

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2013.05.013

中小孔精密数控内圆磨床监控系统的构建 与实验研究

于胜昔¹, 沙 杰^{1*}, 邢康林¹, 赵 飞¹, 吴剑锋², 曹志中²

(1. 河南工业大学 机电工程学院, 河南 郑州 450001; 2. 郑州第二机床厂, 河南 郑州 450007)

摘要: 针对中小孔精密磨削过程中磨削精度不稳定和磨削效率低的问题, 将功率检测技术应用到内圆磨削过程监控中, 以中小孔精密数控内圆磨床为硬件平台, 应用功率传感器监控砂轮电主轴功率, 构建了内圆磨床磨削监控系统。分析了磨削质量和磨削工艺参数、磨削效率和磨削功率, 建立了磨削功率和磨削效率以及磨削质量和磨削功率之间的关系; 采用功率参考线对磨削过程进行了控制, 实现了磨削自动对刀、碰撞保护等功能; 利用磨削监控系统进行了磨削实验, 得到了磨削功率监控上、下参考线; 同时也利用该参考线, 进行了磨削工艺参数的优化。研究表明, 磨削监控系统实现了磨削状态的反馈控制, 提高了磨削精度以及磨削过程的自动化程度。

关键词: 中小孔; 内圆磨床; 磨削精度; 监控系统; 功率检测; 参考线设定; 工艺参数优化

中图分类号: TG596; TH161; TH39

文献标识码: A

文章编号: 1001-4551(2013)05-0570-04

Monitoring system of precision CNC internal grinder for middle and small holes

YU Sheng-xi¹, SHA Jie¹, XING Kang-lin¹, ZHAO Fei¹, WU Jian-feng², CAO Zhi-zhong²

(1. College of Mechanical & Electrical Engineering, Henan University of Technology, Zhengzhou 450001, China;

2. Zhengzhou Second Machine Tool Plant, Zhengzhou 450007, China)

Abstract: Aiming at unstable grinding accuracy and low grinding efficiency in precision grinding process about the holes, power detection technology was applied into grinding process monitoring. Experiment will be studied on the precision CNC internal grinder about holes, through using power sensors, monitoring the power of wheel electric spindle, the internal grinder grinding monitoring system was built. The grinding quality and grinding parameters, grinding efficiency and grinding power were analyzed, to establish the relationships between grinding power and grinding efficiency and grinding quality. The power reference line was used to control the grinding process, and to realize the automatic grinding of knife, collision protection function. With the grinding monitoring system, the grinding experiment was carried out and the grinding power monitoring reference line was obtained. At the same time, grinding process parameters were optimized by using the reference line. The results indicate that grinding monitoring system realizes the grinding state feedback control, improves the grinding precision and automation degree of the grinding process.

Key words: middle and small holes; internal grinder; grinding accuracy; monitoring system; power detection; reference line setting; process parameter optimization

0 引 言

中小孔精密数控内圆磨床作为零件内孔精密磨削的关键设备, 常应用于汽车发动机零件的内孔精密磨

削。由于磨削零件常为盲深孔类零件, 磨削加工条件恶劣, 制约着零件内圆磨削质量和磨削效率的提高^[1]。为保证磨削质量和磨削效率, 研究者应根据磨削状态, 及时调整磨削工艺参数、优化磨削过程。目前, 磨

收稿日期: 2012-11-13

作者简介: 于胜昔(1986-), 男, 河南驻马店人, 主要从事机械设计及自动化方面的研究。E-mail: yushengxxx@163.com

通信联系人: 沙 杰, 男, 教授。E-mail: shajie_hngd@163.com

削工件质量的评价主要是建立在零件精密磨削后测量的基础上,如缺乏对磨削过程的动态了解,则不能做到及时调整机床,实时保证磨削工件质量和效率,因此,磨削过程实时监控系统的构建极为必要。目前,磨削过程实时信息的获得方法有磨削力检测法、磨削功率检测法、声发射法等。其中,功率检测法主要以功率传感器等为检测工具,用于检测磨削功率的变动状况,具有成本低、易使用、实时监测等优点。

本研究以精密数控内圆磨床为硬件平台,利用功率监控仪为主要工具,构建磨削监控系统,目的在于优化内圆磨削参数,实时监控内圆磨削状况,可直接监视磨削过程中的主轴的电功率,判断磨削过程是否正常,保证磨削质量稳定^[2-3]。

1 磨削监控系统构建

1.1 功率监控系统原理

磨削质量与磨削过程的稳定密切相关,磨削效率与磨削功率的大小密切相关。为了保证磨削状态稳定,研究者可通过调整磨削工艺参数,控制工件磨削过程中的磨削功率变化。通过监控系统设置空载基线、碰撞线、功率参考上线和下线的方法,控制磨削功率变化,可实现磨削状态稳定,从而保证磨削质量稳定;为提高磨削效率,可通过优化磨削工艺参数和缩短空程进给时间等方法,实现磨削功率最大及磨削时间最短,从而实现磨削效率的最大化。在内圆磨削过程中,磨床工件主轴和砂轮主轴的功率变化均能反映磨削过程磨削功率变化的信号,且该功率信号易于获得^[4]。为同时检测磨削过程和砂轮修整过程中功率变化信息,监控系统以砂轮电主轴功率作为信息源,实现该系统的磨削和修整以及同时监控的功能。

1.2 功率监控系统构成

监控系统如图1所示。监控系统由监控显示控制板、功率信号采集模块、信号分析处理模块以及磨床控制系统、机械执行系统组成。

监控仪显示面板如图2所示。它具有实时显示功率波形图和设置功率控制线等功能。信号采集模块由功率传感器、信号采集器组成,功率信号源自砂轮主轴,传感器采集磨削电主轴功率信号,传送至信号采集器,完成功率信号的采集、放大。分析处理模块由单片机、A/D转换器和滤波器组成,负责对采集的功率信号进行分析处理^[5-7]。磨床控制系统保证磨削过程的持续和稳定,磨床PLC根据分析处理模块所提供的反馈信号控制磨床机械执行机构及主轴电机,实现进给参数变化及主轴电机的紧急关停,以保证机床保持稳定的工作状态。机械执行系统包括X、Z轴伺服进给系统。

1.3 功率线设置方法

本研究通过在显示控制板设定碰撞线、空载基线、参考上线、参考下线以实现对磨削过程的监控。空载基线是在未加工工件时的最大功率值,在磨床空载稳定的情况下自动获得。参考线的设定是依据实验的方法,根据在实际磨削过程中的功率变化范围来确定两条参考线数值,参考上线为磨削功率最大值,参考下线为砂轮与工件开始接触时功率。监控系统按照参考线的设定值进行监控,当实时功率低于参考线下线时,分析处理模块向磨床PLC输出参考下线反馈信号,PLC加大伺服系统进给速度,磨削功率变大。当实时功率超过或等于参考线上线时,分析处理模块向磨床PLC输出参考线上线反馈信号,PLC减小伺服系统进给速度,磨削功率变小。碰撞线实现监控系统的碰撞保护功能,根据磨削功率范围设置碰撞线。碰撞线是在磨床砂轮电主轴功率达到碰撞线时信号处理模块向磨床PLC输出碰撞信号,电机停转,磨床X轴、Z轴回到原点,实现磨床碰撞保护^[8-9]。

2 磨削实验

2.1 实现目的

本研究通过磨削实验确定合理的磨削工艺参数和相应的功率波形图,确定在该磨削状态下的磨削功

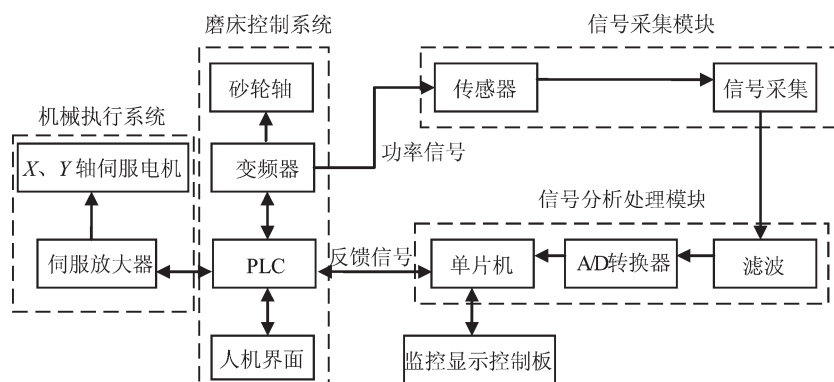


图1 磨削监控系统框图



图2 显示面板

率参考上、下线,实现磨削过程的监控,保证磨削质量和磨削效率。

2.2 磨削实验参数选取

影响内圆磨削加工质量的工艺因素很多,包括环境温度、测量手段、砂轮的选择、冷却液的选择、砂轮转速、工件转速、磨削余量、进给速度等。当这些参数选择不合理时,会影响磨削精度和加工效率。其中,影响磨削加工的精度和效率的主要因素是磨削工艺参数的选取。结合内圆磨床的磨削实际情况,可确定砂轮速度、纵向进给量、进给速度作为实验调整工艺参数^[10]。

2.3 实验条件与方案

磨削实验是在 Z2-015 精密数控内圆磨床上进行的。实验试件如图 3 所示。试件材料采用 45 号钢,内孔直径 $\Phi 8$ mm,外圆直径 $\Phi 20.3$ mm。砂轮采用刚玉砂轮,砂轮直径 7.5 mm,砂轮宽度 8 mm。

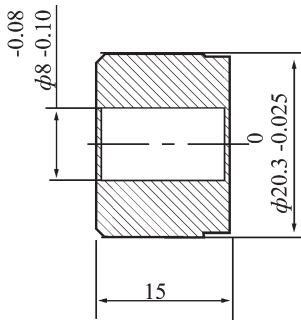


图3 磨削试件

磨削方案:砂轮转速选取 60 000 r/min 和 30 000 r/min 两个水平。粗磨精磨磨削分段参数如表 1 所示,笔者采用两种磨削分段和 3 种进给速度分配,进给速度在内圆磨

表 1 磨削参数

	磨削分段	磨削分段	进给速度	进给速度	进给速度
	C_1/mm	C_2/mm	$D_1/(\mu\text{m}\cdot\text{s}^{-1})$	$D_2/(\mu\text{m}\cdot\text{s}^{-1})$	$D_3/(\mu\text{m}\cdot\text{s}^{-1})$
粗磨阶段	0.04	0.03	25	25	25
	0.02	0.02	20	15	5
	0.01	0.01	15	10	5
	0.01	0.01	10	2	5
	0.01	0.01	5	2	5
精磨阶段	0.01	0.02	2.5	2.5	2.5

床设置上为变频器输出,单位 Hz,每个脉冲输出导轨移动 0.25 μm ,比如 100 Hz 的进给速度相当于 25 $\mu\text{m}/\text{s}$ 。

磨削参数设计:磨削参数组合根据砂轮速度、磨削进给分段和进给速度进行实验组合,并考虑砂轮往复速度会对磨削质量产生影响,添加往复速度 30 次/秒对比。取砂轮转速 A_1 为 60 000 r/min, A_2 为 30 000 r/min,往复速度 B_1 为 60 次/秒, B_2 为 30 次/秒。

磨削进给分段:磨削过程分 6 段,每段对应不同的进给速度,采用两种分段,用 C_1, C_2 表示。进给速度相对应于磨削分段,采用 3 种进给速度,分别用 D_1, D_2, D_3 表示。

选用的实验组合有 14 种,即:

$A_1B_1C_1D_1, A_1B_1C_1D_2, A_1B_1C_2D_1, A_1B_1C_2D_2, A_1B_1C_1D_3,$
 $A_1B_1C_2D_3, A_1B_2C_1D_1,$

$A_2B_1C_1D_1, A_2B_1C_1D_2, A_2B_1C_2D_1, A_1B_1C_2D_2, A_2B_1C_1D_3,$
 $A_2B_1C_2D_3, A_2B_2C_1D_1。$

本研究根据每组试件孔的尺寸精度和圆度两个指标,从综合分析磨削参数对磨削质量的影响,得到每个磨削参数影响因素最佳水平组合。根据试件检验结果和磨削功率曲线,对各个方案的磨削效果进行综合比较和分析,以得出合理的实际磨削参数。

2.4 实验结果分析

磨削数据如表 2 所示。其中,直径测量采用 MQL-100 电子式气动量仪;圆度测量采用 YD200G 圆度测量仪。磨后实测尺寸相近,但磨削工件圆度有一定差距。在 60 000 r/min 的砂轮速度下,由磨削的进给量和进给速度可以得出 $A_1B_1C_2D_2$ 组合磨削质量优于

表 2 磨削数据

试件序号	磨削前直径/mm		磨削后直径/mm		圆度/ μm		实际去除量/mm	选用方案组合
	小端	大端	小端	大端	第 1 次测量	第 2 次测量		
1	7.510	7.520	7.780	7.790	1.341	1.366	0.270	对刀件
2	7.510	7.510	7.550	7.595	1.010	0.960	0.625	$A_1B_1C_1D_1$
3	7.510	7.520	7.587	7.595	0.785	0.801	0.076	$A_1B_1C_1D_1$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
13	7.510	7.520	7.638	7.630	0.741	0.745	0.119	$A_1B_1C_2D_2$
14	7.515	7.515	7.638	7.632	0.831	0.775	0.120	$A_1B_1C_2D_2$
均值	7.512	7.516	7.616	7.615	0.920	0.914	0.101	
最小值	7.502	7.510	7.550	7.565	0.67	0.674	0.040	
最大值	7.520	7.525	7.780	7.79	1.341	1.366	0.270	

其他组合,相应磨削功率曲线(如图4所示)与参数 $A_1B_1C_2D_2$ 功率变化曲线图(如图5所示)相比较,其功率曲线平稳磨削,磨削的质量也明显优于后者。本研究依据圆度检验结果确定 $A_1B_1C_2D_2$ 参数组合磨削效果较好,确定选用该组磨削参数和功率参考上线。

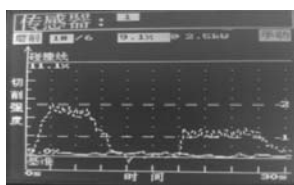
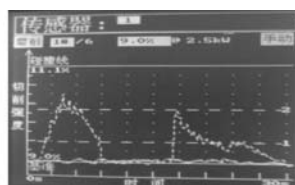


图4 磨削功率曲线

图5 参数 $A_1B_1C_2D_2$ 功率变化曲线

3 结束语

本研究构建了基于功率检测技术的磨削实时监控系統,通过采用检测磨床砂轮主轴功率的方法,实现了对磨削过程的实时监控。通过采用监控磨削过程及修正磨削工艺,得出了试件的磨削工艺优化参数和功率监控参考线。同时结合功率波形曲线对实验数据分析,确定了实验条件下的磨削参数和控制参考线,实现了从实时磨削过程上对磨削质量和磨削效率的监控。

通过磨削实验,首先,笔者确定了优化的小孔内圆磨削参数,提高了磨削质量;其次,通过磨削自动对刀、碰撞保护功能的实现,提高了磨削过程的自动化程度。

(上接第548页)

2个声道长度的不确定度分别从0.029%增加到0.031%,0.024%增加到0.025%;2个声道角因子的不确定度分别从0.028%增加到0.029%,0.023%增加到0.024%。从而得到仅考虑重复度的几何尺寸总的不确定度为0.067%,相比考虑测量工具误差和相关性后几何尺寸总的不确定度为0.070%。实际过程中测量工具和测量相关性是会带入误差的,有考虑计算的必要性。

4 结束语

本研究以已设计的超声波流量计样机为基础,进行了几何尺寸的标定。研究表明,该方法可以提高干标的准确度。

综合以上分析结果可知,在仅考虑测量重复度的基础上,考虑测量工具和测量相关性使超声波流量计几何尺寸标定的相对误差变大,因此,实际工程中进行流量计几何尺寸标定时,为提高标定准确度研究者需要考虑测量工具和测量相关性的影响。并且该方法在后续研究中需要得到实际验证。

参考文献(References):

- [1] 鲍敏. 影响气体超声波流量计计量精度的主要因素研究[D]. 杭州:浙江大学机械工程学系,2004.

监控系统的实时反馈磨削状态保证了小孔内圆磨床加工精度的稳定和效率,对提高磨削过程的稳定性及磨削效率有很大帮助。

参考文献(References):

- [1] 沙杰,蔡干,曹志中. 中小孔磨削高精度内圆磨床设计[J]. 制造技术与机床,2005(2):29-31.
- [2] 翁德玮,邵华,王海丽. 多传感器刀具状态监控系统[J]. 机械制造,2004,42(6):11-14.
- [3] 张凯,彭龔,罗春彬. 基于MSP430的机床功率监控系统设计[J]. 机械工程与自动化,2010(1):77-78.
- [4] 储晓承. 开放式CNC机床加工过程状态监测技术研究[D]. 南京:南京航空航天大学机械电子工程学院,2011.
- [5] 陈庄,刘飞. 一种功率传感型内圆磨削加工的自适应控制策略[J]. 重庆大学学报:自然科学版,1997,20(3):1-7.
- [6] 鲁险峰. 磨削过程状态信息与产品质量信息融合技术研究[D]. 北京:北京工业大学机械工程学院,2009.
- [7] 初秀民,万剑,吴青. 基于HCS08单片机的多路功率监控系统设计[J]. 武汉理工大学学报,2009,31(2):223-226.
- [8] 石向宇,张敏霞. 轴承内圆磨床单片机控制系统[J]. 青岛建筑工程学院学报,2001,22(1):43-45.
- [9] 吴剑峰,沙杰. 基于人机界面的高精度数控内圆磨床伺服系统构成与控制[J]. 机电工程技术,2009,38(10):50-51,74.
- [10] 杜云海,马东晓. 内圆磨削参数优化的模拟计算分析[J]. 河南科学,1994,12(1):56-60.

[编辑:张翔]

- [2] 赵毅. 气体超声波流量计在天然气流量计量中的应用研究[J]. 化学工程与装备,2010(3):62-65.
- [3] LANSING J. Benefits of Flow Calibrating Ultrasonic Meters [C]. AGA Operations Conference,2002,Chicago,2002.
- [4] 王铭学. 基于DSP的超声波气体流量测量系统的研究[D]. 杭州:浙江大学信息科学与工程学院,2008.
- [5] 李跃忠. 多声道超声波气体流量测量关键技术研究[D]. 武汉:华中科技大学控制科学与工程系,2009.
- [6] 柯飞. 超声波流量计的结构是影响其性能的关键要素[J]. 国外油田工程,1999(6):36-39.
- [7] DRENTHE J G, BOER G D. The manufacturing of ultrasonic gas flow meters[J]. Flow Measurement and Instrumentation,2001(1):89-99.
- [8] British Standards Institute Staff. Measurement of fluid flow in closed conduits—Methods using transit-time ultrasonic flowmeters[M]. BSI Standards,1999.
- [9] 倪育才. 实用测量不确定度评定[M]. 北京:中国计量出版社,2009.
- [10] 程杰,李福成. 浅谈超声波流量计的使用[J]. 现代制造技术与装备,2012(4):42.
- [11] 王卓. 一个关于测量不确定度相关性示例的探讨[J]. 计量技术,2012,21(9):66-68.

[编辑:张翔]