

# 管坯冷定心孔电火花加工系统设计与工艺研究

张 芸, 潘 跃, 侯建国\*

(杭州浙大精益机电技术工程有限公司, 浙江 杭州 310030)

**摘要:**针对消除轧管过程中“铁耳子”的管坯冷定心孔加工问题,提出了一种基于碳弧气刨技术、弧压反馈控制技术和交流伺服技术的解决方法,即管坯冷定心孔电火花加工工艺,给出了 EDMCD 的具体工艺参数,并完成了系统设计。该方法利用铁碳电极间高温电弧快速钻孔,以实时弧压检测反馈的交流伺服控制策略实现具体加工工艺。研究结果表明,该加工工艺可以有效地提高不同材质管坯冷定心孔的加工效率和表面质量,较好地解决“铁耳子”问题。目前,该系统已成功应用于生产实际,并实现了钢坯后端冷定心孔的在线加工。

**关键词:**管坯冷定心;碳弧气刨;电火花加工;弧压反馈;伺服控制

中图分类号:TH16;TP273

文献标识码:A

文章编号:1001-4551(2010)09-0061-04

## System design and study on extraction process of EDMCD on tube billet

ZHANG Yun, PAN Yue, HOU Jiang-guo

(Hangzhou zhejiang University Jingyi Electromechanical Technology Engineering Co. Ltd., Hangzhou 310030, China)

**Abstract:** Aiming at solving the cold centering problem “leftover” of tube billet in tube rolling process, an extraction process called “electrical discharge machining central drilling (EDMCD)” was introduced, in which the technologies of carbon arc air gouging, the arc voltage feedback control and AC servo drive control was integrated, while the specific parameters of EDMCD on tube billet was analyzed and system design was accomplished based on the process mentioned above. High temperature arc between iron-carbon electrodes was used to bore central holes rapidly and AC servo control with real-time arc voltage detection feedback strategy was utilized to implement the EDMCD process. The results indicate that the method can significantly improve the drilling efficiency and surface quality of central holes of different materials and successfully help solve the “leftover” problem. Right now, the device has been widely applied in actual production and achieves online cold centering drilling on tube billet backend.

**Key words:** tube billet centering machining; carbon arc air gouging; electrical discharge machining(EDM); arc voltage feedback AC servo control

## 0 引 言

管坯穿轧后的“铁耳子”现象严重影响着轧制后成品管的质量和轧辊的使用寿命。“铁耳子”是指管坯在穿孔机穿轧成毛管后,在毛管后端形成的一个圆圈状铁屑。这种“铁耳子”脱落后一方面会使穿孔机换辊困难,另一方面会被轧辊压入成品管表面从而形成结疤。因此,从“铁耳子”现象的形成机理出发,研究消除管坯“铁耳子”的工艺和方法显得十分的必要。

根据具体管坯穿孔工艺分析,“铁耳子”现象是在管坯穿轧即将结束时出现的。如图 1 所示,当穿孔机芯棒头接近管坯底部而又尚未穿透时,管坯底部由于壁厚减薄会形成了一个向后端突出的“鼓包”;这个“鼓包”在穿管完成后仍然黏附在毛管表面,就成为管坯后端的“铁耳子”。

针对“铁耳子”形成机理,国内外进行了不少相关的消除工艺研究。试验结果表明,在管坯后端面中心预先加工浅孔来消除“铁耳子”是有效的<sup>[1-2]</sup>。目前,

收稿日期:2010-02-25

作者简介:张 芸(1967-),女,浙江平湖,主要从事工业控制及机电产品设计方面的研究. E-mail: Zhangyun5566@163.com

通信联系人:侯建国,男,高级工程师. E-mail: houjg128@163.com

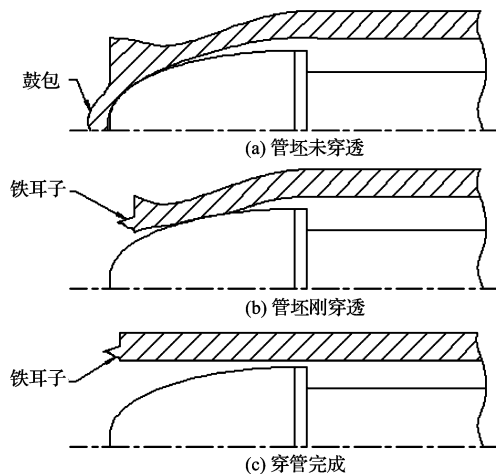


图 1 管坯穿孔过程“铁耳朵”形成示意图

在管坯后端面中心加工浅孔的主要工艺方法有钻削加工和气切割两种。其中钻削加工的优点是孔的尺寸和形状精度容易控制,加工质量好,缺点是工序较多,效率较低,成本高;气切割的优点是孔的生产效率高,缺点是孔的加工质量由工人的技术决定,加工的一致性差,孔的质量得不到保障。

因此,本研究基于碳弧气刨技术和交流伺服控制技术,提出一种新的适合于硬质材料加工的管坯后端面中心浅孔加工工艺<sup>[3]</sup>,即管坯冷定心孔电火花加工工艺。该工艺设计的系统实际运行结果表明,该浅孔加工工艺可以适应不同材质的管坯,且具有较好的孔加工效果。

## 1 管坯冷定心孔电火花加工系统设计

根据实际生产需要,管坯冷定心孔加工系统具体工艺要求如下:

- (1) 适应不同规格、材质管坯加工需要;
- (2) 加工孔外径:30 mm ~ 50 mm;
- (3) 加工孔深度:30 mm ~ 50 mm;
- (4) 孔加工进给速度:0 ~ 200 mm/s;
- (5) 电弧短路保护与处理。

依据上述要求,实际加工系统(如图 2 所示)主要由夹持机构、偏心机构、旋转机构、工进机构、升降机构、电弧回路等组成。其中夹持机构由夹持气缸和电极上、下颚组成,主要完成碳棒的夹持功能;偏心机构由一副曲柄连杆机构组成,调节曲柄长度就可以达到碳棒不同偏心(0 ~ 10 mm)程度旋转,实现不同加工孔外径;旋转机构由旋转电机和减速机组成,夹持机构和偏心机构都装在旋转机构的外伸轴上;工进机构由伺服电机、传动丝杆和安装旋转机构的台面组成,负责驱动其上部的机构,实现碳棒的前进与后退;升降机构由

减速电机和两组螺旋升降机支撑的升降台组成,用于调整碳棒高度,以适应不同尺寸、不同规格管坯定心的需要;电弧回路由弧焊电源、碳棒(正极)和管坯(负极)组成。

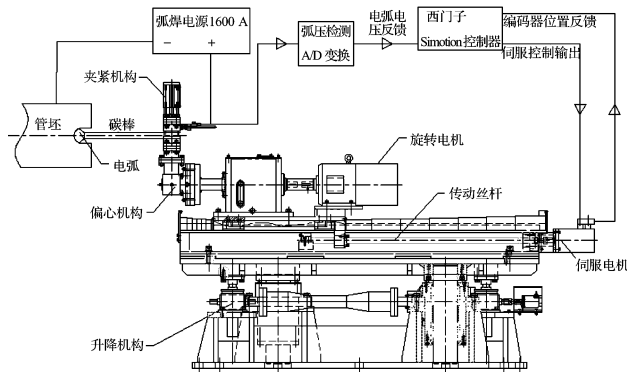


图 2 系统组成图

## 2 系统控制单元设计

### 2.1 基于弧压反馈的系统控制策略

管坯冷定心孔在电火花加工过程中的关键问题是保持工作电弧稳定,即必须采取有效的控制方法实现 Fe-C 电弧可靠地引弧和稳弧<sup>[4]</sup>,防止在加工过程中的电弧短路。因此,基于埋弧焊弧压反馈的变速送丝原理<sup>[5-7]</sup>,本研究设计了如图 3 所示的电弧电压反馈控制策略。

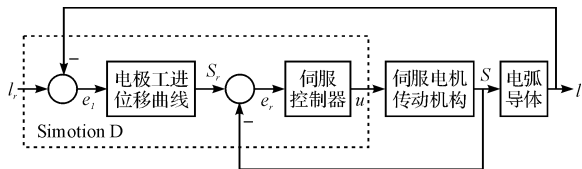


图 3 电弧电压反馈控制策略

$l_r$ —指令电弧电压(电弧长度); $e_l$ —弧长偏差;  
 $S_r$ —指令电极位置; $e_r$ —电极位置偏差; $u$ —伺服控制器输出; $S$ —实际电极位置; $l$ —实际电弧电压

根据如图 3 所示的控制策略,可以实现电弧的稳定工作,其实现原理为:当电弧长度减小,则电弧电压减小,控制器可以通过调整电极工进位移曲线减小工进速度,从而恢复指令电弧长度;当电弧发生短路时,即电弧电压低于 10 V 时,控制器可以通过调整电极工进位移曲线使电极返回,从而防止了碳棒与管坯的碰撞断裂。

### 2.2 系统主要电气元件选用

根据实际运行控制需要,在本研究中,工进伺服电机选用集成编码器的西门子 1FK 系列的 0.82 kW 交

流伺服电机;整机的控制核心单元采用西门子 Simotion D425 多轴伺服控制器<sup>[8-10]</sup>;电弧电压的检测采用高速 A/D 模块,其精度 10 位,转换速度 10 ms;用于产生电弧的弧焊电源选用 1 600 A 埋弧焊焊接电源<sup>[11]</sup>;电极采用直径 21 mm 的表面镀铜碳棒;旋转电机采用 1.1 kW 三相交流变频电机。

### 3 冷定心孔加工工艺参数研究

#### 3.1 加工工艺参数分析

为了研究具体加工过程中影响加工孔外径与深度的工艺参数,本研究对 21 mm 碳棒电极进行了相关的孔加工实验。

首先,笔者研究了不同加工进给速度  $v$  和偏心距离  $\delta$  对加工孔外径  $r$  的影响。实验条件为:  $v = 2\text{ mm/s} \sim 10\text{ mm/s}$ ,  $\delta = 0, 5\text{ mm}, 10\text{ mm}$ , 实验结果如图 4 所示。实验结果表明:随着加工进给速度  $v$  的减小,加工孔的外径  $r$  会增大;随着碳棒偏心距离  $\delta$  的增大,加工孔的外径  $r$  会增大,但是增大值都小于偏心距离。

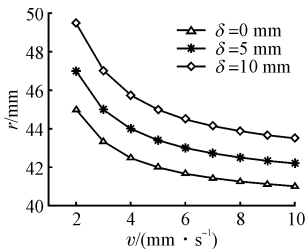


图 4 加工孔外径影响因素曲线

其次,笔者研究了不同加工进给速度  $v$  和加工时间  $t$  对加工孔深度  $h$  的影响。实验条件:  $v = 3\text{ mm/s}, 5\text{ mm/s}, 7\text{ mm/s}$ ,  $t = 2 \sim 6\text{ s}$ , 实验结果如图 5 所示。实验结果表明:随着加工进给速度  $v$  的增大,加工孔的深度  $h$  约成正比的增加;随着加工时间  $t$  的增大,加工孔的深度  $h$  成比例增加,加工孔的外径  $r$  会增大,但是外径  $r$  的增大值都小于偏心距离。

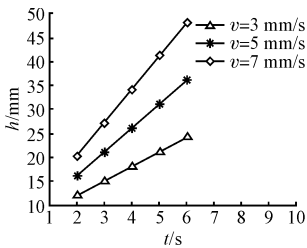


图 5 加工孔深度影响因素曲线

再次,笔者研究了不同管坯材质对孔加工弧焊电源特性的影响。实验条件:采用 45, 32Mn, 1Cr18Ni9, 进给速度  $v = 3\text{ mm/s}$ ,  $t = 5\text{ s}$ , 实验结果总结如表 1 所

示。实验结果表明:本研究提出的加工工艺可以适应不同材质管坯冷定心孔加工需要。

表 1 不同材质钢材加工电弧参数

|        | 45    | 32Mn  | 1Cr18Ni9 |
|--------|-------|-------|----------|
| 电源电流/A | 1 400 | 1 450 | 1 500    |
| 电弧电压/V | 50    | 48    | 45       |

#### 3.2 加工工艺参数总结

根据上述孔加工工艺实验的研究,笔者结合实际生产需要,对直径 16 mm, 19 mm, 21 mm 碳棒的情况分别进行了孔加工工艺总结,其结果如表 2 所示。

表 2 具体加工工艺参数

| $\Phi/\text{mm}$ | $h/\text{mm}$ | $v_m/(\text{mm/s})$ | $I/\text{A}$ | $U/\text{V}$ |
|------------------|---------------|---------------------|--------------|--------------|
| 16               | 16            | 13                  | 1 250        | 50           |
| 16               | 24            | 8                   | 1 250        | 50           |
| 19               | 16            | 11                  | 1 400        | 45           |
| 19               | 19            | 9                   | 1 400        | 45           |
| 19               | 29            | 5.5                 | 1 400        | 45           |
| 21               | 16            | 8                   | 1 500        | 40           |
| 21               | 29            | 5                   | 1 500        | 40           |

$\Phi$ —碳棒电极直径;  $h$ —加工孔深度;  $v_m$ —最大推荐的加工进给速度;  $I$ —电弧需要的电流;  $U$ —电弧稳态加工时的电弧电压

采用直径 21 mm 碳棒,进给速度 5 mm/s,进给时间 5 s 的实际孔加工效果如图 6 所示。效果表明,采用本研究提出的管坯冷定心孔加工工艺是可行的,而且是有效的。



图 6 管坯孔加工实验效果图

### 4 结束语

本研究利用碳弧气刨技术、弧压反馈控制技术和交流伺服技术,提出了一种消除“铁耳朵”问题的管坯冷定心孔电火花加工工艺。由高精度动态响应伺服控制器根据弧长偏差  $e_r$  变化,调整碳棒工进位移曲线及工进速度,恢复指令电弧长度  $l_r$ ,保持工作电弧的稳定;同时通过对不同加工工艺参数的样机实验,分析了影响工艺参数的因素,并得出了具体的符合实际生产需要的加工工艺参数表。

实验结果表明,该管坯冷定心孔电火花加工工艺有效地提高了不同材质管坯冷定心孔的加工效率和表面质量,但只适用于加工直径不大于 70 mm 的冷定心孔。下一步需对碳棒的工进运动曲线作进一步的研究,改进碳棒偏心机构,扩大可加工孔径范围。

#### 参考文献 (References):

- [1] 王晓丽. 消除穿孔机轧后铁耳子的研究[J]. 内蒙古科技与经济, 2006(8): 110 - 111.
- [2] 王元荪. 管坯双向热定心机[J]. 钢管, 2006, 35(4): 62.
- [3] MUTTAMARA A, FUKUZAWZ Y, MOHRI N. et al. Effect of electrode material on electrical discharge machining of alumina[J]. **Journal of Materials Processing Technology**, 2009, 20(9): 2545 - 2552.
- [4] 宣兆志, 蒋力培. 晶闸管式弧焊整流器稳定性研究[J]. 电焊机, 1991(4): 6 - 11.
- [5] 杨立军, 李致焕. 焊接变速送丝控制系统的计算机仿真[J]. 焊接技术, 1999(2): 20 - 22.

- [6] 李中友, 王光庆. 气体保护焊机送丝系统电动势反馈转速控制[J]. 山东机械, 2004(1): 22 - 24.
- [7] DAI J F, WANG Q, LI W X, et al. Parametric study for the preparation of aligned single-walled carbom nanotubes by anode-arc discharge method [J]. **Acta Metallurgica Sinica**, 2005(3): 261 - 268.
- [8] Siemens AG Automation and Drives. Siemens Simotion D4XX Commissioning and Installation Manual[M]. Siemens AG Automation and Drives, 2006.
- [9] Siemens AG Automation and Drives. Simotion Scout To axis electric/hydraulic, External encoder[M]. Siemens AG Automation and Drives, 2008.
- [10] XIAO Yong, ZHUA Kuan-yi, LIAW H C. Synchronization control of multi-axis motion systems [J]. **Control Engineering Practice**, 2005, 13(7): 809 - 819.
- [11] 杨文杰. 电弧焊设备与方法[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 2007.

[编辑: 柴福莉]

(上接第 48 页)

现, 以及探测器拍摄动作与 C 轴转动的协调配合。自动扫描过程的顺利实现, 就是要通过编写正确的 PLC 程序, 实现如图 3 所示的程序流程结构图。探测器的拍摄过程在 PC 上的控制通过对其软件的二次开发完成, 多次拍摄动作通过循环函数实现。在其循环体中, 添加了 SendMessage 消息驱动函数<sup>[12]</sup>。该函数发送一条消息给运动控制主程序。主程序在其消息响应函数中发送电机转动控制信息给 PLC。PLC 则根据该消息, 转动 1.8° 或 0.9°。通过上述消息驱动机制, 很好地实现了动作的协调性。

## 4 结束语

微型 CT 自动扫描系统以可编程控制器为核心, 通过伺服电机的伺服控制实现系统的机械动作, 使用计算机上位程序协调控制机械系统与透视成像系统。该实验设备实现了 4 个轴的控制, 精确定位关键轴的位置, 准确协调拍摄动作和机械转动, 大大提高了生物实验的效率, 自动化程度高, 操作界面友好, 易操作。

#### 参考文献 (References):

- [1] PAULUS M J. High-resolution X-ray CT screening of mutant mouse models[J]. **Proc. SPIE**, 2000(1): 270 - 279.
- [2] JOHNSON G A. Nuclear magnetic resonance imaging at microscopic resolution [J]. **J. Magn. Reson.**, 1986(68):

129 - 137.

- [3] CHENG W C. Micro CT-the new generation CT in 21 century [J]. **CT Theory and Applications**, 2000, 9 (Supplement): 138 - 141.
- [4] DING M. Accuracy of cancellous bone volume fraction measured by micro-CT scanning [J]. **J. Biomech.**, 1999(32): 323 - 326.
- [5] WANG G. Cone-beam reconstruction for micro-CT [J]. **IEEE Proc. Med. Imag.**, 2002(7): 384 - 387.
- [6] 王君明, 汤漾平, 冯清秀. 一种基于 PLC 的新型数控齿条插齿机[J]. 组合机床与自动化加工技术, 2005(1): 89 - 90, 92.
- [7] 陈建明. 电气控制与 PLC 应用[M]. 北京: 电子工业出版社, 2006.
- [8] 韩思亮, 汤建新, 马 皓. 基于串口服务器的 PLC 与上位 PC 机的远程通讯设计[J]. 电气自动化, 2005, 27(5): 48 - 50.
- [9] 姚道如, 汪功明. 变频器和 PLC 在注塑机节能改造中的应用[J]. 轻工机械, 2008(6): 59 - 61.
- [10] 郭慧静, 杨宗霄. 基于 PLC 的啤酒膜包机的送切膜控制系统改造[J]. 轻工机械, 2008(6): 62 - 64.
- [11] 陆叙林. X 射线防护的探讨[J]. 医疗卫生装备, 2005(9): 180.
- [12] 杨 亮, 阮晓星, 魏晋鹏. WINDOWS 消息驱动机制中的核心技术分析[J]. 计算机应用研究, 1997(5): 12 - 14.

[编辑: 柴福莉]