

可转位刀片周边磨削的夹具变形分析*

张祥雷¹, 姚斌^{1,3}, 姚博世², 赵仲琪²

(1. 厦门大学机电工程系, 福建 厦门 361005; 2. 陕西汉江机床有限公司, 陕西 汉中 723003; 3. 陕西理工学院, 陕西 汉中 723000)

摘要: 在高速精密磨削可转位刀片周边时, 由于采用双顶尖油压夹紧刀片, 再通过刀片上产生的摩擦力和油压力来约束刀片的6个运动自由度, 造成夹具结构刚性相对薄弱。为此, 针对极限夹紧工况时夹具的受力变形进行了分析, 通过结构改进与误差补偿, 提高了夹具定位精度和磨削加工的可靠性。

关键词: 可转位刀片; 夹具; 磨削力; 夹紧力; 变形

中图分类号: TH164 **文献标识码:** A

Deform Analysis on Fixture for Peripheral Grinding of Indexable Inserts

ZHANG Xiang-lei¹, YAO Bin^{1,3}, YAO Bo-shi², ZHAO Zhong-qi²

(1. Department of Mechanical & Electrical Engineering, Xiamen University, Xiamen Fujian 361005, China; 2. Shaanxi Hanjiang Machine Tool Co., Ltd., Hanzhong Shaanxi 723003, China)

Abstract: In high speed precision grinding the peripheral of indexable inserts, due to the double chucks clamping the blade by the oil pressure, and through the friction and the oil pressure produced in the blade to restrain the insert's six movement degrees, all these will make the fixture structure rigid become relatively weak. Therefore, the paper analyses the fixture deformation in the limit working condition, and improves the accuracy of the fixture location and the reliability of the grinding process through the structure improvement and error compensation.

Key words: indexable inserts; fixture; grinding force; clamping force; deformation

0 引言

在硬质合金可转位刀片周边的高速精密磨削生产中, 由于硬质合金可转位刀片型号和种类繁多、外形偏小, 往往采用可快速更换的双顶尖定位方式, 瑞士的 AGATHON 公司的刀片工具磨床、德国 JUNKER 的刀片工具磨床、日本的 WAIDA 刀片工具磨床等均采用了此种定位夹紧方式。而且为了实现高速磨削 ($\geq 60\text{m/s}$), 金刚石砂轮直径都偏大 (400mm 左右)。势必造成夹具结构刚性相对薄弱, 为此, 从双顶尖定位夹持的可靠性和工作精度保持性考虑, 很有必要对这种夹紧定位方式进行技术分析。

1 可转位刀片周边磨削的原理与夹具分析

设计刀片磨削夹具, 必须结合刀片几何结构和切削参数的要求, 选用精度较高的制造设备, 选择合适的砂轮类型, 合理的安排磨削工艺以及可靠的检测手段。图1所示为 CNC 可转位刀片周边五轴工具磨床磨削部分结构简图。其有 $XYABC$ 五个运动轴联

动机床形式(包括砂轮主轴箱所在的 X 、 Y 两个移动轴和夹具所在的 A 、 B 、 C 三个旋转轴)。工件装在双顶尖夹具上可以绕 B 轴转动, 双顶尖夹具装在可以绕 C 轴转动的转动底座上, 转动底座置于机床工作台上。碗型砂轮主轴随主轴箱可以沿 Y 轴做往复移动。可转位刀片周边磨削的原理主要是利用沿 Y 轴往复摆动的旋转砂轮端面刃磨刀片的后刀面。

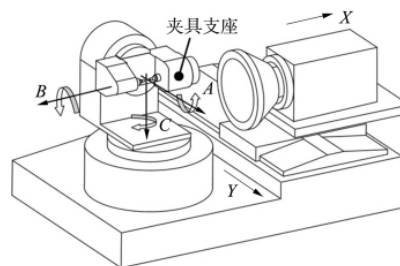


图1 可转位刀片周边五轴工具磨床磨削部分简图

根据可转位刀片的无安装孔类型和有安装孔类型, 尾顶尖可选择为平面的和锥面的。在进行周边磨削之前, 无安装孔刀片的两个大面已研磨加工过;

收稿日期: 2012-08-13; 修回日期: 2012-09-14

* 基金项目: 国家科技重大专项(2010ZX04001-162)

作者简介: 张祥雷(1987—), 男, 浙江温州人, 厦门大学机电工程系博士, 主要研究方向为复杂曲面成形与精密数控装备制造技术研究; 通讯作者: 姚斌(1963—), 男, 湖北宜都人, 厦门大学机电工程系教授, 陕西理工学院特聘教授, 博士生导师, 主要研究方向为复杂曲面成形及其智能装备技术 (E-mail) yaobin@xmu.edu.cn。

有安装孔刀片的支持平面已研磨加工过,另一端可做定位的孔口也已完成了研磨加工。通过分析计算得到图 2a 的定位方式限制了 3 个自由度(X, \hat{Y}, \hat{Z}),图 2b 的孔口锥面定位方式限制了 5 个自由度($X, Y, Z, \hat{Y}, \hat{Z}$)。在尾顶尖上的油压足够大时,在刀片上产生的摩擦力完全能克服磨削力产生的影响,就可克服刀片绕顶尖轴线的转动和沿着顶端面的移动,故刀片的 6 个自由度被约束了。

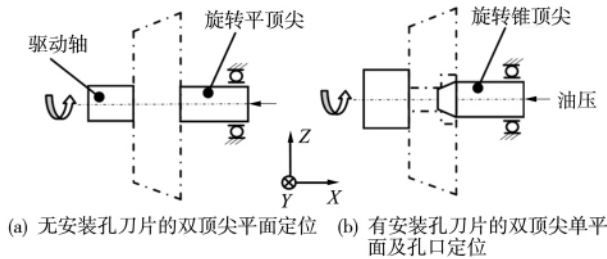


图 2 有、无安装孔的两种双顶尖定位方式

2 在工作中的夹具有限元(变形)分析

在刀片磨削中,机床初始及工作时夹具的运动位置见图 3 所示。通过分析发现,在不考虑夹具支座下方连接件的变形情况下,夹具支座是最主要的变形环节,为此对夹具的受力分析见图 4 所示。 P 为尾顶尖油压力, F_a, F_t 为砂轮磨削硬质合金刀片时,在顶尖平面上生成的法向磨削力和切向磨削力, M 为顶尖收到的弯矩。

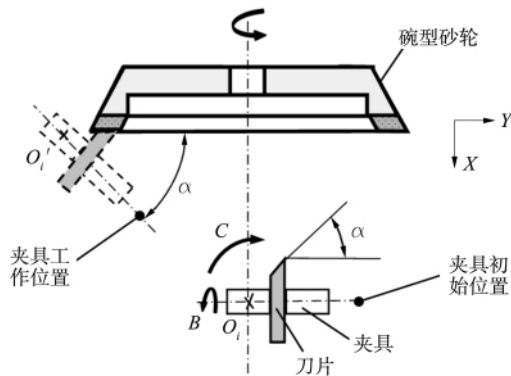


图 3 机床初始及工作时夹具的位置关系图

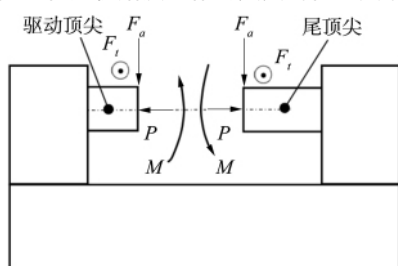


图 4 夹具受力分析图

磨削力可由(1)式和(2)式估算获得。

$$T = F \times r \tag{1}$$

$$T = \frac{9550 \times P}{n} \tag{2}$$

其中: T 为主轴电机扭矩, F 为磨削力, r 为砂轮半径, P 为电机功率, n 为砂轮最高转速。查相关参数计算出磨削力为 151.2N; 尾顶尖的油压作用力范围为

2kN 到 11kN。

在磨削加工时,夹具支座夹持住刀片,此时夹具支座将形成一个闭环系统,利用 ANSYS 软件施加重力、磨削力与最大夹紧力(11kN,即极限夹紧工况)对夹具支座带刀片的模型进行有限元分析,表 1 为它们各自的位移云图。

由表 1 的结果可知,夹具支座在自重状况下变形在 $0.3\mu\text{m}$ 以内,具有良好的精度。但在最大夹紧力作用时,夹具支座发生了较大的变形,夹具支座最大变形达到 $15.31\mu\text{m}$,刀片磨削端面的最大位移变形达到 $5.63\mu\text{m}$,表明夹具支座的结构刚性较差,需要改进结构。

表 1 夹具支座带刀片的分析结果

受力情况	夹具支座最大位移变形	刀片最大位移变形	位移云图
仅受重力	$0.23\mu\text{m}$	$0.11\mu\text{m}$	
重力 + 最大夹紧力	$15.31\mu\text{m}$	$5.63\mu\text{m}$	
重力 + 最大夹紧力 + 磨削力	$15.37\mu\text{m}$	$6.77\mu\text{m}$	

3 夹具的优化设计

3.1 夹具结构优化分析

夹具的结构优化方案如下:

(1) 轴承安装要严格按照预紧力要求进行。

(2) 用于固定驱动顶尖、尾顶尖的零部件材料选用 45 调质钢代替原来的 HT200,提高固定顶尖的强度和刚性。

(3) 在夹具支座两侧增加四块加强筋板以提高支座两侧的抗弯刚度。

(4) 采用 $\phi 10\text{mm}$ 顶尖代替原来的 $\phi 8\text{mm}$,增大顶尖的径向面积以提高顶尖的强度。

夹具结构经以上改进优化后,施加相同的载荷条件对其进行有限元分析,仿真结果如图 5 所示。提取仿真结果数据可知,夹具结构优化后在极限夹紧工况下最大变形为 $12.63\mu\text{m}$;刀片磨削端面的最大变形为 $5.75\mu\text{m}$,比优化前变形减少了 17.74%。

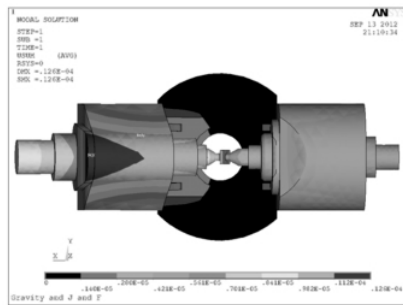


图5 极限夹紧工况下夹具优化后的位移云图

3.2 误差补偿分析

在夹具结构优化的基础上,仍然存在的变形可以通过机床检测系统测量刀片位姿后补偿此处的夹紧定位变形,并在加工前提前预测及通过数控系统补偿由磨削力造成的变形。

补偿思路如下:

(1) 对夹具结构优化后的模型进行有限元分析,施加重力和最大夹紧力载荷,提取分析结构可知刀片磨削端面在最大夹紧力作用下发生 $4.16\mu\text{m}$ 的位移变形,这在定位校正时应给予补偿相应方向位姿误差。

(2) 优化后的夹具在磨削力作用后位移变形相比之前又增加了 $1.59\mu\text{m}$,这需要给予足够的重视,并在加工代码生成时及时补偿这一加工误差以提高加工精度。

4 结论

为了确保硬质合金可转位刀片周边高速精密磨削的可靠性,开展了双顶尖定位夹具的受力与变形分析,以薄弱环节夹具支座夹持刀片的闭环结构为

对象进行有限元分析,施加极限加工工况下的受力条件,找到夹具支座的薄弱环节及变形状况,获得刀片磨削端面的最大变形。通过结构改进与相应的误差补偿,提高了夹具定位精度和磨削加工的可靠性。

[参考文献]

[1] 冯辛安. 机械制造准备设计(第2版) [M]. 北京: 机械工业出版社, 2006.
 [2] 徐鸿本. 机床夹具设计手册 [M]. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 2004.
 [3] 王金龙, 王清明, 王伟章. ANSYS 12.0 有限元分析与范例解析 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2010.
 [4] 涂振飞. ANSYS 有限元分析工程应用实例教程 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2010.
 [5] 王媛媛, 姚斌, 张德云, 等. 多线型组合平面刀具的自动编程磨削技术 [J]. 工具技术, 2010, 44(3): 48-50.
 [6] 邵明忠. 可转位刀具的数控加工工艺规程分析 [J]. 工具技术, 2004(4): 25-28.
 [7] 魏中兴, 吕彦明, 王发成, 等. 夹具静态误差与动态误差的综合分析 [J]. 组合机床与自动化加工技术, 2012(5): 62-69.
 [8] Zhang, Xianglei; Li, Fei. Structural Analysis and Weight-losing Optimization for the Five-axis Grinding Machine Tool Bed. Applied Mechanics and Materials Vols. 2012 (148-149): 262-267.
 [9] 刘光清. R256418 箱体流水线铸造下芯夹具优化设计 [J]. 热加工工艺, 2011(9): 182-185.
 [10] 周传月. 工程有限元与优化分析应用实例教程 [M]. 北京: 科学出版社, 2005.
 [11] 李荐名, 周勇, 魏淑玲. 电磁无心夹具结构与调整参数的优化设计 [J]. 轴承, 2007(11): 16-20. (编辑 赵蓉)

(上接第8页)

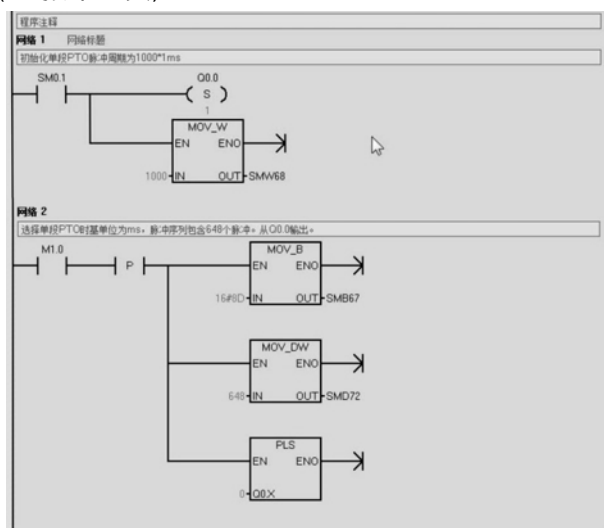


图15 PLC 低频控制脉冲程序

4 结束语

本焊接工作站使用机器人实现焊接操作自动化,可以节省大量的人力费用,得到的焊缝形状整洁牢固,均达到了图纸要求。使用 PLC 作为自动控制核心控制器,协调各功能部分的动作流程、监视生产状态,实现有序化生产,很好的完成了设计要求,生产应用中很

大的提高了生产效率。在未来的工作中将其孔槽结合的焊接工装方式计划采用蚁群算法求最优解,使该工装夹具能够对变动生产任务实现柔性适用。

[参考文献]

[1] L. F. Jeffus. Welding: Principles and Applications [M]. 6th edn. Delmar, New York, 2007: 326-329.
 [2] H. B Cary, S. C. Helzer. Modern Welding Technology [M] 6th edn. Prentice Hall, New Jersey, 2004: 561-562.
 [3] H. B Cary: Arc Welding Automation. Marcel Dekker, New York, 1995: 1028-1030.
 [4] Brost R C, Peters R R. Automatic design of 3-D fixtures and assembly pallet. Inproceedings of the 1996 IEEE International Conference on Robotic and Automation, 1996: 35-36.
 [5] Cecil J, TAMIL. an Integrated Fixture Design System for Prismatic Parts [J]. Int J Comput Integrate Manufacture, 2004, 17(5): 243-250.
 [6] 邹家生, 金玉嵌, 严铿. 船用管法兰机器人焊接工艺技术研究 [J]. 江苏科技大学学报(自然科学版), 2009, 23(1): 24-26.
 [7] 余芳. 焊接机器人在应城点焊机框架生产中的应用 [J]. 第十五次全国焊接学术会议, 2010.
 [8] 中国焊接工程学会. 焊手册第三版 [S]. 机械工业出版社, 2007.
 [9] 武红强. 焊接工装夹具在制造生产中的作用 [C]. 河南省金属学会 2010 年学术年会, 2010. (编辑 李秀敏)