

doi:10.3969/j.issn.1006-8023.2024.01.014

被动式木窗双端铣削加工定位夹紧装置的设计与研究

任长清, 孙永超, 杨春梅*, 丁禹程
(东北林业大学 机电工程学院, 哈尔滨 150040)

摘要:为满足欧式木窗定制化尺寸变化的需求,设计一种尺寸自适应定位夹紧装置,应用有限元软件对木窗夹紧过程进行静力学分析,在满足木窗夹紧的要求下,使木窗弹性变形在合理范围。同时为了满足轻量化设计要求对压辊连接架进行拓扑优化设计,根据拓扑优化结果改进压辊连接架结构,对优化后的模型进行静力学分析验证,最终得到优化后的工件。结果表明,优化后压辊连接架重量明显下降,满足相关使用要求。

关键词:欧式木窗;双端铣削;定位加工;静力学分析;拓扑优化设计

中图分类号:S

文献标识码:A

文章编号:1006-8023(2024)01-0122-06

Design and Research of Positioning Clamping Device for Double End Milling of Passive Wooden Windows

REN Changqing, SUN Yongchao, YANG Chunmei*, DING Yucheng

(College of Mechanical and Electrical Engineering, Northeast Forestry University, Harbin 150040, China)

Abstract: In order to meet the needs of European wood windows customized size change, a size adaptive positioning clamping device was designed, and the finite element software was used to carry out static analysis of the clamping process of wood windows, ensuring that the elastic deformation of wooden windows was within a reasonable range while meeting the clamping requirements. At the same time, in order to meet the lightweight design requirements, the topology optimization design of the press roller connecting frame was carried out. The structure of the press roller connecting frame was improved according to the topology optimization results, and the static analysis and verification of the optimized model were carried out, and the optimized workpiece was finally obtained. The results showed that the weight of the press roller connecting frame decreased obviously after optimization, which meets the relevant requirements.

Keywords: European wooden windows; double end milling; positioning processing; statics analysis; topology optimization design

0 引言

欧式木窗由于美观、材料可再生、良好的保温性等优点,被广泛应用于室内设计。2019年,我国林

业产业总产值达7.56万亿元,已成为林产品生产、贸易和消费大国^[1]。虽然近几年我国木门窗销量持续上升,但市场占有率仍然较低,与欧式木窗的市场份额相比仍有较大差距^[2-3]。现有的多数木门窗生产企业在加工欧式木窗的过程中都存在加工精度低、人工成本高等问题。国家“十四五”规划和“中国制造2025”对智能制造做出了重要指示,转型升级是传统制造业的必然发展趋势,为提高欧式木窗加工精度、生产效率,有必要根据欧式木窗生产工艺设计一种尺寸自适应加工定位夹紧装置。

现有的欧式木窗加工方式是人工推着木窗在铣床上进行加工作业,此方式不仅耗费人工,而且对于欧式木窗加工精度有一定的影响。随着国内木门窗行业的不断发展,木门窗生产企业对高效率、高精度的门窗材加工设备产生了巨大需求^[4]。针对欧式木窗加工过程自动化程度低、加工精度低的情况,设计一种被动式木窗双端铣削加工定位夹紧装置,旨在欧式木窗铣削加工过程中,随欧式木

收稿日期:2023-05-09

基金项目:黑龙江省重点研发项目(GA21A405);中央高校基本科研业务费专项资金项目资助(2572020DR12)。

第一作者简介:任长清,硕士,副教授。研究方向为林业与木工机械设计。E-mail: dqrcq@163.com

*通信作者:杨春梅,博士,教授。研究方向为林业机械装备。E-mail: ycmefu@163.com

引文格式:任长清,孙永超,杨春梅,等. 被动式木窗双端铣削加工定位夹紧装置的设计与研究[J]. 森林工程, 2024, 40(1):122-127.

REN C Q, SUN Y C, YANG C M, et al. Design and research of positioning clamping device for double end milling of passive wooden windows[J]. Forest Engineering, 2024, 40(1): 122-127.

窗尺寸变化调整工作台,在减少人工投入的同时提高欧式木窗加工精度,实现欧式木窗自动化加工。

1 被动式木窗双端铣削加工定位夹紧装置整体布局与关键部件设计

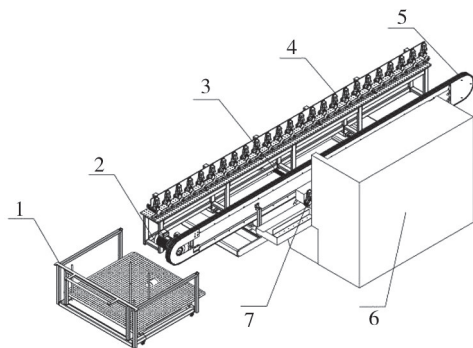
1.1 被动式木窗双端铣削加工定位夹紧装置总体布局

定制化欧式木窗尺寸变化较大,欧式木窗尺寸见表 1。为提高欧式木窗铣削加工过程的自动化程度,减少人工投入,根据欧式木窗生产工艺,设计一种尺寸自适应的被动式木窗双端铣削加工定位夹紧装置,如图 1 所示。该装置主要由进料小车、链传动电机、丝杠、左夹紧装置、链传动、机床和右夹紧装置 7 部分组成。工作过程中欧式木窗由进料小车进入链传动,铣削过程中根据欧式木窗尺寸自动调整丝杠位置完成欧式木窗装夹,由左夹紧装置和右夹紧装置共同完成欧式木窗前进和垂直方向固定。

表 1 木窗加工尺寸

Tab. 1 Wooden window processing dimensions mm

加工部件 Processing components	最大尺寸 Maximum size	常用尺寸 Common size	最小尺寸 Minimum size
木窗 Wooden window	2 000×2 000×200	1 200×1 200×200	500×500××200



1. 进料小车;2. 链传动电机;3. 丝杠;4. 左夹紧装置;5. 链传动;6. 机床;7. 右夹紧装置。

1. Feed trolley; 2. Chain drive motor; 3. Lead screw; 4. Left clamping device; 5. Chain drive; 6. Machine tool; 7. Right clamping device

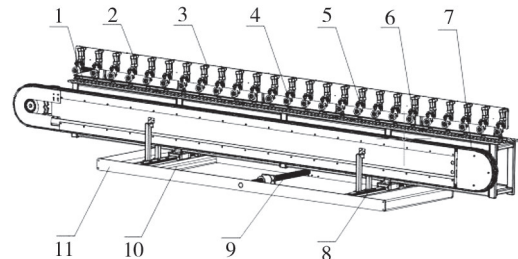
图 1 被动式木窗双端铣削加工定位夹紧装置总体布局图

Fig. 1 Overall layout of positioning clamping device for double end milling of passive wooden windows

1.2 关键部件设计

欧式木窗铣削加工过程中的定位夹紧主要由

左夹紧装置运动完成,左夹紧装置如图 2 所示。装置主要由侧压辊、上气缸、连接板、轴承、压辊活动架、压辊、链传动、滑轨 1、丝杠、滑轨 2 和底座等组成。上气缸型号为 FY-MAL-CA32×50,稳定气压为 0.5 MPa,通过调整上气缸的气压完成欧式木窗垂直方向定位夹紧,丝杠在 2 条滑轨的辅助下调整夹紧尺寸,使用双滑轨装置可以增加尺寸调整精度。



1. 侧压辊;2. 上气缸;3. 连接板;4. 轴承;5. 压辊活动架;6. 压辊;7. 链传动;8. 滑轨 1;9. 丝杠;10. 滑轨 2;11. 底座。

1. Side roller; 2. Upper cylinder; 3. Connecting plate; 4. Bearing; 5. Press roller movement frame; 6. Press roll; 7. Chain drive; 8. Slide 1; 9. Lead screw; 10. Slide 2; 11. Base.

图 2 铣削加工左夹紧装置总体布局图

Fig. 2 Overall layout of the left clamping device in milling process

2 欧式木窗铣削加工过程受力分析

铣削是木材切削加工领域一种重要的、高效率的加工方法,可用来加工多种工作面,如曲面、平面和沟槽等^[5]。欧式木窗在铣削加工过程中受到铣刀铣削力的作用,其中铣削力包括切削力(F_x)和法向力(F_y),如图 3 所示。木材切削力的影响因素有很多,如木材本身性质、刀具参数和刃口锋利程度

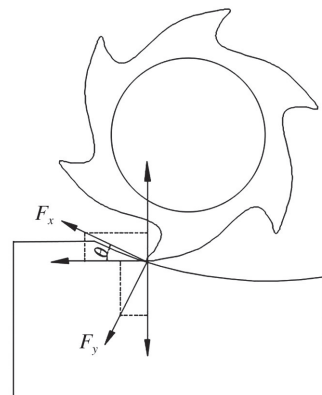


图 3 木窗铣削加工受力图

Fig. 3 Stress diagram of milling wooden window

等。切削力的计算公式分为理论公式和经验公式^[6-7]。前者对一些影响因素和工作条件进行了简化处理,因此切削力理论公式的应用较少,从业人员在计算木材铣削力时更多选择切削力经验公式。切削力经验计算公式是将试验得到的数据作为基础,并做了一定的理论假设而得到的^[8]。

2.1 切削力

木窗在整个加工过程中,受到铣刀切削力、上气缸的压力、侧压辊的推力作用。木材含水率为15%,厚切屑情况下,平均切削力 F_x 为

$$F_x = \frac{p \cdot b \cdot h \cdot U}{60V} \quad (1)$$

$$U = \frac{U_z \cdot n \cdot z}{1\ 000} \quad (2)$$

$$V = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{6 \times 10^4} \quad (3)$$

式中: p 为单位切削力, N/mm^2 ; b 为铣削宽度, mm ; h 为铣削深度, mm ; U 为进给速度, m/min ; V 为铣削速度, m/s ; U_z 为每齿进给量 mm/z ; D 为铣刀切削圆直径, mm ; z 为参加切削的齿数; n 为铣刀转速, r/min 。

欧式木窗材质为松木,采用纵向铣削加工,在铣刀切削角 55° ,铣削宽度(b)为 100 mm ,最大铣削深度(h)为 2 mm ,单位切削力(p)为 $18.34\text{ N}/\text{mm}^2$,每齿进给量(U_z)为 $1.5\text{ mm}/\text{z}$,铣刀转速(n)为 $12\ 000\text{ r}/\text{min}$,铣刀切削圆直径(D)为 80 mm ,计算得到切削力(F_x)为 43.8 N 。

2.2 法向力

欧式木窗在铣削加工中法向力(F_y)为

$$F_y = \frac{F_{ax}}{\mu_a} - F_{yx} \tan(90^\circ - \delta - \beta_0) \quad (4)$$

式中: F_{yx} 为前刀面切削力, N ; F_{ax} 为后刀面切削力, N ; μ_a 为摩擦系数; δ 为切削角, $(^\circ)$; β_0 为摩擦角, $(^\circ)$;

前刀面切削力(F_{yx})为 37.3 N ,后刀面切削力(F_{ax})为 6.49 N ,摩擦系数(μ_a)为 1.1 ,摩擦角(β_0)为 23° ,计算得进给力(F_y)为 -2 N 。

3 木窗静力学分析

在有限元软件 ANSYS 中,对零件进行静力学分析时首先要对零件进行前处理^[9]。欧式木窗模型已在 SolidWorks 软件中建立,保存为 ANSYS Workbench 可以识别的 x_t 文件,将欧式木窗 x_t 文件导入 ANSYS Workbench 19.2 中进行有限元静力学分析。欧式木窗材料设置为松木,通过 ANSYS 工程材料数据库设置木窗材料参数。对零件进行有限元分析时,需要对建立好的零件模型进行网格划分^[10-12]。Ansys Workbench 有多种网格划分方法,但是网格划分的尺寸越小,运算时间也相应增加^[13]。由于欧式木窗结构较为简单,将网格划分尺寸设置为 5 mm ,在 ANSYS Workbench 的前处理软件 Mechanical 中的 Mesh 模块插入四面体网格划分方法。

分析欧式木窗铣削加工过程中作用力最大的瞬间,上气缸和侧压辊的作用力以均布力形式作用在木窗上,木窗运动方向采用固定约束。求解得到木窗铣削加工过程中变形云图,如图4所示,木窗铣削加工过程中最大变形量为 0.006 mm ,木窗弹性变形在合理范围内。木窗铣削过程中应力云图如图5所示,木窗铣削加工过程中等效应力为 0.088 MPa ,应力小于松木屈服强度。

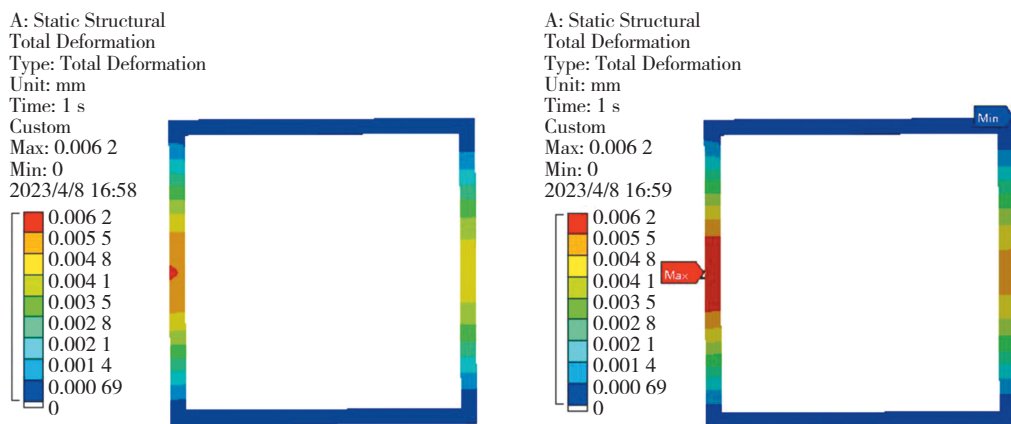


图4 木窗变形云图

Fig. 4 Deformation cloud map of wooden window

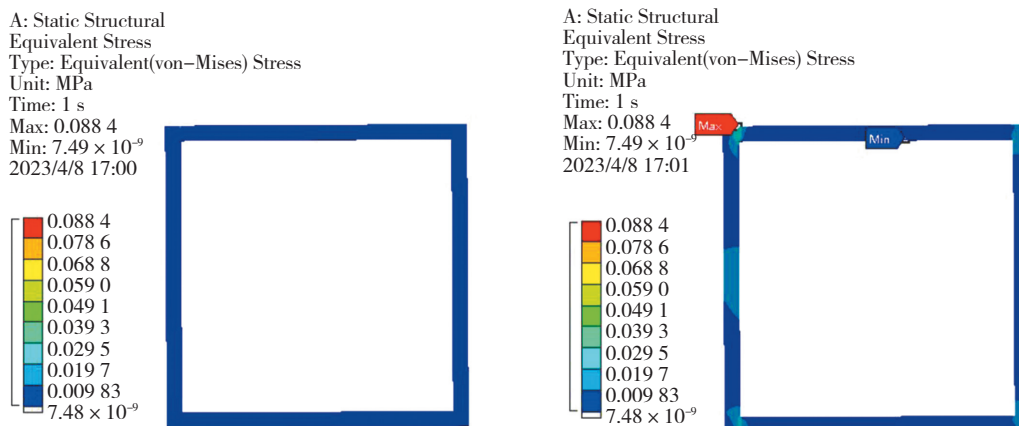


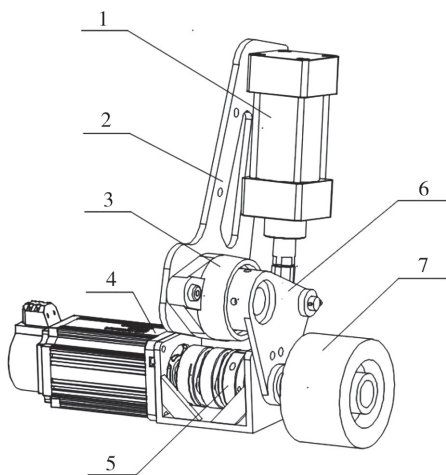
图 5 木窗应力云图

Fig. 5 Stress cloud map of wooden window

4 压辊连接架的拓扑优化设计

4.1 优化参数设置

作为一种概念设计方法,拓扑优化在工业设计中得到大量应用^[14]。拓扑优化以材料分布为优化对象,可在均匀分布材料的设计空间中找到最佳分布方案^[15-17]。被动式木窗双端铣削加工定位夹紧装置中压辊数量较多,对压辊连接架进行有限元拓扑优化是提升性能和改进结构的重要手段,压辊连接架整体结构如图 6 所示。



1. 气缸;2. 连接架;3. 带菱形座轴承;4. 电机;5. 联轴器;6. 压辊连接架;7. 压辊。

1. Cylinder; 2. Connecting frame; 3. Bearing with diamond seat; 4. Motor; 5. Coupling; 6. Press roller connection frame; 7. Press roller.

图 6 压辊连接架整体结构图

Fig. 6 Overall structure of press roller connecting frame

对压辊连接架进行拓扑优化,约束条件为应

力,材料的屈服极限为 235 MPa,根据相关使用要求,设置应力上限为 150 MPa,设定整个压辊连接架为需要优化的结构范围,优化排除区域为销孔内外表面,设置优化响应为质量,以质量为优化目标,拓扑优化目标留存率设置为 60%,经过 15 次迭代计算求解后,得到拓扑优化后的压辊连接架结构如图 7 所示。

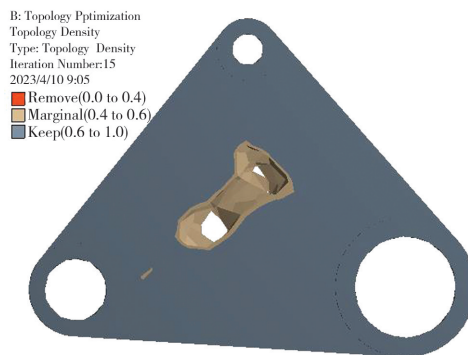


图 7 压辊连接架拓扑优化结果

Fig. 7 Topology optimization results of press roller connecting frame

4.2 查看拓扑优化结果及分析

将优化设计中必要的参数和约束条件设置完成后进行优化计算。在三维软件中对压辊连接架模型进行删减和修整,建立优化后的模型,优化后的模型如图 8 所示。对改进后的压辊连接架进行静力学分析验证,设置与优化前相同的参数和边界约束条件,优化后的模型变形和应力云图如图 9 和图 10 所示。拓扑优化结果表明在满足工件相关使用要求,其重量下降了 3.6%。对于提高被动式木窗双端铣削加工定位夹紧装置工作效率和结构轻量化有重要作用。

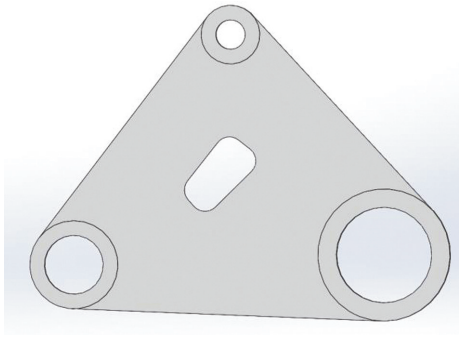


图8 拓扑优化后的压辊连接架模型

Fig. 8 The press roll connecting frame model after topology optimization

5 结论

通过计算分析,该被动式木窗双端铣削加工定位夹紧装置具有以下优势。1)木窗加工所需夹紧力由气缸提供,可随木窗尺寸变化调整气缸夹紧力的大小。2)通过丝杠调整侧压辊位置实现木窗左右固定,可以根据实际生产需要,快速调节左右夹紧间距,提高木窗生产效率。3)链传动提供木窗前进动力的同时,链传动上的卡槽固定木窗的2个侧边,实现木窗与链传动同步运动。

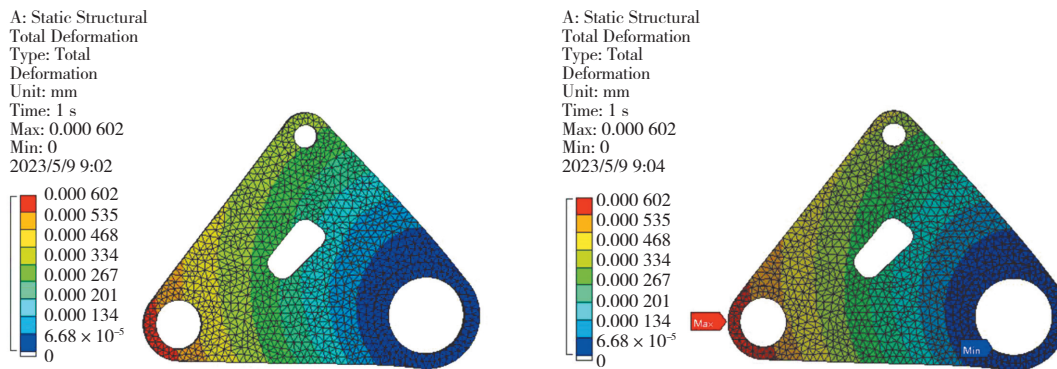


图9 优化后的压辊连接架变形云图

Fig. 9 Deformation cloud map of the optimized roller connecting frame

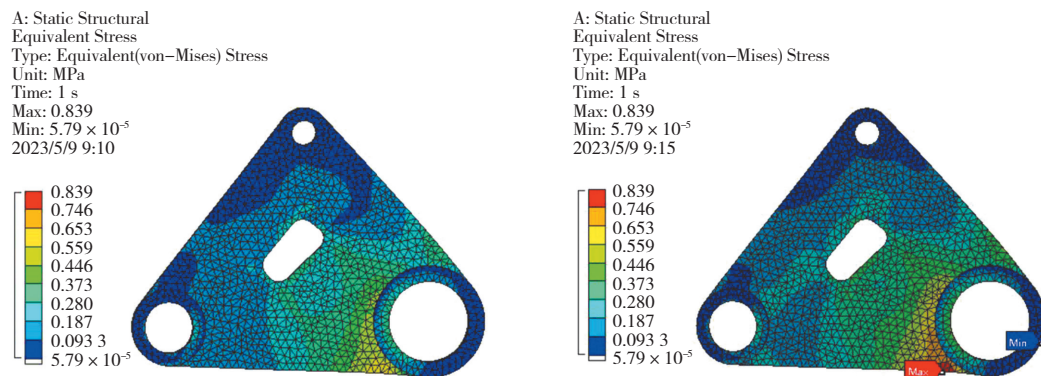


图10 优化后的压辊连接架应力云图

Fig. 10 Stress cloud map of the optimized roller connecting frame

应用该被动式木窗双端铣削加工定位夹紧装置解决了欧式木窗装夹调整难控制的问题,实现了欧式木窗铣削加工过程的自适应定位夹紧,装置利用率高,对于同类型工件的自适应定位夹紧装置的设计研发有一定的参考价值。

【参考文献】

- [1] 李冲,王光辉,陆志恒,等. 基于深度学习的树种识别系统设计及试验[J]. 森林工程,2022,38(6):88-95.
LI C, WANG G H, LU Z H, et al. Design and experiment of tree species recognition system based on deep learning [J]. Forest Engineering, 2022, 38(6):88-95.

- [2] 秦莉,于文吉,余养伦. 杨木重组木窗制造工艺技术及性能评价[J]. 中国人造板,2022,29(12):1-6.
QIN L, YU W J, YU Y L. Preparation and performance evaluation of populus scrimber window [J]. China Wood-Based Panels, 2022, 29(12):1-6.
- [3] 孙尚令. 铝包木窗边框雨水槽自动铣槽机的设计[D]. 哈尔滨:哈尔滨商业大学,2020.
SUN S L. Design of automatic slot milling machine for rain gutter with aluminum clad wooden window frame [D]. Harbin: Harbin University of Commerce, 2020.
- [4] 宋明亮. 门窗材成型组合机床结构与控制系统设计[D]. 哈尔滨:东北林业大学,2019.
SONG M L. Design of structure and control system of doors and windows forming modular machine tool [D]. Harbin: Northeast Forestry University, 2019.
- [5] 李全城. 木材铣削加工技术[J]. 现代园艺,2018(21):194-196.
LI Q C. Wood milling processing technology [J]. Contemporary Horticulture, 2018(21):194-196.
- [6] 姜新波,王文博,李晋哲. 菌类培养长细木屑加工原理及力学分析[J]. 林产工业,2016,43(10):30-33.
JIANG X B, WANG W B, LI J Z. Processing principle and mechanical analysis of fungi culture needed long fine sawdust [J]. China Forest Products Industry, 2016, 43(10):30-33.
- [7] 张锟. 基于切削力实时监测的铣削加工智能控制系统[D]. 济南:山东大学,2022.
ZHANG K. Intelligent Control System for Milling Based on Real-time monitoring of Cutting Force [D]. Jinan: Shandong University, 2022.
- [8] 曹平祥,郭晓磊. 木材切削原理与刀具[M]. 北京:中国林业出版社,2010.
CAO P X, GUO X L. Wood cutting principles and tools [M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 2010.
- [9] 黄易周,贺福强,陈发江,等. 基于 ANSYS 的液压机悬挂夹紧装置结构优化[J]. 北京:农业装备与车辆工程,2022,60(9):31-36.
HUANG Y Z, HE F Q, CHEN F J, et al. Structural optimization of suspension clamping device of hydraulic press based on ANSYS [J]. Agricultural Equipment and Vehicle Engineering, 2022, 60(9):31-36.
- [10] 高清冉. 农机零部件夹具虚拟装配和有限元分析[J]. 农机化研究,2021,43(12):55-59.
GAO Q R. Virtual assembly and finite element analysis of fixture for agricultural machinery parts [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2021, 43(12):55-59.
- [11] 赵艳梅. 基于 ANSYS Workbench 的某车架有限元分析及轻量化研究[D]. 郑州:郑州大学,2018.
ZHAO Y M. Finite element analysis and lightweight research of a frame based on ANSYS Workbench [D]. Zhengzhou: Zhengzhou University, 2018.
- [12] 胡德生. 铣削仿真参数化平台开发及工艺优化[D]. 哈尔滨:哈尔滨理工大学,2022.
HU D S. Development and process optimization of milling simulation parametric platform [D]. Harbin: Harbin University of Science and Technology, 2022.
- [13] 李光,王文雅,孙彬青,等. 基于 AnsysWorkbench 的快装箱多目标优化设计[J]. 包装工程,2016,37(23):29-33.
LI G, WANG W Y, SUN B Q, et al. Multi-objective optimization design of plywood box based on Ansys Workbench [J]. Packaging Engineering, 2016, 37(23):29-33.
- [14] YAN C, LIU C, DU H, et al. Topology optimization of turbine disk considering maximum stress prediction and constraints [J]. Chinese Journal of Aeronautics, 2023, 36(8):182-206.
- [15] 曾浩,周成军,周新年,等. 双承载货运索道跑车结构分析与优化[J]. 森林工程,2022,38(4):125-130,180.
ZENG H, ZHOU C J, ZHOU X N, et al. Structure analysis and optimization of the carriage for freight ropeway of double-skyline [J]. Forest Engineering, 2022, 38(4):125-130,180.
- [16] 孙启航,张保成,马翠贞,等. 基于拓扑优化的基座减振性能[J]. 科学技术与工程,2023,23(5):1895-1902.
SUN Q H, ZHANG B C, MA C Z, et al. Vibration reduction performance of pedestal based on topology optimization [J]. Science Technology and Engineering, 2023, 23(5):1895-1902.
- [17] 何翔. 基于 ANSYS Workbench 的悬臂支架拓扑优化[J]. 机械工程与自动化,2022(6):65-67.
HE X. Topology optimization of cantilever bracket based on ANSYS Workbench [J]. Mechanical Engineering and Automation, 2022(6):65-67.