

圆弧金刚石砂轮精密修形与精度评价技术

柯晓龙^{1*}, 郭隐彪², 王振忠², 林晓辉²

(1. 厦门理工学院机械与汽车工程学院, 福建 厦门 361024; 2. 厦门大学物理与机电工程学院, 福建 厦门 361005)

摘要: 由于金刚石砂轮具有硬度高、耐磨性好的特性, 金刚石砂轮的修整需要通过特殊的修整方式来完成. 砂轮修整器是用来实现金刚石砂轮修形的有效手段之一. 针对金刚石砂轮, 尤其是圆弧金刚石砂轮的精密修形需要, 研制了圆弧金刚石砂轮修整器, 并进行了砂轮修形工艺的规划设计. 出于自动化控制的考虑, 在 Windows 操作系统下, 采用 Delphi 编程软件开发了配套的砂轮修形控制系统软件, 以实现圆弧金刚石砂轮的修整与测量. 通过相应的实验表明, 该砂轮修形技术可以满足金刚石砂轮修形的需要, 并拥有很好的应用前景.

关键词: 圆弧砂轮修整器; 修形工艺; 金刚石砂轮; 精度评价

中图分类号: TG 74.3

文献标志码: A

文章编号: 0438-0479(2013)06-0797-05

砂轮在磨削过程中, 砂轮表面的磨粒因磨损会产生钝化、破碎、脱落等现象, 容易使得加工面发生颤振与烧伤, 从而影响到加工件的表面质量. 另外, 砂轮的磨损会导致砂轮工作面几何形状发生改变, 其误差复写到加工件上, 进而导致加工精度降低^[1-2]. 因此, 定期对砂轮进行修整以获得良好的砂轮质量, 是磨削加工必不可少的一道工序.

由于金刚石砂轮具有高硬度且耐磨的特性, 金刚石砂轮的修形相对比较困难. 目前, 常用的金刚石砂轮的修整方式主要包括了单晶金刚笔修整、旋转金刚轮修整、电火花修整、电化学修整、电解在线(ELID)修整和杯状砂轮修整器修整等^[3-5]. 其中, 杯状砂轮修整方式是日本东北大学的庄司克雄教授等提出来的^[6-7], 是一种采用绿色碳化硅磨粒(green silicon carbide grain, GC)杯状砂轮的磨削修整法.

本文正是基于杯状砂轮修整原理, 开发了一套圆弧金刚石砂轮修整器, 并研究该修整器用于圆弧金刚石砂轮的修形工艺, 设计配套的砂轮修整软件, 以满足金刚石砂轮精密修形的需要.

1 圆弧砂轮修整器结构

为了实现圆弧金刚石砂轮的精密修形, 本文基于日本东北大学的庄司克雄教授等提出来的杯状砂轮的修整原理, 开发了专用的两轴圆弧砂轮修整器, 用于圆弧半径为 30~100 mm 的圆弧金刚石砂轮的修整.

圆弧砂轮的修整原理可以解释为: 砂轮修整时, 金刚石砂轮和杯状砂轮以各自的速度旋转. 在相互磨削的过程中, 利用杯状砂轮的磨粒冲击并除去金刚石砂轮结合剂, 并以此脱落破损的金刚石颗粒层, 从而实现金刚石砂轮的修形和修锐目的. 由于杯状砂轮的材质比金刚石颗粒硬度小得多, 因此这种修整方式可以避免在修形的过程中造成金刚石砂轮二次伤害, 进而获得良好的金刚石砂轮磨粒质量.

圆弧砂轮修整器的结构示意图如图 1 所示. 整机主要由杯状砂轮主轴部分、摆臂回转部分、升降进给部分、金刚笔修形部分、电气及数控系统等组成, 并采用两轴结构方式. 其中, 主轴部分用来提供杯状砂轮的主轴旋转运动; 摆臂回转部分用于提供 U 轴的摆动, 以用于金刚石砂轮圆弧的包络修整; 升降进给部分实现修整器 Z 轴的升降进给动作; 金刚笔修整部分则用在需要金刚笔修整的场合; 数控电气部分选用了 KND 1000M 数控系统, 实现两轴联动的修形动作. 本文研制的砂轮修整器性能参数参见表 1.

收稿日期: 2013-03-29

基金项目: 国家自然科学基金项目(51075343); 福建省自然科学基金项目(2012J05102)

* 通信作者: kexiaolong@xmu.edu.cn

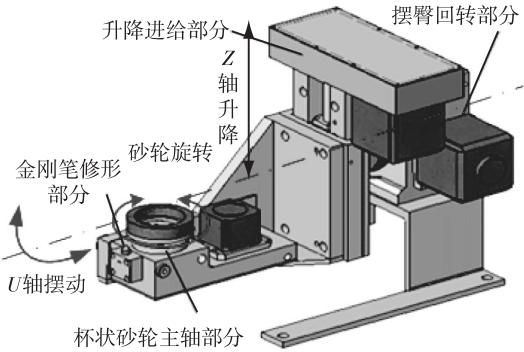


图 1 圆弧砂轮修整器结构图
Fig. 1 Structural chart of arc diamond truer

表 1 圆弧砂轮修整器的性能参数

Tab. 1 Performance parameter of arc diamond truer		
内容	规格	参数
整机	机械外形尺寸	716 mm×513 mm×545 mm
	圆弧砂轮修形半径	30~100 mm
	杯形砂轮倾角	0°/3°/8°/10°四档
最大行程	摆角行程	±20°
	升降行程	80 mm
主轴性能	主轴电机功率	0.4 kw
	主轴电机扭矩	3.5 N·m
	主轴电机最高转速	800 r/min
摆臂机构性能	摆臂电机功率	1.3 kw
	摆臂电机扭矩	5 N·m
	摆臂电机速度	12 r/min
升降结构性能	升降电机功率	1.3 kw
	升降电机扭矩	5 N·m
	升降电机速度	800 mm/min

2 圆弧砂轮的修形工艺

砂轮修整器完成圆弧金刚石砂轮的修形过程,需要砂轮修整器和磨床的相互协调动作.其中,磨床提供圆弧金刚石砂轮的主轴旋转运动和 X 轴水平往复运动,圆弧砂轮修整器则提供杯状砂轮的主轴旋转运动、U 轴摆动和沿垂向的 Z 轴升降运动.

图 2 为圆弧砂轮修整器的修形工艺流程.砂轮修形前,利用非接触式位移传感器进行圆弧砂轮面形测量,以判断砂轮跳动误差,并进行砂轮半径拟合,获取

圆弧砂轮半径尺寸.当测得的金刚石砂轮面形精度不合要求时,则开始进行砂轮修整.

为了保证得到所需的修整圆弧半径,要先调节修整器的 Z 轴高度位置,使得杯状砂轮上表面到修整器摆臂中心的距离等于砂轮圆弧半径,这样就可以实现砂轮修整时的摆动包络面等于砂轮圆弧半径.然后,利用自主开发的砂轮修整软件设置相关的砂轮修整参数,以计算修整轨迹并生成修整数字控制(NC)程序.然后,通过 RS232 或 USB 接口,将 NC 程序分别传输给磨床和修整器.圆弧砂轮修整时,金刚石砂轮和杯状砂轮各自以设定速度旋转;磨床的 X 轴往复移动若干个周期后,修整器的 U 轴摆动一定角度;当修整器的 U 轴来回摆动若干个周期后,修整器的升降轴 Z 轴进给一定位移量 ΔZt .如图 3 所示,圆弧砂轮以直线包络方式的修形轨迹实现修整作业.

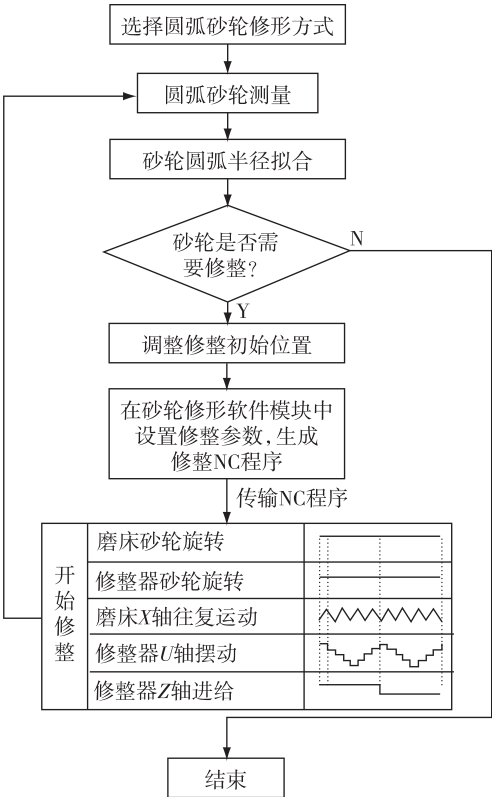


图 2 圆弧砂轮修形工艺流程图
Fig. 2 Flow chart of truing technology for arc wheel

3 圆弧砂轮修形控制软件

本文基于 Delphi7 编程软件,自主开发了配套的圆弧砂轮修整器控制系统软件,用于圆弧金刚石砂轮的修形与测量工作.软件框架图如图 4 所示.

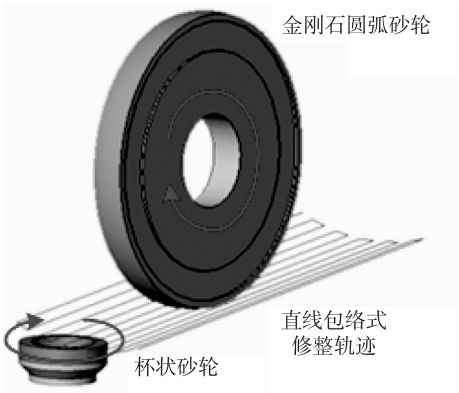


图 3 直线包络式修形轨迹示意图

Fig. 3 Schematic diagram of dressing track in lines enveloping

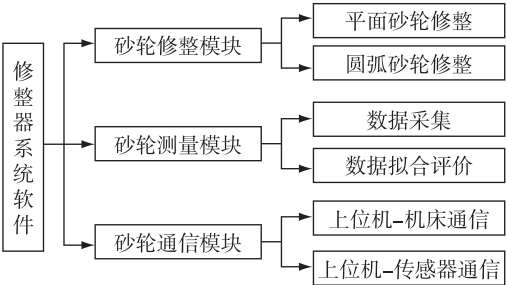


图 4 圆弧砂轮修整器的软件框架图

Fig. 4 Frame diagram of system software for arc diamond truer

该软件主要由以下 3 大模块组成。

1) 砂轮修整模块。该模块主要是根据砂轮类型来设置相关的砂轮修整参数,如磨床主轴转速、修整器杯状砂轮转速、磨床 X 轴的进给速度、修整器的进给量等,从而生成用于磨床和砂轮修整器的砂轮修形 NC 程序。

2) 砂轮测量模块。通过位移传感器,如 Keyence LK-G10 非接触式位移传感器来间歇式采集砂轮的表面形貌,并将采集到的数据进行误差滤波、半径拟合等,从而获得砂轮的半径以及表面精度等信息。图 5 为砂轮修整的测量界面。左边为砂轮测量后得到的测量数据,右边为拟合后得到的半径值及拟合残差曲线。

3) 数据通讯模块。该模块用于上位机与磨床/砂轮修整器、上位机与位移传感器的数据通讯,从而完成砂轮修整的磨床 NC 程序、修整器 NC 程序的传输,并实现砂轮表面测量数据的实时采集。

4 修形实验与评价

为了进一步验证砂轮修整器的有效性和可靠性,

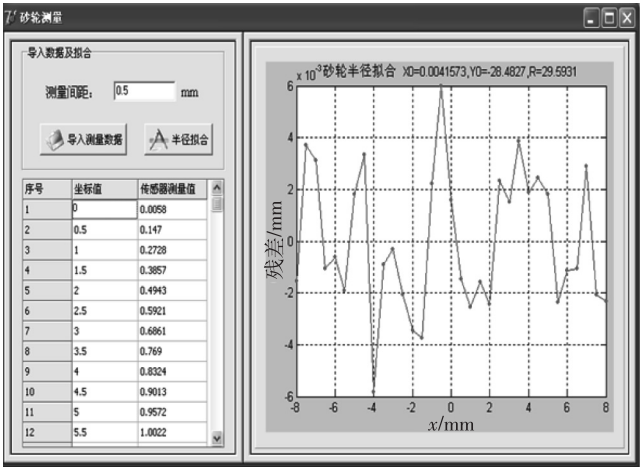


图 5 砂轮修整的测量界面

Fig. 5 Interface of data measuring for wheel dressing

利用研制的两轴圆弧砂轮修整器样机,完成金刚石砂轮的修形实验。

4.1 砂轮修形前的误差

金刚石砂轮修整一般是出于 2 个原因:1) 砂轮出现磨损,影响到加工精度或加工效率;2) 砂轮因安装误差造成偏心且无法调整。

当金刚石砂轮因安装误差或磨损而造成偏心之后,往往会在工件表面留下相应的磨削跳痕,从而影响到加工精度。图 6 为砂轮安装偏心情况下的磨削实验。其中,磨床的金刚石砂轮转速 v_c 为 1 500 r/min, X 轴的进给速度 v_x 为 8 000 mm/min,计算可知砂轮旋转一周时沿磨床 X 轴的进给量 P_x 为 5.33 mm。经测量对比,该数值和实测的跳痕间距 ΔX 相当。

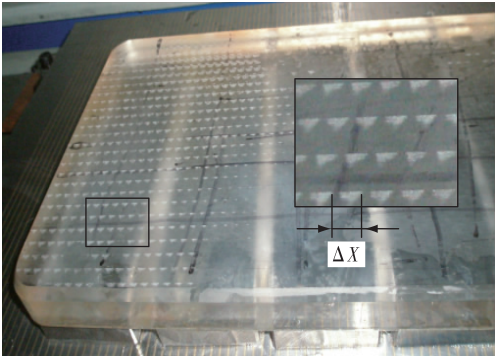


图 6 砂轮偏心造成的磨削跳痕

Fig. 6 Skip mark of wheel eccentricity

为了进一步判断砂轮的跳动误差,需要对砂轮的圆周跳动进行相应测量。图 7 为对粒度 D46 的圆弧金刚石砂轮表面圆周跳动的测量实例。可以发现,该砂轮

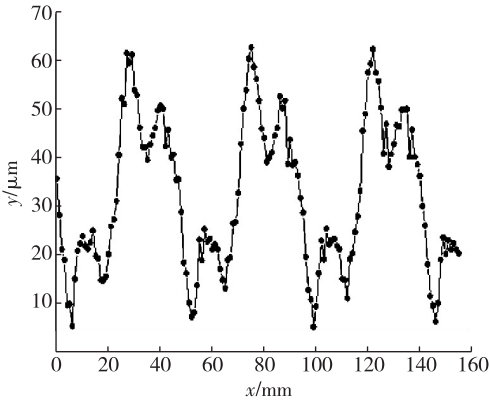


图 7 砂轮圆周跳动误差
Fig. 7 Wheel errors of circular run-out

的圆周误差达到 $53\text{ }\mu\text{m}$ 左右. 因此, 可以判定该砂轮表面已经出现较大误差, 需要进行修整.

4.2 圆弧砂轮修形

如图 8 所示, 砂轮修整器安装固定在磨床工作台右侧. 砂轮修形时, 移动磨床 X 轴到砂轮修整初始位置, 再进行相应的修整作业. 磨床的金刚石砂轮选用德国 WINTER 公司的 $\phi 400\text{ mm}$ 的 D46 树脂结合剂金刚石砂轮, 修整器的杯状砂轮选用 GC 砂轮. 圆弧砂轮修整参数设置为: 1) 金刚石砂轮转速 v_c 为 150 r/min ; 2) 杯状砂轮转速 v_t 为 600 r/min ; 3) 磨床 X 轴的进给速度 v_x 为 200 mm/min ; 4) 磨床 X 轴的往复移动行程 X_t 为 60 mm ; 5) 修整器回转轴 U 轴的单次摆动角度 ΔU_t 为 $1^\circ\sim 2^\circ$; 6) 修整器升降轴 Z 轴的单次进给位移 ΔZ_t 为 $1\sim 5\text{ }\mu\text{m}$.

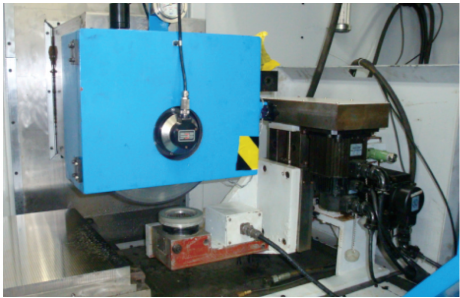


图 8 砂轮修整器在平面磨床上的修整应用
Fig. 8 Application of arc diamond truer in surface grinder

4.3 检测与精度评价

金刚石砂轮修整之后, 采用 Keyence LK-G10 非接触测量传感器搭建砂轮在位检测系统, 完成对砂轮面形的测量工作. 对于圆弧砂轮, 除了测量砂轮表面跳动之外, 还需要进行砂轮圆弧半径测量, 以判断圆弧部

分修整是否达到设计要求, 并计算出圆弧半径的大小. 图 9, 10 分别为利用砂轮测量模块拟合出来的砂轮半径拟合曲线和拟合残差. 可看出, 拟合残差大多控制在 $\pm 6\text{ }\mu\text{m}$ 以内, 精度符合修整要求.

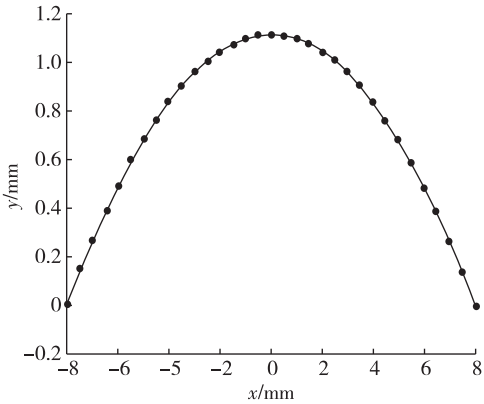


图 9 圆弧砂轮的半径拟合曲线图
Fig. 9 Fitting curve of grinding wheel radius

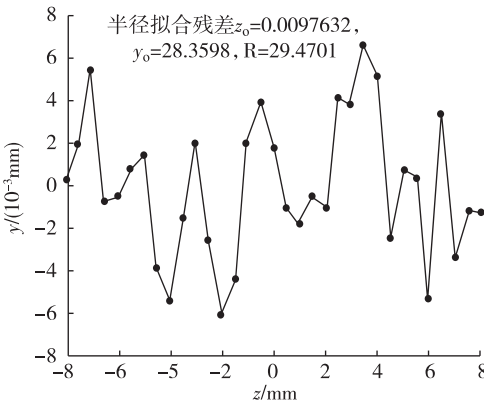


图 10 圆弧砂轮的半径拟合残差图
Fig. 10 Fitting declination of grinding wheel radius

5 结 论

本文针对圆弧金刚石砂轮的特点, 研制了一种圆弧砂轮修整器, 并开展相应的研究工作. 研究结果表明: 1) 圆弧砂轮修形工艺采用两轴联动的直线包络式修整轨迹, 符合圆弧砂轮的修整特点. 砂轮升降进给轴的 80 mm 行程设计, 满足常用的 $30\sim 100\text{ mm}$ 圆弧半径的修整需要. 2) 开发了配套的金金刚石砂轮修整器修形系统软件, 实现砂轮的自动化修整与测量. 3) 砂轮修形实验表明, 该修整器可以有效地应用于圆弧金刚石砂轮的修整, 并具有较高的面形控制精度.

参考文献:

[1] Guo Yinbiao, Hu Jianyu, Zheng Xiaoguang, et al. Influence of wheel structural parameters on machining accuracy of ultra-precision plane honing [J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2002, 15(4): 344-347.

[2] 柯晓龙, 郭隐彪, 张世汉, 等. 高精密光学元件磨床的加工与检测系统的开发[J]. 厦门大学学报: 自然科学版, 2011, 50(3): 559-562.

[3] 王振忠, 郭隐彪, 黄浩, 等. 先进光学磨削中杯形修整技术开发及应用[J]. 金刚石与磨料模具工程, 2009(1): 18-22.

[4] Fathima K, Kumar A S, Rahman M, et al. A study on wear mechanism and wear reduction strategies in grinding wheels used for ELID grinding [J]. Wear, 2003, 254(12): 1247-1255.

[5] Zhang Chunhe, Shin Yung C. Wear of diamond dresser in laser assisted truing and dressing of vitrified CBN wheels [J]. International Journal of Machine Tools and Manufacture, 2003, 43(1): 41-49.

[6] 庄司克雄. 陶瓷结合剂金刚石砂轮的修整研究(I)[J]. 金刚石与磨料模具工程, 1992(5): 6-12.

[7] 庄司克雄. 陶瓷结合剂金刚石砂轮的修整研究(II)[J]. 金刚石与磨料模具工程, 1992(6): 6-11.

Research on Precision Truing and Accuracy Evaluation
Technique for Arc Diamond Truer

KE Xiao-long^{1*}, GUO Yin-biao², WANG Zhen-zhong², LIN Xiao-hui²

(1. School of Mechanical and Automotive Engineering, Xiamen University of Technology, Xiamen 361024, China;
2. School of Physics and Mechanical & Electrical Engineering, Xiamen University, Xiamen 361005, China)

Abstract: Because of characteristics of high hardness and good abrasion resistance, the diamond wheel truing requires special methods to deal with. The diamond truer is one of the effective means of grinding wheel dressing. According to the demand of precision truing for grinding wheel, especially arc diamond wheel, this paper presents an arc diamond truer, and plans the technological design of wheel truing. Taking automation control into account, a matched software of arc diamond truer is designed, which is based on Windows operating system and programming tool of Delphi, to achieve the need of wheel truing and measuring. Truing experiments show that the arc diamond truer can meet the demand of precision dressing, and have a broad market prospect.

Key words: arc diamond truer; truing technology; diamond wheel; accuracy evaluation