超硬铝高精度大直径薄壁壳体加工工艺

西安北方光电科技防务有限公司　（陕西　710043）　王文仲　窦鑫红　王　薇　刘　涛

摘要：针对超硬铝高精度大直径薄壁壳体加工过程易变形的问题，从材料、温度、零件装夹、过程控制及热处理等环节进行分析，提出合理的工艺方案，采取有效、可靠的措施，尤其是设计和制造合理的车夹具，解决了壳体加工变形难题，满足了产品设计技术要求。

在机械制造业中，超硬铝材料的密度为2.7g/cm^3，属于轻合金，比强度高、比模量高，结构性能优异。超硬铝合金的外观质量好，具有良好的韧性及塑性，进行淬火、时效处理时可使合金强化，具有高强度、高耐磨性，高温下变形小，成为国防建设中重要的结构件。

超硬铝高精度大直径薄壁壳体加工过程中的变形一直困扰着技术人员及操作者。变形使此类工件废品率及加工成本居高不下，而引起变形的原因又很多。

1. 壳体加工中存在的问题分析

如图1所示的结构为高精度薄壁壳体，材料为超硬铝，孔径和外圆尺寸都＞110mm，跳动为0.02～0.03mm，壁厚为2mm。

此类零件加工有3点难度：①如何控制超硬铝材料自身的变形问题。②如何保证工件的加工尺寸精度及形位公差要求。③如何控制大直径薄壁加工的变形问题。

目前影响工件加工质量的因素主要有以下几点：

（1）超硬铝材料自身的影响。材料自身状态会影响工件的加工质量。在实际生产加工中发现，同种型号不同批次的材料对工件加工质量会产生不同程度的影响。尤其是对于薄壁易变形工件来说，来料状态的稳定性很重要。如果材料自身不稳定，就会在加工的各个阶段逐渐释放内应力而产生变形，甚至会将这种变形带到产品的使用状态中。

（2）温度的影响。对于高精度薄壁工件来说，温度对加工质量的影响也是不可忽视的因素。尤其是在精加工阶段壁很薄的时候，受温度变化影响较大。这里的温度变化包含加工后工件自身温度变化和环境温度变化，相比较前者对工件加工尺寸精度影响更大。实际加工中在精车阶段，工件刚加工完测得ϕ130mm基准孔尺寸与放置24h后测得尺寸有差异，大致在0.02mm左右。此差异主要是由加工后工件的温度变化引起的。试验结果表明，环境温度变化10℃，ϕ130mm基准孔尺寸大约变化0.01mm左右。因此要将温度变化的综合因素考虑到工件加工和测量过程中去，以保证工件最终加工质量。

（3）工件装夹的影响。因工件壁薄，在夹（压）紧力的作用下容易产生变形，从而影响工

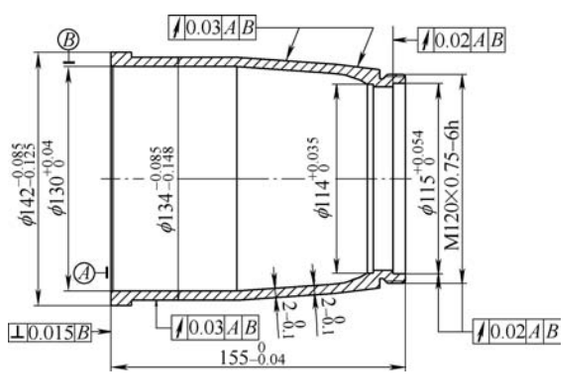


图1　超硬铝高精度大直径薄壁壳体结构及技术要求

件的尺寸精度和形状精度。加工过程中因装夹不当而造成的工件变形情况大致有以下几类：①薄壁工件使用钢爪装夹，夹紧力过大，使零件产生三点变形，即零件回转面上低点沿轴向呈三个带状区域分布，且三个区域大致成120°夹角。此类变形在刚结束加工时即可测出，且较难消除，若不采取特别措施，往往会影响整个后续加工过程。②加工中装夹定位基准状态不好，如定位面和压紧面不平行，或压板未处于自然状态时压紧等，均会造成工件变形。此类变形在刚结束加工时未明显显露，卸下工件测量变形量可能很小，但工件放置几小时后变形量较大，放置24h后，变形量趋于稳定。③装夹时轴向压紧力过大也会造成零件因内应力而产生应力变形。

（4）加工过程的影响。在加工过程中导致工件变形的因素很多，常见的大致有：①因工件较薄，切削热会引起工件热变形，使工件尺寸难于控制。②因工件结构特点和加工部位限制，装夹后零件悬伸长度较长，在切削力（特别是径向切削力）的作用下，很容易产生振动和变形，影响工件的尺寸精度、形状、位置精度和表面粗糙度等。③切削用量的选用。④加工流程和加工内容的工艺安排也是影响零件加工变形的因素之一。如尽量减少精加工内容和加工余量，精度要求不高的部位可安排在粗加工和半精加工阶段完成等，均可对工件加工变形起到控制作用。

（5）热处理变形。金属零件在热处理过程中不可避免地会产生变形。除了正常状态的热处理变形之外，同时要重点控制非正常状态的热处理变形。在工件实际热处理过程中，发现因零件进炉时的摆放方式不同，对零件变形的影响也不同。因零件批量大，炉内放置面积有限，为了保证生产进度，在热处理过程中往往会将零件摞成两到三层放置加热。而最底层零件在加热过程中始终处于受力状态，经热处理后组织应力不均往往变形最大，且在之后的加工过程中不断有应力释放，造成加工状态的不稳定。

2. 壳体加工工艺方案

通过总结此类材料结构件的实际加工经验，尝试和进行许多对比切削试验，编制满足超硬铝高精度大直径薄壁壳体加工精度要求的工艺方案为：锻造毛坯→粗车毛坯→淬火热处理→粗车→冷热循环→半精车→时效去应力→车定位和压紧基准→精车内部工序，留余量0.5mm→精车外部工序，留余量0.5mm→精车内部工序→精车外部工序→低温热处理→精饰。

加工流程分成粗加工、半精加工和精加工三个阶段，并安排辅助加工基准工序。毛坯粗车后，进行淬火热处理，使材料重新结晶，组织恢复平衡，硬度提高，满足产品的强度需求。粗车后进行冷热循环稳定材料组织，控制半精加工过程中的变形量。半精车后再进行一次时效去应力，消除切削过程产生的变形。最后精车后进行低温热处理，进一步稳定材料内部组织和尺寸精度要求较高的部位，满足产品装配长期使用要求。

3. 加工过程中采取的具体措施

（1）控制超硬铝材料自身的收缩量。由于工件结构以及自身材料限制，在实际加工工件过程中自身变形量较大，往往车孔不能完全按图样要求公差尺寸大小控制，要摸索出具体零件材料的变形量。通过对此类超硬铝高精度壳体长时间观察、测量和摸索，基准孔ϕ130mm、ϕ115mm自身收缩量为0.015～0.020mm，因此实际加工和测量一定要考虑材料自身收缩量补偿，这样才能保证零件的加工质量。

（2）机床的热平衡。机床每天加工之前空转30～60min，保证机床达到热平衡，在此状态下进行精车工序，零件加工质量才能稳定。

（3）优化走刀路径。车削孔ϕ130mm时，沿径向孔圆柱度差。针对此现象，把精加工余量0.5mm分成两道加工：第一次进刀去除0.3mm，停机松开压板，把零件旋转90°，旋紧压板开机；第二次进刀去除0.2mm，消除第一次进刀加工部分圆柱度误差。车孔ϕ115mm时，把精加工余量0.5mm分成三道加工：第一次进刀去除0.3mm，停机松开压板；把零件旋转90°，旋紧压板开机；第二次进刀去除0.1mm，消除第一次进刀加工部分圆柱度误差，停机倒换压板，再完成外部加工内容，停机倒换压板；第三次进刀去除0.1mm，保证ϕ115mm完工尺寸要求。

（4）合理选择切削参数，在有效保证工件加工精度的情况下，提高加工效率。根据经

验及加工实践，精加工时切削转速n=500r/min，进给量f=0.06～0.10mm/r，零件越薄进给量要越小，背吃刀量a_p=0.05～0.10mm。车孔ϕ115mm、ϕ130mm切削用量为a_p=0.05mm，f=0.1mm/r，n=500r/min，ϕ115mm、ϕ130mm孔圆柱度控制在0.01～0.03mm之间，控制零件变形，保证产品质量。

（5）选择切削液。采用湿加工降低切削区温度，提高表面质量，延长刀具寿命。一般应选用极压乳化液来冷却，流量应充足。充分使用切削液进行冷却，防止零件热变形，防止热量集中。

（6）设计合理的夹具。如图2所示，工件3（双点划线处）用外圆与台阶端面和夹具体4的孔与端面相配合定位，大螺母5通过螺纹与夹具体4联接，内端面压紧工件外端面，对工件不产生径向压力，克服径向力对工件产生变形。圆盘2通过螺钉和销钉与夹具体4相连，衬套1与车床花盘相配，通过3个螺钉圆盘2与车床花盘联接成整体。一次装夹零件，将零件孔、内端面一次加工而成，从而达到保证工件加工基准面的精度要求。

如图3所示，工件5（双点划线处）用孔与大端面和夹具体4的外圆与端面相配合定位，压板6通过螺钉与夹具体4联接，端面压在内孔的端面上。大螺母3通过螺纹与夹具体4联接，内端面压紧工件台阶端面，对工件不产生径向压力。圆盘2通过螺钉和销钉与夹具体4相连，衬套1与车床花盘相配，通过3个螺钉圆盘2与车床花盘联接成整体。

具体加工步骤为：①拆掉压板6，旋紧大螺母3压紧台阶端面，车端面及孔ϕ115mm（留余量0.2mm）。②停机拆掉大螺母3，把压板6通过螺钉压紧孔内端面，车外圆、螺纹及锥度。③停机拆掉压板6，把大螺母3使用螺纹与夹具体4联接，并压紧孔内端面，车端面及孔ϕ115mm。这样通过一次装夹零件、倒换压板的方式，将工件外圆、锥度、螺纹、孔及端面一次加工而成，从而达到保证工件的尺寸精度和形位公差要求。

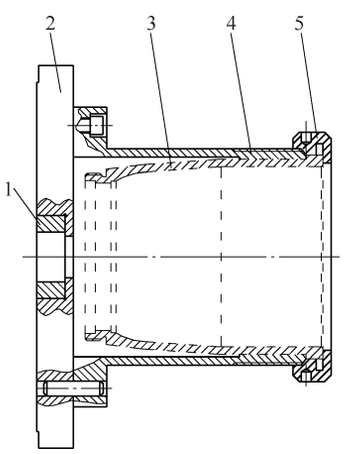


图2　精车壳体内部工序使用的车夹具结构

1.衬套　2.圆盘　3.工件
4.夹具体　5.大螺母

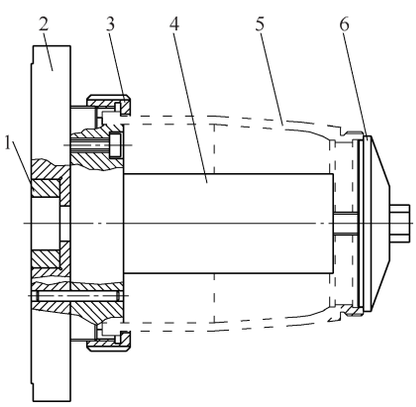


图3　精车壳体外部工序使用的车夹具结构

1.衬套　2.圆盘　3.大螺母　4.夹具体
5.工件　6.压板

4. 结语

本工艺有效控制了工件的变形量，解决了此类工件的加工变形难题，满足了产品设计技术要求；实用性强，具有一定的推广价值。

参考文献：

[1] 梁炳文. 机械加工工艺与窍门［M］. 北京：机械工业出版社，2002.

[2] 王先逵. 机械加工工艺手册［M］. 北京：机械工业出版社，2002.

[3] 龚安定，蔡建国. 机床夹具设计原理［M］. 西安：陕西科学技术出版社，1981.

MW（收稿日期：20141008）

专家点评



文章的创新性很好，薄壁套采用轴向压紧的装夹方法是加工工艺常识，但作者设计的工装夹具能够在工件的内孔和外圆加工中均做到轴向压紧，解决生产中的实际问题。