

航空精密工件电火花加工微型方窗口研究

Research on Electrical Discharge Machining of Aviation Precision Workpiece Miniature Square Window

北京航科发动机控制系统科有限公司 吕红梅 张喆 李欢

[摘要] 在电火花加工中,零件参数的选择对加工工艺指标起着重要作用,只有正确选择电参数才能加工出品质优良的产品。影响电参数选择的因素主要有:电极材料、工件材料、放电面积、表面粗糙度、放电间隙、电极损耗和加工速度等。主要针对微型方窗口的加工确定电极材料、放电间隙、加工速度等电参数,并对上述分析方法进行延伸扩展。

关键词: 微型方窗口 电极 电参数

[ABSTRACT] In EDM, how to select the processing parameters is very important. The correct selection of electrical parameters could machine excellent quality products. The influencing factors include electrode material, workpiece material, machining area, surface roughness, discharge gap, electrode wear, machining speed etc. This paper is to determine the electrode material, discharge gap, processing speed and other parameters, and the method can be extended.

Keywords: Miniature square window Electrode Electrical parameter

DOI:10.16080/j.issn1671-833x.2015.06.069

在航空航天领域中,细长杆类零件的应用非常广泛,经常作为活塞杆、间隙活门等使用,在燃油调节器中起着十分重要的作用。但是高精度要求和微型窗口结构也给加工带来了很大困难,对于一般窗口采用铣床或加工中心加工,精密窗口一般采用高精度线切割机床加工。本文主要介绍微型方窗口电火花加工方法。

1 微型窗口加工存在的问题

XXXX轴是某型号燃油调节器关键零组件,同时其组件也是某航空型号产品中的重要件。离心飞重伺服系统、加速三维凸轮及转速设定三维凸轮均安装于燃油调节器上,具体结构如图1所示。

具体工作原理为:轴组件内部为典型喷嘴-挡板控制结构,定压油经过节流器变成伺服油,伺服油通过出油窗口流入低压腔。离心飞重感受发动机转速,向上

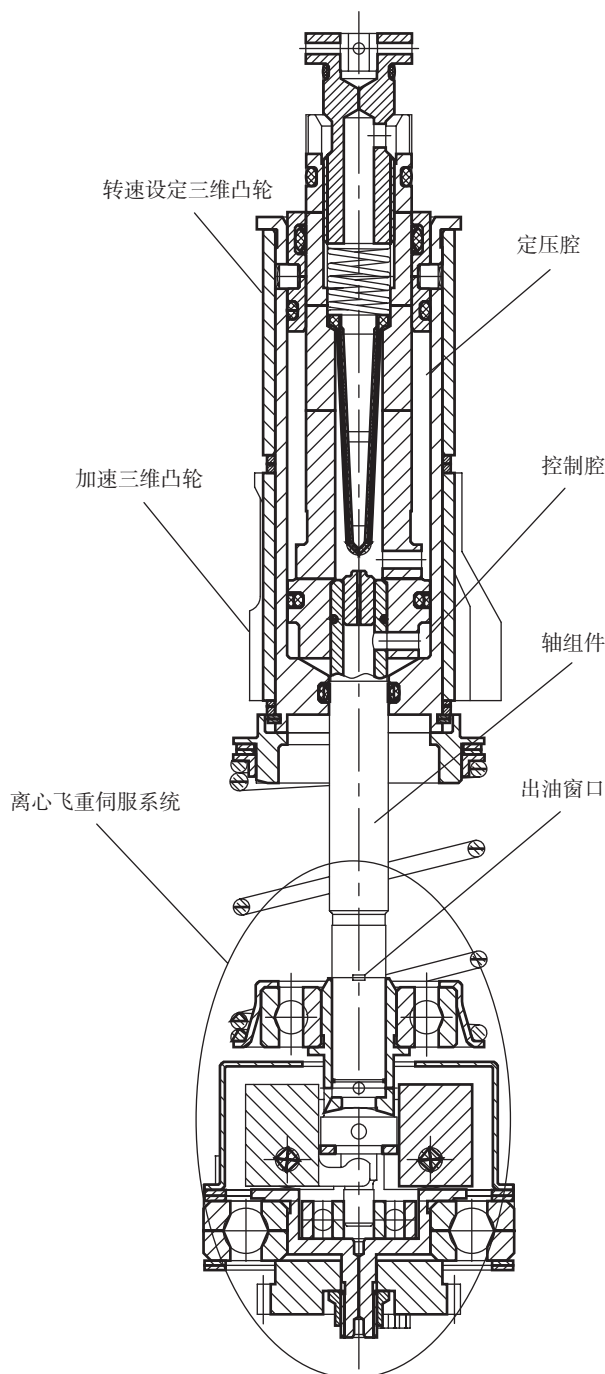


图1 燃油调节器某零组件

Fig.1 A certain workpiece of fuel regulator

输出轴向力,推动分油活门组件向上移动,改变出油窗口开度来改变伺服腔油压,带动加速三维凸轮及转速设定三维凸轮轴向移动,以给出适合发动机要求的燃油流量。微型窗口在这里起了非常大的作用。

XXXX轴零件在外圆上有3个特别小的径向窗口,长度为 (0.7 ± 0.1) mm,宽度为 (1.6 ± 0.12) mm,而且最关键的是窗口拐角处要求尖边 $R_{\max}=0.05$ mm,具体如图2所示。

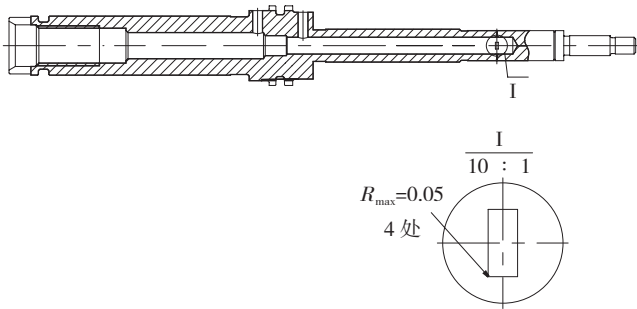


图2 轴零件外形图
Fig.2 Shape of the axis part

窗口在圆周方向上均布,尺寸小,若采用铣床和加工中心铣削的办法则刀具无法制作,而线切割机床无法实现切孔在圆周上的均布,且不是通孔,传统的机械加工方法都达不到零件的设计要求。电火花加工的工艺特点是利用极间火花放电时产生的电腐蚀现象,靠高温熔化和汽化金属进行蚀除加工。一般使用较软的紫铜等电极对导电的难加工材料(如硬质合金、耐热合金、不锈钢、淬火钢等用普通方法难以加工或无法加工)进行加工。

由于电火花加工是一种非接触式加工,加工时不受工具和工件刚度限制,因而有利于实现微细的窗口加工。但加工时由于存在尖边放电现象,工具电极会产生损耗,且 $R_{\max} = 0.05$ mm,圆角0.05mm处电极磨损最快,会影响加工精度,无法保证最大圆角的要求。而且零件是氮化零件,加工时窗口处总有崩边现象。尖边倒圆过大和窗口崩边都严重影响某型号泵的调试参数。试制阶段首批零件加工完成后,试验时参数不达标,全部报废。如何解决高硬度微型窗口尖边加工的问题已经迫在眉睫。

2 加工方案的调整与优化

对试验得到的大量数据加以分

析,尝试通过以下3个方面进行调整和改善。

2.1 多电极更换法加工

根据零件加工的特点和需求,采用了多电极更换法。多电极更换法是指根据一个型腔在粗、中、精加工中放电间隙各不相同的特点,采用几个不同尺寸的工具电极完成一个型腔的粗、中、精加工。在加工时,首先用粗加工电极蚀除大量金属,然后更换电极进行中、精加工;对于加工精度高的型腔,往往需要较多的电极来精修型腔。

多电极更换加工法的优点是仿形精度高,尤其适用于尖角、窄缝多的型腔模加工。它的缺点是需要制造多个电极,并且对电极的重复制造精度要求很高。另外,在加工过程中,电极的依次更换需要有一定的重复定位精度。

粗加工时采用粗加工电极(图3(a)),电极的材料是紫铜,加工时易产生磨损,尤其是在尖角处,如果始终用一个电极加工,方孔的圆角处会达到0.1~0.3mm,且形状不规矩,不能满足设计图要求。精加工时采用的电极材料是铜钨合金,这种合金的电极磨损慢。精加工实际上就是用电极修整一下最终尺寸和尖角(图3(b)),所以对保证 $R_{\max}=0.05$ mm起了重要作用。

2.2 电极的结构设计和材料选取

为了降低在精加工时电极的磨损,在粗加工时选用普通的紫铜作为电极材料,精加工时选用了材料较硬的铜钨合金,以减少精加工时电极尖边处的磨损。确立了加工方法后,根据多电极更换法的加工特点来设计电极的结构和尺寸,如图4所示。

电极采用高精度线切割机床加工,电极的使用位置四周尖角为 $R = 0.01$ mm,保证电极的四周是尖边,从而

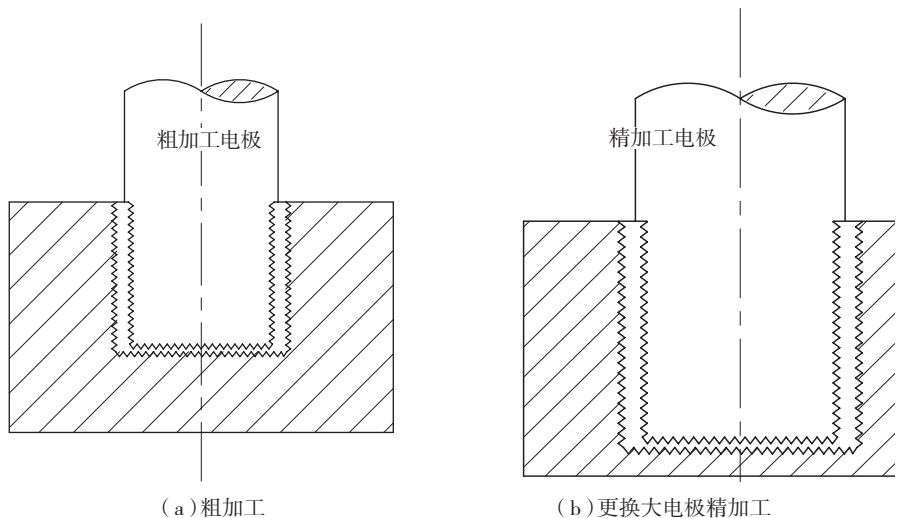


图3 电极加工示意图
Fig.3 Diagram of electrode machining

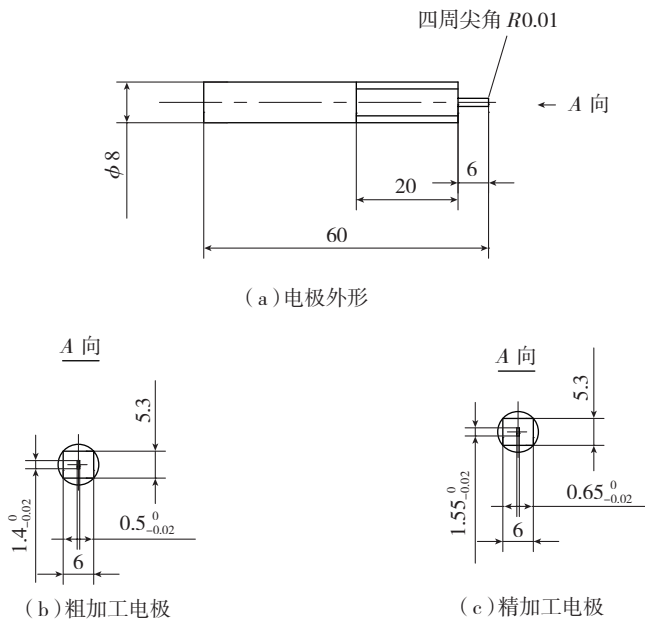


图4 粗、精加工电极的结构及尺寸

Fig.4 Structure and size of rough and finishing machining electrodes

为加工合格零件提供了有效保证。加工时,操作者需要及时检查电极圆角处磨损情况,如可以取下夹头到投影仪处投影尖角情况,如果电极 R 处磨损,则要及时更换,这样才能保证加工后尖角处的尺寸。依据实践经验,粗加工电极每加工3个孔更换1次,而精加工电极每加工2个孔更换1次。图4中 $5.3\text{mm} \times 6\text{mm}$ 的方形能够在安装电极后起到找正的作用,可最大程度减小由于夹头、电极重新安装和零件转动造成的误差。

2.3 加工参数的优化

工具电极与工件表面之间需保持一定的放电间隙,通常是几微米至几十微米。如果间隙过大,极间电压不能击穿介质,则不会产生电火花放电;如果间隙过小,很容易造成短路。在设计电极时,间隙大小对形状精度也有影响,间隙越大,则复制精度越差,特别是对于复杂形状的加工表面更是如此,如电极为尖角时,由于放电间隙等距离,工件为圆角。因此,为了减少加工尺寸误差,就必须提高加工要求,缩小放电间隙,另外还必须尽可能使加工过程稳定。

针对此类零件的特点,分为粗加工和精加工,粗加工时选取放电间隙是 0.05mm ,精加工时选取放电间隙是 0.02mm 。其他加工参数可参考以下数据:

(1) 脉冲宽度(TA): 一般来说,在峰值电流一定的条件下,脉宽越大,表面质量越差,但电极损耗越小,所以粗加工时选择 600ms ,精加工时逐渐减小至 200ms 。

(2) 脉冲间隔(TB): 脉间增大时,电极损耗会增大,但有利于排渣。本机设有EDM自动匹配功能,一般

情况下脉间由自动匹配而定,若发现积碳严重时可将自动匹配后的脉间再加大一档,例如自动匹配后的脉间为 3ms ,选择 4ms 。

(3) 高压电流(BP): 高压脉动的主要作用形式是先导击穿,有利于加工稳定和提高加工效率。一般加工时,高压电流选为 $0\sim 2\text{A}$,在加工大面积或深孔时可适当加大高压电流,以利于加工稳定和提高加工效率,如加工时选择高压电流为 1A 。

(4) 低压电流(AP): 在脉宽和脉间一定时,低压电流增大,加工速度提高,电极损耗增大。低压电流的选择根据电极放电面积而确定,若电流密度过大,则容易产生电弧烧伤,因此一般选择低压电流,使得通过电极加工表面每平方米面积的电流不超过 6A ,选择 4A 。

(5) 间隙电压: 粗加工时选取较低值,以提高加工效率;精加工时选取较高值,以利于排渣。一般情况下由EDM自动匹配即可。

(6) 伺服敏感度: 机头上升、下降时间一般由EDM自动匹配,在积碳严重时,可以减少下降时间或加大上升时间。

根据以上条件,编制程序如下:

```
PTN=C
/DEF-P2
SX 0.000 SY 33.300 SZ 1.000 Z -3.5000 E8001
D240 R 0.068 P4.4.4.4 NB1
SZ 100.000NB1
SY 250.000NB1
/DEF-T
/DEF-W
%
最后精打参数:
ENO:2036 ES:SC AUX:4 POL:+
IP:1.2 ON:5.0 OFF:5.0 F:11
JOMP:13 JU:4 JO:2 PCON:0
GAIN:70 SV:0.0 OP:8
```

3 结论

通过多电极更换加工方法,电极的结构设计和材料选取分粗、精加工,加工参数的优化。反复试验,最终零件的窗口加工效果良好,能够达到设计图要求,并保证了窗口边缘没有崩边。

在电火花成型加工领域,微型加工和尖边加工是普遍存在的加工难题。本文针对此类问题,以某一航空部件为例,对电加工的方法、电极设计和加工参数等方面进行阐述,在其他特种加工行业可进行引用和推广。

(责编 谷雨)