

内外球面的磨削

■ 中车北京南口机械有限公司 (102202) 郑文虎 张明杰

摘要：球面和截球面的磨削加工，看似挺复杂，但只要根据球面成形原理，通过计算和选择相应的磨削工艺条件，即可磨好各种球面工件。

1. 大直径球面副的磨削方法

图1所示为SR460mm大直径球面副工件，外球面的材料为40Cr合金钢，淬火后的硬度为52~56HRC；内球面的材料为HT200灰铸铁。工件球面配合精度要求较高。

(1) 磨削条件的选择与工艺计算。磨床为立磨头并在垂直方向能扳转角度的导轨磨床或其他磨床，夹具为能装夹工件并能自动旋转的回转工作台（见图2）。选用砂轮特性为WAF36J6V、直径为150mm的碗形砂轮。外球面用样板检测球面的轮廓度；磨内球面时，用红丹粉和外球面工件配测接触面积的状况，要求达到75%以上。

计算砂轮主轴中心线与工件中心线的夹角 α ，

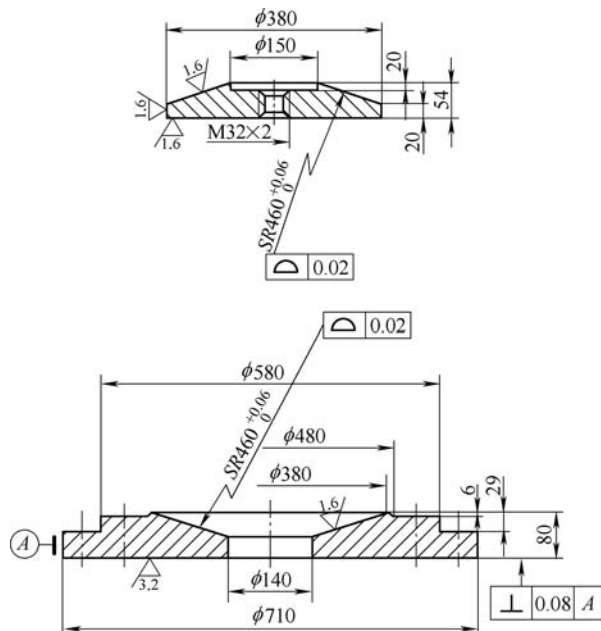


图1 大直径球面副工件

如图3所示。在 $\triangle AOB$ 中， $\sin(\alpha_1/2) = AB/(2R) = 150/920 = 0.163$ ， $\alpha_1/2 = 9^\circ 23'$ 。在 $\triangle BOC$ 中， $\sin(\alpha_2/2) = BC/(2R) = 140/920 = 0.152$ ， $\alpha_2/2 = 8^\circ 45'$ 。则 $\alpha = \alpha_1/2 + \alpha_2/2 = 9^\circ 23' + 8^\circ 45' = 18^\circ 8'$ 。

(2) 磨削球面。把外球面工件安装在回转工作台上，找正工件中心与回转工作台中心同轴。再把立磨头主轴中心线顺时针扳转 $18^\circ 8'$ 。然后把砂轮中心调整到工件中心右侧垂直平面内，并移动纵向工作台，使砂轮圆周端面与工件右侧球面接触，开始试磨。如果出现单向磨削弧状纹理，就说明砂轮和工件在垂直面内未对正中心，应调整砂轮架横向位置，使

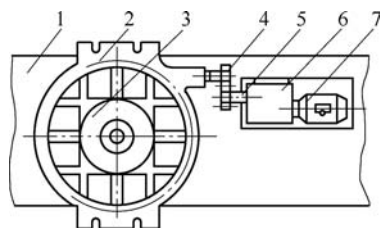


图2 回转工作台与工件的安装

1.工作台 2.回转工作台 3.工件 4、5.齿轮 6.减速箱 7.电动机

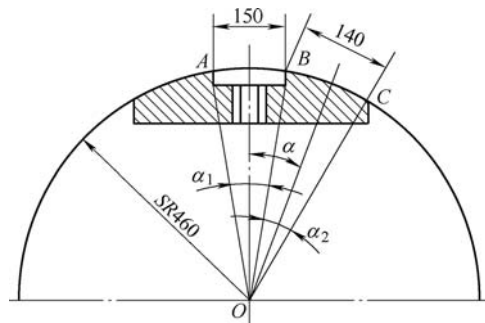


图3 计算 α 角示意图

之达到交叉网纹，这时砂轮横向位置就正确了。球面磨光后，用样板检测球面轮廓度，这时可能出现3种情况：①工件外圆处有间隙，说明球面半径 R 小了，这时应向左移动纵向工作台，予以消除。②工件内圆处有间隙，说明球面半径 R 大了，这时应向右移动纵向工作台，予以消除。③样板与球面全接触，说明外球面的轮廓度正确合格。这时只需垂直进刀把工件球面磨好。

磨内球面时，同样把工件安装在回转工作台上，只移动纵向工作台，使砂轮端面与工件左侧内球面接触，开始试磨，用外球面工件进行检测配磨，检查其接触面积。当发现有间隙的情况时，纵向工作台的调整方向与磨外球面相反。经过调整纵向工作台反复垂直吃刀配磨，直到用红丹粉涂色和用外球面工件检查，使接触面积达到70%以上为止。

如果工件是多件，在第一件磨好后，只做垂直退刀，卸下工件，安装第二件，再做垂直吃刀即可，磨床纵、横向工作台不必再调整。

2. 球面轴承的磨削方法

图4所示为球面轴承，材料为40Cr，淬火后的硬度为58HRC，磨好端面和内孔后，需要磨削外球面。磨削外球面时，选用特性为WAF60K6V的杯形或碗形砂轮，砂轮工作内径 $D_K \geq 50\text{mm}$ 。为了便于装夹工件，做一个以工件内孔和端面定位的心轴，心轴的一端为莫氏锥柄，以便于插在万能外圆磨床头架主轴锥孔内。

磨球面时，把工件装在心轴上，并插装在磨床头架主轴锥孔内，然后把头架逆时针扳转 90° 。把杯形或碗形砂轮装在内圆磨具砂轮轴上，并对砂轮端面和内孔进行修整，使其径向和端跳动减小。移动磨床砂轮架，使其砂轮旋转中心（横向）对正工件球面中心，纵向移动纵向工作台，对球面进行试磨。观察球面磨削纹理，最好出现网状交叉纹理，这就说明

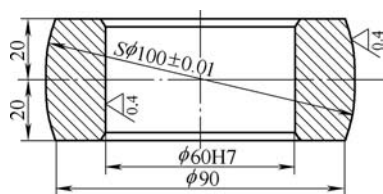


图4 球面轴承

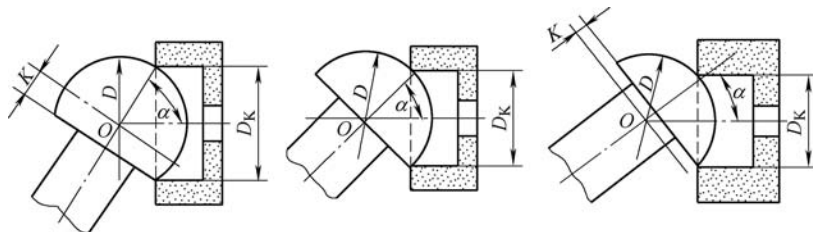


图5 磨削外球面

砂轮旋转中心与球面中心在横向对正了。否则就得调整（微调）砂轮架横向位置予以消除单向弧形纹。砂轮横向对正中心后，就可正式用移动纵向工作台进行吃刀磨削球面了。在磨削过程中，用外径千分尺测量球径尺寸，如有余量，继续用移动纵向工作台吃刀，直到使球面直径达到要求为止。

3. 外球面的磨削方法

外球面的磨削方法，一是用成形砂轮磨削，此方法操作简便、生产效率高，但修整成形砂轮麻烦，由于砂轮磨损，工件质量难以保证。二是用杯形砂轮在万能外圆磨床或内圆磨床进行磨削，它是利用砂轮和工件轴线斜交并回转来磨削的，这种方法不需要特殊设备和砂轮成形修整工具，即使砂轮磨损了，对球面也没有什么影响。

采用后一种方法磨削时，需要计算杯形砂轮内径 D_K 和磨床头架扳转的角度 α ，如图5所示。

(1) 计算杯形砂轮内径 D_K 。计算公式为

$$D_K = \left[(D/2 \pm K) D \right]^{0.5}$$

式中， D_K 为杯形砂轮内径（mm）； D 为球面直径； K 为大于或小于半圆的数值，当工件球面大于半圆时 K 为正值，小于半圆时 K 为负值，等于半圆时 K 为0。

(2) 由 $\sin \alpha = D_K/D$ ，计算头架扳转的角度 α 。

需要注意的是：调整机床时，必须使砂轮旋转中心线与球面中心相交于 O 点，这时在球面上的磨削纹理为交叉网纹，否则就会出现单向弧状纹。即中心线未相交于球面中心 O 点，应调整砂轮架的横向位置。采用纵向工作台移动吃刀，千万不要横向吃刀。这种磨削方法对砂轮内径尺寸 D_K 要求不严格。

4. 内球面的磨削方法

内球面的磨削方法与外球面的磨削方法和相关计算公式相同，机床调整方法也一样，就是磨床头架扳转的方向相反。磨削时采用的砂轮形状为平行砂轮，如图6所示。

斜齿轮齿槽与键槽加工和位置度检测

■ 浙江双环传动机械股份有限公司（玉环 317600） 张世新

摘要：介绍一种斜齿轮齿槽与内孔键槽加工和位置度检测方法。加工键槽时，根据齿槽定位点到端面的距离计算出对应的斜齿旋转角度，同时按照齿槽与键槽对应的角度关系来设计专用检具，准确检测出产品的实际位置度数值。

键槽与齿槽有位置度要求的齿轮，就加工和检测而言，直齿轮要容易一些，但对于斜齿轮来说就比较困难了。

1. 技术要求

我公司目前有如图1所示斜齿轮， $m=2.65$ ， $z=30$ ， $\alpha=20^\circ$ ， $\beta_t=16^\circ$ ，齿廓倒棱 $C(0.6\pm0.2)$ mm；齿宽 $L=(32\pm0.25)$ mm。此产品的键槽和端面齿槽位置度要求0.15mm。

2. 工艺方案

加工工艺方案为：精车→滚齿→齿廓倒棱→剃齿→拉键槽→热处理。

采用这样的工艺方案能确保键槽与齿槽位置的准确性和工艺的可操作性。剃齿后用齿槽定位加工键槽，而加工键槽必须要用齿槽定位，但定位齿槽不能在端面上，且端面有齿廓倒棱要求，所以只能在齿宽的中间区域或者是距离端面一个距离定位加工键

槽，而图样要求是斜齿的齿端面对键槽的位置度，所以必须根据定位点到端面的距离计算斜齿对应的旋转角度。

3. 计算方法

实际加工中是距齿端面16mm（齿宽中部）处位置点以齿槽位置定位加工键槽，设齿轮对应的转角为 x 。

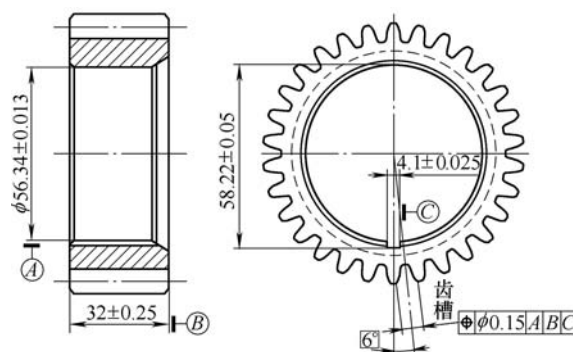


图 1

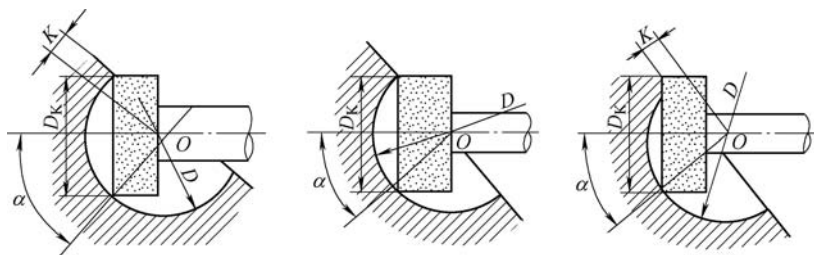


图6 磨削内球面

5. 结语

根据球面成形原理，除在各种磨床上增加附加工装磨削外，还可以在卧、立式车床、铣床上进行磨

削直径不同规格的球面，这是被实践证明可行的。

参考文献：

- [1] 上海市金属切削技术协会. 金属切削手册[M]. 2版. 上海：上海科学技术出版社，1984.
- [2] 郑文虎. 机械加工技术经验[M]. 北京：国防工业出版社，2015.

MW（收稿日期：20170823）