



(21)申请号 201611193642.3

(22)申请日 2016.12.21

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 108372335 A

(43)申请公布日 2018.08.07

(73)专利权人 中国航空制造技术研究院

地址 100024 北京市朝阳区八里桥东北军庄1号

(72)发明人 褚玉程 张明岐 程小元 孙超

张志金 郭俊丰

(51)Int.Cl.

B23H 3/00(2006.01)

审查员 罗娟

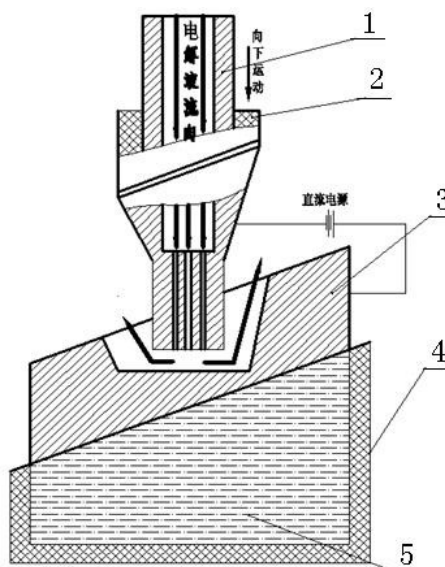
权利要求书1页 说明书4页 附图4页

(54)发明名称

一种密集斜方孔的电解加工方法

(57)摘要

本发明涉及一种密集斜方孔的电解加工方法,本发明正是针对这种薄壁结构上特殊类型的斜方孔加工需求,发明了一种利用中空的管电极高效电解加工密集斜方孔的方法,研制了相应的工装电极,采用电解液从管电极中空部位流出,正水的方式加工预孔,反水成型加工型孔方式,提升了装夹的对中度;突破了管电极加工深孔过程中短路,振动方向不在加工矢量方向等关键技术,具有加工效率高,加工表面质量好。通过本发明,能在薄壁结构上制备出孔口朝向多变的密集斜方孔。



1. 一种密集斜方孔的电解加工方法,其特征在于,具体包括下述步骤:

步骤一、管电极的外型设计:管电极根据所需加工型孔基于矢量方向展开,分为预孔加工区和侧面成型加工区;

步骤二、电极内腔设计:电极端面与加工表面平行,与加工水平面呈 $60^\circ$ ,端面出水口呈多孔的蜂窝状;电极中部为中空管状,通电解液;

步骤三、工装设计与制造;

步骤四、预孔粗加工:根据零件材质,优选电解加工工艺参数,加工电压设定在15-20V之间,电解液溶液采用6%-8% $\text{NaNO}_3$ 溶液;电极夹持在机床的Z轴,以0.1-0.5mm/s的速度靠近加工表面,管电极的内腔连接0.5-1MPa的电解液;

步骤五、型孔精密振动加工成型:随着预孔加工结束,在工件的表面会形成一个与阴极加工区域相类似的通孔; $\text{NaNO}_3$ 溶液在0.5-1MPa压力作用下会从电极外表面和通孔的内表面以反水的方式流出;配合脉冲电源,阴极在Z轴下行电机和振动电机作用下振动下行,振动频率为20-35Hz,开通角 $120^\circ$ - $195^\circ$ 之间;当电极接近工件表面时,脉冲电源打开,阳极溶解;当电极远离工件表面时,脉冲电源关断,加工间隙内的电解液更新,及时带走溶解金属离子;

步骤六、密集型方孔加工:采用间隔加工的方式,二次加工最终形成密集斜方孔。

2. 根据权利要求1所述的密集斜方孔的电解加工方法,其特征在于:所述的步骤四中工件接电源的阳极,管电极接电源的阴极;在工件与阴极靠近的过程中,工件作为阳极在电场作用下,发生溶解变成离子状态,被电解液带走;最终阴极形状会印刻在阳极表面,随着加工过程中不断进行,在加工表面形成深孔。

3. 根据权利要求1所述的密集斜方孔的电解加工方法,其特征在于:所述的预孔加工区在加工工件表面加工出通孔;侧面成型加工区是沿着矢量方向展开的型面,保证加工面沿着电解加工振动加工矢量方向。

4. 根据权利要求1所述的密集斜方孔的电解加工方法,其特征在于:所述的脉冲电源的脉宽0.36ms;脉间0.3ms。

5. 根据权利要求1所述的密集斜方孔的电解加工方法,其特征在于:所述的脉冲电源工装的设计保证电解加工过程中流场的稳定性;保证预加工过程中电解液能正向连续流动;精密振动电解加工型孔过程中反水流动能稳定的进行。

## 一种密集斜方孔的电解加工方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种密集斜方孔的电解加工方法,属于电解加工技术领域。

### 背景技术

[0002] 随着科学技术的发展,零件结构趋于复杂化,零件上的孔也由原来的常见的圆形变得形式多样。三角形、矩形、菱形孔等特殊形状的孔因其在零件上扮演的特殊角色变得十分常见。同时,对这种特殊形状孔的形状精度、位置精度、孔口表面质量也提出越来越高的要求。并且这些高要求特殊型孔应用于各个领域,从航空航天、船舶、兵器等高科技尖端设备到常见的医疗器件,传感器、汽车、工程机械等都有着十分广泛的应用。这种特殊类型的斜方孔均布在呈一定角度平面和曲面上,孔口朝向角度多变,孔的阵列方式密集,孔间筋板壁厚较薄,材料去除比高达70%以上,而且材料多为高温合金或钛合金等难加工材料,如图1所示。

[0003] 目前,对于这种特殊要求的密集方孔用传统的机械钻削的方法难以加工甚至不能加工。而电火花加工存在加工效率不高,电极损耗,导致型孔的成型精度控制难度较大。3D打印,可以实现复杂结构的成型,打印出的构件为铸态,成型筋条型孔等结构仍留有加工余量,后续加工困难。在打印过程中参数控制不好时,难以保证材料组织均匀性。

[0004] 针对这种密集群孔结构,管电极电解加工技术可以显著的提高被加工型孔深径比。同时,由于采用的是中性的盐溶液,减少对环境的污染,其使用范围更为广泛。但是,管电极加工型孔仍然存在一定问题,限制了其应用和发展。

[0005] 管电极加工型孔存在不足之处:

[0006] (1) 孔加工精度不高,孔的成型能力差。由于阴极与工件之间加工间隙内的电力线发散,在管电极电解加工型孔过程中存在杂散腐蚀,集中腐蚀能力较差,降低型孔的加工精度。

[0007] (2) 管电极加工型孔的另一问题就是加工过程的稳定性差。随着加工过程的深入,电极与型孔形成U形弯曲的空间流场,电解液的充满加工区域能力变弱。同时,采用的是中性电解液,阳极产物的溶解性不好,会堵塞加工间隙,阻碍电解加工的正常进行,导致加工过程稳定性变差。再有,型孔由盲孔加工至通孔的后阶段,工件在管电极孔中心形成的型芯发生移动,阴极与工件间的加工间隙发生变化,极易导致短路,阻碍加工过程的顺利进行,降低管电极加工型孔的稳定性。

[0008] 针对以上管电极加工型孔的过程出现的问题,引入管电极的振动和电源的脉冲加工,电解加工技术结合振动和高频脉冲电源技术可以实现微小间隙的进给,能得到高精度和高表面质量的工件。

[0009] 管电极小幅振动进给与脉冲电源脉冲频率的精准配合,减少电解加工间隙,使得分布在加工间隙的电场具有定域性和针对性,减少了杂散腐蚀,提高型孔的加工精度。同时,管电极小幅振动进给对加工过程流场扰动,促进加工间隙流场的分布的均匀性,进而提高了型孔加工的稳定性。

## 发明内容

[0010] 本发明正是针对这种薄壁结构上特殊类型的斜方孔加工需求,发明了一种利用中空的管电极高效电解加工密集斜方孔的方法,研制了相应的工装电极,采用电解液从管电极中空部位流出,正水的方式加工预孔,反水成型加工型孔方式,提升了装夹的对中度;突破了管电极加工深孔过程中短路,振动方向不在加工矢量方向等关键技术,具有加工效率高,加工表面质量好。通过本发明,能在薄壁结构上制备出孔口朝向多变的密集斜方孔。

[0011] 为解决上述技术问题,本发明是通过以下方案实现:

[0012] 一种密集斜方孔的电解加工方法,其特征在于,所述的电解加工方法具体包括下述步骤:

[0013] 步骤一、管电极的外型设计:管电极根据所需加工型孔基于矢量方向展开,分为预孔加工区和侧面成型加工区;

[0014] 步骤二、电极内腔设计:电极端面与加工表面平行,与加工水平面呈 $60^{\circ}$ ,端面出水口呈多孔的蜂窝状;电极中部为中空的管状,通导电解液;

[0015] 步骤三、工装设计与制造;

[0016] 步骤四、预孔粗加工:根据零件材质,优选电解加工工艺参数,加工电压设定在15-20V之间,电解液溶液采用6%-8% $\text{NaNO}_3$ 溶液;电极夹持在机床的Z轴,以0.1-0.5mm/s的速度靠近加工表面,管电极的内腔连接0.5-1MPa的电解液;

[0017] 步骤五、型孔精密振动加工成型:随着预孔加工结束,在工件的表面会形成一个与阴极加工区域相类似的通孔; $\text{NaNO}_3$ 溶液在0.5-1MPa压力作用下会从电极外表面和通孔的内表面以反水的方式流出;配合脉冲电源,阴极在Z轴下行电机和振动电机作用下振动下行,振动频率为20-35Hz,开通角 $120^{\circ}$ - $195^{\circ}$ 之间;当电极接近工件表面时,脉冲电源打开,阳极溶解;当电极远离工件表面时,脉冲电源关断,加工间隙内的电解液更新,及时带走溶解金属离子;

[0018] 步骤六、密集型方孔加工:采用间隔加工的方式,二次加工最终形成密集斜方孔。

[0019] 在一个优选的技术方案中,所述的步骤四中工件接电源的阳极,管电极接电源的阴极;在工件与阴极靠近的过程中,工件作为阳极在电场作用下,发生溶解变成离子状态,被电解液带走;最终阴极形状会印刻在阳极表面,随着加工过程中不断进行,在加工表面形成深孔。

[0020] 在一个优选的技术方案中,所述的预孔加工区在加工工件表面加工出通孔;侧面成型加工区是沿着矢量方向展开的型面,保证加工面沿着电解加工振动加工矢量方向。

[0021] 在一个优选的技术方案中,所述的脉冲电源的脉宽0.36ms;脉间0.3ms。

[0022] 在一个优选的技术方案中,所述的脉冲电源工装的设计保证电解加工过程中流场的稳定性;保证预加工过程中电解液能正向连续流动;精密振动电解加工型孔过程中反水流动能稳定的进行。

[0023] 本发明的技术效果如下:

[0024] (1)在大倾斜角密集斜孔加工过程中,引入管电极的振动和脉冲电源,电解加工技术结合振动和高频脉冲电源技术可以实现微小间隙的进给,能得到高精度和高表面质量的工件。管电极小幅振动进给与脉冲电源脉冲频率的精准配合,减少电解加工间隙,使得分布在加工间隙的电场具有定域性和针对性,减少了杂散腐蚀,提高型孔的加工精度。同时,管

电极小幅振动进给对加工过程流场扰动,促进加工间隙流场的分布的均匀性,进而提高了型孔加工的稳定性。

[0025] (2) 预先设计侧面加工成型功能区,提高型孔加工精度。根据需加工的薄壁构件密集群孔方向将电极的侧面加工转换为振动进给方向,增强脉冲电源下,精密振动电解的效果,提高型孔的加工精度。

[0026] (3) 在成型电极上集成型孔预加工功能区和侧面成型加工功能区,两个加工功能区的设计中心重合,提升了型孔加工过程对中性和加工精度。

[0027] (4) 在密集斜方孔过程中,集成了电解加工过程中正水加工和反水加工方式,代替之前单一电解液流入方式,提升密集型孔的加工效率。

## 附图说明

[0028] 图1为管电极加工型孔的示意图一。

[0029] 图2为管电极加工型孔的示意图二。

[0030] 图3为管电极设计的结构示意图。

[0031] 图4为钛合金薄板上密集斜方孔加工方式的结构示意图。

[0032] 图5为电极外型结构示意图。

## 具体实施方式

[0033] 下面结合具体实施例和说明书附图对本发明的一种密集斜方孔的电解加工方法作进一步阐述,但本发明的保护内容并不限于以下实施例。

[0034] 本发明的密集斜方孔的电解加工方法的技术方案主要分为两个步骤,如图1所示:在电解液正向流动方式,直流电源条件下,管电极在Z轴驱动加工预孔;在电解液反向流动方式,脉冲电源条件下,管电极在Z轴驱动下振动向下加工型孔。其中1为管电极,2为管电极的绝缘涂层,3为工件,4为电解液腔,5为电解液。

[0035] 管电极精密振动电解加工钛合金薄板上密集斜方孔具体步骤如下:

[0036] (1) 加工型孔的电极外型设计:根据需要加工的型孔,设计电极预加工区和侧面成型区。其中,侧面抛光区型面比需要加工形成的型孔侧壁小0.05mm,形成振动的加工间隙。

[0037] (2) 电极内腔设计:管电极内腔为圆柱中空,端面出水口呈多孔的蜂窝状,防止在电解打孔的过程中出现型芯。

[0038] (3) 工装设计与制造:工装的设计保证电解加工过程中流场的稳定性。保证预加工过程中电解液能连续流动;型孔精密振动电解加工过程中反水流动的方式能稳定的进行。

[0039] (4) 预孔粗加工:根据零件材质TC4,选择电解液为8%NaNO<sub>3</sub>溶液,压力为0.6Mpa。将3根电极夹持在机床的Z轴(每两根电极之间,间隔一个需要加工型孔的区域),以0.1mm/s的速度靠近加工表面。设定加工电压为20V,检测电极表面只工件表面的加工间隙为0.1时,接通电源。阴极靠近工件的过程中,工件作为阳极在电场作用下,发生溶解变成离子状态,被电解液带走。最终阴极形状会印刻在阳极表面,随着加工过程中不断进行,在加工表面形成深孔。

[0040] (5) 型孔精密振动加工成型:随着预孔加工结束,在工件的表面会形成一个与阴极加工区域相类似的通孔。8%NaNO<sub>3</sub>溶液在0.8MPa的作用下会从电极外表面和通孔的内表面

以反水的方式流出。打开脉宽为0.36ms脉间为0.3ms的脉冲电源,阴极在Z轴以0.05mm/s速度下行,Z轴的振动频率为25HZ,开通角 $150^{\circ}$ - $195^{\circ}$ 。脉冲电源与电极的振动相互配合,当电极接近工件表面时,脉冲电源打开,阳极溶解;当电极远离工件表面时,脉冲电源关断,加工间隙内的电解液更新,及时带走溶解金属离子,最终在工件上形成高精度的型孔。

[0041] 本发明的方法具有如下的技术效果:

[0042] (1) 在大倾斜角密集斜孔加工过程中,引入管电极的振动和脉冲电源,电解加工技术结合振动和高频脉冲电源技术可以实现微小间隙的进给,能得到高精度和高表面质量的工件。管电极小幅振动进给与脉冲电源脉冲频率的精准配合,减少电解加工间隙,使得分布在加工间隙的电场具有定域性和针对性,减少了杂散腐蚀,提高型孔的加工精度。同时,管电极小幅振动进给对加工过程流场扰动,促进加工间隙流场的分布的均匀性,进而提高了型孔加工的稳定性。

[0043] (2) 预先设计侧面加工成型功能区,提高型孔加工精度。根据需加工的薄壁构件密集群孔方向将电极的侧面加工转换为振动进给方向,增强脉冲电源下,精密振动电解的效果,提高型孔的加工精度。

[0044] (3) 在成型电极上集成型孔预加工功能区和侧面成型加工功能区,两个加工功能区的设计中心重合,提升了型孔加工过程对中性和加工精度。

[0045] (4) 在密集斜方孔过程中,集成了电解加工过程中正水加工和反水加工方式,代替之前单一电解液流入方式,提升密集型孔的加工效率。

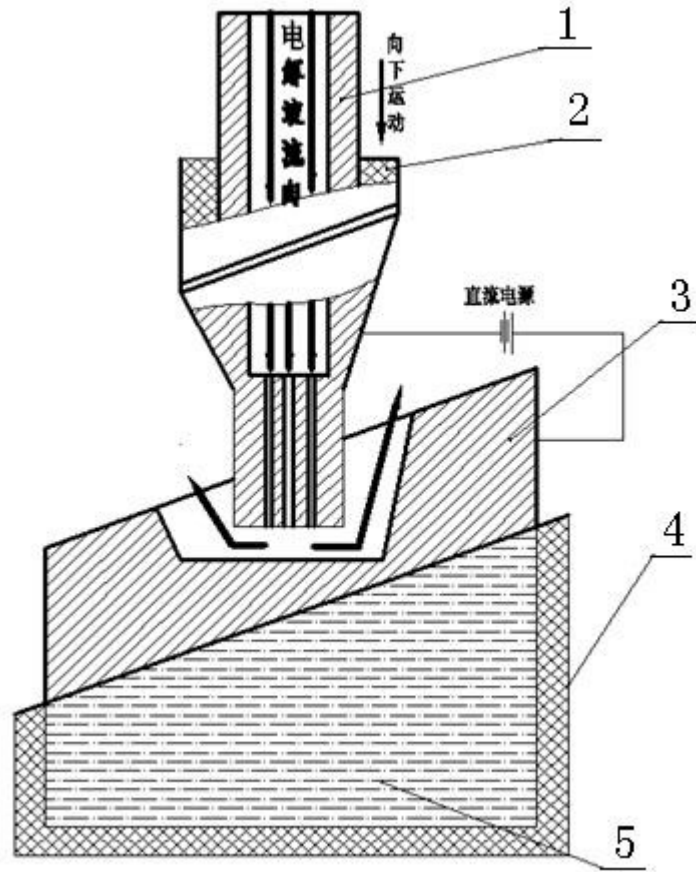


图1

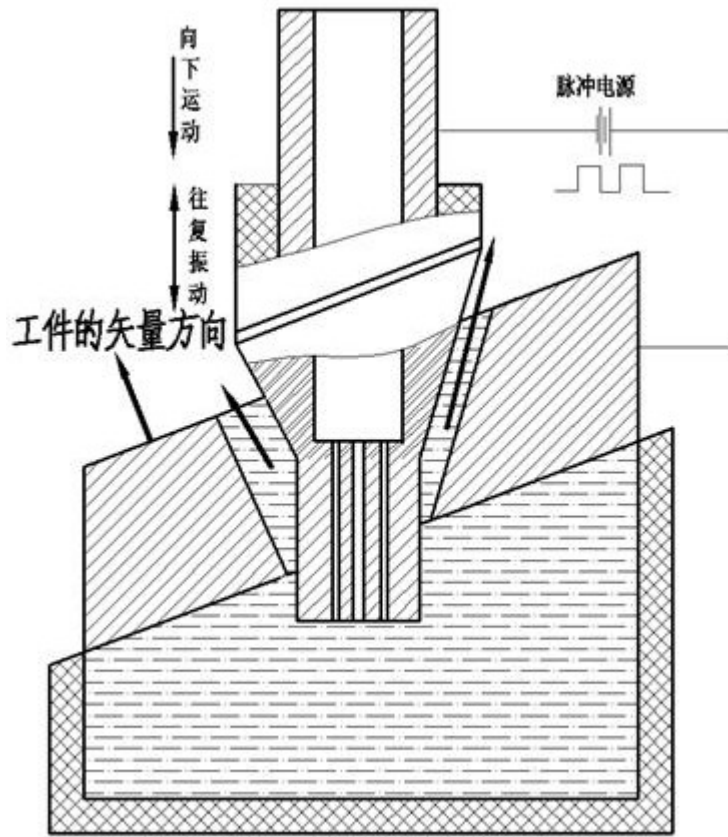


图2

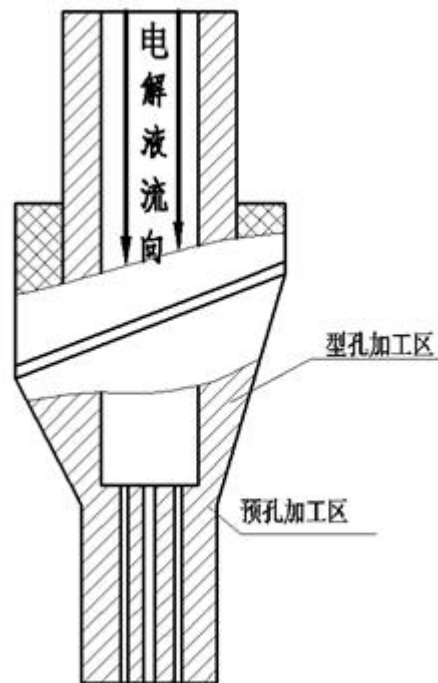


图3



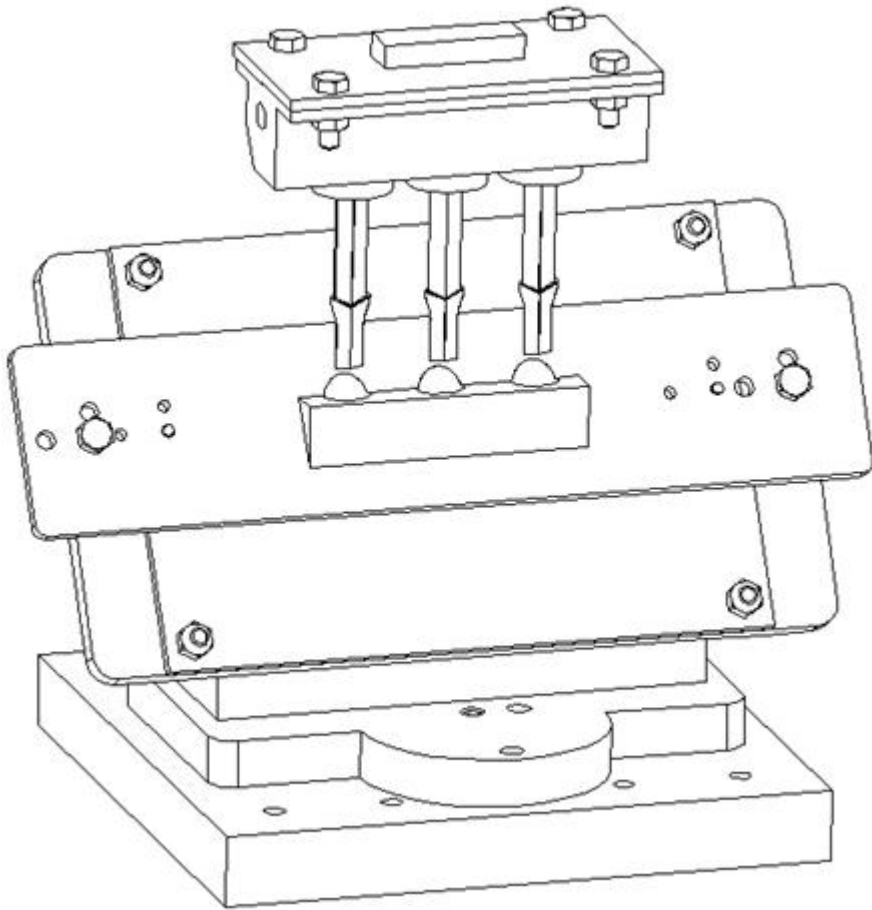


图4

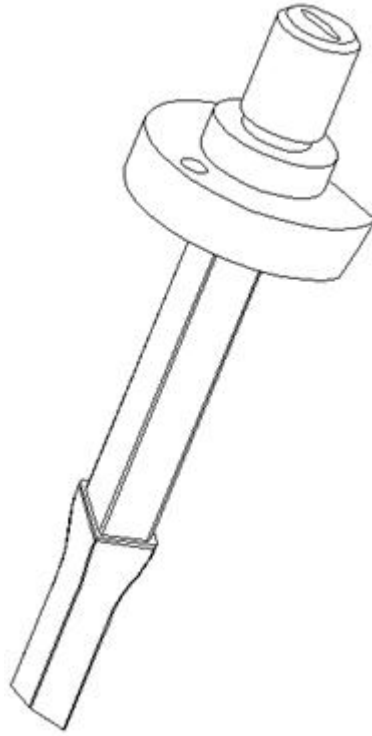


图5