

钛合金相机支架高精度同轴孔的精密加工

张刚，樊鹏飞，马建斌

天津航天机电设备研究所 天津 300458

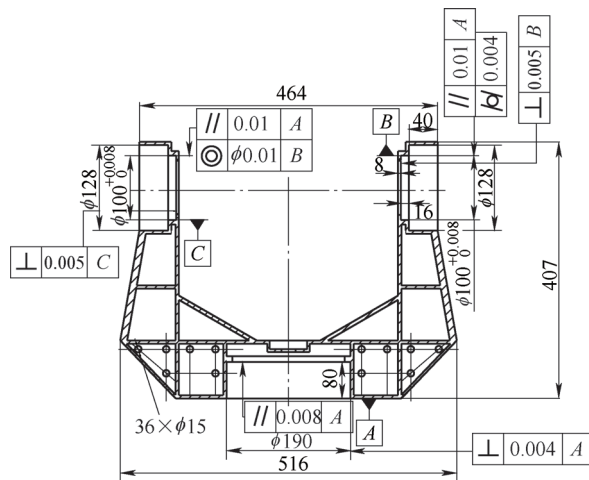
摘要：在钛合金相机支架的加工中，采用三轴机床配合转台，通过控制零件的装夹变形，增加辅助找正基准，合理选用刀具，合理控制加工中的变形，一次装夹完成所有孔的加工，实现了薄壁钛合金零件高精度同轴孔的高效、低成本和高质量加工。

关键词：钛合金；薄壁；同轴度；变形；防止

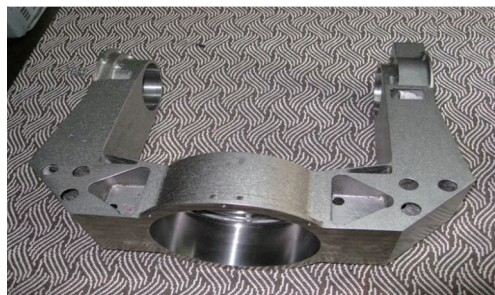


高级技师 张刚

要求两个 $\phi 100\text{mm}$ 内孔垂直度为 0.02mm 。



a) 结构尺寸



b) 实物

图1 U形相机支架

1 序言

相机支架是卫星相机拍摄部分中一个非常重要的零件，主要用于精密安装卫星相机的镜头及使相机做 360° 旋转。受使用条件和环境的制约，要求零件在满足要求的情况下，结构轻量化，具有高的强度。零件材料为钛合金，具有强度高、耐腐蚀性好、耐热性高以及相对质量较轻的特点。零件为薄壁结构件，在装夹、加工过程中容易产生变形，严重影响零件精度。

2 零件结构特点及技术参数

图1为U形相机支架。零件外形尺寸为 $516\text{mm} \times 407\text{mm} \times 227\text{mm}$ ，壁厚为 4mm ，整体为U形结构且大部分为空腔。三个孔的尺寸及加工精度分别为 $\phi 190^{+0.008}_0\text{mm}$ 、 $\phi 100^{+0.008}_0\text{mm}$ 和 $\phi 100^{+0.008}_0\text{mm}$ 。

3 材料性能及切削性能分析

钛合金的切削加工性能较差，主要是由于导热性差，致使切削温度很高，因而降低了刀具寿命。钛合金切削时变形系数小，使得切屑在前刀面

上滑动摩擦路程增大，加速刀具磨损。钛合金的弹性模量小，加工时在径向力的作用下容易产生弯曲变形而引起振动，加大刀具的磨损并影响零件精度。由于钛合金对刀具材料的化学亲和性强，在切削温度高和单位面积上切削力大的条件下，刀具容易产生黏结、磨损。

4 工艺流程设计

加工过程分为粗加工和精加工两个阶段。为了消除加工硬化和材料内部应力，中间安排两次热处理，减少零件变形对加工精度的影响。工艺流程：粗铣加工外形→去应力退火→精铣加工外形、内腔→人工时效加冷热循环→镗加工所有内孔。

5 加工难点分析

经分析，钛合金相机支架的加工难点如下。

- 1) 零件外形尺寸较大，不易切削加工。
- 2) 相机支架为典型薄壁类零件，在装夹和加工过程中易发生变形。
- 3) 两同轴孔跨度达到516mm，同轴度要求0.01mm， $\phi 100^{+0.008}_0$ mm内孔精度较高，不易保证精度要求。
- 4) 最大的 $\phi 190^{+0.008}_0$ mm内孔公差等级达到IT4级，深度80mm，且与 $\phi 100$ mm内孔轴线垂直度为0.02mm，尺寸精度不易保证。

6 采取的措施

针对加工难点采取如下措施。

- 1) 为满足加工精度要求，结合结构特点，选用T4163坐标镗床进行加工，同时利用转台在一次装夹过程中完成所有孔的加工，减少因多次装夹而产生的误差。U形相机支架装夹方式如图2所示。
- 2) 内孔尺寸精度的保证措施。在控制内孔尺寸精度时，为保证零件的圆度和尺寸稳定性，选用动平衡镗头和金刚石刀片进行加工，两基准面采用在镗床上单刃小切削深度0.05mm的形式完成精加工，最大程度保证了基准面的平面度，经检测平面度为0.005mm，基本达到机床精度的上限。利用机床转台的翻转精度，外加辅助找正方法，保证了 $\phi 190^{+0.008}_0$ mm内孔与基准面的垂直度0.02mm。同时，在精镗内孔时，所有内孔留0.4mm余量，采用多次等余量去除加工余量的方法，观察尺寸变化

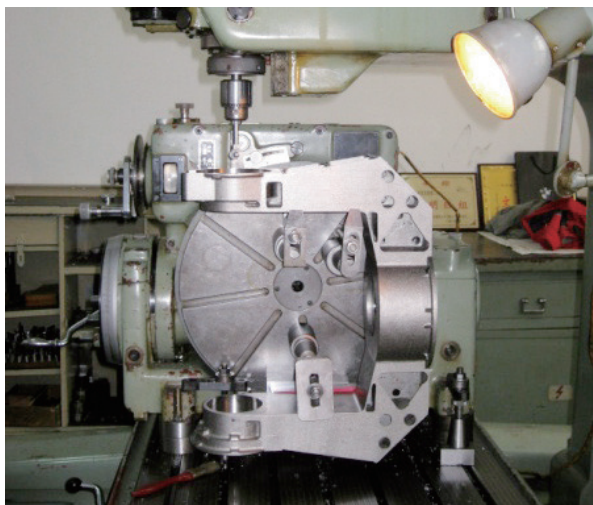


图2 U形相机支架装夹方式

量，调整去除量来保证孔径精度和内孔表面粗糙度要求。

- 3) 控制零件内应力变形、装夹变形和加工变形。主要措施有：①控制内应力变形。零件分粗、精加工去应力退火、人工时效和高低温冷热循环，尽量减少内应力的产生。②控制装夹变形。U形相机支架装夹变形实时监测措施如图3所示。控制夹紧力的大小，采用百分表多点打表，用三点小力矩压紧的方法将百分表与压紧点一一对应，采用多次循环逐步压紧的方法，保证在自由状态下，每个装夹点百分表x轴、y轴数值保持不变，尽量减小装夹变形，同时保证受力均匀、装夹可靠。③采用以冷却为主的水溶性乳化液进行降温，同时控制室内温度，保证室温 $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ ，从而控制加工热变形。通过选择合理的刀具材料、角度以及切削参数，尽



图3 U形相机支架装夹变形实时监测措施

量减小加工中的切削力，从而减小加工中产生的变形。

4) 保证同轴度要求。在转台台面上固定一个基准块，相当于增加了一个辅助找正基准。加工好一个 $\phi 100_{-0}^{+0.008}$ mm 内孔后，旋转 180° 加工另一个 $\phi 100_{-0}^{+0.008}$ mm 内孔，旋转角度都以基准块用千分表找正，最大限度地消除转台在翻转和旋转时的角度误差，再用加长杆配以千分表找正已经加工好的 $\phi 100_{-0}^{+0.008}$ mm 内孔，确保零件的同轴度要求。

5) 控制加工中的刀具振动。①控制强迫振动措施：远离振动源，避免与其他机床产生振动以及机床之间形成共振现象。②控制自激振动措施：就是要解决加工过程中工件刚性、刀具刚性及切削力的匹配程度。为保证零件最终的几何精度，确保将装夹变形对零件的影响降到最低，在不提高工件刚性的前提下，应选择相匹配的切削刀具、切削参数和刀具角度，即减小切削深度、降低切削速度及选择合理的进给量，以增加刀具的刚性。

7 产品质量检测

U形相机支架加工完成后，采用三坐标测量仪对主要技术指标进行检测，结果全部符合图样要求。三坐标测量仪关键数据检测结果见表1。

表1 三坐标测量仪关键数据检测结果

孔技术要求/mm	实测值/mm	检测结果
$\phi 190_{-0}^{+0.008}$	$\phi 190.005$	合格
$\phi 100_{-0}^{+0.008}$	$\phi 100.005$	合格
$\phi 100_{-0}^{+0.008}$	$\phi 100.003$	合格
同轴度0.01	0.007	合格
垂直度0.02	0.013	合格

8 结束语

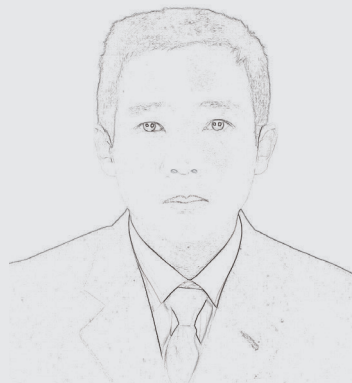
通过对钛合金相机支架的加工，在U形件大跨度同轴孔的加工以及防止薄壁零件变形方面积累了一定的经验，对于今后加工此类大型钛合金零件具有一定的借鉴意义。

参考文献：

- [1] 尹成湖，周湛学. 机械加工工艺简明速查手册[M]. 北京：化学工业出版社，2016.
- [2] 周湛学，赵小明. 图解机械零件加工精度测量及实例[M]. 北京：化学工业出版社，2014.
- [3] 王启平. 机械制造工艺学[M]. 5版. 哈尔滨：哈尔滨工业大学出版社，2005.
- [4] 韩杰，肖正航. 钛合金相机结构零件的精密加工[J]. 航天制造技术，2005（1）：43-46.
- [5] 廖念钊. 互换性与技术测量[M]. 4版. 北京：中国计量出版社，2000.

MW 20210520

专家点评



本文中的相机支架属于典型的U形结构零件，因钛合金材料不易切削加工，存在一定的装夹和切削变形，所以两侧同轴孔的精度不易保证。

作者针对支架零件的加工难点，在工艺路线和装夹方法上采取改进措施：通过粗、精加工去应力退火、人工时效的方法控制内应力变形；采用三点小力矩压紧的方法确保受力均匀；选择合适的刀具及切削参数，解决了零件变形和内孔同轴度问题。

文章内容真实、方法实用，重点介绍了钛合金材料的切削特点和U形件大跨度同轴孔的加工方法，对于类似零件的精密加工具有一定的指导作用。