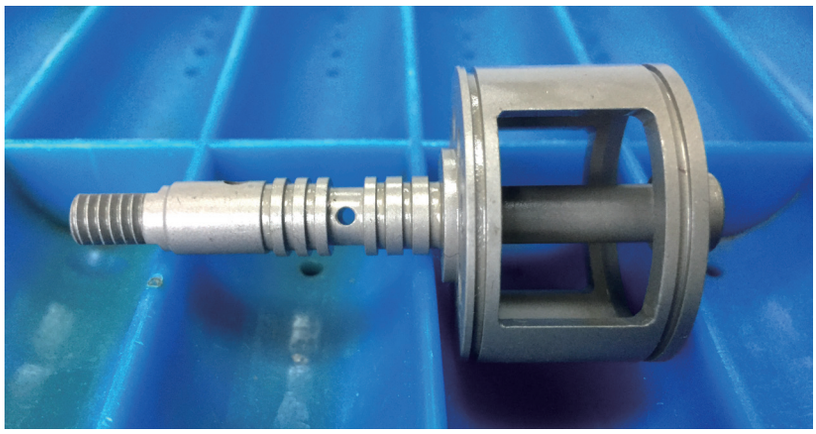
高精度复杂结构计量活门工艺设计

■ 贵州红林机械有限公司军品机加分厂　（贵阳　550009）　郑晓莉　梁清余　王　军

摘要：本文主要针对某典型高精度细长骨架结构计量活门的工艺方法进行分析，针对该零件的技术难点，通过试验加工确定工艺路线，并对零件加工制造过程中的装夹方法、刀具选择、加工过程控制和测量方法进行详细介绍。



高精度活门零件不但在航空航天领域应用非常广泛，同时广泛运用于高速铁路、医学工程和现代建筑等行业中，很多军用或民用的重大项目及工程都需要借助高精度活门零件来实现一定的功能。而某些特殊的高精度活门，由于结构的特殊性（如本文介绍的细长骨架类高精度计量活门），特别容易受大余量材料去除后应力释放、热处理过程中的材料应力释放、加工过程中装夹受力、刀具挤压受力以及零件周转过程中的自重受力等多重因素的影响，而产生较大变形，不能满足零件的高精度需求。本文采用新工艺方法，通过对高精度骨架类活门零件的加工从工艺流程、加工方法和去除材料内应力等方面进行控制，有效解决了骨架结构零件易变形的问题，使加工尺寸稳定，零件加工的合格率得到大幅提高，确保产品正常交付。

1. 计量活门结构

计量活门结构如图1所示。该零件结构较为复杂，其特点为细长、骨架结构、空心以及精度要求高。

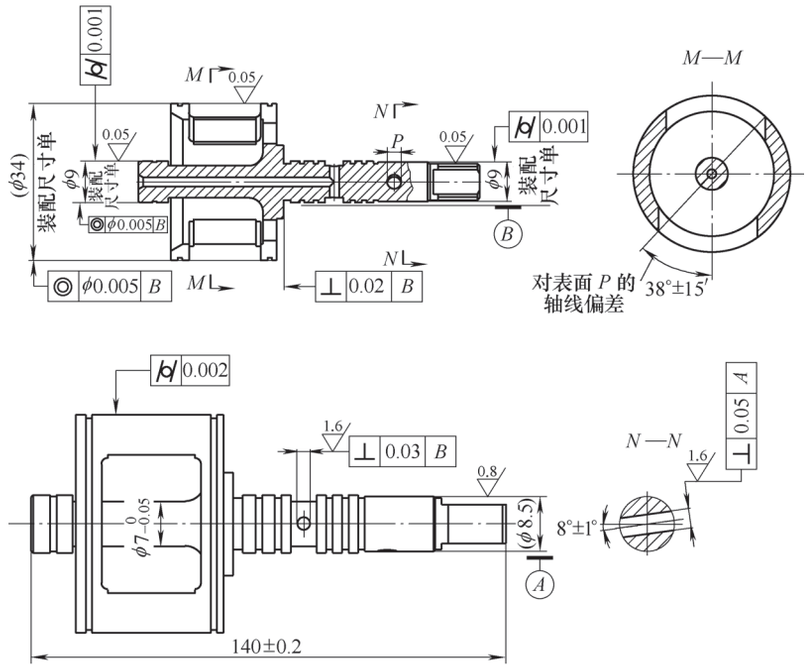


图　1

2. 技术要求

该计量活门为细长空心骨架结构（总长74mm，最小直径7mm），尺寸38°±15′、$\phi2^{+0.025}_{0}$mm、$\phi3^{+0.014}_{0}$mm、圆柱度最大0.001mm（2处）和最大0.002mm、同轴度最大0.005mm（2处）等要求较严，很容易在加工过程中因加工变形、应力释放产生变形，因装夹定位误差等因素造成零件的批次性超差，并且这些因素对零件最终质量状态的影响没有规律性，因此，保证最终产品质量的难度非常大。

3. 技术难点

从该零件的结构、精度要求及现有加工能力进行分析，总结出该高精度复杂结构活门零件加工过程中存在的技术难点如下：

（1）如图2所示，在零件ϕ34mm外圆上需要加工15.5mm×21.5mm的两个方孔，方孔对角边与$\phi2^{+0.025}_{0}$mm径向孔所形成的角度尺寸为38°±15′（两方孔与外圆所形成的理论交接对角点连线与孔*P*中心线所形成的角度），该角度尺寸公差严，在加工过程中难以采用合适的装夹定位方法来保证该尺寸要求。

（2）该计量活门零件属于高精度骨架结构空心活门零件，加工过程和周转过程都很容易变形。当方孔加工后，若使方孔一次性加工掉，加工余量过大，应力释放后必然使零件产生较大变形。因零件为渗氮件，为保证渗氮层深度，磨削加工余量小，若零件变形大，极容易磨不成导致报废。另外，装夹定位、刀具选择、加工过程、测量方法和工艺流程都较难选择和控制，在冷加工和热加工过程中的应力释放都会导致零件产生较大变形，且这种变形是无规律的。

（3）由于零件为细长杆、空心骨架结构零件，在零件的加工过程中，特别容易受大余量材料去除后应力释放、热处理过程中的材料应力释放、加工过程中装夹受力、刀具挤压受力以及零件周转过程中的自重受力等多重因素的影响，而产生较大变形，导致零件尺寸和同轴度、圆柱度等形位公差超差。

（4）零件ϕ9mm外圆上的两个径向孔尺寸分别为$\phi2^{+0.025}_{0}$mm和$\phi3^{+0.014}_{0}$mm（见图3），孔径尺寸小且公差严格，孔在镀铜、除铜及热处理的过程中会产生不可预测的改变，导致最终孔尺寸不能保证图样要求。

（5）尺寸链换算时，因端面有渗氮深度要求，尺寸换算后公差严，渗氮前端面尺寸（1.71±0.01）mm，渗氮后端面尺寸（1.69±0.01）mm，槽边磨磨削端面时尺寸难以保证。

（6）该活门有三外圆需与衬套进行配套，保证间隙0.004mm（2处）和0.009mm要求，为此，三外圆均需要保证最大0.002mm圆柱度和最大0.005mm圆柱度要求，同时因零件变形难以控制，导致难以保证零件渗氮深度要求。

4. 原因分析及解决措施

针对上述6大技术难点分析原因，采取的相应解决措施如下：

（1）由于角度尺寸公差要求严格，且加工只能通过间接计算方式得到所需尺寸，若所采用的工装设计不科学，造成较大误差，就难以保证零件精度要求，因此，采用如图4和图5所示的自

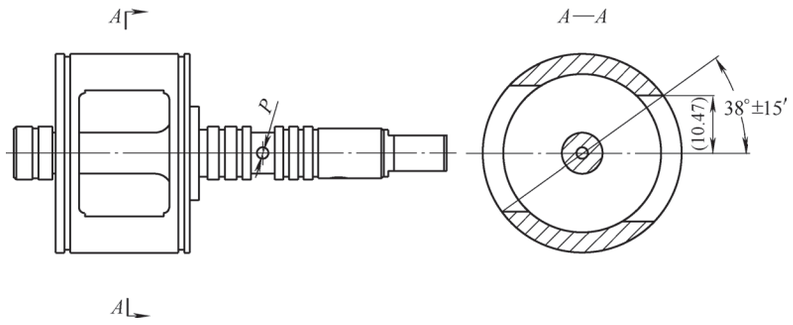


图 2

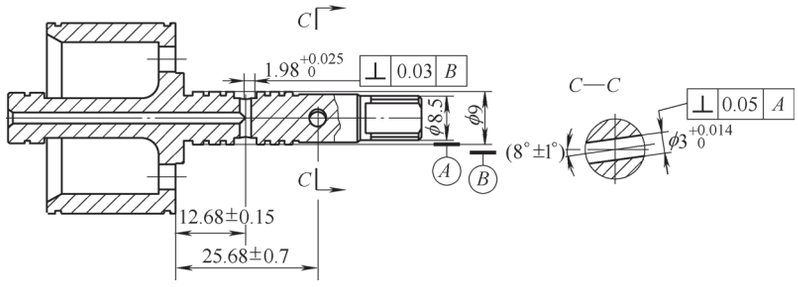


图 3

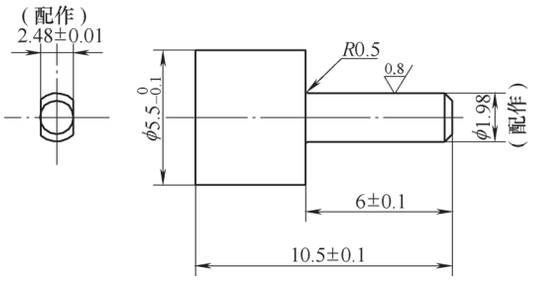


图 4

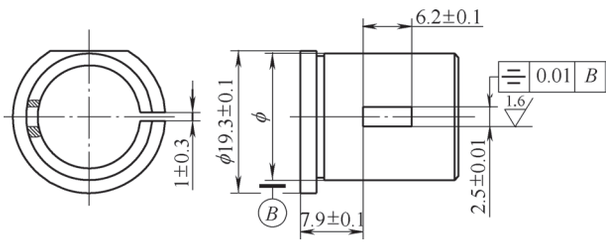


图 5

制辅助工装进行加工，该工装采用扁与型孔的配合定位，经解剖测量得到合格零件，证明了该工装的可行性。

该工装使用方法如图6所示，将零件装入图5中的定位衬套后，用图4中的定位销进行定位，然后用V形块夹持定位衬套，最后用刀口尺靠直找正面，方可进行对刀加工。

实际加工过程中，因角度尺寸38° ±15′ 公差严，通过怎样的间接换算和定位方式保证该尺寸，也是需要考虑的、决定该尺寸能否保证的重要因素。如图7所示，加工时用刀口尺进行找正图5所示工装的找正扁后，实测电极的尺寸L，移动电极按图5碰触零件外圆后，（6.53+L）mm就是电极加工状态时从找正零点偏移的距离。6.53mm为计算尺寸，计算过程为：$34\div2-34\div2\times\sin38°=6.53$mm，其中，34mm为$\phi A$直径尺寸。当$\phi A$尺寸在前工序加工有超差情况时，就需要按$\phi A$实测值重新进行计算。

（2）该计量活门属于高精度薄壁零件，易变形，加工、定位较难，尺寸因应力释放而改变，且无规律。对零件的加工流程进行摸索，为了将应力释放对零件的影响程度降到最低，采用在钻攻中心上粗加工方孔（单边留0.5～1mm的加工余量）后，将零件去应力处理后，再进行渗氮前磨削，最后进行最终的电火花加工，保证设计图样尺寸和技术要求。

通过按工艺规程增加钻攻中心进行粗加工的流程进行加工试验，并收集去应力及渗氮前后相关跳动要求进行数据分析可知：零件在去应力后产生较大变形，但去应力后还要进行精加工，再进行渗氮处理，对保证渗氮层深度无影响，因此，工艺流程增加钻攻中心进行粗加工是合理的，能最终保证工艺要求。

采用的加工工艺流程为：

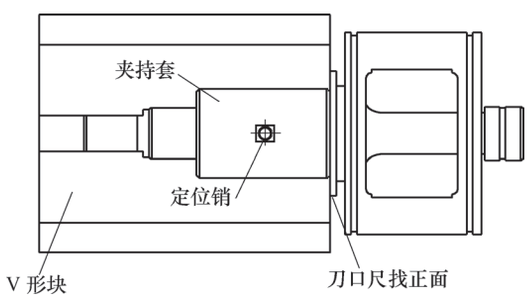


图 6

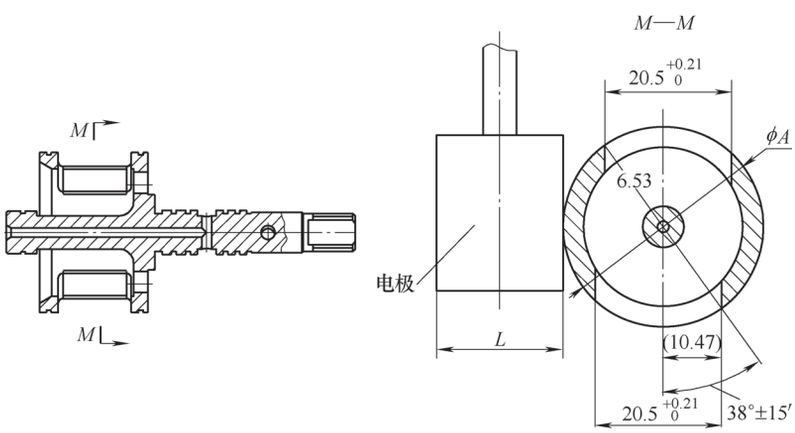


图 7

下料→正常化→车工→粗车环形槽→精车环形槽→钻孔→去毛刺→钻孔（钻细长轴向孔）→钻孔（钻8处轴向孔）→粗铣四方孔→清洗、检验→去应力→镀铜→研顶尖孔、磨外圆（3处）和端面（2处）→清洗、检验→渗氮→除铜→研顶尖孔、磨端面（2处）→电火花打四方孔→精磨外圆（3处）→去毛刺→清洗→裂纹和烧伤检查→研孔→清洗、检验　油封→精研外圆（组件中进行）。

（3）由于零件为细长杆骨架结构空心零件，在加工和周转过程中都容易产生变形。每道工序周转都使用专用零件盒，垂直摆放，将零件周转过程产生的变形控制到最轻微。

（4）零件ϕ9mm外圆上的两个径向孔尺寸分别为$\phi2^{+0.025}_{0}$mm和$\phi3^{+0.014}_{0}$mm，尺寸小且公差严，考虑到孔在镀铜、除铜及热处理过程中产生的不可预测的改变，采用在钻攻中心加工后，在最终工序进行精加工（研孔）的控制方法，保证零件最终合格。

（5）尺寸链换算时，因端面有渗氮深度要求，尺寸换算后公差严，刀磨磨削端面时尺寸难以保证，因此，如图8所示，将两个端面同时进行磨削加工保证尺寸（1.71±0.01）mm，而不是按传统工艺方案只加工一个面。若只加工一个面，会因基准面上的铜层不均匀导致尺寸无法保证。当然，这种工艺方案同时要考虑该工序的基准端面①的控制。先见光端面①，尺寸1.71mm按1.83$^{0}_{-0.05}$mm进行控制。图8中，端面②为设计图样的基准端面，且端面有渗氮层深度要求。

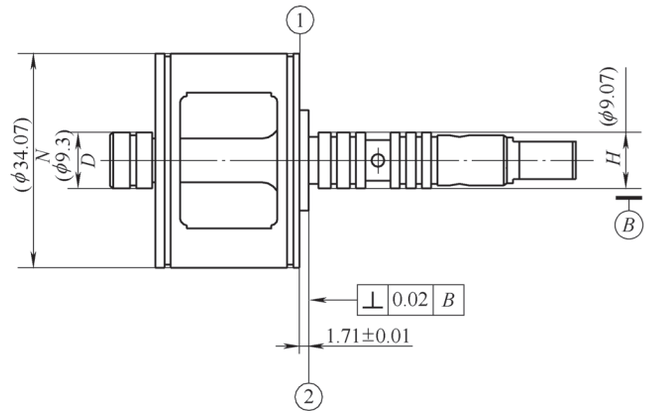


图　8

（6）为保证渗氮层深度要求，将渗氮工序的渗层深度从最小0.1mm提高至最小0.11mm，在渗氮之前，将三外圆的同轴度控制到最大0.01mm，圆柱度控制到最大0.005mm，端面垂直度保证到最大0.02mm，将该零件的形状和相互位置误差在热处理前控制好，以保证渗氮要求。另外，为保证零件最终与衬套的配合间隙要求，在单件进行磨削加工时留0.010～0.015mm研磨余量，进入组件配套时，再进行研磨，保证最大0.002mm圆柱度要求的工艺流程。

5. 取得的效果

采用先在钻攻中心上粗加工后进行去应力，之后再进行磨削精密加工后电火花打方孔，保证方孔相关尺寸和渗氮深度要求的工艺流程，将零件可能产生的变形量控制到最低；采用自行创新设计的辅助工装，很好地保证角度尺寸要求。该工装采用定位销子扁和衬套方孔配合，且方孔和衬套上的找正扁一次装夹加工，将工装可能产生的误差降到最低。采取新工艺后，从工艺流程、加工方法及去除材料内应力等方面进行有效控制，很好地解决了骨架空心结构活门零件的变形问题，使加工尺寸稳定，零件加工合格率得到大幅提高，达到90%以上。

通过新技术新工艺的应用，为加工高精度骨架结构类零件探索了一条新路，为未来更多新品研制新技术、新工艺的突破奠定了坚实的基础，为其他类似产品的加工提供了经验借鉴。

参考文献：

[1] 张文丽. 活门骨架空心尺寸的加工及检测[J]. 金属加工（冷加工），2013（16）：61-62.

[2] 杨江河，程继学. 精密加工实用技术[M]. 北京：机械工业出版社，2006.

MW（收稿日期：20171011）

温馨提示：了解金属加工APP，可以扫描二维码下载。