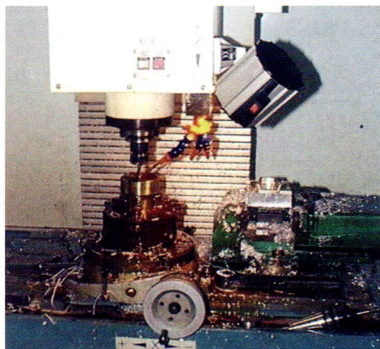


薄壁钛合金球壳封头的数控加工工艺

■ 西北工业大学（陕西西安 710129） 孙一丰

摘要：针对无装夹位、精度要求高、母材难加工的某感应薄壁钛球壳零件的加工提出较好的解决办法，对此类零件的加工具有一定的指导意义。



1. 图样理论分析

异形零件通过数控机床加工能较好地控制尺寸精度，更能提高加工效率。

如图1所示的钛合金球壳封头为壁厚0.8mm的异形零件，母材

为直径54mm、长度65mm的实心钛棒，要求加工零件1和零件2各一件，形状虽简单，但无装夹位

置，壁薄、精度要求高，且加工完成后还有质量要求，单件质量为 (19 ± 1.5) g，材料硬度高、

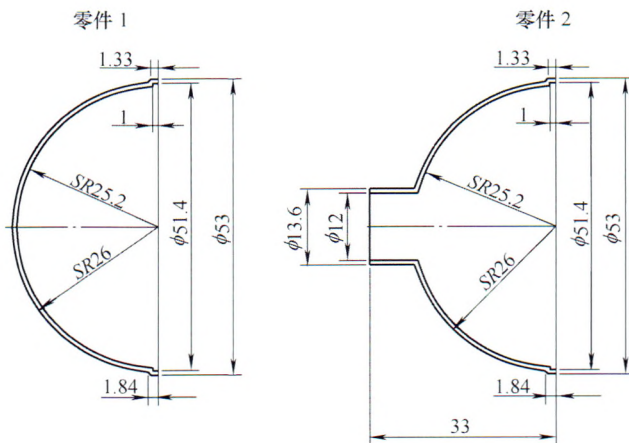


图1 钛合金球壳

$R_a=12.5 \mu\text{m}$ ）、外圆 $\phi 161\text{mm}$ 至要求，粗、精车内孔 $\phi (155 \pm 0.0315) \text{mm}$ 。②用三爪自定心卡盘装夹，轴向以端面2定位，宽软爪反夹内孔，夹持住即可，用车床尾座顶针顶顶盘，从而轴向顶紧工件，再反夹紧内孔。粗车外圆 $\phi 469_{-0.25}^{+0.1} \text{mm}$ 及其底端面，外圆留余量1.2mm、底端面留余量0.5mm。③装夹方式不变，松开三爪自定心卡盘，再轻夹内孔。

精车外圆 $\phi 469_{-0.25}^{+0.1} \text{mm}$ 及其底端面。

5. 结语

该工艺方法对加工设备精度要求不高，无特殊设备，对操作工的技能要求不高，一般的机械加工厂都能实现。但该工艺方法用的坯料是锻件，原材料成本比板料大得多，并且由此产生的切削量大，加工成本高，只适用于新产品的研发或小批量生产，可

缩短研制周期，并能减少前期投入，降低投资风险。

参考文献：

- [1] 王爱珍. 热加工工艺基础 [M]. 北京：北京航空航天大学出版社，2009.
- [2] 大连工学院《金属学及热处理》编写小组. 金属学及热处理 [M]. 北京：科学出版社，1975.

MW（收稿日期：20170612）

弹性好，切屑难以断落，属于加工难度较高的零件。

2. 夹持模具的设计

由于零件毛坯无夹持位置，首先要解决夹持问题。在不损坏零件的情况下，尽量增大夹持力，保证加工安全可靠。

根据图样所示零件形状，设计制作出了三种配套夹持模具：第一套（见图2）解决内孔圆球表面的加工问题，将不通孔球壳外表面圆球加工成形后，再装入夹持模具中，然后模具以螺纹联接固定并夹紧工件进行内圆球面加工。第二套（见图3）为通孔的球壳体加工夹持模具，先加工内圆球表面，再将加工好内孔的零件放入第二套夹持模具中固定夹紧后，进行外表面切削加工。第三套（见图4）是为了解决批量生产的问题，将毛坯件装入该夹具后，加工不通孔球壳，无需重新找正对刀；加工通孔球壳内表面同样是将毛坯件装入第二套夹具后加工，也不需重新找正对刀，极大地提高了加工效率，且保证了加工精度。

（1）夹具1的制作。夹具1材料为45圆钢，车到 $\phi 60\text{mm}$ ，一端加工成 $M60 \times 1.5\text{mm}$ 的细牙外螺纹，螺纹长度为 19.5mm ，螺纹前端留 3.5mm 光面，直径为 $\phi 58.4\text{mm}$ ，便于装夹时和夹具1-2配合夹紧不通孔球壳。

按图样不通孔球壳零件外形尺寸 $SR26\text{mm}$ 加工出夹具内圆（夹具1-1），表面粗糙度值 $R_a=3.2\mu\text{m}$ 。

夹具1-2为夹紧螺母，一端做成 $\phi 51.4\text{mm}$ 的孔，长度为 6mm ；另一端做成 $M60 \times 1.5\text{mm}$ 细牙内

螺纹，长度为 20mm ，退刀槽宽度为 2mm 。

（2）夹具2的制作。夹具2材料为45圆钢，车到 $\phi 51.4\text{mm}$ ，按图样通孔球壳零件内圆尺寸加工出夹具外圆，前端留 56mm 加工成 $\phi 12\text{mm}$ 的圆柱，顶端加工成 $M10$ 外螺纹，螺纹长度为 40mm （夹具2-1）。

车削外圆为 $\phi 13.6\text{mm}$ 、内孔为 $\phi 12\text{mm}$ 、长度为 23mm 的圆套（夹具2-2）。

（3）夹具3的制作。车削台阶开口套，以便于夹紧零件和批量加工时定位。

3. 工艺分析

装夹问题的解决使零件的所有加工内容都能在数控车床上进行。

异形零件在普通卧式车床上难以加工，在数控车床上容易实现，使用少数几种刀具即可完成其一系列工艺内容的加工，有利于程序的设计，有利于控制尺寸精度。

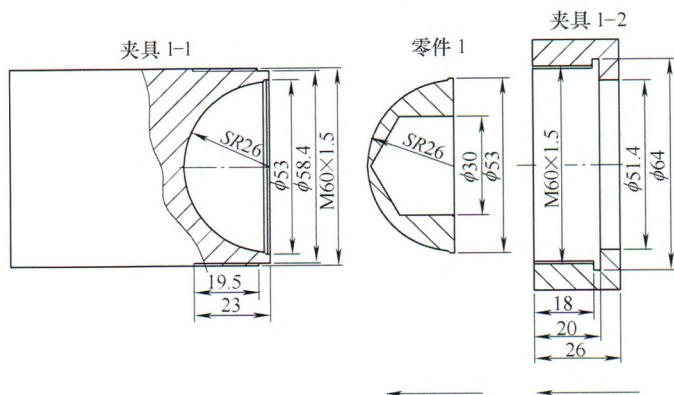


图2 夹具1

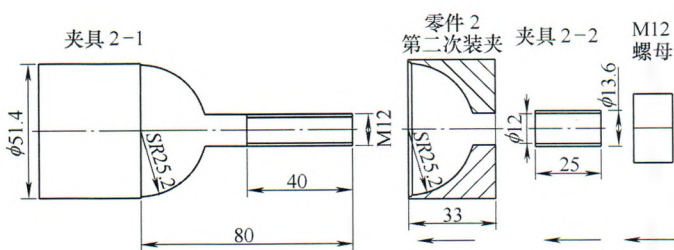


图3 夹具2

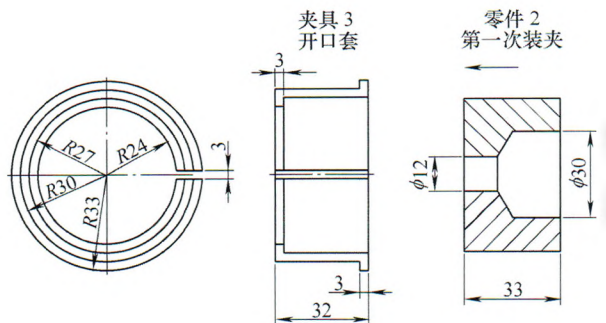


图4 夹具3

因为有专用夹具作为定位基准，所以定位问题已在设计夹具中考虑。

4. 加工方法的选择

根据零件内外表面尺寸精度及表面粗糙度要求各异的特点，分别对内外表面制定不同的加工方法。加工工件内表面时要求对刀精确，并使用刀具补偿，防止过切，造成壁厚不均匀；外表面的表面粗糙度要求较高，加工时需进行精加工，端面加工只需要去平端面即可。

5. 加工方案的确定

毛坯料是封闭半球壳与通孔球壳连在一起的坯料，先对封闭半球壳进行外表面加工，然后切断，如图5所示，再装夹在第一套夹具中进行内表面加工；而通孔半球壳的加工则是先加工内表面，再装夹在第二套夹具中进行外表面加工。

6. 对封闭球壳的加工顺序安排

毛坯装夹加工外表面：①将毛坯放入到夹具3中，并夹持在车床卡盘上，粗车SR26mm外球面。②粗车斜梯形凸台。③

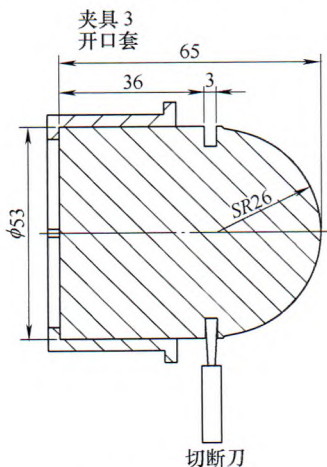


图5 加工不通孔球壳外表面

粗车φ53mm外圆表面。④精车SR26mm外球面。⑤精车斜梯形凸台。⑥精车φ53mm外圆表面。⑦切断（尽量到切断刀允许的深度）。⑧取下用锯床锯断。

7. 加工内表面

加工内表面：①将不通孔零件放入夹具1中精确钻孔。先钻φ12mm孔，钻孔深度为25mm，再扩孔，以减少切削量，提高加工效率。②将夹具1-1夹持到车床卡盘上，用百分表找正。③将不通孔零件放入夹具1-1中，用夹具2-1拧紧，如图2箭头所示。④为防止刀具干涉，粗车φ51.4mm内阶梯表面，粗车异形内孔到半球深18mm处。⑤用宏程序车半球顶部。⑥精车φ51.4mm内阶梯表面。⑦精车SR25.2mm内孔表面。

8. 加工通孔半球壳的工序安排

第一次装夹加工内孔表面（见图4）：①将零件2的毛坯放入到夹具3中，并夹持在车床卡盘上，钻φ12mm的通孔。②先用φ20mm钻头扩孔，再用φ30mm钻头扩孔，孔深为25mm。③车削端面，保证端面平滑，长度符合图样要求。④粗车φ51.4mm内阶梯表面。⑤粗车SR25.2mm内孔表面。⑥精车φ51.4mm内阶梯表面。⑦精车SR25.2mm内孔表面。

第二次装夹加工通孔球壳外表面（见图3）：①将夹具2-1夹持到车床卡盘上，用百分表找正。②将第一次装夹加工内孔表面通孔零件放入夹具2-1中，再套上夹具2-2，用螺母拧紧。③粗车φ13.6mm外圆表面。④粗车

SR26mm外表面。⑤粗车阶梯倒角。⑥粗车φ53mm外圆表面。⑦精车φ13.6mm外圆表面。⑧精车SR26mm外表面。⑨精车阶梯倒角。⑩精车φ53mm外圆表面。⑪去端面毛刺。

9. 刀具及机床选择

零件加工时使用专用夹具作为装夹器具，零件原点与机床坐标系的相互位置在加工第一个零件对刀时已确定下来，以程序设计原点作为工件原点，该零件属于短小零件，所以采用工件坐标系（100，100）处作为换刀点，节省加工时间。

（1）刀具走刀路线的确定。通孔半球壳加工外圆表面时采用G71纵向走刀，加工零件内表面时考虑内孔镗刀刀柄直径及回转半径，采用G72横向走刀方式；封闭半球壳加工外圆表面时采用G71纵向走刀，加工零件内表面时，采用G72横向走刀和宏程序相结合的方式，当车刀接近球顶时会和工件产生干涉，需要编制宏程序加工，避免刀具干涉，再用G03圆弧走刀，保证表面光滑无连接痕迹。

（2）刀具的选择。通过对零件图样尺寸精度、材料等综合分析，选用数控机夹刀进行切削，外表面使用90°外圆车刀，钻孔使用钨、钛、钽（铌）类合金钻头，内孔表面加工使用刀杆直径8mm、刀尖角为107.5°的内孔镗刀，安装时向主轴方向偏3°~5°，尽量避免刀具干涉，刀片均为M类系列中的硬质合金刀片。

（3）数控程序设计中的数学处理。编写程序时所涉及的节点通过CAD软件画图进行查找。宏

程序最后走刀值为宏程序起刀点X方向与零件直径相对差值（见图6）。

宏程序最后一刀X方向起刀点为 $\phi 35.27\text{mm}$ ，零件直径为 50.36mm ， $50.36\text{mm} - 35.27\text{mm} = 15.09\text{mm}$ ，由于精加工X方向留 0.3mm 、Z方向留 0.2mm 余量，所以宏程序自变量控制值为 -25mm （ $25.2\text{mm} - 0.2\text{mm}$ ），X方向相差值为 14.49mm （ $15.09\text{mm} - 0.6\text{mm}$ ）。

封闭半球壳第二次装夹加工程序为：

```
O0001
N01 T0      //程序执行时将所有刀
具补值取消
N02 G95M03S350 //
N03 T0303   //换3号刀并执行3
号刀具补偿
N04 M08     //切削液开
N05 G00X8.0
N06 G00Z0.5
N07 G72W0.3R0.2 //横向切削循环
指令
N08 G72P09Q13U0.3W0.2F0.1
N09 G01Z-18.0
N10 G01X35.27Z-18.0
N11 G03X50.36Z-1.0R25.2
N12 G01X51.4Z-1.0
```

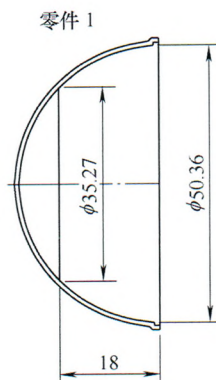


图6 节点查找

```
N13 G01X51.4Z1.0
N14 G00X14.0
N15 G00Z-16.0
N16 G65P0000A-18 //调用宏程序
并指定一号变量初值
N17 G00Z1.0
N18 G00X45.0
N19 G01X51.4
N20 G01Z-1.0
N21 G01X50.36
N22 G03X0Z-25.2R25.2
N23 G00Z100.0
N24 M09      //切削液关
N25 M30      //程序结束并回到
```

程序头

用户宏程序：

O0000

WHILE[#1 GE -25] DO1 //宏程

序开始

#2=#1

G00 X[-2*#2-14.49]

G03 X0 Z#2 R25 F0.1

G00 Z-18

#1=#1-0.3

END1

//宏程序结束

M99

10. 检验与调整

用改制千分尺测量，配合改制的高度游标卡尺测量壁厚，要求壁厚均匀。

用天平称零件的质量，质量在 $(19 \pm 1.5)\text{g}$ ，如果超重应放回到夹具中重新加工。

11. 结语

通过对零件的数控加工工艺研究，特别是难加工、无装夹位置零件的加工，设计出合理的夹具，利用数控机床宏程序功能，解决装夹和刀具干涉等加工问题，顺利在数控车床上实现此类

零件的加工。

参考文献：

- [1] HIRAM. GRANT. 夹具-非标准夹紧装置 [M]. 北京：机械工业出版社，1975.
- [2] 美国可切削性数据中心. 机械加工切削数据手册 [M]. 3版. 北京：机械工业出版社，1989.
- [3] 徐圣群. 简明机械加工工艺手册 [M]. 上海：上海科学技术出版社，1991.
- [4] 王东升. 金属工艺学 [M]. 杭州：浙江大学出版社，1997.
- [5] 熊光华. 数控机床 [M]. 北京：机械工业出版社，2009.

MW (收稿日期：20170627)

专家点评



本文介绍了薄壁钛合金球壳的加工方法，根据零件形状，设计制作了三种配套的夹持模具，顺利解决了球壳无装夹位置的难题。工艺思路也随着文章的叙述而越发清晰，尤其是内外球面的数控加工部分，写得非常到位，读者会有所启发，借鉴其中的经验。