

多工位同步加工电火花线切割机床研制*

苏国康^{1,2}, 李海成¹, 林莉³, 李俊飞¹, 张永俊^{1,2}

(1. 广东工业大学机电与工程学院, 广州 510006;
2. 广州市非传统制造技术及装备重点实验室, 广州 510006;
3. 广东巨轮模具股份有限公司, 揭阳 515500)

[摘要] 在民用和军工领域存在许多环状工件需要分块切割,但现有电火花线切割加工方法效率低、内应力大,通过发明、制造了一种圆形多工位同步加工的电火花线切割机床,采用一根电极丝在机床不同位置,对环状工件同步进行径向切割。介绍了机床总体结构设计、电源研制、控制系统开发,并通过工艺试验验证了机床的可行性。

关键词: 电火花线切割加工(WEDM); 环状工件; 分块加工; 同步切割; 机床

Development of Multi-Station Synchronous Wire Cut Electrical Discharge Machining (WEDM) Machine

SU Guokang^{1,2}, LI Haicheng¹, LIN Li³, LI Junfei¹, ZHANG Yongjun^{1,2}

(1. School of Electromechanical Engineering, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510006, China;
2. Guangzhou Key Laboratory of Nontraditional Machining and Equipment, Guangzhou 510006, China;
3. Guangdong Dreatoo Molds Co., Ltd., Jieyang 515500, China)

[ABSTRACT] In the field of civil and military industry, there are many annular parts that need to be cut into several blocks, but the existing wire cut electrical discharge machining (WEDM) methods have problems of low efficiency and high internal stress. In this paper, a circular multi-station synchronous WEDM machine tool is invented and manufactured, in which an electrode wire is used to cut the annular parts synchronously in different positions of the machine tool. In this paper, the overall structure design, the development of power supply and control system are introduced, and the preliminary process experiments are carried out, which prove the feasibility of machine tools.

Keywords: Wire cut electrical discharge machining (WEDM); Annular part; Block process; Synchronized cutting; Machine tool

DOI:10.16080/j.issn1671-833x.2020.17.098

目前对轮胎模具和发动机中环状零件的分块切割是将环状工件架空布置在专用线切割机床的圆形工作台上,机床的卷丝筒连同丝架布置在圆形工作台外的直线运动平台上。切割前上下丝架沿径向进入圆形工作台,上臂在工件上方,下臂在架空的工件下方。切割时,丝架和卷丝筒向外运动,丝架上下臂间的钼丝自内向外切割环状工件,切割好之后,工件旋转一个位置,进行下一条槽的切割^[1]。由于是一条槽顺序切割,不仅环形工件内应力分布不均匀,产生变形,而且加工效率极低,切割时间长达3~15d。另外,改进的方式为采用两套丝架和卷丝筒直线运动平台,对称布置在圆形工作台两侧对环状工件同时进行切割^[2],但该方法占地面积大、成

* 基金项目: 国家自然科学基金面上项目(51275098)。

本高,而且在切割民品工件轮胎模具花纹圈时,如果需要避开花纹,需要移动机床转一个角度切割,极不方便。为此本文创新发明了一种多槽同步加工电火花线切割机床,可以用一根电极丝,通过精心设计的走丝路径,在环状工件的多个位置同步进行径向切割,提高加工效率的同时,最大程度地减小内应力分布不均,而且机床占地面积小,调整切割位置方便。

1 机床结构设计

对于环状工件分块切割,要提高加工效率、减少内应力,理想方式是采用多工位同步切割。

1.1 总体方案设计

普通的线切割机床卷丝筒、丝架静止,工件随X、Y工

作台做运动。专用的环形工件线切割机床,由于工件太重,工件不进给仅可旋转,卷丝筒、丝架直线运动进行切割,通过工件旋转,可以对花纹圈不同位置进行切割,也就是一条槽顺序切割。本文提出全新的方案,工件、卷丝筒固定,多个独立丝架沿径向布置在圆形工作台的不同位置上并可沿径向运动,其运动部件比较见表1。本文介绍的多槽同步线切割加工机床通过特殊的走丝路径设计,钼丝依次通过各个丝架,丝架运动带动上下臂之间的钼丝对工作台上工件不同部位自内向外同步进行切割,如图1所示。图2为一个典型的环状工件—轮胎模具花纹圈。

根据工作台面大小,设计4个丝架,每个丝架下端导轨都固定在一块可以绕圆形工作台中心旋转的底板上,通过微旋转底板带动丝架旋转,可以避免某处不允许切割到的部分,可以进行不等分切割,每个丝架均可

表1 几种线切割机床直线运动部件比较

Table 1 Comparison of linear moving parts of several linear cutting machine tools

工艺名称	丝架	卷丝筒	工件
常规线切割	不运动	不运动	运动
专用线切割	运动	运动	不运动
本文线切割	运动	不运动	不运动

注:此处运动仅指直线运动,不含转动。

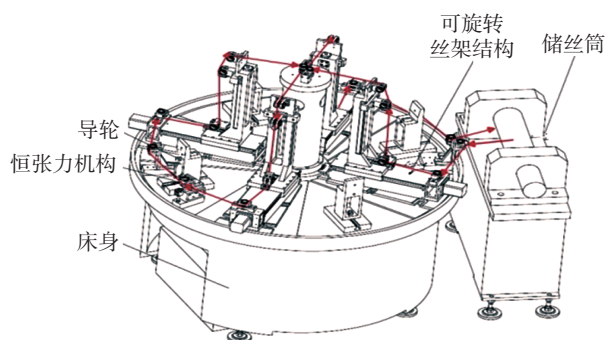


图1 多槽同步电火花线切割加工机床

Fig.1 Multi-slot synchronous edm wire-cutting machine



图2 典型环状工件—轮胎模具花纹圈

Fig.2 Typical ring workpiece—tire mold pattern ring

沿固定在底板上的导轨做径向运动。

1.2 工作台设计

根据工件形状,工作台设计为圆形,不仅工件置于其上,而且多个丝架也在工作台上径向分布,与此对照,现有的环状工件线切割机床工作台仅安放工件,丝架布置在圆形工作台之外,占地面积大,而且一次仅能切割一条槽。

工作台上靠近外圆周部分,在丝架之间,设计有多个工件支撑块,用于将环状工件托起,架空在圆形工作台台面上,丝架的上、下臂可以分别深入工件上、下方,丝架上、下臂之间垂直状态的钼丝对模具进行自内向外的径向切割。工件可以在支撑块上绕工作台中心旋转,变换位置继续进行多槽同步切割,根据需要可切割为8块、16块不等。

工作台中心设计有一根空心钢管,上端面封闭作为一个小支撑面,布置有转向导轮,用于引导钼丝从一个丝架转向到相邻丝架。同时,电源线、工作液管均从空心钢管侧面引出到各丝架。

1.3 丝架设计

丝架结构如图3所示,其固定在下方一块可绕工作台中心旋转的底板上,底板上沿工作台径向安装有导轨,丝架下臂实际上就是丝架底座,固定在底板导轨滑块上。丝架上有3个导轮,下臂、上臂和顶端各一个。不同于一般线切割机床上下臂等长,这里的下臂比上臂长一个导轮直径的距离,钼丝是以内公切线的方式经过上下臂导轮。上臂可以调节高度以适应不同高度工件的切割,顶端导轮固定,高度不变,上臂高度变化不影响顶端导轮引导钼丝进入工作台中心钢管上端面转向导轮。

1.4 张紧机构设计

由于多槽线切割加工机床走丝路径长、转折多,如图4所示,导致钼丝振动强,塑性拉伸变形量大,极易从导轮槽中跳出,也即“跳槽”,因此张紧机构显得尤为重

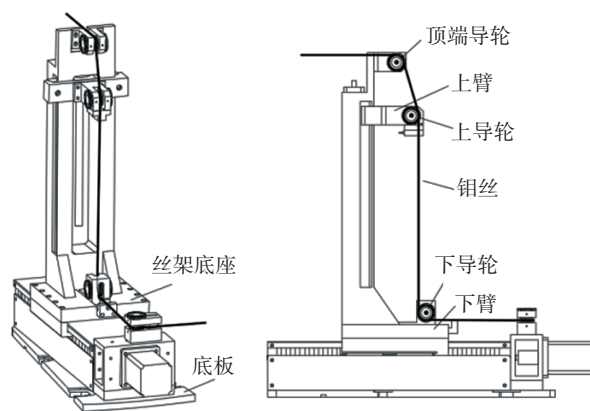


图3 丝架

Fig.3 Wire rack

要。参照目前快走丝线切割机床常采用重力式和弹簧式恒张力控制系统^[3],机床在钼丝进出卷丝筒的位置、工位2、工位4附近设置了弹簧张紧机构。图4-5为进、出卷丝筒位置的张紧机构;图6为工位2、4位置的张紧机构。

2 电源设计

目前研究电火花线切割脉冲电源的研究很多,侧重点不同,如无电解电源、节能电源^[4]等。本文重点关注的是高效、低成本满足多工位同步加工需求的电源。理论上讲可采用一台电源对4个工位同时供电,假设一个工位放电峰值电流10A,则4个工位为40A,大电流对场效应管要求高,影响场效应管寿命。如果采用4台电源为4个工位分别供电,则成本高、不紧凑。

为了减轻场效应管负担、减少电源体积,同时考虑到现有电火花线切割脉冲电源占空比一般在1/3~1/8之间,超过100mm厚度,一般<1/4。因此设计了四路分时输出脉冲电源,其放电周期如图7所示。可见,对于占空比1/4的脉冲电源来说,由于3/4的时间属于闲置时间,因此完全可以在全周期时间给各工位分时供电,同时并不影响各工位本身的加工效率。

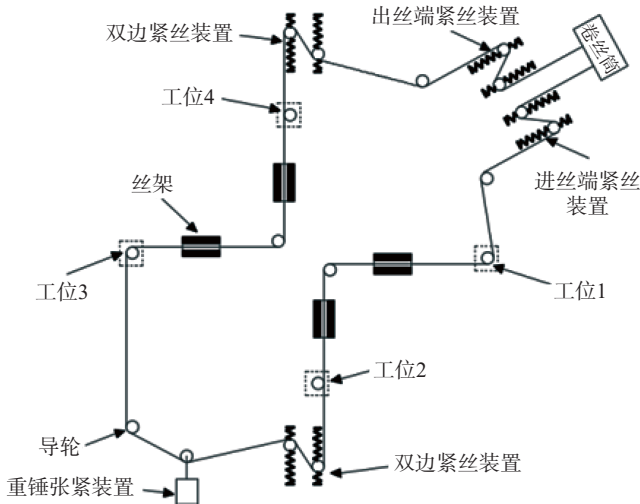


图4 走丝路线及张紧装置布置

Fig.4 Silk route and tensioning arrangement

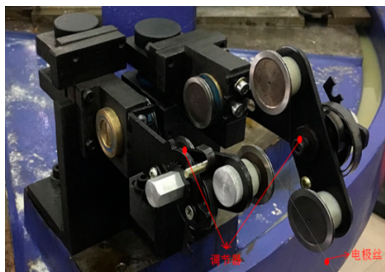


图5 进出卷丝筒位置张紧器

Fig.5 Position tensioner for inlet and outlet silk reel

假设脉冲周期100 μ s,占空比20%,将一个放电周期划分为:1~20 μ s给第1个工位供电,25~45 μ s给第2个工位供电,50~70 μ s给第3个工位供电,75~95 μ s给第4个工位供电,接下来又一个循环。从电路设计上考虑,每两个脉冲之间有一个相位差,并存在一个“死区时间”,保证在某一个时刻只有一个工位在放电加工。分时输出电源加工如图8所示,四路输出的正负极分别接在4个工位工件上与对应导电块。

电源采用逆变+斩波方式,具有体积小、输出稳定、调压精准的优点。脉冲电源主要由主电路、斩波电路、检测电路、辅助电源和电源控制系统这5部分组成,其模块组成如图9所示。

市电输入通过主电路的整流-逆变-整流,输出0~120V、峰值电流为10A的可调直流电压;STM32F103单片机发送斩波信号,四路斩波模块把直流稳压电源的电压斩成四路脉冲电压,每路脉冲电压分别接到每个工位上;加工期间,电压检测模块实时采集每个工位的加工电压,反馈到伺服运动控制系统;伺服运动控制系统根据预先设定PID算法实时调节进给速度,使有效放电脉冲比例最优化。

3 控制系统设计

电火花线切割控制系统包括运动控制和伺服控制,这里的运动控制仅为直线运动,重点是伺服控制。日本

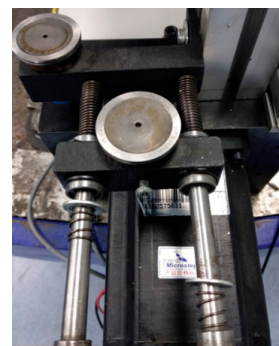


图6 工位2、4位置张紧器

Fig.6 Position 2 and 4 tensioner

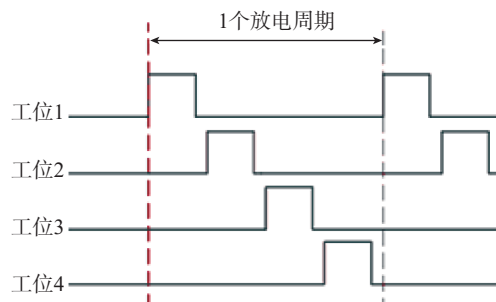


图7 放电示意图

Fig.7 Schematic diagram of discharge

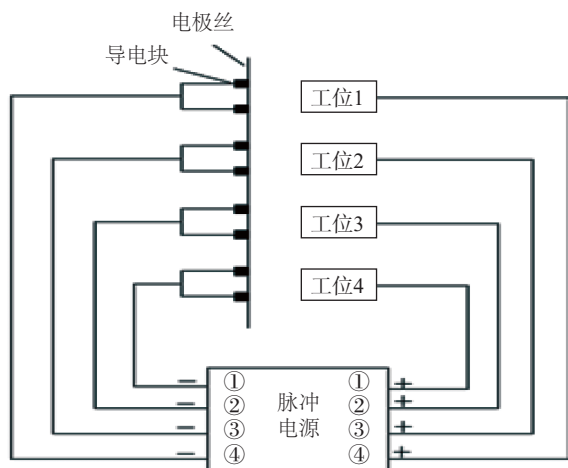


图8 分时输出脉冲电源组成图

Fig.8 Composition diagram of time-sharing output pulse power supply

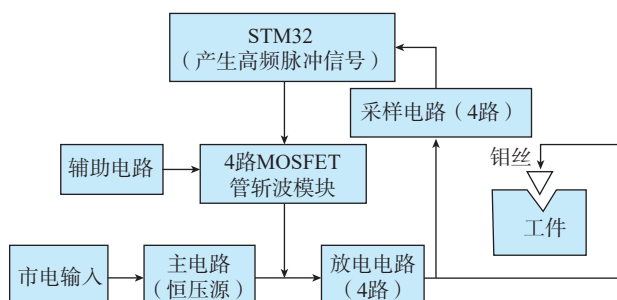


图9 脉冲电源模块组成图

Fig.9 Composition diagram of pulse power supply module

Kunieda 等^[5]研究了高精度加工伺服控制方法,台湾国立大学 Yan 等^[6]研究了模糊控制、自适应控制在线切割加工中的应用,均取得了一定的效果。但在这里由于是用一根钼丝对一个工件的不同位置同步进行加工,因此各工位之间电信号相互干扰,一种方案是将目前普通机床的控制系统应用于多槽线切割机床中,但由于不可能全部工位放电状态都一致,只要有一个工位放电状态不正常,例如间隙过小,此时全部丝架均需停止进给或后退,因为无法判断是哪一个工位加工不正常,这显然会大幅降低加工效率。理想的方案应该是能将4个工位信号进行解耦,各丝架可以单独进行伺服控制,目前还仅是进行了常规伺服控制系统设计,解耦伺服控制还在继续。

4 初步工艺试验

为验证机床结构的合理性、电源和控制系统功能,进行了初步验证试验。结果表明:无论是单一丝架分别运动,还是2个、3个或4个丝架同步运动,丝架均运动顺畅,同时钼丝运行平稳,完全实现了原有的设计目标。实际测量张紧机构对加工的影响,结果表明,在其他条

件不变的情况下,采用张紧机构后钼丝跳动较没有采用张紧机构明显减小,用0.18mm的钼丝加工,槽宽分别为0.21mm和0.24mm,同时实际加工中也没有出现张紧前钼丝频繁“跳槽”的现象。

采用常规的伺服控制系统、分时输出电源进行了初步试验,取得了非常好的效果。双槽同步加工效率较单槽提高1.8~2倍;同时槽宽的均匀性显著提高,误差在10 μ m内,与之对比采用单路输出电源同时给两个工位供电,槽宽误差高出数倍;采用分时输出,加工过程稳定,而单路输出同时给双工位供电,短路明显增多。因此采用多路输出分时供电,对后续进一步的控制系统设计将带来巨大的好处。

5 结论

发明研制了一种全新的多槽同步电火花线切割机床,用于环形零件的分块切割,经试验验证,机械结构完全达到预期目标,分时输出专用电源满足多槽切割要求,机床实现了多槽同步切割的构想,而且采用传统控制方式进行的双槽切割已经表现出了效率的大幅提升。后续将继续进行多工位同步切割的解耦控制研究,在加工效率和质量上实现更大的突破。

参考文献

- [1] 青岛申通机械有限公司. 轮胎活络模具线切割机床: 中国, CN201520565527.9[P]. 2016-01-13.
- [2] Qingdao Shentong Machinery Co., Ltd. Wire EDM machine tool for tire movable mould: China: CN201520565527.9[P]. 2016-01-13.
- [3] 苏州电加工机床研究所产品介绍[EB/OL].[2017-01-10]. http://www.jc35.com/st225053/product_1400064.html.
- [4] Product introduction of Suzhou Electrical Machining Machine Tool Research Institute[EB/OL].[2017-01-10]. http://www.jc35.com/st225053/product_1400064.html.
- [5] 张志勇. 往复走丝电火花线切割机床电极丝恒张力控制研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2014.
- [6] ZHANG Zhiyong. Study on the constant tension control of electrode wire in reciprocating wire edm machine[D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2014.
- [7] 黄瑞宁, 李毅, 刘晓飞. 节能型电火花加工脉冲电源的研究[J]. 中国机械工程, 2016, 27(18): 2520-2523.
- [8] HUANG Ruining, LI Yi, LIU Xiaofei. Research on energy saving EDM pulse power supply[J]. China Mechanical Engineering, 2016, 27(18): 2520-2523.
- [9] KUNIEDA M, FURUDATE C. High precision finish cutting by dry WEDM[J]. CIRP Annals, 2001, 50(1): 121-124.
- [10] YAN M T, LIAO Y S. Adaptive control of the WEDM process using the fuzzy control strategy[J]. Journal of Manufacturing Systems, 1998, 17(4): 263-274.

通讯作者: 张永俊, 教授、博士, 主要从事特种加工工艺及装备研究, E-mail:yjzhang@gdut.edu.cn.

(责编 古京)