

端面驱动卡盘顶紧力分析

冯小庭,刘宏利,刘明玺

(西安铁路职业技术学院,陕西 西安 710026)

摘要:机床端面驱动卡盘顶紧力过大会加重机床负荷以及工件弯曲变形,顶紧力过小工件容易脱落,顶紧力分析对端面驱动卡盘安全使用有着现实的意义。以自行设计的一种端面驱动卡盘为例,对所需顶紧力进行分析计算;通过对只计驱动销摩擦力、考虑驱动销微量嵌入工件以及机床振动所需顶紧力计算,得出不同工况下所需顶紧力的计算公式,并对不同工况下顶紧力公式进行实验验证,指导实际生产。

关键词:机床端面驱动卡盘;微量嵌入;机床振动;顶紧力

中图分类号:TH161 **文献标志码:**B **文章编号:**1671-5276(2021)05-0056-03

Tightening Force Analysis of Driving Chuck at End Face

FENG Xiaoting, LIU Hongli, LIN Mingxi

(Xi'an Railway Vocational & Technical Institute, Xi'an 710026, China)

Abstract: Since excessive tightening force of end drive chuck aggravates the load of machine tool and bending deformation of workpiece, while insufficient tightening force causes the workpiece easily to fall off, the calculation of the tightening force plays a significant role in safe use of the end drive chuck. With a self-designed end drive chuck as the example, analysis and calculation on top tightening force are carried out by sole caculation of driving pin friction force, and in considerations of micro embedding and machine tool vibration. The calculation formula required by tightening force under different working conditions are gained, which are verified by experiments to guide actual production.

Keywords: driving chuck at end surface of machine tool; micro embedding; machine tool vibration; top tight force

0 引言

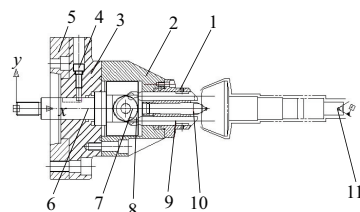
与传统外圆夹持卡盘相比,端面驱动卡盘在轴类零件加工时,无需掉头、定位精度高,高速切削时没有离心力失效的问题,受到了广泛的应用。顶紧力过大,容易增加机床负荷,造成工件弯曲变形;顶紧力过小容易造成工件脱落等安全事故,因此对端面驱动卡盘顶紧力研究有着现实的意义。

大量文献对端面驱动卡盘设计以及运动做了大量分析研究^[1-2]。邹俊俊在 CATIA 中对其工作状态进行了模拟与分析^[3]。刘宏利等建立了端面驱动卡盘几何模型,并对卡盘夹紧运动进行了分析^[4]。赵宏伟等建立了机床振动力学模型,为分析机床振动对顶紧力影响提供依据^[5-6]。

本文根据切削力的经验公式对端面驱动卡盘进行顶紧力分析,获得了只计驱动销与工件摩擦力、考虑驱动销微量嵌入工件表面产生滑移抗力以及机床振动 3 种情况所需顶紧力;给出不同情况顶紧力计算公式,并对顶紧力进行实验验证。

1 端面驱动卡盘设计

卡盘工作原理如图 1 所示^[3-4]。1)定位原理:卡盘采用卡盘顶尖 10 和尾座顶尖 11 进行定位,具有定位速度快、精度高的特点。2)夹紧驱动原理:驱动销 9 与尾座顶尖 11 实现零件轴向夹紧,其中驱动销提供端面驱动力。3)端面浮动找平原理:当驱动销 9 两侧不平时,在驱动销的推力作用下,旋转块 8 绕着连接轴 7 转动,带动驱动销往复运动,从而实现浮动找平。



1—顶尖座;2—卡盘外壳;3—卡盘连接体;4—限位销;
5—连接盘组成;6—推杆;7—连接轴;8—旋转块;
9—驱动销;10—顶尖;11—车床尾座顶尖。

图 1 端面自找平驱动卡盘结构原理图

基金项目:西安铁路职业技术学院项目(XTZY21G02)

第一作者简介:冯小庭(1985—),男,陕西榆林人,讲师/实验师,硕士,研究方向为机电一体化。

$$G(s) = \frac{\cos(\beta-\alpha) \cos\alpha}{K} \cdot \frac{1}{\left(\frac{s}{w_n}\right)^2 + \frac{2\zeta s}{w_n} + 1} \quad (13)$$

根据控制工程原理可知, $s = \sigma + i\omega$, 且 $\sigma = 0$ 是临界值, $f_d(t) = F(i\omega t)$, 其中 $F(i\omega t)$ 为 $F_x(i\omega t)$ 和 $F_y(i\omega t)$ 的合力, 整理得振动振幅 A 如式(14)所示。

$$A^2 = [\cos(\beta-\alpha) \cos\alpha]^2 + \left[\frac{1 - (\omega/\omega_n)^2}{2\zeta\omega/\omega_n} \cdot \cos(\beta-\alpha) \cos\alpha \right]^2 \quad (14)$$

根据振动原理, 振动偏离平衡位置最大时, 速度为 0, 加速度 a 为最大值, 由公式(11)、偏离平衡位置最大时瞬时力学方程式(15)^[11],

$$ma_{\max} + A = f_d \cos(\beta-\alpha) \cos\alpha \quad (15)$$

以及机床振动产生最大瞬时力 $F_{\max} = Ma_{\max}$, 推导出 F_{\max} 如式(16)所示。

$$F_{\max} = M \frac{f_d \cos(\beta-\alpha) \cos\alpha - A}{m} \quad (16)$$

式中 M 为工件质量。

当振动方向与工件刀具切削受力方向一致, 此时所需约束反力最大, 工件不滑移, 驱动销所需顶紧力应满足式(17), 将 F_{\max} 代入即可。

$$F = \frac{1}{\mu} \left[N \left(n \sqrt{\frac{R^2 F_v^2}{R_D^2} + F_p^2 + F_{\max}^2} \right) - n F_{Cl} \right] \quad (17)$$

由上述计算可知, 考虑机床振动时, 所需顶紧力计算公式精度最高, 计算出所需顶紧力最接近真实值。

3 实验验证顶紧力计算公式

3.1 实验方案

实验原理: 通过车刀背吃刀量来增加对工件作用力, 直至工件脱落, 顶紧力失效^[1-2]。

实验过程: 实验采用长 500 mm, 直径 50 mm, 45 钢长轴零件毛坯为实验材料。在单爪 1 100 N 顶紧力作用下, 经测量, 驱动销微量嵌入工件表面 0.5 mm。在转速 3 000 r/min, 进给量设置 $f = 0.3$ mm/r, 初次车削背吃刀量 a_p 分别选 1.00 mm、1.04 mm、1.08 mm、1.12 mm、1.16 mm 5 组数据; 试验中每次车削的背吃刀量在前次数据基础上增加 0.2 mm, 其余数据均不变, 即第 1 组第 2 次背吃刀量 $a_p = 1.2$ mm, 以此类推, 直至顶紧力失效, 工件脱落。

3.2 数据处理

记录工件脱落顶紧力失效时, 背吃刀量 a_p 值, 将实验方案中相关数据代入公式(1)中, 得到此种工况下切削力 F_v 、背向力 F_p 。将 F_v 以及 F_p 数值代入式(4)、式(8)、式(17)中得到 3 种不同工况所需顶紧力如图 5 所示, 计算时安全系数 $N = 1$ 。

上述数据可知, 只计摩擦力, 不考虑微量嵌入和机床振动时, 单爪驱动销所需顶紧力平均值 2 120 N 明显高于实际顶紧力 1 100 N, 符合实验预期。考虑微量嵌入, 不考虑机床振动时, 单爪驱动销所需顶紧力计算平均值为 982 N, 比实际顶紧力小 108 N, 符合理论推理。考虑机床

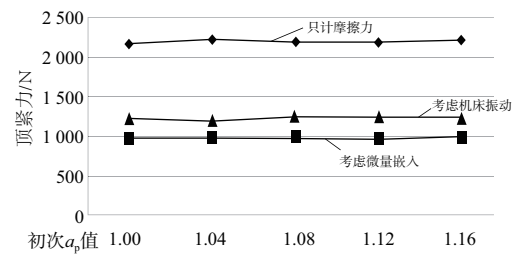


图 5 3 种不同工况所需顶紧力计算值

振动时, 计算单爪驱动销所需顶紧力平均值为 1 120 N, 与实际顶紧力 1 100 N 基本相同。经过大量加工检验以及查询相关规范, 安全系数取 $N > 1.7$ 时, 此公式可指导实际生产。

在实际加工中, 被加工零件硬度大于驱动销硬度且机床振动不明显, 则所需顶紧力可直接带入只计摩擦力公式, 降低计算量。若被加工材料硬度小于驱动销且机床振动不明显, 则带入考虑微量嵌入计算公式。机床有明显振动时, 则带入考虑机床振动公式。

4 结语

本文通过理论分析计算, 得到只计驱动销与工件摩擦力、考虑驱动销微量嵌入工件表面产生滑移抗力以及机床振动 3 种情况所需顶紧力计算公式; 并对顶紧力进行实验验证。验证结果表明: 当 $N > 1.7$ 时, 公式可指导实际安全生产, 对端面驱动卡盘顶紧力的预置有着现实的意义。但是力学模型的精度以及实验数据精确采集方面还存在不足, 有待于后续研究中进一步探究。

参考文献:

- [1] WANG Z Y, WANG D M, CHEN B, et al. A clamping force estimation method based on a joint torque disturbance observer using PSO-BPNN for cable-driven surgical robot end-effectors [J]. Sensors, 2019, 19(23): 390-396.
- [2] 杨润尧. 虚拟数控车削加工过程建模与仿真系统的研发[D]. 镇江: 江苏大学, 2003: 21-27.
- [3] 邹俊俊. 基于 CATIA 的一种端面驱动式机床夹具设计[J]. 机械制造, 2015, 53(5): 61-63.
- [4] 刘宏利, 刘明玺, 丁万霞, 等. 一种四点浮动端面驱动特种夹具设计与应用[J]. 自动化技术与应用, 2018, 37(4): 21-25.
- [5] 赵宏伟, 王晓军, 于骏一. 机床再生型切削颤振系统稳定性极限预测[J]. 西南交通大学学报, 2003, 38(5): 547-552.
- [6] 赵宏伟. 再生型机床切削颤振系统稳定性极限预测[D]. 长春: 吉林大学, 2003.
- [7] 孟少农. 机械加工工艺手册-第 1 卷[M]. 北京: 机械工业出版社, 1991.
- [8] 罗伯特·诺顿. 机械设计(原书第 5 版)[M]. 北京: 机械工业出版社, 2016.
- [9] 毛从强. 切削式防爬器切削力的控制[J]. 铁道车辆, 2014, 52(3): 14-16, 5.
- [10] 黄强, 张根保, 张新玉, 等. 机床颤振过程的试验与分析[J]. 重庆大学学报, 2008(4): 360-364.
- [11] 胡准庆. 机械振动基础[M]. 北京: 北京交通大学出版社, 2013.

收稿日期: 2020-01-13