

高精度等分齿形全自动线切割加工系统设计*

杨继森 万文略 高忠华 陈锡侯 郑方燕 王先全
(重庆理工大学机械检测技术与装备教育部工程研究中心,重庆 400050)

摘要 针对时栅传感器的产品开发,设计了一套高精度等分齿形全自动线切割加工系统,该系统采用了基于时栅传感器的高精度空心分度转台作为分度机构,对加工过程中钼丝的磨损进行了自动测量,并将测量结果反馈回线切割机控制系统进行补偿,以实现高精度全自动线切割加工的目的。实际应用表明,该系统加工精度高、成本低,大大提高了生产效率。并且该系统也可以用于类似需要高精度分度线切割加工的场所。

关键词 时栅 等分齿形 线切割机 补偿

Design of High Precision WEDM Automatic Machining System for Equally Divided Tooth

YANG Jisen, WAN Wenlve, GAO Zhonghua, CHEN Xihou, ZHENG Fangyan, WANG Xianquan
(Engineering Research Center of Mechanical Testing Technology and Equipment,
Ministry of Education, Chongqing University of Technology, Chongqing 400050, CHN)

Abstract : To develop the time grating sensor, one high precision WEDM automatic machining system for equally divided tooth is presented. In the machining system, the high precision hollow indexing table is used to index based on time grating angular sensor, and the wearing of electrode - wire is measured automatically and the measuring data is transferred to the WEDM control system as error compensation. The applications conforms that the machining precision of the system is high and the cost is low, and the production efficiency is greatly improved. And it also shows that the system can be used in such fields as high precision indexing machining.

Keywords : Time - grating ; Equally Divided Tooth ; WEDM ; Compensation

时栅角位移传感器采用类似于交流电动机的结构形式产生匀速的旋转磁场来完成“以时间测空间”^[1]。因此,需要加工如图1中所示的定子励磁线圈。它实际上是一个内齿环,对等分性有很高的要求。为了保证匀速旋转磁场的稳定性和均匀性,通常采用提高励磁绕组对极的方案,目前高精度的时栅传感器已经提高到了120对极(720槽)。原采用传统的线切割机中走丝工艺进行加工,但普通的线切割机没有配备分度工作台,通常依靠线切割机工作台在 $X-Y$ 方向进行插补逼近算法完成,加工出的零件分度精度不高,

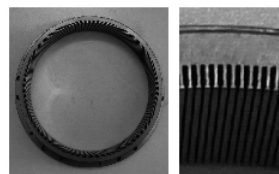


图1 时栅传感器定子线圈

达数十角秒,且效率很低、成本很高。为此,在国产普通线切割机上,加上自制的分度转台和钼丝测量系统构成一个新型的全自动线切割加工系统,是一个简单而有效的加工方案。

1 高精度空心转台

线切割机使用方式比较灵活,可用于加工各种表面形状比较复杂的零件。线切割机工作台走 $X、Y$ 直线精度虽高,圆分度却不是它的强项,而自制的时栅角位移传感器却能够实现高精度的圆分度测量,精度达到 $\pm 1.2''$ 。因此,设计了一台高精度的圆分度转台置于机床工作台上,机床只需走 $X-Y$ 直线坐标,加工完一个齿后即退出。靠分度转台转动一个预定角度 β 后,再加工第二个齿。于是内齿环工件的分度精度取

* 国家自然科学基金资助项目(50575235,50975304)

决于分度转台的精度。

$$\beta = \frac{360^\circ}{Z} \quad (1)$$

式中 Z 为总的内齿数。

在该加工方案中有一个技术难题,如图 2 所示,如果采用普通的分度转台,台面是实心的,支撑工件的小立柱在转动的过程中必然和机床的下钼丝臂发生干涉。早期的生产过程中,曾采用多个小立柱支撑工件,当转动过程中快发生碰撞时,就停下来取下该立柱,然后继续加工;当绕下钼丝臂后再装上。这种做法不仅效率低下(采用 4 个小立柱支撑,至少要拆装四次小立柱),而且在拆装立柱的过程中极易发生工件移位,致使工件精度丧失而报废。

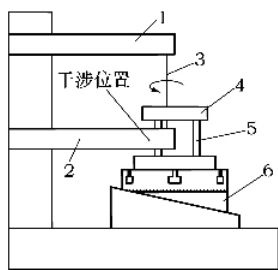


图2 普通实心分度转台工作示意图

采用空心分度转台后的加工如图 3 所示。此时下钼丝臂置于整个分度转台之下,大立柱支撑分度转台,转台本身不动,只是工作台带动工件作分度转动。钼丝自上而下穿过工件和转台中心,小立柱支撑工件转动,整个加工过程中再不会发生下钼丝臂与立柱的干涉现象。自行研发的空心分度转台采用了中空的轴系和自制时栅角位移传感器。其中时栅传感器精度达到 $\pm 1.2''$,空心分度转台的分度精度达到 $\pm 2''$ 非常适合完成类似的高精度分度线

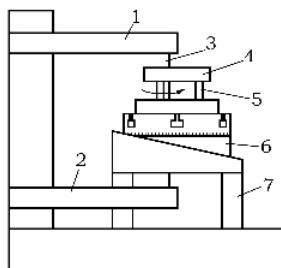


图3 自制空心分度转台工作示意图

切割加工。

2 钼丝自动测量与补偿

2.1 钼丝直径测量

线切割机工作原理是将电极丝(钼丝)置于电源负极,加工工件置于电源正极。当极间施加脉冲电压时,钼丝与工件之间的电解液将会放电,瞬时高温将使工件剥离与汽化,达到加工目的。长时间的使用将导致钼丝的磨损(变细),那么加工最后一个齿的齿槽就会比第一个齿的齿槽小(尽管分度是精确的)。工件齿越多、工件越厚(或同时重叠加工的工件越多)、钼丝越旧,这种现象越严重^[2]。据实测,用一根直径为 0.18 mm 的钼丝开始加工,加工到最后一个齿时,直径只有约 0.14 mm。

为了实现高精度线切割加工,应该对钼丝的磨损进行有效的补偿,所设计的钼丝自动测量机构如图 4 所示,主要由数显千分尺和两套电动机执行机械构成。在加工完一个齿后的自动分度定位期间,驱动电动机驱动测量装置移动到适当位置,测量电动机驱动千分尺测出当前钼丝的直径。测量千分尺采用的是容栅式数显千分尺,输出为二进制串行数据,通过单片机 I/O 接口模拟其串行通信协议可以接收其输出的测量数据^[3]。根据实测接收到的测量数据,误差小于 $1 \mu\text{m}$,能够满足使用要求。

2.2 钼丝直径补偿

为了使钼丝中心的加工轨迹反映出切割零件的轮廓,加工时必须有一定的间隙补偿,补偿原理如图 5 所示。

间隙补偿的准确与否将会直接影响加工尺寸精度,放电间隙与工件材料、结构、钼丝张紧情况、走丝速度、运行状态、工作液种类、供液情况和清洁程度、脉冲电源电参数等因素有关,一般通过用和待加工零件相同尺寸、相同材料的试切工件,相同加工条件(相同切

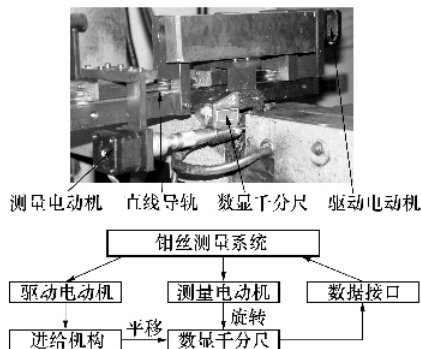


图4 钼丝测量机构

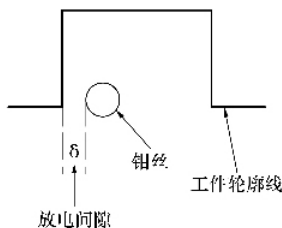


图5 间隙补偿原理

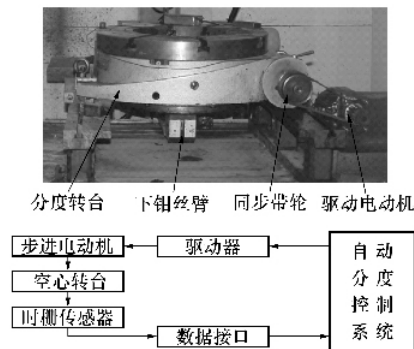


图6 自动分度控制系统

割速度、相同切割电流等)试切后,根据试切工件加工后的尺寸进行计算所得^[4]。间隙补偿量为

$$\Delta f = \delta + r \quad (2)$$

式中 δ 为放电间隙,经过试切后确定为 0.009 mm; r 为钼丝半径,在加工过程中通过钼丝测量系统进行实时测量,并反馈到线切割机控制系统进行补偿。

3 自动分度控制

时栅空心分度转台采用步进电动机作为驱动装置。该步进电动机为两相混合式步进电动机,驱动最大静转矩 6.0 N·m,最大空载启动转速 240 r/min,步距角为 1.8°。分度转台的转动是采用蜗轮与蜗杆啮合传动(蜗轮与蜗杆的传动比 1:180),为了保证传动的平稳性,步进电动机与分度转台的蜗杆采用传动比为 1:2 的同步带轮传动。步进电动机的细分驱动器能够实现最高 200 倍的脉冲细分,即步进电动机驱动器输出的驱动脉冲的当量为

$$\Delta P = \frac{P}{Z_1 \times Z_2 \times Z_3} = 0.000\ 025^\circ (0.09'') \quad (3)$$

式中: P 为步进电动机步距角; Z_1 为驱动器的细分倍数; Z_2 为同步带轮的传动比; Z_3 为蜗轮与蜗杆的传动比。

安装到空心分度转台中的时栅角位移传感器能够随着分度转台一起转动,并实时地测量出分度转台的转动角位移,自动分度控制系统利用角位移传感器实时测量出的分度转台转动的角位移数据作为反馈,构成闭环控制,以达到高精度分度定位的目的。

由于步进电动机启动转速较低,如果以要求的高速直接启动,会因速度超过极限启动频率而发生堵转或根本不能启动。电动机转动到目标位置时如果采取突然停机的方式停止,则会因系统的惯性而出现过冲现象^[5]。为了更加平稳地控制电动机,对电动机的驱动采用三段式速度控制,分为加速段、匀速段和减速段,如图 6 所示。

4 系统控制

选用国产 KB-3000 线切割机床,全系统控制框图如图 7 所示。整个控制系统是由自动分度控制系统、钼丝自动测量与补偿系统和线切割机控制系统构成。系统以自动分度控制系统的分度状态信息作为反馈数据,构成系统闭环控制,以实现全自动高精度内齿线切割加工。

自动分度控制系统通过隔离接口采样线切割机控制系统的工作状态数据,并进行判断,当判断结果为

“加工完成”后,自动分度控制系统根据预先设定的分度参数驱动分度转台转动到下一个加工位置。由于钼丝磨损是一个缓慢变化的过程,因此没有必要每加工完一个齿就进行补偿,可以在加工完多个齿后进行一次补偿。本系统设定为加工完 5 个齿后进行一次补偿,自动分度控制系统对加工过程进行统计,每加工完 5 个齿,向钼丝测量系统发送“启动测量”命令,控制接口在接收到自动分度系统反馈的“分度完成”信息后,并且在接收到钼丝测量系统发送的补偿数据后,向线切割机控制系统发送“分度完成”信息和补偿数据,线切割机控制系统根据补偿参数确定该位置的线切割加工参数,然后驱动走丝机构进行线切割加工。加工完成后将工作状态数据反馈给自动分度控制系统,重复上述过程,直到完成所有线切割加工任务为止,加工系统的工作现场如图 8 所示。

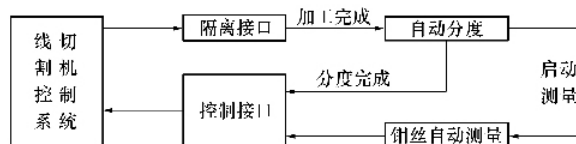


图7 全系统控制结构



图8 改造完毕的全自动线切割机加工系统

5 结语

经过改造后的线切割机床如图 8 所示。上置分度转台即为自行研制的空心转台。整个加工过程实现了全自动化:按预定程序完成全部自动进丝、退丝;自动分度定位;钼丝自动测量;全部加工过程无需人工干预,工效比原来提高 20 多倍,分度精度基本上复现了转台的分度精度,约为 $\pm 2.5''$ 。齿槽宽度的偏差则控制在 0.01 mm 以内,全面实现预定指标,加工出的 720 槽的励磁线圈如图 1 所示。该系统不仅可以用于时栅传感器励磁线圈的加工,而且可以用于类似需要高精度分度线切割加工的场所,加工精度高,生产效率将大大提高。

参 考 文 献

铁路车辆用大螺栓除锈生产线的设计

牛金霞^① 白连杰^②

(^①青海大学机械系,青海 西宁 810016 ;^②青海华鼎重型机床公司,青海 西宁 810000)

摘要 针对铁路车辆大螺栓的除锈要求,设计出高效、低劳动强度的大螺栓除锈生产线。该生产线主要由浸泡、运输、除锈、清洗以及吹风等工序组成。将已锈蚀的一组大螺栓浸泡在液态溶液中,浸泡一段时间后将其运转至除锈池中,在螺栓的旋转过程中利用除锈池中的毛刷将螺栓上的锈蚀去除,再将螺栓转至清洗池中洗去残留的除锈液,最后用压力风将螺栓吹冲干净,完成整个工艺流程。

关键词 浸泡 除锈 清洗 吹风

The Design For Railway King - bolts ' Removing Rust Line

NIU Jinxia^① ,BAI lianjie^②

(^①Mechanical Engineering Department , Qinghai University , Xining 810016 , CHN ;

^②QHHD Heavy - duty Machine Tool Co. , Ltd. , Xining 810000 , CHN)

Abstract : About the technology of removing rust for the king - bolts , this paper designed the high efficient and low labor intensity removing rust line , which is composed of main five processes , such as soaking , transporting , removing rust , cleaning , and blowing - dry . The first step of the line is to put the king - bolt into liquid to soak . The second step is to remove the rust after soaking for a while , because in the removing rust pond , there are removing rust liquid and brush , which are used to remove the corrosion of rotating king - bolt . The third step is to clean the residual removing rust liquid in the clean pond . Last step is to blow - dry the king - bolt by the pressure wind , then the whole line is completed .

Keywords : Soaking ; Removing Rust ; Cleaning ; Blowing - dry

铁路车辆中所使用的大螺栓,公称直径 M60 mm,全长 865 mm,重量 20 kg,经过一段时间使用后就会在表面产生锈蚀,可除锈后再次使用。因此大螺栓的除锈是铁路车辆段上的一项长期工作。但除锈工作生产现状是采用人工方法,将大螺栓靠在旋转的钢丝刷上,人为地旋转工件来进行抛光除锈处理。由于工件重,人工操作劳动强度大,锈尘大,对环境和人体健康不利,并且是单件生产,效率低,大螺栓外圆表面坑纹明显。为改变这种落后工艺,我们设计了大螺栓除锈生产线降低了工人的劳动强度,不会造成环境污染和人

员伤害,并且是多件生产,提高了生产效率,大大降低螺栓的磨损度,符合现代化生产要求。

1 大螺栓除锈生产线的总体设计

1.1 生产线的工序安排

提出大螺栓的除锈生产线,就得改变过去的手工作坊式工作方法,以降低工人劳动强度和提高效率为前提进行工序安排。把由人员直接在抛光砂轮机上对大螺栓进行除锈改为机械自动化加工,其工序安排如下:浸泡—除锈—清洗共三步,工序之间的转换实现自

- [1] 彭东林,张兴红,刘小康,等. 基于时空转换的精密位移测量新方法与传统方法的比较[J]. 仪器仪表学报,2006,27(4):423-426.
- [2] 蹇玲. 线切割加工中间隙补偿值的确定[J]. 机械工程,2009(1):23-24.
- [3] 马黎明. 电动直移式数显千分尺[J]. 机械工程师,2004(12):67-68.
- [4] 任福君,姜永成. 大厚度复杂曲面线切割丝损在线检测及补偿[J]. 机械工程学报,2008,44(6):237-242.
- [5] 王勇,王伟,杨文涛. 步进电机升降速曲线控制系统设计及其应

[J]. 控制工程,2008,15(5):576-579.

第一作者:杨继森,男,1977年生,讲师,博士,主要从事计算机辅助测量与智能传感器研究。

(编辑 余捷)

(收稿日期 2010-04-02)

文章编号:10818

如果您想发表对本文的看法,请将文章编号填入读者意见调查表中的相应位置。