高速转镜机械加工工艺研究

西安科佳光电科技有限公司 （陕西 710119） 高 斌

摘要：分析高速转镜零件技术要求、加工难点，结合以往高精度零件的加工经验，通过对零件毛坯加工方式、热处理安排的合理选择以及加工过程中注意事项的控制，解决了加工中出现的各类问题，保证了产品加工精度，为今后加工类似精度零件提供了可借鉴的依据。

1. 零件结构

如附图所示，零件为阶梯轴类零件，结构简单，但直径相差近8倍。材料为GCr15，要求等温淬火硬度60～62HRC。两端基准外圆之间同轴度ϕ0.002mm，与其余外圆的同轴度ϕ0.002mm。*G*面，*F*面，基准外圆*A*、*B*之间的平行度0.001mm、对称度0.001mm。*G*面是高速转镜的工作面。尺寸精度要求高，达0.004mm。两端ϕ（3.2±0.002）mm圆度及锥度0.001mm。要求表面粗糙度值R_a=0.2μm。零件为单件小批量生产。

2. 工艺准备

由于零件加工要求非常高，因此，需从人、机、料、法、环和测等几方面做充分的准备。

（1）人：选择经验丰富的操作人员及检测人员，并随时配合。

（2）机：与工艺方法相配合，选择加工精度高的机床、较好的刀具等进行加工。

（3）料：确定采用的毛坯状态、规格。

（4）法：结合以往经验，编制出合理的工艺方案。

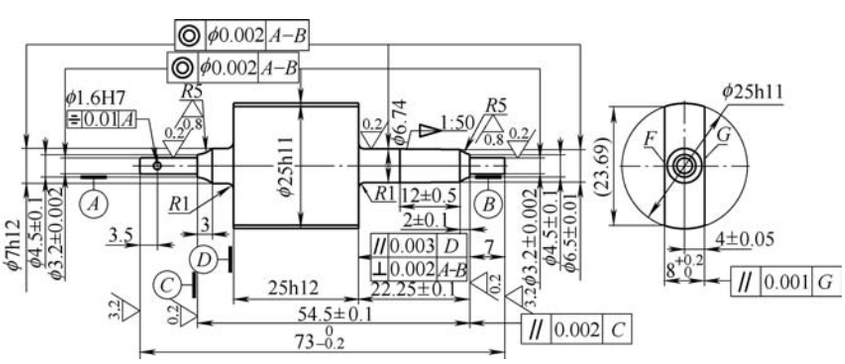
（5）环：确保在加工、检测区域内环境温度、湿度相对恒定。

（6）测：确保在检测时，零件温度与检测环境温度接近；选择适合的检测仪器，确定合理的检测方案。

3. 毛坯的准备

要求毛坯材料为GCr15。根据零件精度和使用要求，决定采用六面揉锻方式锻造毛坯。注意在下料时，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。

为了确保零件锻造后材质均匀，无内在缺陷，零件在粗加工后将进行首次探伤检测（超声波检测）。为了避开检测盲区，需要增加毛坯余量尺寸（零件最大外形尺寸为ϕ25mm×73mm）。初步确定毛坯加工工艺路线如下：锻造ϕ40mm圆棒→车外圆



零件结构图

见光→探伤→预备热处理→下料ϕ40mm×82mm。

4. 加工工艺分析

（1）加工工艺路线的初步确定。根据以往加工精密零件的经验，结合GCr15材料特性及探伤要求，初步确定加工路线如下：粗加工→时效处理→半精加工→热处理（硬度达60～62HRC）→探伤→精加工→稳定性处理→精加工→探伤。

（2）热处理安排。①为了消除毛坯内应力、使材料组织变为均匀分布的细粒状珠光体，并获得最佳的机加工性能，为淬火提供良好的原始组织，淬火、回火后获得最佳的力学性能，在锻造后、粗加工前进行“正火+球化退火”的预备热处理。②根据以往的加工经验认为，必须在淬火前至少进行两道时效处理才能较好地消除加工应力及去除材料产生的内应力。根据GCr15材料特性，需要分别进行去应力退火和普通的人工时效两道热处理来减少应力。③零件要求硬度60～62HRC，必须进行淬火+低温回火处理。一般情况下，轴承钢在淬火后有15%左右残留奥氏体（体积分数），由于这些奥氏体存在于淬火组织中，虽然经过常规的回火处理，但仍然不能使其全部转变和稳定；故当零件在室温条件下长期存放时，其尺寸会因为奥氏体转变而改变。因此，为了稳定尺寸，须在淬火后立即进行冰冷处理。冰冷处理的目的主要是减少淬火组织中残留奥氏体含量，并使剩余的少量奥氏体趋于稳定，从而增加尺寸稳定性和提高硬度。故淬火时热处理工艺路线为“淬火处理+冰冷处理+低温回火”。④为了不降低合金强度而显著降低工件中的残余应力（主要是为了消除部分磨削应力），进一步稳定组织、提高零件的尺寸稳定性，在零件的精加工阶段做稳定化热处理，来保证零件尺寸精度及形位公差的稳定性。稳定性处理（人工时效）宜在热浴中进行，处理温度一般采用120～160℃，保温时间与精度等级和尺寸及形状有关。我们采用将零件放置在热油中的方式（“油煮”）来做稳定性处理，并适当延长保温时间。

故热处理工艺路线如下：锻造→正火+球化退火→粗加工→去应力退火→半精加工→人工时效→半精加工→淬火处理+冰冷处理+回火处理→精加工→稳定性处理（“油煮”）→精加工至成品尺寸。

（3）磁力测速棒安装孔$\phi1.6H7^{+0.01}_{0}$mm的加工。孔的加工一般通过钻、镗、激光加工、电火花加工和线切割等方法完成。磁力测速棒安装孔的尺寸为$\phi1.6H7^{+0.01}_{0}$mm，与基准*A*的对称度要求为0.05mm。钻孔、电火花加工尺寸要求无法达到。且孔太小，无法使用镗削加工。激光打孔只能打薄壁，所以我们选择慢走丝线切割加工。要求精车后各轴的同轴度＜0.01mm，然后在淬火前由座标镗床作出销孔的底孔，保证与基准*A*的对称度小于0.01mm，淬火后外圆磨床精磨各外圆后，由线切割找正外圆切出安装孔。

（4）高精度的形位公差要求。图样中两端基准外圆ϕ（3.2±0.002）mm之间、与其余外圆的同轴度均不大于0.002mm；*G*面是高速转镜的工作面，与*F*面的平行度、与两端基准外圆对称度均不大于0.001mm。由于零件精度与加工机床自身的精度相当，加工难度相当大。在生产过程中，遵循先粗后精、先基准后其他的工艺原则，通过精密车床、精密磨床和手工修研等多种加工办法，逐渐提高零件加工精度。

两端中心孔是零件重要的加工基准（从半精加工开始就作为加工基准使用了），必须最先加工，并保证其精度。为此，我公司还专门定制了中心孔研磨器用于修研中心孔。另外，在热处理、电镀时，一定要注意保护中心孔。

在磨削外圆时，必须以两端中心孔为基准，注意找正精度，加工时注意吃刀量，确保逐渐提高精度。

加工*F*面、*G*面时，由于*G*面是光学镜面，所以*F*面必须作为基准面先行加工。先以磨削的外圆为基准，修研*F*面，保证精度要求；再以*F*面为基准，加工*G*面，达到工艺及图样要求。

因此，在零件的最后精加工阶段，要求按修研中心孔→磨外圆→研（磨）*F*、*G*面来反复循环进行，逐渐提高零件加工精度，最终达到图样要求。

故最后精加工时的工艺路线如下：修研顶尖孔→磨基准*A*、*B*及其他外圆→修研*F*面→反复研（磨）*F*面、*G*面。

5. 其他注意事项

在最后的精加工阶段，必

须注意：①必须不断反复微小地去除余量、且检测人员必须与加工人员密切配合，根据每次检测结果对加工提出相应的建议，指导加工。②必须密切注意使零件温度与环境温度保持一致。③零件转运、放置必须注意方式、方法。④两端中心孔必须注意保护。⑤每道工序加工完成后，严禁直接用手触摸零件（要戴手套）。

6. 工艺路线的确定

根据以上分析，确定机械加工工艺路线如附表所示。

机械加工工艺路线表

序号	工序	工艺内容
1	锻	锻造为ϕ40mm圆棒料
2	车	粗车外圆见光
3	探伤	–
4	热	热处理：正火+球化退火
5	下料	下料为ϕ40mm×82mm
6	车	按图粗车，留单边余量1.5mm
7	铣	按图铣*F*、*G*平面，留单边余量1mm
8	热	去应力退火
9	车	两端做*A*1中心孔，按图半精车，留单边余量1mm
10	热	人工时效
11	车	修研顶尖孔，两顶按图半精车，留单边余量0.5mm，保证各形位公差不大于0.01mm
12	座镗	做ϕ1.6mm底孔为ϕ1mm，半精镗*F*、*G*平面，留单边余量0.5mm，保证各形位公差不大于0.01mm
13	热	淬火处理+冰冷处理+回火处理
14	探伤	–
15	车	修研顶尖孔，两顶按图半精车，留单边磨量0.2mm，保证各形位公差不大于0.01mm
16	平面磨	以*A*－*B*为基准，磨*F*面见光
17	研磨	修研顶尖孔及*F*面，保证形位公差不大于0.005mm
18	平面磨	反复翻面磨*F*、*G*面，留单边磨量0.2mm，保证形位公差不大于0.005mm
19	热	稳定性处理（“油煮”）
20	外圆磨	修研顶尖孔，磨外圆，留单边磨量0.1mm，保证形位公差不大于0.003mm
21	慢走丝	按下差线切割ϕ1.6mm孔
22	研磨	研*F*面，保证形位公差不大于0.003mm；修研ϕ1.6mm孔至成品尺寸
23	平面磨	反复翻面磨*F*面、*G*面，留单边研磨量0.01～0.04mm，保证形位公差不大于0.003mm
24	研磨	研*F*面至成品尺寸；研*G*面，留单边研磨量0.02～0.03mm，保证各形位公差不大于0.001mm
25	外圆磨	修研顶尖孔，按图磨外圆至成品尺寸，保证各形位公差要求
26	研磨	研*F*面；研*G*面，留单边研磨量0.02mm，保证形位公差不大于0.001mm
27	镀	按技术要求喷砂、染黑
28	研磨	抛光各轴外表面，保证表面粗糙度值R_a=0.2μm；修研*G*面，留光学抛光余量，保证平行度不大于0.001mm
29	探伤	–
30	抛光	转光学抛光*G*面至成品尺寸并镀膜

7. 结语

此零件经过几年的试制生产，反复改进、优化，已形成了成熟的工艺思路和加工方法，为今后加工此类精密零件积累了经验。

参考文献：

[1] 中国机械工程学会热处理学会《热处理手册》编委会. 热处理手册（第二卷.典型零件热处理）[M]. 北京：机械工业出版社，2003.

[2] 樊东黎. 热加工工艺规范[M]. 北京：机械工业出版社，2003.

[3] 《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.

[4] 张志文. 锻造工艺学[M]. 北京：航空工业出版社，1983.

MW（收稿日期：20170407）

专家点评

本例中的高速转镜为平面阶梯轴类零件，加工要求非常严格，保证尺寸及形位精度较为困难。作者通过合理的加工方式和热处理安排，解决了加工过程中出现的各类问题。精密零件的加工以保证产品质量为前提，应全面考虑影响加工精度的各种因素和注意事项，尤其是精加工阶段的手工修研细节，顶尖孔和基准面不允许有任何瑕疵。此零件的30步工艺路线虽然比较繁琐，却经过试制生产和反复改进，已非常成熟，为类似零件提供了加工思路。