

高精螺旋副零件电火花高效加工

Efficient EDM of High Precision Screw Pair Parts

北京航星机器制造有限公司 靳世海 游东洋 韩铁 宋海勇

[摘要] 介绍了高精螺旋轴、螺旋套的电火花高效加工方法,提出了多套内、外螺旋电火花加工方案,根据每套方案的加工效果,给出了每种加工方案问题的原因分析,总结了组合电极加工的优势。

关键词: 螺旋轴 螺旋套 五轴数控铣 五轴数控电火花加工

[ABSTRACT] This paper introduces EDM of high precision screw shaft and screw sleeve, and presents the multiple sets of EDM machining method of screw shaft and screw sleeve. According to the processing effect of each method, the analysis of the causes of each processing program problem is given. This article summarizes the combination electrode processing advantages.

Keywords: Screw shaft Screw sleeve Five-axis CNC milling Five-axis CNC EDM

电火花加工(EDM)的原理是利用工具电极与金属工件之间脉冲性火花放电时的电火花腐蚀现象来蚀除材料,以达到对工件的尺寸、形状及表面质量预定的加工要求。电火花加工与传统机械加工方式相比,具有无切削力、工件加工精度高、不受材料硬度限制等方面的优势,在加工特殊性能材料和复杂表面及微细、微精、薄壁、低刚度等方面得到了广泛应用。目前电火花加工技术已渗透到了各工业部门和科学技术领域,尤其在模具制造业、航空航天制造业、精密机械加工等领域更是占有重要的地位。其中,工具电极的设计与制造是电火花加工中的关键技术。

如图1所示,航天某型号螺旋副产品由特殊螺旋结构的螺旋轴、螺旋套组成,螺旋副配合精度高,关键部位

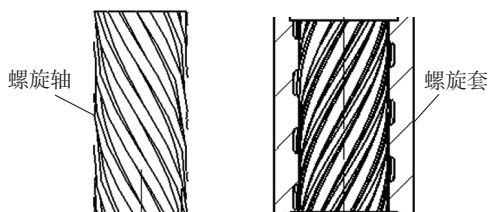


图1 螺旋副示意图

Fig.1 Schematic diagram of screw pair

间隙仅为0.01~0.05mm,材料硬度大于HRC50,常规铣削、插削、车削、磨削均无法同时满足其结构、尺寸精度的加工性能要求。电火花加工成为目前该工件的唯一加工解决方案。

1 螺旋副电火花加工中的技术难点

(1) 螺旋副结构复杂、尺寸规格小,电加工排屑困难。

螺旋副产品为多条、牙型异构,小规格的内、外螺旋结构,电加工排屑困难,二次放电情况严重,加工效率较低。

(2) 内、外螺旋数量多,配合精度高,电加工难度大。

螺旋副内外螺旋数量为3~9个,其关键部位配合尺寸公差在0.01~0.05mm之间。螺旋轴、螺旋套要求任意变换单条螺旋皆能满足滑入无卡涩且无间隙余量。由于螺旋轴、螺旋套中的内、外螺旋结构为两次单独电火花加工生产,保证螺旋轴、螺旋套中每条螺旋均具备0.01~0.05mm精密配合精度,同时要求螺旋副每条螺旋均具备高度的可互换性,对电火花加工制造难度大。

(3) 电极设计难度大、制造精度高。

产品电加工的精度在很大程度上取决于电极的设计、制造精度。螺旋副精密的配合精度以及较高的互换性决定了螺旋轴、螺旋套电极的制造精度要求较高,尤其螺旋轴电极涉及到凸凹电极二次设计与制造加工,其设计难度大、制造精度高。

(4) 电极制造环节多、基准传递精度高。

螺旋副的工具电极制造需要经过五轴数控铣削加工、五轴数控线切割以及五轴数控电火花加工等多道工序来完成,只有控制好每道工序的基准误差,才能确保工具电极在各道工序基准中进行高精度误差范围内传递。

2 螺旋副整体电加工方案

电极制造精度和表面质量是产品电加工质量和经济性的关键所在,而电极的制造精度又取决于螺旋轴、螺旋套的电火花加工方案。在保证产品质量的前提下,兼顾加工效率,设计出如图2所示的螺旋轴、螺旋套不

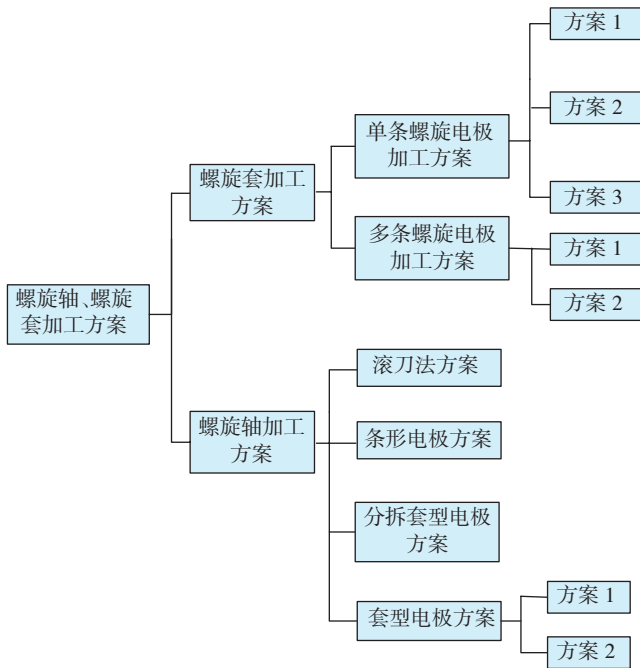


图2 螺旋轴和螺旋套加工方案树形图

Fig.2 Processing scheme tree diagram of screw shaft and screw sleeve

同加工方案并进行对比分析。

3 螺旋套电加工方案

根据螺旋套电火花加工原理的不同,分别确定单条螺旋电极加工方案和多条螺旋电极加工方案。

3.1 单条螺旋电极加工方案

先用单条螺旋电极对螺旋套一条螺旋内腔进行电火花加工,再利用数控电火花机床C轴回转定位精度,逐次对其他螺旋内腔分别进行加工。根据单条螺旋电极制造方法的不同,确定3套电极设计方案。

方案1:单条螺旋电极线切割直角加工方案。利用电极棱边对螺旋套进行放电加工,采用数控线切割机床对电极进行无锥角切割。

方案2:单条螺旋电极线切割锥度加工方案。利用螺旋套锥度仿型面对产品进行放电加工,采用五轴数控线切割机床对电极进行大锥角切割。

方案3:单条螺旋电极铣削加工方案。利用螺旋仿型面对产品进行放电加工,采用五轴数控铣削机床对电极进行曲面加工。

综合考虑产品材料、结构、精度等因素,初步确定了一组实用有效的电加工参数。单条螺旋不同电极加工方案检测结果见表1。可见,方案3中的产品尺寸精度大致接近设计文件要求。

3.2 多条螺旋加工方案

利用机床主轴Z轴移动的加工方式,对整个截面多条螺旋同时进行电火花加工,电极形式如图3所示。

总结单条螺旋加工方案的优缺点,结合加工效率和加工精度,确定2套电极设计方案。

方案1:多条螺旋电极铣削加工方案。利用螺旋仿型面对产品进行放电加工,采用五轴数控铣削机床对电极进行曲面加工。

方案2:多条螺旋电极铣削加工与直角切割加工方案。利用螺旋仿型面对产品进行一次粗、精放电同时加工。采用五轴数控铣削机床对精加工电极进行曲面加工,采用数控线切割机床对粗加工电极进行无锥角切割。

检测结果表明,方案1、方案2皆实现了尺寸精度,满足了螺旋套设计要求。但效率方面,方案1加工时间为6h,方案2加工时间为4.5h,减少了1.5h。方案2电火花加工时,将直角切割的粗加工电极放置在数控铣削的精加工电极之前,并固定在同一辅具上,保证了组合电极在对螺旋套一次加工过程中先接触粗加工电极电加工去量,后接触精加工电极保证尺寸精度。这样有效保证了精加工电极的使用寿命,同时频繁更替生产成本极低的粗加工电极可以有效保证螺旋套较高的材料去除率。

表1 单条螺旋不同电极加工方案检测结果

分析方案	检测结果	原因分析
方案1	螺旋套形状失真	该方案的加工原理为利用电极棱边放电来保证产品尺寸精度,试验加工过程中电极棱边出现较大程度的损耗,导致产品尺寸精度难于保证
方案2	螺旋套尺寸精度大幅超差	(1) 电极设计误差:线切割为直线切割,而螺旋轴、螺旋套为理论曲面,电极存在一定的设计误差; (2) 电极制造误差:电极大锥度切割加工,存在由锥度加工带来的编程误差、切割误差等因素
方案3	螺旋套尺寸小幅超差	(1) 电极设计误差:电极设计中放电间隙留量不准确,误差具有较强的一致性,呈现一定的规律性; (2) 电极制造误差:机床线性精度、回转精度、零件找正以及电极装夹皆给电极制造带来不可忽略的精度损失

表2 螺旋轴电加工方案对比

名称	加工原理	电极设计与制造	检测结果
滚刀法加工方案 ^[1]	电加工过程中,滚刀电极在机床主轴上作回转运动,工件在立式放置在工作台上的数控转台上作连续分度运动,滚刀电极绕螺旋轴工件旋转进行放电加工	利用啮合线原理的代用圆弧算法对滚刀电极进行设计,齿型曲线设计计算非常重要但较为繁琐	螺旋轴大径、小径尺寸超差;螺旋套各项尺寸均在设计图纸公差范围内
条形电极加工方案	电加工过程中,条形电极在机床主轴上作X轴方向的往复线性运动,工件在卧式放置在工作台上的数控转台上作连续分度运动,依次对每一条外螺旋进行放电加工	利用法向截面反拷原理,设计电极结构与螺旋轴外型去除的螺旋部分相同,由于条形电极为截面形状相同的长条状电极,制造简单,精度较高	螺旋轴牙型尺寸超差
分拆套形电极加工方案	利用放置在工作台上的3个各为130°的套形电极,依次对放置在机床主轴上的螺旋轴工件进行螺旋电火花加工	利用反拷原理,先对螺旋轴进行仿型设计,再对套形电极进行3等分依次拆开,最后分别对每个电极进行左右两侧截面各5°重叠区域的拉长,由于套形电极采用拆开进行设计,解决了套形电极加工性差的难题	螺旋轴大径、中径、小径的圆度及同心度出现超差,并在螺旋外型面出现6处接痕
套形电极加工方案 ^[2]	利用放置在工作台上的套形电极,对放置在机床主轴上的螺旋轴工件进行螺旋电火花加工	利用反拷原理,对螺旋轴进行仿型设计出套形电极,利用套形电极对螺旋轴产品进行旋转加工,由于套形电极为封闭内型结构,采用多轴铣削加工,因内腔与刀具干涉,不能实现其内型全部加工,根据套形电极的加工方法制定两套方案: 方案1:电极电火花返打加工,使用螺旋凸电极分别返打加工铜板制造螺旋轴的套形粗加工电极和套形精加工电极; 方案2:电极电火花线切割和电火花成型返打加工,制造螺旋轴的套形粗加工电极和套形精加工电极	螺旋轴各项尺寸均在设计图纸公差范围内



图3 多条螺旋加工方案电极示意图

Fig.3 Electrode schematic diagram of multiple screw processing scheme

3.3 单条螺旋和多条螺旋电极加工方案对比

相比多条螺旋电极加工方案,单条螺旋电极加工方案存在电极损耗较快、制造成本较高、电极刚性较弱等缺点,故螺旋套电加工方案优选多条螺旋电极加工方案。

4 螺旋轴电加工方案

根据加工原理的不同,分别确定滚刀法加工方案、条形电极加工方案、分拆套形电极加工方案和套形电极加工方案。这4种方案的电加工原理、电极设计与制造方法及加工试验后的检测结果见表2。

套形电极加工中方案1、方案2皆实现了尺寸精度,满足了螺旋轴、螺旋套配合要求(表2)。在效率方面,方案1加工时间为10h,方案2加工时间为8h,减少了

2h。方案2中锥度切割的粗电极加工为16min/件,而电火花返打加工的精电极需要3h/件,可见粗加工电极成本低、效率高,有效加快了螺旋轴的材料去除率,使螺旋轴的加工时间得到降低。

5 结束语

螺旋轴、螺旋套最优的加工方案中皆用到了多种加工方法生产的粗加工电极和精加工电极。两者不同在于螺旋套将直角切割的粗加工电极与数控铣削的精加工电极固定在同一辅具上,对螺旋套一次加工同时实现粗加工效率、精加工质量的技术目标,而螺旋轴则选用了锥度切割的粗电极与电火花返打的精电极分别对螺旋轴进行粗、精加工,同样有效提高了产品的加工效率,同时保证了产品质量。

参考文献

- [1] 林家华. 矩形花键滚刀的齿型设计. 工具技术. 1991,4(25): 23-28.
- [2] 周忆,梁锡昌,王光建. 内螺旋齿轮电火花加工的研究和参数设计. 重庆大学学报, 2001(5):14-17.

(责编 王一)