

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2018.08.014

研抛加工机械加载力系统的设计与研究^{*}

周江峰,蔡东海,文东辉^{*},尹林志
(浙江工业大学 机械工程学院,浙江 杭州 310014)

摘要:为解决研抛加工机械加载力的变化曲线与压力采集等问题,对研抛过程中影响抛光效果的压力大小等主要因素和各种压力加载方法等方面进行了研究。从机械结构和控制软硬件两方面展开研究,采用了一种基于 PCI-1240U 运动控制卡以及 USB 总线技术,设计了压力加载控制系统;控制软件方面采用 LabVIEW 设计了人机交互界面,利用压力加载试验台对实现加载力变化曲线和压力采集进行了测试。研究结果表明:该系统能实时监测加载系统的压力参数,能够实现不同的压力加载变化曲线功能;系统故障断路响应迅速、可靠性高,从而在保证工件质量的基础上,提高平面研抛的加工效率。

关键词:平面研抛;变化曲线;效率

中图分类号:TH39;TG356.2⁺8

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2018)08-0853-05

Design and research of mechanical loading system for grinding and polishing

ZHOU Jiang-feng, CAI Dong-hai, WEN Dong-hui, YIN Lin-zhi

(School of Mechanical Engineering, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014, China)

Abstract: In order to solve the problems of changing curve and pressure acquisition in mechanical loading system for grinding and polishing, the main factors such as pressure influencing the effect of polishing and various pressure loading research methods were researched. Research on two aspects of mechanical structure and control of hardware and software and the pressure loading control system based on motion controller PCI-1240U and USB bus technology was used. And the labview software is used to design a good interface of users and computer. So, changing curves of loading force and pressure acquisition were tested by pressure loading test platform. The results indicate that the system can real-time monitor the pressure parameters of the loading system, realize the function of the curves of different pressure loading, and it has fast response and high reliability. Therefore, it can improve the machining efficiency of flat grinding based on the quality of the workpiece.

Key words: plane grinding and polishing; changing curve; efficiency

0 引 言

研抛加工是超精密加工技术其中一种,主要包括了研磨和抛光两部分。其中,研磨是指将研磨液加到研磨盘上,通过研磨盘(一般为铸铁)与工件的相对运动来进行加工的方法,抛光原理与研磨类似,但抛光加工中所用的抛光磨粒粒径比研磨中所用的小得多,而

且研磨盘多采用软质材料。

Preston 方程^[1]指出,被加工工件表面材料去除率与压力参数 p 成正比,即工件表面所受压力越大,则工件材料去除率越高。因此,对研抛压力的研究对研抛加工具有重要的意义。

在研抛加工过程中,由于研抛压力是由研抛加载盘与工件的接触变形产生的,因此对研抛加载力的最

收稿日期:2017-11-10

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51775509);浙江省自然科学基金资助项目(LZ17E050003)

作者简介:周江峰(1993-),男,浙江诸暨人,硕士研究生,主要从事超精密加工方面的研究。E-mail: zj12474027683@126.com

通信联系人:文东辉,男,教授,博士生导师。E-mail: wdh_74@163.com

佳控制方法就是通过确定研抛加载盘与工件的相对位置,以此来达到对力的控制。同时,研抛加工过程中,保持研抛压力恒定^[2]可以进一步提高研抛质量,因此,对研抛装置的实时监测控制也是十分必要的。

目前的压力加载系统有砝码配重、机械式、气动式、电液式和其他加载系统。为了替换砝码配重加载方法,必须选这一种其他加载系统进行研究,气动式和电液式为了获得更好的控制精度多采用昂贵的伺服阀,因此这里选用机械式加载方式。

本文对该系统设计中考虑的机械结构和控制监测软硬件系统进行阐述。

1 研抛加工加载系统构成

平面研磨抛光系统由一个旋转的工件盘、承载抛光垫的研磨抛光盘和抛光液供给装置三大部分组成。

在平面研磨抛光过程中,工件盘和研磨抛光盘以一定的速度旋转,它们的偏心距保持不变或者按照某一规律变化,同时工件承受变化的载荷。研抛加工主要针对纳米薄膜生长的硅片和氧化锆陶瓷等脆性材料进行抛光加工^[3-4],同时考虑还需要对光学玻璃、蓝宝石^[5]等光学电子元器件进行加工。

因此,对新研制的研抛加工压力加载提出以下几个方面的功能和要求:

(1) 抛光加载盘应该具有自转功能,工件需要承受变化的载荷,在研抛加工期间,对抛光负载施加 4 kgF 左右的载荷是最为合适的^[6];

(2) 抛光过程中需要实时检测施加载荷力的大小,测力传感器能实现对加载压力的测量与数据采集,有一定的反馈补偿调节,实现抛光加工时的动态平衡。因此,需要选用合适的传感器,在控制上实现抛光加工的反馈补偿调节;

针对工件的研抛加工工艺要求,按上述功能和要求设计的研抛加工实验平台如图 1 所示。

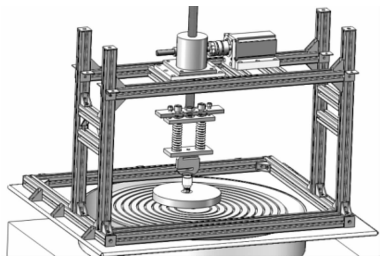


图 1 研抛加工压力加载平台

图 1 中的研抛加工系统平台由:伺服电机及其伺服放大器、机架、升降机、弹簧均压机构、测力传感器和控制计算机等组成。

压力加载曲线示意图如图 2 所示。

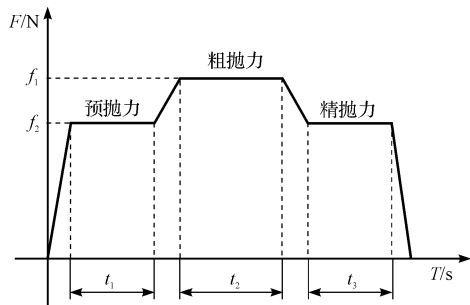


图 2 压力加载曲线示意图

该实验平台是为了使得加载力按照压力加载曲线动作,其加载工作原理就是通过编写程序控制电机的运动来实现不同压力的加载,从而可以改变不同阶段的研抛力,进而选择最好的压力加载曲线进行研抛加工。

2 研抛加工加载系统机械设计

2.1 伺服电机与伺服驱动器

研抛加载盘与工件的相对位置来达到对力的控制需要加载系统对位置精度控制要求很高,可以选用使物体的位置、方位、状态等输出被控量能够跟随输入目标(或给定值)的任意变化的自动控制系统即伺服系统。伺服电机为研抛压力提供位置进给,且调速范围较大则进给距离的精度就更高。

基于三菱交流伺服系统有运行稳定、调速范围宽、响应快等优点。

该压力加载平台采用三菱伺服电机作为驱动电机,电机型号为 HG-KN43BJ-S100。

具体参数指标如表 1 所示。

表 1 三菱伺服电机主要参数

性能参数	数值
额定输出功率/kW	0.4
额定转速/(r · min ⁻¹)	3 000
最高转速/(r · min ⁻¹)	5 000
最大转矩/(N · m)	3.8
惯量 J/(× 10 ⁻⁴ kg · m ²)	0.397
径向容许负载 Fr/N	245
法向容许负载 Fs/N	98

2.2 弹簧均压机构

弹簧均压机构主要提供加载所需的压力,由加载所需的压力决定弹簧的弹性系数,从而完成弹簧的选型。

弹簧均压机构如图 3 所示。

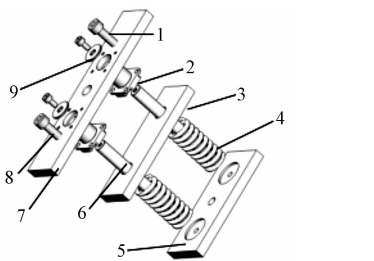


图 3 弹簧均压机构

1 - 导杆螺钉;2 - 轴承;3 - 中间板;4 - 弹簧;5 - 底板;
6 - 导杆;7 - 轴承安装板;8 - 调节螺钉;9 - 挡板

其中,具体的零部件有导杆螺钉、轴承、中间板、弹簧、底板、导杆、轴承安装板、调节螺钉、挡板。
调节螺钉可以用来调节间隙,使得弹簧处于适当位置。

2.3 主驱动式抛光头机构

这里采用定偏心^[7]主动驱动^[8]单面研磨方式,为了使得抛光头可旋转,故笔者选用了浮动接头用来连接抛光头。

3 研抛加工加载控制系统设计

3.1 硬件系统设计

该压力加载平台的硬件系统主要包括 PCI240U 运动控制卡、接线端子 ADAM-3952、三菱伺服电机 HG-KN43BJ-S100、伺服驱动器 MR-JE-40A、计算机、数据采集卡、人机界面、开关按钮以及测力传感器等。其中的接线端子与伺服放大器的接线如图 4 所示。

运动 控制 卡	+VEX	DICOM(20)	伺服 驱动 器 CN1
	GND	DOCOM(46)	
	OUT(4)	SON(15)	
	OUT(5)	RES(19)	
	OUT(6)	EM2(42)	
	P+P	PP(10)	
	P+N	PG(11)	
	P-P	NP(35)	
	P-N	NG(36)	
	IN1	RD(49)	

图 4 硬件连线图

3.2 软件系统设计

软件系统设计主要是人机界面(HMI)的设计,又称用户界面,是人与计算机之间传递、交换信息的媒介和对话接口。
该研抛加工压力加载平台的的人机界面使用 LabVIEW 编写,主要包括压力采集数据模块和电机驱动模块,通过 LabVIEW 编写压力加载数据采集程序和电机驱动程序。
程序界面如图 5 所示。

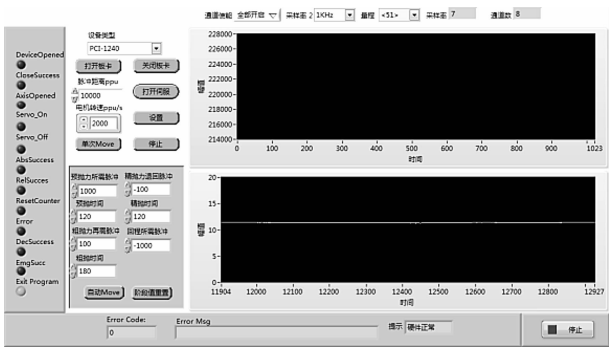


图 5 LabVIEW 软件界面

3.3 压力检测系统

压力检测系统主要由测力传感器、外接变送器、数据采集卡和 LabVIEW 软件组成。测力传感器可以采集到具体压力,通过外接变送器放大信号,再经过数据采集卡存储到 LabVIEW 软件中,并且绘制出压力加载曲线^[9]。

测力传感器的具体参数如表 2 所示。

表 2 测力传感器主要参数

参数	单位	技术指标
量程	kg	20
灵敏度	MV/V	2 ± 0.05
非线性、重复性	≤ % F. S	± 0.03
输入电阻	Ω	350 ± 20
输入电阻	Ω	350 ± 5
推荐激励电压	V	10 - 15

该测量系统主要包括测力传感器的采集、信号放大调理为电压信号 0 ~ 10 V、采集与存储,测力传感器可以直接测量加载盘与抛光盘的压力,测力传感器信号被调理放大后,通过 USB 电压数据信号采集卡将数据传输到电脑中,从而实现对研抛加工过程中压力加载的实时测量。

4 实验验证

该实验搭建的用于研抛加工的加载系统平台,是在实验室现有 Nano-Max 单面研磨抛光机上搭建的压力动态加载的定偏心被动驱动单面研磨抛光装置。

实验平台如图 6 所示。

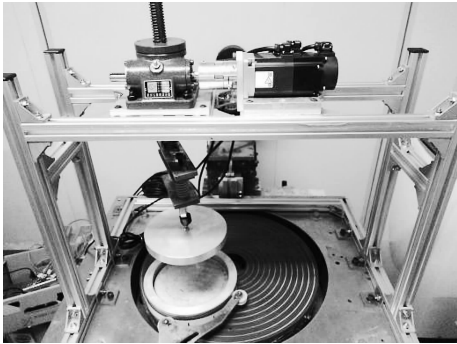


图 6 实验平台

本实验准备了若干片硅片用石蜡粘贴于材质为陶瓷盘的基盘上,并在研磨盘上贴抛光垫,准备 W7, W2.5, W0.5 的氧化铝研磨料分别配置成浓度 20% 的研磨液(以去离子水配置)。

针对 10 mm × 10 mm × 1 mm 的硅片用上述 LabVIEW 软件制定相应的压力加载曲线,研磨盘转速设置为 10 r/min。

在预抛阶段,加入 W7 的研磨液,设置预抛力为 8 N,抛光时间为 3 min;

在预抛阶段,加入 W3.5 的研磨液,设置粗抛力为 12 N,抛光时间为 8 min;

在预抛阶段,加入 W0.5 的研磨液,设置精抛力为 8 N,抛光时间为 10 min。

整个过程总时长大约 30 min,最终得到滤波后的压力变化曲线采集图如图 7 所示。

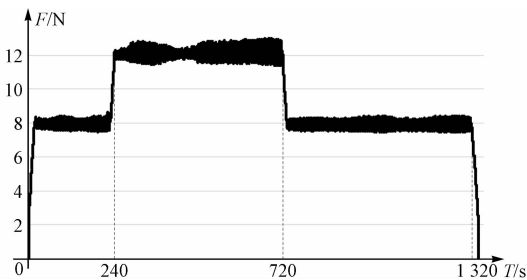


图 7 压力变化曲线采集图

在采集压力过程中发现力并不是一个数值,而是围绕着一个数值上下波动,可以称为振动。这种振动是由于研抛工具的制造误差和研抛工具盘与工件表面接触产生的微小振动引起的。

因此,振动无法避免,后期可以采用更加优化的机械结构,还可以通过模糊控制方法减小外界干扰,使研抛压力趋近理想的压力值,保证特定压力范围内的恒压力研抛加工。

5 结束语

本研究开发的压力加载控制系统主要由三菱伺服

电机及其伺服放大器、机架、升降机、弹簧加压工具、测力传感器和控制计算机等组成。该压力加载控制系统的机械结构设计合理,同时采用 LabVIEW 人机交互界面设计人性化、规范化,实现了需要完成的变化曲线功能。在该实验平台基础上对研抛加工实验进行了研究。

研究表明,该系统能实时监测加载系统的压力参数,能够实现不同的压力加载变化曲线功能,系统故障断路响应迅速、可靠性高。

该系统平台的建立为不同工件的研抛加工压力加载奠定了基础,实现了基于力控制的研抛加工,保证了研抛加工的工件质量,提高了工件的加工效率。

参考文献(References):

- [1] 计时鸣,李琛,谭大鹏,等. 基于 Preston 方程的软性磨粒流加工特性[J]. 机械工程学报,2011,47(17):56-62.
- [2] 史永杰,郑堤,王龙山. 非球面精密数控研抛中研抛力的控制[J]. 光学精密工程,2011,19(5):1013-1021.
- [3] 孙薇,姚晓琼. 硅晶片表面超精密加工中的温度控制[J]. 北华航天工业学院学报,2017,27(4):20-22.
- [4] 徐高峰,宋红章,杨德林. 水热法制备稳定氧化锆纳米粉体[J]. 表面技术,2017,46(9):95-100.
- [5] 王建彬,朱永伟,谢春祥,等. 固结磨料研磨蓝宝石单晶过程中研磨液的作用[J]. 光学精密工程,2014,22(11):3004-3011.
- [6] SHIN C, QIN H, HONG S, et al. Effect of conditioner load on the polishing pad surface during chemical mechanical planarization process[J]. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 2016,30(12):5659-5665.
- [7] 靳永吉. CMP 抛光运动机理研究[J]. 电子工业专用设备,2005,34(9):37-41.
- [8] 盛继生,文东辉,计时鸣. 主动驱动条件下研磨轨迹均匀性的研究[J]. 农业机械学报,2010,41(4):209-212.
- [9] 郑海辉. 双面抛光机气动加载控制系统的研究[D]. 杭州:浙江工业大学机械工程学院,2010.

[编辑:李辉]

本文引用格式:

周江峰,蔡东海,文东辉,等. 研抛加工机械加载力系统的设计与研究[J]. 机电工程,2018,35(8):◆-◆,◆.

ZHOU Jiang-feng, CAI Dong-hai, WEN Dong-hui, et al. Design and research of mechanical loading system for grinding and polishing[J]. *Journal of Mechanical & Electrical Engineering*, 2018,35(8):◆-◆,◆.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>