

薄环壁轴向台阶深孔系的加工

艾敏, 王威, 张卫新, 才冬涛, 杜小英

山西航天清华装备有限责任公司 山西长治 046012

摘要: 针对通用加工技术的不足, 采用量化力矩, 轴向装夹薄环壁端面, 按孔径递减工序对台阶深孔进行半精加工, 用硬质合金内冷螺旋切削刃台阶复合成形铰刀对台阶深孔进行精加工的工艺方案, 提高了薄环壁轴向台阶深孔系的加工精度和效率。

关键词: 薄环壁; 轴向台阶深孔系; 深孔加工

1 序言

薄环壁轴向台阶深孔系的深孔加工是一种在封闭或半封闭环境下进行的机械加工。典型薄环壁轴向台阶深孔系结构如图1所示。



图1 典型薄环壁轴向台阶深孔系结构

2 通用加工技术

2.1 典型薄环壁轴向台阶深孔系加工工艺

如图2所示为典型薄环壁轴向台阶深孔系加工图样, 结构参数见表1。由图1和表1可知, 每组加工要素的要求均很高, 零件需进行精加工。

环体的内径与壁厚比 $D/\delta \geq 16$ 为薄壁, 孔的深度与直径比 $L/D \geq 5$ 为深孔。图2中典型薄壁环体的内径与壁厚比 D/δ 为22.1, 环壁轴向 $\phi 6^{+0.018}_0$ mm孔的深度与直径比 L/D 为11.7, 图2中结构属于薄环壁轴向台阶深孔系。

薄环壁轴向台阶深孔系的通用加工技术工艺路线如图3所示, 可见加工工步冗长。

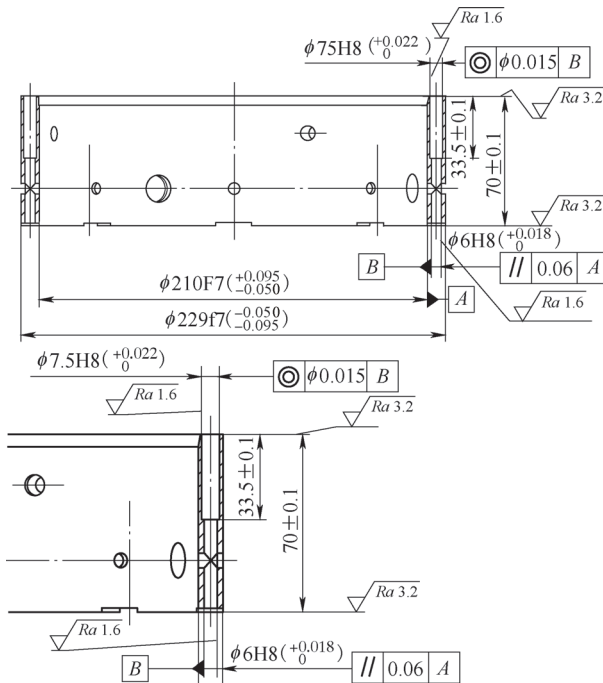


图2 薄环壁轴向台阶深孔系

表1 薄环壁轴向台阶深孔系结构参数

名称	参数	指标要求
深孔系数数量/组	8	较多
孔径D/mm	6~7.5	较小
尺寸公差/mm	0.018~0.022	较高
几何公差/mm	同轴度 $\phi 0.015$ 平行度0.06	高
表面粗糙度值Ra/ μm	1.6	等级较高
零件壁厚 δ /mm	0.75~1.75	薄
形状	薄壁环体	难装夹
材质	30CrMnSiA调质, 28~32HRC	难加工

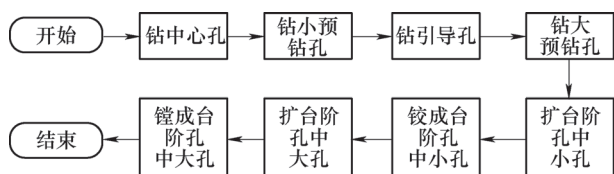


图3 通用加工技术工艺路线

2.2 通用加工技术存在的问题

1) 当薄环壁轴向台阶深孔系的深度与孔径比较大时，钻头的长度与直径比变大，使钻头的强度降低，在钻削作业时很容易钻偏，导致孔体轴线发生一定偏移。

2) 当薄环壁轴向台阶深孔系的孔径较小时，刀具刚性差、强度低、散热困难且排屑不畅，经常出现孔径变大、锥形孔等缺陷，无法保证孔径的尺寸公差、几何公差及表面粗糙度等技术要求。

因此，采用通用加工技术进行薄环壁轴向台阶深孔系的加工，其过程不稳定。

2.3 通用加工技术难点

根据以上图表分析，薄环壁轴向台阶深孔系结构的加工难点主要有4处：①薄壁环体的径向静刚度不足，很容易发生装夹失稳。②台阶深孔的轴线很容易偏离，平行度0.06mm很难保证。③台阶深孔中 $\phi 7.5^{+0.022}_{-0}$ mm孔与 $\phi 6^{+0.018}_{-0}$ mm孔的同轴度 $\phi 0.015$ mm很难保证。④台阶深孔系的加工工步繁杂，加工效率很低（约6h/件）。

3 改进后的工艺方案

针对通用加工技术的缺陷，采用量化力矩，轴向装夹薄环壁端面，按孔径递减工序分步半精加工台阶深孔，用硬质合金内冷螺旋切削刀台阶复合成形铰刀精加工台阶深孔。上述复合加工工艺，实现了薄环壁轴向台阶深孔系有效加工的目的。基于以上技术分析及思路，工艺方案的流程如图4所示。

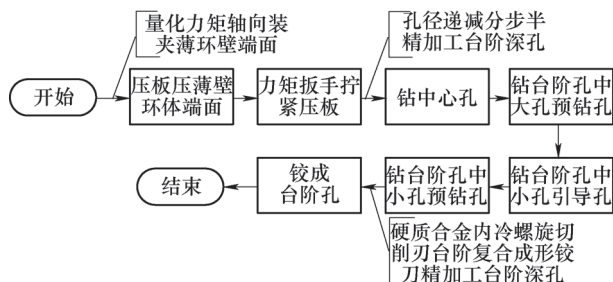


图4 薄环壁轴向台阶深孔系加工流程

(1) 压板压薄壁环体端面 用压板沿薄壁环体的轴向压薄壁环体端面，压点沿薄壁环体圆周端面均布。因薄壁环体的径向静刚度不足，在此方向采用自定心卡盘、单动卡盘、压板等工艺装置夹紧，容易产生装夹变形及装夹失稳。而薄壁环体的轴向静刚度足够，在此方向采用压板压紧，不会出现装夹变形及装夹失稳。

(2) 力矩扳手拧紧压板 用力矩扳手将压板拧紧，从而夹紧薄壁环体。一般拧紧力矩为9~10N·m，装夹过程如图5所示。



图5 力矩扳手拧紧压板

(3) 钻中心孔 用中心钻，制出台阶深孔的定位中心孔。

(4) 钻台阶孔中大孔预钻孔 用硬质合金内冷钻头，在台阶深孔中心孔位置上制出台阶孔中大孔的预钻孔。

(5) 钻台阶孔中小孔引导孔 用引导钻，制出台阶深孔中小孔的底引导孔。

(6) 钻台阶孔中小孔预钻孔 用硬质合金内冷钻头，在台阶深孔中小孔的底引导孔位置上制出小孔的预钻孔。

(7) 铰成台阶孔 用硬质合金内冷螺旋切削刀台阶复合成形铰刀，定位后一次完成切削台阶深孔孔壁和台阶的整体铰削，铰刀结构如图6所示。

硬质合金内冷螺旋切削刀台阶复合成形铰刀具有以下特点。



a) 硬质合金内冷螺旋切削刀



b) 复合铰刀

图6 硬质合金内冷螺旋切削刀台阶复合成形铰刀

1) 硬质合金材质。硬质合金刀具材质硬度高,可切削30CrMnSiA等硬度高的材料。硬质合金刀具切削线速度较高,在加工工件表面时可以得到较高的表面粗糙度等级。

2) 表面耐磨涂层。刀具表面有耐磨涂层,使刀具更耐磨、寿命更长,防止工件加工后表面粗糙度等级降低。

3) 内冷却。刀具有强制内冷却功能,可以降低刀具、工件的切削温度,缓解刀具、工件间的切削摩擦。冷却孔垂直向下,可以强制排屑,减少切屑与刀具、工件间的摩擦、挤压,可提高加工表面的表面粗糙度等级,减少刀具切削刃磨损。

4) 螺旋切削刃。铰刀的螺旋切削刃与直切削刃相比,加工时不易发生切削振动,明显降低切削振纹的几率,可得到更好的加工精度和表面粗糙度等级。

5) 台阶复合形状。铰刀形状契合台阶深孔的形状,台阶两外圆的同轴度 $\leq 0.002\text{mm}$,从而一次定位切削即可成形台阶深孔,并可保证台阶深孔的尺寸公差、几何公差、位置公差及表面粗糙度等切削要素。

(8) 注意事项 ①加工设备一般为加工中心,设备径向圆跳动 $\leq 0.003\text{mm}$ 。②预钻孔钻头钻入引导孔时,应低转速、小进给量进入,暂停几秒后,再以正常的转速及进给量进行加工,防止因刀具摆动过大而引起刀具损毁或折断。③刀具冷却要充分。

4 实施效果

4.1 加工结果对比

薄环壁轴向台阶深孔系加工结果见表2和图7。

表2 薄环壁轴向台阶深孔系加工结果

技术要求		通用加工技术	改进后工艺
尺寸公差/mm	0~0.022	有超差	0.010~0.013
几何公差/mm	同轴度 $\leq \phi 0.015$	有超差	同轴度 $\leq \phi 0.004$
	平行度 ≤ 0.06		平行度 ≤ 0.02
表面粗糙度值 $Ra/\mu\text{m}$	≤ 1.6	有超差	≤ 1.2
生产效率/min/件	—	360	20
合格率(%)	—	88	100
质量满意度	—	基本满意	非常满意



a) 产品端面

b) 产品环面

图7 薄环壁轴向台阶深孔

4.2 加工刀具对比

两种技术使用的刀具种类及数量对比情况如图8所示,左侧为通用技术使用的8种刀具,右侧为改进技术使用的4种刀具。由图8可知,改进后技术较通用加工技术使用的刀具种类、数量都大幅减少,相应的加工工步数量、加工时间也大幅缩减。



图8 两种技术使用刀具对比

4.3 效果统计

综上所述,经采用薄环壁轴向台阶深孔系加工方法取得了以下效果:①薄环壁轴向台阶深孔的同轴度 $\leq \phi 0.015\text{mm}$ 。②薄环壁轴向台阶深孔系间的平行度 $\leq 0.06\text{mm}$ 。③薄环壁轴向台阶深孔的表面粗糙度值 $Ra \leq 1.6\mu\text{m}$ 。④薄环壁轴向台阶深孔的加工效率可提高8倍以上。

5 结束语

通过薄环壁轴向台阶深孔系加工工艺改进,解决了该类结构难以加工的问题,提高了薄环壁轴向台阶深孔系加工的精度和效率,在实际生产中取得了很好的效果。

参考文献:

- [1] 孟晓华,于大国,于磊,等.深孔加工孔轴线偏斜的分析与研究[J].机械设计与制造,2014(1):140-143.
- [2] 成大先.机械设计手册[M].北京:化学工业出版社,2002.