

弱刚性环框高精度加工技术研究与应用

王志坚 刘双进 贾师强 陈文婷 徐 阳 路骐安

(首都航天机械公司, 北京 100076)



摘要: 根据某弱刚性零件加工需求, 从工艺方案策划、装夹方法设计、微切削力控制、温度平衡控制等方面, 深入剖析其对弱刚性环框零件加工精度的影响。通过工艺优化, 加工的成品各项指标均达到设计图纸要求。

关键词: 弱刚性; 工艺方案; 微切削力

Research and Application of High Precision Machining Technology for Weak Rigid Ring Frame Parts

Wang Zhijian Liu Shuangjin Jia Shiqiang Chen Wenting Xu Yang Lu Qi'an

(Capital Aerospace Machinery Company, Beijing 100076)

Abstract: According to the processing demand of a weak rigid part, this paper deeply analyzes the influence factors of the machining accuracy, including the process planning, the design of the clamp method, the control of the micro cutting forces and the temperature balance, etc. Through the process optimization, the carious indexes of products meet the requirements of design drawings.

Key words: low rigidity; process plan; micro cutting forces

1 引言

弱刚性零件的普遍特点是壁薄、刚度低, 在装夹力和切削力作用下极易产生装夹变形和加工变形。如果加工方案、装夹方法或者切削参数不合理, 会显著影响零件加工质量, 严重时甚至造成零件报废。

某环框零件材料为 ZL205A 铝合金, 大面积区域壁厚小于 4mm, 属于典型的弱刚性薄壁零件, 特别是其外径尺寸公差带仅为 0.05mm, 圆度指标 0.03mm。以往类似零件指标都在 0.1mm 数量级, 因此如果该零件加工中不采取相应控制措施, 难以保证图纸要求。

2 加工方案设计及实施方法

2.1 加工工艺流程设计

对于需要车、铣两种加工手段结合完成的零件, 通常在精加工阶段, 先通过车削将尽可能多的回转特

征加工到最终尺寸, 再将其它特征铣削到最终尺寸, 从而完成整个零件的加工过程。

分析该弱刚性环框零件, 由于外径尺寸精度和圆度要求都很高, 因此精加工时如果先加工完成该特征部位, 再加工其它特征尺寸, 内部应力随后续金属材料去除重新分布, 零件会继续变形导致之前已加工到位的 $\Phi(800 \pm 0.025)\text{mm}$ 尺寸和 0.03mm 圆度指标超差。鉴于此, 一方面粗加工与半精加工工序间进行第一次冷热循环处理, 精加工前再进行第二次冷热循环处理, 以更好地消除内应力, 增强零件尺寸形状稳定性^[1]。另一方面, 在精加工时调整顺序, 将 $\Phi 800\text{mm}$ 外圆单边留量 0.2mm, 其余特征尺寸均加工到位后, 松开压板, 释放应力, 再次通过外圆自身为基准, 精细找正夹紧并校核验证关联尺寸。确认无误后, 将 $\Phi 800\text{mm}$ 外径加工至最终尺寸, 满足图纸要求。

2.2 高精度装夹方案的设计

对弱刚性零件而言, 工装夹具除了起到定位和固

定零件作用外,还能增强零件的装夹刚性。工装夹具能够将零件准确固定在目标位置,并限制其在加工过程中发生整体或局部移动。但完全限制弱刚性零件的局部移动,也会产生相应问题,装夹力掩盖了内应力对零件形状的实时影响,装夹状态下尺寸和形状合格的零件,在卸去装夹力后,可能因残余应力作用再次发生变形而超差,应采用固定支撑和浮动支撑结合的方式,在装夹面下方和内侧布置多处支撑点。

对于每个固定支撑,需检查支撑与零件接触点(面)的贴合情况,通过垫片消除贴合处间隙,防止额外装夹力引入而造成不合理变形。浮动支撑散布在零件刚度较弱或较易产生变形的部位,辅助稳固零件,并保证与自由状态下的零件接触点(面)有效贴合,有效控制零件加工中的受力变形。

装夹方案会直接或间接影响压紧力的大小和分布,不合理的装夹方案容易引起弱刚性零件的装夹变形,与内应力影响效果一样,装夹状态下加工合格的零件在松夹卸荷后会因回弹而超差。实际装夹时将多个千分表布置在零件周围,尤其是装夹位置附近和对侧等容易发生变形的部位,监控零件在装夹过程中表盘读数变化量。根据零件图纸要求的精度指标,按1/3原则,装夹变形量应控制在0.003mm以内。

2.3 微切削力的实现方法

2.3.1 选择合适的刀具材料

综合考虑切削力、切削热和耐磨性等因素,镶刀片式的金刚石刀具是比较合适的选择。首先,金刚石材料耐磨性极好,为硬质合金的60~120倍^[2],精细加工过程中几乎不用考虑磨损,刀具几何形状稳定;其次,金刚石材料与有色金属之间的摩擦系数仅为硬质合金的1/2,摩擦力和摩擦热减小,加工中引起的弹性变形和热变形量也相应减小;再次,金刚石刃口钝圆能够磨到 $0.1\sim 0.5\mu\text{m}$ ^[2],适宜超薄切削,也能在很大程度上减小切削力和切削热引起的变形,且不会因为切削量过小而刮蹭已加工面,降低表面质量。

综合考虑经济性和其它可行性,选择成本较低的人造聚晶金刚石(PCD)即可满足该零件加工要求。

2.3.2 适当降低切削参数

金刚石材料脆性大,抗冲击性能差,耐热性也不好,很容易在断续切削零件花瓣结构特征时因冲击而崩刃破损或因加工区域温度过高产生局部石墨化。另外,明显冲击也会引起弱刚性零件的受迫或自激振动,影响零件尺寸和表面质量,因此必须控制极小的切削参数,形成最终型面的微量车削效果。

另外,为了避免切削部位存在局部高点致使切削厚度瞬时突变损伤刀片,应在使用金刚石车刀加工之前预先用其它刀具精整待加工表面。

2.4 恒温切削的控制方法

加工过程中,温度的精准控制也至关重要。普通精度的零件对温度变化并不敏感,但对于高精度零件则完全不同。工程上最常用的方法是利用零件尺寸、线膨胀系数和温度偏差量三个数据,通过公式计算出理论与实际尺寸之间的偏差进行相应补偿。对于该零件,ZL205A材料在20~100℃区间平均线膨胀系数为 21.9×10^{-6} (见表1),根据公式计算,温度比标准温度每升高1℃, $\Phi 800\text{mm}$ 尺寸变化量为0.0175mm。另外,测量时还要考虑温度对量具示值的影响。

表1 ZL205A 平均热膨胀系数 α (1/K)^[3]

温度/℃	20~100	20~200	20~300
膨胀系数	21.9×10^{-6}	23.0×10^{-6}	25.9×10^{-6}

虽然特定材料在一段温度区间内的线膨胀系数近似定值,但具体零件实际热变形大小和方向与其自身结构密切相关,一般情况下不是简单的线性关系。实际加工温度与标准温度偏差较小或精度要求较低时,线性近似估算的方法能够满足加工要求,如果温度偏差过大,就不能忽略近似计算的影响。加工过程中实时变化的温度会引起零件和刀具的尺寸不断变化,温度梯度还会使得各处热变化量不同,如此复杂多样的影响因素,温度产生的变化量无法准确补偿到数控程序代码中,必须尽可能保持加工过程中温度恒定且接近标准温度。a.控制环境温度,精加工前半成品应在恒温现场放置不少于48h,冷却液也尽可能与标准温度相同;b.减少切削热的产生;c.加速热量传导,金刚石材料的导热系数很高,切削热很容易传导散出,能够进一步控制切削部位的温升幅度。

2.5 其它技术环节

2.5.1 选择加工设备精度

设备精度也是精密加工中的重要参考,设备的主轴回转精度、丝杠的误差等级、甚至包括刀架的精度都有影响。尽可能选择高精度的机床设备,尤其注意铭牌上标示的定位精度和重复定位精度,减少设备误差对零件加工效果的影响。

2.5.2 消除系统热变形

除了选用铭牌上精度参数较高的设备外,还要注意
(下转第31页)

