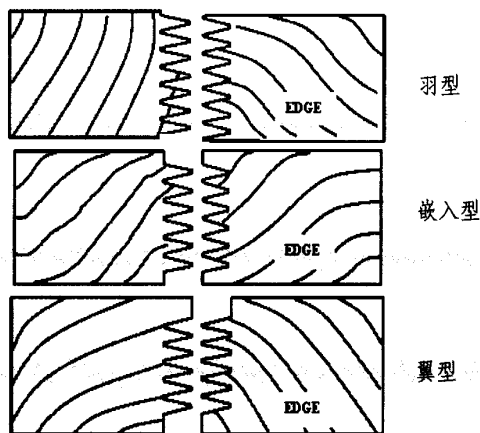


图1 指榫结合类型

Fig. 1 Types of finger joint configurations

Bustos等^[6]以黑云杉(0.450 g/cm^3)为试材,研究3种接合方式的强度性能。结果表明:羽型接合的强度最高(55.3 MPa),嵌入型次之(52.9 MPa),翼型最低(47.4 MPa)。其中羽型和翼型的强度差别显著,主要原因是两者榫肩面积存在差异,导致羽型的有效胶接面积比翼型大7%~15%。榫肩部分的胶接相当于端接,接头强度有效率最低,强度离散性也大,且不传递应力。同时,试验数据反映,应力集中主要产生在指榫的根部,在受压时指榫的根部产生破坏,从而使强度降低。

从木破率角度看,3种指榫接合方式的接合强度都较好。按照ASTM D4688《指接材用结构胶黏剂的评定测试方法》,木破率均在74%以上,破坏多数发生在指接部位,表现为木纤维的拉断。但目前,哪种接合方式能生产出最高机械性能指接材,国内外尚无一致的看法。

2.2 齿形参数

齿形参数主要有:指长、指距、指顶宽、斜率和宽距比。齿形参数是影响指接材性能的最重要因素,且各因素之间也相互影响,使得齿形对指接强度的影响复杂化。有研究表明,在保证指尖厚和齿距不变的前提下,指榫斜率 $>1:8$ 时,降低斜率可导致指接强度显著增加。斜率从 $1:4$ 减小到 $1:6$,强度增加50%;斜率继续减小到 $1:8$,强度增加20%。然而,当斜率从 $1:10$ 减少到 $1:16$ 时,强度几乎保持不变,比斜率为 $1:4$ 时的强度提高75%。

Page^[7]分析了指顶宽对指接材抗弯强度和抗拉强度的影响,发现指接材的强度随着指顶宽的增加而降低,但指顶宽对强度的影响小于指榫斜率的影响。Ayarkwa等^[8]指出,指榫的几何形状对指接材的MOR有显著影响,但对MOE无影响;指长18 mm可获得最大的指接强度有效率(指接强度有效率是指接材的强度与实体木材强度的比值)。

2.3 指接形状

指接形状分水平指接和垂直指接2类,在应用中需根据指接材使用部位、要求的指接强度及指接材的切削余量等来选用。

Janowiak等^[9]以3种阔叶树材为原料,分别进行了2种指接形状抗弯和抗拉强度的试验,结果表明:2种指接形状所制造出的指接材的指接强度,均达到结构用材标准要求,且垂直型指接材的抗拉强度略高于水平型指接材。Biblis等^[10]认为受压面的不同对强度影响显著,水平指接时,在木材宽度方向上的2个边缘齿承载了大部分的作用力,因此,边缘齿的完整性影响着指接材的强度性能。

为了减少胶层厚度、提高胶接强度,芬兰的研究者在与木材的宽边呈 45° 方向上进行铣齿,不用施加侧压即可获得较高的指接强度。但是这种倾斜铣齿较难加工,在实际生产中未得到推广。

2.4 树种

木材本身的性质也影响着指接材的强度性能。阔叶树材密度大、构造致密,胶液很难渗入其表层,在加压时会流向接触不紧密、压力小的部位,导致压力大的部位缺胶,指接强度较低;反之,对密度小、构造疏松的针叶树材,胶液中的水分较容易渗入木材内,使胶层变得稠厚,胶合强度较高。

Ayarkwa等^[8]以3种阔叶树材为对象,分析了抗拉强度、木破率与木材密度的关系。试验结果表明,在相同的端压和指榫形状条件下,3种木材的指

接强度有效率和木破率分别为:低密度木材(0.351 g/cm^3)88%、61%,中密度木材(0.677 g/cm^3)78%、29%,而高密度木材(0.819 g/cm^3)仅为 60% 和 14%。Lamb-shine 和 Wands 也曾指出^[11],密度 $\leq 0.700 \text{ g/cm}^3$ 的木材才可以生产出高性能的指接材。

3 指接材产品存在的问题及发展方向

目前,指接材产品的主要问题是:产品强度低(仅为实体木材的 40%~50%)、接合不严密、易出现翘曲变形以及材面质量粗糙等^[12-13]。指榫铣刀的齿形参数、刀具精度及胶黏剂的性能,对指接材的强度和表面质量有重要影响,因此,国内外对指接刀具、指接用胶以及指接材性能的评估方法进行了研究。

3.1 指接刀具

铣刀的精度低,易造成指榫几何形状不一致,指接时形成较大的指顶隙,致使应力集中,指榫强度显著下降。因此,不仅指榫铣刀的几何形状要设计合理,而且,铣刀的加工精度和磨损限度也同样重要。当指顶宽过小时,铣刀在加工过程中易过热,导致刀片变钝或永久损坏。

跳齿铣刀,即铣刀刀齿的齿距放大为木材齿距的 2 倍,可保证圆周上的刀齿都能够准确地加工出要求的指榫形状。铣刀圆周刀上的刀齿互相错开,即第二个刀槽上的齿尖正好对应第一个刀槽齿距槽的中间,这样,铣刀在旋转工作时正好铣削出正确的木材指榫齿形,是目前国内外应用最多的指榫铣刀。

对于结构致密、硬度高的高密度木材,除了在加工指榫时保证较紧的配合、高转速、低进给、适当减小切削深度以外,合理的机械设计参数和锋利的刀具,是保证胶合面光滑平整的必要条件。采用回转刀体上焊接硬质合金刀片、单指多片螺旋式(刀口错位)叠放等措施,可以加工出高精度的指榫。这种组合式指接刀具具有多个刀片依次参与切削,切削力均匀且噪音低,很少有试件发黑或积炭现象发生;还可任意增减刀片数量,以加工不同宽度的材料,通过控制切削深度,可调整指接松紧程度。

最近日本兼房株式会社^[14]还研制出了高科技涂层指榫刀,用钨钢合金进行表面涂层处理制成,比普通指榫刀的寿命延长 5 倍,刀体本身经过特殊热处理,可以经受强烈的切削抵抗力而不变形,具有预防树脂附着的效果。

3.2 指接专用胶

指接材生产用胶要求施胶快速、均匀,固化速度

快,成本低,环保等特点,如不考虑任何因素的限制,醛类胶(UF、MF),聚醋酸乙烯酯乳液(PVAc),水性高分子异氰酸酯胶黏剂(API)均可以用于生产指接材。而开发性能优良的指接专用胶,是满足指接材工业发展的需要。

3.2.1 传统胶黏剂的改性

我国应用最多的指接胶是 PVAc,但普通 PVAc 的耐水性和耐蠕变性能较差。可采用交联技术,在乳液共聚时引入少量活性官能单体,使其在聚合体中提供交联点,通过添加适合的聚异氰酸酯固化剂发生交联反应,形成网状结构的热固性树脂,从而提高胶层的耐潮、耐热、耐蠕变性能^[1]。北京木材工业研究所也曾研制出一种可高频加热、低成本的改性 UF 胶。此外,研制“醋-脲”混合型胶,既可提高 PVAc 的耐热性、耐水性、耐溶剂性和耐蠕变性,又可改善 UF 胶的耐老化性、填充效果和延长活性期。

3.2.2 新型胶黏剂的研发

为了满足指接材在结构用材上的使用要求,日本光洋产业株式会社开发了用于集成材生产的 MDI 系列和 TDI 系列异氰酸酯胶。国外一些专业公司也纷纷加入异氰酸酯胶的开发和研制。该系列胶的特点为双组分,常温固化,固化后耐水、耐热性优良等。国内也有制备异氰酸酯预聚体的厂家,生产的胶黏剂在胶合强度、木破率及施工工艺性能等方面已达到了进口同类指接胶的水平。

3.2.3 生材指接用胶黏剂的研制

开发适用于高含水率木材或者生材的胶黏剂,是指接用胶黏剂的一个发展方向,也是目前指接材及规格材研究的热点^[15]。在胶合高含水率木材时,面临的主要问题是胶接表面缺胶严重,以及耐久性和脆性等问题。

20 世纪 90 年代,北美开始进行生材指接用胶的研究,使用苯酚-间苯二酚-甲醛树脂加催化剂和助剂合成制胶,1993 年首次用于生产。随后美国、加拿大和澳大利亚等国均有工厂生产。

Verreau 提出了用单组分的聚氨酯(PUR)作为生材指接用胶,随后 Lange 用生材指接试验证明了 PUR 指接材的强度可以达到结构用材的要求。但 PUR 也存在着明显的使用局限,如胶层厚度不宜过厚,以及耐久性和脆性问题^[16]。Richter 和 Schirle 研制了一种新型的单组分 PUR,并研究了温度变化对指接材的胶合变形的影响,发现 PUR 具有与苯酚-间苯二酚-甲醛树脂(PRF)相同的蠕变性能;加速老化

试验显示, PUR 指接材的胶层剥离率较低, 具有较高的湿强度; 并得出结论: PUR 具有较好的延展性和较高的断裂能, 适合于胶合高密度和高抽提物含量的阔叶树材。

新西兰林业研究所提出通过使用催化剂, 加速树脂的固化, 从而进行湿材指接的方法。采用此工艺无需对原生产设备做大的改动。强度试验表明, 湿接工艺所获得的指接材的强度, 比标准窑干或气干木材的强度平均高 5%^[17]。

目前, 生材指接用胶黏剂可以适用于不同含水率范围的木材。指接湿材时, 胶黏剂可以在室温条件下固化; 若加入适量的催化剂, 还可以胶合冻材。胶合后的指接材可以进行 CCA 的防腐处理, 强度不会降低。

3.3 指接材性能评估方法

指接材的性能研究集中在力学性能上, 但目前尚无统一的性能评价方法和标准。美国和加拿大学者认为, 平行纹理方向的拉伸强度应是接接材最主要的性能指标, 更能真实地反映指接材的强度。但弯曲试验的测试方法因具有方便快捷的特点, 所以, 目前普遍应用。加拿大使用 2 点弯曲和剥离试验来评价指接材的质量。美国除了强度指标外, 还用木破率来衡量指接材的性能, 要求密度高的树种木破率 > 50%。为了消除木材本身材性和结构的影响, 采用指接强度有效率来评价指接材的性能, 通常指接强度有效率可达 75%~80%。

为平衡指接材强度、原料损失以及刀具磨损间的矛盾, 分析方法也应用到指接材性能的研究中, 如有限元分析方法在 20 世纪 80 年代被木材行业广泛接受。Serrano 等^[12]应用非线性断裂力学和有限元分析方法, 研究不同缺陷及缺陷数量对指长为 20 mm 结构用指接材强度的影响。

3.4 其他改善措施

在国外, 数控技术大量地运用于指接生产过程中, 对工艺参数进行监测; 电子扫描、γ 射线、超声波、光学成像法和干涉测量法等技术手段, 也被应用到指接材的性能研究中, 进行缺陷检查及分等、湿度检测等, 并由计算机控制上述参量, 形成全自动的生产过程, 从而提高指接材的强度性能和生产效率。

4 结语

近年来指接材生产发展较快, 但市场还有待于进一步开拓。根据文中所列指接材的主要问题, 建议:

1) 研制新型指棒铣刀, 提高铣刀的耐磨性能, 从而改善加工表面的光洁度和精度;

2) 开发新型指接用胶黏剂, 或对传统胶黏剂进行改性, 提高指接材的胶合强度;

3) 深入研究指棒的齿形参数、加工条件、木材性质对指接强度性能的影响, 寻求最佳的工艺条件, 提高指接加工效率和产品质量。

参考文献:

- [1] 田进才, 刘绪林, 袁越, 等. 高频介质加热技术在集成材生产中的应用[J]. 北京木材工业, 1998, 18(4): 28-32.
- [2] 朱焕明, 鲍加芬. 间伐小径木指接技术研究[J]. 林业科学, 1994, 30(3): 260-265.
- [3] 郝金城. 木材指接强度性能影响因素的分析[J]. 林产工业, 1992(3): 8-11.
- [4] 何林, 王萃, 崔鹏飞, 等. 指接材接头位置、数量与抗弯强度的关系[J]. 林业科技, 1996, 21(2): 65.
- [5] 王庆祥. 指接材技术工艺分析[J]. 中国木材, 1995(5): 31-32.
- [6] Bustos C, Beaugerard R, Mohammad M, et al. Structural performance of finger-jointed black spruce lumber with different joint configurations[J]. Forest Prod J, 2003, 53(9): 72-76.
- [7] Page M W. Finger jointing[J]. The Australian Timber Journal, 1959, 25(5): 82-95.
- [8] Ayarkwa J, Hirashima Y, Sasaki Y. Effect of finger geometry and end pressure on the flexural properties of finger-jointed tropical African hardwoods[J]. Forest Prod J, 2000, 50(11/12): 53-63.
- [9] Janowiak J J, Labosky J P, Blankenhorn P R, et al. Finger-joint strength evaluations of three northeastern hardwoods[J]. Forest Prod J, 1993, 43(9): 23-28.
- [10] Biblis E J, Carino H F. Factor influencing the flexural properties of finger-jointed southern pine LVL[J]. Forest Prod J, 1993, 43(1): 41-46.
- [11] Lamb-shine D, Wands R W. Structural finger-joints [C]. Proceedings of production, marketing and use of finger-jointed sawnwood, 1982: 45-54.
- [12] Serrano E, Gustafsson P J. Influence of bondline brittleness and defects on the strength of timber finger-joints[J]. International Journal of Adhesion & Adhesives, 1999, 19: 9-17.
- [13] Tuvey R. Quality control essential in finger joint production[J]. Wood Technology, 1998(7/8): 50-54.
- [14] 西尾梧. 兼房先进的木工刀具[C]. 2006 北京国际木工刀具高新技术研讨会, 2006: 1-20.
- [15] Bustos C, Mohammad M, Hernandez R E, et al. Effects of curing time and end pressure on the tensile strength of finger-jointed black spruce lumber[J]. Forest Prod J, 2003, 53(11/12): 85-89.
- [16] Lange D, Fields J T, Stirn S A. Finger joint application potentials for one-part polyurethanes [C]. Proceedings of the wood adhesives 2000 symposium, 2000: 17-18.
- [17] Pease D A. Finger joint plant gives green process a restart[J]. Wood Technology, 1998(3): 36-40.

(责任编辑 向琴)