

HK链式地板开槽机的研制与应用

宋龙雨, 孙奎洲

江苏理工学院机械工程学院, 江苏 常州

收稿日期: 2024年11月5日; 录用日期: 2024年11月28日; 发布日期: 2024年12月9日

摘要

为了实现新型材料PVC、SPC等地板锁扣开槽工艺, 而研发设计出一款自动进料地板背部开槽机。该地板背部开槽机可用于厚度为1~10 mm, 宽为50~2500 mm, 长度为50~2500 mm的地板。通过伺服电机带动切削主轴, 完成切削锯片的切削动作, 其精度误差可以控制在0.1 mm范围内。同时可以控制伺服电机的参数进行控制锯片的旋转速度, 伺服电机安装在燕尾调节机构上可通过调节扳手控制3个自由度实现调节, 用于对不同尺寸规格的地板进行开槽。

关键词

锁扣开槽, 背部开槽机, 切削锯片, 燕尾调节机构

Development and Application of HK Chain Floor Slotting Machine

Longyu Song, Kuizhou Sun

School of Mechanical Engineering, Jiangsu University of Technology, Changzhou Jiangsu

Received: Nov. 5th, 2024; accepted: Nov. 28th, 2024; published: Dec. 9th, 2024

Abstract

In order to achieve the slotting process of new materials such as PVC and SPC for floor locks, a slotting machine for the back of the feeding floor has been developed and designed. This floor back slotting machine can be used for floors with a thickness of 2~10 mm, a width of 300~2500 mm, and a length of 0~2500 mm. By driving the cutting spindle with a servo motor, the cutting action of the cutting blade is completed, and its accuracy can be controlled within a range of 0.1 mm. At the same time, the parameters of the servo motor can be controlled to control the rotation speed of the saw blade. The servo motor is installed on the dovetail adjustment mechanism and can be adjusted by adjusting the wrench to control 3 degrees of freedom, which is used for slotting floors of different

sizes and specifications.

Keywords

Lock Buckle Slotting, Back Slotting Machine, Cutting Saw Blade, Swallowtail Adjustment Mechanism

Copyright © 2024 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

现如今实木地板已经成为木地板行业的重中之重,木地板市场需求量也不断增长。从起步到发展,如今我国的实木地板产业已经成为了具有相当规模的成熟产业[1]。现今,我国木地板的产量以及销量都居于世界首位,中国已经成为木地板的生产与加工大国。目前,据中国木地板行业统计,我国生产的木地板主要分为六大类,包括多层复合地板、实木地板、强化木地板、实木复合地板、软木地板和竹地板。根据《2024-2029年木地板行业风险投资态势及投融资策略指引报告》可以了解到木地板市场竞争激烈,不同品牌、不同品类之间的价格战和差异化竞争并存。头部企业通过技术创新、品牌建设和市场拓展等举措,逐步提升市场份额,而中小企业则面临更大的生存压力。为了能够提高企业自身核心竞争力应对市场的挑战、提高企业经济、节约成本和管控,本文研究设计了一款自动进料地板开槽机,目前开槽机经过测试与改进已经投入生产使用,并且销售至俄罗斯、德国等国家。

2. SPC 地板

2.1. SPC 地板结构

SPC 锁扣地板(如图 1)从上到下可以分为 UV 层、耐磨层、彩膜层、基材层。其 UV 层是在耐磨层上表面通过固化剂使得 UV 油固化后形成的涂层,能够防止紫外线照射地板后,其中化学成分的挥发。耐磨层具有附着力强、耐磨耐刮、耐磨系数可达 6000~8000 转,其厚度为 0.3 mm [2]。

彩膜层是在基材层的上表面形成各种各样的花纹、石纹等装饰纹,用于满足不同场合和不同需求。基材层是通过挤压将石粉与热塑高分子材料制成复合地板,同时兼有木材与塑料的性能与特性,确保地板的强度与韧性。

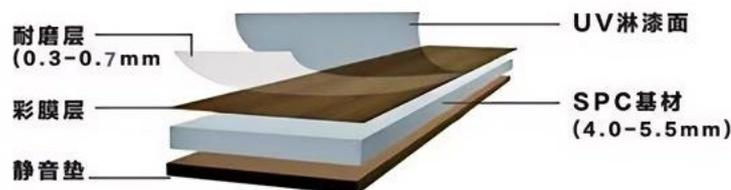


Figure 1. SPC lock floor

图 1. SPC 锁扣地板

2.2. 地板背部的结构开发

根据不同的木地板尺寸,通过伺服电机安装不同数量的铣刀锯片,带动铣刀将未加工的木地板根据

不同材质、不同槽深, 不同槽型等需求, 开出不同样式的锁式槽, 如图 2 所示。



Figure 2. SPC lock slot
图 2. SPC 锁式槽

3. 原理结构设计

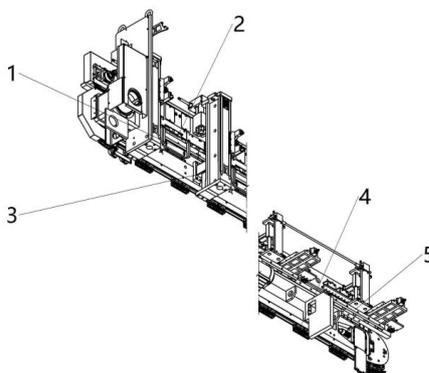
我国市面上拥有不同地板规格, 如表 1 所示, 为了能够适应市场需求, 完成各式的木地板加工, 开槽机需要具有很好的适应性。另外, 材料不同也就要求开槽机能够具有不同的进给速度和切削速度, 本次设计的双轨道开槽机可以一次性对地板两侧进行同时开槽, 不仅能够保证精度要求, 也能够提高企业产量。

自动进料开槽机包括: 夹紧装置、传动装置、切削装置、燕尾调节装置、自动进料装置等几个重要部分组成。夹紧装置采用的是矩形板, 由气缸和锁紧轴实现该部分功能, 传动装置由伺服电机、同步带和链板实现, 切削装置由伺服电机和铣刀锯片实现, 燕尾调节装置由丝杠和燕尾滑台实现该功能, 自动进料装置由链条、同步带完功能。控制系统采用单片机与汇编语言来实现, 自动进料开槽机整体设计如图 3 所示。

Table 1. Parameters of different specifications of wooden flooring

表 1. 不同规格木地板参数表

	名称	标准范围
不同地板参数	实木地板	90 厘米 × 90 厘米 × 18 毫米。 宽度范围: 60 到 220 毫米。
	实木复合地板	长度范围: 900 到 2200 毫米。 厚度范围: 14 到 22 毫米。
	强化复合地板	1200 毫米 × 195 毫米 × 8 毫米。
	其他	房间的大小、铺装效果和个人偏好。



1-切削装置 2-夹紧装置 3-燕尾调节装置 4-传动装置 5-自动进料装置

Figure 3. Schematic diagram of slotting machine

图 3. 开槽机原理结构图

4. 自动进料开槽机各个组成部分

4.1. 夹紧装置

在开槽的过程中, 铣刀锯片的转速非常高, 并且在切削的过程中产生比较大的切削力, 这样就会使得 SPC 地板在加工的过程中产生较大振动, 会对开槽的质量产生影响。因此需要对 SPC 地板进行夹紧和定位, 使之在加工的过程中不会产生相对的位移变化。由于生产的地板开的槽宽在(3~4 mm), 地板的厚度在(2~10 mm), 因此对其精度要求比较高, 误差范围在 0.1 mm 左右。

夹紧方式的设计:

由于 SPC 地板开的槽窄并且长, 开槽的过程中都有切削力的产生, 因此要限制地板的 6 个自由度, 但是在生产设计中夹紧力较大, 与开槽方向(X 方向)垂直的方向(Y 方向)位移量较小, 因此本次设计限制地板 5 个自由度。夹紧与定位装置如图 4 所示。

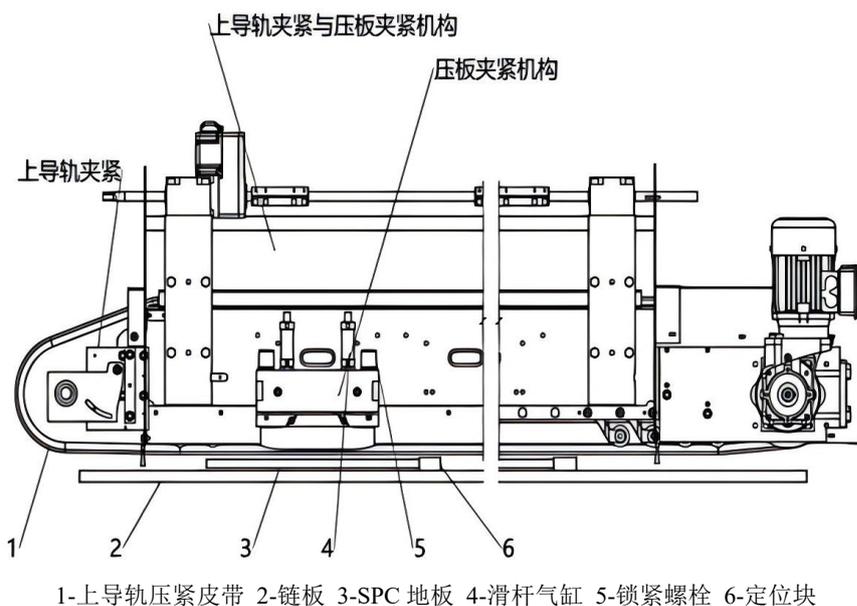


Figure 4. Upper guide rail clamping and pressure plate clamping mechanism
图 4. 上导轨夹紧与压板夹紧机构

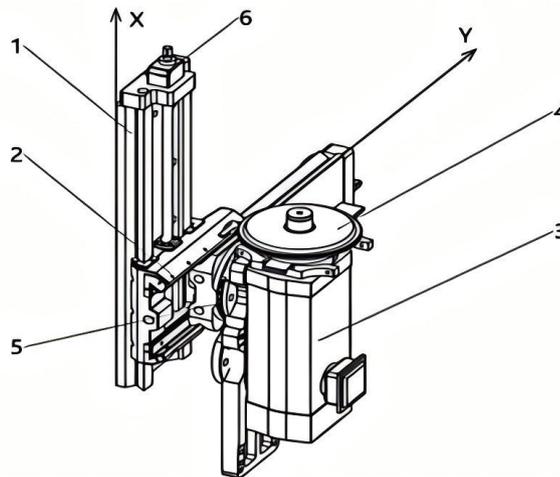
压板夹紧机构是由滑杆气缸与锁紧螺栓组成。滑杆气缸推紧之后, 锁紧螺栓进行锁紧, 当加工 SPC 地板的厚度发生变化的时候, 调节气缸到适当位置再进行锁紧, 所以本次设计的开槽机适合不同规格的地板。

4.2. 切削与燕尾调节机构

切削与 SPC 地板的开槽质量有着直接关系, 既要保证铣刀锯片能够高速运转, 又要可调节, 因此本次设计的切削加工装置与燕尾调节机构进行组合。

铣刀锯片可以分为装配式铣刀、组合式铣刀、整体式铣刀三大类, 鉴于加工槽的形状为凹凸槽的特点, 选择的加工方式为整体式铣刀。其最大的优点是价格廉价、安装拆换方便、可实现切入、斜面、槽加工的稳定。

切削加工装置安装在燕尾调节机构(如图 5 所示)上可以实现 X 方向上下、Y 方向前后的调节。伺服电机可以通过扳手进行适当的旋转调节。



1-X 方向燕尾滑槽 2-Y 轴方向燕尾滑槽 3-铣刀锯片伺服电机 4-铣刀锯片 5-刻度盘 6-精度表

Figure 5. Cutting and dovetail adjustment mechanism
图 5. 切削与燕尾调节机构

地板切削力的计算:

SPC 地板切削力的计算规则主要涉及到经验公式与单位切削力两种, 这两种公式是根据理论假设与实验数据推导出来的, 但是 SPC 地板切削的过程是复杂的受力、变形并切离过程, 他受着切削方法、切削用量、刀具状况以及 SPC 地板性质等众多因素的影响, 想要把所有因素考虑进去不太可能, 另外理论公式设计的比较多, 所以在实际工程上应用最多的是经验公式[3]-[5]。

鉴于 SPC 地板的切削力与硬木类似, 因此通过松木的相关参数进行理论计算。

$$\text{经验公式: } F = p \cdot a \cdot b \cdot 9.81(\text{N}) \quad (1)$$

式中 F —— 切削力;

p —— 单位切削力;

a —— 切削厚度(取 1.5 mm);

b —— 切削宽度(取 2 mm 木料长度);

其中: 当 $a \geq 0.1$ mm 时

$$p = C_p f' / a + (A_p \delta + B_p V - C_p) \quad (2)$$

当 $a \leq 0.1$ mm 时

$$p = (C_p - 0.8) f' / a + 8 f' (A_p \delta + B_p V - C_p) \quad (3)$$

A_p 、 B_p 、 C_p 、 f' --- 系数;

δ —— 刀具切削角(45°);

V —— 切削速度, m/s。

当刀具或铣削速度小于 40 m/s 时, 速度 V 用 $90-V$ 带入式中, 当速度大于 40 m/s 时, 带入实际数值。

$$\text{理论公式: } F = K_0 K_s K_w K_t B H$$

式中 F —— 切削力;

K_0 —— 单位切削力(取 4.2 N/mm^2)

K_s —— 材种修正系数(取 1.0)

- K_w ——木材含水率修正系数(取 1.0)
- K_t ——木材水热处理温度系数(取 1.0)
- B ——剖切宽度(取 2 mm)
- H ——薄板厚度(取 1.5 mm)

4.3. 链板传动设计

链条传动因为具有中心距可调、修理调试方便、持久耐用、传动效率高、功率及速度调节范围大的优点, 在医药、矿场、印刷、包装、食品及电子元器件加工组装中得到大量使用[6]。本次设计的开槽机的传动方式模拟链传动开发了一款链板传动方式, 如图 6 所示。

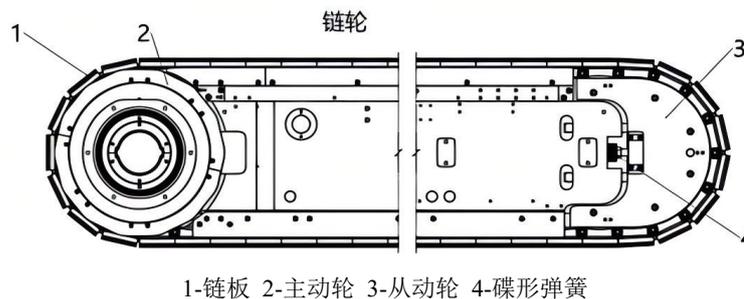


Figure 6. Chain plate transmission
图 6. 链板传动

链板通过主动轮带动在导轨中滑行, 从而带动链板上的 SPC 地板向前运动, 链板如图 7 所示。

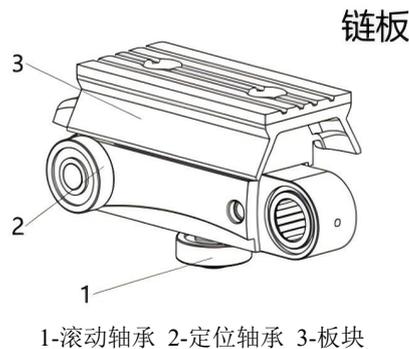


Figure 7. Chain plate
图 7. 链板

5. 基于 ANSYS 仿真分析

5.1. 研究内容

链系统相对于带传动而言有着平均传动比准确、无滑动、结构紧凑及传动效率高的特点, 链系统多在高速、多冲以及交变的工况下运行, 但是链传动具有多边形效应, 从而产生动载荷, 使得链轮产生一定的横向振动。

5.2. 研究方法

通过以链传动运动学原理和多刚体动力学为理论基础, 运用多体动力学软件 ANSYS 对链传动系统

进行运动学和动力学仿真模拟分析。为了解决这一问题, 在从动轮上加一个碟形弹簧进行减振, 同时采用奇偶调节法, 链板的数量用奇数, 传动轮的齿数用偶数, 通过不同的分析进行数据比较。

5.3. 链传动特性分析

如图 8 所示链传动具有多边形效应, 其多边形长度等于链轮的节距 P 。

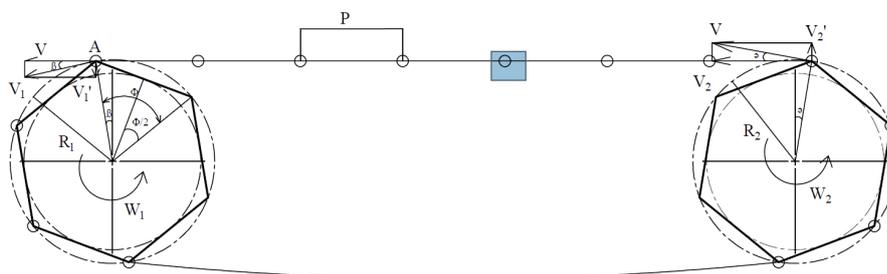


Figure 8. Schematic diagram of chain drive motion

图 8. 链传动运动示意图

左右两链轮的齿数分别为 Z_1 , Z_2 , 转速分别为 n_1 , n_2 。

其传动比为

$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{Z_2}{Z_1}$$

$$\text{速度 } V = \frac{Z_1 P n_1}{60 \times 1000} = \frac{Z_2 P n_2}{60 \times 1000}$$

假设主动轮的转速为 ω_1 , 从动轮的转速为 ω_2 , 将主动轮上的速度 V_1 进行分解得:

$$V = V_1 \cos \beta = \omega_1 R_1 \cos \beta, \quad \beta \in \left[-\frac{\varphi}{2}, \frac{\varphi}{2} \right]$$

$$V_1' = V_1 \sin \beta = \omega_1 R_1 \sin \beta, \quad \beta \in \left[-\frac{\varphi}{2}, \frac{\varphi}{2} \right]$$

(1) 当 $\beta = 0$ 时,

$$V = V_{\max} = \omega_1 R_1$$

$$V_1' = V_{1\max}' = 0$$

(2) 当 $\beta = \pm \frac{\varphi}{2}$ 时

$$V = V_{\min} = \omega_1 R_1 \cos \frac{\varphi}{2} = \omega_1 R_1 \cos \frac{180^\circ}{Z_1}$$

$$V_1' = V_{1\max}' = \omega_1 R_1 \sin \frac{\varphi}{2} = \omega_1 R_1 \sin \frac{180^\circ}{Z_1}$$

在链传动系统的过程中 $\beta \in \left[-\frac{\varphi}{2}, \frac{\varphi}{2} \right]$, 水平速度 V 将经历从小到大再到小的变化, 垂直速度 V_1' 经历从大到小再到大的变化, 两者都呈周期性变化。

链轮在水平方向上的速度是相等的, 所以从动轮的角速度可以表示为:

$$\begin{aligned} \omega_2 &= \frac{V}{R_2 \cos \alpha} \\ &= \frac{\omega_1 R_1 \cos \beta}{R_2 \cos \alpha}, \quad \alpha \in \left[-\frac{180^\circ}{Z_2}, \frac{180^\circ}{Z_2} \right] \end{aligned}$$

从上述可以看出 α 和 β 的大小决定了速度的变化范围, 也可以通过减小其角度变化的范围降低链轮的多边形效应。

多边形效应引起的激励表示为:

$$\begin{aligned} R_1 \dot{\theta}_1^2 \cos \theta_1 &= \frac{\theta_1^3 p Z_1}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{\omega} \sin \omega_n t \\ R_2 \dot{\theta}_2^2 \cos \theta_2 &= \frac{\theta_2^3 p Z_2}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{\omega} \sin(\omega_n t - 2mn\pi) \end{aligned}$$

式中 P 为节距, Z_1 和 Z_2 为主动轮和从动轮的齿数, m 为链轮节数, ω_n 为齿频率的整数倍。

根据文献[6], 当链轮中有 n 个链节, 链节的质量为 m , 节距为 p , 取其各自微小的偏离平衡位置的横向位移 y_1, y_2, \dots, y_n 为广义坐标, 则滚子链横向振动方程的动能为:

$$T = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n m y_i^2 = \frac{1}{2} [T]^2 [M][y]$$

则系统的刚度矩阵为:

$$[K] = \begin{bmatrix} K_{11} & \cdots & K_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ K_{n1} & \cdots & K_{nn} \end{bmatrix}$$

5.4. 链传动系统建模与仿真分析

5.4.1. 链传动模型建立

通过使用 ANSYS 系统中自带的链轮系统模块建立系统。

链轮模型建立过程的主要步骤包括以下几点:

- (1) 建立主动链轮和从动链轮, 同时建立碟形弹簧;
- (2) 建立链条;
- (3) 对链轮和链条进行装配, 再装配的过程中, ANSYS 系统会对链轮与链节, 链节与链节自动约束; 施加约束与激励力;
- (4) 通过上述步骤建立 ANSYS 模型仿真, 如图 9 所示。

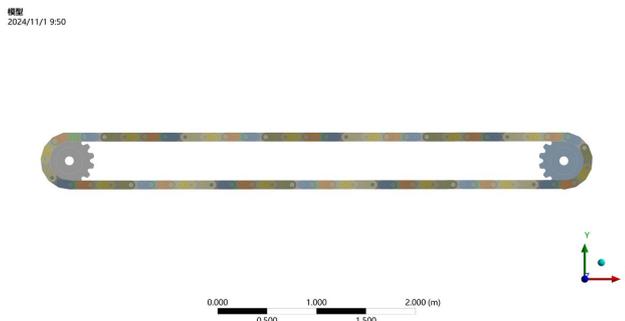


Figure 9. Chain drive simulation model
图 9. 链传动仿真模型

5.4.2. 链传动模型仿真与分析

将三维模型导入 Ansys 软件中进行有限元模型的建立, 首先需要进行材料属性设置。研究的链传动系统中的链轮和链条采用相同材料加工制作, 即 45 钢。此材料的剪切模量和泊松比分别为 7.6923×10^{10} Pa 和 0.3, 将以上材料准确录入有限元模型中以得到精确的结果。接着需要对模型进行网格划分, Ansys 软件中提供了多种类型的网格单元, 选择不同的网格类型会得到不同结果, 也会影响计算过程。综合考虑实际情况, 选用四面体网格类型, 网格单元大小设定为 3 mm, 单元数量和节点数量分别为 118890 个和 54937 个, 如图 10 所示为链传动的有限元模型网格划分。

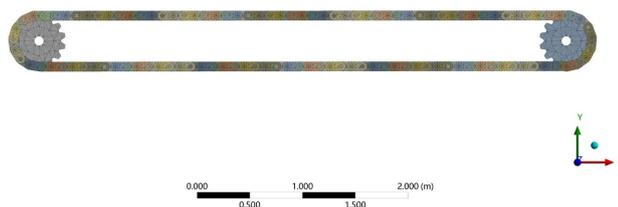
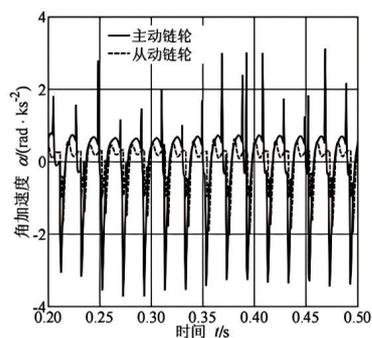


Figure 10. Grid division
图 10. 网格划分

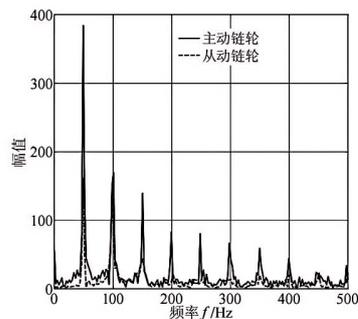
根据上述的电机选型与计算, 设定主动轮的转速为 120 r/min, 主动轮与链轮柱之间的摩擦系数设定为 0.15, 从动轮与链轮柱之间的摩擦系数设定为 0.15, 进行仿真得到如图 11 和图 12 所示图形。



(a) 时域响应

Figure 11. Time domain response

图 11. 时域响应



(b) 频域分析

Figure 12. Frequency domain analysis

图 12. 频域分析

根据上述图形可以发现主动轮所受的扭转振动较大, 在一定时间内会出现一定的峰值, 相反的是从动轮受到的振动较小。

6. 结束语

自动开槽机的设计在经历开发与改进之后大大提高了企业的生产率与质量, 对节约资源、降低用户成本有着积极的作用, 因此有着广袤的市场发展前景, 并且能够为社会创造一定的效益, 本次设计主要是通过分析企业设备链条开槽机的振动, 通过对其进行 ANSYA 仿真分析, 模拟链条在一定速度下主动轮振动和从动轮的振动, 发现主动轮所受的扭矩振动较大, 从动轮受到的振动较小。

参考文献

- [1] 朱文斌, 吴晓光. 一种新型短实木地板再利用自动开槽装置[J]. 机电产品开发与创新, 2009, 22(4): 59-61.
- [2] 李小冬. 地板背部开槽机设计应用[J]. 建材发展导向(上), 2020, 18(2): 1-3.
- [3] 胡为颖, 缪宗华. 木材切削力计算公式应用误差探讨[J]. 林业机械与木工设备, 2001(6): 16-18.
- [4] 曹平祥. 木材切削力的研究[J]. 木材加工机械, 1997(4): 2-5.
- [5] 韩荣第. 典型专用金属切削刀具设计实例精选[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社: 2014.
- [6] 贺国峰. 模切机步进链传动系统的动力学特性分析[D]: [硕士学位论文]. 兰州: 兰州交通大学, 2021.