

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2013.10.005

皮革裁剪头设计及动力学分析*

葛宏伟¹, 万中魁¹, 周天航¹, 寿开荣¹, 杨亮亮^{2*}

(1. 浙江理工大学 启新学院, 浙江 杭州 310018; 2. 浙江理工大学 机械电子工程研究所, 浙江 杭州 310018)

摘要: 皮革裁剪是皮革加工流程中一道关键工序,在诸多皮革裁剪中,电动式皮革裁剪以方便、高效等特性提高了皮革裁剪的效率,但电动式裁剪亦存在噪声大、切割精度低等缺点。针对电动式皮革裁剪存在的振动噪声大、切割精度低等问题,通过提供一种电动式皮革裁剪头的设计方案,分析了影响其振动噪声、切割速度、切割精度的因素;对设计模型进行了运动学仿真,分析了刀头部分的运动状况、产生动不平衡的原因及改进方法;使用 ANSYS 软件,对伸缩杆进行了受力分析,得到了伸缩杆的受力情况。研究结果表明,电动工皮革裁剪产生的振动噪声与惯性力有关,而惯性力的产生源于动不平衡性,此外伸缩杆的受力变形会影响切割精度。

关键词: 皮革裁剪; 设计方案; 运动学仿真; 受力分析

中图分类号: TS531; TH122; TH113.1

文献标识码: A

文章编号: 1001-4551(2013)10-1192-04

Dynamics analysis and design of leather cutting mechanism

GE Hong-wei¹, WAN Zhong-kui¹, ZHOU Tian-hang¹, SHOU Kai-rong¹, YANG Liang-liang²

(1. Qixin College, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China; 2. Research Institute of Mechanical Electronic Engineering, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China)

Abstract: Leather cutting is a key process in leather processing. Electrodynamics leather cutting mechanism improves the efficiency of the leather cutting with its characteristics of convenient and efficient, but electrodynamic leather cutting mechanism is shortcomings of large noise and low accuracy of cutting. In order to analyze the factors of affecting vibration noise, cutting speed and cutting precision, one kind of design of leather cutting mechanism was offered. Through the kinematics simulation, the movement of cutting head, the reasons for dynamic unbalance and the improvement methods have been obtained. With the ANSYS, the stress distribution of the telescopic rod has been received. The results indicate that the vibration noise is related to the inertial force, and the inertial force produced is the result of dynamic unbalance. In addition, the mechanical deformation of the telescopic rod will affect the cutting precision.

Key words: leather-cutting; design scheme; kinematics simulation; stress analysis

0 引 言

随着皮革行业的不断发展和机械制品的不断研发,目前国内多数皮革加工企业已经采用激光切割、电动裁剪等机械设备进行皮革裁剪,这在一定程度上提高了皮革的利用率,降低了企业的用工成本^[1]。激光切割加工效率较高,但由于皮革的热缩性等原因,激光切割也有其不足之处^[2]。电动裁剪操作简单,原

料利用率高,但电机驱动式裁剪在高速切割时,加速度会产生突变,高速振动的刀片也会发生弹性变形,这些都会影响切割精度;另外切割时机构振动噪声也较大,这就要求在一定的切割精度和较高速度下,保证机器振动较小,因而对机构的设计要求较高^[3-4]。相对国外较成熟的电动皮革裁剪技术,国内的电动裁剪技术尚处于起步发展阶段,且存在系统功能比较单一,以及振动噪声大、切割精度差等缺陷,还需不断完善。

收稿日期: 2013-05-15

基金项目: 国家科技支撑计划资助项目(2013BAF05B01);浙江省科技厅新苗计划资助项目(2012R406038)

作者简介: 葛宏伟(1990-),男,山东烟台人,主要从事机械电子工程方面的研究。E-mail:gehongwei6@163.com

通信联系人: 杨亮亮,男,博士。E-mail:yangliangliang@zstu.edu.cn

为了克服现有的电动皮革裁剪切割头的震动噪声大、切割精度差和切割效率低等不足,本研究提出一种皮革裁剪头的设计方案,通过对其进行动力学分析,找出影响其振动噪声、切割速度、切割精度的因素,提出相应的改进措施。

1 模型方案设计

本研究所要叙述的是一种刀具裁剪式的电动卧式皮革裁剪头的方案设计。皮革裁剪的过程由刀具的上下运动和机构的水平进给完成,动力源由直流电机提供,通过机构的连接和运动的转换将动力传递给刀头。模型的设计方案如图1所示。

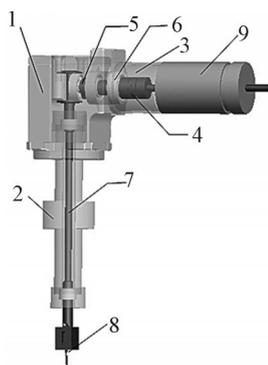


图1 模型设计方案图

1-基座;2-固定外套;3-轴承外套;4-联轴器;5-偏心轴;6-轴承;
7-伸缩杆;8-刀头;9-直流电机

模型由座架、传动机构、驱动控制和刀头4部分组成,其中座架部分由基座1、固定外套2、轴承外套3等组成,起支撑和保护作用。模型的传动机构由联轴器4、偏心轴5、轴承6、伸缩杆7组成,水平放置联轴器的一端与偏心轴的中间轴连接,偏心轴的另一端通过附加轴承与伸缩杆的上端连接,伸缩杆的中部可上下滑动地套装在固定外套内,伸缩杆的下端安装刀头8。驱动控制部分由水平方向布置的直流电机9和三坐标控制器(模型中未显示)两部分组成:直流电机提供动力源;三坐标控制器与固定外套连接,其X-Y轴控制刀头平面的运动,完成图形轨迹的跟踪,Z轴控制刀头的抬起与落下;刀头部分由刀片和固定器组成。

该方案的优点主要表现在:结构紧凑、动力传递平稳、振动噪声小、切割精度高。

2 动力学分析

2.1 运动分析

电机的转动通过偏心轴转成伸缩杆的简谐运动,偏心轴每转一圈刀头上下往复运动一个周期,相应的运动关系式如下:

$$T = 60/n \quad (1)$$

$$A = e \quad (2)$$

$$2A > d \quad (3)$$

$$F = m \cdot r \cdot \omega^2 = m \cdot r \cdot (2\pi \cdot n/60)^2 \quad (4)$$

式中: T —振动周期; n —电机转速; A —振幅,mm; e —偏心,mm; d —切割厚度,mm; F —惯性力。

刀头部分的振动方程为:

$$J \frac{d^2 \alpha}{dt^2} - \beta \frac{d\alpha}{dt} + C\alpha = Fl \sin \omega t \quad (5)$$

式中: β —阻尼系数。

由上式可知:阻尼越小,刀头振幅 A 越大^[5]。此外刀头的振幅 A 与振动频率 f 也有关,越接近固有频率,振幅就越大,为此需要注意避免共振情况的出现。

模型的回转系统由偏心轴、伸缩杆和刀片3部分组成,当电机转速 $n=5\ 000$ 时,刀片的速度分析和加速度分析如图2所示^[6]。

由图2可知,电机转速很高时,刀片的速度曲线和加速度曲线都出现尖点,即产生了突变,这会影响到切割精度。为此若要满足较高的切割精度则必须控制速度的上限;当然也可尝试其他补偿措施,如可采取在伸缩杆两端安装弹簧,起到缓冲减振的作用。

由于高速切割时机构振动噪声较大,而惯性力是系统产生振动和噪声的重要源头,故需提高动平衡性,减少惯性力。

2.2 系统产生不平衡的原因分析

偏心轴—伸缩杆—刀头回转系统产生不平衡的原因主要有^[7-8]:

(1) 刀头部分。结构的非对称性设计,加工过程中材质不均,安装时多个零件组合的累积误差产生径向偏移,以非垂直角度切入工件时将产生刀片不均匀磨损、主轴偏斜。

(2) 伸缩杆部分。因刚性不足发生弯曲,结构的非对称性,两端受力不均。

(3) 偏心轴部分。考虑到上、下运动的位移,偏心轴的偏心距应控制在一定的范围,超出范围的偏心距将产生动不平衡。

(4) 零件装配。伸缩杆—刀具径向装夹误差,伸缩杆—轴端垫圈磨损偏移,偏心轴与伸缩杆连接不稳定性。

(5) 耦合不平衡。当回转系统的主惯性轴与其重心的轴线交叉时会出现耦合不平衡。

不平衡的存在会导致切割时振动的加剧。振动严重时则会限制切割速度的提高,降低其生产效率;同时也会影响切割头的切割精度,从而导致切割面上下尺寸出现偏差。

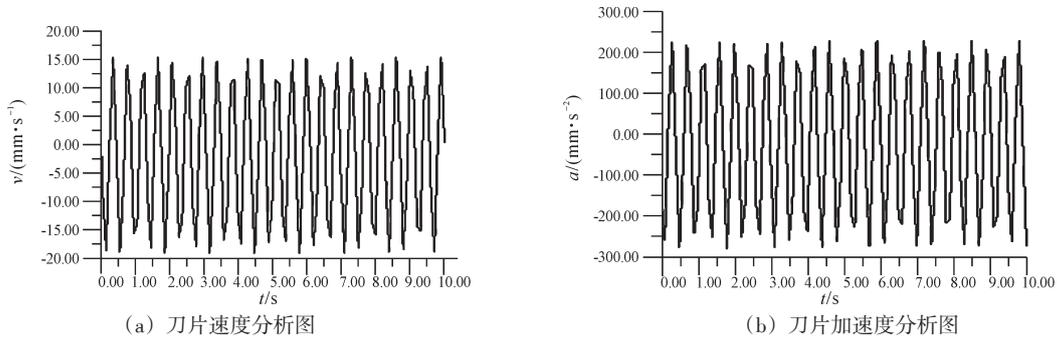


图 2 当 $n=5\ 000$ 时, 刀片的速度和加速度分析

2.3 降低系统不平衡的措施

(1) 在设计过程中消除不平衡因素。偏心轴的动平衡要求可在设计时充分考虑^[9-10]。偏心轴的设计如图 3 所示。

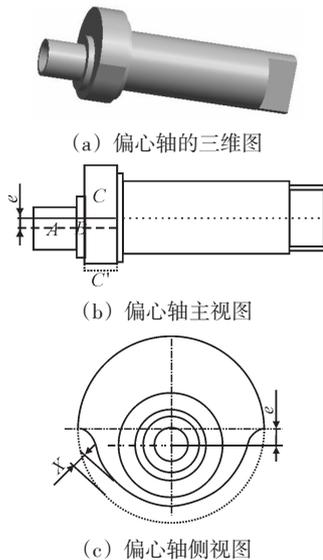


图 3 偏心轴的设计

偏心轴设计时需满足公式:

$$m r = m' r' \quad (6)$$

计算如下:

$$\{\pi \cdot 3.7^2 \cdot 0.8 + \pi \cdot 2.5^2 \cdot 5.16 - 1/3 \cdot \pi \cdot 1.17 \cdot [1^2 + 0.6^2 + 0.6 \cdot 1]\} \cdot \rho \cdot e =$$

$$[1/2 \cdot \pi(6.5)^2 - 1/2 \cdot \pi(13 - X)^2/4] \cdot \rho \cdot (6.5 - X^2)$$

化简整理可得:

$$X \cdot (X - 26)^2 = 182.41e \quad (7)$$

$$(X + e < 2.8, 0 < X < 0.61, 0 < e < 2.17)$$

式中: m —A 与 B 的质量之和; r —半径, mm; e —偏心距, mm; m' —C' 的质量; r' —C' 的中线到轴线的距离 $r=6.5-X/2$; ρ —材料的密度, kg/m^3 。

在刀头部分的设计中, 通过优化刀柄结构, 减少刀头部分的质量, 可明显减少刀头部分的不平衡量, 提高切割机高速切削时的动平衡性。

(2) 定期维护。高速切削的刀片会发生弹性变

形而加剧磨损, 垫圈、轴承等联接器件长时间运动后也会发生磨损等疲劳破坏, 定期维护、更换零件可避免因磨损而额外增加的惯性力。

2.4 受力分析

裁刀在切割皮料时, 会受到皮料非常复杂的挤压, 由于裁刀外形细长而单薄会发生变形, 研究者需对裁刀进行实时纠偏^[11], 从而保证刀面与皮料垂直的状态。

裁刀所受切割力 F 随切割角 γ 的增加而增大, 两者间存在如下关系^[12]:

$$F = P \cdot \tan(\gamma/2) \quad (8)$$

式中: P —皮革撕裂强力。

伸缩杆与刀头部分的受力简图如图 4 所示^[13]。其满足公式:

$$\left\{ \begin{aligned} \Sigma F_y' = 0 &\Rightarrow F' = F_y + F_{f1} + F_{f2} + F_m & (9) \\ \Sigma F_x' = 0 &\Rightarrow F_{n2} = F_{n1} + F_x & (10) \\ \Sigma M = 0 &\Rightarrow F_{n1} \cdot 97 = F_x \cdot 41 & (11) \end{aligned} \right.$$

式中: F' —伸缩杆上端受到的力, F_m —伸缩杆产生的惯性力, F_x —切割时刀片受到的横向力, F_y —切割时刀片受到的纵向力, F_{n1} (F_{n2})—伸缩杆受到上(下)端垫圈的支撑力, F_{f1} (F_{f2})—伸缩杆受到上(下)端垫圈的滑动摩擦力。

图 4 中, 实线箭头表示伸缩杆向下运动时的受力情况, 虚线箭头表示伸缩杆向上运动时的受力情况。

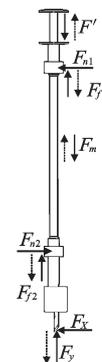


图 4 受力简图

在对伸缩杆进行有限元分析后, 可得到如图 5 所

示的变形图和如图6所示的应力图^[14-15]。

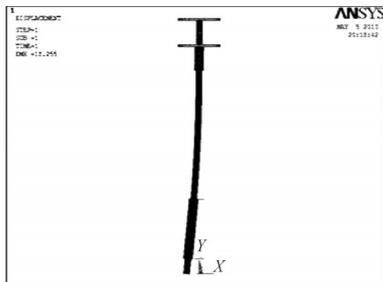


图5 伸缩杆变形图

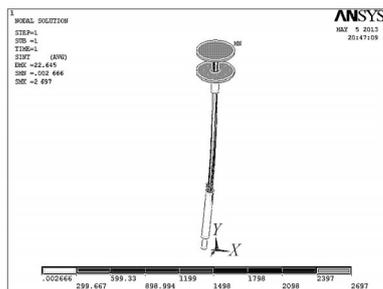


图6 伸缩杆应力图

伸缩杆作为关键的传动机构,其受力情况进行分析:

由图5可知,当刀头受到150 N的水平作用力时,伸缩杆的挠度最大值为18.255 mm,可见伸缩杆在运动过程中存在一定程度的变形,且水平受力越大伸缩杆弯曲越严重,这会增加固定外套的受力,加剧垫圈磨损,产生动不平衡,而非垂直角度的切割也会影响切割精度。

由图6可知,伸缩杆所受最大应力为约1 200 N/mm²,最大应力出现在伸缩杆的上端两平面间部分和伸缩杆的中端部分,因此应根据实际需要尽可能缩短伸缩杆的长度,且伸缩杆在加工时应避免出现切痕,以提高其应力。

3 模型存在的问题及改进措施

通过其进行的动力学分析可知,该模型尚存在的问题及改进措施如下:

(1) 伸缩杆与垫片的摩擦既影响到伸缩杆的运动速度,又会加剧垫片的磨损,故需考虑如何选择合适的材料制作垫片,亦可寻找新的机构来实现这一运动。可采用圆型直线导轨代替伸缩杆与垫片,这既可达到横向固定的目的,又可减少纵向的摩擦,但相对而言造价要高一些。

(2) 偏心轴所受到的力会因所切材料材质的不同而不同,故需考虑如何满足不同情况下系统的动平衡要求。可采取附加配重的方式,但需要提前计算出刀头在不同受力情况下,所需附加配重的多少。

(3) 模型中采用了轴承联接,高速运转的情况下轴承的润滑是必不可少的。模型设计中未给出轴承

的润滑装置,可在轴端安装密封垫圈和轴向固定装置,在轴承位置开设油槽,但应做好防漏油措施。

4 结束语

针对皮革裁剪的问题,笔者提供了一种模型设计方案,并对所述方案进行了动力学分析,通过分析得到了影响其振动噪声、切割速度的因素;针对不平衡问题提出了相应的改进措施,模拟了伸缩杆受力情况下的变形情况;对模型设计中存在的问题进行了总结,提出了改进方案。该设计方案的提出,可改进现有电动皮革裁剪刀的部分缺陷,提高裁剪质量,提高材料利用率,改善工人劳动条件,增加企业收入,因此具有一定的工程价值和理论指导意义。

但针对有些问题现阶段尚无法提出较好的解决方案,如对影响切割精度因素的具体分析、对运动轨迹的控制等问题,这还需以后更深层次的研究。

参考文献(References):

- [1] 季国顺. 皮革数控高速裁剪运动控制技术[D]. 杭州: 浙江大学机械与能源工程学院, 2007: 1-9.
- [2] 蒋金武. 皮革数控裁剪刀关键控制技术研究[D]. 杭州: 浙江理工大学机械与自动控制学院, 2010: 1-31.
- [3] 刘战强, 艾兴. 高速切削刀具的动平衡[J]. 新技术新工艺, 2001, 20(11): 18-19.
- [4] 顾立志, 卢红影, 龙泽明, 等. 振动切削过程的稳定性研究[J]. 佳木斯大学学报, 2002, 20(2): 171-174.
- [5] 朱世克, 杨国文. 振动切削过程中刀头的振动分析[J]. 矿冶工程, 1995, 15(1): 64-66.
- [6] 佟河亭, 李超, 王炳强. Pro/Engineer Wildfire 4.0 机构运动仿真与动力分析[M]. 北京: 北京邮电出版社, 2009.
- [7] 陈世平, 廖林清, 侯智, 等. 高速切削刀具系统动平衡研究与分析[J]. 机床与液压, 2005, 33(10): 32-33.
- [8] 沈春根. 高速加工刀具系统的动平衡[J]. 机器人, 2003, 54(10): 12-13.
- [9] 蒋金武, 顾叶琴, 史伟民. 数控服装裁剪刀切割机构的设计及平衡校核[J]. 现代纺织技术, 2011, 12(2): 16-19.
- [10] 王永康, 陈立. PASSIM 接装机剪切式切割方式的设计与改进[J]. 包装与食品机械, 2012(4): 69-71.
- [11] 赵懿峰, 裴仁清, 华尔天, 等. 裁剪刀裁刀的控制[J]. 机电一体化, 2005, 11(5): 55-57.
- [12] 赵艳伟, 盛猛, 李廷, 等. 皮革切割力与吸附力理论研究[J]. 机床与液压, 2012, 40(17): 41-43.
- [13] 刘丰, 于恩林, 梁红侠, 等. 管材滚动过程中刀片的受力分析[J]. 机械强度, 2010, 32(1): 91-93.
- [14] 王宇, 刘静, 刘凯. 基于 ANSYS 的架空索道塔架有限元模型建立方法探析[J]. 机械, 2011, 38(5): 40-42.
- [15] 易日. 使用 ANSYS6.1 进行结构力学分析[M]. 2版. 北京: 北京大学出版社, 2002.

[编辑: 罗向阳]