

精密薄壁回转体零件加工工艺

■ 西安科佳光电科技有限公司（陕西 710119）高 斌

摘要：分析精密薄壁零件的加工技术要求和加工难点，通过对零件毛坯加工方式、热处理安排、加工过程中注意事项的控制，保证了产品加工精度，满足了图样设计要求，为今后类似精密零件的加工提供了借鉴。



1. 零件结构

附图所示为典型回转体零件结构。毛坯材料为锻造9Cr18，要求热处理硬度55~58HRC，为单件生产。零件结构简单，壁厚为3~4mm，但加工精度要求较高，形位公差及尺寸公差带仅为0.003~0.004mm。

2. 工艺安排

根据以往的经验，初步确定工艺路线如下：锻造→预备热处理

→粗加工→时效处理→半精加工→热处理（硬度55~58HRC）→精加工。

3. 工艺难点分析

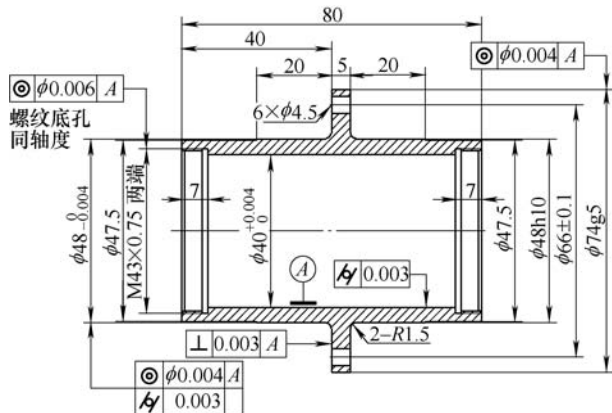
根据对零件的分析，得出加工时有以下难点：①零件为锻件，材料去除量大，产生的内应力大。②精加工时硬度高，为55~58HRC，需用加工淬火钢的专用刀具。③壁厚为3~4mm，装夹方式对零件精度影响较大。④尺寸公差带及形位公差均要求较高，只有0.003~0.004mm，对加工、检测人员及设备要求高。⑤温度变化对精度影响大，9Cr18材料在20~100℃时，平均线膨胀系数为 $10.5 \times 10^{-6} \text{℃}^{-1}$ ，即此零件温度每变化1℃，孔变形 $0.42 \mu\text{m}$ 。

综合以上分析，在零件的加工过程中需要考虑以下几点：①如何保证装夹可靠，减少装夹应力对零件精度的影响。②如何减少内应力对零件精度的影响。③如何保证零件的加工精度。④如何保证零件精度的稳定性。

4. 确定毛坯锻造方式

毛坯材料为锻造9Cr18。毛坯锻造的目的是改善组织。锻造后的组织中，共晶碳化物呈无规则均匀分布，这是比较理想的碳化物分布。为最大限度地碎化和均匀碳化物分布，应采用锻粗—拔长且反复多次的变形工艺，最后象揉面团一样，上下、前后、左右翻动进行六面揉锻，这样才有利于碳化物破碎；并要对锻造过程中的始锻温度与终锻温度、锻造比等进行严格控制。

毛坯即使经过良好的六面锻造，碳化物仍然或多或少存在着方向性分布。因此，在下料时就要先考虑零件的长边应与轧制方向一致，以便充分利用其较高的纵向性能和碳化物分布比较均匀的外缘部分金属；在制造中，仔细选择零件毛坯在锻坯中所处的部位，可使畸变最小。对畸变特



零件结构图

别敏感的方向和部位应尽可能与碳化物流线方向垂直。

因此，零件毛坯采用六面揉锻方式进行加工；下料时弃两端不规则处不用，选取锻坯中段部分，且要求零件轴线与轧制方向一致。

5. 确定加工方式

(1) 减小应力，保证零件精度。工件内应力是由于金属内部宏观或微观组织发生了不均匀的体积变化而产生的，主要是在毛坯制造及在加工过程中产生的。为减小应力，应注意以下几点：①在毛坯制造中，由于毛坯各部分冷热收缩不均匀以及金相组织转变时的体积变化，从而使毛坯内部产生了相当大的内应力。为减少毛坯制造中产生的内应力，在锻造后应立即进行预备热处理，消除锻造缺陷，改善组织、细化晶粒，从而有利于切削加工。②在加工过程中，工件由于受到切削力、切削热的作用，在表面层中产生了残余应力。因此，在工艺安排时，要把粗、精加工严格分开进行，并在粗、精加工之间进行多次时效处理；在切削过程中，注意刀具的选择，并控制切削用量（尤其注意在淬火后精加工时的吃刀量），并施加充分的切削液，减少因切削力及切削热所产生的内应力及加工误差。③减少装夹应力对零件精度的影响。从粗加工开始，就制作专用胎具，使零件不产生径向装夹力，以防止三爪自定心卡盘夹持零件所产生的夹持应力影响到后道工序（根据以往的经验，此装夹应力即使增加时效处理也无法完全消除，最终零件在三爪

自定心卡盘夹持处仍会有至少0.005mm变形）。

(2) 减少加工误差，保证零件精度。①在精密加工之前，应该让机床先空转一段时间，等达到热平衡后再进行加工。②要求精加工必须在恒温室内进行。③精加工时，工步间尽量拉开，注意保证零件温度稳定。④从半精加工开始，逐步严格控制各主要面及定位面的尺寸、形位公差，并对二次装夹后的找正精度进行严格要求和控制，尽量减少误差复映对零件精度的影响。

(3) 增加热处理，保证零件精度稳定性。尺寸不稳定通常是指零件在固定环境下所测得的尺寸变化，以及零件经过非恒定环境暴露后再固定环境下所测得的尺寸变化。①为提高零件的尺寸稳定性，在加工过程中应进行去应力处理；为了不降低合金强度而显著降低工件中的残余应力，在零件的精加工阶段，做高低温循环稳定化热处理，来保证零件尺寸精度及形位公差的稳定性。②由于淬火后的低温回火不能彻底消除内应力和残余奥氏体，为了稳定尺寸，须在淬火后立即进行冰冷处理，精加工后进行低温时效处理，进一步消除应力，稳定尺寸。

6. 确定加工工艺路线

根据工艺难点解决方案、9Cr18材料的热处理规范等，初步编制机加工工艺路线如下：毛坯锻造，正火、球化退火处理→按图粗车，留余量→去应力退火→按图半精车，留余量→人工时效→按图半精车，留淬火余量→作孔至设计要求→淬火处理+冰冷处

理+回火处理→按图精车，留余量→高低温尺寸稳定性处理→精（研）磨内孔至成品尺寸→磨外圆至成品尺寸。

先期投产了2件，按照此工艺路线进行加工，各方面均顺利，且完成后检测均符合图样要求。但放置1个月后，再进行检测时，发现内孔圆柱度局部超差0.003mm。分析原因后，对工艺路线做了如下调整（在淬火处理后再增加一次高低温尺寸稳定性处理）：毛坯锻造，正火、球化退火处理→按图粗车，留余量→去应力退火→按图半精车，留余量→人工时效→按图半精车，留淬火余量→作孔至设计要求→淬火处理+冰冷处理+回火处理→按图精车，留余量→高低温尺寸稳定性处理→粗（研）磨内孔及轴肩→精车两端螺纹至成品尺寸→粗磨外圆→高低温尺寸稳定性处理→精（研）磨内孔至成品尺寸→磨外圆至成品尺寸。再次投产后产品均符合图样要求，再无此类问题发生。

7. 结语

此零件经试制生产，完全符合图样要求，为今后加工此类精密零件积累了经验。

参考文献：

- [1] 樊东黎. 热加工工艺规范[M]. 北京：机械工业出版社，2003.
- [2] 《航空制造工程手册》总编委会. 热处理[M]. 北京：航空工业出版社，1993.
- [3] 张志文. 锻造工艺学[M]. 北京：航空工业出版社，1983.

MW（收稿日期：20160408）