

DOI:10.19344/j.cnki.issn1671-5276.2024.01.018

基于阿基米德螺旋的软爪车削卡箍设计与应用

陆如刚¹,舒永东²

(1. 南京市江宁区安全生产宣传教育中心,江苏 南京 211199;

2. 南京高精船用设备有限公司,江苏 南京 211103)

摘要:以软爪的传统加工工艺为基础,运用阿基米德螺旋原理,增大螺旋曲线向量半径,设计一种以自身惯性力大自锁夹紧的软爪车削夹具。介绍该夹具的设计方法、结构构造及使用方法。经实践使用表明:该夹具操作灵活,加工精度高,有效提高了零件的定位基准和加工质量。

关键词:软爪;车削夹具;转动惯量;动平衡

中图分类号:TH162 **文献标志码:**B **文章编号:**1671-5276(2024)01-0093-03

Design and Application of Soft Jaw Turning Clamp Based on Archimedes Spiral

LU Rugang¹, SHU Yongdong²

(1. Safety Production Publicity and Education Center, Jiangning District, Nanjing 211199, China;

2. Nanjing High Accurate Marine Equipment Co., Ltd., Nanjing 211103, China)

Abstract: Based on the traditional processing technology of soft claw, this paper designs a soft jaw turning clamp fixtured by self inertial force with the application of Archimedes spiral principle and by increasing the spiral curve vector radius. Its design method, structure construction and application method are introduced. Practical implementations show that the designed clamp is flexible for operation, highly precise in processing, which effectively improves the positioning parts base and processing quality.

Keywords: soft claw; turning fixture; moment of inertia; dynamic balance

0 引言

在数控车削加工工艺设计中,为了保证零件结构间的形位公差,常采用轴、套类零件的已加工外圆或内孔面作为下一道工序的定位基准。同理,已加工外圆或内孔面也会作为下道工序装夹的夹持面。如果选择普通的硬三爪(硬度HRC58~62^[1]),易夹伤、破坏零件的已加工面。为了防护已加工面的表面粗糙度,需采用软爪夹持,以此保证轴、套类零件的被夹持面与被加工面的工艺要求。

软爪作为数控车床上的一种常用夹具,在以往的加工中,通常采用45钢,先调质成HB217~255,然后操作者按软爪夹持的零件来选择加工方法。当零件为轴类时,应将夹持轴等直径的圆柱夹持于软爪里面;当工件为套类时,应在软爪外面设置夹紧套环。最后,采用“实配法”^[2],即用车刀把零件与软爪接触的(夹持)面粗、精车一刀,使得软爪夹持面圆弧直径与工件已加工面形状一致。这样可以增大软爪与零件的夹紧面

积,以达到均匀多点的定位夹紧,减少零件的已加工面因夹紧产生的变形。由此可见,软爪由于其特殊的加工工艺性,加工不同直径的零件需要更换不同的圆柱棒料或者套环来实现软爪面的加工。这样,软爪的加工就变得异常繁琐。为了改变软爪加工的工艺状况,本文设计一种适用于不同直径软爪加工的车夹具,使软爪的加工操作简单、方便。

1 软爪切削动力分析

1) 软爪的夹紧受力分析

在车削软爪时,必须在卡爪内(卡爪外)安装一适当直径的圆柱(套环),它们在软爪安装的位置应和工件夹紧力的方向一致;目的是为了消除软爪与基座之间多“锯齿”配合间隙,避免软爪切削过程中的让刀现象,从而保证软爪车削精度。因此,依据牛顿第三定律,软爪加工时受力方向即为工件夹紧力相反方向,软爪加工的平面夹紧力系如图1所示(其中 f_n 为夹紧零件; F_n 为涨紧零件)。因卡盘上3个软爪呈120°均布,其受力方向均指

基金项目:国家重点研发计划项目(2022YEB3404804)

第一作者简介:陆如刚(1978—),男,江苏宝应人,高级工程师,硕士,从事机械企业安全生产研究工作,lurug@126.com。

向或汇交于卡盘的回转中心 O 点,保证了夹紧力的静平衡(不考虑软爪自身的重力因素)。否则会因软爪夹紧力不均衡,导致软爪车削精度差,不能保证工件定位精度(软爪定位精度一般在 $0.03 \sim 0.05 \text{ mm}$)。

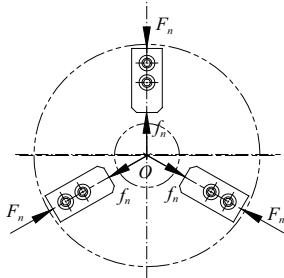


图1 软爪加工的夹紧受力图

2) 软爪切削的运动分析

车床的主运动是旋转运动,且是对称性的回转,可以取卡盘软爪的某一端平面为平面刚体(端面与主轴回转轴线垂直相交于回转中心 O 点)。当主轴的角速度为 ω ,启动时角加速度为 α ,如图2所示。应用达朗伯原理^[3],平面刚体内任一点 i 的惯性力 F_{gi} 分解为切向惯性力 F_{gi}^t 和法向惯性力 F_{gi}^n 。

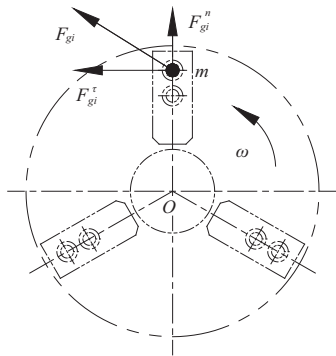


图2 软爪惯性力系图

假设所取的任一点 i 为某一直径软爪上可移动质点,在车床主轴转动的情况下,利用作用力与反作用的关系,通过约束可移动质点,即可将可移动质点的法向惯性力 F_{gi}^n 转变为软爪车削的夹紧力。以此类推,那么在平面刚体内设置呈 120° 分布的3个质点,即可满足软爪车削的受力条件。

如此分析,则此端面惯性力系向回转中心点 O 合力

$$F_{gR} = \sum F_{gi} = - \sum m\alpha \quad (1)$$

式中: F_{gR} 为夹具惯性力; m 为夹具体质量。

因3个质点均匀分布,其平面力系呈三角形

自行封闭,即 F_{gR} 等于0,可满足软爪车削夹紧力的静平衡条件。同时,要充分利用可移动质点的切向惯性力 F_{gi}^t ,保证法向惯性力 F_{gi}^n 夹紧。结合自定心原理,要使得可移动质点在切向惯性力 F_{gi}^t 的作用下,3个质点必须匀速向中心切向移动。为了实现这一要求,先以可移动质点(卡盘)的回转中心为参考系,取其中一移动质点的运动为研究对象,设计其移动轨迹。

依据软爪车削的夹紧要求,移动质点必须向直径趋于减小的方向移动。那么,移动质点的运动即可以设立运动方程,即

$$d\varphi/dt = \omega \quad (2)$$

$$d\rho/dt = v \quad (3)$$

式中: φ 和 ρ 分别为卡盘的旋转角度和周线; ω 和 v 分别为卡盘的角速度和线速度,都为一定常数; t 为时间。

将设立方程式(2)和式(3)分别对时间积分一次,并设移动质点起点位置为 $t=0$ 时(主轴启动开始时)的初始位置,于是得到移动质点相对于主轴回转中心的运动方程式(4)和式(5)。即

$$\varphi = \omega t \quad (4)$$

$$\rho = R - v \cdot t \quad (5)$$

消去运动方程式(4)和式(5)中的 t , 得到移动质点在夹紧过程中的移动轨迹方程

$$\rho = R - v\varphi/\omega \quad (6)$$

由式(6)可知,移动质点随着卡盘的转动,在其自身的切向惯性力 F_{gi}^t 的作用下,沿着移动质点的运动轨迹,逐渐向直径趋于缩小的方向运动^[4]。假设3个质点都采用这样的移动质点,即满足了自动夹紧定心。

2 夹具设计分析

1) 定位方案设计

利用夹具“六点定位”原理^[5],进行了软爪车夹具的定位方案设计,其定位方法如图3所示。软爪与基座之间采用多“锯齿”配合,类似宽V型块定位,限制了 x, z 向移动、 y 旋转方向的3个不定度。同时,由于软爪与多“锯齿”配合,存在配合间隙。为了确保软爪径向限位,决定采用软爪外廓作为定位基准,即在 x 向移动、 y 旋转方向设置重复定位。此外,在可移动质点的惯性力 F_{gi} 作用下,增加了 x 向移动、 y 旋转方向的定位可靠性,避免了因软爪车削切削力而产生让刀现象,保证了软爪弧面的形位公差(主要指圆度和圆柱度)。

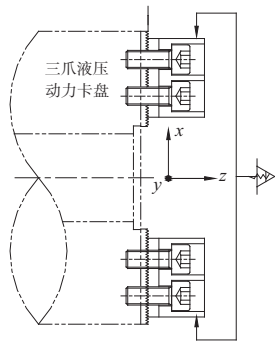


图3 夹具定位原理图

2) 定位误差

车床的主运动是旋转运动,因此在切削加工时,零部件的运动会产生离心力。因此,在设计软爪车夹具时,需要考虑夹具综合离心惯性力 Q_{gr} 对软爪加工精度的影响,且刀具在切削加工时,也会产生径向进给力 F_y 。依据动平衡误差计算,软爪上夹具的综合离心惯性力 Q_{gr} 和径向切削分力 F_y 所引起的软爪面相对于主轴回转中心的径向跳动误差为

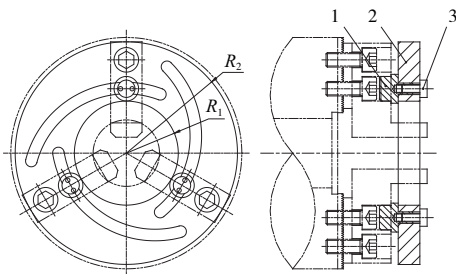
$$\Delta R = \frac{F_y + Q_{gr}}{k} - \frac{F_y - Q_{gr}}{k} = \frac{2Q_{gr}}{k} = 2mr_i \left(\frac{2\pi n}{60} \right)^2 \quad (7)$$

式中: k 为工艺系统刚度; n 为加工时车床主轴转速; r_i 为夹具端平面内一点 i 的旋转半径。

根据式(7)分析,在卡盘整个 360° 回转过程中,由于二力的同向与反向,会给软爪造成类似“心形”的误差^[6]。为了消除动平衡引起的误差,必须保证夹具结构在制造过程中的质量均匀性,或者进行动平衡实验,尽可能采用均匀分布的回转体结构,以消除动平衡误差的影响。

3 夹具结构与使用方法

依据以上分析结果,结合车夹具的设计规范要求,设计了一种适合 $\phi 160$ 卡盘用的软爪专用车夹具,结构如图4所示。其中: R_1 为中空圆半径; R_2 为夹具体半径。下面简要分析其使用过程。



1—活动销;2—夹具体;3—限位螺钉。

图4 软爪车夹具结构图

依据方程式(6)设计确定活动销1的夹紧运动轨迹为: $\rho(\beta) = 72 - 0.12 \times \beta$, ($0 < \beta < 120^\circ$)。然后根据轨迹方程,运用数控线切割或数控宏程序铣削在夹具体2上铣削3个均匀分布的轨迹槽^[7]。同时,在轨迹槽中采用活动销1作为可移动质点,通过夹具体2上的轨迹槽实现约束,满足夹具夹紧定位要求。即当卡盘夹紧时,3个轨迹槽中的活动销可在自身惯性力 F_{gr} 作用下自动调整到最佳位置,使卡盘的3个软爪所受的作用力匀称。在使用时,根据零件被夹持的直径尺寸调整软爪在卡爪基座上的位置,然后安装软爪车夹具。注意一只手旋转夹具体2,另一只手将活动销1插入对应软爪的螺钉沉孔中。调整软爪位置时,应让活动销1在整个移动轨迹的适中位置,以防在轨迹槽两端产生虚压现象。此外,由于活动销1在轨迹槽中的可移动行程长,因此夹具可以夹持不同位置的软爪加工(即可满足不同直径零件的要求),节省了不同尺寸规格的圆柱棒料,使软爪加工耗材量降到最低。

为避免软爪在加工过程中刀具干涉,需将夹具体2做成中空的,以方便外涨软爪弧面车削。考虑车床在启动时,夹具体2自身的惯性力矩能保证径向自动夹紧力的形成。依据中空圆柱的自身惯性力矩分析^[8]:

$$M = -J_z \cdot \alpha = \alpha \int_{R_1}^{R_2} 2\pi \rho_s d_i r_i^2 = \frac{1}{2} m (R_2^2 + R_1^2) \alpha \quad (8)$$

式中: J_z 为夹具转动惯量; ρ_s 为夹具密度; d_i 为夹具端平面内一点 i 的旋转直径。

只要满足刀具车削无干涉,应尽可能减小中空孔的半径,能提高夹具体2的自身惯量力矩,保证软爪夹紧力的稳定性。

对于软爪弧面的直径尺寸测量,通常情况下,内弧面可采用三点式千分尺;外弧面可先精确测量出有一定刚性钢环内径尺寸(即为软爪定位直径),减去(或加上)测量出的软爪定位面与夹位面半径差两倍即为软爪外径尺寸。

4 结语

通过对液压卡盘软爪车夹具的创新设计,改进了软爪的加工方法,节约了软爪加工的耗材,提高了软爪的加工效率和轴、套零件的反复装夹的定位精度,同时也降低了工人的劳动强度。经过

(下转第99页)

续表

序号	沟宽/mm	试验次数	动作记录
6	12.0	10	通过,颠簸开始变大
7	14.0	10	通过,颠簸开始明显
8	16.0	10	通过,颠簸逐渐剧烈

表 4 负载为 250 kg 时过沟检测

序号	沟宽/mm	试验次数	动作记录
1	2.0	10	顺利通过,无明显颠簸
2	4.0	10	顺利通过,无明显颠簸
3	6.0	10	顺利通过,开始出现微弱颠簸
4	8.0	10	通过,颠簸开始变大
5	10.0	10	通过,颠簸开始明显
6	12.0	10	通过,颠簸逐渐剧烈
7	14.0	10	不能通过,卡死
8	16.0	10	—

通过对上述表格的数据和描述分析可得,AGV 车体在负载从 0 增大到 100 kg 的过程中,在沟宽不大于 14.0 mm(包括 14.0 mm)的工况下,均可以顺利通过,无明显颠簸;但在 250 kg 负载下,在沟宽达到 8.0 mm 时开始出现颠簸,在 14.0 mm 时车体卡死,无法顺利通过。综上,该新型驱动单元设计满足额定负载的要求,且在负载不大于 100 kg 时,表现出较强的过沟能力。

参考文献:

- [1] 房智祥. 适用于 AGV 的紧凑型驱动转向伺服舵轮开发与应用研究[D]. 济南:山东大学,2020.
- [2] 赵华东,江南,雷超帆. 基于差速驱动的 AGV 驱动单元分析与改进设计[J]. 郑州大学学报(工学版),2018,39(5):73-78.

(上接第 95 页)

企业近半年的实际生产使用,该夹具构造简单、适用范围广,且成本低、操作简单,深受企业的欢迎。

参考文献:

- [1] 施江澜. 工程材料学[M]. 北京:机械工业出版社,2005.
- [2] 陈宏钧. 实用机械加工工艺手册[M]. 3 版. 北京:机械工业出版社,2009.
- [3] 哈尔滨工业大学理论力学教研室. 理论力学·下册[M]. 5 版. 北京:高等教育出版社,1997.
- [4] 华中理工大学数学系. 高等数学[M]. 北京:高等教

- [3] 郭宝喜,孙铁华. 双车联动重载 AGV 设计[J]. 中国新技术新产品,2021(1):73-75.
- [4] 徐恒才,李鹭扬. 基于 ADAMS 和 ANSYS Workbench 的 AGV 剪叉式升降机构的仿真分析研究[J]. 机械工程师,2021(4):24-26,30.
- [5] 邓依婷,徐曦,李亚宁,等. 基于麦克纳姆轮的 AGV 小车[J]. 物联网技术,2021,11(1):65-66,71.
- [6] 马越,王永恩,马睿. 重载 AGV 机械结构设计[J]. 机械研究与应用,2018,31(2):112-113.
- [7] 陈沛宇,袁勤政,戴鹏飞,等. 多技术融合的室内无线定位方法发展综述[J]. 导航定位学报,2022,10(3):9-13.
- [8] 张森. 全轮转向移动底盘设计及运动控制研究[D]. 西安:西安理工大学,2021:30-35.
- [9] 江亚峰,王彬彬,袁明新,等. 基于自适应反演滑模的全向 AGV 运动控制[J]. 计算机仿真,2019,36(2):349-353.
- [10] 孙超,杨前明,王飞,等. 基于协同模糊控制的四轮驱动 AGV 稳定性研究[J]. 机床与液压,2020,48(17):162-169.
- [11] 高磊,秦建军,黄梦雨,等. 一种新型零转轮式机器人底盘设计与仿真[J]. 中国科技论文,2021,16(8):911-918.
- [12] 史亚贝,刘欣宇. 采用 AGV 小车的柔性生产线技术方案设计[J]. 机械设计与制造,2017(7):118-120.
- [13] 于济群,刘宁,吕琼莹. 基于 Adams 用于康复可穿戴上肢外骨骼运动学分析及仿真[J]. 机械传动,2020,44(11):89-93.
- [14] 杨许,王若澜,王良文,等. 凸轮连杆组合机构驱动的四足仿生马机器人运动学建模与分析[J]. 机械传动,2021,45(1):77-84.

收稿日期:2022-08-08

育出版社,1997.

- [5] 朱耀祥,浦林祥. 现代夹具设计手册[M]. 北京:机械工业出版社,2010.
- [6] 杨义蛟,谭青,周铁. 自动平衡回转机械的工作机理研究[J]. 机械设计与研究,2009,25(4):33-36.
- [7] VALENTINO J V, GOLDENBERG J. 数控加工导论[M]. 北京:机械工业出版社,2008.
- [8] 刘正士,高荣慧,陈恩伟. 机械动力学基础[M]. 北京:高等教育出版社,2011.

收稿日期:2023-07-05