

HT04→固溶处理+半硬时效+切削加工+沉淀热处理（加时效专用夹具，使零件变形最小）。

方案二：叶片轴加工工艺总体设计采用锻件（D）+硬时效HT04→固溶处理+粗加工+沉淀（时效）热处理+精加工。

对比两种方案各有利弊，方案一对加工方便、有利，需投入专用的时效夹具，同时保证零件的最终精度还是有困难；方案二对机械加工增加了难度，但只要掌握机械加工的难点和要点，并采取相应的工艺措施是能够保证零件加工精度的。

3. 切削加工工艺方案和主要工艺夹具

（1）锻坯尺寸的确定：铸锭+锻造+固溶处理并经过粗加工的最终尺寸确定为95 mm（宽）×310 mm（长）×126 mm（高），每个毛坯可切割成2件（见图2，粗加工要留单面留2 mm有加工余量）。用线切割（快走线方式）实现粗切成形，再切割为“凸”字形（见图1），方法简单，成本低，最大限度提高材料的利用率，并在每件的余料中切割出25 mm×25 mm×120 mm样棒（再车削成标准的拉伸试棒）与零件编工艺成对编号，一并作沉淀热处

理，作力学性能和硬度检测（逐件检测），确保每个零件的内部组织的力学性能达到技术指标。

（2）粗加工工艺方案：按图2样板划线→线切割（切割成2件，留加工余量）→车削（留加工余量）→沉淀热处理。

粗加工的目的主要减少精加工的切削量，同时可以补偿沉淀热处理产生的微量线收缩和变形，使零件的硬度、强度经沉淀处理后均匀。粗加工时材料处于固溶状态，切削加工性能良好。

粗加工线切割其外形单面留精加工余量2 mm，而左、右两外圆为不完整圆；在下道车削工序中将其圆整，车 $2 \times \phi 70^{+0.25}_0$ mm×41.1 mm，台阶外圆为 $\phi 74$ mm×41 mm，车 $\phi 45^{+0.025}_0$ mm内孔为 $\phi 42$ mm，车 $2 \times \phi 51$ mm×25 mm台阶孔为 $\phi 48$ mm×25 mm，外圆与内孔的同轴度 ≤ 0.1 mm，各环槽及退刀槽暂不加工。

（3）精加工工艺方案：我们对叶片轴零件图样作了工艺分析，叶片轴的设计基准都是以内花键为基准的，工艺基准的建立也必须围绕内花键基准展开，由于零件设计为非对称性结构，为保证回转加工的平衡性和外圆与花键的同轴度，设计制作了两套高精度两顶尖的车用心轴，供半精车和精车使用，并设置了可调平衡块，同时设计制作了一套铣削夹具。

精加工的工艺设计方案：半精车（内花键孔加工至尺寸）→划十字中心线→线切割（切割内花键及外形）→精车（花键心轴）→加工中心铣削台阶面（铣削夹具）→钳工（去毛倒钝、抛光）。

工艺设计中设置了车削的半精加工，车内花键 $\phi 12^{+0.027}_0$ mm内孔及 $2 \times \phi 51$ mm×26 mm(见图2)台阶孔加工至图样尺寸，内孔与两端面的垂直度 ≤ 0.02 ，是内花键加工的工艺基准，再以带锥度1:1 000的圆柱心轴定位花键内孔，心轴两顶尖中心孔定位，同时采用了加平衡块的模式半精车 $2 \times \phi 70^{+0.03}_{-0.06}$ mm×41.1 mm台阶外圆及端面，并留单面精加工余量1 mm（见图3）。

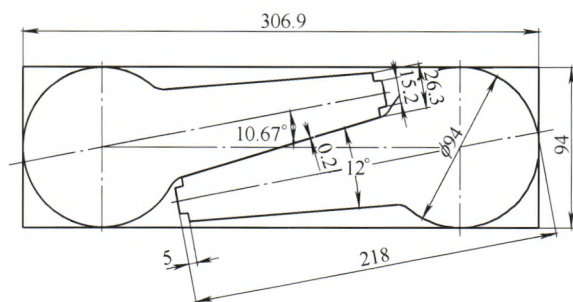


图2 锻件坯料切割成形排版图

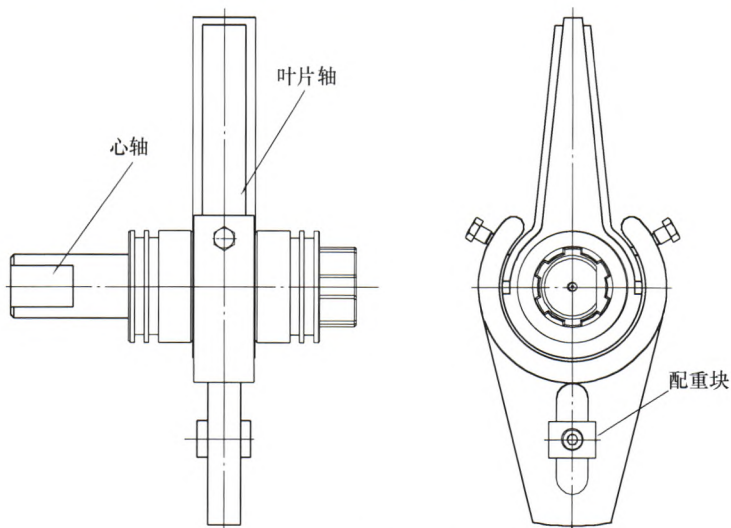


图3 车削装夹示意图

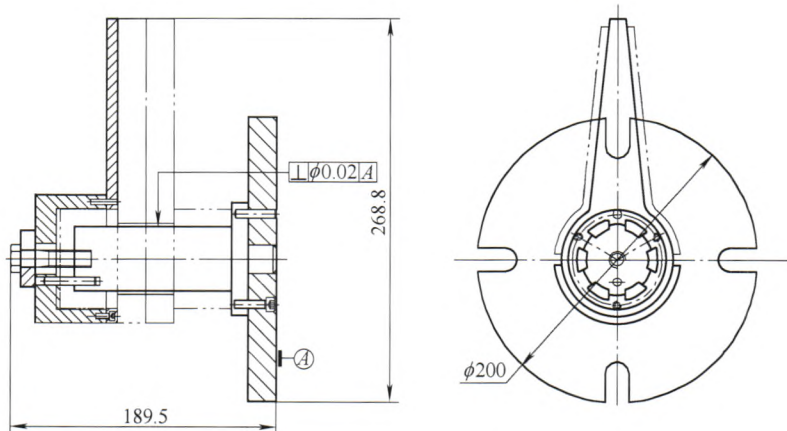


图4 铣削装夹示意图

铍青铜经沉淀热处理后其抗拉强度相当高，常用的花键拉刀成形加工难以胜任，工艺上以半精车花键 $\phi 45^{+0.25}_{-0.03}$ mm内孔及端面定位，采用了中走丝线切割 $6 \times 12^{+0.027}_{-0.013}$ mm内花键及 $0.4 \text{ mm} \times 45^\circ$ 角（满足加工精度、同时降低加工成本），内花键成形后再以它为基准定位（花键轴相配），按主视图切割外轮廓至图样尺寸并保持相对位置的正确性。

采用带锥度1:1 000的花键心轴，采用两顶尖顶心轴的车削加工方式，同时采用了加平衡块的模式以保持零件回转加工的平稳性，确保加工精度（见图3）。精车 $2 \times \phi 70^{+0.03}_{-0.06}$ mm $\times$ 41.1 mm台阶外圆，精车叶片 $39.8^{+0.05}_{-0.03}$ mm两肩胛面，保证与内花键的同轴度和垂直度 ≤ 0.02 mm，粗、精车4处 $6.2^{+0.16}_{-0.03}$ mm $\times$ $\phi 60.7^{+0.03}_{-0.104}$ mm环槽及退刀槽。

叶片两侧的台阶 $5^{+0.16}_{-0.03}$ mm $\times$ $6^{+0.16}_{-0.03}$ mm的加工，主要是采用铣削来完成的，考虑到铣削力较大，为防止在加工过程中的变形采取了专用的铣削夹具（以内花键定位，两端面夹紧，见图4）。增强了零件加工时的刚性，而采用加工中心加工冷却条件好，刀具选择的余地大，切削参数调整方便，编程控制容易实现。

4. 切削加工的要点

QBe2叶片轴切削加工难点是在沉淀热处理后的车削，主要是车刀材质的选用、车刀的切削几何角度和切削用量的选择，我们做了大量的切削试验，积累了一些经验，现小结如下。

刀具材质的选择：推荐钨钴（YG）类和超硬硬质合金，YG8N、YG813、YS726（洛氏硬度90HRA）为首选，其主要特点是抗弯强度高（ $\geq 1100 \text{ MPa}$ ），冲击韧性好，不易崩刃，断续切削时，切屑不易产生粘结而形成切削瘤，同时刃磨性能好，刃口可以磨得很锋利，切削高强有色合金效果较好。但是其耐磨性和耐热性比较差，所以加工时一定要采取冷却和润滑措施。

切削加工参数的选择：主要是根据铍青铜热处理的状态及时调整，固

溶处理后的切削速度可以快一点，推荐300 m/min；半硬态时，推荐80~150 m/min；沉淀热处理后，推荐：30~70 m/min。进给量控制在0.15~0.3 mm/r（精加工0.05~0.2 mm/r），背吃刀量0.5~1.2 mm（精加工0.10~0.3 mm）。加工过程中必须保持刀具的锋利，否则在加工过程会加剧摩擦而产生铍青铜表面的冷作硬化，并使每次的切深要大于硬化层，刀具要有 $12^\circ \sim 25^\circ$ 的正前角，后角 $6^\circ \sim 10^\circ$ ，兼顾刀具锋利和强度，以保证最佳的切削效果。

切削液的选择：车削时推荐用硫化油（特别是精车）效果明显，铣削时推荐用人造乳化液喷淋，效果良好，同时可有效控制切削加工时产生的氧化铍对人体的伤害。

5. 结语

从QBe2叶片轴的切削加工过程可以看出，合理设计工艺方案是保证零件加工精度的前提，而采用特种加工方式可大大降低零件加工的难度，传统的切削方式和工艺夹具是必不可少的保障，要不断实践，是能够掌握特种金属材料加工的。自2010年以来已多次完成公司下达的加工任务。

参考文献：

- [1] 崔昆. 钢铁材料及有色金属材料[M]. 北京：机械工业出版社，1984.
- [2] 樊东黎. 热处理技术数据手册[M]. 北京：机械工业出版社，2000.
- [3] 刘守田，等. 挤压和锻造工艺对铍青铜棒材组织和性能的影响[J]. 湖南有色金属，2009（2）.

MW（收稿日期：20140507）