

DOI: 10.12326/j.2096-9694.2021175

木质材料磨削理论及技术研究进展

罗斌¹, 张健¹, 柳浩雨¹, 李黎¹, 刘红光¹, 李昊²

(1. 北京林业大学材料科学与技术学院; 木质材料科学与应用教育部重点实验室, 北京 100083;

2. 郑州嘉晟研磨制品有限公司, 河南郑州 450000)



摘要: 磨削是木质材料加工中非常重要的技术手段, 对木制品表面质量、界面结合性能等具有重要的影响。本文归纳总结木质材料磨削表面创成机理和磨削失效机理, 提出木质材料磨削加工领域应关注的关键技术, 同时对木质材料砂带磨削技术发展做出展望, 为后续磨削技术的研究发展提供参考。

关键词: 木质材料; 磨削; 表面创成; 磨削失效

中图分类号: S784; TS64; TG580.619.2

文献标识码: A

文章编号: 2096-9694 (2022) 04-0006-07

Research Status of Sanding Theory and Technology for Wood Materials

LUO Bin¹, ZHANG Jian¹, LIU Hao-yu¹, LI Li¹, LIU Hong-guang¹, LI Hao²

(1. College of Materials Science and Technology, Beijing Forestry University; Ministry of Education Key Laboratory of Wooden Materials Science and Application, Beijing 100083, China; 2. Zhengzhou Jiasheng Abrasives Co., Ltd., Zhengzhou 450000, Henan, China)

Abstract: Sanding is a critical technique in machine processing, which displays significant influence on wood surface quality and interface bonding performance of wood products. This article summarized the surface creation mechanism and sanding efficacy failure mechanism. Furthermore, the key technique was introduced on wood sanding process. Meanwhile, perspectives on the development of wood sanding technology were proposed for future research.

Key words: wood materials; sanding; surface creation; sanding efficacy failure

木质材料作为一种绿色可再生材料, 在建筑、室内装饰、家具、交通等领域广泛应用。木质材料可由原材料经简单物理加工后直接使用, 如实木板材、竹片等; 也可由加工后的原材料与其他材料复合后使用, 如刨花板、纤维板等。不管何种类型的木质材料, 其具有的纹理特征和多孔性的基本属性, 均对切削行为有重要影响^[1]。

磨削是一种多齿微刃切削, 是木质材料生产

加工中必不可少的环节, 主要用于消除铣削、锯切等加工痕迹和缺陷, 去除人造板表层的预固化层, 精确校准板材厚度, 素面和漆面抛光, 提高制品表面质量, 提高界面结合性能^[2-3]。据统计, 2014—2019年我国木质材料加工中, 涂附磨具(用粘结剂把磨料粘附在可挠曲基材上的磨具, 如砂带、砂页等)的年消耗量占磨具总量的35%, 市场潜力巨大^[4]。随着木材加工行业竞争加剧、自动化程度提升, 对涂附磨具质量和性能要求进一步提升。

近年木质材料磨削基础理论研究取得了一些成果, 带动了相关应用技术的发展, 本文总结近

收稿日期: 2021-12-14; 修改日期: 2022-06-27

基金项目: 中央高校基本科研业务费专项“木材磨削砂带失效形式及抑制策略研究”(2021ZY31)。

作者简介: 罗斌 (1986—), 男, 副教授。Email: luobin1@bjfu.com.cn

年木质材料磨削研究的最新进展,以帮助木材加工、涂附磨具制造、磨削设备制造等相关企业进一步提升技术水平,促进研发新产品和提高核心竞争力。多数木质材料磨削所用的磨具为砂带^[5],所以本文仅讨论砂带磨削。

1 木质材料的磨削特点及存在问题

1.1 木质材料磨削特点

木质材料的性质、砂带的性质及应用形式共同决定了木质材料砂带磨削的特点,主要表现为: 1) 负前角多刀齿切削。屑片变形剧烈,不易产生超前劈裂,切削质量好; 2) 弹性磨削。接触辊、压垫、砂带都具一定弹性,表现为实际磨削去除量小于理论设定值; 3) “冷态磨削”。砂带周长较长,散热效果好; 4) 去除量大。相较于金属、石材磨削,每齿切削量大,单位时间产生粉尘量多; 5) 对纹理特征较为显著的木质材料,磨削方向和表面质量、去除率高度相关; 6) 安全,噪声小,振动小,成本低; 7) 适应性强。可调整压垫形状或将砂带剪裁加工成刷、辊等形式^[6-7]。

1.2 木质材料磨削存在的问题

木质材料具有各向异性、纹理、孔隙等特征,人造板中含有胶黏剂,因此木质材料磨削过程具有其独特性^[7]。在实际生产中主要存在以下问题。

1) 在砂带使用寿命周期的前、中、后期,工件表面质量和磨削去除率有明显差异。在砂带初锐阶段(新砂带磨粒等高性较差,在砂带使用初期,砂带上较高磨粒会迅速破碎或脱落)此现象最明显。

2) 砂带使用寿命较短。从砂带磨损程度来看,远未达到砂带应有的极限寿命。

3) 对于纹理特征显著的木质材料,不同磨削方向,磨削力、加工表面质量、材料去除率等差异性较大。

4) 异形砂光。木制品零件中有相当一部分是异形体,在砂光过程中非常容易出现过砂、漏砂、倒角等缺陷。

5) 还未有准确的适用于木质材料的磨削质量检测(监测)系统^[8]。

要解决以上问题,需结合木质材料磨削表面

创成的机理、磨削失效机理等基础理论,让磨具、磨削设备(控制)和检测(监测)系统协同作用,从而进一步实现木质材料智能磨削。

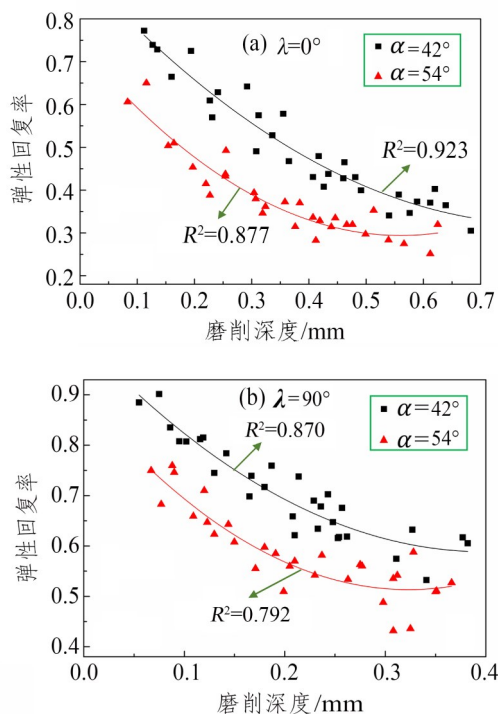
2 木质材料磨削表面创成机理

木质材料表面创成机理是指磨削过程中磨粒对木质材料表面产生作用并进行改造的过程。要从根源上解决木质材料砂带磨削中的问题,需根据木质材料表面创成机理,有针对性地对磨具和磨削参数进行优化。

木质材料磨削表面创成过程可分为四个阶段: 滑擦、密实化、耕犁和切削^[9]。

1) 滑擦: 木质材料发生弹性变形,不产生磨削痕迹(不改变被磨削工件的表面形貌)。砂带磨削时,磨粒总是由浅到深和工件发生干涉,因此滑擦不可避免。相同磨削深度条件下,木质材料密度越大,弹性回复率越小,滑擦所占比例越小;磨削深度越大,滑擦比例越小。

从图1可知,糖槭(*Acer saccharum*)顺纹和横纹磨削时,磨粒顶锥角越大,压缩变形越剧烈,



注: λ 为磨削方向和纤维方向的夹角; 2α 为磨粒顶锥角。

图1 糖槭弹性回复率与磨削深度的关系^[10]

Fig.1 Relationship between the elastic recovery rate and cutting depth of sugar maple

滑擦阶段弹性回复率相对较小；磨削深度越大，木材局部应力集中，更容易发生塑性变形，弹性回复率越小^[9-11]。

在实际磨削加工中，滑擦是不可避免的，但应当尽可能减少滑擦比例，以提升磨削效率和降低能耗。加大磨削深度在一定程度上可以缩小滑擦的比例，但当磨削参数一定时，只能通过改变磨具上的磨粒形态（减小磨粒顶锥角）来实现磨削效率提升和能耗降低。

2) 密实化：磨粒在一定切削深度条件下使局部木质材料孔隙压缩变形，从而产生局部密实化的现象，如图2所示。

木质材料孔隙率越大，密实化现象越显著。实木顺纹磨削时，密实化现象较为显著；横纹磨削时，只有孔隙率比较大的木质材料才可形成较明显的密实化现象。此外，密实化现象会使材料表层至亚表层形成一定深度的硬化层，从而影响胶黏剂和涂料的渗透性，继而影响磨削表面的胶合和涂饰性能^[9-11]。

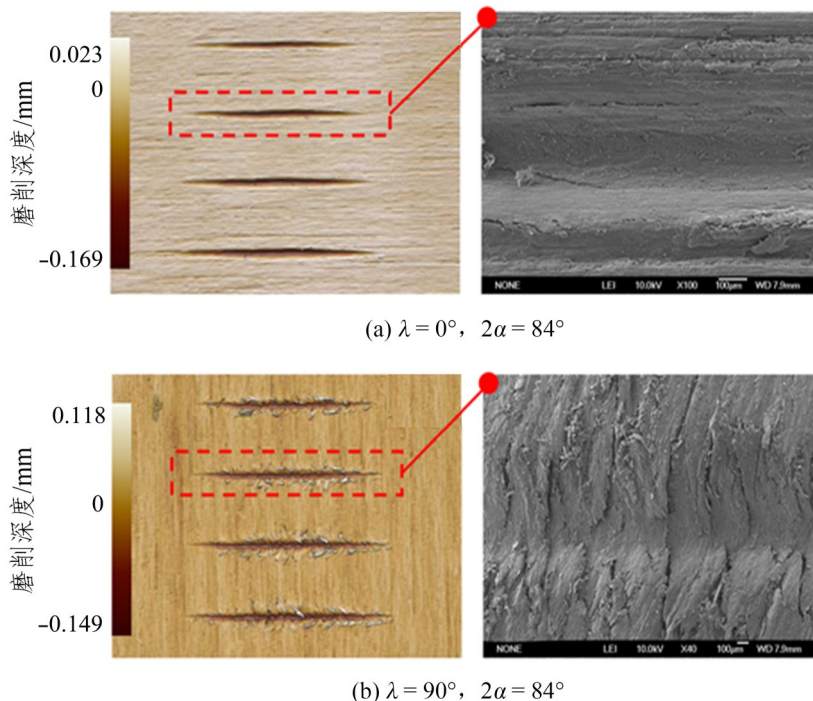
3) 耕犁：当磨粒压入木质材料一定深度后，

木质材料表层和亚表层达到其压缩破坏极限，材料在磨粒前刀面发生堆积，伴随着磨粒运动，在磨粒两侧产生塑性流动，进而在磨削沟壑两侧产生隆起的现象。耕犁现象在金属材料中非常显著，但在木材磨削中不显著，甚至有时不发生。木材具有丰富孔隙，磨粒压入后，木质材料的孔隙会被压溃从而吸收掉部分塑性变形能量，此外木材不同磨削方向条件下纤维的破坏形式不同，因此不容易产生材料堆积（弱耕犁）。具有较小孔隙率的木材在顺纹磨削时才会在磨削沟壑两侧形成隆起。木材横纹磨削时宏观上会表现出“隆起”，但实际上绝大多数“隆起”是纤维断茬翘起所产生的，并不是因为压缩、塑性滑移所产生的，只有局部区域会发生不显著隆起和密实化现象，如图3a~d所示。对于刨花板等孔隙率较大和局部体现木材纹理特征的人造板，会在局部体现类似木材的弱耕犁特征。MDF等孔隙率较小、纹理特征不显著的人造板则会体现较显著的耕犁特征^[9-11]。木质材料磨削时的耕犁显著性还和磨粒形态有关，侧刃特征显著的磨粒容易在沟壑两侧将纤维刮断，形成类似横纹磨削时的断茬和纤维撕裂（图3e~f），相对圆滑的磨粒更易形成隆起。

4) 切削：木质材料因磨粒挤压、剪切、拉伸等作用达到其破坏强度极限，最终与基体分离，形成切屑。由于绝大多数磨粒是负前角切削，所以切屑以压缩型切屑为主。磨粒的侧刃主要起材料分离作用，不同侧刃个数、前刀面个数时的比磨削能（磨削去除单位体积材料所消耗的能量）不同^[9-11]。

3 木质材料磨削砂带失效机理

木质材料磨削砂带的失效形式主要包括：磨粒磨损、磨粒断裂、磨粒脱落、砂带堵钝四种失效。从图4中可以看出，磨粒在使用后刃尖无显著钝化现象，但有比较显著的断裂特征，因此磨粒磨损以断裂



注： λ 为磨削方向和纤维方向的夹角； 2α 为磨粒顶锥角。

图2 糖槭顺纹和横纹磨削时的表面密实化现象^[10]

Fig.2 Surface densification of sugar maple during sanding along and across grain direction

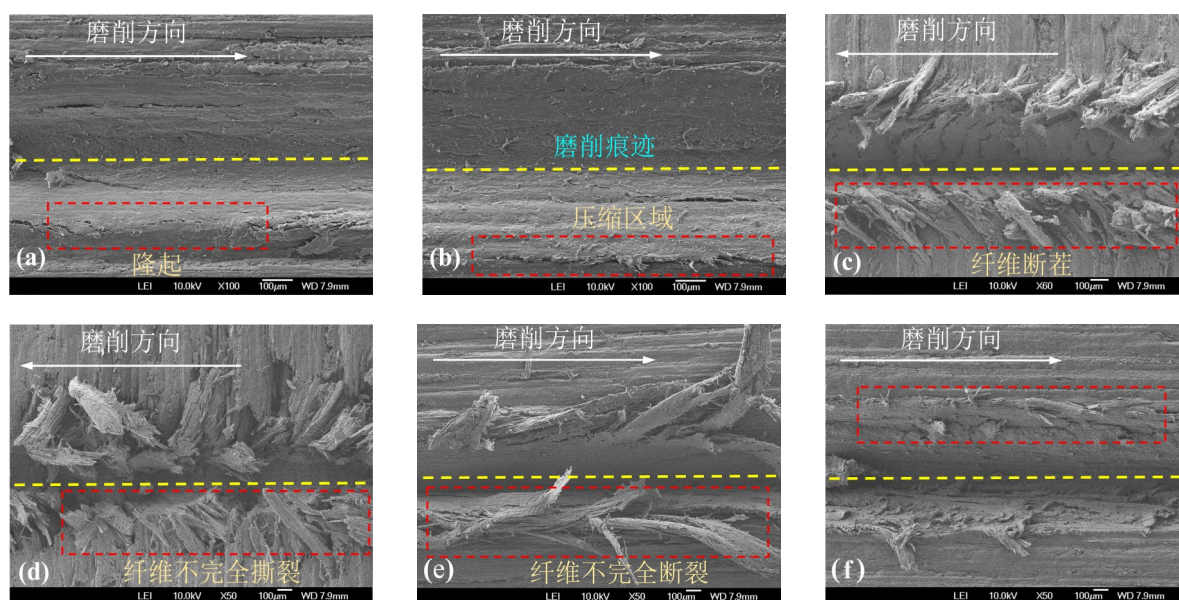
图3 糖槭顺纹和横纹磨削时沟壑两侧的隆起和断茬^[11]

Fig.3 Raised ridges and stubble breaking during sanding sugar maple along and across grain direction

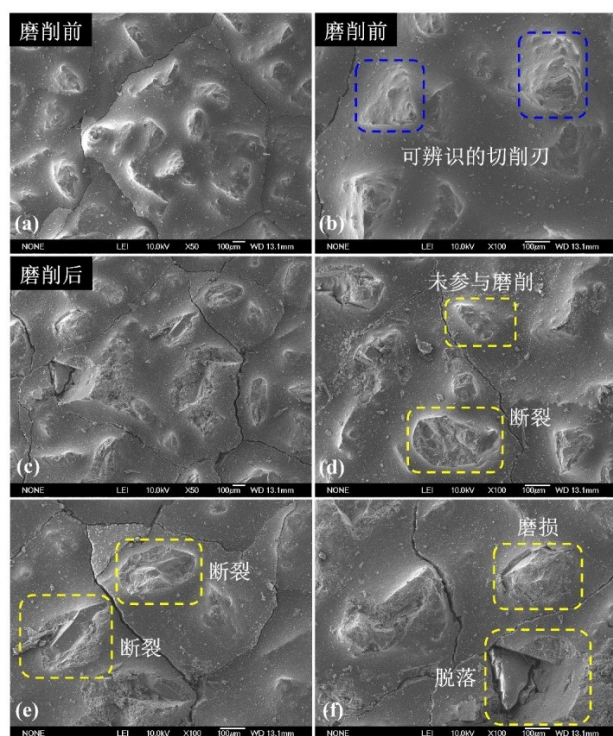
图4 磨削过程中磨粒变化^[14]

Fig.4 Changes of abrasive grits during sanding process

形式为主,机械磨损并不显著。磨削初期以磨粒脱落为主,磨削中期以磨粒脱落、断裂和砂带堵钝为主,磨削后期以砂带堵钝为主^[12-13]。

随着磨削长度增加,砂带等高性逐渐变好,工件表面粗糙度相对稳定,但磨削效率逐渐下降

(图5)^[4]。但在木质材料磨削过程中,砂带失效的主要原因并非是砂带磨损,而是磨屑堵塞引起的砂带堵钝,尤其磨削含有胶黏剂的木质材料时堵钝效应尤为显著。磨削时随着温度升高,胶黏剂发生软化,从而包覆纤维粘附在磨粒上,填堵住磨粒间的空隙,致使砂带去除能力下降,磨削力和磨削温度上升。

此外,植砂密度越大,堵钝效应越显著,而且易使砂带表面出现“团聚高势面”。所谓“团聚高势面”是指胶黏剂、磨屑包裹住多个磨粒,使磨粒抱团,形成一个整体相对平整且较高的平面,从而使砂带局部失去磨削能力,而且“团聚高势面”会随着磨削时间的延续而逐步扩散,如图6所示^[4,14]。

4 木质材料砂带磨削技术发展趋势

近几十年,我国木质材料磨削技术进步以磨削设备为主,但砂带磨削技术发展一直停滞不前。新型磨具研发离不开磨削理论的支撑,而检测技术除了硬件技术上的突破,还需要匹配相应磨具进行算法优化,所以新型磨具研发是木质材料磨削技术发展的核心。

木质材料的磨削性能与木质材料磨削创成和失效机理息息相关。评价木质材料砂带磨削性能

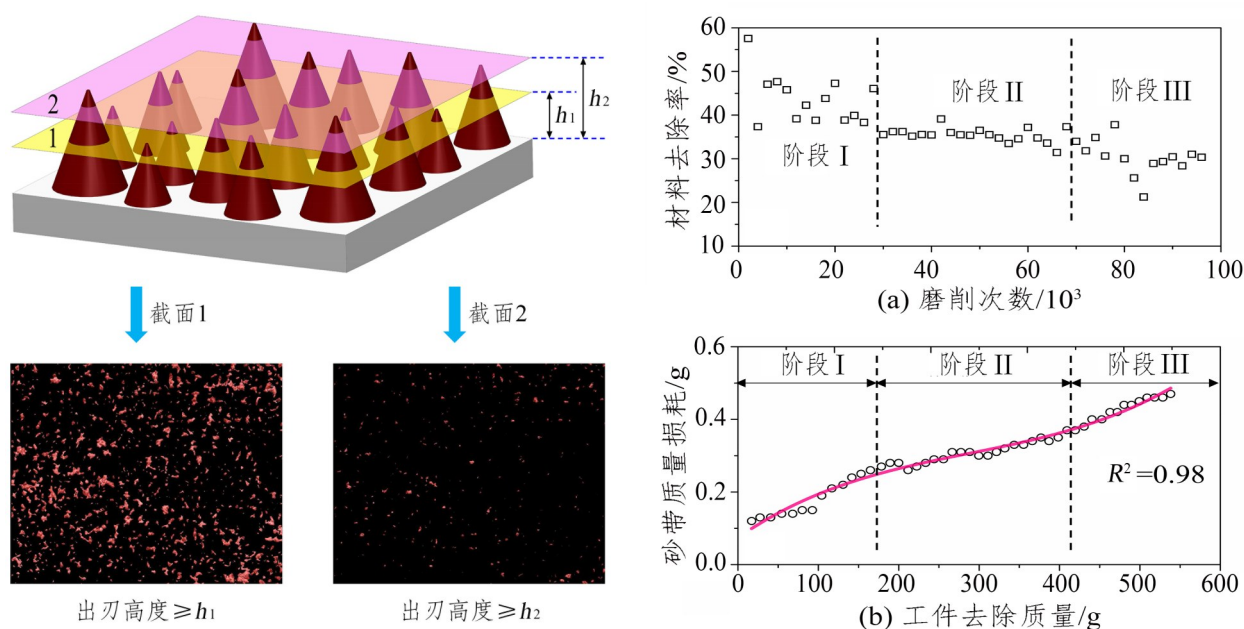
图5 砂带等高性及磨削去除率变化过程^[4]

Fig.5 Abrasive belt contour and removal rate during sanding process

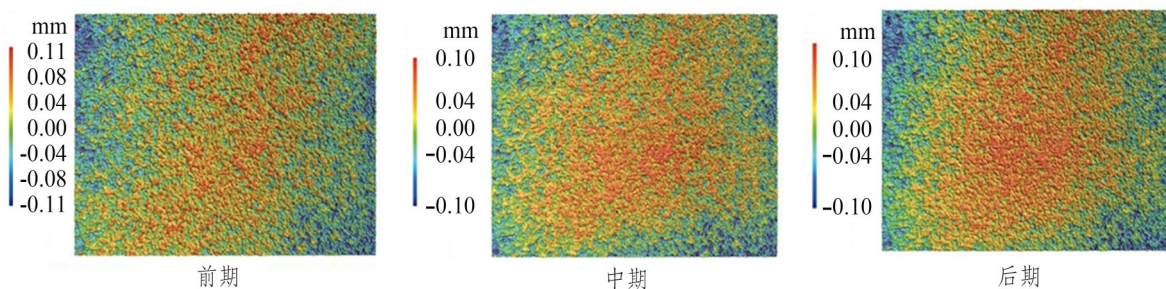
图6 磨削MDF砂带表面三维形貌图^[14]

Fig.6 Three-dimensional surface topography of abrasive belt during MDF sanding

可从技术和经济两方面指标进行，主要评价指标包括材料去除率、表面质量和砂带寿命。不同木质材料性质、磨削加工需求及饰面要求的加工条件下，需充分考虑木质材料磨削表面创成机理和失效行为，研发适用于加工条件的新型磨具才能真正提升木质材料磨削性能，再结合现代工业化检测技术和自动化磨削设备来实现磨削智能化控制。

4.1 定组态砂带

控制砂带组态（磨粒形状、磨粒排列规则）是提升木质材料磨削技术的核心要素。定组态砂带上磨粒的形态和排列是可控的，可根据不同材料磨削表面质量和排屑的要求，调控磨粒形态和排列，从而实现高效、高质的磨削效果。

木质材料的表面质量和去除效率对磨粒形态非常敏感，从切削理论角度分析其实是将磨粒具象为刀具，以及刀具参数对切削过程的影响。木纤维在不同切削角度条件下的去除机理不同，横纹切削时侧刃应先于主刃将纤维切断，顺纹切削时主刃应先于侧刃将纤维切断，因此不同磨粒所体现的主刃和侧刃的个数、相对位置对于木质材料切削行为有重要影响。磨削时由于绝大多数磨粒是负前角切削，材料容易受到挤压堆积在前刀面，磨屑不会沿前刀面顺畅流出，而是从前刀面两侧排出，因此磨屑的流出路径和磨粒排列规律有非常密切的关系^[4, 11]。综合来看，磨粒形态、磨粒排列规则要符合切削动力学规则，磨粒形态、排列规则要和被磨削材料性质相匹配，通过调控

砂带上的磨粒组态可以实现不同的磨削要求。比如定厚磨削和强力磨削可以使用高去除量形式的砂带组态, 要求砂带排屑能力相对要高; 而抛光和精光可以使用低表面粗糙度的砂带组态, 要求磨粒排列均匀、等高性好。

4.2 磨削质量检测技术

目前常用的工件表面检测技术主要有三种: 计算机机器视觉检测系统、激光扫描检测系统和接触式检测系统。其中计算机机器视觉系统适用于颜色单一、颜色区分度较为显著的缺陷检测, 对于工件表面高度上的尺寸误差不敏感。激光扫描检测系统适用于高精度尺寸、形状及表面粗糙度检测, 但是不适用于无尺寸体现的色差缺陷。接触式检测系统也适用于高精度尺寸、形状及高精度表面粗糙度检测, 但不适用于连续在线和大尺寸范围表面粗糙度检测。现阶段的激光扫描检测系统和接触式检测系统的测量范围太小, 数据量大, 都不适合于木质材料连续加工生产^[15]。

木质材料加工精度要求不高, 但适配的生产线需实现快速连续在线检测, 而且受进给、传送系统稳定性等条件限制, 对表面粗糙度或高度误差检测时需对检测基准面进行实时校对。此外, 木质材料幅面尺寸较大, 且表面不均一, 重新制定大幅面检测指标和胶合质量、油漆质量等指标的相关性是实现木质材料表面在线快速检测的关键, 机器视觉结合激光扫描检测系统将是木质材料磨削质量检测较好的解决方案。

4.3 砂光机智能控制技术

砂光机智能控制系统有两种方式: 一种是开环系统, 另一种是闭环系统。

开环系统是指通过调控磨削参数来实现预期的磨削结果。但由于木质材料种类繁多, 且各向异性、非均质等特性, 所以开环系统需要前期大量的实验数据支撑, 通过神经网络等方式来预测不同磨削参数条件下的磨削结果, 预测准确率较低 (70%左右), 只适用于单一或性质相近的木质材料 (局限性较大)^[16]。

闭环系统是指利用磨削质量指标与磨削参数之间的响应关系, 通过检测磨削质量指标和调控磨削参数使实际磨削质量指标与预设磨削质量指

标无限接近。闭环系统要求磨削参数与磨削质量指标相关度有非常高的响应性, 而且检测手段需要可靠、快速、准确, 如图7所示。

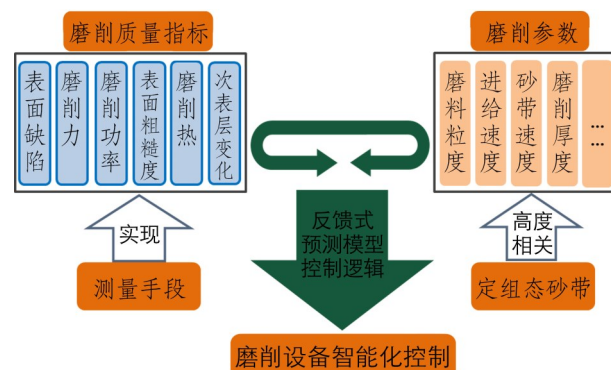


图7 木质材料砂光机闭环智能控制系统示意图

Fig.7 Schematic diagram of closed-loop intelligent control system of sanding machine

闭环系统是木质材料智能砂光机控制系统较为可行的方式, 但前提需要解决两个重要问题。一是建立磨削参数与磨削质量指标的相关性, 这其中材料性质是不可改变的, 那么就需要对磨具做出改变, 尽可能使磨削结果稳定且可控, 无疑定组态砂带将是一种良好的解决方案。二是要通过直接或间接的测量手段, 突破表面粗糙度、表面缺陷等磨削质量指标快速在线检测的技术问题。

5 结论

我国木质材料磨削技术发展较为缓慢, 多年以来一直是实际应用领先于基础理论研究, 依靠实践经验指导行业研发和应用。涂附磨具研发制造、磨削设计机械制造等上、下游企业缺乏技术储备和技术核心竞争力, 缺乏专用产品与高端产品, 整体行业利润率偏低。现阶段要突破木质材料磨削技术发展的瓶颈, 需进一步夯实木质材料磨削的理论基础, 补足理论研究不足的短板, 以理论指导技术发展。以新型专用涂附磨具为核心, 配合新型在线检测技术和智能化磨削技术, 将会成为木质材料磨削领域新的技术和经济增长极。

参考文献:

- [1] 罗斌. 木质材料砂带磨削磨削力及磨削参数优化研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2015.
- [2] BAO X, YING J H, CHENG F, et al. Research on neural network model of surface roughness in belt sanding process for *Pinus*

- koraiensis*[J]. Measurement, 2018, 115: 11-18. <http://dx.doi.org/10.1016/j.measurement.2017.10.013>.
- [3] Sulaiman O, Hashim R, Subari K, et al. Effect of sanding on surface roughness of rubberwood[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2009, 209(8): 3949-3955. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2008.09.009>.
- [4] ZHANG J, YANG Y Q, LUO B, et al. Research on wear characteristics of abrasive belt and the effect on material removal during sanding of medium density fiberboard (MDF) [J]. European Journal of Wood and Wood Products, 2021, 79(6): 1563-1576. <http://dx.doi.org/10.1007/s00107-021-01718-x>.
- [5] 李黎. 木材切削原理与刀具[M]. 2版. 北京: 中国林业出版社, 2012.
- [6] 张健, 罗斌, 刘红光, 等. 中密度纤维板和红松磨削过程材料去除机理的研究[J]. 北京林业大学学报, 2018, 40(11): 123-130.
- ZHANG J, LUO B, LIU H G, et al. Material removal mechanism during MDF and Korean pine sanding processes[J]. Journal of Beijing Forestry University, 2018, 40(11): 123-130.
- [7] 黄云, 黄智. 现代砂带磨削技术及工程应用[M]. 重庆: 重庆大学出版社, 2009.
- [8] 张健, 金思雨, 成锋, 等. 单磨粒磨削研究对探明木质材料砂带磨削机理的意义[J]. 木材加工机械, 2017, 28(5): 37-42.
- ZHANG J, JIN S Y, CHENG F, et al. The significance of single grit grinding research on probing the mechanism of wood-based material abrasive belt sanding[J]. Wood Processing Machinery, 2017, 28(5): 37-42.
- [9] ZHANG J, YING J H, CHENG F, et al. Investigating the sanding process of medium-density fiberboard and Korean pine for material removal and surface creation[J]. Coatings, 2018, 8(12): 416. <https://doi.org/10.3390/coatings8120416>.
- [10] ZHANG J, SUN P, LUO B, et al. Surface creation and cutting characteristics during sugar maple wood scratching with spherical cone grit[J]. European Journal of Wood and Wood Products, 2021, 79(3): 679-689. <http://dx.doi.org/10.1007/s00107-020-01642-6>.
- [11] ZHANG J, LUO B, LI L, et al. Cutting characteristics for sugar maple using single grit with spherical cone and triangular pyramid geometries [J]. Materials (Basel, Switzerland), 2019, 12(21): 3621.
- [12] 杨雅琦, 汪生莹, 耿金光, 等. 水曲柳磨削的砂带磨损机理研究[J]. 北京林业大学学报, 2019, 41(8): 138-146.
- YANG Y Q, WANG S Y, GENG J G, et al. Abrasive belt wear mechanism of sanding Manchurian ash[J]. Journal of Beijing Forestry University, 2019, 41(8): 138-146.
- [13] 杨雅琦, 汪生莹, 张亦鸣, 等. 棕刚玉磨料砂带磨削木材的磨损机制及其寿命[J]. 林业工程学报, 2020, 5(6): 121-127.
- YANG Y Q, WANG S Y, ZHANG Y M, et al. Wear mechanism and life of brown corundum abrasive belt in wood sanding process[J]. Journal of Forestry Engineering, 2020, 5(6): 121-127.
- [14] 杜瑶, 田彪, 张健, 等. 中密度纤维板磨削时的砂带磨损研究及寿命评判[J]. 北京林业大学学报, 2021, 43(10): 126-134.
- DU Y, TIAN B, ZHANG J, et al. Research on abrasive belt wear and working life evaluation during sanding medium density fiberboard[J]. Journal of Beijing Forestry University, 2021, 43(10): 126-134.
- [15] LUO B, ZHANG J, BAO X, et al. The effect of granularity on surface roughness and contact angle in wood sanding process[J]. Measurement, 2020, 165: 108133. <http://dx.doi.org/10.1016/j.measurement.2020.108133>.
- [16] 罗斌. 木质材料砂带磨削理论研究[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2015.
- (本文编校 张鹏、向琴)

(上接第5页)

- [23] Kim S, Kim H J. Comparison of standard methods and gas chromatography method in determination of formaldehyde emission from MDF bonded with formaldehyde-based resins[J]. Bioresource Technology, 2005, 96(13): 1457-1464.
- [24] CHEN W M, ZHOU X Y, ZHANG X T, et al. Fast enhancement on hydrophobicity of poplar wood surface using low-pressure dielectric barrier discharges (DBD) plasma[J]. Applied Surface Science, 2017, 407: 412-417.
- [25] PENG X R, ZHANG Z K. Plasma treatment of plastic film or decorative veneer and its effects on the peel strength and curling deformation of plastic film-reinforced pliable decorative sliced veneer (PR-RP-DSV)[J]. Holzforschung, 2019, 73(3): 313-322.
- [26] PENG X R, ZHANG Z K. Surface properties of different natural precious decorative veneers by plasma modification[J]. European Journal of Wood and Wood Products, 2019, 77(1): 125-137.
- [27] 彭晓瑞, 张占宽. 等离子体改性提高塑膜增强柚木柔性薄木的胶合性能机理[J]. 东北林业大学学报, 2018, 46(6): 89-96.
- PENG X R, ZHANG Z K. Reinforced mechanism of adhesion properties of polyethylene film enhanced teak decorative veneer by plasma modification[J]. Journal of Northeast Forestry University, 2018, 46(6): 89-96.
- [28] PENG X R, ZHANG Z K. Hot-pressing composite curling deformation characteristics of plastic film-reinforced pliable decorative sliced veneer[J]. Composites Science and Technology, 2018, 157: 40-47.
- [29] 彭晓瑞, 张占宽. 凹凸模曲面热压成型制备塑膜增强薄木工艺优化[J]. 西北林学院学报, 2019, 34(6): 178-183, 223.
- PENG X R, ZHANG Z K. Optimization of surface forming process of plastic film and decorative veneer by concave hot pressing[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2019, 34(6): 178-183, 223.
- [30] 彭晓瑞, 张占宽. 等离子体改性制备塑膜增强柔性装饰薄木工艺[J]. 木材工业, 2017, 31(3): 49-53.
- PENG X R, ZHANG Z K. Manufacturing technology of flexible decorative veneers reinforced with low density polyethylene(LDPE) and treated by plasma[J]. China Wood Industry, 2017, 31(3): 49-53.
- [31] 彭晓瑞, 张占宽, 杨旭. 制造工艺参数对聚乙烯膜增强柚木薄木性能的影响[J]. 木材工业, 2018, 32(3): 5-8.
- PENG X R, ZHANG Z K, YANG X. Effects of manufacturing parameters on performance of teak decorative veneers enhanced with polyethylene films[J]. China Wood Industry, 2018, 32(3): 5-8.
- [32] 彭晓瑞, 张占宽. 塑膜增强薄木贴面高密度纤维板的工艺优化[J]. 木材工业, 2017, 31(4): 39-42.
- PENG X R, ZHANG Z K. Process optimization of high density fiberboard overlaid with veneer reinforced using low density polyethylene films[J]. China Wood Industry, 2017, 31(4): 39-42.
- (本文编校 向琴)