

浅析球面加工方法及注意事项

林广森
(邯郸市永年区海翔机械厂 河北 邯郸 057150)

摘要: 随着加工产品种类的增多,球面的加工也逐渐增多,本文简述了内球面、外球面的粗加工与精加工的对应加工方式。通过对普通车床手动加工、数控车床编程加工、万能外圆磨床磨削加工以及制作对应组别的研磨球研磨加工等不同的加工方式进行简单的介绍,阐述对于要求不同的球面,采取不同的加工方式,不仅加工效率高,而且加工后的产品也符合图纸对产品的尺寸精度、圆度和表面粗糙度的要求。

关键词: 球面加工;车加工;磨加工;研磨加工

0 引言

在日常生产加工过程中,经常遇到球面的加工。而球面的加工又可分为粗加工和精加工。对于没有太高精度的球面,如转接球面或者为了美观而设计的球面则只需要粗加工即可完成,而对于有精度尺寸要求的球面,则需要精加工来完成。本文主要讨论球面粗、精加工的不同方法。

1 球面车加工

1.1 普通车床加工

相对于数控车床加工,普通车床加工对人员要求相对较低,在同等情况下采用普通车床加工能极大的提高生产效率,降低生产成本,提高经济效益。

对于加工精度不高的球面,可以采用普通车床来加工。利用成型车刀来加工球面,但这种方法对刀具需求较高。而采用普通的球形车刀加工,则需要工人通过手动操作进刀量和走刀量,手工车出球面形状。但此方法对于操作人员要求较高,加工精度完全靠手感觉,加工速度慢,效率低,精度不高。在某些特殊情况下,工件数量较少,且人员操作能力较高时可采用。

用普通车床还有一种利用模具的方法。即通过一个曲面模型,与刀盘轴向走刀轴后端的轴承接触,限制刀盘的走刀路径,加工出球面。

1.2 数控车床加工

对于有精度要求的球面加工,则可以采用数控机床,不管是数控车床还是数控铣床都可以达到要求。本文主要讲述数控车床的加工方法。

在加工时,为保证球面的加工圆度,必须保证刀具运行轨迹和球面轮廓为同心圆。而所用的编程方法有手工编程和软件编程两种。

编程时,要知道刀具刀头半径的大小,以刀头圆心作为编程基准,刀具运行过程中,刀具轨迹任意一点的半径大小都是相等的。

手工编程时,刀具轨迹要在 X、Z 方向偏移一个直径值和一个 r 值(在图形坐标上就是 X 轴加一个刀具直径, Z 轴加一个半径)。

自动编程时,要先设置好参数,保证刀具所生成的轨

迹和实际使用刀具相对应。在对刀时,为了不发生过切或欠切现象,必须选择刀尖圆心。

图 1 和图 2 所示为加工内球面产品的产品图及轨迹图,采用的编程方式为软件编程。

以下为数控程序:

```
M03S600
G0 X-15.000 Z1.0
Z5.225
G01G42 X-15.0 F0.05
G02 X-15.000 Z-7.975 R7.625
G0G40 X-14.0
Z-4.360
G01G42 X-15.0
G02 X-15.000 Z-8.832 R7.825
G0G40 X-14.0
Z-3.745
G01G42 X-15.0
```

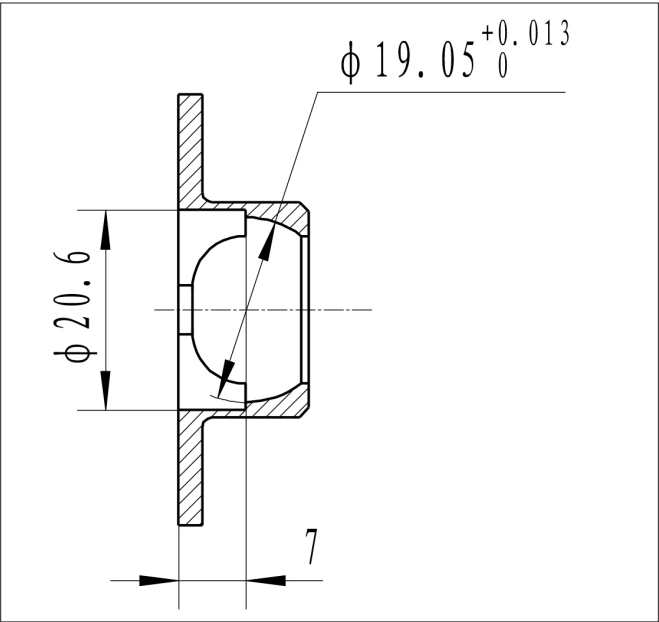


图 1 产品图

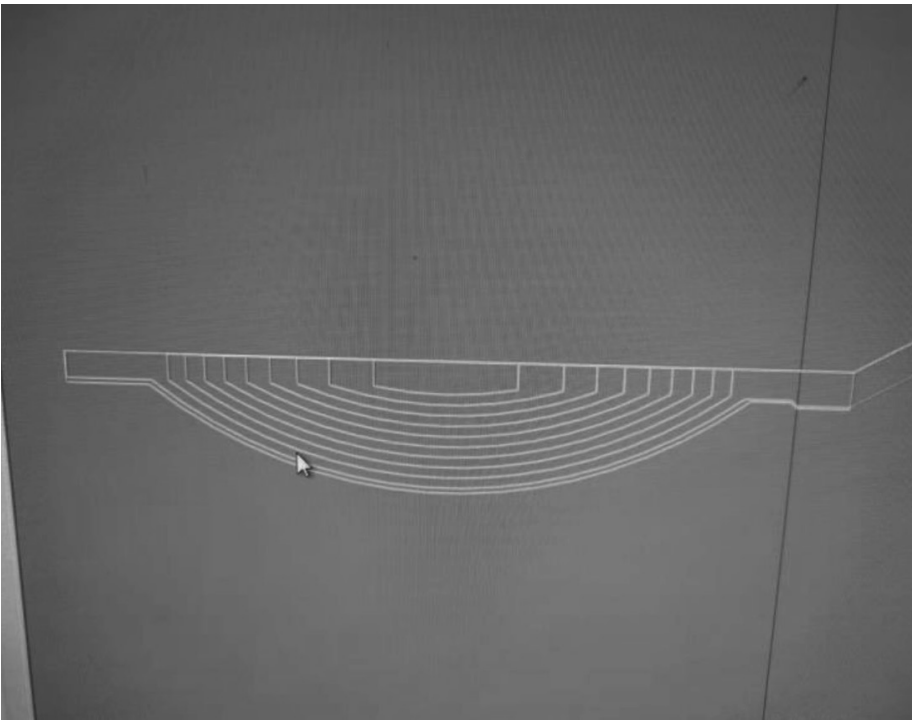


图 2 轨迹图

```
G02 X-15.000 Z-9.455 R8.025
G0G40 X-14.0
Z-3.224
G01G42 X-15.0
G02 X-15.000 Z-9.976 R8.225
G0G40 X-14.0
Z-2.762
G01G42 X-15.0
G02 X-15.000 Z-10.438 R8.425
G0G40 X-14.0
Z-2.341
G01G42 X-15.0
G02 X-15.000 Z-10.859 R8.625
G0G40 X-14.0
Z-1.949
G01G42 X-15.0
G02 X-15.000 Z-11.251 R8.825
G0G40 X-14.0
Z-1.580
G01G42 X-15.0
G02 X-15.000 Z-11.620 R9.025
G0G40 X-14.0
Z-1.229
G01G42 X-15.0
G02 X-15.000 Z-11.971 R9.225
G0G40 X-14.0
Z-1.0
X150.0 Z150.0
```

M30
2 球面磨加工

对于需要精加工的球面，即球面表面粗糙度、球面直径尺寸及截面圆度有使用要求或较小的公差。这样的球面则需要通过磨削来保证。下面简单介绍几种球面磨削的方法。

2.1 成型砂轮磨削

成型法磨削即把砂轮修整成与所磨球面截面相同的成型砂轮，通过靠磨方式加工，但加工效率低，零件容易产生烧伤，用砂轮修整器修整砂轮时，其准确率低，不易保证加工球面尺寸精度，但是此种方法应用比较广。

下面为此方法的一种实际应用的简介。此方法加工时需将砂轮修正到图纸要求的直径尺寸，如图 3 所示。

用此方法加工时，首先砂轮修整器对砂轮进行修整：将砂轮修整器的底座固定在磨床工作台的适当位置，将

金刚石笔固定在砂轮修整器的摇臂部分，金刚石笔尖到摇臂的旋转中心的距离即修整后砂轮圆弧的半径，调整其等于图纸要求的球面半径尺寸，然后修整砂轮，直至将砂轮圆弧修整到图示所示大小（圆弧截面略大于所磨削的球面），卸下砂轮修整器，利用心轴将球体穿起，用顶尖将心轴固定，对球面进行磨削，直至符合图纸要求。

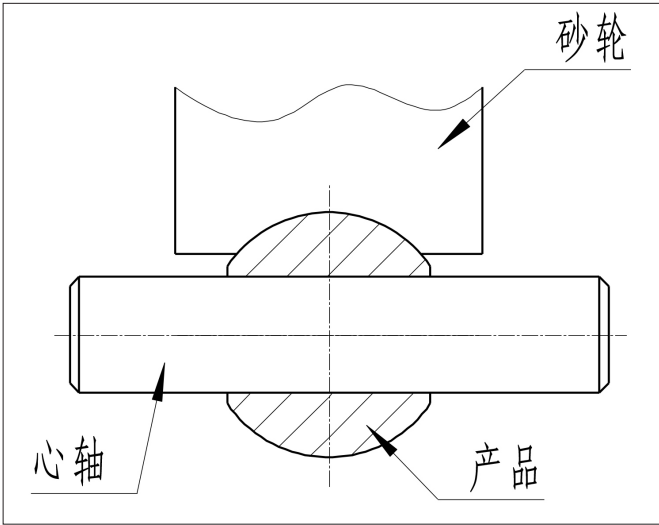


图 3 成型砂轮加工示意图

2.2 展成法磨削

这种磨削方法加工时，对于不同规格的球面不需要更换或者加工特制的砂轮。下面主要介绍此法在万能外圆磨床上的一种应用。

2.2.1 外球面磨削

2.2.1.1 外球面磨削的原理

如图 4 所示，磨削时，将砂轮与工件的轴线调整成相交 α 角，工件与砂轮都在绕其轴线做旋转运动。加工中，当工件转动时，它上面任意一点的运动轨迹都是以轴线为圆心的完整圆周。这些圆周均会通过砂轮内孔，由于砂轮内圆的运动轨迹是绕轴线作高速旋转，所以砂轮会对整个球面产生磨削。因此，磨削时，随着磨床砂轮向工件作进给运动，就能磨出符合图纸要求的球面。

2.2.1.2 砂轮的选择

在磨削时，通常采用杯形砂轮（B 型）或单面凹砂轮。砂轮内孔直径的尺寸与工件球面的直径尺寸有关。根据上述原理分析，砂轮的直径 D_n 应等于弦长 BC（如图 4 所示），即砂轮内孔与球面接触所形成的截面直径。所以在实际磨削时，要根据工件的球面直径尺寸计算砂轮的直径。计算公式如下：

如图 4 所示，工件的球面大于半圆，在直角三角形 OAB 中：

$$AB^2=OA^2-OB^2$$

$$l^2=(\frac{d}{2})^2-\Delta^2$$

在直角三角形 ABC 中：

$$AC^2=AB^2+BC^2$$

$$D_n^2=l^2+(\Delta+\frac{d}{2})^2$$

$$D_n=\sqrt{l^2+\Delta^2+\Delta d+(\frac{d}{2})^2}$$

$$=\sqrt{(\frac{d}{2})^2-\Delta^2+\Delta^2+\Delta d+(\frac{d}{2})^2}$$

$$=\sqrt{d(\Delta+\frac{d}{2})}$$

式中的 Δ 值，根据工件球面确定，大于半圆时为正值，小于半圆时为负值，等于半圆时为零。

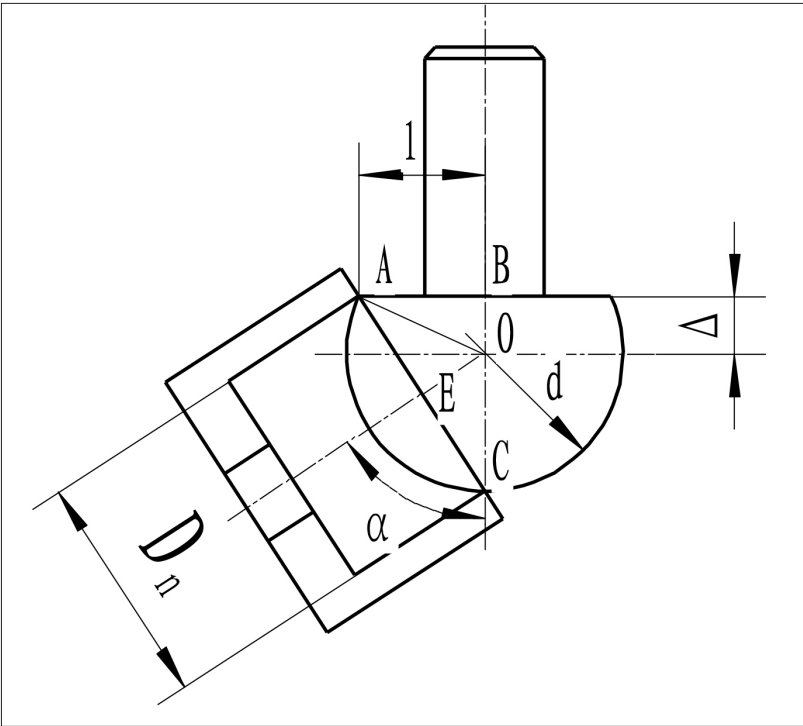


图 4 砂轮与工件的安装示意图

结果得出后，根据结果，用金刚石笔修整砂轮的内孔表面。在实际修整砂轮时，并不需要完全符合理论计算结果，磨削砂轮内孔直径的选择可以比计算结果稍小一些，如果现场没有符合要求的砂轮规格，也可选取与计算结果近似的砂轮规格，用金刚石笔对其修整到符合要求即可。

2.2.1.3 机床的调整及磨削注意事项

根据磨削原理，通过公式 $\sin \alpha = D_n/d$ 求出砂轮与工件轴线夹角。

根据结果调整机床，如只调整砂轮或工件的角度，那需要调整的角度会比较大。这样调整就有可能导致砂轮距离工件太远，砂轮架无法完全退出，从而导致无法正常

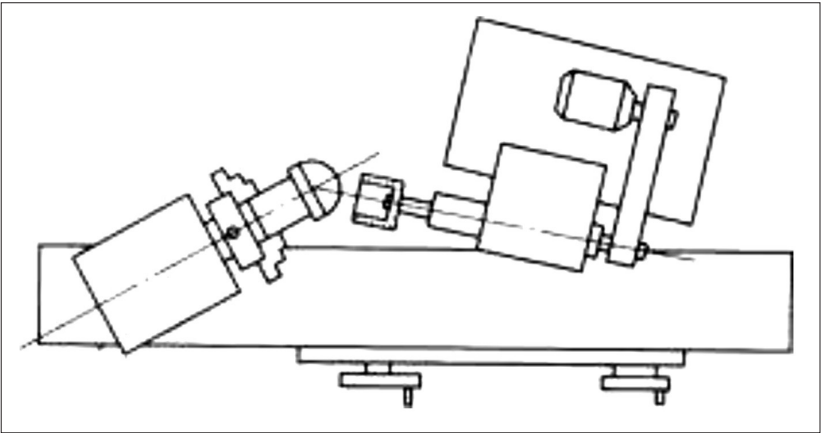


图 5 机床调整示意图

进行磨削。因此，在实际调整机床时，通常会同时调整转动砂轮架和头架，以这种方式来确保砂轮与工件的轴线夹角，并且可以正常进行磨削（如图 5 所示）。

磨削时用卡盘夹紧回转中心与球面同轴的外圆（如图 5 中工件的圆柱柄部分），用杠杆百分表找正外外圆与外球面的径向圆跳动均不大于 0.02mm。找正后，用金刚石笔修整砂轮内孔，使孔径尺寸与计算得出的 D_n 值基本相同即可。砂轮修整完成后，转动砂轮架和头架，以保证砂轮轴线与工件回转轴线所形成的夹角等于计算出的角度 α ，如图 5 所示。之后，调整砂轮架和工作台纵向和横向移动，使砂轮与工件靠近，然后启动砂轮进行对刀，通过不断的微量调整纵向和横向进给，使砂轮内孔能够均匀的磨削到工件的外球。磨削见光后，检查球面的磨削痕迹，如果磨削痕迹呈凸状花纹或者凹状花纹，说明砂轮没有完全磨削，其只是上半周或下半周参与了磨削，导致这种情况的原因就是砂轮的回转中心高于或低于工件的回转中心。通过调整机床使砂轮与工件的回转中心，使其等高，然后试加工，直至加工后的球面呈现出交叉状的磨削纹路，但调整时砂轮工件的轴线不可能完全等高，这样就会在加工后的工件上留下一个很小的台阶，因此通常需要在球面顶端用中心钻加工一个 1mm 的

中心孔来避免。调整完高低后，检查球面的外轮廓误差（即球面的圆度误差），用着色法检查，如果是球心部分被着色，说明角度 α 偏小；如果是远离球心部分被着色，说明角度 α 偏大。通过不断调整工作台与砂轮架的角度，直至球面被完全着色或着色面积符合图纸要求，然后将球面直径磨削到符合图纸要求尺寸。磨削时，砂轮会出现磨钝现象，其修整时，不必修正内孔，只需要去修正砂轮的外端面即可。

2.2.2 内球面磨削

内球面磨削通常使用平形砂轮（P 型）。其砂轮直径的选择与计算方法、机床的调整及之后的加工方式均与外球面磨削基本一致。

内球面磨削，砂轮磨钝后同样是只需修整砂轮端面。磨削时，由于砂轮与工件接触面积大，容易产生大量热量，切削液必须保持充分。而且砂轮的横向进给量不宜太大，否则工件容

易产生梗刀的情况，使磨削精度和表面粗糙度受到影响。当然对于球面的磨削方法依然还有很多，采用不同的设备，即使用的是相同的方法，其加工过程也存在差异，这里就不一一列举说明了。

3 球面研磨加工

相较于上面两种方法，球面研磨加工，能得到更高的尺寸精度及表面粗糙度。而对于外球面研磨，相对来说比较简单，只需做符合图纸要求的研磨套即可进行。本文主要介绍一种内孔的研磨加工方式。所加工的内孔就是图 1 所示产品，车加工后直接进行研磨加工，以保证加工后的球面符合图纸要求。

图 6 为本文用到的研磨球的基本结构及相应尺寸，其外圆根据实际需求情况来确定，即根据粗加工的球面实际内径尺寸和图纸要求的球面内径尺寸之间的差值来确定加工几组，选取的是每隔 0.02mm 做一个组别。

加工时，在研磨球表面涂少量煤油和研磨膏放入所需加工的内孔中，旋转 90°，将带有 M8mm 螺纹头部的手柄（二类工具）装入研磨球拧紧，沿径向旋转同时做大约 60° 旋转，研磨一段时间后，将手柄取下，研磨球旋转 90°，将带有 M6mm 螺纹头部的手柄（二类工具）装入研磨球拧紧，同样沿径向旋转同时做大约 60° 旋转。研磨

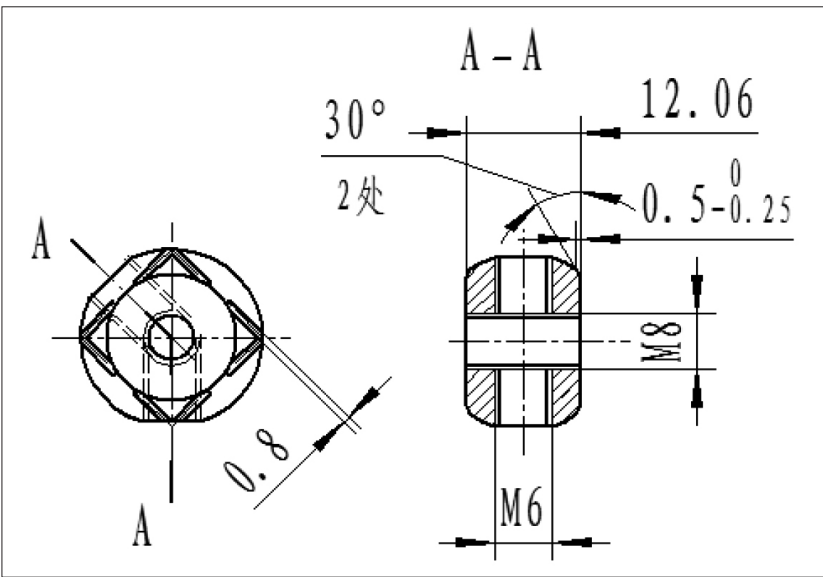


图 6 研磨球

时要及时清理内孔中的残渣，而且两次研磨时间尽量相同，感觉到研磨球与工件产生间隙松动，就要及时更换尺寸大一组别的研磨球。如此反复研磨，当研磨球尺寸刚进入工件内球面图纸要求的公差时，此时研磨出来的工件内球面尺寸也将会进入公差，取出研磨球，将工件内孔表面冲洗干净，即可得到符合要求的产品。

4 结语

这些加工方法只是对球面加工的一些简单介绍，在实际加工中，对于球面的粗、精加工还有很多，而且随着球面产品的增多，其加工方法更是层出不穷。

参考文献：

[1] 孟少农. 机械加工工艺手册 (第二卷) [M]. 北京: 机械工业出版社, 1996.
[2] 《数控加工机师手册》编委会. 数控加工机师手册 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2005.
[3] 牟仲德. 一种实用简便的球面磨削方法 [J]. 工具技术, 2005(12): 79.
[4] 许祖德. 金属切削刀具与磨具标准应用手册 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1995.

作者简介: 林广森 (1990.02-), 男, 汉族, 河北沧州人, 本科, 研究方向: 机械加工。