

文章编号 1004-924X(2006)03-0434-05

高精度非球面加工双轴动平衡监控技术研究

郭隐彪, 郑琳, 王振忠

(厦门大学机电工程系, 福建 厦门 361005)

摘要: 提出一个智能型双轴动平衡监控系统, 针对高精度加工中工件和工具的振动会相互作用而影响加工效果, 该系统同时对砂轮主轴和工件主轴进行平衡, 集中处理工具和工件的振动数据, 综合分析整个加工系统的平衡效果及工件的表面误差情况, 从而达到减少工件加工误差, 降低设备磨损, 提高磨削加工精度的目的。实验结果表明, 对振动数据的分析是正确的, 可实现高精度的非球面加工。

关键词: 非球面加工; 磨削; 振动; 砂轮; 工件; 监控系统

中图分类号: TG58; TP273 **文献标识码:** A

Study on single-plane biaxial balance monitor system in ultra-precision aspheric grinding

GUO Yin-biao, ZHENG Lin, WANG Zhen-zhong

(Department of Mechanical and Electrical Engineering, Xiamen University, Xiamen 361005, China)

Abstract: An intelligent single-plane biaxial balance monitor system in ultra-precision grinding was put forward. For influence of the interaction of vibration of wheel and workpiece on a ripple on the workpiece surface, this system adopts single-plane balance correction for the principal axes of wheel and workpiece synchronously, and it analyzes integrally the balance condition of whole system and the surface error of workpiece by processing the vibration data of wheel and workpiece together. The experimental results show that this system can reduce the surface error of workpiece and decrease the abrasion of wheel to improve machining accuracy. The measuring data prove the correction of integral analyses.

Key words: aspheric machining; grinding; vibration; wheel; workpiece; monitoring system

1 引言

磨削作为机械加工的重要组成部分, 是精密和超精密加工的重要手段。作为磨削加工重要工具的砂轮由于质量的非均匀分布和安装偏心, 引起的振动对磨削过程有很大的影响, 严重制约着

磨削表面质量和精度的提高, 而且会加速主轴、轴承的磨损, 缩短机床寿命^[1]。因此, 在精密和超精密磨削以及磨削自动化的发展过程中砂轮动平衡成为一项不可缺少的关键技术, 在生产中有着重要的意义和广泛的应用前景。特别是在对精度要求很高的非球面加工中, 工件和砂轮的振动对工件表面质量的影响就更加明显了^[2]。

在一般的系统中,往往只对工件或者砂轮的转轴进行动平衡^[3-4],然而在高精度的非球面加工中,二者都是影响加工的主要因素,必须对他们同时进行动平衡。此外,在加工过程中,砂轮和工件的振动会相互影响、相互作用,因此,不能孤立地分析他们各自的振动而需要综合分析工件的表面误差情况。为了达到高精度非球面加工的要求,本文提出了一个能够同时分析砂轮和工件的双轴平衡监控系统。

2 系统原理

2.1 平衡校正

首先,系统采用影响系数法来分别对砂轮和工件进行单面平衡。测定在工作转速下转子的振动量,进行平衡校正的方法^[4]如下:

假设测量平面上存在着不平衡量 m ,这会引引起主轴的振动。用传感器测量振动,得到的波形可近似为正弦波,用矢量(幅值和相位)表示为 A_0 。设不平衡量与振动矢量之间满足线性关系,

$$A_0 = \alpha m, \quad (1)$$

在测量平面上加上标准质量 Q ,测得振动矢量,

$$A_1 = \alpha(m + Q), \quad (2)$$

式(1)和(2)相减,就可以求得系数 α ,进一步求得不平衡量 m ,

$$m = \frac{A_0}{\alpha} = \frac{A_0 Q}{A_1 - A_0}, \quad (3)$$

在砂轮或者工件的主轴上加上于 m 相位相反,大小相等的平衡块,就可以减小主轴的振动。

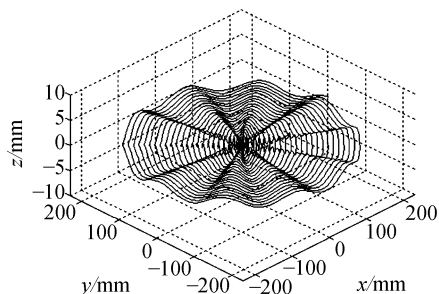
2.2 整体平衡

由于安装偏差、测量误差和质量误差等因素的存在,砂轮和工件的振动不可能完全消除。但是,通过分析可以发现,二者振动之间的相互关系会对表面质量有一定的影响。因此,需要整体评价系统的平衡效果,找出主要的影响因素。

由于砂轮和工件的振动的相互影响,加工时会在工件表面形成一定形状的波纹。由于振动的波形可近似为简谐波,设工件的振动为 $A_1 \cos(2\pi f_1 t + \varphi_1)$,砂轮的振动为 $A_2 \cos(2\pi f_2 t + \varphi_2)$,可以求得砂轮在工件表面加工所形成的波纹。

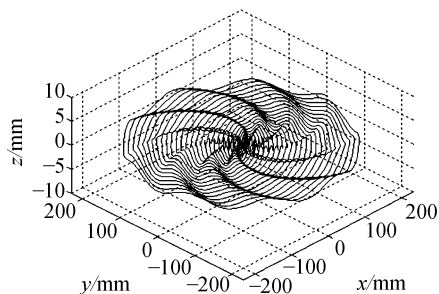
$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (R - vt + A_1 \cos(2\pi f_1 t + \varphi_1)) \cos(2\pi f_1 t) \\ (R - vt + A_1 \cos(2\pi f_1 t + \varphi_1)) \sin(2\pi f_1 t) \\ A_2 \cos(2\pi f_2 t + \varphi_2) \end{bmatrix}, \quad (4)$$

分析可知,当工件和砂轮的频率比为整数时,表面会形成有规则的波纹;反之,表面的波纹比较杂乱,如图 1 所示。



(a) 频率比为整数

(a) Integral frequency ratio



(b) 频率比为非整数

(b) Non-integral frequency ratio

图 1 加工后的表面波纹

Fig. 1 Track of ripple on the workpiece

在表面上截取一个垂直于半径方向的截面,可以分析表面的波纹,如图 2(a) 所示。可以看出,频率比为整数时(虚线)表面的波纹比较对称;而频率比为非整数时(实线)表面的波纹左右不对称。

在大多数情况下,砂轮和工件的频率都不是成整数关系的。在这种情况下,截取不同角度的半径方向的截面进行分析。由于受到各种因素的影响,工件和砂轮的振幅无法完全消除,只能限定在一定的范围内。但是,如果适当调整工件和砂轮的相位,工件的表面波纹会受到影响。如图 2(b) 所示,对应不同的工件相位可以得到不同的曲线,表面波纹受砂轮相位的影响比较大。

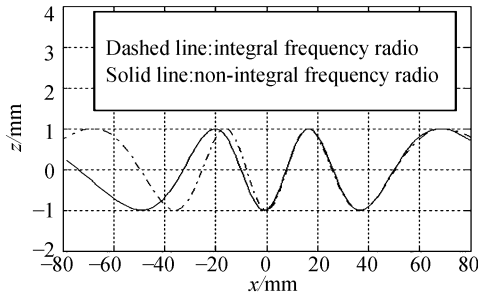
此外,不同的进给速度也会影响表面波纹。如图 2(c),进给速度会影响表面波纹的疏密。

因此,在加工过程中,影响加工表面效果的主要因素有砂轮和工件的频率比值,砂轮的进给速

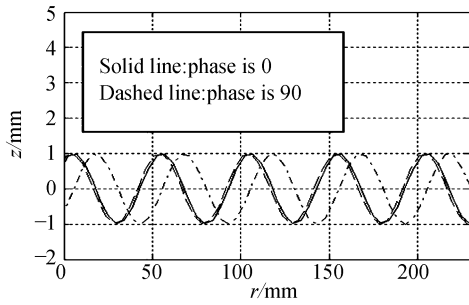
度以及砂轮和工件相对于基准相位的角度。可根据不同的加工要求选择合适的参数进行加工。

3 系统结构

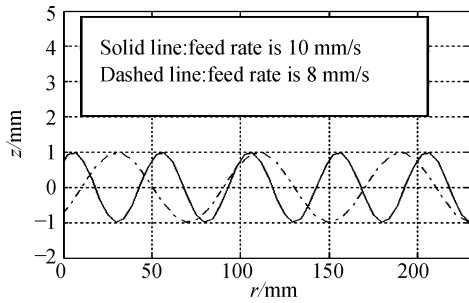
该系统需要测量出砂轮和工件的振动数据,测量监控系统结构如图 3。



(a)沿 y 轴方向的截面
(a) Y-axis cross section



(b)相位对截面的影响
(b) Effect of phase on cross section

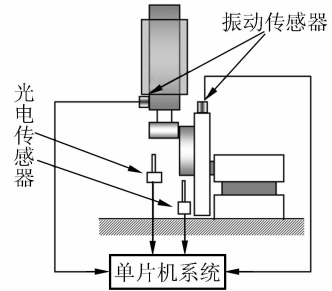


(c)进给速度对截面的影响
(c) Effect of feed rate on cross section

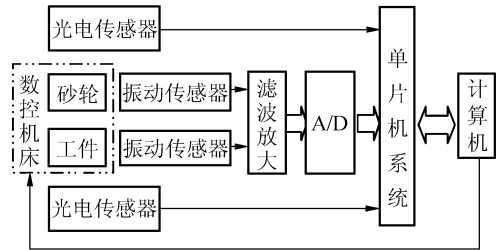
图 2 截面图

Fig. 2 Cross section

本文提出的双轴平衡监控系统,可对加工过程进行适时监测和控制,采集加工过程中的振动数据,计算出加工后的表面,并控制加工中的进给速度和振动相位等因素来调整加工的结果,使其达到最理想的效果。



(a)



(b)

图 3 系统结构图

Fig. 3 System Structure

系统的主要组成部分是振动传感器,光电传感器,单片机系统(包括低通滤波、运算放大、跟踪滤波、A/D 转换等电路)和计算机控制系统。

以某个位置为基准相位,用两个振动传感器分别对砂轮和工件的振动进行采集,将采集到的数据通过滤波放大,经过 A/D 转换,送入单片机系统。单片机系统计算出每个振动周期中振动的大小和相位,再通过接口输入计算机进行进一步的处理:计算出平均值,进行加工表面的分析,并显示出结果。同时还可通过计算机对单片机发布指令来操作数据采集。如果在计算机中插入了高精度的 A/D 采集卡,也可直接调用程序进行数据采集分析。

将计算机与数控机床相连,就可以实时调整数控机床中的进给速度,振动相位等参数,提高加工的精度。

4 系统软件

开发环境: Visual C++。软件的主要任务是:数据采集,智能控制,实时数据显示,其程序流程如图4。

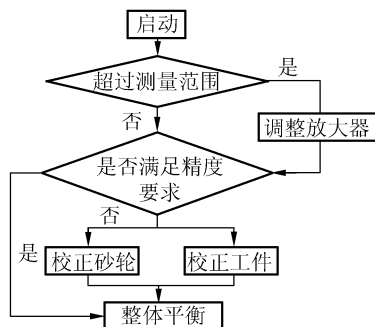


图4 程序流程图

Fig. 4 Program flow

开机启动后,首先调用平衡测量系统测量砂轮和工件的振动。该系统先进行自检,检查系统串口通信等是否正常。设定采集的各个参数,选择合适的采集转速范围和评比参数。由计算机发出控制命令,使单片机系统开始采集数据。

如果采集的振动信号超过了单片机的测量范围,则单片机给出错误消息,这时应该通过计算机发信号调整放大器使其适应测量范围。

单片机将光电传感器的信号作为转速信号和振动的零相位,得到振幅和相位,再送入计算机。进行连续采集一段时间后,停止采集,计算出这段时间的平均值,从而计算出测量的结果,并将其显示于坐标图上。分析一段时间内采集的数据,判定振动是否满足精度要求,如果在合格范围之内,则直接进入整体平衡。

如果不满足精度要求,则必须分别对工件和砂轮进行校正。在参数设定输入标定参数(包括试重质量、半径和角度),加上试重进行测量。得到测量的结果后,按“定标”按钮计算出不平衡量的大小和相位。按“校正”按钮后,根据参数设定计算出校正的位置和质量,校正后才能进入下一步的整体平衡监控系统。

5 加工实验

平衡监控系统同样通过传感器采集振动的

频率、幅值和相位等各个参数,该系统可以根据测量的数据计算出表面波纹以及任意角度截面的表面波纹图。

用机床加工一个球面,球面半径为 230 mm,球半径为 2 275 mm,工件的转速为 200 r/min,砂轮的转速为 1 500 r/min,进给速度为 60 mm/min。用传感器沿球面半径方向从外向里测量加工后的表面,滤去球面的形状,即可得到由工件和砂轮振动造成的误差数据,如图5所示。

将图5与图2的(b)、(c)进行比较,证实表面的波纹符合砂轮的工件振动相互影响的分析。比较表面图形和实验希望得到的图形之间的差距就可以得到加工的误差,从而做出相应的调整。调整的主要参数有砂轮和工件的相位,频率比值以及砂轮的进给速度。

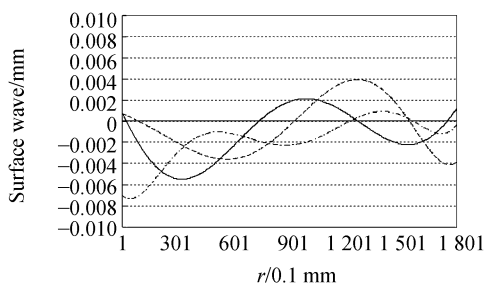


图5 实验结果

Fig. 5 Experimental result

通过监控,提高了加工的精度,优化了工件表面,达到较好效果。尤其是在非球面加工系统中,实时获取加工中砂轮和工件的参数,通过分析进行调整,可以使非球面具有更好的光学效果。

6 结论

通过设计一个智能型平衡监视系统,满足对砂轮和工件的平衡和提高非球面加工精度的目的。

(1)该系统在传统单面平衡的基础上,提出针对工件和砂轮整体平衡的单面双轴系统。通过两组传感器系统同时采集工件和砂轮的振动数据,计算出两者的不平衡量,从而进行校正,将振动控制在精度允许的范围之内。

(2)在校正的基础上,分析工件和砂轮振动的相互影响,计算出加工后的表面。调整砂轮和工

件的相位,频率比值以及砂轮的进给速度等参数 来提高加工精度。

参考文献:

- [1] 张志新,童水光,金涛. 现场智能整机动平衡仪的开发与应用[J]. 仪器仪表学报, 2003,24(2):127-130.
ZHANG Z X, TONG S G, JIN T. Development and application of the intellectual instrument for field whole-machine balancing[J]. *Chinese Journal of Scientific Instrument*, 2003,24(2):127-130. (in Chinese)
- [2] ZHANG Y, GUO Y B, SYOJI K. Research on effect conditions of micro vibration in ultra-precision grinding of aspheric surface[J]. *Key Engineering Materials*, 2004,259(2): 430-434.
- [3] 梁合营,俞梅,周瑞. 金刚石砂轮高速整机动平衡[J]. 金刚石与磨料磨具工程, 2004,144(6):61-64.
LI H Y, YU M, ZHOU R. High speed dynamic balancing of assembled diamond grinding wheel[J]. *Diamond & Abrasives Engineering*, 2004, 144(6):61-64. (in Chinese)
- [4] 伍良生,魏源迁,李剑锋,. 高速磨削中的快速现场动平衡技术[J]. 金刚石与磨料磨具工程, 2004,140(2):10-13.
WU L S, WEI Y Q, LI J F. Quick field balancing technique in high speed grinding[J]. *Diamond & Abrasives Engineering*, 2004,140(2):10-13. (in Chinese)
- [5] 周保堂, 振动测试分析与动平衡[M]. 浙江大学出版社,1991.
ZHOU B T. *Vibration measurement analysis and dynamic abalance* [M]. Zhejiang University Press,1991. (in Chinese)
- [6] 曹群,周兆英,罗晓宁. 功率超声设备振幅模糊控制技术的研究[J]. 光学 精密工程, 2002,10(3):261-264.
CAO Q, ZHOU ZH Y, LUO X N. Study of the fuzzy control technique for the amplitude of the power ultrasonic instrument[J]. *Optics and Precision Engineering*, 2002,10(3):261-264. (in Chinese)
- [7] 罗松保,张建明. 非球面曲面光学零件超精密加工装备与技术[J]. 光学 精密工程, 2003,11(1):75-78.
LUO S B, ZHANG J M. Ultraprecision machining equipment and technology of aspheric optics[J]. *Optics and Precision Engineering*, 2003,11(1):75-78. (in Chinese)

作者简介:郭隐彪(1962—),男,工学博士,教授,博士生导师,研究方向为精密超精密加工、光机电一体化、MEMS 技术、数控技术,发表论文 80 多篇,获中国发明专利 1 项,科研获奖 7 项。