

doi: 10.3969/j.issn.1001-3849.2020.04.008

异形腔体电加工工艺实验研究

李 博^{1,2}, 黎云玉¹, 唐 霖², 范植坚²

(1. 西安工程大学 工程训练中心, 陕西 西安 710600; 2. 西安工业大学 机电工程学院, 陕西 西安 710021)

摘要: 闭式构件结构复杂, 材料多为高硬耐热合金, 用传统的机械刀具无法进行切削加工。电解加工对复杂腔体可一次成型, 加工效率高, 且工具电极无损耗。本文根据腔体特点, 前期采用电解加工, 通过对加工系统、工艺参数的分析对比和实验, 为后续电火花加工提供了良好的条件, 大大提高了零件的加工效率。

关键词: 腔体; 电解加工; 参数; 效率

中图分类号: TH164 **文献标识码:** A

Experimental Study on Electrochemical Machining Technology of Irregular Cavity

LI Bo^{1,2}, LI Yunyu¹, TANG Lin², FAN Zhijian²(1. Engineering Training Center, Xi'an Polytechnic University, Xi'an 710600, China;
2. School of Mechatronic Engineering, Xi'an Technological University, Xi'an 710021, China)

Abstract: The structure of closed components was complex, and the materials were mostly high-hardness and heat-resistant alloys, it is impossible to cut with traditional mechanical tools. The electrochemical machining could form complex cavity at one time with high processing efficiency and the tool electrodes was non-expendable. According to the characteristics of the cavity, electrochemical machining was adopted in the early stages, which provided a good condition for subsequent EDM and greatly improve the processing efficiency of parts through the analysis and comparison of the processing system and process parameters

Keywords: cavity; electrochemical machining; parameters; efficiency

闭式构件具有结构紧凑、体积小、质量轻、可靠性好等优点, 广泛应用于航空航天、武器装备等高端制造领域^[1-3], 目前欧洲国家在高性能涡轮发动机等技术研发过程中均采用闭式结构设计作为探究方向^[4]。但闭式构件的加工制造是世界各国遇到的难点问题, 闭式构件的加工方法主要有数控加

工、特种铸造、电火花加工等, 数控加工因零件腔体形状较复杂, 使得刀具可达性差且成本较高, 而特种铸造的零件精度很难满足实际生产的要求。单独采用电火花加工理论上可以实现, 但加工效率极其低下。

本文对于闭式构件加工主要采用电解电火花

收稿日期: 2019-07-16

修回日期: 2019-10-25

通讯作者: 李博, 男, 硕士, 工程师, 主要研究方向为机械设计制造、特种加工等, Email: 18710851578@163.com

基金项目: 陕西省特种加工重点实验室专项基金项目(2015SZSJ-61-6), 国家自然科学基金青年基金项目(51405365)

组合加工方法^[5-9],电火花加工为最后一道工序。因此,前期的电解加工则成为主要的加工手段。整个电解加工过程要受到机床控制系统和电源控制系统影响,故在整套系统稳定控制的基础上,设计出合理的加工工艺才能确保合格的加工质量^[10],本文对机床电解加工系统进行优化,并研究电解加工程序,力求提高工件的加工质量。

1 机床系统

1.1 机床主控

数控电解加工机床的结构示意图如图1所示,主要包括电源、控制柜、电解液系统、导电系统等。机床的主控系统采用工控机控制,负责整个电解加工过程中机床温度、电流、电解质工作压力等数值的采集,并根据腔体工艺要求,对进出口液体的工作压力、实时加工电流的大小、液体温度等参数进行调节控制。机床主控系统的控制器与数控系统一起完成整个电解加工过程的控制。

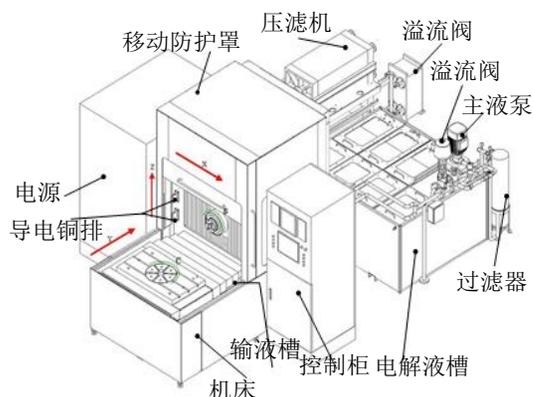


图1 数控电解加工机床结构示意图

Fig.1 Schematic illustration of CNC electrochemical machining machine

1.2 机床控制系统

机床的运动控制系统共有3种模式,但实际生产加工一般选用手动和自动模式。手动模式主要应用在加工前的准备阶段,而自动模式主要在数控编程代码的控制下自动进行。

电源控制系统由主控制器通过串行通讯与电源系统控制,在主控界面上可实现对加工电压与加工电流的控制。在主控制系统中通过控制界面对脉冲电源的电压、电流、频率、工作方式、占空比等

参数进行设置。

采用电流传感器对电流进行检测与控制,加工电流采集与控制过程示意图如图2所示。在主控制系统中实时检测电流,实时电流值可根据加工中的实际情况设定电流的阈值,当运行过程超过最大值时,电源供电系统自动切断,防止阴极烧伤。



图2 加工电流采集与控制过程

Fig.2 Schematic illustration of electricity acquisition and control process

电解液温度采集与控制过程如图3所示,温控系统电解液加热采用自动温度调节系统,可分别控制四个电解池的加热。主控制系统通过RS485接口与温控器进行通讯,电解液的温度通过传感器进行检测,测得温度通过串行口传送到主控制界面进行动态显示,各路控制器的温度也通过串行口进行设置。

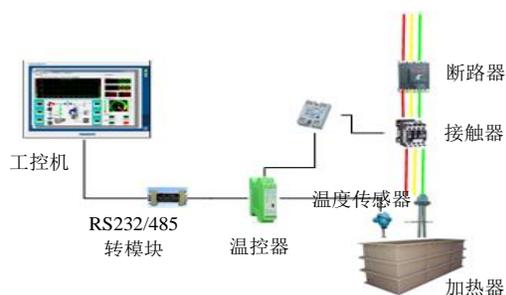


图3 电解液温度采集与控制过程

Fig.3 Schematic illustration of electrolyte temperature acquisition and control process

电解液远程控制系统在电解液输送系统中,由主控制界面对主泵进行控制,如图4所示。同时,在电解液系统中通过压力传感器对电解液管路中

的压力进行检测,电动阀可实现加工系统中电解液的输送与切断,电动调节阀对电解液系统的压力进行控制与自动调节。

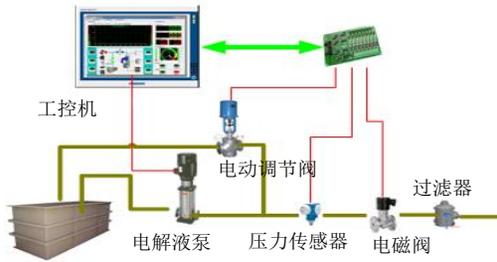


图4 电解液远程调节控制

Fig.4 Schematic illustration of electrolyte control process

1.3 电源

经过众多专家学者的探索研究,电解加工当把直流电源换为脉冲电源时,加工出零件的加工精度、表面粗糙度、加工效率明显的提高。因此对于本异形腔体,采用高频窄脉冲电源,具体参数为:额定脉冲功率 20 KHz、峰值电流 3000 A、额定电压 40 V、采样频率 1000次/min。

1.4 电解液系统

要确保电解加工过程的稳定进行,电解液压力、温度、流量必须保持恒定,并且电解液的浓度要基本不变。因此,整个系统中主泵、冷热交换器、加热装置、冷水泵、热水泵、螺杆泵、压滤机等设备装置必须相互协作,同时工作。电解加工完成后,蚀除产物与电解液一起回流至电解池中,由于液体中含有大量的杂物,杂物若自然沉淀进行排渣将造成大量的电解液浪费,所以本实验使用压滤机对电解液进行过滤。

2 工艺实验

2.1 工艺实验参数及程序

本实验所用电解设备系统包括数控电解加工机床、可调频电源、智能采集数据控制系统、电解液循环系统等,加工对象为闭式不锈钢构件。腔体工艺实验参数为:电解液为 16% NaNO₃和 2% NaClO₃水溶液、加工温度 32~37 ℃、压力 0.3~0.4 MPa、初始间隙 0.5 mm、加工电压 16 V、进给速度 0.6 mm/min。数控加工程序如下:

O0001;%程序段名称;

N10 G01 G91 Y62. F0.6;%Y 向进给 62 mm,进给速度 0.6 mm/min;

N20 G01 G91 Y-62. F20;%Y 负向回退 62 mm,回退速度 20 mm/min;

N30 M2;%程序段结束;

2.2 实验结果

首先将待加工的零件、上下骨架、正负电缆线、进出供液管及工装等各部分之间进行安装与调试,输入加工程序。在加工启动之前,必须先进行预先通液,确保电解液的压力及流量符合工艺条件要求,并检查是否有漏液的现象。另外,在电解蚀除的过程中,会产生大量的气体及热量,因此要保证良好的通风条件。检测系统对加工过程中的实时电压、实时电流、压力、实时温度进行监测并及时反馈,当发现异常报警时应当及时停止加工,以防阴极烧伤。还需注意的是,随着阴极的不断深入,电解电流会逐渐增大,因此电流的上限值需进行相应的上调。

电解加工过程数据记录如表 1 所示。可以看出,随着阴极的不断纵向深入,加工电流也不断变化。前期电流上升较慢,此时加工面积变化不大,电流相对平稳;后期部分电流上升较快,阴极已进入型面拷贝阶段,加工面积不断增大,电流迅速增大。

图 5 所示为完成腔体工艺实验的样件。经反复实验、测量、对比,加工电压为 16 V 时加工过程平稳。每个腔体加工时间约为 150 min,相对于电火花加工时间 30 h 相比大大缩短,整体加工效率大大提高。



图5 完成腔体加工的样件

Fig.5 Sample after electrochemical machining

表1 电解加工过程的数据

Table 1 Data of electrochemical machining process

| 进给量/mm | 电流/A | 压力/MPa | 电压/V | 温度/°C | 初始坐标/mm | 进给速度/(mm·min ⁻¹) |
|--------|------|--------|------|-------|---------|------------------------------|
| 1 | 62 | 0.45 | 12.0 | 35 | 80.387 | 0.7 |
| 2 | 64 | 0.45 | 12.0 | 35 | 80.387 | 0.7 |
| 3 | 66 | 0.46 | 12.0 | 35 | 80.387 | 0.7 |
| 4 | 69 | 0.45 | 12.0 | 35 | 80.387 | 0.7 |
| 5 | 71 | 0.48 | 12.0 | 35 | 80.387 | 0.7 |
| 6 | 74 | 0.47 | 12.0 | 35 | 80.387 | 0.7 |
| 7 | 76 | 0.47 | 12.0 | 35 | 80.387 | 0.7 |
| 8 | 78 | 0.48 | 13.6 | 35 | 80.387 | 0.7 |
| 9 | 80 | 0.49 | 13.7 | 35 | 80.387 | 0.7 |
| 10 | 85 | 0.48 | 13.7 | 35 | 80.387 | 0.7 |
| 11 | 89 | 0.48 | 13.8 | 35 | 80.387 | 0.7 |
| 12 | 93 | 0.48 | 13.9 | 35 | 80.387 | 0.7 |
| 13 | 97 | 0.48 | 14.0 | 35 | 80.387 | 0.7 |
| 14 | 100 | 0.47 | 14.0 | 35 | 80.387 | 0.7 |
| 15 | 103 | 0.46 | 14.0 | 35 | 80.387 | 0.7 |
| 16 | 104 | 0.46 | 14.0 | 35 | 80.387 | 0.7 |
| 17 | 106 | 0.45 | 14.0 | 35 | 80.387 | 0.7 |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |

3 数据分析及成型规律研究

电压对被加工零件的重复精度和表面光洁度影响很大,由于被加工零件的腔体深而窄,直接测量难度大,且测量数据不精确。采用超声波壁厚测量仪测量工件的加工间隙。在其它加工工艺参数不变的条件下,采用加工电压分别为14 V、15 V、16 V、17 V条件下对不锈钢试件试加工。不同电压下腔体的加工间隙如图6所示。从图6可知,在一定范围内,电压每升高1 V,加工间隙增大约0.031~0.057 mm。根据以下公式:

$$\Delta_b = \eta \omega k U_R / v_f \quad (1)$$

$$\Delta_s = \sqrt{2b\Delta_b + \Delta_b^2} \quad (2)$$

式中: Δ_b 为端面平衡间隙; η 为电流效率; ω 为体积电化当量; k 为电导率; U_R 为电解液欧姆压降; v_f 为阴极的进给速度; Δ_s 为侧面间隙, b 为抛光圈宽度。由上式可知,当电压提高时,端面平衡间隙与侧面平衡间隙增大,理论计算与实验结果相吻合。实验表明,当加工电压比较低时,所完成的加工面精度

高,工件的加工速度变的缓慢,加工间隙也随之变小,易导致短路烧伤阴极。通过测量分析,不锈钢材料最合适的加工电压为16 V。

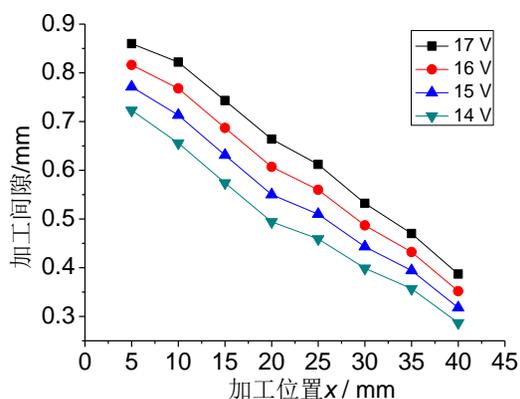


图6 不同位置的加工间隙

Fig.6 Machining gap at different location

4 结论

(1) 异形型腔内部结构复杂,在分析并确定机床系统的基础上,对电加工的加工参数进行了分析

比较,实验表明,工件最合适的加工电压为16 V。

(2)通过优化的工艺实验与原有加工方式进行分析对比,经计算,每个腔体的电解加工时间约为180 min,与原工厂所采用的单纯电火花加工耗时30 h相比,加工时间大大缩短,整个产品的加工效率显著提升。

参考文献

- [1] 范植坚,李新忠,王天诚. 电解加工与复合电解加工(第一版)[M].北京:国防工业出版社,2008.
- [2] 葛媛媛,徐家文. 基于Pro/E软件的电解加工夹具的参数化设计[J]. 宇航材料工艺,2006,3:60-63.
- [3] 康保印,范植坚,唐霖. 闭式整体构件涡道电解加工流场设计与分析[J].北京:兵工学报,2015,36(1),151-156.
- [4] 白基成,刘晋春,郭永丰. 特种加工(第6版)[M].北京:机械工业出版社,2014.
- [5] 朱树敏,陈远龙. 电化学加工技术[M].北京:化学工业出版社,2006.
- [6] 徐家文,云乃彰,严德荣. 数控电解加工整体叶盘的研究、应用和发展[J]. 航空制造技术,2003,6:31-34+72.
- [7] 刘发展. 电火花—电解组合加工工艺研究[D].南京:南京航空航天大学,2010.
- [8] Liu C, Xu J W, Zhao J S. Research of combined electrical machining of 3D-flow closed impeller II-numerically controlled electrochemical machining for pre-processing[J]. Hangkong Xuebao, 2010, 31(4): 871-876.
- [9] 陈远龙. 电解加工工艺参数数据库及电解加工基本工艺规律研究[D].合肥:合肥工业大学,2000.
- [10] 曹国强,刘江,李原吉. 基于正交实验的微电解加工高温合金的研究[J].天津工业大学学报,2013,32(5):61-63.