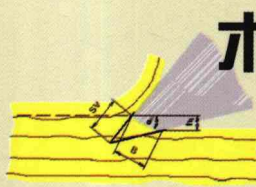




耿绍辉 著
王逢瑚 审



木工刀具磨损特性与 木材切削加工优化

东北林业大学出版社

木工刀具磨损特性与 木材切削加工优化

耿绍辉 著
王逢瑚 审

东北林业大学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

木工刀具磨损特性与木材切削加工优化/耿绍辉著. —哈尔滨: 东北林业大学出版社, 2007.10

ISBN 978-7-81131-113-6

I. 木… II. 耿… III. ①木工刀具-磨损-研究②木材切削-最佳化-研究 IV. TS643 TS654

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 167405 号

责任编辑: 姜俊清

封面设计: 彭 宇



NEFUP

木工刀具磨损特性与木材切削加工优化

Mugong Daoju Mosun Texing Yu Mucai Qiexue Jiagong Youhua

耿绍辉 著

王逢瑚 审

东北林业大学出版社出版发行

(哈尔滨市和兴路 26 号)

黑龙江省教育厅印刷厂印装

开本 850 × 1168 1/32 印张 3.5 字数 88 千字

2007 年 10 月第 1 版 2007 年 10 月第 1 次印刷

印数 1—1 000 册

ISBN 978-7-81131-113-6

TS·24 定价: 15.00 元

内容提要

本书介绍了木工刀具磨损特性与木材切削加工优化技术的发展概况和最新研究成果。结合木工刀具磨损特性的研究，阐述了木工刀具磨损的理论，建立了木工刀具刃口磨损模型，研制出光投影木工刀具刃口磨损测量装置，编制出木工刀具刃口磨损模拟程序，同时对超硬材料木工刀具经济性进行了初步探讨。

本书既有较强的理论性，又具有实用性。可供从事木工机械设计、木工刀具、木材科学与工程、家具设计与制造等工作的研究人员、工程技术人员以及高等院校有关学科专业的教师、高年级学生、研究生学习和参考。

前 言

木质材料作为四大工程材料中唯一可再生又可多次循环利用的天然资源,得到了越来越广泛和高效的应用。这除了木质材料具有的材质特性能够给人们以舒适、美观及回归自然的感受,并给人们带来健康的生活环境,更得益于当今木质材料加工技术水平和木质产品质量的提高。在全球范围内的森林资源质量衰退、优质木材资源减少的今天,小径材、低质材及次生林资源已成为主要的可加工利用资源。木质材料资源质量情况的变化,对其加工技术和加工水平提出更高的要求。切削加工技术作为木质材料的基本加工手段之一,不但直接影响木质产品的表面质量、加工精度和胶接面的胶合质量,而且关系到木质材料的利用率、加工过程的能耗及产品的生产成本。本书从木工刀具的磨损特性研究角度,首次提出了描述木工刀具刃口磨损情况的评价参数,并探讨了在木质材料加工过程中刀具的有关磨损参数及影响刀具磨损的主要因素,从而预测刀具的使用寿命。

本书以针叶材云杉和阔叶材山毛榉及刨花板、中密度纤维板为加工对象,采用木材加工行业具有代表性的碳素钢、高速钢和合金钢刀具进行试验研究。分别试验研究了高速钢刀具在切削云杉和山毛榉过程中切削路径(l_c)变化对刀尖磨损值(SV)、磨损宽度(B)和磨损程度(h_1)及薄层厚度(D)的影响,高速钢和合金钢刀具在切削刨花板和中密度纤维板过程中切削路径(l_c)变化对刀尖磨损值(SV)、磨损宽度(B)和磨损程度(h_1)及薄层厚度(D)的影响,以及刨花板和中密度纤维板两种常用人造板中表、芯层不同端面部位对刀具磨损参数的影响。书中有关木工刀具磨损特性的研究,为进一步探索适合木工刀具

磨损测量、使用寿命预测的方法提供了科学的依据。

笔者在分析和借鉴百余篇国内外有关刀具磨损特性研究成果和文献的基础上,通过对目前应用的刀具磨损测量方法进行分析比较,并结合木质材料的材质特性,首次运用光投影测量装置对木工刀具的磨损情况进行测量,并较好地解决了测量装置及测量方法中的有关技术问题。通过建立木工刀具磨损模型,对木工刀具的磨损进行了定性和定量分析研究。运用光投影测量装置及建立刀具磨损模型对木工刀具的磨损特性进行探索研究,填补了国内木工刀具磨损特性研究方面的空白;特别是利用 C++ 语言编写的木工刀具刃口磨损模拟程序,对木工刀具寿命预测及木质材料切削加工的优化更具有现实意义。

笔者采用单因子试验方法,试验研究了三种常用木工刀具、四种木质试验材料,在不同切削路径、切削速度和进料速度等技术条件下的木工刀具磨损参数特性。

本书是在东北林业大学优秀图书出版基金资助下出版的。书中主要内容是作者在攻读博士学位期间取得的部分研究成果。导师王逢瑚教授对本书的选题、技术路线和实验方案的制定以及最后定稿均给予了全面具体的深切关怀,并对此书提出了许多宝贵的修改意见,在此表示衷心的感谢!同时,对东北林业大学出版社的大力支持表示由衷的谢忱!

作者完成此书,以期在木材科学新技术领域起到抛砖引玉之作用,使木材及木质材料刀具磨损和木材切削加工优化的理论更加完善。限于作者水平,疏漏和不足之处,恳请读者指正。

目 录

1 绪论	(1)
1.1 木材切削加工概述	(1)
1.2 刀具磨损研究的现状与发展趋势	(2)
1.3 刀具磨损测量方法	(10)
1.4 小结	(18)
2 研究目的和试验方法	(19)
2.1 研究目的	(19)
2.2 试验方法	(20)
2.3 模拟程序的编制	(21)
2.4 小结	(21)
3 木工刀具刃口磨损模型的建立	(23)
3.1 理论基础	(23)
3.2 刀具磨损模型的建立	(27)
3.3 刀具磨损模型验证	(31)
3.4 刀具磨损模型的应用	(34)
3.5 小结	(36)
4 光投影木工刀具刃口磨损测量装置的研制	(37)
4.1 测量原理	(37)
4.2 测量装置	(38)
4.3 图像数据处理	(43)
4.4 装置应用及比较	(48)
4.5 小结	(50)
5 木材与木质材料切削试验研究	(52)
5.1 试验材料和设备	(52)

5.2	试验切削条件	(55)
5.3	试验结果及分析	(56)
5.4	小结	(65)
6	木工刀具刃口磨损模拟程序	(68)
6.1	编制模拟程序的目的	(68)
6.2	程序编制的理论基础	(68)
6.3	程序的编制及运行	(73)
6.4	小结	(81)
7	超硬材料木工刀具经济性的探讨	(83)
7.1	超硬材料刀具	(83)
7.2	金刚石复合刀具的应用	(87)
7.3	超硬材料木工刀具经济性对比分析	(90)
7.4	PCD 木工刀具研究与发展	(93)
7.5	小结	(95)
	参考文献	(97)

1 绪论

1.1 木材切削加工概述

木材是人类使用最古老的材料之一，自史前就作为居住、工具和燃料使用的材料，也是当今水泥、塑料、钢材、木材这四大工程材料中唯一可再生的又可以多次使用和循环使用的生物资源，它是一种极其复杂的生物材料。虽然当今世界上有许多人造材料，但木材这种环保材料仍然在人类历史和现实生活中占有重要的地位。随着自然资源和人类需求发生变化以及科学技术的进步，木材利用方式从原始的原木逐渐发展形成了木质材料家族，木材及木质材料在建筑、家具、包装、铁路等领域发挥着巨大的作用。因此，木材工业越来越受到各国的高度重视和关注^[1,2]。

一般情况下，木材要经过加工，生产出各种锯材或木质材料才可以充分利用，其加工方法主要有机械（物理）加工法和化学加工法。

在木材工业生产中，切削加工仍是木材与木质材料加工的重要方法，影响木材工业生产的效率、成本和能源消耗。切削加工属于传统的机械加工方法，经切削加工能达到所需要的形状和表面，铣、刨、锯以及钻等都属于此种方法。切削加工工艺已经达到很高的技术水平，如进料速度已达 200 m/min。切削加工的主要问题之一是刀具刃口因磨耗而变钝，在木材与木质材料的切削加工过程中，刀具刃口磨损状况是很复杂的。木工刀具切削对象是木材与木质材料，木材是由多种复杂有机物质组成的复合体，其中绝大部分是高分子化合物或复合物，其主要成分是纤维素、

半纤维素、木素，还含有水分和各种浸提物。木质材料，如纤维板、刨花板、水泥刨花板、石膏刨花板、胶合板和细木工板等，还添加了各种胶合材料（如胶黏剂、水泥、石膏等）、固化剂和缓凝剂等。所以说木工刀具的加工对象是多组分的、复杂的混合物^[3-6]。

木工刀具刃口锋利与否是影响加工质量的重要因素，木工刀具磨损是木材切削过程中的固有现象，木工刀具磨损理论是研究刀具材料不断从刀具表面消失的过程。迄今为止，木工刀具磨损理论主要有：

- (1) 机械擦伤磨损；
- (2) 化学腐蚀磨损；
- (3) 电化学腐蚀磨损^[6-8]。

刀具磨损越大，工件表面的材料被搓起、撕裂和挖切就越厉害，从而工件表面质量降低。刀具磨损到一定程度时，切削过程不得不中断，增加换刀、磨刀的次数和机床的启动频率，降低了机床的使用效率，严重时将损坏机床和刀具。因此，研究刀具磨损特性，对提高刀具使用寿命具有重要的实用价值。

对于切削加工这种传统的木材与木质材料加工方法的研究，越来越引起人们的重视。木材与木质材料加工刀具磨损特性的研究，对于分析刀具磨损机理和优化木材加工技术具有重要的理论意义，能为木材与木质材料切削加工选择工艺参数提供科学依据，对于保证工件加工质量，预测刀具使用寿命，降低切削噪声等也具有十分重要的意义。

1.2 刀具磨损研究的现状与发展趋势

国内外对刀具磨损有很多研究，但多为金属切削刀具磨损的研究，对木工刀具磨损的研究相对较少。在木工刀具磨损的研究中，多数仅对刀具磨损进行定性分析，极少对刀具磨损进行定量

分析。

1.2.1 刀具磨损研究现状

切削加工的过程，就是在各种机床上利用刀具切除坯料上的多余材料，获得形状、精度、表面质量均符合要求的合格工件的过程。可见，刀具的质量不可避免地会影响到切削加工的质量和经济效益，而切削加工中的刀具磨损及抗磨方法则备受工程技术人员的极大关注。很多国家的科研机构都投入了大量的人力和物力，进行刀具磨损和抗磨方法的研究，以提高刀具寿命、降低生产成本、提高生产效率。

刀具的磨损机理十分复杂，是机械、物理、化学、热学等综合作用的结果。在切削过程中，刀具的磨损形式相对很复杂，当刀具磨损到一定程度时，无论是机床、工件，还是刀具本身都受到很大的影响，主要体现在以下几个方面：首先，刀具的磨损直接导致切削力增大，从而造成工件/刀具系统的振动增强，降低了刀具的使用寿命，对机床精度也将产生直接的损害，严重时还会危及操作者的人身安全。其次，刀具磨损在工件上的反映主要表现在对工件粗糙度和工件尺寸的影响。刀具磨损的加剧将导致工件尺寸精度变差，严重时会造成加工方向产生大的变形。再次，由于刀具的磨损是一过程量，凭经验人为的判断很难确定刀具磨损程度，往往出现刀具还没有报废时就提前换刀，无形中提高了加工成本，造成不必要的损失；或者换刀不及时，影响工件加工质量，限制了切削效率，而且增大了机床故障出现的概率，造成严重的危害。

刀具磨损在切削过程中会严重损坏工件的几何尺寸和表面形状。对于金属切削刀具，为了保证产品的质量和加工系统运行的稳定性和可靠性，需要对刀具磨损状态进行在线监测。利用光学、机械振动、切削力、切削噪声等方法进行监测都收到了不同程度的效果^[9-31]。加工过程中刀具磨损将造成机床产生振动、工

件表面粗糙度和尺寸精度变差,严重时还会造成刀具破损、工件报废、机床停机等故障。刀具工况监控和磨损量在线识别是实现高效低耗和加工过程自动化的一项关键技术。国内外研究人员在这一领域做了大量工作,进行了广泛研究,提出了许多监控方法^[12, 15, 17, 24]。

基于计算机视觉的刀具状态监控能够避免传统刀具监测方法对处理面临的一些问题,具有许多突出的优点。1979年 Matsushima 等人最早尝试利用图像处理及视觉系统进行刀具状态检测^[18]。在每一次更换刀具的时候,使用 TV 照相机检测切削刀具。使用从灰度直方图人工选择的阈值把灰度图转换为二值图。直接从二值图像计算后刀面磨损宽度,通过计算在后刀面磨损方向的图像元素的数量来实现磨损状态的判断。如果较大的变化连续出现在 3 个以上的图像元素范围内,则切削刃的破损就被识别出来。同样,当原始的切削刃与实际的切削刃之间的差异超过一定值时,就检测到了切削刃的变形。由于磨损区域表面纹理的不规则性,反射光的强度在整个磨损区域内变化,因而,使用全局阈值通常会生成包含图像磨损区域内的离散的黑像素的二值图像,这将导致错误的结果。

Lee 等(1986)研究了使用基于 VICOM 图像分析系统的综合性方法^[15]。刀具放在装有摄像机的显微镜下,使用专门设计的固定设备进行处理。刀具磨损图像的处理分两步进行。首先,使用对比度拉伸算法增强图像;然后,使用交互性的分割程序从背景中勾画磨损区域的轮廓。通过推导出的一些参数,尝试提供对后刀面磨损现象的较完整的描述。但是,交互性分割算法限制了这项技术在自动化场合使用。

在提高系统性能方面,可控制的照明技术是一个关键因素。F. Giusti, M. Santochi 等(1987)推出了用于切削刀具磨损循环检测的光导纤维检测元件^[15]。采用两种不同的光源布置和一个照相机记录前刀面和后刀面的磨损图像。

Jeon 和 Kim (1988) 研究了使用相干光源的另一种方法^[29]。切削刀具的刀尖由激光束照明, 反射帧面由垂直于后刀面的照相机摄取。图像处理步骤包括二值图像去噪声及生成磨损区域的轮廓, 系统的精度在 0.1 mm 之内。较高的处理速度使检测元件可以用于在线监测。但较小的照明区域却限制了从每一图像帧获得的信息数量。

J. Park 和 A. Uisoy 利用可调节的观测仪, 基于后刀面磨损模式的观测技术和递归最小平方参数估计算法的组合; 测量后刀面磨损^[15]。由于照相机分辨率的限制, 只有磨损区域的中央部分可以被摄取。在阈值处理后, 磨损区域的顶部和底部之间的距离作为磨损的宽度。从试验结果可以得出, 在不变的切削条件及变化的切削条件下, 这种一体化的方法能够较好地实现检测目的。

Teshima 等 (1993) 是首次将视觉检测元件与神经网络结合对刀具寿命进行预测的学者^[15]。张昆等 (1994) 在数控机床上应用光导纤维传像束和工业摄像机将刀具磨损图像输入监视器, 并利用图像采集卡将图像转换成数字图像存入微机, 经二值化处理, 从而实现刀具磨损检测^[13]。

熊四昌 (2003) 进行了基于计算机视觉的刀具磨损状态监测技术的研究^[15]。研究中结合计算机视觉技术和马尔可夫随机场理论, 以工件表面纹理和车刀后刀面磨损为研究对象, 对基于计算机视觉的刀具磨损状态监测方法进行了深入的研究, 提出一些新的算法。研究了基于计算机视觉的刀具状态监测技术在车削监测中的应用, 介绍了刀具状态监测系统的组成, 研究了刀具磨损状态监测的主要流程。

袁巧玲 (2004) 进行了金属表面图像检测系统的开发^[17]。建立了由 CCD 摄像机、体式显微镜、视频采集卡和计算机构成的金属表面图像检测系统, 开发了相关的检测软件。基于 LabVIEW 平台建立了图像检测系统的框架, 开发了图像获取、分割、边缘检测及系统的标定等功能模块。在输入刀具图像的灰度

分割阈值后,通过逐步执行增强边缘信息,阈值化,形态处理,自动计算磨损区域面积,并给出测量结果详细信息表。

总之,对于金属刀具磨损,重点要研究磨损状态的判别和在线监控,在实际生产中显得越来越重要。

然而,对于木工刀具磨损的研究,更侧重于离线测量刀具的磨损情况,对刀具磨损进行定性分析、定量分析,找出刀具磨损的一些规律,以便选择合理工艺参数。

K. Riechers (1935)研究了木工刨床刨切加工家具零件时如何延长刨刀使用寿命的一些方法^[56]。E. Kivimaa (1952)对木材切削力进行了研究,并对木工刀具的磨损给出了初步的定义,研究了木工刀具磨损的机理,首次提出木工刀具切削时,由于木材中有机酸的作用,而产生刀具的电化学磨损^[53,54]。

G. Palitzsch 及 E. Sandvo β 等(1964, 1970, 1972)对木工刀具铣削木材及硬质纤维板、刨花板进行了大量的研究^[47-52]。使用碳素工具钢刀具铣削硬质纤维板,研究在不同进给路径 l_f 、切削速度 v_c 、切削厚度以及不同角度参数等的条件下,刀具的磨损程度。还对工件表面加工质量与刀具磨损大小之间的关系进行了一些研究。对贴面及非贴面刨花板铣削加工的刀具磨损进行了对比研究,当然贴面刨花板表层对刀具磨损远远大于芯层。

R. Fischer (1979, 1989, 1997等)对木材及木质材料切削加工进行了一些理论和试验研究^[33-39]。设计了测量切削力的试验装置,通过切削力大小间接测量刀具磨损大小。提出用磨损程度 h_1 可以反映刀具后面的磨损程度,提出了建立木工刀具磨损模型的必要性。

W. Stühmeier (1989)研究了硬质合金、陶瓷及金刚石刀具铣削加工贴面及非贴面刨花板时,刀具的磨损及刀具的耐用性^[40]。提出用刀尖圆弧半径 r 反映刀具磨损大小(图1-1)。认为刨花板中的含砂量对刀具磨损的影响很大,金刚石刀具由于价格过高,对于铣削非贴面刨花板的经济性差。W. Stühmeier采用

机械触针法测量刀具刀尖磨损值 SV ，并对刨花板板边缺角进行了检测。

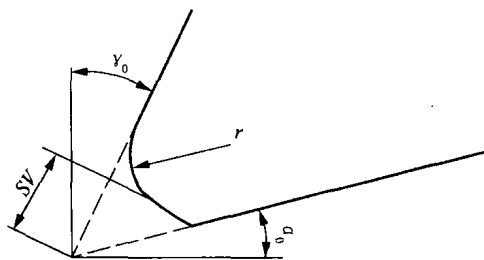


图 1-1 刀具磨损的描述

Fig. 1-1 Description of tool wear

S. Grunert 和 F. Dietel (1997) 设计出一台基于位移传感器原理的机械触针法测量装置，可以通过计算机记录有关数据，便于进行数据处理^[55,57]。对一定刀具/工件条件下刀具的磨损进行了一些试验研究，选用高速钢 (HSS) 刀具及刨花板、中密度纤维板作为试验材料，对刀具磨损的规律作了初步探讨。机械触针法测量刀具长度方向的磨损基本能满足需要，能充分反映出表层、芯层处的差别。但对于刀具横截面外廓的测量有一定的难度，对刀具的刃磨角等参数有一定的要求。

H. Hoffmeister (1999) 等对各种木工刀具材料进行了对比分析^[74,75]。研究了提高工件表面质量的一些措施。

在我国较早的对木工刀具磨损的研究有习宝田 (1989) 对木工刀具的磨损与变钝的研究，对木工刀具的磨损进行了初步研究^[99]。杨廷成 (1994) 研究了木工刀具材料刃磨特性及其磨具选择^[88]。提出在选择刀具材料时，不仅要具有较好的硬度和耐磨性，而且还要具有足够的强度和韧性，而刀具的刃磨性也要重视，使刀具重新刃磨时方便容易。作为使用单位也必须了解刀具材料的刃磨特性以及刃磨磨具的选择，这对提高刀具耐用度、降

低刀具消耗都是非常重要的。

肖正福、吴方明(1995)对我国木工刀具的耐用度进行了试验研究^[92]。指出我国木工刀具的耐用度试验存在的主要问题为木工刀具耐用度试验可操作性差,主要表现在耐用度试验时间长并且需大量试材,尤其是试材成本大,导致生产刀具的工厂无法做这种试验,难度特别突出。如果结合工厂生产现场进行但又受各种客观条件的限制。不同木工刀具磨损参量的确定以及准确、方便的测量方法缺乏进一步深入研究。木工刀具耐用度加速磨损试验有了良好的开端,但未完全满足木工刀具耐用度试验的特殊性,试材的选择上急需再寻找与试验。木工刀具耐用度试验基础性研究,应引起有关部门的重视。

曹平祥等(1995, 1996等)对木材及木质材料切削加工进行了系列的理论和试验研究^[78-86]。用拉丁方正交表安排试验进行木材切削力的研究。分析切向力 F_x 和法向力 F_y 与切削厚度、刀具角度、刀具材料及刀具磨损等因素之间的关系。用二次回归正交组合设计法安排试验,进行定向结构板切削力的研究,采用二次回归数学模型分别拟合单位宽度的切削力 F_x 、 F_y 与刀具磨损 b 、刀具前角 γ 及切削厚度 a 之间的关系。试验分析表明 F_x 的二次回归曲线方程在水平 $\alpha = 0.01$ 下显著。 F_y 的二次回归曲线方程在水平 $\alpha = 0.05$ 下显著。此外还进行了中密度纤维板切削力、金刚石涂层木工刀片磨损、声发射的小波分析与木工刀具磨损检测等的研究。

习宝田、钱桦(2001)对现代木工刀具材料进行了探讨^[4,5]。介绍了构成木工刀具材料的各种物质的化学成分及其物理力学性能、刀具材料新品种、新牌号,以及刀具材料与被切工件在物理、力学和化学性质匹配方面的重要性,并对未来木工刀具材料的发展提出预测和展望。习宝田等(2002)分析了木工机械与刀具业面临的挑战^[77]。指出我国木工刀具制造业相比更加薄弱,除少数几家生产锯条和锯片的厂家外,多数刀具厂规模小,设备

工艺落后,产品品种少、档次低,关键优质材料还依赖进口,因此很大一部分市场份额被外资产品占有。

曹平祥等(2003)对木工刀具磨损机理及抗磨技术进行了研究^[6,7]。分析了木工刀具的磨损机理,指出机械擦伤磨损是碳钢刀具的主要磨损;腐蚀磨损是硬质合金刀具的主要磨损。介绍了国内外刀具抗磨技术的研究现状及在木工刀具中的应用情况。曹平祥(2003)还对金刚石刀具在木材加工中的应用进行了分析研究^[80]。指出金刚石刀具具有耐磨性良好的显著特点,稳定了工件表面质量,降低了换刀频率,充分提高了设备的利用效率,综合刀具成本大约是硬质合金刀具的50%。随着金刚石材料品质的提高和木材加工设备稳定性、精度的改进,金刚石刀具在木工刀具的占有率会进一步提高,并有望用于对水泥刨花板、多层实木复合地板、塑料贴面板等材料的加工。关于金刚石木工刀具还有一些研究,如郑超、张志军、李东平(2002, 2003)的金刚石木工刀具发展之我见^[95],金维洙等(2005)的金刚石刀具技术现状及在木材加工中的应用前景^[94],肖正福(2002)的木工刀具硬质合金化及其应用^[91]等。

1.2.2 刀具磨损研究发展趋势

刀具磨损状态监控技术已经成为国内外学者高度重视并进行广泛研究的重要课题。刀具监控系统的开发研制对切削加工起着至关重要的作用,已成为高效切削的关键技术之一,对于金属切削刀具其主要发展的趋势为:

- (1) 采用定性分析和定量估计相结合的监测方式;
- (2) 软测量技术的运用;
- (3) 进一步提高实用性和可靠性;
- (4) 开发多信息融合、综合技术,实现监控系统的柔性化要求;
- (5) 开发应用决策系统与学习系统;