

一种木质功能材料的分级磨削装置的结构设计

王鑫昱^{1*}, 何建涛¹, 杨星亮², 张华清¹, 曾 凯¹

¹湖南科技学院智能制造学院, 湖南 永州

²湖南省攸县第三中学, 湖南 株洲

收稿日期: 2025年6月14日; 录用日期: 2025年7月7日; 发布日期: 2025年7月15日

摘 要

木质功能材料的应用逐渐增多, 但其加工缺陷问题日益突出。传统磨削方法存在效率低下、易产生缺陷等局限性。分级磨削法能有效提升效率并降低缺陷率。本文基于SolidWorks软件设计分级磨削装置, 配置不同粒度的磨削砂轮。可显著提高加工效率与质量, 降低缺陷率, 有望推动木质功能材料在高端制造领域的广泛应用。

关键词

SolidWorks, 木质功能材料, 分级磨削, 结构设计

The Structure Design of a Grading Grinding Device for Wood Functional Materials

Xinyu Wang^{1*}, Jiantao He¹, Xingliang Yang², Huaqing Zhang¹, Kai Zeng¹

¹College of Intelligent Manufacturing, Hunan University of Science and Engineering, Yongzhou Hunan

²No.3 Middle School of Youxian County, Zhuzhou Hunan

Received: Jun. 14th, 2025; accepted: Jul. 7th, 2025; published: Jul. 15th, 2025

Abstract

The application of wood-based functional materials is gradually increasing, but its processing defects are becoming increasingly prominent. Traditional grinding methods have limitations such as low efficiency and easy to produce defects. The grading grinding method can effectively improve the efficiency and reduce the defect rate. Based on SolidWorks software, this paper designs a graded grinding device and configures grinding wheels with different particle sizes. It can significantly improve the processing efficiency and quality, reduce the defect rate, and is expected to promote the wide application of wood functional materials in the field of high-end manufacturing.

文章引用: 王鑫昱, 何建涛, 杨星亮, 张华清, 曾凯. 一种木质功能材料的分级磨削装置的结构设计[J]. 建模与仿真, 2025, 14(7): 27-32. DOI: 10.12677/mos.2025.147512

Keywords

SolidWorks, Wood Functional Materials, Graded Grinding, Structural Design

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

磨削机床在木质功能材料的加工中，通过高速旋转的砂轮对工件进行精确磨削。这种加工方式不仅能够去除工件表面的毛刺和瑕疵，还能提高其表面光洁度和精度[1]。同时，磨削机床还具备较高的加工效率和灵活性，能够满足不同形状和尺寸的木质功能材料的加工需求。在磨削加工过程中，砂轮的选择和磨削参数的设定对于加工质量至关重要[2]。

近年来，YIN 等[3]试验发现，高速磨削 SiCf/SiC 陶瓷基复合材料时，材料主要以脆性断裂方式去除，径向纤维尤为明显，基体因裂纹扩展碎裂；而低速磨削时，径向纤维出现犁耕现象，纬向纤维呈韧性去除。张立峰等[4]通过金刚石砂轮探究不同角度顺逆磨 C/SiC 陶瓷基复合材料时，发现纤维磨削角对磨削力及表面粗糙度影响显著，且顺磨和逆磨条件下磨削力存在差异。CHEN 等[5]比较不同类型金刚石砂轮磨削 Cf/SiC 陶瓷基复合材料效果，电镀金刚石砂轮获得最优表面质量。这些研究表明，在分级磨削中，磨削速度、纤维磨削角、材料特性等因素显著影响材料去除方式、磨削力和表面粗糙度。合理选择磨削参数、刀具及砂轮类型，可有效控制磨削过程，提高加工效率和质量，实现对陶瓷基复合材料的精准加工。

分级磨削是一种高效的材料加工工艺，初期用粗粒度砂轮，因其磨粒突起度高、间距大，切削力强，可快速去除材料、改变形状，但表面粗糙度大、有明显磨痕和缺陷。随着磨削进行，改用细粒度砂轮，磨粒切削细腻，能减小磨痕、降低粗糙度，消除前期缺陷，使表面趋于平整光滑[6][7]。鉴于此，本文设计了一种木质功能材料的分级磨削装置。该装置旨在解决传统机械加工木质材料加工速率慢的问题，为提升木质功能材料加工效率提供新思路，同时也为其他非金属材料加工提供有益借鉴。

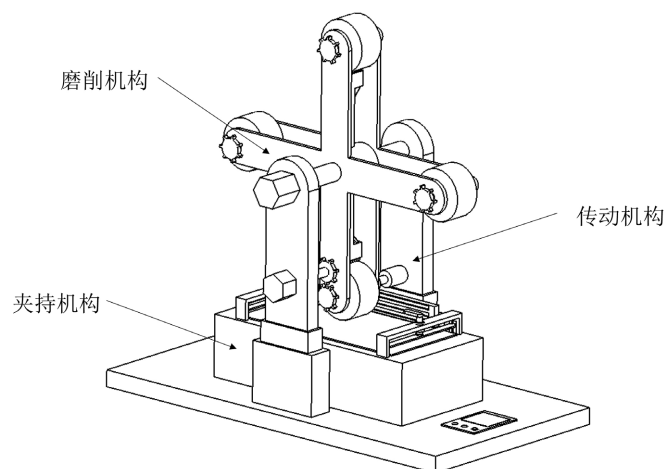


Figure 1. The overall structure of the grading grinding device
图 1. 分级磨削装置整体结构

2. 分级磨削装置的结构设计

2.1. 分级磨削装置的工作原理

在加工过程中, 首先将木质功能材料放置于加工面板上, 随后通过旋转螺纹旋转杆, 利用夹持板对材料进行稳固夹持。然后, 启动电动伸缩基座, 促使安装支架平稳下降, 同时开启传动电机, 通过主动齿轮与传动齿轮的啮合, 带动砂轮旋转。当砂轮与材料接触瞬间, 开始磨削, 同时通过控制面板启动吸尘箱, 通过吸尘管道有效吸收加工产生的木屑, 保持加工区域清洁, 避免木屑附着在砂轮表面, 减少木屑对加工精度的影响。层级磨削完成后, 限位电动杆回缩, 解除对限位筒的固定, 随后启动旋转电机, 带动分级支架旋转, 将下一级砂轮转动至材料正上方。再次利用限位电动杆对限位筒进行固定, 开始下一级别的分级磨削作业。该设备不仅能实现对木质功能材料的高效磨削加工, 还能提高加工的表面质量。

2.2. 整体结构

分级磨削装置如图 1 所示, 包括磨削机构、传动机构以及夹持机构, 用户首先将加工材料放置在夹持机构的加工面板上, 然后转动螺纹旋转杆, 通过夹持板将材料进行固定, 然后通过传动机构电动伸缩基座控制安装支架下降, 同时启动传动电机, 通过主动齿轮带动传动齿轮上磨削机构的砂轮进行转动, 当砂轮与材料接触时, 开始磨削, 同时启动夹持机构吸尘箱, 通过吸尘管道对加工木屑进行吸收, 加工完之后, 通过限位电动杆回缩, 解除对限位筒的连接, 再通过旋转电机带动分级支架转动, 使下一级砂轮转动至材料的正上方, 并通过限位电动杆对限位筒进行固定, 实现对木质材料的分级磨削加工。

2.3. 磨削机构

材料去除率是衡量磨削效率的关键指标。在粗磨阶段, 使用粗粒度砂轮, 因其较大的切削深度和磨粒间距, 单位时间内材料去除率较高, 能快速去除多余材料。材料去除完后, 下一级精度的砂轮与加工表面接触, 由于砂轮粒度逐渐减小, 切削深度和磨粒间距也相应减小, 单位时间材料去除率随之降低, 从而提高了木质材料加工表面的精度。

根据磨削动力学理论, 材料去除率的计算公式为:

$$V_r = \frac{V_m \cdot w \cdot a_p}{d}$$

其中, V_r 表示材料去除率, V_m 表示磨削速度, w 表示磨削宽度, a_p 表示磨削深度, d 表示砂轮粒度。在粗磨阶段, 较大的 a_p 和较小的 d 使得 V_r 较大, 能够快速去除多余材料。随着分级磨削的进行, a_p 逐渐减小, d 逐渐增大, V_r 也相应降低, 但加工精度逐步提高。综上所述, 分级磨削通过合理选择不同粒度的砂轮, 能够在保证加工效率的同时逐步提高加工精度, 这一理论分析充分说明了分级磨削的必要性。

本文磨削机构示意图见图 2(a), 主要由分级支架、清洁刷、限位筒、传动齿轮及砂轮组成。各分级支架上的砂轮粒度不同, 形成粗磨、精磨、抛光的逐级优化链路。不同粒度的砂轮在磨削作业中具有独特优势。粗磨砂轮粒度较粗, 适合去除多余材料及初步塑形; 精磨砂轮粒度适中, 用于进一步提升表面平整度; 抛光砂轮粒度细腻, 实现高精度光整加工。这种分级粒度设计可针对不同加工需求精准适配, 提升加工效率, 保证最终表面质量。同时, 清洁刷接触砂轮, 能够实现杂质的在线清理, 保障磨削性能稳定。分级磨削结构提高加工精度, 避免一次性精磨增加设备负担和成本, 实现材料高效去除与表面精细加工兼顾。

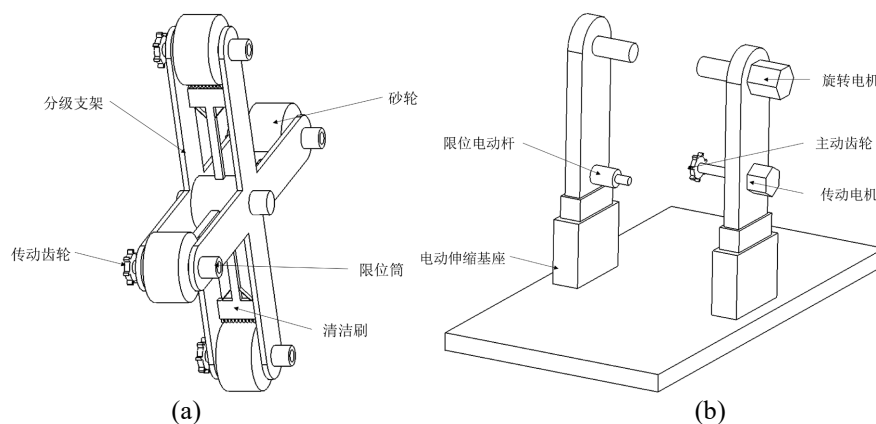


Figure 2. Schematic diagram of the device structure (a) grinding mechanism; (b) transmission mechanism

图 2. 装置结构示意图(a)磨削机构; (b)传动机构

2.4. 传动机构

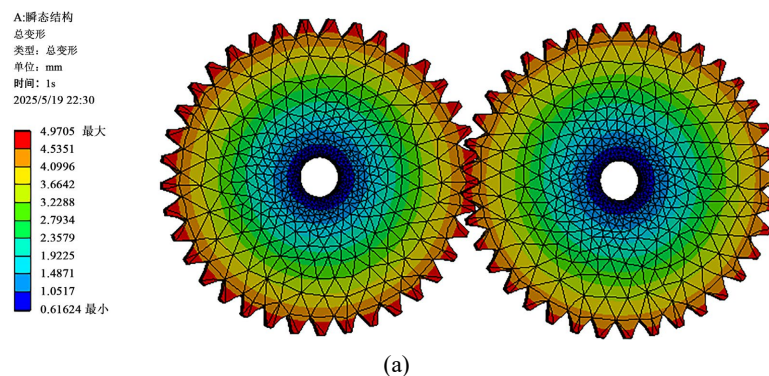
传统的分级磨削结构中, 传动电机在驱动所有砂轮作业时存在效率不足的问题, 限制了磨削加工效率。同时, 由于对装置成本的严格控制, 无法为砂轮配备独立的传动电机。因此, 设计一种简洁的传动机构是提高装置实用性的重要一环。

本文设计的固定机构由电动伸缩基座、主动齿轮、旋转电机、传动电机以及限位电动杆组成(2b)。在磨削作业过程中, 该机构功能如下: 利用电动伸缩基座, 能够精准控制分级支架实现上下移动, 从而灵活调整砂轮高度, 适应不同加工位置需求; 同时依靠旋转电机, 可带动分级支架进行转动, 使砂轮能够从不同角度对工件进行磨削加工, 增强磨削作业的灵活性。当砂轮到达指定加工位置后, 通过限位电动杆的伸缩与限位筒连接, 实现对分级支架的稳定固定, 确保磨削作业在稳定状态下进行, 有效保证加工精度。

2.5. 夹持机构

木质功能材料加工过程中易出现木屑飞溅现象, 这会对加工环境以及设备运行产生多方面的不利影响。本文设计的夹持机构主要由加工面板、吸尘箱、夹持支架、螺纹旋转杆及夹持板组成。加工面板下侧安装有吸尘箱, 该吸尘箱在加工过程中能够及时吸附产生的木屑及其他杂质。由于木屑容易附着在木质材料的加工表面以及砂轮的间隙内, 会增加砂轮的加工误差, 从而影响砂轮的加工精度, 吸尘箱通过吸附碎屑, 能确保加工表面始终处于清洁状态, 提高木质材料的加工质量。同时, 夹持支架内侧设有滑动轨道, 夹持板可在轨道内上下移动。通过转动螺纹旋转杆, 实现对木质功能材料的稳固夹持与固定。

2 关键零部件的仿真分析



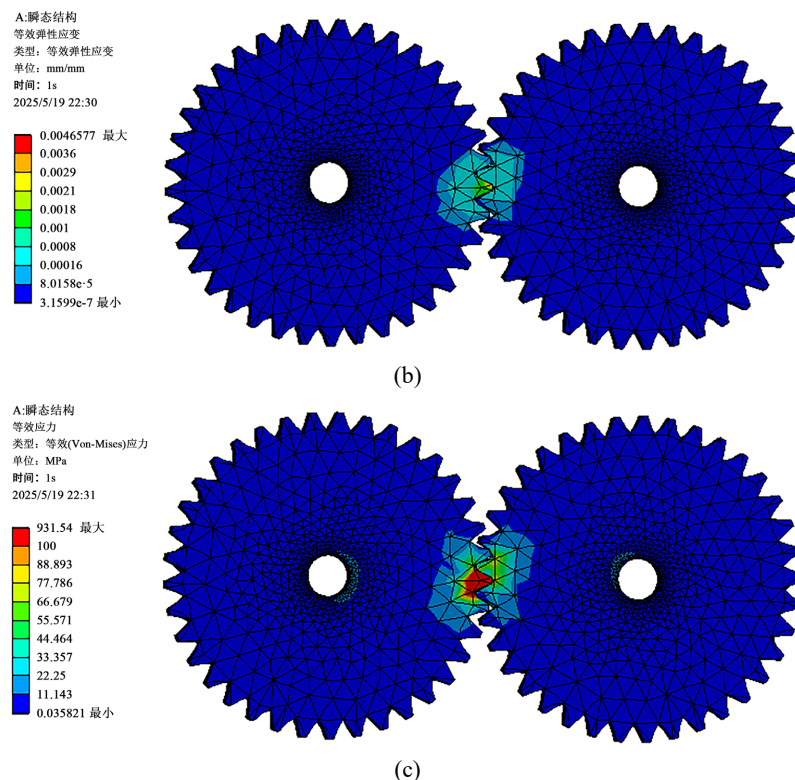


Figure 3. Schematic diagram of finite element analysis of gear set. (a) displacement diagram; (b) strain diagram; (c) stress diagram

图 3. 齿轮组有限元分析示意图(a) 位移图; (b) 应变图; (c) 应力图

在机床传动主轴的分析领域，三维模型对于零部件性能预测的准确性起到了关键作用。本研究基于装置设计的尺寸与形状参数，通过 SolidWorks 软件对关键部件进行仿真分析。在材料选择上，针对齿轮传动的关键部件，选用合金钢材质。再根据合金钢的物理属性，对模型中的材料特性进行设定与调整。在网格划分上，采用准四面体单元对几何体进行离散化处理。准四面体在该装置模型的离散化过程能够适应复杂几何形态且能提高计算效率。通过对装置模型的网格划分操作，在保障模型计算精度的同时，同时具有较高的计算效率。在网格划分阶段，采用准四面体单元对模型离散化，单元大小为 8 mm，最终模型包含 68550 个节点和 45358 个单元格。边界条件设定时，根据实际安装情况，在从动轮中心施加固定约束模拟轴承支撑；载荷方面，考虑了传动力、摩擦力、离心力和齿轮自重等多种因素，并根据传动条件和电机参数估算传动力。综合以上因素，建立了全面而准确的齿轮组有限元分析模型。

从图 3 中可知，通过对传动螺杆在滑动轨道运动状态进行有限元分析，得到了传动机构在实际载荷工况下的应力分布云图。该应力分布云图体现了螺杆在实际运作过程中，在扭矩载荷作用下的应力分布情况。分析结果显示，主轴在扭矩和传动力共同作用下的最大应力为 930 MPa，位于齿轮接触区且呈环状分布，验证了应力集中现象的预期。同时，最大等效应力低于材料屈服应力，表明齿轮组的结构强度满足设计要求，可承受正常载荷而不发生塑性变形。这一结果与力学理论中应力集中出现在截面尺寸突变处的规律高度吻合，验证了分析结果的合理性。通过进一步的仿真研究表明，螺杆所承受的最大等效应力显著低于其材料的屈服应力水平，表明齿轮组具备承受工作载荷的能力，所以在实际工作过程中不会出现塑性变形现象。同时针对齿轮组的仿真分析体现出，在压力载荷与摩擦力的联合作用下，其最大压力值低于齿轮的承受载荷，这在应力分布云图中表现为颜色相对较浅的区域，同样表明齿轮组的结构

强度达到了设计标准。从图中清晰地看出,最大应变同样出现在齿轮组的传动接触区域。该应变分布特征不仅反映了齿轮组的变形情况,并提供了各部件刚性的关键信息。从位移分布图的分析结果分析,在压力载荷以及摩擦力的共同作用下,齿轮组所产生的最大位移较小。结果充分表明齿轮组在实际工作过程中的稳定性良好,在正常的切削工作条件下,齿轮组不会出现显著的变形现象,从而确保了装置的加工精度与可靠性。

3. 结论和展望

本文从木质功能材料加工所面临的问题出发,从行业背景、结构设计和工作原理入手,分析现有技术产品的局限,借鉴相关装置的设计思路,制定合理的解决方案,通过 SolidWorks 软件进行本装置的建模与设计,从而实现木质功能材料磨削高效化,并利用现有的成熟的技术理论具体说明和验证了木质功能材料分级磨削装置设计的合理性与可行性。本装置的设计研究具有一定的现实意义和应用价值,不但能提高木质功能材料磨削效率,且能提高木质功能材料批量化生产的经济效益。

在木质功能材料加工领域,本文聚焦于分级磨削装置的结构设计,旨在提升加工效率与质量。通过对行业现状的深入剖析,本文从木质功能材料加工的现实需求出发,梳理了现有技术在磨削效率、精度控制及成本优化等方面的局限性。在此基础上,借鉴先进的机械设计与磨削技术理念,提出了一种创新的分级磨削装置设计方案。该方案核心在于分级磨削结构与传动机构的结合,通过粗、精、抛光不同粒度砂轮的逐级加工,实现材料的高效去除与表面精细处理兼顾。利用 SolidWorks 软件完成装置的三维建模与虚拟装配,直观呈现各部件的协同工作原理。证明该装置在保障加工精度与表面质量的基础下,显著提高木质功能材料的磨削效率。

基金项目

2024 湖南省教育厅科学研究项目(24B0742), 2023 永州市指导性科技计划项目(2023YZ019), 2023 年湖南科技学院科学研究项目(Z2023Z39020009), 湖南科技学院 2024 年度大学生科研创新探索项目(木质功能材料激光辅助磨削技术研究与实践)。

参考文献

- [1] 张健. 木质材料磨削表面创成机理研究[D]: [博士学位论文]. 北京: 北京林业大学, 2022.
- [2] 蔡晨, 伍希志, 吴雨阳, 等. 木材单磨粒砂带磨削机理研究[J]. 安徽农业科学, 2022, 50(1): 213-216+243.
- [3] Yin, J., Xu, J., Ding, W. and Su, H. (2021) Effects of Grinding Speed on the Material Removal Mechanism in Single Grain Grinding of SiCf/SiC Ceramic Matrix Composite. *Ceramics International*, **47**, 12795-12802. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2021.01.140>
- [4] 张立峰, 王梓旭, 张旺通, 等. 单向陶瓷基复合材料 C/SiC 变角度顺逆 磨的对比试验[J]. 中国机械工程, 2024, 35(2): 235-243.
- [5] Chen, B., Xu, H., Guo, Y., Guo, B. and Liu, G. (2023) Experimental Research on Wear Mechanism of Diamond Wheels for Grinding Cf/SiC Composites Grooves. *Journal of Materials Research and Technology*, **27**, 2382-2398. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2023.10.085>
- [6] 张丰, 朱兆龙, 徐朝阳, 等. 有限元方法在木质材料切削加工中的应用研究[J]. 林业机械与木工设备, 2021, 49(6): 38-42+46.
- [7] 伍占文, 朱兆龙, 原慧敏, 等. 木工刀具磨损特性及抗磨技术研究现状[J]. 林业机械与木工设备, 2021, 49(5): 16-20+28.