

超硬材料异形零件数控加工工艺改进

韩利萍, 周斌, 陈龙, 李鹏, 李东

山西航天清华装备有限责任公司 山西长治 046012

摘要: 针对超硬材料异形零件结构复杂、装夹困难、材料硬度高、刀具磨损严重、传统装夹方式易产生变形以及关键特征几何精度难以保证等工艺难题, 设计拉紧定位工装, 解决装夹问题。采用平面特征底齿轴向微量渐进铣削和应力释放防变形技术, 有效解决切削力、夹紧力、切削热和材料应力释放等综合因素对零件加工精度造成的影响, 确保了加工质量稳定可靠。

关键词: 超硬材料; 异形零件; 几何精度; 拉紧定位工装

1 序言

随着航天技术的不断发展进步, 航天产品结构也越来越复杂。超硬材料异形零件的加工尺寸精度、表面粗糙度以及几何公差直接影响机构传动的性能指标。由于这类零件具有结构复杂、尺寸精度高和几何公差要求严的特性, 所以加工过程中零件易变形, 刀具磨损严重, 关键特征几何精度难以保证, 其加工方法一直是困扰科研和生产的难题。本文将详述通过设计拉紧定位工装来解决装夹问题, 采用平面特征底齿轴向微量渐进铣削和应力释放防变形技术, 有效解决各种因素对精度造成的影响, 确保了加工质量稳定可靠。

2 零件结构分析

超硬材料异形零件 (见图1) 材料为自由锻件, 精加工前经淬火处理后, 硬度高达40~45HRC, 属于难加工材料。零件具有结构复杂、尺寸精度高和几何公差要求严的特性, 整体为不规则异形结构, 各个空间位置分布筋、槽、孔、台阶、圆弧和

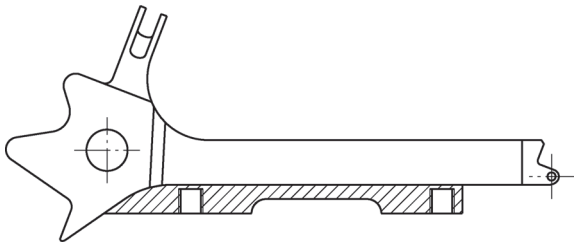


图1 超硬材料异形零件示意

角度特征, 其关键控制部分槽底相对于基准孔距尺寸为103mm, 零件总长为127mm, 最薄筋厚度为10mm。各方向结构特征相对于基准孔和基准轴线的尺寸精度和几何公差具有严格的要求。热处理后零件变形较大, 零件孔与槽之间、孔与面之间以及面与面之间的几何精度要求极严。

3 加工难点分析

零件目前是在五轴机床上采用通用夹具 (平口钳) 装夹其平整部位两侧 (零件夹持部位底部留夹持余量), 采用圆柱铣刀径向切削模式加工。由于受切削力、夹紧力、切削热和材料应力释放等综合因素影响, 因而加工质量难以保证。分析该零件的加工难点, 有以下几方面。

1) 零件装夹过程中, 工件被夹持部位需要平口钳夹紧力作用进行定位, 各空间位置特征相对于基准要素保持相对平衡状态, 零件在装夹后产生微小变形的情况下, 完成切削加工并达到精度要求。但是只要装夹一松开, 装夹变形就会还原, 变形难以避免, 从而失去已达到的精度, 各几何精度发生漂移, 无法达到精度要求。

2) 零件淬火硬度高达40~45HRC, 切削性能差。其关键被加工型面的尺寸精度 $\leq 0.02\text{mm}$ 、对称度 $\leq 0.05\text{mm}$, 切削过程中易产生粘刀和刀尖切削瘤等状况, 刀具易磨损, 型面尺寸易加工漂移 (漂移量 $\geq 0.02\text{mm}$), 对称度 $\geq 0.15\text{mm}$, 从而破坏了零

件被加工表面的几何精度和表面粗糙度。这些综合因素，导致型面尺寸精度和几何精度不足。

3) 加工过程中，由于材料硬度高，圆柱铣刀侧刃切削时，径向切削力使工件弯曲变形和产生加工时的振动，径向切削力方向和主轴垂直方向产生微小锥度变形，施力部分释放后零件发生弹性变形。同时刀具受刀具螺旋角影响而产生径向拉力，发生微小弹性变形，各几何精度发生漂移。铣刀悬长径比越长，则刚性越弱，造成特征尺寸偏差超过工艺要求公差带。

4) 零件金属切除率较高，加工过程中去除余量不均匀会导致零件内部残余应力平衡状态被破坏，零件产生变形，尤其是现阶段采用通用夹具（平口钳）装夹定位方式，零件加工完成后的最后工步——去除零件夹持部位底部留夹持余量部位时，瞬间去除大量余量，造成残余应力局部释放，零件各尺寸公差和几何公差失去已达到的精度，各几何精度发生漂移。

因此，现有工艺存在缺陷，需要改进。

4 工艺解决方案

基于以上技术分析及思路，设计技术方案如下。

(1) 制作拉紧定位工装 零件加工部位较多，尺寸精度和几何精度要求高，各空间结构尺寸间关联度较强，故在五轴加工机床上，采用工序集中、一次装夹以及多部位加工的方式，更容易保证尺寸要求。工装设计制作过程中综合考虑五轴机床行程尺寸和摆动角度过程中刀具、工件和工装的干涉碰撞因素。

1) 制作拉紧定位工装（见图2），采取一面两

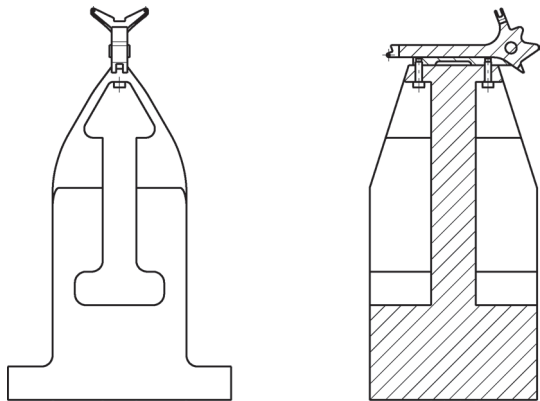


图2 拉紧定位工装

销定位原则，在工装顶部制作定位基准面和工艺螺纹孔，在零件底部夹持部分制作对应孔距和孔径的内螺纹孔，用螺钉联接紧固，实现工件和工装拉紧定位功能。

2) 工装工艺基准面的工艺螺纹孔下部设计空间槽，实现拧紧螺钉的施力空间。

3) 设计制作工装斜面，实现五轴机床摆头组合角度时刀具、工件和工装等工艺系统不发生干涉碰撞。

(2) 零件底部被夹持部位加工凹槽 为避免异形零件加工完成后，在最后工步去除底部余量部位时，瞬间去除大量余量引起应力释放失衡，导致精度超差问题，在淬火工序之前，在零件底部工艺余量部位加工凹槽（见图3），用于充分释放底部夹持余量部位的残余内应力，仅留下满足拉紧定位部位（图3箭头所指部位），即可在凹槽槽底加工圆角，从而避免槽底尖角部位应力集中而导致零件断裂。

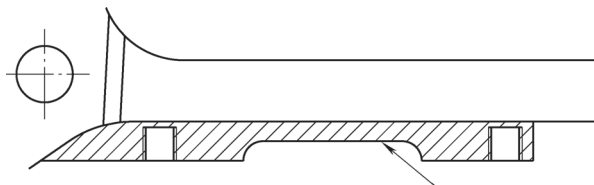


图3 在零件底部工艺余量部位加工凹槽

(3) 小直径铣刀轴线微量渐进铣削平面 精加工平面特征时，分配给各个型面余量很小且均衡，此时选用小直径短刃铣刀底齿切削，铣刀刚性好，径向切削分力较小，轴向切削分力平稳，可有效消除侧刃铣刀螺旋切削力对工件的径向拉力影响。采用底齿微量渐进铣削可使零件型面加工过程中逐步释放内应力，使异形零件型面各尺寸公差和几何精度的变化可控。铣刀切削参数见表1。

(4) 工序安排遵循均匀去除余量原则 为控制材料应力释放不均匀产生的变形，除零件夹持部位底部留夹持部位余量外，其余部位加工工艺遵循均匀去除余量原则。

1) 粗加工和半精加工时去除余量以提高加工效率为目的，选择传统加工方式，在通用夹具上装夹，通过多次翻转零件去除各部位余量。粗加工完成后留余量3mm，半精加工完成后留余量0.3mm。

2) 精加工时选择拉紧定位装夹方式，借助五轴机床可实现五面加工功能，分步骤依次对各个型面

表1 铣刀切削参数

刀具	转速 $n/(r/min)$	进给速度 $v_f/(mm/min)$	进给量 $f_z/(mm/z)$	备注
$\phi 50mm$ 端面齿盘铣刀	1500 ± 20	600 ± 10	< 0.5	粗加工
$\phi 20mm R0.8mm$ 端面齿盘铣刀	5000	3000	≤ 0.1	半精加工
$\phi 10mm$ 硬质合金立铣刀	5000	600	$0.075 \sim 0.15$	半精加工
$\phi 10mm$ 硬质合金立铣刀	6000	1000	≤ 0.05	半精加工
$\phi 10.1mm$ 整体硬质合金钻头	2000	100	1	内冷工进
$\phi 6.5mm$ 中心钻	1500	50	1	工进
$\phi 8mm$ 整体硬质合金立铣刀	6000	1500	≤ 0.025	精加工
$\phi 10mm$ 整体硬质合金球头铣刀	6000	1500	—	残留高度 0.001mm

进行切削，切削余量依次递减。

异形零件的五轴加工如图4所示，图5为加工工艺流程。

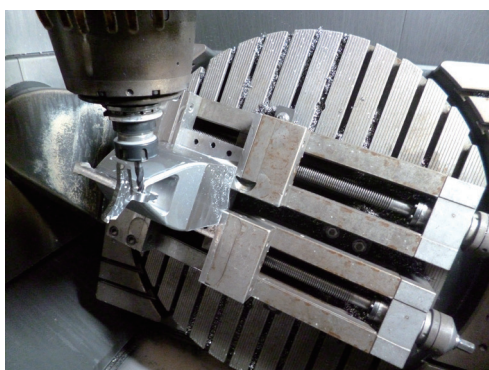


图4 异形零件的五轴加工

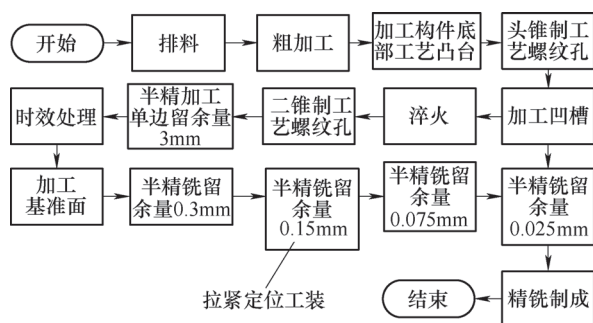


图5 加工工艺流程

总结如下。

(1) 基于零件特征设计的拉紧定位技术 拉紧定位工装改单面定位、双面夹紧为一面拉紧定位，避免夹紧定位造成的弹性变形产生的误差，实现零件一次装夹、多空间部位加工，确保零件的对称度公差要求。

(2) 平面特征底齿轴向微量渐进铣削技术 加工平面特征选用小直径短刃铣刀，消除侧刃铣刀螺旋切削力对工件的径向拉力影响。微量渐进铣削可使零件逐步释放内应力，使异形零件的变形可控。

(3) 应力释放防变形技术 基准面预留装夹工艺凸台，并在工艺凸台上开槽，充分释放异形件内应力，使零件在自然状态下进行装夹和加工。

在以上措施的综合作用下，确保了超硬材料异形零件的质量合格率，为类似产品的加工提供了宝贵经验。

参考文献：

- [1] 徐宏海. 数控加工工艺[M]. 北京：中央广播电视大学出版社，2008.
- [2] 徐文德. 机械制造工艺基础[M]. 北京：科学出版社，2009.

5 结束语

超硬材料异形零件数控加工工艺改进的创新点

MW 20210420