

挠性陀螺接头精密电加工技术研究

邢文忠 张洪立 杨芸

(中国海鹰机电集团 北京 100074)

文 摘 为解决挠性陀螺中接头细颈在传统的加工方法中由于切削力作用及工件—刀具变形、实际精度难以控制的难题,采用精密电加工工艺,配合以在位检测和特殊装夹、定位装置,成功实现了接头细颈的电火花加工(EDM),检测数据达到设计要求,证明该技术途径可行。

关键词 挠性接头,电加工,细颈,精度

Study on Precision Electromachining of Elastic Gyro Coupling

Xing Wenzhong Zhang Hongli Yang Yun

(China Sea-eagle Electromechanics Gro. Beijing 100074)

Abstract Traditional machining on elastic gyro coupling neck produces cutting force which leads to distortion of tools and workpieces, and thus the practical accuracy is hard to control. A precision finishing technique of electric discharge machining (EDM) on coupling necks was successfully conducted in conjunction with on-line checking and accurate fixing systems. Experimental results have met design requirements and showed that the technique is applicable.

Key words Elastic coupling, EDM, Neck, Accuracy

1 概述

挠性陀螺的发明极大地提高了陀螺的性能指标,挠性接头作为“挠性”的体现者起着关键性作用。挠性接头的特征在于轴向扭转刚度很大以将陀螺马达力矩传递给质量较大的回转刚体,其他两个方向的扭转刚度则较小以减小两个回转轴的方位误差。国内外普遍采用两个相邻小孔形成细颈的方法提供低刚度结构,目前较多采用两小圆孔形成细颈的结构方式。我们以某型号动调陀螺的双平衡环挠性接头为研究对象,其细颈由两相邻的圆孔形成,材料为高弹性合金钢 3J33B。

细颈表面粗糙度为 Ra 0.1,其形貌见图 1,尺寸见图 2。

目前采用的细颈加工工艺是先镗预孔后在精密

坐标镗上镗出细颈。由于孔直径小且较深,在切削力作用下,镗刀杆和细颈均产生弹性变形,精密镗床的坐标值并不能反应刀尖的真实轨迹,使细颈精度难以保证,只能依靠操作人员的工作经验来控制,加工质量和效率受到影响。

精密电加工技术的实现为接头加工提供了一条新途径^[1],因为不产生切削力,电极的运动轨迹可由数控电火花机床进行精密控制,使小孔的形位精度得到保证。但是电火花加工会产生表面变质层,电极与工件之间存在放电间隙,电极的运行轨迹和工件形状之间的关系需要通过一定的工艺路线和参数来确定^[2]。此外,该项技术对数控精密电火花机床的机械精度及工作精度都有较高要求。本研究工作就上述问题进行了探索。

收稿日期:2001-06-21;修回日期:2001-08-10

邢文忠,1969年出生,硕士,主要从事数控加工技术的研究工作
宇航材料工艺 2002年 第2期

— 43 —

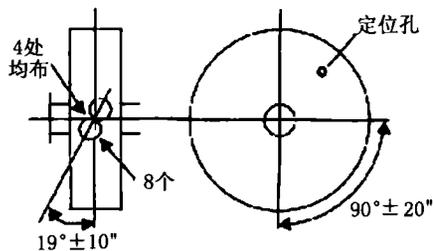


图1 接头细颈

Fig.1 Drawing of the neck

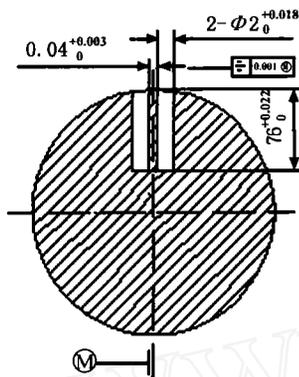


图2 细颈尺寸

Fig.2 Dimensions of the neck

2 电加工对设备的要求

由于构成细颈的小孔形状及位置精度主要由机床数控坐标精度和放电加工精度决定,在接头零件尺寸范围定位精度应达到 $1.5 \mu\text{m}$,因此对试验设备要求很高:

工作台行程 (xyz) 为 $300 \text{ mm} \times 200 \text{ mm} \times 150 \text{ mm}$;

定位精度为 $3 \mu\text{m}/100 \text{ mm}$;

主轴转速为 $100 \text{ r/min} \sim 500 \text{ r/min}$;

主轴端径向跳动为 $2 \mu\text{m}$;

最佳表面粗糙度为 $Ra0.1 \mu\text{m}$;

脉冲当量为 $1 \mu\text{m}$;主轴可与 EROWA 公司的 ITS-2005.00 夹头匹配。

日本 SODICK 公司的 B35 型和汉川机床厂研制的 HDK300 型精密数控电加工机床均可满足上述条件。

3 在位检测技术

利用电加工设备特有的接触感知功能,分别对相邻两小孔进行四点寻边,通过坐标计算以求得细颈尺寸,见图 3。

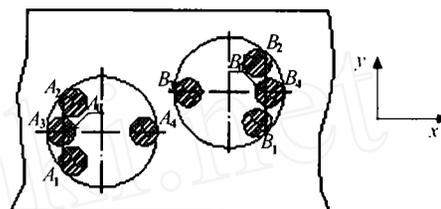


图3 细颈在位检测示意图

Fig.3 On-line checking

采用 $\Phi 1 \text{ mm}$ 标准球形测头,对 A 孔进行任意点 A_1 寻边并记录其坐标 (x_{a1}, y_{a1}) ,沿 y 向寻 A 孔另一点 $A_2(x_{a2}, y_{a2})$;通过 A_1 和 A_2 的中点 A_0 沿 x 向找到孔壁的 $A_3(x_{a3}, y_{a3})$ 和 $A_4(x_{a4}, y_{a4})$;同理求出 B 孔相应四点 $B_1(x_{b1}, y_{b1})$ 、 $B_2(x_{b2}, y_{b2})$ 、 $B_3(x_{b3}, y_{b3})$ 、 $B_4(x_{b4}, y_{b4})$ 。

细颈尺寸为小孔中心距减去两小孔半径之和,即:

$$s = \frac{1}{2} \left[\sqrt{(x_{a4} - x_{b4} + x_{a3} - x_{b3})^2 + (y_{a2} - y_{b2} + y_{a1} - y_{b1})^2} + (y_{a3} + y_{b3} - y_{a4} - y_{b4} - 2) \right]$$

由此当工件装夹在工作台上时,可实时测量计算细颈厚度并确定加工余量,该方法对设备的定位精度要求较高,因为坐标数据取自数控机床本身。

对此方案的精度验证是在一块 3J33B 材料上进行的。用电加工方法形成 8 个深 7.6 mm 的 $\Phi 2 \text{ mm}$ 小孔,孔径与三坐标测量法对比,获得了很高精度(见表 1),其中 A 为本研究采用的基于接触法在位

检测数据, B 为在 OPTON 公司 UPMC876 三坐标测量机上获得的数据,因为孔呈锥形,检测均在孔深 2 mm 处进行。B 值始终大于 A 值,均差 $+5.2 \mu\text{m}$,这是由于孔内残渣使测头在感知测量时未真正接触孔壁,可将此数值对 A 值补偿以得到高精度在位检测结果。

表 1 细颈孔检测数据

Tab.1 Checking results of the necks

mm

数据	孔 1	孔 2	孔 3	孔 4	孔 5	孔 6	孔 7	孔 8
B	2.0094	2.0093	2.0095	2.0086	2.0104	2.0079	2.0098	2.0061
A	2.008	2.0055	2.002	2.002	2.0025	2.005	2.0025	2.0015

4 精密装夹及定位

4.1 电极夹具

采用形位精度在 $1\ \mu\text{m}$ 以内的瑞士 ERROWA 公司专用夹块、夹头和弹簧套筒及夹头,夹块与回转主轴固联,调整好中心精度后不再拆卸;带有定位片的夹头及套筒可拆卸更换柱状电极。

4.2 工件夹具

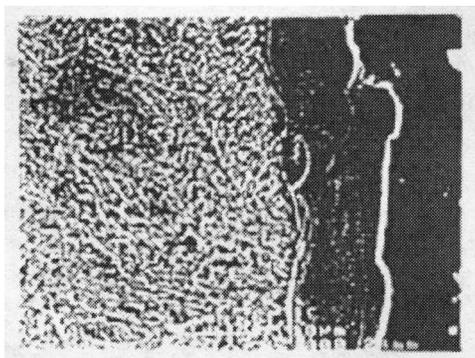
由 ERROWA 方块、夹块、带定位片的铜块组成。方块固连在工作台上提供与工作台垂直精度很高的平面;夹块安装在该平面上提供基准;铜块上的定位片可保证高精度的重复定位和 90° 回转等精度,与工件连接在一起完成镗底孔及精密电加工等工序。

5 加工试验

接头精密电加工试验分三步进行:3J33B 材料电加工表面质量试验,考察加工表面微裂纹及粗糙度。在工作状态,接头以 $2.4 \times 10^4\ \text{r/min}$ 的转速产生微小弹性变形,表面缺陷将严重影响接头的疲劳性能及产品的可靠性;细颈加工试验则考察精密电加工细颈厚度的一致性;接头加工用于对该工艺进行全面评估。

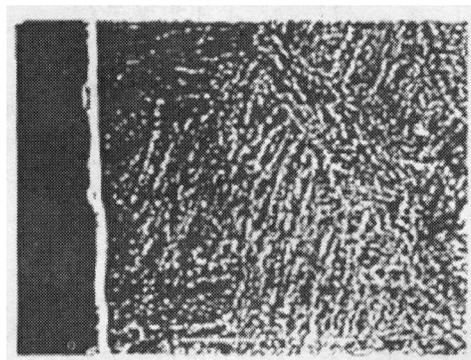
5.1 对 3J33B 材料的表面精密电加工试验

在一块材料侧面用紫铜圆柱电极进行平动加工,选择精密加工放电规准:单边放电间隙 $25\ \mu\text{m}$;脉冲宽度 $8\ \mu\text{s}$;脉冲间隙 $50\ \mu\text{s}$;峰值电流 $2\ \text{A}$;加工表面质量见图 4。



(a) 粗加工

宇航材料工艺 2002 年 第 2 期



(b) 精加工

图 4 电加工表面质量 $1000\times$

Fig.4 Surface of EDM

图 4(a)粗加工变质层为 $8\ \mu\text{m} \sim 20\ \mu\text{m}$,不均匀;图 4(b)精加工为 $2\ \mu\text{m}$,较均匀且无微裂纹产生,这与其他研究结果^[3]相符。表面粗糙度 R_a 为 0.2 ,如果放电规准选择更小, R_a 可以达到 0.1 的设计指标。

5.2 细颈加工试验

(1)镗加工出预孔: $\Phi 1.8\ \text{mm}$,深 $7.6\ \text{mm}$ 。

(2)以 $\Phi 1.8\ \text{mm}$ 圆柱紫铜电极,用数控电火花成型方法,进行主轴旋转、工作台摇动加工。工序尺寸选择 $\Phi 1.9\ \text{mm}$,细颈 $0.14\ \text{mm}$ 。本阶段主要用以修正形位偏差。

(3)将上阶段用的电极反拷贝,修正其形状误差,再用同样方法加工(平动量加大)。工序尺寸为 $0.05\ \text{mm} \sim 0.056\ \text{mm}$ 。本阶段作用在于提高表面质量和形状精度,采用参数见表 2。

表 2 精密加工放电规准

Tab.2 Standard of EDM

规准	单边放电 间隙/ μm	脉冲宽度 / μs	脉冲间隙 / μs	峰值电流 / A	电极单边 损耗/ μm
1	25	8	50	2	5
2	25	2	42	0	10
3	25	2	28	0	7
4	25	2	9	0	3
5	25	1	6	0	3

剩余加工量 $5\ \mu\text{m}$ 用于细颈研磨,使接头刚度达到指标。

5.3 接头整体加工

主要考察数控机床、精密夹具系统及电加工工艺参数对接头加工的整体影响。4个接头零件经车削和镗预孔后,采用电加工方法分别加工外圆四个细颈,工艺路线和参数按上述步骤进行。检测数据一致性较好,细颈精度在 $0.045\ \text{mm} \sim 0.055\ \text{mm}$ 之间,满足使用要求,合格率提高了 80%,表面质量 R_a 在 $0.2\ \mu\text{m}$ 以下,机加产品则为 $0.3\ \mu\text{m}$,可见采用精密电加工技术解决接头细颈机械加工的弹性变形及精度不易控制、表面质量差等问题是较为成功的。

6 结论

(1)采用适当工艺和参数,对 3J33B 材料精密电加工的表面变质层可控制在 $2\ \mu\text{m}$ 以内。

(2)精密电加工技术应用于挠性陀螺接头细颈加工能够满足设计要求且可实现在位检测,方案可行。

(3)精密电加工表面不存在微裂纹,粗糙度 R_a 0.1 ,但用于产品装配前需进行研磨以去除变质层。

(4)接头精密电加工工艺克服了机械加工产生弹性变形的难题,加工精度和质量有大幅度提高。

参考文献

- 1 刘晋春,赵家齐.特种加工.北京:机械工业出版社,1993:8~15
- 2 集群.电解加工.北京:国防工业出版社,1973:20~30
- 3 斋藤长男(日),于学文译.实用放电加工方法.北京:科学出版社,1984:168

(编辑 李洪泉)

铝合金表面硬质阳极化的超精研磨头

本成果在车床上加装超精研磨头,通过偏心机构使超精杆产生高频轴向振动($46.7\ \text{Hz}$),工件由车床主轴带动旋转、研磨后,活塞杆 $\Phi 20\ \text{mm}$ 硬质阳极化内孔表面达到设计要求,解决了伺服机构漏油漏气现象。

主要加工技术指标: $\Phi 20\ \text{mm}$ 内孔表面粗糙度 R_a $0.2\ \mu\text{m} \sim 0.32\ \mu\text{m}$;椭圆度、锥度不大于 0.005 ;硬质阳极化厚度为 $40\ \mu\text{m} \sim 60\ \mu\text{m}$;硬质阳极化硬度大于 HRC35。

磁盘磁头圆柱状浮动面研磨技术

本成果用于制作冠高为 $4\ \mu\text{m} \sim 5\ \mu\text{m}$ 、粗造度为 R_a $0.025\ \mu\text{m}$ 的圆柱形浮动块工作面的一种研磨技术。整个工作由一台自制研磨机实现。操作方便、研磨成功率在 80% 以上。粗造度可达到 R_a $0.025\ \mu\text{m}$ (浮动块材料是微晶玻璃)。

从干涉仪中观察到的表征圆柱面性能的光圈平直度、平行度和条纹数均满足设计要求。

该成果已成功地应用于磁盘磁头的制作。

· 李连清 ·