

航空发动机火焰筒群孔电火花加工技术

Group Holes EDM Technology in Combustor Liner of Aeroengine

中航工业北京航空制造工程研究所 崔海军 韩野 袁国红

[摘要] 针对火焰筒群孔的结构特点,提出了火焰筒群孔成组电极电火花加工方法。通过成组电极设计、工艺参数选择和电极损耗补偿等关键技术研究,解决了具有干涉结构火焰筒群孔的加工难题。

关键词: 火焰筒群孔 电火花加工 成组电极

[ABSTRACT] According to the characteristics of combustor liner group holes, this paper proposes group electrodes EDM process. By researching on the key technology of group electrodes design, selection of process parameters and electrode wear compensation, it has solved the problem of group holes machining in combustor liner with interference structure.

Keywords: Combustor liner group holes EDM Group electrodes

火焰筒是航空发动机燃烧室结构中的重要部件,安装于燃烧室内外机匣之间,分为内环和外环两个部分,每个部分由一段或多段筒体组合而成,材料主要为高温合金,属于大尺寸薄壁环形件。

火焰筒上分布着大量不同孔径、不同角度、不同分布规律的气膜孔,气膜孔在同一环带上按一定规律分布,数量众多,是典型的群孔结构,图1为火焰筒群孔分布图。

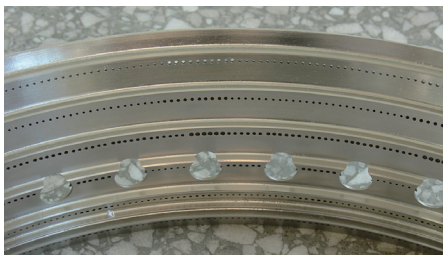


图1 火焰筒群孔分布图

Fig.1 Distribution of combustor liner group holes

国内针对火焰筒群孔的电火花加工开展了一系列研究,目前主要采取的加工方式有两种,分别为高速穿孔加工方式和成组电极加工方式。

采用多轴电火花小孔机进行火焰筒群孔的高速穿孔加工时,主要缺点为:(1)由于其加工原理的制约,高

速小孔机在单孔加工时会产生较电火花成形加工更大的再铸层,产生微裂纹的风险也随之增大;(2)由于电极送进装置需要占用一定的空间,因此不能进行具有干涉结构火焰筒的群孔加工。

针对火焰筒群孔的加工,北京航空制造工程研究所采用成组电极加工方式,实现了多种型号火焰筒群孔的加工。通过多年来的技术积累,实现了火焰筒群孔加工中的成组电极设计、工艺参数选择和电极损耗补偿等工艺方法。

1 结构分析和总体方案的制定

图2为某型火焰筒内环的结构图。该火焰筒内环从大端到小端分布着8排群孔,通过图纸分析可以确定详细的孔径、孔数、轴向半径、轴向夹角等信息。该火焰筒大端和小端均有定位基准,可以供安装使用。火焰筒内环的平均壁厚为1.8mm左右,群孔的出口端与外部的发散壁之间的最小间距为1.5mm。

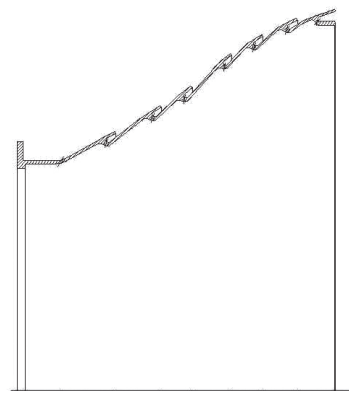


图2 某型火焰筒内环结构

Fig.2 Structure of combustor liner inner ring

由于群孔加工时瞬时释放出的能量较大,且短时间内排放出的碎屑较多,为了及时对放电加工部位进行冷却,并快速清除放电区域内的放电碎屑,决定采用浸油和冲油混合的方式。

零件安装在数控转台上,采用大端朝下的安装方式,机床主轴伸入零件内,安装成组电极后斜向下方向进行群孔的加工。加工完一组孔后,转台分度换位,然后进行下一组孔的加工。

2 成组电极的设计

成组电极包括夹持部分、转接部分、压紧部分和电极导向 4 个部分,成组电极的三维模型如图 3 所示。

根据轴向半径和轴向夹角制作群孔分布状态的三维模型(如图 4 所示),群孔沿与孔轴向垂直的平面进行投影,即形成按群孔分布状态排列的电极导向孔,结合每个成组电极中的电极根数进行详细设计,就可以完成电极导向的设计,进而完成夹持部分、转接部分、压紧部

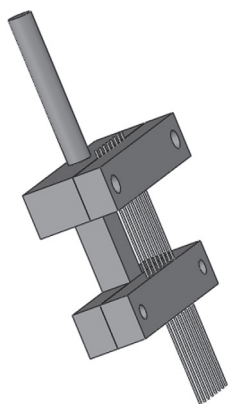


图3 成组电极的三维模型

Fig.3 3D model of group electrodes



图4 群孔分布状态的三维模型

Fig.4 3D model of group holes distribution

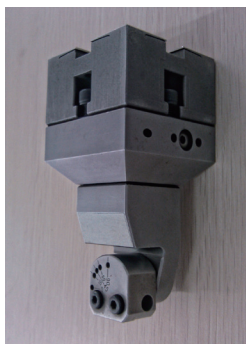


图5 可调角度安装器

Fig.5 Angle adjustable fixture

分的设计。

通过可调角度安装器(如图 5 所示)进行成组电极和机床主轴的连接,也可完成所需加工角度的设置。

3 加工试验

电火花加工中的主要工艺参数包括放电电压、峰值电流、脉冲宽度、脉冲间隙、抬刀时间等,是决定放电加工过程是否持续稳定,以及加工质量和加工效率的关键因素。

根据 GH3536 材料的特性和以往经验,选用了以下主要的工艺参数进行试验,加工时间、电极损耗和孔的表面粗糙度的具体数值见表 1。其中, E334 的粗糙度值超出图纸要求, E312 的加工时间比 E323 多约 1 倍。考虑加工效率优先原则,决定选用 E323 参数作为加工参数。

表1 工艺参数及试验结果

试验代号	电压 /V	电流 /A	脉宽 / μ s	脉间 / μ s	抬刀 /s	加工时间 /min	电极损耗 /mm	孔的表面粗糙度 / μ m
E334	160	8	200	100	0.5	6	0.04	6.3
E323	160	8	100	50	0.5	8	0.02	3.2
E312	160	8	50	25	0.5	15	0.01	2.5

零件加工时,需要完成以下必要工作:(1)由于火焰筒为大尺寸薄壁结构件,零件变形大,零件安装过程中需要测量零件的径向跳动和端面跳动,因此通过调整垫、径向压板等工具,保证跳动误差值在 0.2mm 内;(2)群孔与主燃孔等其他孔的重叠性必须考虑,因此在有重叠关系的位置,需要将重叠部位的电极抽出;(3)加工时不能损伤发散壁,电极的加工深度必须进行控制。由于电极的损耗,当累积加工次数增加时,如果不对电极进行损耗补偿,会导致加工孔不通或不全通的结果。通过工艺试验,获得电极加工单次的损耗约为 0.02mm,因

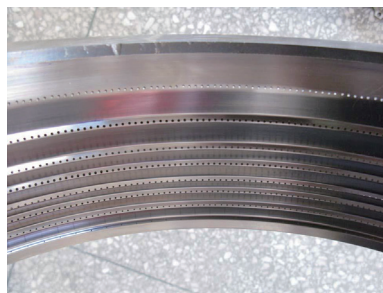


图6 加工后的火焰筒实物局部图

Fig.6 Partial photo of combustor liner after processing

(下转第 46 页)

(精加工);
 H100=235.42; (加工深度);
 H200=0.00; (轨迹半径);
 G90;
 G24;
 T84;
 C790;
 G01 Z - H100M04;
 G83 T002;
 T85; (关泵);
 M02; (加工结束);

3 结论

(1) 本文对大深径比盲孔的电火花加工工艺进行了深入研究,提出的工艺方法能够较好地解决镍基高温合金的低刚性工艺系统构件上的深盲孔加工要求,所加工零件满足了图纸尺寸和表面质量要求,对这类零件的电火花加工有很好的借鉴作用。

(2) 提出的电火花深盲孔专用导向器对大深径比(深径比 > 45 、孔径为 $\phi 5\text{mm}$)的深盲孔电火花加工是可行的,简化了加工难度,提高了产品质量。

(3) 对镍基高温合金材料电火花加工特性进行了试验,确定了合理的工艺参数;通过优化工艺流程,确定粗、中、精加工工艺方法和余量,得到可实用化的加工速度。

(4) 此工艺方法不仅能够完成圆柱形状的深盲孔电火花加工,而且可以推广到异型孔的加工,如方形、花瓣形、三角形等盲孔的电火花加工。

(责编 谷雨)

(上接第 37 页)

此每加工完一排孔后,将加工深度增加 0.02mm。

采用上述加工方法,完成了正式件的加工,群孔的加工精度、表面质量、位置度等技术指标均符合图纸要求,发散壁等其他非加工部位无烧伤和碰伤。图 6 为加工后火焰筒的局部图,该零件已经顺利交付给用户。

4 结论

采用成组电极进行火焰筒群孔加工,具有以下 2 个方面的特点:(1) 采用数控电火花成形机床进行群孔的加工,成组电极由群孔的分布规律、孔径和空间角度所决定;(2) 需要进行充分的工艺参数试验,在加工效率优先的前提下,保证火焰筒群孔的加工精度和表面质量,并实现较低的电极损耗。

经过加工试验验证,在现有的数控电火花成形机床

上采用群孔成组电极电火花加工技术,可以实现航空发动机火焰筒群孔的优质加工,解决了具有干涉结构火焰筒群孔的加工难题,获得了较高的加工效率和较好的表面质量。

(责编 谷雨)

(上接第 41 页)

完全一致,这样才能成功加工出想要的零件,要做到这点,只需要控制图形中加工线条的个数就可以了。利用这个系统就可以完成很多复杂零件程序的编制,只是需要人为设计走刀路线比较复杂。

例如,在设备预验收时试加工的零件的编程图形如图 7 所示。

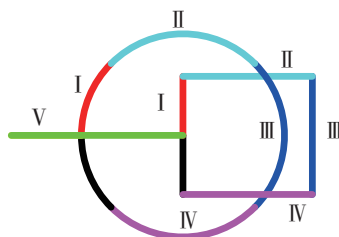


图7 试加工零件的编程图形

Fig.7 Programming graphics of testing parts

其中,相同线条为上下对应的程序段,正方形为上表面图形,圆形为下表面图形,2 个图形的进退刀点为同一点,这样加工出的零件就是一个上表面为方形,下表面为圆形的零件,输入零件高度是为让系统自动计算上导轮在 U 轴和 V 轴上的运行距离。

机床除去自动编程外也支持手动编程,编程代码与数控铣床代码基本一致,具体代码可以查机床说明书,机床可以实现圆弧插补、直线插补等命令。

采用本方案的机床在工厂运行了近 8 个月的时间,加工了批产型号、科研型号在内的十几批次的 20 余种上千个零件,合格率达到了百分之百,节省了做夹具的费用,缩短了零件的加工周期。

3 结束语

电火花加工这种特种加工技术不仅仅是一种用来切断或者粗加工的手段,它相较于传统机加工方式有很多的优势,简单点说就是只要零件能导电,就能进行加工,当机床的主轴精度、加工参数、电脉冲补偿准确到一定程度时,它其实与一台机加设备在加工零件精度方面几乎没有区别,而且电加工所产生的应力几乎可以忽略,所以一台具备多轴联动功能的线切割机床是可以完成更多复杂工况零件的加工的。

(责编 杰一)