

电火花磨刀机床的电机控制系统设计与实现

刘学文¹, 刘 傲²

(1. 中国航空工业集团公司洛阳电光设备研究所, 河南 洛阳 471009;

2. 北京航空航天大学 电子信息工程学院, 北京 100191)

摘 要: 根据电火花加工原理, 采用单片机形式, 设计了一种电火花磨刀机床的电机控制系统。介绍了采样电路、磨刀电机变频调速电路和磨刀速度控制电路等硬件电路设计和系统软件设计, 并对控制系统进行了功能和性能测试。测试结果表明: 该电机控制系统能够满足磨刀机床对超硬材料的磨削加工要求。

关键词: 磨刀电机; 磨刀机床; 电火花; 控制系统

中图分类号: TM 301.2 文献标志码: A 文章编号: 1673-6540(2020)02-0076-04

doi: 10.12177/emca.2019.152

Design and Realization of Motor Control System for Electric Spark Sharpening Machine Tools

LIU Xuewen¹, LIU Ao²

(1. Luoyang Institute of Electro-Optical Equipment, AVIC, Luoyang 471009, China;

2. College of Electronic and Information Engineering, Beihang University, Beijing 100191, China)

Abstract: According to the principle of electric spark processing, a motor control system for electric spark sharpening machine tools is designed by using single chip microcomputer. The hardware circuits including sampling circuit, variable frequency speed regulation circuit of sharpening motor and sharpening speed control circuit, and system software design are introduced. The function and performance of the control system are tested. The test results show that the motor control system can meet the requirements of the sharpening machine tools for the grinding of superhard materials.

Key words: sharpening motor; sharpening machine tools; electric spark; control system

0 引 言

电火花加工是在一定介质中, 利用阴极和阳极(工具电极与工件电极)之间脉冲性火花放电时的电腐蚀现象对材料进行加工, 以达到一定形状、尺寸和表面粗糙度等要求的加工方法^[1-2]。根据工具与工件相对运动的特点和用途不同, 电火花加工分为电火花成形、电火花线切割、电火花磨削和电火花展成加工等^[3]。电火花磨刀机床是采用电火花加工机理, 完成对金属刀具的磨削, 属于小型自动化专用加工设备。

刀具是机械制造中用于切削加工的工具, 常用的刀具有车刀、铣刀、孔加工刀具和螺纹刀具等。刀具在使用过程中出现钝化现象后, 需要进行重新修磨, 修磨方式为金刚石砂轮机械磨削和电火花放电磨削等^[4]。对于超硬材料刀具, 如聚晶金刚石刀具, 因为硬度与金刚石砂轮硬度相近, 所以用砂轮磨削耗时长、效率低、成本高。电火花放电磨削则是利用火花放电时产生的瞬时高温, 使材料中的金属熔化、部分金刚石石墨化、部分金刚石脱落而实现磨削去除。因此, 电火花放电磨削几乎不受工件硬度的影响, 适用于磨削超硬材

收稿日期: 2019-11-02; 收到修改稿日期: 2019-12-21

作者简介: 刘学文(1968—), 男, 硕士, 高级工程师, 研究方向为计算机应用和电机控制与应用。

料刀具。

刀具刀刃根据形状可以分为弧线段和直线段,与电火花线切割对曲线的处理方法类似,因此本文以线切割加工为基础,以电火花放电为机理,采用单片机开发了一套电火花磨刀机床伺服电机和磨刀电机的控制系统,通过将编制好的程序载入单片机,根据火花放电情况实时控制磨刀机床的磨刀速度,短路时实时回退,避免被磨刀刃与磨刀电机发生触碰而损坏刀刃或电机。

1 电机控制系统方案

电火花磨刀机床的组成示意图如图 1 所示。

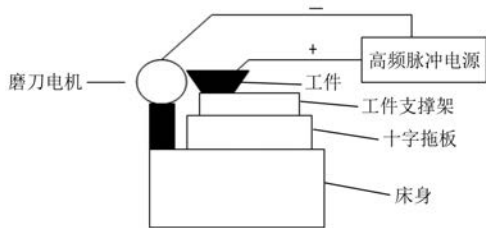


图 1 电火花磨刀机床组成示意图

工件接高频脉冲电源的正极并由拖板带动在水平和垂直方向上作直线运动;砂轮为铜制金属砂轮并接高频脉冲电源的负极;中心轴与磨刀电机的输出轴直接连接;磨刀电机带动砂轮高速旋转,速度由变频器进行调节;高频脉冲电源产生加工所需的高频电脉冲信号。

在磨刀机床的拖板上通过加装不同的运动轴系即可实现磨刀机床的多轴联动。

磨刀机床的电机控制系统框图如图 2 所示。

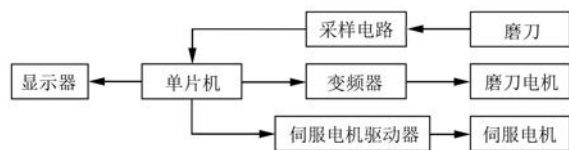


图 2 磨刀机床的电机控制系统框图

控制系统采用单片机、变频器、伺服电机驱动器和显示器融合的方案进行设计。单片机对火花放电信号进行采样,通过采样分析产生快慢脉冲信号通过伺服电机驱动器控制伺服电机转速,即通过调节机床拖板移动速度来调节磨刀的速度^[5]。单片机通过变化变频器参数调节磨刀电机速度,以实现砂轮的转速控制,加工过程中的状态信息和参数通过显示器实时显示^[6]。

单片机采用 STC89C52,是一种低功耗、抗干扰性强的性能 8 位单片机,片内含有 8 k Flash 程序存储器,512 Byte 的 RAM 和 1 k E²PROM,时钟频率高达 80 MHz,支持 IAP 在应用编程和软件 ISP 在系统编程。

2 硬件设计

2.1 采样电路设计

采样电路原理图如图 3 所示。

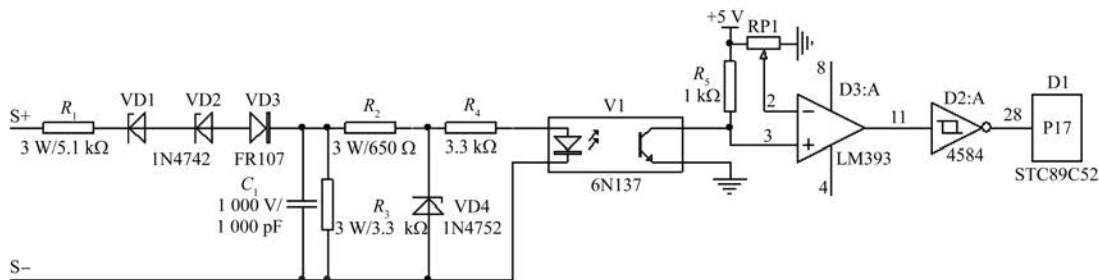


图 3 采样电路原理图

图 3 中,火花放电信号 S+、S- 经过电阻 R_1 、 R_2 、 R_4 限流,稳压管 VD1、VD2 降压,电阻 R_3 分压,稳压管 VD4 稳压后,正常情况下,高频高压脉冲信号变为幅值,为稳压管 VD4 电压的低压脉冲信号,该脉冲经过光耦 V1 隔离输出,与比较器 D3 设定的电压比较后再通过反向器 D2 将波形整形后输出到单片机的 P17 端。若出现短路等异常

情况时,VD4 两端的电压将低于其稳定的电压,则光耦不导通或不完全导通,P17 端的高/低电压由单片机进行采样处理。

2.2 磨刀电机速度调节电路设计

磨刀电机采用三相异步电机,速度通过变频器进行调节。在磨刀过程中,单片机通过 RS485 接口与变频器进行通信,完成对磨刀电机的速度

调控。

磨刀电机速度调节电路图如图 4 所示。

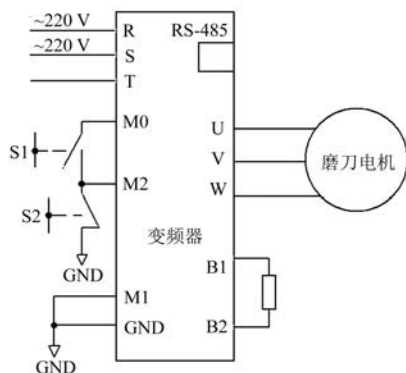


图 4 磨刀电机速度调节电路图

图 4 中, B1 与 B2 之间的电阻为刹车电阻, 当按下磨刀电机开起按钮 S1 后, 变频器多功能输入端子 M1 与信号 GND 接通, 磨刀电机开始运转; 当按下磨刀电机关闭按钮 S2 后, 变频器多功能输入端子 M2 与信号 GND 断开, 磨刀电机停止运转。

2.3 磨刀速度控制电路设计

磨刀速度控制电路是由单片机、伺服电机驱动器和伺服电机组成的闭环自动控制系统电路, 如图 5 所示。

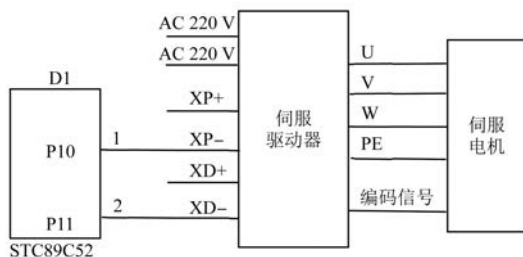


图 5 磨刀速度控制电路图

伺服电机控制方式采用脉冲和方向信号进行控制, 电机内部转子是永磁铁, 驱动器控制的 U、V、W 三相电形成电磁场, 转子在该电磁场的作用下转动, 同时电机自带的编码器反馈信号给驱动器, 驱动器根据反馈值与目标值进行比较, 调整转子转动的角度。

单片机向伺服电机驱动器发送高电平/低电平的方向信号和脉冲信号, 控制伺服电机的转向和转速。伺服电机驱动器的信号连接方式采用共阳极形式, XP+ 和 XD+ 端接电源, 脉冲信号接 XP- 端, 方向信号接 XD- 端。驱动器接收到脉冲信号

后, 驱动伺服电机旋转一个脉冲对应的角度, 同时伺服电机向驱动器反馈对应的编码脉冲信号, 驱动器的脉冲信号频率与伺服电机的转速成正比, 伺服电机通过机床上的丝杠带动拖板作水平和垂直方向的直线运动, 因此单片机通过控制发送脉冲信号的个数就能够实现对磨刀机床的速度控制。

3 软件设计

电火花磨刀机床在工作过程中, 磨刀电机与被磨的金属材料(如刀具等)工件之间的火花放电情况经过采样电路转换为脉冲信号输入到单片机的 P17 端; 单片机先对高频脉冲电源发出的有效高频脉冲信号即脉宽信号进行采样, 再在规定的时间内对 P17 端的脉冲信号进行采样; 根据采集到的 P17 端的信号状态控制机床伺服电机的进给加工速度或回退速度, 完成刀具的磨刀过程。加工软件程序流程图如图 6 所示。

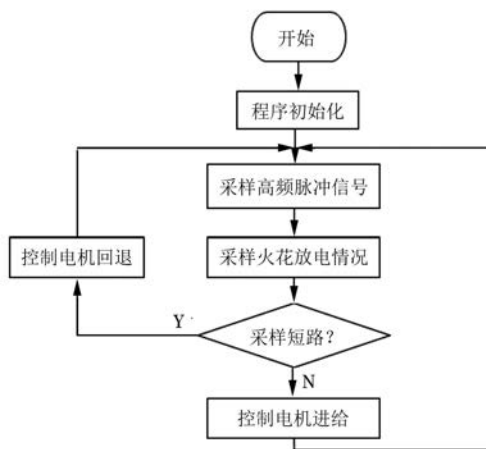


图 6 加工软件程序流程图

4 应用测试

电机控制系统设计完成后, 在电火花磨刀机床上进行功能和性能试验与测试。各项试验的方法和条件如表 1 所示。该机床使用伺服电机驱动, 变频器调速磨刀电机, 高频脉冲电源参数如脉宽、脉间、电流挡数等参数可以人工设定, 也可以在磨刀过程中通过单片机进行调整, 满足多次重复研磨的要求, 高频脉冲电源电压可以选择不同挡位, 电压最高为 500 V。具体的测试过程描述如下。

表 1 电机控制系统应用测试结果

试验内容	试验方法与条件	结果
同步试验 1	示波器观察采样电路 D3:3 的脉冲变化和 S+、S- 的变化情况	变化同步
同步试验 2	示波器观察单片机 D1:8 的脉冲变化和比较器 D3:3 与 D3:2 电压比较后的脉冲变化情况	变化同步
失步试验	示波器监测伺服电机驱动器的 XP- 和 XD- 信号, 用千分表检测机床托板的运动	不失步
直线圆弧试验	分别进行直线段和圆弧段加工	加工正常
短路回退试验	加工过程中, 短接信号 S+ 与 S-	回退正常
多次加工试验	第一次: 高频电压 300 V, 脉宽 20 μ s, 脉间 200 μ s。第二次: 高频电压 200 V, 脉宽 10 μ s, 脉间 90 μ s。第三次: 高频电压 100 V, 脉宽 5 μ s, 脉间 40 μ s	正常加工
超硬材料试验	高频电压 400 V, 脉宽 40 μ s, 脉间 360 μ s	正常加工

(1) 用示波器 1 监测火花放电过程中高频电压脉冲信号 S+、S- 的变化情况。

(2) 同步试验 1。用示波器 2 检测采样电路的光耦 V1 输出, 即比较器 D3:3 脚电压和脉冲变化与 S+、S- 的变化是否同步。

(3) 同步试验 2。用示波器 2 检测单片机 D1:8 脚的脉冲变化是否与比较器 D3:3 和 D3:2 电压比较后的脉冲变化一致。

(4) 失步试验。用示波器 2 监测伺服电机驱动器的脉冲信号 XP- 和方向信号 XD- 的变化, 用千分表观察机床托板的运动变化, 观察是否存在失步现象。

(5) 直线圆弧试验。分别编制直线段和圆弧段程序, 观察加工过程是否正常。

(6) 短路回退试验。在磨刀过程中, 短接高频电压脉冲信号 S+、S-, 观察是否正常回退加工。

(7) 多次加工试验。多次加工是对同一个工件进行多次加工, 通过编程设置每次加工的参数如高频电压、脉间、脉宽、电流挡数和磨刀电机速

度等后, 观察多次加工过程是否正常, 每次重复时相应的高频电压、脉间、脉宽、磨刀电机速度等参数变化是否与设定的参数一致。磨刀电机的速度变化与变频器显示是否一致, 多次加工的次数通常设置不超过 3 次。

(8) 超硬材料试验。脉冲电源电压选择 400~500 V 挡位及合适的脉间、脉宽、电流挡数等参数, 观察对金刚石刀具磨刀的过程是否正常, 是否频繁出现短路回退, 如频繁出现短路回退则表明对超硬材料的研磨不理想。

电机控制系统应用测试结果如表 1 所示。试验结果表明, 该控制系统满足正常加工、短路回退、多次加工和超硬材料加工等基本功能, 证明系统软硬件设计可行。

5 结 语

从硬件、软件和试验测试等方面介绍了电火花磨刀机床伺服电机和磨刀电机的控制系统设计, 用伺服电机实现磨刀机床的移动速度控制, 用单片机与变频器之间的串行通信实现磨刀电机的速度控制和调节。测试结果表明该电机控制系统满足加工要求, 软硬件电路对其他电火花加工设备的控制系统设计有一定的参考和借鉴作用。

【参考文献】

- [1] 曹凤国. 电火花加工[M]. 北京: 化学工业出版社, 2014.
- [2] 刘志东, 高长水. 电火花加工工艺及应用[M]. 北京: 国防工业出版社, 2011.
- [3] 李明辉, 杨晓欣. 数控电火花线切割加工工艺及应用[M]. 北京: 国防工业出版社, 2010.
- [4] 贾志新, 张亚洲, 高坚强. PCD 刀具电火花线切割磨削机床的研制[J]. 电加工与模具, 2017(增刊 1): 56.
- [5] 向晓汉, 宋昕. 变频器与步进/伺服驱动技术完全精通教程[M]. 北京: 化学工业出版社, 2015.
- [6] 李华, 孙晓民, 李红青, 等. MCS-51 系列单片机实用接口技术[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2010.