

双面抛光机上研磨盘振动抑制的半主动控制方法

徐慧鑫, 赵文宏*, 陈 晨, 周芬芬, 程城远

(浙江工业大学 机械工程学院, 浙江 杭州 310032)

摘要: 振动是影响超精密加工质量的关键因素之一, 弹簧加压式双面抛光机在抛光过程中的上研磨盘振动现象严重制约了产品的加工精度。为解决这一问题, 提出了在弹簧加压装置中加入磁流变阻尼器的方法, 通过控制磁流变阻尼器阻尼系数来实现对双面抛光和上研磨盘振动的半主动控制, 以达到抑制振动的效果。首先, 对改进后的压力加载系统进行了数学建模, 得到了抛光过程中上研磨盘的运动方程式; 接着, 对半主动控制的控制策略进行了设计, 得到了其控制算法; 最后, 在 Simulink 中对半主动控制策略下的系统进行了仿真分析, 并将其仿真结果与未加控制时的系统仿真结果进行了比较分析。比较分析结果表明, 所设计的半主动控制方法能够有效抑制双面抛光机上研磨盘的振动现象。

关键词: 双面抛光机; 上研磨盘; 振动抑制; 磁流变阻尼器; 半主动控制

中图分类号: TG356.28; TH39

文献标志码: A

文章编号: 1001-4551(2012)11-1255-04

Semi-active control method of top lap's vibration inhibition in double sided polishing machine

XV Hui-xin, ZHAO Wen-hong, CHEN Chen, ZHOU Fen-fen, CHENG Cheng-yuan

(College of Mechanical Engineering, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310032, China)

Abstract: Vibration is one of the main factors of influencing the processing quality in ultra-precision machining. The top lap's vibration in the double sided polishing machine which used spring-weighted equipment during the process of polishing declines the processing quality seriously. In order to solve this problem, a method of semi-active control in the top lap's vibration was investigated. In detail, a magneto rheological damper was added into the spring-weighted equipment, and the damping of magneto rheological damper was controlled at real time. In this way, vibration could be inhibited. Firstly, the mathematical model of the pressure loading system was established. At the mathematical model, the top lap's motion equation during the process of polishing could be gotten. Next, the control strategy of the semi-active control was presented. At the control strategy, the control algorithm was given. In the end, the simulation of the system under semi-active control was evaluated in Simulink. The other results were compared with the other results under uncontrolled. The comparison results indicate that by the way of the semi-active control method presented, the top lap's vibration can be inhibited efficiently.

Key words: double sided polishing machine; top lap; vibration inhibition; magneto rheological damper; semi-active control

0 引 言

在超精密加工领域, 双平面抛光加工作为晶片超平滑表面加工最有效的技术手段之一, 近年来在实际生产中得到了广泛的运用^[1]。双面抛光机作为双平

面抛光加工的直接设备, 其制造精度及自动化程度严重影响平面抛光产品的质量^[2]。在双面抛光机的技术研发及产品化方面, 英、美、日等少数发达国家走到了前列, 已生产了 NanoSurface DL9B5L/T、SPEED-FAM9B-5P-42 等高精度的典型产品。相对于国外, 国内企业如深圳宏达、兰州瑞德等都对双面抛光机的技

收稿日期: 2012-05-28

作者简介: 徐慧鑫(1988-), 男, 浙江衢州人, 主要从事单片机、嵌入式系统、自动化控制方面的研究。E-mail: xuhuixin325@126.com

通信联系人: 赵文宏, 男, 教授级高级工程师。E-mail: whzhao6666@163.com

术进行了研发,代表产品有 X61/2 64 B2M-5 型双面抛光机。但是,国内生产的双面抛光机的精密程度与国外相比还存在一定的差距。

在超精密加工中,振动是影响加工质量的关键因素之一,如果不能很好地消除振动影响,则超精密加工的加工质量将受到很大的限制^[3-4]。传统的双面抛光机采用气动加载的方式,具有输出压力小、输出压力的稳定性差、运动速度控制实现难等缺点^[5]。为了实现连续精密的气动压力加载,气动加载装置多采用昂贵的伺服阀^[6]。针对气动加载方式的不足,在步进电机传动机构和弹簧均压执行机构组成的双面抛光机的基础上,浙江工业大学超精密加工实验室研制了一种加压机构解决了普通双面抛光机的气动压力加载系统的不足。但由于上研磨盘采用弹簧均压装置加压,在抛光过程中,上研磨盘与下研磨盘的相对运动,会造成上研磨盘上下振动,对产品最后的加工质量造成重大影响^[7]。因此,减小上研磨盘在抛光加工期间的振动,对于提高双面抛光机的加工质量具有重要意义。

本研究提出在弹簧加压装置中加入磁流变阻尼器的方法,通过控制磁流变阻尼器阻尼系数来实现对上研磨盘振动的半主动控制,以达到抑制振动的效果。

1 上研磨盘振动的抑制方案

磁流变液是一种可控流体,在磁场的作用下,可从牛顿流体变为剪切屈服应力较高的黏塑性体^[8-9]。由磁流变液制成的阻尼器具有结构简单、响应速度快、功耗低、阻尼力大且连续可调的特点,是一种典型的可控流体阻尼器^[10]。本研究在弹簧加压系统中安装一个磁流变阻尼器,可以通过控制接入磁流变阻尼器的电流大小来改变其阻尼系数,实现对上研磨盘振动的半主动控制,达到抑制上研磨盘振动的效果^[11]。

2 上研磨盘加压装置的数学模型

本研究对改进后的上研磨盘压力加载系统进行数学建模,其弹簧均压机构等效为弹簧-阻尼系统(结构图如图 1 所示)。以当弹簧未发生形变时上研磨盘的上表面为基准面,本研究对上研磨盘在铅垂方向上进行受力分析,根据牛顿第二定律可得:

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = F - mg - kx - c \frac{dx}{dt} \quad (1)$$

式中: m — 上研磨盘的质量, x — 均力弹簧的形变量, k — 系统的弹性系数, F — 上研磨盘对工件的抛光压

力, c — 磁流变阻尼器的阻尼系数。

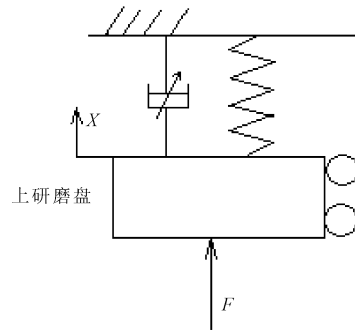


图 1 上研磨盘加压装置的等效结构图

由于要研究的振动状态是在抛光的过程中,此时弹簧已经产生了 x_0 的变形量,此时的抛光压力 F 大小为 F_0 , 设 Δx 为振动时弹簧的偏移量, ΔF 为振动时抛光压力的变化量,则式(1)可变换为:

$$m \frac{d^2 \Delta x}{dt^2} + 2c \frac{d\Delta x}{dt} + k(x_0 + \Delta x) = F_0 + \Delta F - mg \quad (2)$$

当 $\Delta F = 0$ 时,上研磨盘的平衡公式为 $kx_0 = F_0 - mg$, 将其代入式(2),可整理得:

$$\frac{d^2 \Delta x}{dt^2} + \frac{c}{m} \frac{d\Delta x}{dt} + \frac{k}{m} \Delta x = \frac{\Delta F}{m} \quad (3)$$

3 上研磨盘振动的半主动控制策略及其应用

本研究对磁流变阻尼器的控制策略是根据上研磨盘的运动状态来确定控制阻尼力的大小^[12],其主要内容为:如果上研磨盘的运动状态为远离平衡位置,阻尼力应保持在较高的水准来抑制这种趋势;反之,如果上研磨盘的运动状态为远离平衡位置,阻尼力应该保持在适当的水准,适度抑制这种趋势。

上研磨盘加压装置是一个典型的 2 阶系统,由式(3)可求得该 2 阶系统的系统阻尼比 $\xi = c/2\sqrt{mk}$ 。由于当阻尼比 $\xi = 0.707$ 时,2 阶系统的调节时间短,超调量又不大, $\xi = 0.707$ 被称为 2 阶系统的最佳阻尼比。当上研磨盘状态远离平衡位置时,为了最大限度地抑制这种趋势,本研究取磁流变阻尼器的阻尼为其最大阻尼值,即在最大通电状况下的阻尼值。当上研磨盘状态趋向平衡位置时,本研究希望上研磨盘能快速回到平衡位置的同时,又不能产生过大的超调量,引起剧烈振荡,因此本研究希望此时的系统保持在最佳

阻尼比状态下,即 $\xi = c/2\sqrt{mk} = 0.707$ 。

上述的控制算法是同时使用上研磨盘的位移和速度作为指针,以控制通过磁流变阻尼器的电流的变化。其控制算法可表示为:

$$I = \begin{cases} I_{\max} & \Delta x \cdot \Delta \dot{x} \geq 0 \\ I_p & \Delta x \cdot \Delta \dot{x} < 0 \end{cases} \quad (4)$$

式中: $I_{\max}$ —磁流变阻尼器最大的控制电流, $I_p - c = 1.414\sqrt{mk}$ 时的控制电流, Δx —上研磨盘对于平衡位置的位移, $\Delta \dot{x}$ —上研磨盘的运动速度。

具体的控制流程如图 2 所示,首先由传感器测量上研磨盘的振动反应,然后将该信号作为控制器的输入信号,由控制器根据控制规则得到调节电压档位的控制信号,并该控制信号对磁流变阻尼器的阻尼值施加控制作用,以抑制上研磨盘的振动现象。

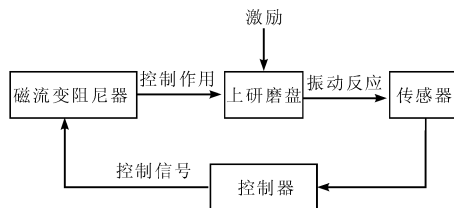


图 2 上研磨盘振动半主动控制流程

4 上研磨盘振动半主动控制的 Matlab 仿真

针对上研磨盘加压系统,本研究根据建立的模型和控制策略,利用 Matlab/Simulink 对建立的模型进行仿真。假设上研磨盘的质量为 50 kg,系统的弹性系数为 200 N/mm,当控制电流大小为 0 时,系统的阻尼系数为 $0.2 \text{ N} \cdot \text{s} \cdot \text{mm}^{-1}$,当控制电流大小为 I_f 时,系统的阻尼系数为 $4.47 \text{ N} \cdot \text{s} \cdot \text{mm}^{-1}$,当控制电流大小为 $I_{\max}$ 时,系统的阻尼系数为 $15 \text{ N} \cdot \text{s} \cdot \text{mm}^{-1}$ 。

在 Simulink 中,本研究根据式(4)所建立的上研磨盘振动的半主动控制系统的仿真模型框图如图 3 所示。

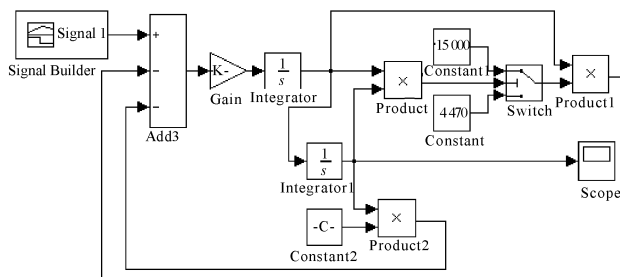


图 3 上研磨盘振动半主动控制仿真框图

5 仿真结果及分析

本研究以上研磨盘的抛光压力变化量 ΔF 为输入,并选取上研磨盘的位移为评价指标,进行时域仿真分析,观察在抛光压力发生变化时,系统的上研磨盘在半主动控制和未加控制时的振动状况。以小段时间的脉冲信号为输入扰动信号时,半主动控制状况和未加控制状况下上研磨盘位移的响应曲线如图 4 所示。

以白噪声信号为输入扰动信号时,半主动控制状况和未加控制状况下上研磨盘位移的响应曲线如图 5 所示。

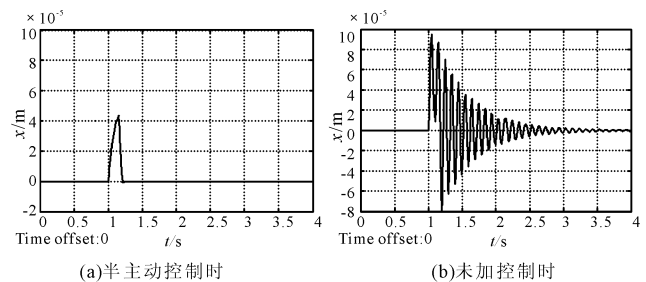


图 4 输入为脉冲信号时的上研磨盘垂直位移响应曲线

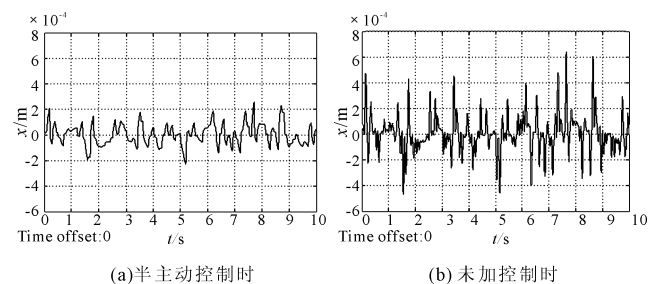


图 5 输入为白噪声信号时的上研磨盘垂直位移响应曲线

从图 4 中可以看出,输入为脉冲信号时,进行半主动控制之后,在脉冲来临时,上研磨盘的位移缓慢上升,当脉冲结束后,上研磨盘迅速回复到平衡位置,中间并未产生剧烈的振荡现象。而未加控制时,上研磨盘在垂直方向上出现剧烈的振荡现象,直到 3.5 s 后才趋于平衡。并且,进行半主动控制后,上研磨盘的振动的最大幅值比未加控制时的一半还要小。

从图 5 中可以看出,输入为白噪声信号时,进行半主动控制后,上研磨盘的垂直方向的振幅比未加控制时的 50% 还小,并且上研磨盘的振荡现象得到了很好的改善。由仿真结果可知,采用本研究所提出的控制策略进行半主动控制后,上研磨盘振动的振幅显著降低,振荡现象得到了有效地改善,抑制了抛光过程中的振动现象。

6 结束语

针对利用弹簧均压装置进行加压的双面抛光机在抛光过程中的上研磨盘振动现象,本研究提出在弹簧均压装置中加入可变阻尼的磁流变阻尼器的方法,在抛光过程中,本研究根据控制策略控制通过磁流变阻尼器的电流大小,改变阻尼器的阻尼值,以达到对上研磨盘振动的主动控制。

根据计算机仿真结果可知,本研究提出的半主动控制方法能有效地抑制抛光过程中上研磨盘的振动现象,从而可以提高双面抛光机的工件加工质量。

参考文献 (References):

- [1] 房建国,刘 伟,杨志甫.超精密机研磨抛光机床的研究与设计[J].航空精密制造技术,2005,41(6):4-7.
- [2] 赵文宏,周海军,宋 闯,等.晶片抛光压力加载系统分析[J].机电工程,2012,29(2):171-174.
- [3] 王加春,李 旦,董 申.超精密机床溜板的模糊-PID 振动主动控制研究[J].燕山大学学报,2001,25(1):57-60.

(上接第 1242 页)

4 结束语

本研究提出了一种基于研华工控机和运动控制卡的开放式封头数控旋压机数控系统,在分析封头旋压力模型的基础上建立完善了渐开线式旋压轨迹,并建立了上下位机控制系统,利用 Visual C++ 开发了系统控制软件;模块化的设计思想简化了设计流程。该系统调试后经过运行测试,结果显示系统运行稳定,基本满足了事先的设计要求,并且可为以后的进一步研究提供重要参考。

下一阶段,本研究将进一步完善下位机的系统调试工作,提高系统稳定性及简化操作方式,以满足合作单位的实际操作要求。

参考文献 (References):

- [1] 王成和,刘克璋.旋压技术[M].北京:机械工业出版社,1986.
- [2] WONG C C, LIN T D J. A review of spinning, shear forming and flow forming processes mechanical and manufacturing engineering[J]. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 2003, 43(14): 1419-1435.
- [3] 刘兴家,张奕黄.封头旋压成形旋轮运动轨迹确定方法的

- [4] 王德山.模具线切割精密加工电极丝的应用分析[J].现代制造技术与装备,2011(3):39-41.
- [5] 钱 宁,阮 健,李 伟.双面抛光机气动伺服加载系统分析加载系统分析[J].机床与液压,2006,34(8):72-74.
- [6] 王祖温,詹长书,杨庆俊.气压伺服系统高性能鲁棒控制器的设计[J].机械工程学报,2005,41(11):15-17.
- [7] 陈 江.双面高速研磨数字控制过程研究[D].长春:长春理工大学机电学院,2003.
- [8] 张松慧,张 旭.基于闭环 PID 控制的磁流变液阻尼减振器减振性能测试[J].机床与液压,2010,38(5):95-97.
- [9] 许利利,韩江水,王 斌.磁流变阻尼器在结构振动控制中的应用研究[J].山西建筑,2009,35(29):58-60.
- [10] 宋 璨,王修勇,陈政清.磁流变式调谐液柱阻尼器的复位控制[J].振动工程学报,2010,23(1):26-30.
- [11] 张克余,刘 荣,王松根.磁流变阻尼器的半主动控制方法研究[J].机床与液压,2010,38(23):9-12.
- [12] 王立克.磁流变阻尼器减振系统半主动控制方法的研究[D].天津:中国民用航空学院机电学院,2006.

[编辑:张 翔]

研究[J].塑性工程学报,1997,4(4):84-89.

- [4] 任贵勇,马广程,王常虹,等.大型封头旋压机的控制系统设计[J].机械与电子,2000(5):23-25.
- [5] 王 宏,王 斌,弓清忠,等.基于 PMAC 的轧辊磨床数控系统的开发[J].机电工程,2005,22(3):58-59.
- [6] 胡福泰,王家勋.封头旋压数值分析[J].塑性工程学报,1999,6(1):65-68.
- [7] 刘兴家,王佐民,孙明琦,等.椭圆封头旋压控制参数确定的研究[J].热能动力工程,2003,18(2):187-189.
- [8] 钱志平.旋压辊运动轨迹设计与旋压力计算[J].机械设计,2004,21(12):28-29.
- [9] 李东飞.基于 PMAC 下数控系统的设计与实现[D].秦皇岛:燕山大学信息科学与工程学院,2006:23-42.
- [10] 边秀娟.数字加工生物组织微阵列系统[J].轻工机械,2010,28(3):100-102.
- [11] 王 辉.元件失效对数控机床运行性能影响的分析[J].机电技术,2011(4):92-94.
- [12] 杨旭东,张飞库,谢 昆,等.采用上下位机的旋压机控制系统研究[J].现代制造工程,2010(4):46-49.
- [13] 白建华,潘振锋,周红飞,等.基于嵌入式 Linux 的实时数控系统[J].机电工程,2008,25(5):13-14.

[编辑:罗向阳]