

劣弧圆柱面上向心圆周孔的加工

马建斌 张 刚 戴广永

(天津航天机电设备研究所, 天津 300458)



摘要: 航天小批量生产中劣弧圆柱面上向心圆周孔的生产加工存在准备时间长, 孔位精度不易保证, 检测结果随机误差大的问题。以角盒产品为例, 分析了零件的结构特点和加工难点, 介绍了劣弧圆柱面镗孔的装夹定位方法和镗孔刀位点的坐标计算方法, 最后提出角盒产品劣弧圆柱面上孔位精度的检验方法。采用误差分析原理对检测数据分析, 孔位测量数据符合 3σ 准则, 使用该工艺方法加工的孔位精度能满足零件设计指标要求。

关键词: 劣弧; 圆柱面; 向心圆周孔

The Machining of Centripetal Circular Hole on Cylinder Surface with Inferior Arc

Ma Jianbin Zhang Gang Dai Guangyong

(Tianjin Institute of Aerospace Mechanical and Electrical Equipment, Tianjin 300458)

Abstract: In the small batch aerospace production processing of centripetal circular holes on the inferior arc cylinder, there are many processing problems, such as long preparation time, difficult to guarantee the accuracy of hole position, and large random error of test results. Taking the angle box product as an example, the structural characteristics and machining difficulties of the parts are analyzed. The fixing and positioning method of the boring with the inferior arc cylindrical surface and the coordinate calculation method of the boring tool position are introduced. Finally, the inspection method of the hole position accuracy on the inferior arc cylinder surface of the angle box product is proposed. The principle of error analysis is used to analyze the test data. The measured data of hole position meets the criterion of 3σ . The accuracy of hole position processed by this technology can meet the requirements of design index.

Key words: inferior arc; cylindrical surface; centripetal circular hole

1 引言

航空航天产品以单件和小批量生产为主, 生产中经常遇见一类在圆柱面上加工安装接口孔的零件产品。如果在加工产品的外型轮廓后, 使用专用的工装装夹工件继续镗孔, 则要求工装的设计和制造精度比产品精度更高, 工装的生产、精度检测和在机床上装配调整必然占据较长的生产准备时间。

本文提出一种使用坐标镗床加工圆柱面孔系的加工方法, 该方法在单件和小批量生产中能有效缩短该类型零件产品的生产准备时间, 加工精度能满足零件

的设计精度要求。

2 角盒零件的结构及加工难点

如图 1 所示, 角盒零件外形尺寸为 $230.71\text{mm}\times 60\text{mm}\times 65\text{mm}$, 壁厚最薄位置为 2mm 。在端面分布 12-M5 螺纹孔, 在 $R185\text{mm}$ 的圆柱表面上, 分布着 $12\text{-}\Phi 5.5\text{mm}$ 孔, 位置精度为 $\pm 0.5^\circ$ 。

角盒零件存在以下加工难点:

a. 材料为铝合金 2A14T6, 属于特硬锻铝, 在薄壁及弱刚度位置容易变形^[1]。

作者简介: 马建斌 (1984), 工程师, 机械电子工程专业; 研究方向: 复杂结构类、精密机构件工艺设计。

收稿日期: 2020-04-28

b. 12- $\Phi 5.5$ mm 孔为安装接口,与端面 12-M5 螺纹孔存在关联关系,12- $\Phi 5.5$ mm 孔位置影响两个铰链机构和 1 个电机支架在端面上的安装位置,因此,需要分清各工序之间的加工基准并进行基准转换,保证不同表面上的多个孔系之间的相对位置精度^[2]。

c. 测量难度大,R185mm 的圆柱面轴线位置受到采点位置及圆柱面型面轮廓度误差影响较大,测试的准确度不高。

$\Phi 5.5$ mm 圆孔的加工。

3.2 劣弧圆柱面镗孔过程控制及坐标计算

3.2.1 装夹及机床对刀

如图 2 所示,找正装夹,千分表固定于机床主轴,打表找正角盒底面与镗床的 Y 轴平行,找正误差小于 $2\mu\text{m}$;压板压紧工件,控制压板压紧力,避免工件发生较大形变。



图 2 角盒镗孔装夹方式

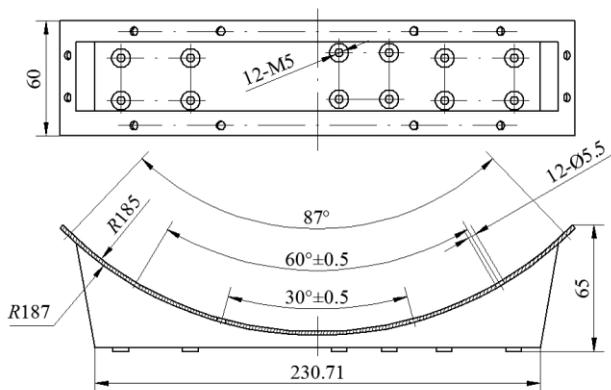


图 1 角盒零件设计图

3 工艺过程设计

3.1 加工策略

为了消除加工硬化及材料内部残余应力,加工过程分为粗加工和精加工两个阶段,中间安排一次人工去应力退火工序,减小零件变形对加工精度的影响^[3]。工艺路线为:粗加工、去应力退火、精铣外形内腔、镗孔、去毛刺、攻螺纹^[4]。本文主要研究圆柱面上

回转机床主轴,千分表扫描转台中心孔的轮廓^[5],保证千分表的摆动小于 $2\mu\text{m}$,读取光学坐标镗床的坐标值,记录转台中心孔 $A_0(x_0, y_0)$ 的值。

3.2.2 计算圆弧中点 A_1 坐标

如图 3、图 4 所示,寻边器在靠近圆弧起始位置找一点 $B_1(z_{b1}, y_{b1})$,向右平移寻边器获取对称位置 $B_2(z_{b1}, y_{b2})$,计算求出中点坐标 $B_3(z_{b1}, 0.5 \times y_{b1} + 0.5 \times y_{b2})$ 。

沿着 -Z 方向移动寻边器,获得 $A_1(z_1, 0.5 \times y_{b1} + 0.5 \times y_{b2})$ 。

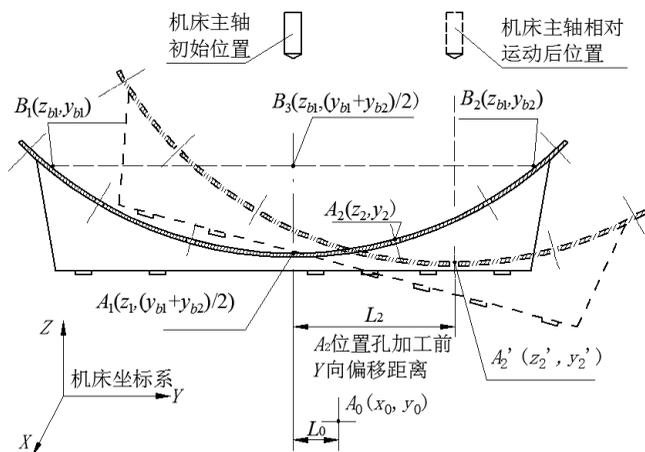


图 3 A_2 孔加工过程坐标计算图



图 4 寻边器获取 B_1 、 B_2 位置坐标值

3.2.3 工装准备

主轴移动到换刀位置,更换 $\Phi 5.5$ mm 的钻头。转

台整体翻转 90° ,使主轴与 B_3A_1 连线共线。旋转分度盘 15° (图 1 所示 30° 的一半),使主轴与 A_2 孔的轴

线平行。

3.2.4 A₂孔位对正机床主轴并镗孔

如图3所示,利用AUTOCAD软件1:1制图,以A₀为中心旋转零件,使A₂孔轴线平行于主轴方向,测量旋转以后图中A₂'上边缘点距离图中A₁B₃直线的距离L₂。X向偏移工作台距离L₂,使主轴对正A₂孔轴线镗孔,控制走刀速度保证孔的尺寸精度。

3.3 其余孔位加工

以A₀为中心旋转分度盘,使各孔的轴线方向与镗床主轴方向一致,重复本文3.2.4节的步骤计算其余各孔偏移坐标值,依次完成其余各孔的加工。

4 产品精度检测

4.1 检测方法

如图5中所示,在三坐标测量仪上,以R185mm的圆弧采点,计算,拟合圆心位置,每次采点位置不同,第一次计算出的圆心位置为O₁,第二次为O₂,第三次为O₃,第四次计算出的圆心位置为O₄,对四

次测量的圆心位置绘制最小包络圆,以最小包络圆的圆心位置作为R185mm的圆弧平均圆心位置^[6]。

在R185mm和R187mm的圆弧面中间平分圆柱面(图示R186圆柱面)上,采样计算各Φ5.5mm孔的位置C₁,C₂.....C₆,C₁,C₂.....C₆分别与O点的连线值即为各Φ5.5mm孔的分布角位置,计算得出30°,60°,87°转角的测量值,如表1所示。

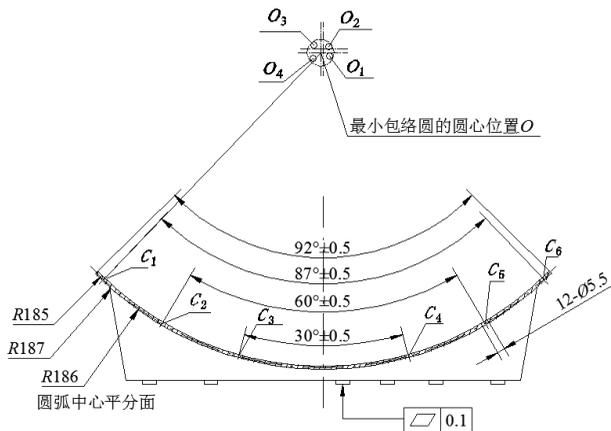


图5 角盒孔位检测示意图

表1 C₁, C₂.....C₆孔的角度测量结果

角度	第一次测量值 X ₁ (°)	第二次测量值 X ₂ (°)	第三次测量值 X ₃ (°)	第四次测量值 X ₄ (°)	第五次测量值 X ₅ (°)	算术平均值 $\bar{X}/(°)$	标准偏差 $\sigma/(°)$	3σ/(°) (拉依达准则)	算术平均值的标准偏差 $\sigma_{\bar{x}}$	测量结果 $X = \bar{X} \pm 3\sigma_{\bar{x}}$
30°	30.08	30.04	30.06	30.05	30.06	30.058	0.014832	0.044497	0.0066	30.058±0.0198
30°残余误差 v ₁₁	0.022	-0.018	0.002	-0.008	0.002					
60°	60.04	60.03	60.01	60.04	60.05	60.034	0.015166	0.045497	0.0068	60.034±0.0204
60°残余误差 v ₁₂	0.006	-0.004	-0.024	0.006	0.016					
87°	87.05	87.06	87.07	87.04	87.03	87.050	0.015811	0.047434	0.0071	87.050±0.0213
87°残余误差 v ₁₃	0.000	0.010	0.020	-0.010	-0.02					

4.2 测量结果分析

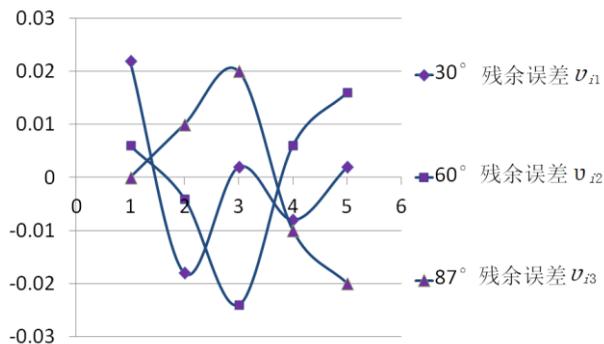


图6 残余误差散点图

a. 将表1所示的残余误差v₁₁, v₁₂, v₁₃制作成图6所示的散点图,依据残余误差观察法,得出测量出的

数据无显著的变化规律,没有线性系统误差或者周期性系统误差,因此使用该方法测量的数据不存在系统误差^[7]。

b. 用3σ准则判断,所有测量数据的残余误差绝对值|v_i|<3σ,所以角度的测量数据不存在粗大误差^[8]。

c. 使用本加工和检测方法,该工件的测量结果为30.058±0.0198°,60.034±0.0204°,87.050±0.0213°的可能性达到99.73%^[8]。

5 结束语

从工件找正对刀过程和检测数据分析过程得出,借助坐标换算法加工劣弧圆柱面的向心孔时,要求劣弧圆柱面结构刚性好,圆柱面的形状误差足够小,这

