

设计专用刀具加工型腔中的高精度孔

文庚, 娄雷亭, 刘新文

中航飞机起落架有限责任公司 陕西汉中 723200

摘要: 针对存在于型腔中的高精度耳片孔的加工难题, 从零件整体工艺流程介绍到设计专用钻头、扩孔钻以及机用铰刀配合“角度头”在卧式数控加工中心上的方式, 实现耳片孔位置的精准加工, 通过设计专用用手铰刀, 实现耳片孔的同轴度以及孔径尺寸的加工, 为后续其他类似结构的产品加工提供了方向和思路。

关键词: 型腔; 角度头; 铰刀; 同轴度; 高精度孔

1 序言

目前, 随着航空工业对飞机机动性、稳定性和经济性需求的不断提高, 设计起落架时, 在大量采用超高强度钢、铝合金以及钛合金等质量相对较轻的特殊材料的同时^[1], 也对整体起落架结构作了创新优化。将部分原本通过配合关系紧固连接的零件优化为一体式结构, 减少了起落架零部件数量, 有效地实现了起落架轻量化的技术要求。减重后, 为保证起落架的完整功能, 作为起落架主承力的部分结构件, 势必会因增加部分耳片而提升生产加工的难度。本文主要介绍一种设计在型腔中的高精度耳片孔的加工方法。

2 零件结构及加工难点分析

2.1 零件结构

某主承力零件材料为300M超高强度钢, 零件整体呈“Y形”结构, 其尾部减轻型腔中存在2组耳片, 各耳片上分别存在2个 $\phi 22H7$ 的孔, 关于中心主基准的孔距要求为 (68 ± 0.03) mm、垂直度要求为0.05mm, 关于B—C基准的平行度要求为0.05mm, 孔的表面粗糙度值要求 $Ra \leq 0.8 \mu m$ 。被加工孔的位置及尺寸要求如图1所示。

2.2 加工难点分析

该处耳片位于零件尾部减轻型腔内, 被加工部位主要为4个耳片上的 $\phi 22H7$ 孔和端面。耳片端面的

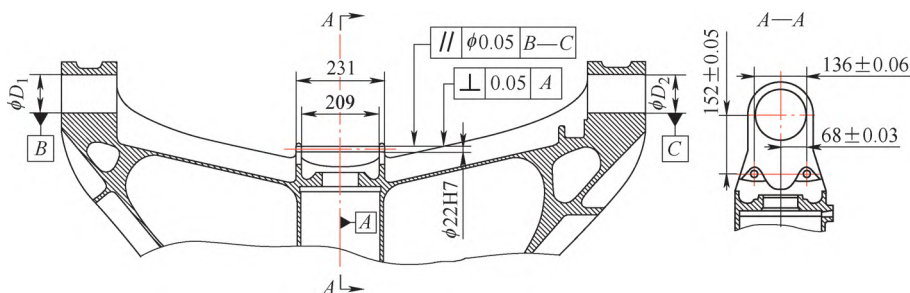


图1 被加工孔的位置及尺寸要求

加工相对简单, 在卧式四轴加工中心上采用整体硬质合金铣刀 (建议铣刀直径16~25mm) 即可完成端面加工, 而4个 $\phi 22H7$ 孔因为位置及方向的限制, 在加工的同时保证4个孔之间的几何公差要求, 难度极大, 具体原因如下所述。

1) 4个 $\phi 22H7$ 孔按照常规加工经验来说, 加工时设备主轴必须与孔轴线平行, 即主轴必须伸到型腔内部去加工。受型腔轮廓的干涉, 现有的机械加工设备, 无论是三轴还是四轴卧式加工中心, 都无法实现使用主轴将刀具悬伸至与耳片端面垂直的方

位进行钻削、镗削和铰削的加工。

2) 零件材料为300M超高强度钢, 热处理后硬度55HRC, 两组耳片外端面距离231mm, 4个 $\phi 22\text{H}7$ 孔在加工时不仅需要保证其孔径尺寸、平行度、垂直度和位置度, 还要保证2组耳片上同一组孔两侧的同轴度。为满足同轴度要求, 加工时须从一个方向一次完成2组耳片上同一组孔的加工, 所采用的扩孔钻及铰刀的长径比均需 >10 , 刀具高速旋转时, 受离心力的影响, 无法保证加工的稳定性和最终影响加工质量。

3 加工工艺

3.1 加工方案设计

零件在淬火前采用卧式加工中心完成2组耳片外形轮廓的粗加工, 各耳片配合表面预留1mm加工余量, 孔在淬火前不加工, 淬火后再以粗、精加工的方式完成孔的加工。

在卧式数控镗加工中心上使用“角度头”与“专用刀具”, 将4个 $\phi 22\text{H}7$ 孔采用钻削、扩孔和铰削的方式加工至 $\phi 21.9\text{H}7$ 。为保证孔的位置精度, 采用“专用手用铰刀”, 以4个 $\phi 21.9\text{H}7$ 孔作为引导来

保证各孔径尺寸及同一组孔的同轴度要求。

3.2 方案实施

(1) 粗加工4个 $\phi 21.9\text{H}7$ 孔的方法 具体如下。

1) 产品装夹找正要求。将零件装夹在四轴加工中心工作台上, 找正要求为保证B、C两端基准在Z方向和Y方向径向圆跳动量均 $\leq 0.03\text{mm}$, 找正A基准沿轴线范围径向圆跳动量 $\leq 0.03\text{mm}$, 分中A基准, 确定X原点, 分中B、C基准, 确定Y和Z原点。

2) 采用角度头转换加工轴线。受零件尾部减轻腔以及4个 $\phi 22\text{H}7$ 孔在耳片上的结构限制, 加工时因为无法做到主轴头与被加工孔的轴线平行, 所以采用专用“角度头”来改变主轴的加工方向, T90cn-2.5角度头如图2所示, 使角度头的轴线与被加工孔轴线平行, 角度头尺寸依据零件2个耳片实际内档尺寸、加工刀具所需的有效悬伸长度及角度头输出的动力扭矩来选择。

3) 专用刀具设计。依据我公司300M热处理后孔加工的成熟工艺, 4个 $\phi 21.9\text{H}7$ 孔的粗加工需采用“钻-扩-铰”的加工方法来完成, 依据加工材料的特性(硬度 $>55\text{HRC}$)及刀具使用环境定制了如图3所示三种刀具, 分别实现钻孔、扩孔和铰孔。

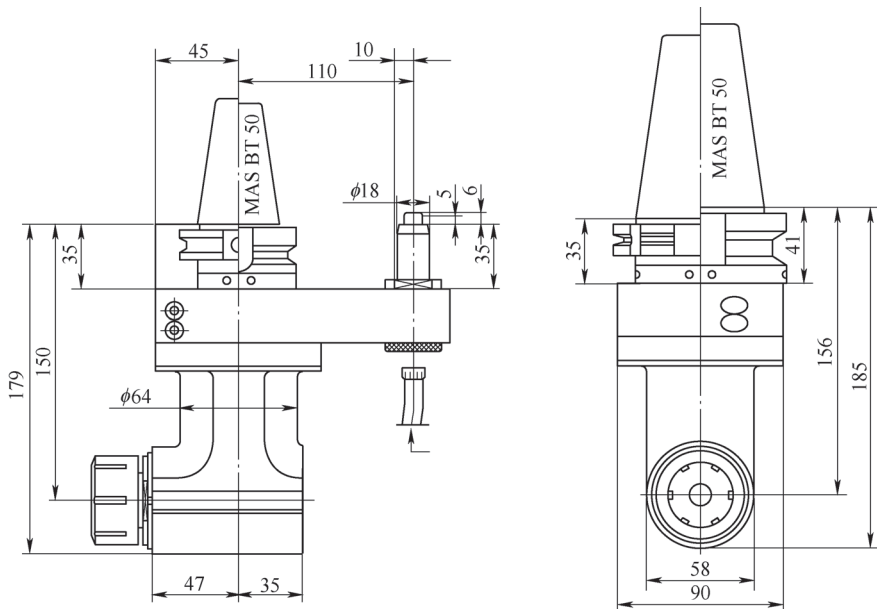


图2 T90cn-2.5角度头

4) 加工过程。将专用刀具通过变径套安装在角度头上, 同时将角度头与卧式加工中心连接, 利用找正表保证角度头上的找正基准面径向圆跳动量 $< 0.005\text{mm}$, 在基准B处对刀, 确认钻头Z方向原点, 专用钻头、专用扩孔钻以及专用铰刀的对刀方式一

致, 原点计算公式为

$$Z_0 = Z_{\text{实际}} - D_1/2 - D_2/2 \quad (1)$$

式中, Z_0 为加工时的程序坐标原点; $Z_{\text{实际}}$ 为对刀后的实际坐标值; D_1 为基准B处的工艺芯轴的实测直径(mm); D_2 为刀具的理论直径(mm)。

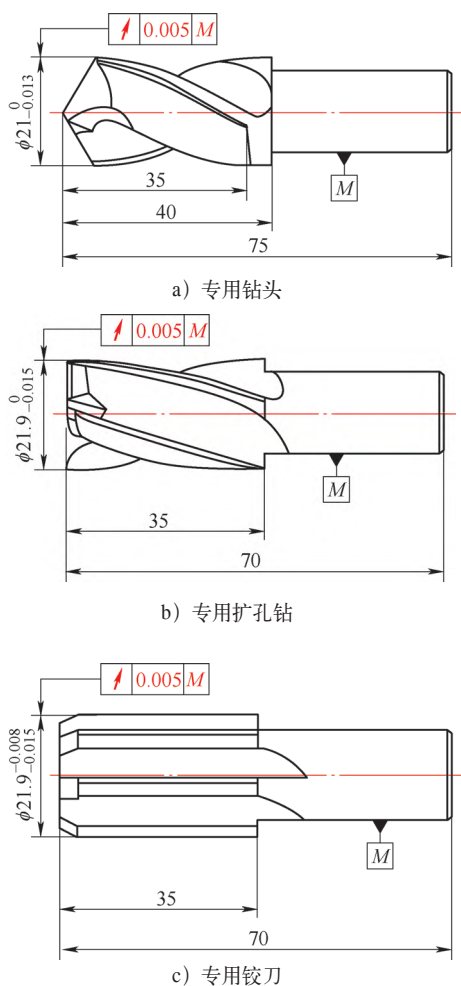


图3 专用刀具设计

对刀完成后,执行数控加工程序,依次完成4个孔的钻削、扩孔和铰削加工,孔粗加工过程如图4所示。首先将角度头朝向某一耳片(图4所示为朝向右边耳片),调用钻削程序,完成右耳片上2个孔的钻削加工后(钻2个 $\phi 21\text{mm}$ 孔),将钻头更换为扩孔钻(无需重新对刀),直接调用扩孔程序,完成右耳片上2个孔的扩孔加工(扩孔至 $\phi 21.7\text{mm}$),再次将扩孔钻更换为铰刀,调用铰孔程序,完成右耳片2个 $\phi 21.9\text{mm}$ 孔的粗加工;更换角度头方向,使加工方向朝向左耳片,继续按照上述操作,完成左耳片上2个 $\phi 21.9\text{mm}$ 孔的粗加工。

工序完成后,可保证4个 $\phi 21.9\text{mm}$ 孔的空间尺寸、关于基准A的垂直度要求以及基准B和基准C的平行度要求,由于是粗加工底孔,因此该工序对孔的表面粗糙度要求较低,满足 $Ra \leq 1.6\mu\text{m}$ 即可。

(2) 钳工精加工孔至4个 $\phi 22\text{H7}$ 的方法 粗加工完 $\phi 21.9\text{mm}$ 孔后,如何精准地去除孔径最后的0.1mm余量,同时保证同一组孔的同轴度要求是加

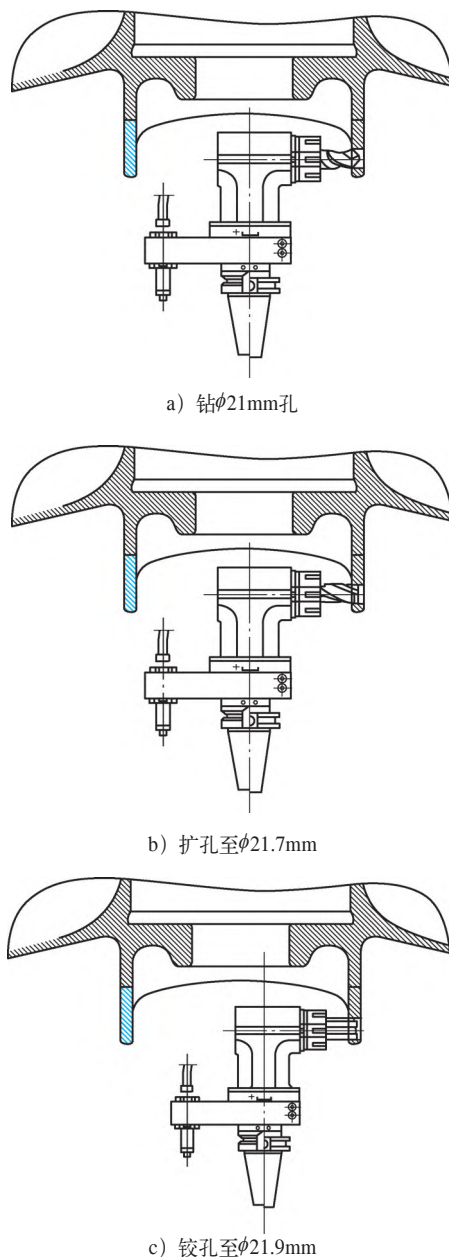


图4 孔粗加工过程示意

工的关键。铰削是提高中小孔精度的有效方法^[2],专用手用铰刀的设计方案至关重要。

1) 专用手用铰刀的设计。依据加工部位结构和300M钢淬火后铰孔的经验,设计专用手用铰刀时需考虑钳工铰孔的可行性、铰削余量的分配及铰削后内孔表面粗糙度要求。孔径剩余0.1mm余量时需分2次进行铰削,即设计粗、精2把铰刀,粗铰刀进行余量去除及初步孔径同轴度校正,精铰刀用来保证表面粗糙度和孔径尺寸。为保证2组耳片上同一组孔的同轴度要求,铰刀设计时还需考虑前、后引导,且必须在一次铰削过程中实现2组耳片上同一位置孔的同步

加工，专用手用精铰刀设计方案如图5所示。

粗、精铰刀均由前导套、套铰刀、圆柱销、后导套和铰刀5部分组成，以精铰刀为例，每部分作用如下。①前导套。配合外圆尺寸为 $\phi 21.95_{-0.020}^{+0.010}$ mm，与前端孔配合，引导套铰刀铰孔，保证前端耳片铰

孔时的精度。②套铰刀。铰刀切削部位尺寸为 $\phi 22_{+0.010}^{+0.015}$ mm，内孔设计锥度为1:30，安装于铰刀锥面上，通过圆柱销止动，用于同步铰削左端耳片孔。③圆柱销。主要用在止动套铰刀上，防止套铰刀在加工过程中沿轴线转动以及窜动。④后导套。

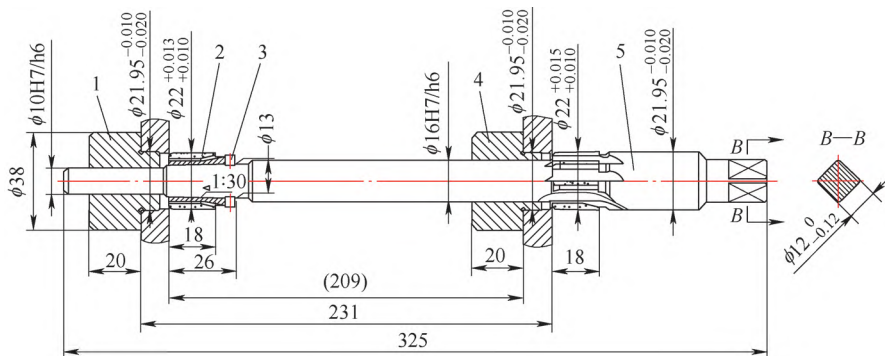


图5 专用手用精铰刀设计方案

1—前导套 2—套铰刀 3—圆柱销 4—后导套 5—铰刀

配合外圆尺寸为 $\phi 21.95_{-0.020}^{+0.010}$ mm，与后端孔配合引导铰刀铰孔，保证后端耳片铰孔时的精度。⑤铰刀。整体长度设计325mm，后端设计为12mm×12mm的四方体，用于卡扳手或者连接气动转换套，铰刀切削部位尺寸为 $\phi 22_{+0.010}^{+0.015}$ mm，铰孔后可保证零件成品尺寸要求，中部 $\phi 16H7$ 外圆用于后引导套的定位支撑、连接前端套铰刀和套铰刀的引导部分，套铰刀安装部位设计锥度为1:30的锥面，更好地保证套铰刀安装后的配合精度，最前端外圆为 $\phi 16H7$ ，作为前引导套的定位支撑。

粗铰刀的设计方案与精铰刀一致，只需改变前、后引导套以及铰刀切削部位尺寸即可。

2) 专用手用铰刀的使用方法。首先将后导套安装在右边耳片孔中，将铰刀主体从右端穿入，通过后导套后将套铰刀安装在铰刀主体的锥面上，并通过圆柱销止动套铰刀，同时将前导套安装在左侧耳片孔中，继续向左移动铰刀至图5所示状态，采用扳手动铰削或者连接气动转换套压缩空气为动力的方式，一次铰削可实现2个耳片孔的加工。人工铰孔会使铰孔后的质量存在差异性^[3]，在条件具备的情况下，首选气动转换套压缩空气为动力的方式进行铰削。

加工顺序为先使用粗铰刀，完成粗铰后，更换前、后导套以及套铰刀和铰刀主体，按同样的方法完成2个耳片孔的精铰加工。采用该铰刀加工，可以完全保证各耳片孔原有的位置精度，同时满足孔径

的加工要求。

采用该方法加工起落架的零件，4个 $\phi 22H7$ 孔实测孔径均合格，关于A基准的垂直度、关于B基准和C基准的平行度以及关于各基准的空间位置尺寸，均满足零件技术要求，零件交付后在装配环节也未出现任何异常现象，合格率100%。

4 结束语

本文介绍了一种存在于型腔中的耳片孔加工方法，通过采用“角度头”实现主轴方向转换，设计专用钻头、扩孔钻以及机用铰刀配合“角度头”在卧式数控加工中心上实现耳片孔位置的精准加工，再通过设计专用手用铰刀，在实现耳片孔同轴度要求的同时完成孔径尺寸的加工，为后续其他类似结构产品的加工提供了方向和思路。

参考文献：

- [1] 张占昌，徐继文，孙国雁，等. 铝合金薄壁件铣削变形原因分析与控制方法[J]. 金属加工（冷加工），2024（4）：35-38.
- [2] 张金刚，陈国江，唐颖，等. 铰孔加工方法改进及质量提升[J]. 机械研究与应用，2024，37（6）：139-141.
- [3] 蒋小丽. 起落架撑杆衬套的铰孔方法及工装设计[J]. 中国新技术新产品，2024（13）：75-78.

MW 20250418