



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 112108729 A

(43) 申请公布日 2020.12.22

(21) 申请号 202010501443.4

B23H 7/02 (2006.01)

(22) 申请日 2020.06.04

(71) 申请人 北京控制工程研究所

地址 100080 北京市海淀区北京2729信箱

(72) 发明人 王文平 赵连清 张志伟 刘国梁

代京 张成健 郑然 刘鹏飞

王国华 黎月明 武胜勇 申坤

李晋军

(74) 专利代理机构 中国航天科技专利中心

11009

代理人 张丽娜

(51) Int. Cl.

B23H 5/02 (2006.01)

B23H 5/00 (2006.01)

B23H 1/00 (2006.01)

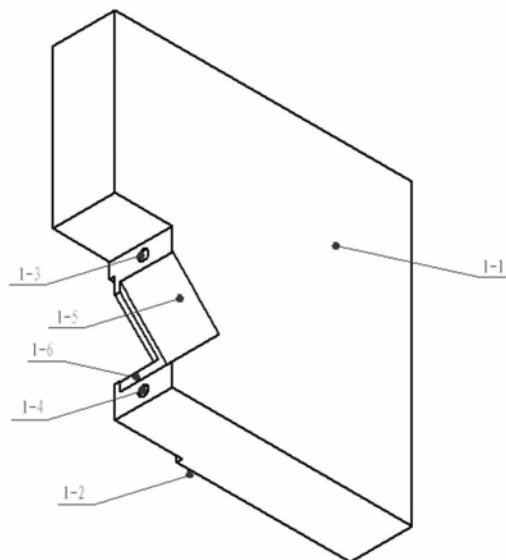
权利要求书1页 说明书6页 附图4页

(54) 发明名称

一种异形难熔阳极加工工装及方法

(57) 摘要

本发明一种异形难熔阳极加工工装及方法，属于电火花加工工艺技术领域，涉及一种采用电火花加工异形高精度难熔材料工艺方法。使用电火花成型电极加工穿丝孔，加工速度更快，加工小孔深径比更高，穿丝孔的直线度更高，适用的材料范围更广，使用电火花成型电极加工锥面工艺参数，通过不断更改与加工过程相适应的加工参数，能满足不同锥面角度的加工和尺寸形位公差要求，不同表面粗糙度、表面跳动等表面质量要求。



1. 一种异形难熔阳极加工工装,其特征在于:该加工工装包括基座、夹块和螺钉;基座的顶端带有 90° V形凹槽,该 90° V形凹槽的两侧端面上带有螺纹孔,该 90° V形凹槽的底端带有V形托底,夹块为一平板,该平板上带有两个通孔,通过该两个通孔和螺钉将平板固定连接在 90° V形凹槽的两侧端面上。

2. 根据权利要求1所述的一种异形难熔阳极加工工装,其特征在于:异形难熔阳极的材料为钨合金。

3. 根据权利要求1所述的一种异形难熔阳极加工工装,其特征在于:异形难熔阳极的材料为钼合金。

4. 根据权利要求1所述的一种异形难熔阳极加工工装,其特征在于:异形难熔阳极的材料为铌合金。

5. 根据权利要求1所述的一种异形难熔阳极加工工装,其特征在于:异形难熔阳极为中心带有通孔的圆柱,该通孔从上到下依次为圆柱孔、上锥孔、微小孔和下锥孔,圆柱孔、上锥孔、微小孔和下锥孔同轴。

6. 根据权利要求5所述的一种异形难熔阳极加工工装,其特征在于:圆柱孔、上锥孔、微小孔和下锥孔的同轴度小于 $\Phi 0.01\text{mm}$ 。

7. 根据权利要求1所述的一种异形难熔阳极加工工装,其特征在于:圆柱孔直径的公差 $\leq 0.01\text{mm}$ 。

8. 根据权利要求1所述的一种异形难熔阳极加工工装,其特征在于:上锥孔和下锥孔的锥角公差 $\leq 10'$ 。

9. 根据权利要求1所述的一种异形难熔阳极加工工装,其特征在于:微小孔的直径 $\leq 0.6\text{mm}$,微小孔直径的公差 $\leq 0.01\text{mm}$ 。

10. 一种异形难熔阳极加工方法,其特征在于该方法的步骤包括:

(1) 将加工工装固定安装在高速穿孔机机床工作台上;

(2) 将待加工的阳极磨制件固定安装在加工工装的 90° V形凹槽内,通过该加工工装实现对待加工的阳极磨制件的固定和定位,并通过压块2进行锁紧固定;

(3) 使用高速穿孔机找正待加工的阳极磨制件的中心,使用空心黄铜电极在待加工的阳极磨制件中心加工穿丝孔,穿丝孔与待加工的阳极磨制件的外圆的同轴度 $\leq \Phi 0.01\text{mm}$,穿丝孔的直径比微小孔的直径小 0.2mm ,将加工工装连同阳极磨制件一起从高速穿孔机机床工作台上卸下;

(4) 将步骤(3)得到的装卡有阳极磨制件的加工工装固定安装在线切割机床的工作台上,通过线切割机床的电极丝同时预加工阳极磨制件的上锥孔和下锥孔,且预加工上锥孔的锥角和下锥孔的锥角一致均为 α , $\alpha \leq \beta - 16^{\circ}$,其中当 α 大于 β 时, $\alpha = \beta$,当 α 不大于 β 时, $\alpha = \alpha$,上锥孔的锥角为 α ,下锥孔的锥角为 β ;

(5) 继续通过线切割机床的电极丝加工阳极磨制件的微小孔至图纸尺寸要求,加工工装连同阳极磨制件一起从线切割机床工作台上卸下;

(6) 在电火花成型机床的工作台上固定安装一虎钳,然后将步骤(5)得到的装卡有阳极磨制件的加工工装固定安装在虎钳的V形槽上并使用螺钉锁紧,通过锥形孔成型电极将预加工后的下锥孔加工成型至图纸尺寸要求,用圆柱孔和锥形孔成型电极将加工后的上锥孔和圆柱孔加工成型至图纸尺寸要求,得到异形难熔阳极。

一种异形难熔阳极加工工装及方法

技术领域

[0001] 本发明一种异型难熔阳极加工工装及方法,属于电火花加工工艺技术领域,涉及一种采用电火花加工异型高精度难熔材料工艺方法。

背景技术

[0002] 零件锥面和微小孔的加工一般采用机械加工、电火花线切割、电火花成型加工等方法,有时也会选用超声振动辅助电火花复合加工,但复合加工成本相对较高,加工灵活性也较差,故不常用。采用机械加工制造异型孔,存在成本高、复杂孔加工困难等缺点,尤其对于难熔高硬度材料,加工刀具易折断造成无法加工。故常选用电火花方法进行加工。采用线切割加工方法通过调整电极走丝的角度加工不同锥面角度,如果锥面比较长,将导电材料剖开制作穿丝孔,钎焊成一体然后进行线切割成型加工锥面。也可采用电火花成型方法进行粗加工和精加工,电极选用加工不同角度加工锥孔。采用电火花旋转电极加工小孔的方法,通过选用不同电加工参数,加工微小孔对于内孔同时具有异型锥面和微小孔结构的零件,如何加工保证尺寸公差(微小孔径公差 $< \pm 0.01\text{mm}$ 、锥面孔锥角公差 $< \pm 10'$)、形位公差(微小孔相对于外圆同轴度 $< \Phi 0.01\text{mm}$)、表面质量(粗糙度 $Ra < 0.8$ 、锥面全跳动相对于外圆 < 0.02)的要求,没有涉及,特别是对于难熔材料异型孔的加工也没有涉及。

[0003] 异型高精度难熔阳极加工目前主要存在以下问题^{[1][2][3]}:

[0004] ①加工的孔是倾斜的或弯曲的,垂直度易超差;

[0005] ②孔内壁的表面粗糙度较差,但孔的宽度又太小,不好打磨。电火花加工本身就是利用其脉冲性火花放电时的电腐蚀现象来蚀除多余的材料,加工表面质量不高,孔的内壁加工表面质量不好,有凹坑;

[0006] ③加工过程中存在误差,孔的内径一致性差,尺寸加工精度不高;

[0007] ④为保证内孔与外圆、内孔中各异型孔之间高的形位公差,较难设计易于装卡的一体化高精度工装;

[0008] ⑤难熔材料,熔点、硬度以及密度高,加工难度大。

发明内容

[0009] 本发明的技术解决问题是:克服以上缺点,通过合理的工艺流程\设计电火花线切割和电火花成型加工通用一体化工装以及采用合理的电火花工艺参数,工艺通用性强,装卡方便快捷,能够保证高的形位公差要求,加工后产品一致性较好,很大程度上解决了难熔材料内部异形结构和高精度形位尺寸公差超差的问题。

[0010] 本发明的技术解决方案是:

[0011] 一种异形难熔阳极加工工装,异形难熔阳极的材料为钨合金、钼合金、铌合金,异形难熔阳极为中心带有通孔的圆柱,该通孔从上到下依次为圆柱孔、上锥孔、微小孔和下锥孔,圆柱孔、上锥孔、微小孔和下锥孔的同轴,且同轴度小于 $\Phi 0.01\text{mm}$;

[0012] 圆柱孔直径的公差不大于 0.01mm ;

[0013] 上锥孔和下锥孔的锥角公差不大于 $10'$,上锥孔的锥角为 α ,下锥孔的锥角为 β ;

[0014] 微小孔的直径不大于 0.6mm ,微小孔直径的公差不大于 0.01mm ;

[0015] 该加工工装的材料为不锈钢,该加工工装包括基座、夹块、螺钉和螺钉;基座的顶端带有 90°V 形凹槽,该 90°V 形凹槽的两侧端面上带有螺纹孔,该 90°V 形凹槽的底端带有V形托底,夹块为一平板,该平板上带有两个通孔,通过该两个通孔和螺钉3、螺钉4将平板固定连接在 90°V 形凹槽的两侧端面上。

[0016] 一种异形难熔阳极加工方法,该方法的步骤包括:

[0017] (1) 将上述的加工工装固定安装在高速穿孔机机床工作台上;

[0018] (2) 将待加工的阳极磨制件固定安装在加工工装的 90°V 形凹槽内,通过该加工工装实现对待加工的阳极磨制件的固定和定位,并通过压块进行锁紧固定;

[0019] (3) 使用高速穿孔机找正待加工的阳极磨制件的中心,使用空心黄铜电极在待加工的阳极磨制件中心加工穿丝孔,穿丝孔与待加工的阳极磨制件的外圆的同轴度小于 $\Phi 0.01\text{mm}$,穿丝孔的直径比微小孔的直径小 0.2mm ,将加工工装连同阳极磨制件一起从高速穿孔机机床工作台上卸下;

[0020] (4) 将步骤(3)得到的装卡有阳极磨制件的加工工装固定安装在线切割机床的工作台上,通过线切割机床的电极丝同时预加工阳极磨制件的上锥孔和下锥孔,且预加工上锥孔的锥角和下锥孔的锥角一致均为 c , $c \leq d - 16^\circ$,其中当 α 大于 β 时, $d = \beta$,当 α 不大于 β 时, $d = \alpha$;

[0021] (5) 继续通过线切割机床的电极丝加工阳极磨制件的微小孔至图纸尺寸要求,加工工装连同阳极磨制件一起从线切割机床工作台上卸下;

[0022] (6) 在电火花成型机床的工作台上固定安装一虎钳,然后将步骤(5)得到的装卡有阳极磨制件的加工工装固定安装在虎钳的V形槽上并使用螺钉锁紧,通过锥形孔成型电极将预加工后的下锥孔加工成型至图纸尺寸要求,用圆柱孔和锥形孔成型电极将加工后的上锥孔和圆柱孔加工成型至图纸尺寸要求,得到异形难熔阳极。

[0023] 本发明与现有技术相比的优点在于:

[0024] (1) 电火花加工阳极与超声振动辅助电火花复合加工相比,通用型更强,能满足不同异型结构内孔的加工,适应性和灵活性更强,加工时间更短。

[0025] (2) 电火花加工阳极与机械加工相比,成本更低、加工材料范围更广,表面质量较高。

[0026] (3) 使用加工工装装卡阳极工件,V型面装卡工件,装卡更方便、快捷,定位精度更高,通用性更强。

[0027] (4) 使用电火花成型电极加工穿丝孔,加工速度更快,加工小孔深径比更高,穿丝孔的直线度更高,适用的材料范围更广,使用电火花成型电极加工锥面工艺参数,通过不断更改与加工过程相适应的加工参数,能满足不同锥面角度的加工和尺寸形位公差要求,不同表面粗糙度、表面跳动等表面质量要求。

[0028] (5) 使用电火花线切割加工微小孔工艺参数,能满足微小孔尺寸公差和表面质量要求、以及同轴度等形位公差要求。

[0029] (6) 选择合理的加工工艺流程,进行异型高精度难熔材料阳极的加工,主要包括阳极件磨制、设计高精度装卡工装、电火花成型电极的加工、电火花线切割的加工、阳极质量

的检测等步骤,以下为高精度装卡工装、电火花成型电极的加工、电火花线切割的加工的简单介绍。

[0030] ①精密装卡工装:工装可为不锈钢、钛合金等材料,包括螺钉、夹块和基座等组成,基座为方形,上下两端面保持平行 $<0.005\text{mm}$,下端面要求平面度 $<0.005\text{mm}$,夹持阳极部位为V型,V型底端面下面要求有V型凸台,起到支撑阳极的作用,V型侧面与底端面要求垂直度 $<0.005\text{mm}$,保证阳极加工时的形位公差精度要求 $<0.01\text{mm}$,放入阳极后,用夹块进行夹持,并用螺钉进行锁紧固定,满足不同尺寸阳极的高精度装卡。

[0031] ②电火花成型电极加工:电火花成型电极加工内孔穿丝孔和锥面,加工内孔穿丝孔采用高速穿孔机,穿丝孔孔径 $<$ 微小孔内径,两则之差 $<0.1\text{mm}$,可采用一次装卡加工完成或两次装卡正反面加工完成。随后进行电火花线切割内孔,加工完内孔进行电火花成型加工锥面,加工锥面用电极角度大于图纸锥面下限 $0.2\sim 0.4^\circ$,加工过程中加工参数随之变化,最终满足表面质量和尺寸形位公差要求。

[0032] ③电火花线切割加工:首先选用试验件进行试加工内孔,在测量设备上进行测量内孔中心与外圆的中心同心度,如果中心有偏差进行纠偏,重新进行阳极中心坐标的调整,满足内孔与外圆同轴度要求。确定中心坐标后进行加工小于图纸要求的锥面(此锥面后续再进行电火花成型加工),然后再进行加工微小孔,避免微小孔与锥面相交处过切。微小孔需进行余量进行精修,满足表面质量要求。

附图说明

[0033] 图1是本发明加工工装的基座结构示意图;

[0034] 图2是本发明加工工装的夹块结构示意图;

[0035] 图3是本发明加工工装的爆炸示意图;

[0036] 图4是本发明加工工装与阳极磨制件的匹配示意图;

[0037] 图5为本发明的阳极的通孔示意图;

[0038] 图6为图5的微小孔的放大示意图;

[0039] 图7为本发明阳极加工电极进给示意图;

[0040] 图8为本发明阳极磨制件示意图。

具体实施方式

[0041] 下面结合附图和实施例对本发明作进一步说明。

[0042] 如图1-8所示,“一种异型高精度难熔阳极的加工方法”工艺流程包括阳极机加件的磨制、阳极穿丝孔高速穿孔机加工、阳极微小内孔线切割加工、阳极锥面电火花加工、质量检测等步骤;

[0043] 高精度装卡工装:工装可为不锈钢等耐腐蚀材料,包括螺钉3和螺钉4、夹块2和基座1等组成,基座为方形,上端面1-1和下端面1-2保持平行 $<0.005\text{mm}$,下端面1-2要求平面度 $<0.005\text{mm}$,夹持阳极外圆部位1-5为V型,V型底端面下面要求有1-6V型凸台,起到支撑阳极的作用,V型侧面1-5与底端面1-2要求垂直度 $<0.005\text{mm}$,保证阳极加工时的形位公差精度要求 $<0.01\text{mm}$,放入阳极5后,用夹块2进行夹持,并用螺钉3和螺钉4穿入夹块2中通孔2-1和2-2拧入基座1中螺纹孔1-3和1-4中,进行锁紧固定,满足不同尺寸阳极5的高精度装卡。

[0044] 一种异型高精度难熔阳极的加工方法,步骤为:

[0045] (1) 阳极机加件的磨制:

[0046] 阳极5外圆和端面采用磨削的方式加工,保证外圆 $\Phi D \pm 0.01$ 与上下端面垂直度 < 0.01 、端面平行度 < 0.02 和平面度 < 0.01 等尺寸,经过磨削试验件加工并检测。

[0047] (2) 阳极穿丝孔高速穿孔机加工:

[0048] 用黄铜空心电极直径 $< \Phi d - 0.10\text{mm}$ 碰触外圆4个方向找正阳极中心坐标,重复找正3次,保证重复定位精度 ≤ 0.005 ,最后空心电极移到阳极工件中心。

[0049] 用黄铜空心电极在阳极中心打穿丝孔,其加工参数为脉冲宽度 $2 \sim 8\mu\text{s}$,脉冲间隙 $12 \sim 28\mu\text{s}$,间隙电压 $30 \sim 40\text{V}$,功率管数 $1 \sim 3$,用测量仪测量阳极穿丝孔与外径中心偏离值,都 < 0.10 ,阳极转至线切割机床加工内孔 $\Phi d \pm 0.01$ 。

[0050] (3) 阳极微小内孔线切割加工:

[0051] 如果表面质量要求高,需要修切的次数增多,也会多次切削,造成小孔长度过切,长度变短,无法满足图纸要求。因此先加工锥面再进行加工微小内孔。用阳极装卡工装装卡后用千分表测量上端面的平面度满足 < 0.005 ,并根据穿丝孔与外圆测量的中心偏差值,中心纠偏后,确定中心站坐标,先进行切割锥面角度 $< \alpha - 5^\circ$ 、 $< \beta - 5^\circ$,只进行一次主切即可。再加工中心微小孔 $\Phi d \pm 0.01$,保证微小孔与外圆中心偏差值 < 0.005 ,加工时先进行主切一次,修切 $2 \sim 5$ 次。

[0052] 加工锥面和微小孔线切割主切参数为电源电压 $90 \sim 100\text{V}$ 、峰值电流 $1.5 \sim 2.5\text{A}$ 、工作电流 $0.6 \sim 0.8\text{A}$ 、脉宽 $4 \sim 8\mu\text{s}$ 、脉间 $40 \sim 60\mu\text{s}$ 、放电间隙 $0.004 \sim 0.006\text{mm}$ 、工件余量 $0.03 \sim 0.05\text{mm}$,修切参数为电源电压 $45 \sim 90\text{V}$ 、峰值电流 $0.5 \sim 1.5\text{A}$ 、工作电流 $0.1 \sim 0.6\text{A}$ 、脉宽 $0.1 \sim 4\mu\text{s}$ 、脉间 $1 \sim 40\mu\text{s}$ 、放电间隙 $0.001 \sim 0.004\text{mm}$ 、工件余量 $0 \sim 0.012\text{mm}$ 。

[0053] (4) 阳极锥面电火花加工:

[0054] 虎钳V型口装卡阳极,要求平面度在 0.002 以内,以及外圆的垂直度在 0.002 以内。弹簧卡装夹电极,加工锥面,千分表打表找正电极外圆和锥面,保证跳动值 < 0.005 。然后用电极碰触阳极外圆,找正阳极端面中心,保证中心偏差 < 0.005 ,并用电极碰触阳极端面,确认阳极端面所在位置即零点位置,每根电极更换后要重新进行上述步骤进行找正。

[0055] 通过计算确认进给Z轴深度。进行粗加工,深度图纸尺寸 $L1 \pm 0.05$ 留余量 $0.05 \sim 0.20$,然后进行中加工,深度图纸尺寸 $L1 \pm 0.05$ 留余量 $0.01 \sim 0.05$,最后更换精加工电极进行精加工深度到图纸尺寸 $L1 \pm 0.05$ 。

[0056] 以 β 锥面为例,电极进给深度值计算方法如下

$$[0057] \quad l1 = L1 + (\Phi d / 2) \times \tan(90^\circ - (\beta / 2)) - d1 - d2 \quad (1)$$

$$[0058] \quad d2 = d / \sin(\beta / 2) \quad (2)$$

[0059] $d1$: 电极理论尖端到实际尖端值;

[0060] $d2$: 电极理论尖端到阳极锥尖距离;

[0061] d : 放电间隙。

[0062] 锥面电火花成型粗加工参数为低压电流 $4.5 \sim 21\text{A}$ 、脉宽 $60 \sim 120\mu\text{s}$,脉冲间隔 $30 \sim 60\mu\text{s}$,间隙放电电压 $40 \sim 50\text{V}$,半精加工参数为低压电流 $3 \sim 4.5\text{A}$ 、脉宽 $8 \sim 60\mu\text{s}$,脉冲间隔 $60 \sim 100\mu\text{s}$,间隙放电电压 $50 \sim 55\text{V}$,精加工参数为低压电流 $1.5 \sim 3\text{A}$ 、脉宽 $2 \sim 8\mu\text{s}$,脉冲间隔 $100 \sim 200\mu\text{s}$,间隙放电电压 $55 \sim 60\text{V}$ 。加工锥面用电极角度大于图纸锥面下限 $0.2 \sim 0.4^\circ$

[0063] (5) 质量检测:

[0064] 采用三坐标测量仪或3D复合影像测量仪进行测量微小内孔、锥面尺寸、形位公差和表面质量。

[0065] 实施例1

[0066] 加工材料为钨合金, $\alpha=40^\circ$ 、 $\beta=60^\circ$ 、 $L\pm 0.01=23\pm 0.01$ 、 $L1\pm 0.05=7.5\pm 0.05$ 、 $L2\pm 0.03=0.8\pm 0.03$ 、 $\Phi D\pm 0.01=\Phi 27\pm 0.01$ 、 $\Phi D1\pm 0.04=\Phi 7.6\pm 0.04$ 、 $\Phi d\pm 0.01=\Phi 0.6\pm 0.01$ 。

[0067] (1) 阳极机加件的磨制:

[0068] 阳极5外圆和端面采用磨削的方式加工, 保证外圆 $\Phi 27\pm 0.01$ 与上下端面垂直度0.005、端面平行度0.005和平面度0.005等尺寸, 经过磨削试验件加工并检测。

[0069] (2) 阳极穿丝孔高速穿孔机加工:

[0070] 用黄铜空心电极直径 $\Phi 0.40\text{mm}$ 碰触外圆4个方向找正阳极中心坐标, 重复找正3次, 保证重复定位精度0.002, 最后空心电极移到阳极工件中心。

[0071] 用黄铜空心电极在阳极中心打穿丝孔, 其加工参数为脉冲宽度 $5\mu\text{s}$, 脉冲间隙 $20\mu\text{s}$, 间隙电压35V, 功率管数2, 用测量仪测量阳极穿丝孔与外径中心偏离值, 都0.05, 阳极转至线切割机床加工内孔 $\Phi 0.6\pm 0.01$ 。

[0072] (3) 阳极微小内孔线切割加工:

[0073] 如果表面质量要求高, 需要修切的次数增多, 也会多次切削, 造成小孔长度过切, 长度变短, 无法满足图纸要求。因此先加工锥面再进行加工微小内孔。用阳极装卡工装装卡后用千分表测量上端面的平面度满足0.002, 并根据穿丝孔与外圆测量的中心偏差值, 中心纠偏后, 确定中心站坐标, 先进行切割锥面角度 25° 、 40° , 只进行一次主切即可。再加工中心微小孔 $\Phi 0.6\pm 0.01$, 保证微小孔与外圆中心偏差值0.002, 加工时先进行主切一次, 修切4次。

[0074] 加工锥面和微小孔线切割主切参数为电源电压95V、峰值电流2A、工作电流0.7A、脉宽 $6\mu\text{s}$ 、脉间 $50\mu\text{s}$ 、放电间隙0.005mm、工件余量0.04mm, 修切参数为电源电压85V、峰值电流1A、工作电流0.5A、脉宽 $1\mu\text{s}$ 、脉间 $20\mu\text{s}$ 、放电间隙0.003mm、工件余量0.01mm。

[0075] (4) 阳极锥面电火花加工:

[0076] 虎钳V型口装卡阳极, 要求平面度在0.002以内, 以及外圆的垂直度在0.002以内。弹簧卡装夹电极, 加工锥面, 千分表打表找正电极外圆和锥面, 保证跳动值0.003。然后用电极碰触阳极外圆, 找正阳极端面中心, 保证中心偏差0.002, 并用电极碰触阳极端面, 确认阳极端面所在位置即零点位置, 每根电极更换后要重新进行上述步骤进行找正。

[0077] 通过计算确认进给Z轴深度。进行粗加工, 深度图纸尺寸 7.5 ± 0.05 留余量0.15, 然后进行中加工, 深度图纸尺寸 7.5 ± 0.05 留余量0.04, 最后更换精加工电极进行精加工深度到图纸尺寸 7.5 ± 0.05 。最终完成 $\alpha=40^\circ$ 和 $\beta=60^\circ$ 双锥孔加工。

[0078] 锥面电火花成型粗加工参数为低压电流20A、脉宽 $80\mu\text{s}$, 脉冲间隔 $50\mu\text{s}$, 间隙放电电压45V, 半精加工参数为低压电流4A、脉宽 $50\mu\text{s}$, 脉冲间隔 $80\mu\text{s}$, 间隙放电电压55V, 精加工参数为低压电流2A、脉宽 $6\mu\text{s}$, 脉冲间隔 $150\mu\text{s}$, 间隙放电电压55V。

[0079] (5) 质量检测:

[0080] 采用三坐标测量仪进行测量微小内孔和锥面: $\alpha=39^\circ 54'$ 、 $\beta=59^\circ 53'$ 、 $L\pm 0.01=$

23.001、 $L1 \pm 0.05 = 7.501$ 、 $L2 \pm 0.03 = 0.803$ 、 $\Phi D \pm 0.01 = \Phi 27.001$ 、 $\Phi D1 \pm 0.04 = \Phi 7.598$ 、 $\Phi d \pm 0.01 = \Phi 0.603$ ，与外圆同轴度 $\Phi 0.008\text{mm}$ ，锥面粗糙度 $Ra0.65$ ，锥面全跳动 0.006mm 。

[0081] 实施例2

[0082] 加工材料为钼合金， $\alpha = 30^\circ$ 、 $\beta = 50^\circ$ 、 $L \pm 0.01 = 27 \pm 0.01$ 、 $L1 \pm 0.05 = 7.0 \pm 0.05$ 、 $L2 \pm 0.03 = 0.7 \pm 0.03$ 、 $\Phi D \pm 0.01 = \Phi 23 \pm 0.01$ 、 $\Phi D1 \pm 0.04 = \Phi 7.5 \pm 0.04$ 、 $\Phi d \pm 0.01 = \Phi 0.5 \pm 0.01$ 。

[0083] 阳极穿丝孔高速穿孔机加工微小孔穿丝孔直径 $\Phi 0.30\text{mm}$ ，阳极微小内孔线切割加工微小孔直径 $\Phi 0.50\text{mm}$ ，切割锥面角度 20° 、 30° 。阳极锥面电火花加工电极角度 30.02° ， 50.03° ，其它参数类似。

[0084] 检测结果： $\alpha = 30^\circ 56'$ 、 $\beta = 50^\circ 52'$ 、 $L \pm 0.01 = 27.001$ 、 $L1 \pm 0.05 = 7.001$ 、 $L2 \pm 0.03 = 0.701$ 、 $\Phi D \pm 0.01 = \Phi 23.000$ 、 $\Phi D1 \pm 0.04 = \Phi 7.497$ 、

[0085] $\Phi d \pm 0.01 = \Phi 0.503$ ，与外圆同轴度 $\Phi 0.004\text{mm}$ ，锥面粗糙度 $Ra0.68$ ，锥面全跳动 0.016mm 。

[0086] 实施例3

[0087] 加工材料为铌合金， $\alpha = 50^\circ$ 、 $\beta = 70^\circ$ 、 $L \pm 0.01 = 30 \pm 0.01$ 、 $L1 \pm 0.05 = 8.0 \pm 0.05$ 、 $L2 \pm 0.03 = 0.9 \pm 0.03$ 、 $\Phi D \pm 0.01 = \Phi 35 \pm 0.01$ 、 $\Phi D1 \pm 0.04 = \Phi 8.5 \pm 0.04$ 、 $\Phi d \pm 0.01 = \Phi 0.8 \pm 0.01$ 。

[0088] 阳极穿丝孔高速穿孔机加工微小孔穿丝孔直径 $\Phi 0.60\text{mm}$ ，阳极微小内孔线切割加工微小孔直径 $\Phi 0.80\text{mm}$ ，切割锥面角度 40° 、 60° 。阳极锥面电火花加工电极角度 50.03° ， 70.04° ，其它参数类似。

[0089] 检测结果： $\alpha = 50^\circ 57'$ 、 $\beta = 70^\circ 58'$ 、 $L \pm 0.01 = 30.001$ 、 $L1 \pm 0.05 = 8.002$ 、 $L2 \pm 0.03 = 0.901$ 、 $\Phi D \pm 0.01 = \Phi 35.002$ 、 $\Phi D1 \pm 0.04 = \Phi 8.599$ 、

[0090] $\Phi d \pm 0.01 = \Phi 0.801$ ，与外圆同轴度 $\Phi 0.006\text{mm}$ ，锥面粗糙度 $Ra0.67$ ，锥面全跳动 0.015mm 。

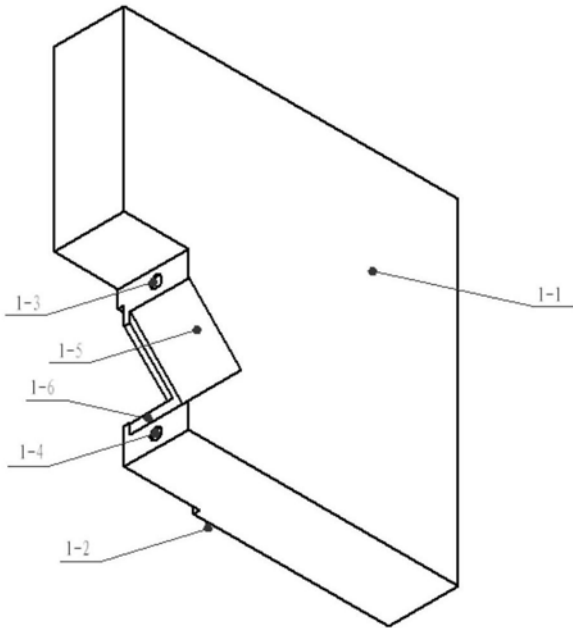


图1

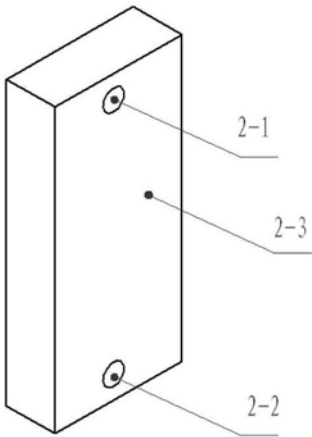


图2

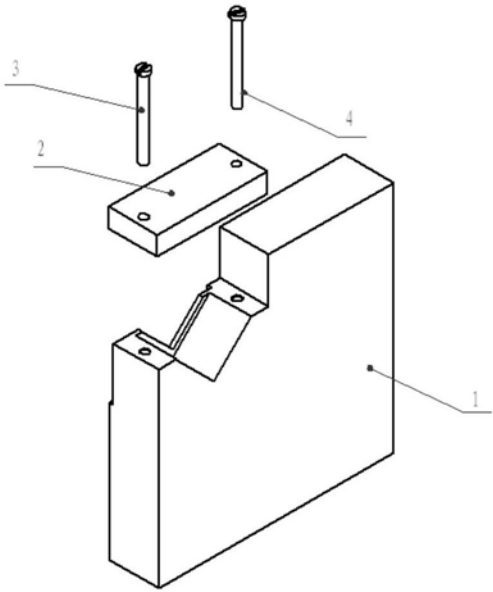


图3

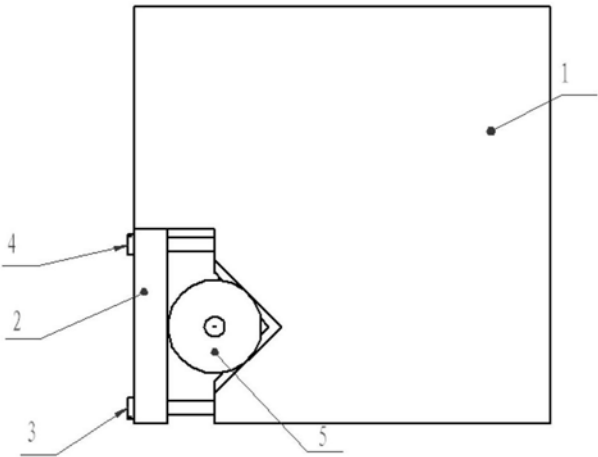


图4

