

研究与开发

切削参数对木材切削力的影响

张占宽, 彭晓瑞, 李伟光, 曾娟, 张杰

(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: 为了提供圆锯片合理设计与使用的依据, 对水曲柳、杉木和樟子松3种木材进行闭式切削试验, 研究锯齿前角、切削厚度、切削速度等参数对切削力的影响规律。结果表明: 主切削力和法向切削力均随锯齿前角的增大而减小, 随切削厚度的增加而增大, 而受切削速度的影响较小。根据试验结果, 提出不同密度木材切削参数设置的建议。

关键词: 木材; 切削力; 切削参数; 锯齿前角; 切削厚度; 切削速度; 圆锯片

中图分类号: TS652

文献标识码: A

文章编号: 1001-8654(2011)03-0007-04

Influence of Cutting Parameters on Cutting Forces in Wood Sawing

ZHANG Zhan-kuan, PENG Xiao-rui, LI Wei-guang, ZENG Juan, ZHANG Jie

(Research Institute of Wood Industry, Chinese Academy of Forestry; Key Laboratory of Wood Science and Technology of State Forestry Administration, Beijing 100091, China)

Abstract: The authors evaluated the cutting force influence of rake angle, cutting thickness and cutting speed to provide the basis for rational design and use of circular saw blades on Chinese fir, Mongolian pine and Manchurian ash specimens. The results indicated that the principal and perpendicular cutting forces decreased with increasing rake angle and cutting thickness. It was also observed that cutting speed had little impact on principal and perpendicular cutting forces. The optimal cutting parameter settings for different wood species were proposed.

Key words: wood; cutting force; cutting parameters; rake angle; cutting thickness; cutting speed; circular saw blade

木材切削在木材工业化加工中占重要位置。合理的切削加工工艺, 有利于提高产品的生产效率和加工质量, 促进资源的优化利用和质量提升。木材切削力为刀具与木材之间的相互作用力, 反映了木材切削刀具和机床所承受的负荷, 是刀具强度、刚度及动力设计的依据^[1]。已有文献表明, 木材的物理性质和刀具切削参数, 是影响木材切削力的主要因素, 其中以刀具前角、切削厚度和切削速度等切削参数的影响显著^[2-3]。

根据切削加工时刀刃参与切削的情况, 木材切削分开式切削、半开式切削和闭式切削^[4]。开式切削只

有主刃进行切削, 而闭式切削在主刃进行切削的同时, 其两侧刃也参与切削。目前的木材锯切加工通常为闭式切削, 但是, 已往木材切削研究多采用开式切削方法^[5-7], 闭式切削方面的研究甚少。为此, 笔者选取木材加工中常用的水曲柳、杉木和樟子松等三种木材, 作为不同密度的木材代表, 进行闭式切削试验, 旨在为超薄圆锯片的设计和使用提供参考, 促进木材切削效率的提高和表面加工质量的提升。

1 试验材料与方法

1.1 材料

试材: 杉木(*Cunninghamia lanceolata*)、樟子松(*Pinus sylvestris* var. *mongolica*)、水曲柳(*Fraxinus mandshurica*)三种实木, 外购, 气干, 含水率约为9%, 平均密度分别为0.315、0.422、0.532 g/cm³。

收稿日期: 2011-02-18; 修改日期: 2011-04-13

基金项目: 林业公益性行业科研专项经费项目(201004006)。

作者简介: 张占宽(1960—), 男, 中国林科院木材工业研究所研究员, 博士。

均加工为 40 mm×40 mm×20 mm 的试件 9 块。

锯片:采用单齿切削,锯齿由硬质合金圆锯片经线切割加工而成,锯片基体材料为 65 Mn,刀头材料为 YG6X(硬度 91HRA,抗弯强度 1.32 GPa),锯身厚度为 2.2 mm,锯齿宽度为 3.0 mm。

1.2 方法

采用压电晶体法进行测量,切削力测试系统如图 1 所示^[8]。试件 2 固定在夹盘 1 上,刀具 3 固定在测力仪 4 上,测力仪固定在小刀架上,受力后产生电荷,经电荷放大器 5 放大并转为电压信号,由信号分析仪 6 采集数据。采集后的数据文件用磁盘 7 转存到计算机上,再进行分析。

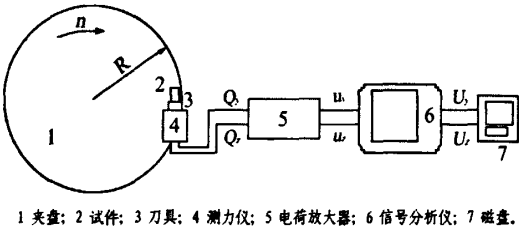


图 1 切削力测试系统
Fig. 1 Apparatus for measuring cutting force

切削试验台由车床改装,通过变速箱调节主轴每转刀架横向往进给量,改变切削厚度。

1) 锯齿前角影响试验:

硬质合金圆锯片在切削木材时,锯齿前角通常在 10°~20°之间,因此,本试验设定锯齿的前角分别为 10°、15°和 20°。其他参数固定为:端向弦切;锯齿后角 $\alpha=15^\circ$;刃口锋利;切削厚度 $d=0.250\text{ mm}$;切削速度 5.89 m/s 。

2) 切削厚度影响试验:

根据刀具每齿进给量的大小,选取 0.063、0.094、0.125、0.250、0.375、0.500 mm 共 6 个不同的切削厚度 d 值。其他参数固定为:端向弦切;锯齿前角 10°,后角 15°;刃口锋利;切削速度 5.89 m/s 。

3) 切削速度影响试验:

根据木材实际锯切加工中的切削范围,切削速度 v 设定为 5 种:3.925、5.888、7.850、9.813、11.775 m/s。其他参数固定为:端向弦切;锯齿前角 10°,后角 15°;刃口锋利;切削厚度 0.250 mm。

试验需标定平行于切削速度方向的主切削力 F_z 及与之垂直的法向切削力 F_y ,与输出电压的关系。标定时,加力点应在切削阻力受力点,即刀刃上。如图 2^[9]所示。

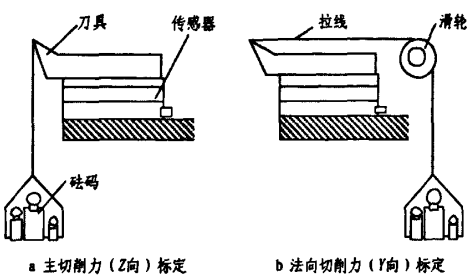


图 2 系统标定配重示意图
Fig. 2 Demarcation weighting system

每个试件在同一位置连续进行 8~10 次切削,产生一个锯路;然后将锯齿错开 10 mm 以上,进行下一次连续切削,产生另一个锯路。每个试件切削三个锯路,共切削 24~30 次,切削力结果取平均值。

2 试验结果与讨论

2.1 锯齿前角对木材切削力的影响

在锯齿前角分别 10°、15°和 20°条件下,对 3 种木材进行切削,切削力的检测结果列于表 1。

表 1 不同锯齿前角时的木材切削力
Tab. 1 Average cutting force under different rake angles

材种	锯齿前角/(°)	主切削力/N	法向切削力/N
杉木	10	29.769	11.094
	15	28.376	11.098
	20	27.775	10.430
樟子松	10	33.064	15.518
	15	31.037	15.229
	20	30.002	13.942
水曲柳	10	56.917	15.695
	15	55.741	13.197
	20	50.701	9.802

由表 1 可知,随着锯齿前角增大,3 种木材的主切削力均减小,与管宁的研究结果相符^[10-11]。其中杉木和樟子松主切削力的减小趋势较缓慢,水曲柳受锯齿前角的影响相对明显。当锯齿前角由 10°增大到 15°时,水曲柳的主切削力减幅仅为 2.1%;当锯齿前角继续增至 20°时,其主切削力降幅为 9%,约为前者的 4.5 倍。在相同锯齿前角时,水曲柳的主切削力约为樟子松的 1.7 倍,杉木的 2 倍。

就法向切削力而言,亦是水曲柳的变化较明显。当锯齿前角由 10°增至 15°时,水曲柳的法向切削力降幅约为 15.9%,杉木和樟子松的变化不明显;当锯齿前角增至 20°时,水曲柳的法向切削力降幅约为 25.7%,另外两种木材法向切削力的降幅均 < 9%。

在相同锯齿前角时,3 种木材法向切削力排序为:杉木、樟子松、水曲柳。结果表明,锯齿前角对木材法向切削力的影响,比对主切削力的影响更显著。

锯齿前角需结合切削力、切削温度和刀具寿命等因素综合确定。根据本试验结果,并结合实际生产中的切削温度、切屑流等参数,建议锯齿前角为 15°~18°,以保证较小的切削力,有助于提高切削稳定性,降低切削功率。

2.2 切削厚度对木材切削力的影响

3 种木材切削力随切削厚度的变化趋势,如图 3 所示;两者的相关性分析结果,列于表 2。

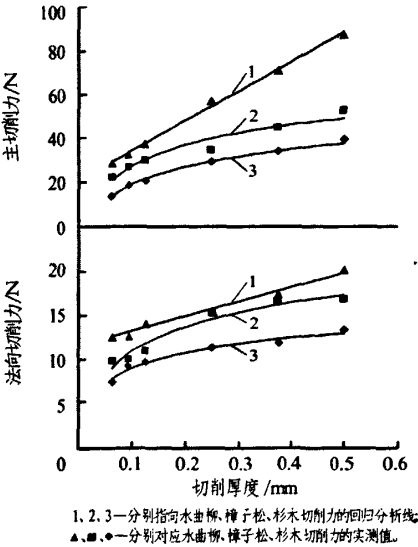


图 3 切削厚度对 3 种木材切削力的影响
Fig. 3 Effect of cutting thicknesses on cutting force

表 2 3 种木材切削力与切削厚度的相关性分析
Tab. 2 Correlation analysis between cutting thickness and force

木材种类	回归方程	相关系数 R ²
杉木	$F_z = 11.9140Lnd + 46.561$	0.991 9
	$F_y = 2.4772Lnd + 14.691$	0.967 7
樟子松	$F_z = 13.6620Lnd + 58.832$	0.937 5
	$F_y = 3.9668Lnd + 20.021$	0.953 8
水曲柳	$F_z = 65.840d + 19.995$	0.981 9
	$F_y = 16.736d + 11.455$	0.982 5

由图 3 可知,3 种木材的切削力均随着切削厚度的增加而增大。表 2 所列杉木和樟子松的切削力与切削厚度呈对数关系;而已往的研究表明,竹材主切削力与切削厚度正相关,法向切削力与切削厚度负相关^[8]。由此可见,对竹材和木材,切削厚度对法向切削力的影响存在差异。

每齿进给量反映切削厚度,因此,在超薄圆锯片的实际应用中,可通过降低每齿进给量,来减小木材切削力,提高切削效率和质量。

2.3 切削速度对木材切削力的影响

在 5 种切削速度下,木材切削力的测定结果如图 4 所示。切削速度与主切削力的回归分析结果,列于表 3。

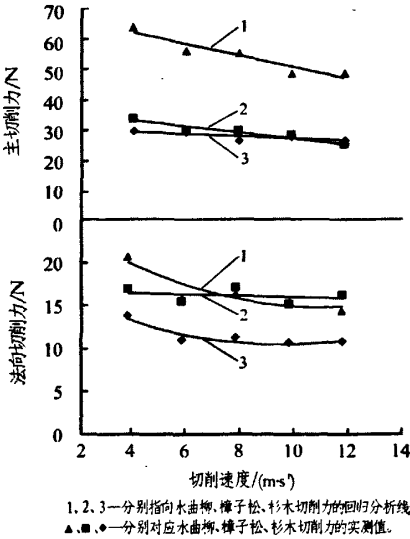


图 4 切削速度对 3 种木材切削力的影响
Fig. 4 Effect of cutting speed on cutting force

表 3 3 种木材切削力与切削速度的相关性分析
Tab. 3 Correlation analysis between cutting speed and force

木材种类	回归方程	相关系数 R ²
杉木	$F_z = -0.4252v + 31.398$	0.674 4
	$F_y = 0.0942v^2 - 1.8102v + 19.121$	0.857 5
樟子松	$F_z = -0.9502v + 36.875$	0.935 0
水曲柳	$F_z = -1.9079v + 69.499$	0.908 8
	$F_y = 0.1104v^2 - 2.3857v + 27.685$	0.824 6

由图 4 可知,在本试验条件下,切削速度对木材切削力的影响并不显著。当切削速度为 3~12 m/s 时,随切削速度的增大,3 种木材的主切削力均呈下降趋势,其中水曲柳的主切削力所受的影响相对较大,杉木和樟子松所受影响相对不明显。

在相同切削速度下,水曲柳的主切削力明显大于杉木和樟子松,主要与木材密度等因素有关。

另外,由于樟子松木材在切削过程中易产生超越裂缝,导致切削力不稳定,其切削速度与法向切削力之间的相关性不显著(R²=0.1032)。

3 结论与建议

1) 当锯齿前角由 10° 增至 20° 时, 3 种木材的主切削力和法向切削力均减小, 其中法向切削力受锯齿前角的影响更显著。因此, 宜将锯齿前角设计为 $15^\circ \sim 18^\circ$, 以减小木材切削阻力。

2) 随着切削厚度由 0.063 mm 增至 0.500 mm, 3 种木材的切削力均呈增大趋势。因此, 可通过降低每齿进给量, 来减小木材切削阻力。

3) 切削速度在 $3 \sim 12$ m/s 范围内时, 对 3 种木材主切削力和法向切削力的影响均较小。随着切削速度的提高, 3 种木材的主切削力和法向切削力皆呈下降趋势。在实际生产中, 可通过提高转速, 适当降低切削厚度, 在保证切削效率的前提下, 减小木材切削阻力。

参考文献:

- [1] 林石. 木材切削力的测定方法[J]. 木工机床, 1996(3): 30-36.
- [2] 王平, 陈光伟, 佟晓平, 等. 木材力学性质和木材切削力与木材密度之间的关系[J]. 东北林业大学学报, 2002(5): 53-55.
- [3] R F Scher. Mikroprozesse an der Werkzeugschneide(I, II, III) [J]. HOB Die Holzbearbeitung, 2005(3): 70-72, (4): 64-67, (5): 150-152.
- [4] 于志明, 李黎. 木材加工装备[M]. 北京: 中国林业出版社, 2005: 56.
- [5] F Eyma, P-J Meausoone, P Martin. Influence of the transitional zone of wood species on cutting forces in the router cutting process[J]. Holz als Roh- und Werkstoff, 2001, 59(6): 489-490.
- [6] 马岩. 国外木材切削理论研究的进展[J]. 木材加工机械, 2008(4): 35-40.
- [7] 曾丽霞, 袁慧, 王成勇, 等. 木质材料切削加工技术研究现状[J]. 工具技术, 2007, 41(5): 5-8.
- [8] 杨永福. 木材切削加工性能研究[D]. 北京: 北京林业大学博士学位论文, 2005: 1-111.
- [9] 曹平祥, 郝宁仲, 王瑾. 中密度纤维板切削力的研究[J]. 南京林业大学学报, 1996, 20(2): 75-89.
- [10] 管宁. 11 种针叶树材的切削厚度、刀具前角和木材含水率对切削阻力影响的研究[J]. 林业科学, 1992, 28(2): 146-152.
- [11] 管宁. 15 种阔叶树材中切削厚度、刀具前角和木材含水率对切削阻力的影响[J]. 林业科学, 1994, 30(2): 134-139.

(责任编辑 向琴)

行业简讯

品牌竹地板联盟召开新闻发布会

2011 年 3 月, 在第 13 届中国国际地面材料及铺装技术展览会期间, 中国林产工业协会、上海筑竹空间设计有限公司、浙江大庄实业集团和亚太传媒等单位, 共同主办了竹材与建筑应用国际圆桌会暨品牌竹地板联盟新闻发布会。中国林科院、中国林产工业协会的领导, 国内外著名设计师和专家, 竹制品加工企业 & 行业媒体的代表出席了此次会议。

专家们分别针对竹材在建筑中应用的现状和趋势、开发竹材建筑应用和举办竹材建筑应用专馆、竹材行业的现状和发展方向等, 做了专题演讲; 代表们探讨了竹地板生产技术的新进展、竹制品标准, 及市场开拓和营销等热点问题。

受世界金融危机的影响, 2008 年我国竹地板产量仅为 2 500 万 m^2 , 2009 年产量增至 3 500 万 m^2 , 2010 年估计可达 4 000 万 m^2 以上。竹地板销量亦有显著上升。

我国竹地板销量逐年攀升的主要原因有:

- 1) 竹制品低碳环保;
- 2) 重竹地板专利案的胜诉, 为企业产品出口扫清了障碍;

3) 企业重视科技开发, 新产品多样化, 可满足市场不同层次的需求;

4) 国家和地方的政策支持。2007 年, 国家税务总局取消了包括木地板在内的资源消耗型产品的出口退税政策, 但对竹地板出口继续保持 13% 的出口退税政策;

5) 品牌竹地板联盟的成立, 强化了竹地板的推广力度。

2010 年成立的中国品牌竹地板企业联盟, 集中了我国主要的竹产业龙头企业、科研教学机构和相关辅助产业企业, 旨在加强竹材开发利用的力度、加强相互之间的沟通、行业自律和权益保护, 共同开拓国内外市场, 协调和完善竹地板营销手段和渠道, 培育品牌, 提高消费者对竹地板的认知度。

近年, 竹地板行业亦面临着原料价格上涨、劳动力成本增加、产品售价低、利润少的困境。在这种严峻的形势下, 竹地板企业将通过节能降耗、改进工艺、科学管理等措施, 缓解成本上涨压力, 力保产品质量, 保护消费者权益, 促进竹地板行业健康有序发展。

本刊讯