

闭式整体构件电解加工装置设计及有限元分析*

康保印¹, 唐霖²

(1. 浙江工业职业技术学院电气电子工程学院, 绍兴 312000;

2. 西安工业大学机电工程学院, 西安 710021)

[摘要] 有限元分析是一种求解数学、物理问题的数值计算方法,对复杂结构或多自由度系统的分析非常有效。针对闭式整体构件内流道电解加工导流装置的悬臂问题,在UG平台上设计了两套装置,并进行了有限元分析。依据仿真结果,装置B的强度和刚度均优于装置A,仿真结果为装置的选择提供了依据。将参数化建模与有限元分析结合,有效地缩短了产品的研制周期。

关键词: 有限元分析; 闭式整体构件; 电解加工; UG; 强度

Design and Finite Element Analysis of Electrolytic Machining Devices for Closed Integral Structure

KANG Baoyin¹, TANG Lin²

(1. Department of Electrical and Electronic Engineering, Zhejiang Industry Polytechnic College,

Shaoxing 312000, China;

2. School of Mechatronic Engineering, Xi'an Technological University, Xi'an 710021, China)

[ABSTRACT] The finite element analysis is a numerical method for solving mathematics and physics problems, which is very effective to analysis complex structures or multi-degree of freedom system. To solve the problem of cantilever beam in electrochemical machining (ECM) device for closed integral structure, two devices were designed and finite element analysis was done based on UG. The result shows the strength and stiffness of device B both better than device A, which offered the gist for choosing device. Finally, it is effective for shortening the development cycle to apply parameterized modeling and finite element analysis in ECM device for products.

Keywords: Finite element analysis; Closed integral structure; Electrochemical machining; UG; Strength

DOI:10.16080/j.issn1671-833x.2019.18.097

闭式整体构件材料一般具有强度高、硬度高、涡道双侧面封闭、形状复杂、刀具可达性差、常规的传统机械加工方法无法满足加工要求的特点^[1]。这里采用特种加工新技术方法,即数控电解-电火花组合加工^[2],它具有“以柔克刚”和“拷贝式成形”^[3]的加工特性。其中电解加工作为粗加工,去除大部分的加工余量,而电火花加工作为精加工。本文仅讨论电解加工部分。

电解加工的阴极和工装夹具一般需要专门设计,因阴极和工件之间的加工间隙之间通有一定压力和流速的电解液,电解液流过加工间隙时会产生反力,使工装夹具产生一定的变形。因此,阴极不仅要具有准确的型面和合理的进出液通道结构,还必须具有足够的

强度和刚性,以满足电解加工的加工工艺要求。本文设计了两套加工导流装置,基于UG软件对它们进行了有限元分析^[4]以及工艺试验,确定了较优装置结构及尺寸。

1 电解加工装置设计

加工对象如图1(a)所示,要在工件环形沟部位加工出10个均匀分布的变截面异形螺旋型槽,采用电解加工去除涡道大部分余量。由于涡道截面是逐渐变化的,加工时以最小截面处(这里简称喉部)为界,从内外两个方向分别加工^[5],本文仅分析内流道加工装置。

由于要在工件内腔加工出内流道,因而不可避免地出现悬臂结构,本文设计的是如图2所示的“Z”形导流装置^[6],杆一和机床主轴连接,杆二上端与供液导管连

* 基金项目: 总装备部“十二五”预先研究项目(62201070502); 陕西省特种加工重点实验室开放基金资助项目(2015SZSj-61-6)。

接。其中,阴极前端面(加工面)上开有许多出液小孔,非加工面涂有绝缘材料,防止杂散腐蚀,密封装置为绝缘材料(环氧树脂),上部开有出液孔。整个装置在UG软件上经过装配和运动仿真^[7],未出现干涉,并可实现预定进给运动和模拟加工。图3为根据设计制作的导流装置实物。

在加工前需校正安装,使杆四与机床的Y轴方向平行,由于杆四和杆三通过螺纹连接,拧紧后不能保证杆四与Y轴平行。实际安装过程是先拧紧杆四和杆三的螺纹,再将螺栓穿过杆二、杆三的长圆形螺栓穿过孔,百

分表随机床Y轴移动,表头在杆四母线上打表,旋转杆三的角度,使杆四与Y轴平行后,再拧紧4个螺栓螺母。由于4个螺母拧紧程度不均匀,容易使杆二和杆三连接时产生直线度误差,从而影响阴极的定位精度。

为避免装置A的上述缺点,这里设计了装置B如图4(b)所示(略去了杆一),将装置A中的杆二和杆三改为1根杆,以此提高竖直杆的刚性,也减小了竖直杆的直线度误差;装置B杆四与杆三通过定位面定位,减少了百分表打表环节;B装置将A中的杆四改为分体式结构,降低了杆四的加工难度。综上,装置B提高了安装定位精度。

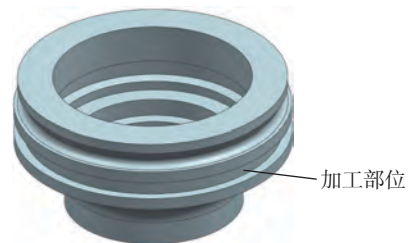
2 有限元分析

为校核导流装置是否满足强度要求,对两套装置进行基于力学性能的有限元分析,比较二者在相同的工作环境下的应力应变情况。

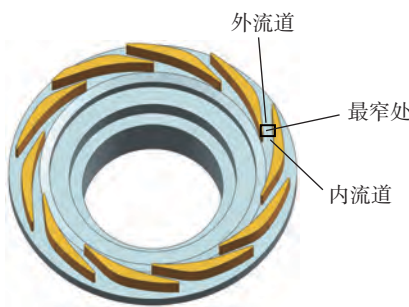
2.1 运算前的设置

(1)理想化模型。模型中的细节特征对整体结构影响不大,在运算前对细节特征进行适当的简化处理^[8],如去掉微细的孔、槽和螺纹、倒角等。

(2)设置材料^[9]。根据装置的材料,分别设置对应的材料属性(这里为铜和不锈钢),各材料的属性参数如表1所示。



(a) 工件毛坯



(b) 涡道截面图

图1 闭式整体构件

Fig.1 Closed integral structure

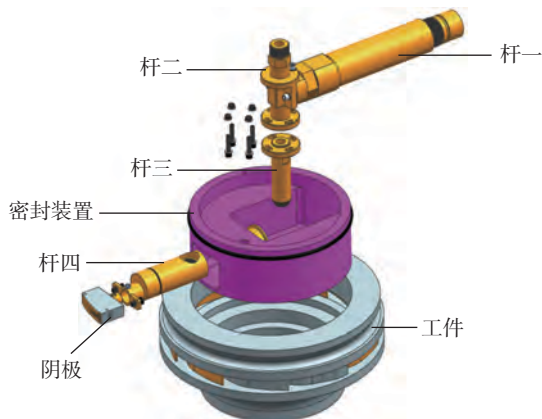


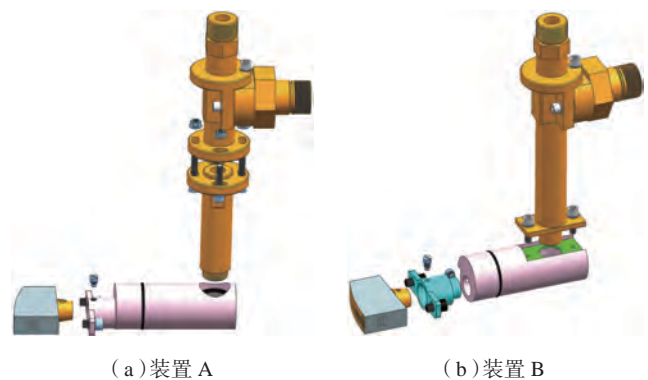
图2 加工装置爆炸图

Fig.2 Exploded view of the processing device



图3 导流装置(装置A)实物

Fig.3 Deversion device entity (device A)



(a) 装置A

(b) 装置B

图4 两种导流装置

Fig.4 Two deversion devices

表1 材料属性参数

Table 1 Material property parameters

材料	材料类型	密度 / (kg·m ⁻³)	杨氏模量 /MPa	泊松比 ν	屈服强度 /MPa	极限抗拉强度 /MPa
铜	各向同性	8.409e3	1.034e5	0.35	440	1100
不锈钢	各向同性	7.829e3	2.0694e5	0.288	137.895	276

(3)设置约束及施加载荷。划分网格大小为自动单元大小。温度设置为试验加工温度,对杆一与机床主轴连接处及导向环外表面设置固定约束,杆一、杆二、杆三、杆四及阴极连接处设置面对面粘连约束,导向环与杆四之间设置滑块约束。阴极各表面施加压力(压强)载荷,这里按加工时的最高压力校核,如图5所示。

2.2 求解及后处理

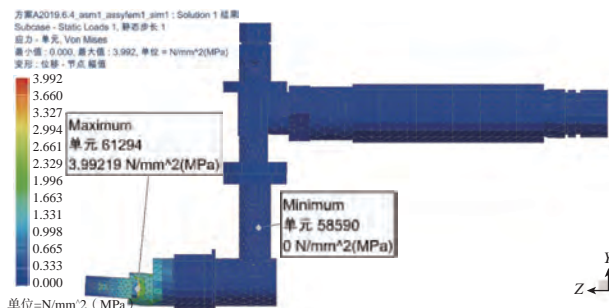
对上述有限元模型进行求解。求解及后处理得到应力等值线图、位移等值线图如图6和7所示。云图显示了应力和应变分布的规律、极值和位置。

依据有限元分析结果,装置A最大应力为3.992MPa,最大位移为1.591 μ m;装置B最大应力为3.427MPa,最大位移为1.454 μ m。

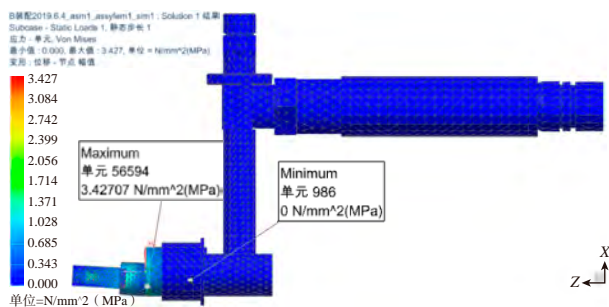
强度校核条件为:

$$\sigma_{max} < [\sigma] = \sigma_s / n$$

其中, σ_{max} 为实际计算的节点最大应力, $[\sigma]$ 为材料的许用应力, σ_s 为材料的屈服强度, n 为材料的安全系数(安全系数 $n=2$)。由表1知黄铜屈服强度 $\sigma_s=440$ MPa,故许用应力 $[\sigma]=\sigma_s/n=220$ MPa,而据有限元分析结果,装置



(a)装置 A



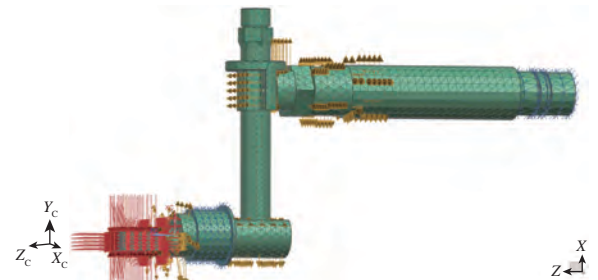
(b)装置 B

图6 应力云图

Fig.6 Force distribution



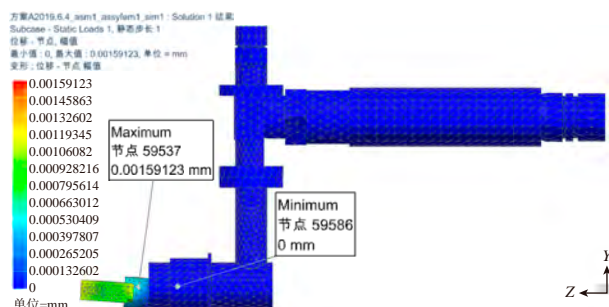
(a)装置 A



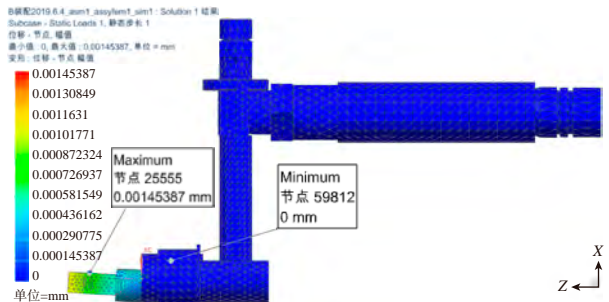
(b)装置 B

图5 有限元模型

Fig.5 Finite element model



(a)装置 A



(b)装置 B

图7 位移(应变)云图

Fig.7 Displacement distribution

A、B 最大应力值均远小于 220MPa,故两装置均满足强度要求。

但装置 B 的最大应力和最大位移均小于装置 A,说明装置 B 的刚性优于装置 A。

3 工艺试验

在如图 8 所示 DJK-160 五轴四联动数控电解加工机床上对两装置进行试验。试验条件^[10]均为电源频率为 1kHz,占空比为 90% 的矩形脉冲直流电源,电压为 16V,电解液通过自动调节装置控制在最适温度范围内,阴极进给速度为 0.6mm/s,电解液为 10% NaCl+16% NaNO₃+2% NaClO₃,加工过程如图 9 所示。

阴极沿 Y 轴进给,数控程序为:

N10 G01 G91 Y16. F0.6;

N20 G01 G91 Y-16. F20;

N30 M2

退出阴极和加工装置,将工件旋转 36° 后再对刀,设置初始加工间隙和加工参数,加工下一个流道。将以上过程重复 10 次,完成工件 10 个内流道的加工。

在相同的试验条件下,采用装置 A 和装置 B 各加工一个工件,即各加工 10 个流道。加工结果分别如图 10 和 11 所示,可以看到装置 A 的工件加工表面有小的凸起,杂散腐蚀也比 B 严重,装置 B 加工表面比较光滑。

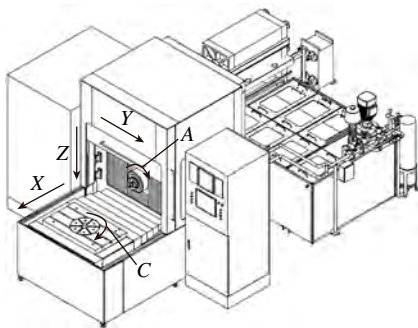


图8 电解加工机床
Fig.8 Electrochemical machine



图9 加工过程
Fig.9 Machining process



图10 装置A加工结果
Fig.10 Processing result of device A



图11 装置B加工结果
Fig.11 Processing result of device B

在三坐标测量机上获取加工型面的坐标数据,与理论型面坐标对比,结果表明装置 B 的型面更接近理论型面,说明装置 B 的加工精度高于装置 A。

4 结论

(1) 装置 B 减少了安装次数,提高了装置的定位精度。

(2) 有限元分析结果显示,装置 B 的最大应力(3.992MPa)和最大位移(1.591 μm)均小于装置 A 的最大应力(3.427MPa)和最大位移(1.454 μm),说明装置 B 提高了装置的刚性。

(3) 工艺试验及测量的型面数据显示,装置 B 的型面更接近理论型面,表明装置 B 提高了型面的加工精度。

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[M]. 北京:国防工业出版社,2008.

FAN Zhijian, LI Xinzong, WANG Tiancheng. Electrochemical machining and composite electrochemical machining[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2008.

[2] 徐家文, 赵建社. 航空发动机整体构件特种加工新技术[M]. 北京: 国防工业出版社, 2011.

XU Jiawen, ZHAO Jianshe. New nontraditional machining techniques of integral components in aircraft engine[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2011.

[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]. 兵工学报, 2015, 36(1): 151-156.

KANG Baoyin, FAN Zhijian, TANG Lin. Design and analysis of flow field in electrochemical machining of cochlear channel of closed integral structure[J]. Acta Armamentarii, 2015, 36(1): 151-156.

[4] 李清良, 范植坚, 穆倩. 基于 COMSOL 闭式整体构件流道电解加工流场的仿真[J]. 电加工与模具, 2014(1): 28-31.

LI Qingliang, FAN Zhijian, MU Qian. Emulation for flow field in electrochemical machining of closed integral structure based on COMSOL[J]. Electromachining & Mould, 2014(1): 28-31.

[5] 唐霖, 冯鑫, 任磊, 等. 异形螺旋线电解加工关键技术研究[J]. 电加工与模具, 2018(6): 26-30.

TANG Lin, Feng XIN, REN Lei, et al. Study on key technology for electrochemical machining of special-shaped helix[J]. Electromachining & Mould, 2018(6): 26-30.

[6] 杨森. 异型壳体电解加工及其基于 UG 的参数化设计[D]. 西安: 西安工业大学, 2013.

YANG Sen. Special-shaped shell of electrochemical machining and parametric design based on UG[D]. Xi'an: Xi'an Technological University, 2013.

[7] 穆倩. 闭式整体构件内流道电解加工流场分析[D]. 西安: 西安工业大学, 2014.

MU Qian. Simulation for flow field in electrochemical Machining of closed integral structure[D]. Xi'an: Xi'an Technological University, 2014.

[8] 程永奇, 张贵成, 孙友松. 基于 UG 的传动机构有限元研究[J]. 机械, 2010, 11(37): 40-43.

CHEN Yongqi, ZHANG Guicheng, SUN Yousong. Research on finite element analysis of transmission mechanism based on UG[J]. Machinery, 2010, 11(37): 40-43.

[9] 李立顺, 雷韵鸿, 李红勋. 基于 UG 的某保障车架装置的有限元分析[J]. 专用汽车, 2009(10): 52-55.

LI Lishun, LEI Yunhong, LI Hongxun. Finite element analysis of handing equipment of some support vehicle based on UG[J]. Special Purpose Vehicle, 2009(10): 52-55.

[10] 唐勇, 张瑞珊. 基于 UG 的叶轮强度和流场有限元分析[J]. 机械制造与自动化, 2009, 38(4): 61-64.

TANG Yong, ZHANG Ruishan. Finite element analysis of impeller structure of turbo-compressor based on UG[J]. Machine Building & Automation, 2009, 38(4): 61-64.

通讯作者: 康保印, 硕士, 助教, 研究方向为特种加工技术, E-mail: 1091686418@qq.com。

(责编 知舟)

(上接第89页)

参考文献

[1] 范玉青, 梅中义, 陶剑. 大型飞机数字化制造工程[M]. 北京: 北京航空工业出版社, 2011.

FAN Yuqing, MEI Zhongyi, TAO Jian. Large aircraft digital manufacturing engineering[M]. Beijing: Aviation Industry Press, 2011.

[2] 单继东, 王昭阳, 陈贺利, 等. 航空发动机智能制造生产线构建技术研究[J]. 航空制造技术, 2016, 59(16): 52-56.

SHAN Jidong, WANG Zhaoyang, CHEN Heli, et al. Building technology of intelligent manufacturing production line for aeroengine[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2016, 59(16): 52-56.

[3] MUELANERJ E, WANG Z, MARTIN O, et al. Verification of the indoor GPS system, by comparison with calibrated coordinates and by angular reference[J]. Journal of Intelligent Manufacturing, 2012, 23(6): 2323-2331.

[4] 丁力平, 陈文亮, 卢鹤. 面向大型飞机装配的组合式大尺寸测量系统[J]. 航空制造技术, 2013, 56(13): 76-80.

DING Liping, CHEN Wenliang, LU Hu. Combined Large-scale measurement system for large aircraft assembly[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2013, 56(13): 76-80.

[5] 丛培源. 数字化测量技术在型架装配中的应用研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2014.

CONG Peiyuan. Application of digital measurement technology in assembly of shape frame[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2014.

[6] 张森棠, 付龙, 贺芳, 等. 面向航空发动机的数字化生产线探索与实践[J]. 航空制造技术, 2015, 58(22): 73-77.

ZHANG Sentang, FU Long, HE Fang, et al. Exploration and practice for aeroengine digital production line[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2015, 58(22): 73-77.

[7] 牟文平, 隋少春, 李迎光. 飞机结构件智能数控加工关键技术研究现状[J]. 航空制造技术, 2015, 58(13): 56-59.

MOU Wenping, SUI Shaochun, LI Yingguang. Key technology for intelligent NC machining of aircraft structural parts[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2015, 58(13): 56-59.

[8] 侯志霞, 邹方, 王湘念, 等. 关于建设航空智能生产线的思考[J]. 航空制造技术, 2015, 58(8): 50-52.

HOU Zhixia, ZOU Fang, WANG Xiangnian, et al. Reflections on the construction of the aviation intelligence production line[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2015, 58(8): 50-52.

通讯作者: 俞鸿均, 硕士, 工艺师, 主要研究方向为飞行器数字化制造, E-mail: yhj850303@163.com。

(责编 知舟)