

doi: 10.3969/j.issn.1001-3849.2023.04.011

阴极复合运动游离微珠辅助磨擦电铸装置的设计

王兆新¹, 任建华^{1*}, 尹冠华¹, 姚传慧¹, 朱增伟²

(1. 山东理工大学 机械工程学院, 山东 淄博 255000;

2. 南京航空航天大学 机电学院, 江苏 南京 210016)

摘要: 在使用传统槽式电铸方法进行游离微珠摩擦辅助电铸加工时, 如何防止游离微珠(陶瓷球)泄漏并能够更好地实现游离微珠摩擦辅助电铸技术, 成为新的研究难题。基于游离微珠摩擦辅助电铸技术, 设计开发了一种以回转运动系统和柔性连接结构为主要部件的阴极复合运动式电铸装置, 并应用游离微珠摩擦辅助电铸技术进行电铸成形加工, 获得了光滑平整的电铸层表面。

关键词: 电铸装置; 柔性连接; 摩擦辅助电铸技术; 复合运动

中图分类号: TQ153

文献标识码: A

Design of a cathode compound motion device for free microbead friction assisted electroforming

Wang Zhaoxin¹, Ren Jianhua^{1*}, Yin Guanhua¹, Yao Chuanhui¹, Zhu Zengwei²

(1. School of Mechanical Engineering, Shandong University of Technology, Zibo 255000, China;

2. College of Mechanical and Electrical Engineering, Nanjing University of Aeronautics & Astronautics, Nanjing 210016, China)

Abstract: When using traditional trough electroforming method for free microbead friction assisted electroforming, how to prevent free microbeads (ceramic balls) from leaking and better realize free microbead friction assisted electroforming technology has become a new research problem. Based on the free microbead friction-assisted electroforming technology, a cathode compound movement electroforming device with a rotary motion system and a flexible connection structure as the main components was designed and developed, and the free micro-bead friction-assisted electroforming technology was used for electroforming processing. A smooth and even surface of the electroformed layer was obtained.

Keywords: electroforming device; flexible connection; friction assisted electroforming technology; compound motion

电铸是一种基于电解时阳极溶解、阴极电沉积原理, 在阴极母模表面成形零件的加工方法, 是一种精密的电化学加工方法, 能够准确复制出芯模的表面形貌, 具有良好的重复精度和复制精度, 可以制造

出多层结构的工件^[1-3]。电铸成型加工技术在工业生产中得到广泛的使用, 并成功地应用于火箭发动机喷管、大型反光镜模具、仪器仪表、破甲弹药型罩、精密机械、细微机械构件、电子工业、航空微型传感

收稿日期: 2020-10-31

修回日期: 2020-12-04

作者简介: 王兆新(1994—), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为电化学加工, email: 1648143310@qq.com

*通信作者: 任建华, email: renjianhua@sdut.edu.cn

基金项目: 国家自然科学基金青年基金资助项目(51805302)

器、模具制造等领域^[4-6]。传统电铸加工通常采用槽式电铸法,将电铸阴极芯模和阳极通过专用挂具悬置于槽内进行电铸加工,但是这种加工方式需要的电铸液量大,不易维护,并且阴阳极之间没有位置精度,也没有相对运动^[7-8],从而限制了电铸技术的发展。另外,传统电铸工艺存在一些缺陷和局限性,如电铸层的表面质量不稳定,表面经常会出现针孔、麻点、积瘤、应力集中的缺陷,大面积电铸层厚度及其均匀性不能够有效地控制,从而造成沉积层的物理、机械性能显著下降^[9-11]。

游离微珠摩擦辅助电铸技术是一种在阴、阳极单元之间添加硬质微珠(陶瓷球)对阴极芯模沉积层表面进行摩擦,提高电铸层表面性能的精密电铸技术。进行电铸成形加工时,向电铸槽内添加硬质微珠,使芯模完全浸没于硬质微珠中,阴极运动时会带动硬质微珠运动。硬质微珠会不断地对阴极沉积层表面进行碰撞和摩擦,同时也会对电铸液进行搅拌。硬质微珠的运动能驱除沉积层表面的氢气泡,磨削沉积层表面的积瘤和凸起,表面质量显著改善,获得的电铸层表面光滑平整,同时还可以提高电铸加工的速度。但是,进行电铸加工时,阴极芯模若只进行单一的运动(如旋转或平动),硬质微珠将不能够对沉积层表面进行均匀充分的摩擦,会导致电铸层的表面质量下降。另外,采用槽式电铸法加工时,槽内空间较大所需要的游离微珠的数量较多,会造成不必要的浪费^[12-14]。所以为了提高阴极芯模的运动精度、加工精度以及沉积层的表面质量,需要有针对性地设计开发一种新型的卧式电铸机床,使阴极芯模在一定的空间内能够完成一定的相对运动,且沉积层表面能够得到硬质微珠的均匀摩擦。

本文设计研发了一种卧式阴极复合运动游离微珠辅助磨电铸装置,使阴极芯模在进行匀速转动的同时实现等速平动,从而使得芯模表面的沉积层能够得到游离微珠(陶瓷球)的均匀摩擦。另外,通过在悬挂齿轮架与阳极筐之间添加一个柔性连接结构,使悬架和芯模的移动与阳极筐分开,完成芯模的复合运动,解决卧式电铸机床的旋转密封问题,以及当芯模自身绕轴线旋转和在平面内二维平动时如何防止陶瓷球泄漏的问题。

1 整体设计

阴极复合运动游离微珠辅助磨电铸装置整体结

构设计如图1所示,主要由芯模、悬挂齿轮架、阳极、机床上下槽、回转运动系统、平动工作台、柔性连接件、温度控制系统及循环过滤系统等部件组成。

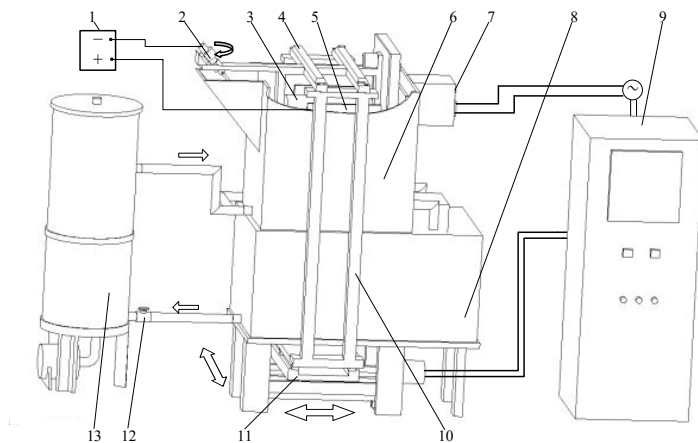
进行电铸成形加工时,控制柜9控制卡板驱动平动工作台11做平动运动,通过与之相连的支架10刚性传递到悬挂齿轮架4上,实现芯模的平动运动。芯模3的回转动力由减速电机提供通过控制盒7控制减速电机的转速及转向,经二级减速齿轮降速后通过齿轮轴传递给芯模,从而在阳极筐中实现芯模的旋转与平动的复合运动。直流电源1的正极与阳极单元相连接,负极通过导电环2经挠性软轴与芯模轴相连接。电铸液由储液槽(下槽)8经过球阀12流向磁力泵过滤机13,经过滤后流向电铸工作槽(上槽)6中,其中球阀可以控制电铸液的流速。通过加热装置维持储液槽8中电铸液的温度,当电铸液的温度低于电铸温度时传感器会将信号传递给温控仪,温控仪会控制储液槽中的加热管对电铸液进行加热至所需温度。

通过阴极芯模的回转、平动以及复合运动,并同时结合阴极运动摩擦辅助法精密电铸技术来加工回转体类工件。这种运动可以使陶瓷球均匀充分地对待芯模表面的沉积层进行碰撞和摩擦,陶瓷球的运动还可以对阴阳极之间的电场分布产生影响,使阴阳极之间的电场分布趋向于均匀化,从而使工件上的电铸层变得平整光亮。另外,在控制系统的精确控制下,平动工作台的X-Y平动运动可以实现任何形状的运动轨迹及需要的运动速度,阴极的复合运动有利于工件表面平整光亮和电铸层细小晶粒的产生,从而提高工件的表面质量。

本电铸装置主要适用于工件芯模轴卧式放置的回转体类零件的电铸成形加工,可使芯模实现二维平面运动及自身转动,以较快的速度一次性电铸成形各种壁厚的回转体类零件,且表面平整光亮。另外,便携式移动架可使芯模与回转系统、引电系统配成一体,在芯模完成前处理工艺之后可以快速地进行安装。二维平动工作台固定于底座,底座轮被锁死,支架与平动工作台通过螺栓固定,悬挂齿轮架由限位槽卡在支架顶部并加以固定,芯模通过轴孔与齿轮轴用定位螺钉固定。电铸工作槽与储液槽分为上下两部分,储液槽稍大,故将工作槽置于储液槽上部,上下槽一体化具有立体感且充分利用空间。电铸加工过程中,电铸液循环系统将电铸液由下槽输

送到上槽,并由上槽进液口流入阳极框底部进行冲液,最后冲刷到芯模沉积层表面,加快阴极附近的离

子交换速度,电铸结束后打开阀门溶液在重力作用下自行回流到储液槽,省时省力,可提高生产效率。



1.—直流电源; 2.—导电环; 3.—芯模; 4.—悬挂齿轮架 5.—阳极筐 6.—电铸工作槽 7.—控制盒
8.—储液槽 9.—控制柜 10.—支架 11.—平动工作台 12.—球阀 13.—磁力泵过滤机

图1 整体结构设计图

Fig.1 Design drawing of overall structure

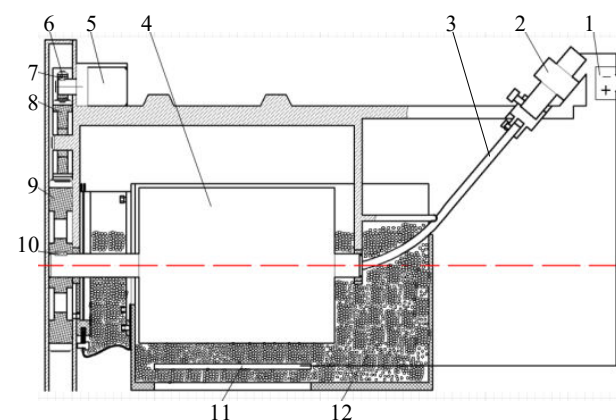
2 回转运动系统、柔性连接结构的设计

2.1 回转运动系统的设计

芯模回转运动系统的整体结构剖视如图2所示。进行电铸成形加工时,要求芯模的回转速度要保持一定数值,且由于回转运动系统是悬置于悬挂架上的,结构要紧凑,所以选用齿轮传动系统。齿轮传动具有传动效率高、结构紧凑、工作可靠、寿命长,传动比稳定等优点^[15],并且此处将齿轮系统放置于密封环境内,能够有效地避免齿轮被电铸液腐蚀。

进行电铸成形加工时,把芯模表面不需要沉积的地方屏蔽掉,然后将其整体浸没在电铸液中,从电铸槽外直流电源1引电。减速电机5通过轴上的键7将回转动力传递给主动齿轮6,主动齿轮通过中间齿轮8将动力传递给大齿轮9,大齿轮通过键10将动力传递给芯模轴,带动芯模4在陶瓷球12中相对于阳极11做回转运动。由于在加工过程中芯模要做回转运动,而电源引线要经槽顶引出,所以此处选用电环2和挠性软轴3。具体如下:在芯模轴另一端加工适当大小的螺纹孔,安装上螺栓,并在螺栓中心打适当大小的中心通孔,挠性软轴的一端从螺栓中心孔穿过并伸出一定长度,拧紧螺栓压住挠性软轴,另一端以同样的方式紧固在导电环中心。将导

电环以合适的倾斜角固定在悬架上,接通电源,从而实现芯模的通电。



1.—直流电源; 2.—导电环; 3.—挠性软轴; 4.—芯模;
5.—减速电机; 6.—主动齿轮; 7.—键1; 8.—中间齿轮;
9.—大齿轮; 10.—键2; 11.—阳极; 12.—陶瓷球

图2 回转运动系统剖视图

Fig.2 Sectional view of rotary motion system

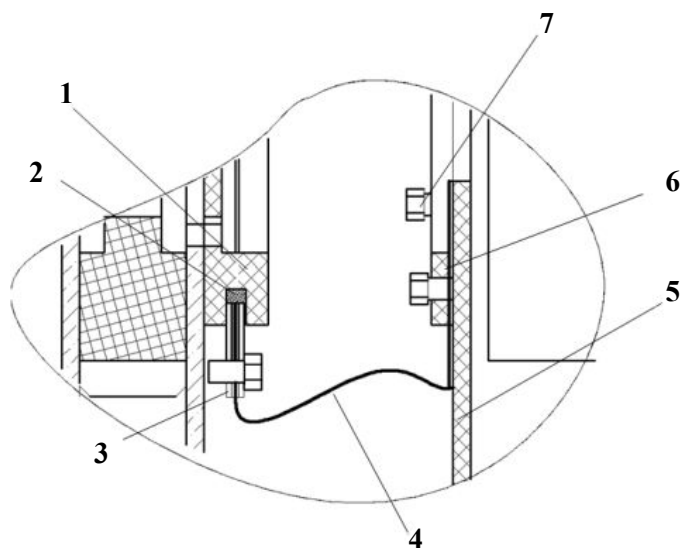
2.2 柔性连接结构的设计

进行摩擦辅助电铸成形加工时,将芯模放在阳极筐中并在芯模与阳极筐之间添加硬质微珠,芯模进行复合运动时阳极筐固定不动,芯模回转运动结构与阳极筐之间处于相对运动状态。芯模运动时会

带动硬质微珠运动,这样会使得硬质微珠从阳极筐中泄漏出来造成浪费,所以,在齿轮盖与阳极筐之间添加密封结构,可有效防止硬质微珠的泄漏。

柔性连接的局部结构如图 3 所示,柔性连接 4 的材料为较密的尼龙布或纱网,柔性连接的长度根据电铸工作槽和芯模轴的长度而定。柔性连接的右侧

由阳极筐卡板 6 和阳极筐 5 相互贴紧,通过塑料螺钉 7 紧固密封,左侧使用 U 型卡片 3 将柔性连接夹紧,然后 U 型卡片再沿齿轮箱卡板 1 上的槽紧密嵌入卡板槽中,并且保证两者之间相对无松动。另外,在 U 型卡片与卡板槽接触的顶部安装橡胶垫 2,可以起到紧固和缓冲的作用。



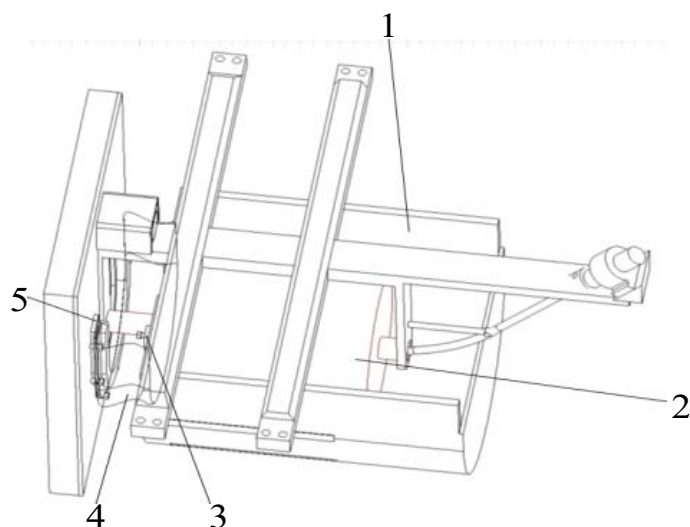
1.—齿轮箱卡板; 2.—橡胶垫; 3.—U 型卡片; 4.—柔性连接; 5.—阳极筐; 6.—阳极筐卡板; 7.—塑料螺钉

图 3 柔性连接局部结构图

Fig.3 Partial structure diagram of flexible connection

柔性连接结构整体如图 4 所示,柔性连接 4 两端分别与齿轮箱卡板 5 和阳极筐卡板 3 相连接,且柔性连接的长度远大于两者之间的相对移动距离,这样

芯模 2 在阳极筐 1 中进行复合运动时可以防止陶瓷球泄漏出来。



1.—阳极筐; 2.—芯模; 3.—阳极筐卡板; 4.—柔性连接; 5.—齿轮箱卡板

图 4 柔性连接结构图

Fig.4 Diagram of flexible connection structure

U型卡片嵌入齿轮箱卡板卡槽的方向如图5所示,在齿轮箱卡板槽内贴合橡胶垫,保证其与U型卡片紧密配合。

电铸成形加工前,先把阳极筐安放在电铸槽中的一个合适位置,并将芯模与悬挂齿轮架通过大齿轮轴孔紧固连接在一起。然后将柔性连接的一端用阳极筐卡板固定在阳极筐开口一端,并将柔性连接的另一端用螺栓夹在两块U型卡片之间,最后将齿轮箱卡板用螺栓固定在齿轮箱上。前处理步骤完成后将悬挂齿轮架与芯模整体放入电铸槽中,缓慢下降,使芯模与阳极筐正确对立,居中即可。在下降过程中,将U型卡片沿齿轮箱卡板槽紧密嵌入卡板槽中,两者之间要保证无松动,最后通入电铸液,向阳极筐中加入陶瓷球,将芯模部分浸没。

3 加工试验

阴极复合运动游离微珠辅助磨电铸装置实体结构如图6所示。电铸加工时先将游离微珠倒入电铸工作槽3中的阳极筐中,将芯模部分浸没,然后通过控制柜控制磁力泵过滤机2将电铸液由储液槽4中抽出,运送至电铸工作槽3中。最后通过控制盒6调

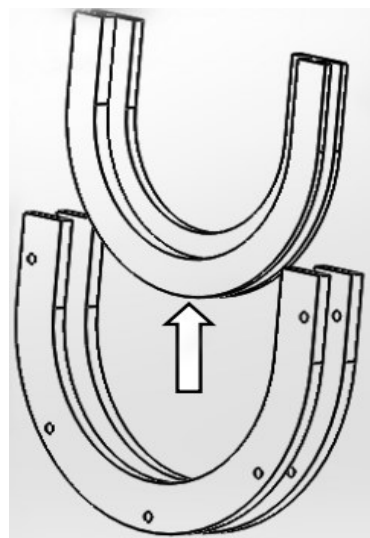


图5 U型卡片安装示意图

Fig.5 Installation diagram of U-shaped card

整减速电机的转速,直至芯模转速达到一定值后,控制柜1发出信号,平动工作台8按照一定的平动速度通过支架7和悬挂齿轮架5带动芯模做平动运动,这样电铸加工过程中芯模就可以实现转动与平动同时进行的复合运动。



1.—控制柜; 2.—磁力泵过滤机; 3.—电铸工作槽; 4.—储液槽; 5.—悬挂齿轮架;
6.—控制盒; 7.—支架; 8.—平动工作台

图6 电铸装置整体结构图

Fig.6 Overall structure diagram of electroforming device

使用本电铸设备在电流密度、电铸温度、平动速度、转动速度等实验参数相同的条件下,进行了阴极芯模复合运动的氨基磺酸盐电铸镍的成形加工试验。从图 7(a)、(b)中可以看出阴极芯模复合运动无游离微珠试验得到的工件电铸层表面存在一些针

孔、凸起和凹坑,芯模复合运动添加游离微珠得到的试验工件电铸层表面平整光亮,且没有任何针孔、麻点和结瘤,说明工件沉积层表面能够得到游离微珠的均匀摩擦,表面质量大大提高,能够达到预期的试验效果。

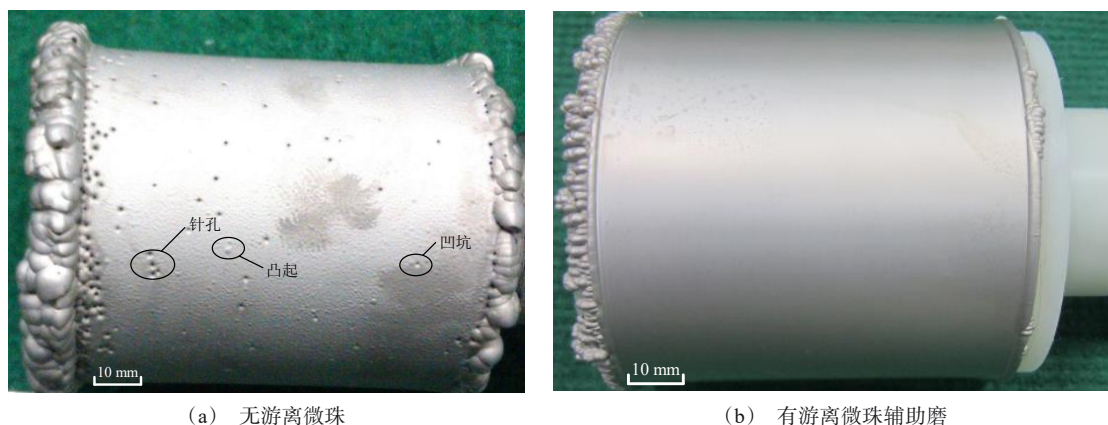


图 7 试验工件外貌图

Fig.7 Appearance of test workpiece

4 结 语

为了解决电铸成形加工中阴极芯模不均匀摩擦、游离微珠泄漏的问题,以实现阴极芯模的复合运动为目标,设计了一种阴极复合运动式电铸装置,并进行了初步加工试验。其中,芯模回转运动系统和柔性连接结构是主要部件。电铸试验结果表明:该电铸装置加工的工件表面平整光滑,能够达到预期的试验效果。

参考文献

- [1] Li X L, Zhu Z W, Zhu D, et al. Orbital-abrasion-assisted electroforming of non-rotating parts [J]. Journal of Wuhan University of Technology: Materials Science Edition, 2011, 26(5): 827-830.
- [2] 章勇, 朱增伟, 朱荻. 辅助磨擦对镍电铸层力学性能的影响[J]. 中国有色金属学报, 2012, 22(5): 1377-1381.
- [3] 任建华, 朱增伟, 沈春健, 等. 阳极偏置法摩擦辅助硫酸盐电铸铜[J]. 兵工学报, 2015, 36 (9): 1737.
- [4] 雷卫宁, 朱增伟, 陶钢. 超细晶粒镍药型罩的精密电铸试验研究[J]. 中国机械工程, 2010, 21(3): 340-344.
- [5] Zhu Z W, Wang D, Ren J H. Abrasive-assisted electroforming of nickel on translational cathode[C]// The 15th International Manufacturing Conference in China. Nan-

jing: Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, 2013.

- [6] McGeough J A, Leu M C, Rajurkar K P, et al. Electroforming process and application to micro/macro manufacturing[J]. Annals of the CIRP, 2001, 50(2): 499-513.
- [7] 李学磊, 朱荻, 朱增伟. 游离粒子对摩擦辅助电铸技术的影响[J]. 电加工与模具, 2010(4): 35-36.
- [8] 徐营, 朱增伟, 彭永森, 等. 摩擦辅助电铸铜的研究[J]. 电镀与环保, 2014, 34(1): 16-17.
- [9] 毕向阳, 明平美. 高厚度均匀性电铸装置的研制[J]. 电加工与模具, 2015(4): 59.
- [10] 朱保国, 王振龙. 电铸技术的发展及应用[J]. 电加工与模具, 2006(5): 1-3.
- [11] 陈钧武, 江永安译, Садаков Г А. 电铸技术[M]. 北京: 兵器工业出版社, 1992.
- [12] 郑文书, 郭钟宁, 江树镇, 等. 阴极轨迹式平动型电铸机床 PLC 控制系统设计与实验[J]. 电加工与模具, 2014 (6): 33-35.
- [13] 余胜东, 朱荻, 李学磊, 等. 阴极平动式摩擦辅助精密电铸的研究[J]. 电加工与模具, 2009(1): 1-2.
- [14] 罗志辉, 韦庆敏, 刘荣军, 等. 摩擦辅助电化学沉积技术的研究进展[J]. 电镀与环保, 2013, 33(2): 1-2.
- [15] 濮良贵, 陈国定, 吴立言. 机械设计[M]. 9 版. 北京: 高等教育出版社, 2013.