

数控加工技术 项目教程

周晓刚 编著



健雄职业技术学院
机电工程系数控技术教研室
2008年6月

目 录

| | |
|---------------------------------|-----|
| 第一篇 数控车削编程 | 2 |
| 项目一：光轴的编程加工 | 2 |
| 项目二：球头轴的编程加工 | 9 |
| 项目三：衬套的编程加工 | 18 |
| 项目四：密封套的编程加工 | 25 |
| 项目五：车床尾座手柄的编程加工 | 32 |
| 项目六：螺杆的编程加工 | 33 |
| 项目七：联结套的编程加工 | 46 |
| 项目八：阀心球体的编程加工 | 54 |
| 项目九：绕丝筒凹模的编程加工 | 62 |
| 第二篇 加工中心（数控铣）编程 | 69 |
| 项目一：台阶面的编程加工 | 69 |
| 项目二：六角的编程加工 | 77 |
| 项目三：键槽的编程加工 | 84 |
| 项目四：凹模板的编程加工 | 92 |
| 项目五：凸模板的编程加工 | 99 |
| 项目六：凸台件的编程加工 | 106 |
| 项目七：钻模板的编程加工 | 118 |
| 项目八：卡具的编程加工 | 132 |
| 附录 1 数控概述 | 145 |
| 附录 2 FANUC Oi 系统 G 代码一览表 | 155 |
| 附录 3 常用加工中心（数控铣）刀具规格 | 160 |
| 参考文献 | 166 |

第一篇 数控车削编程

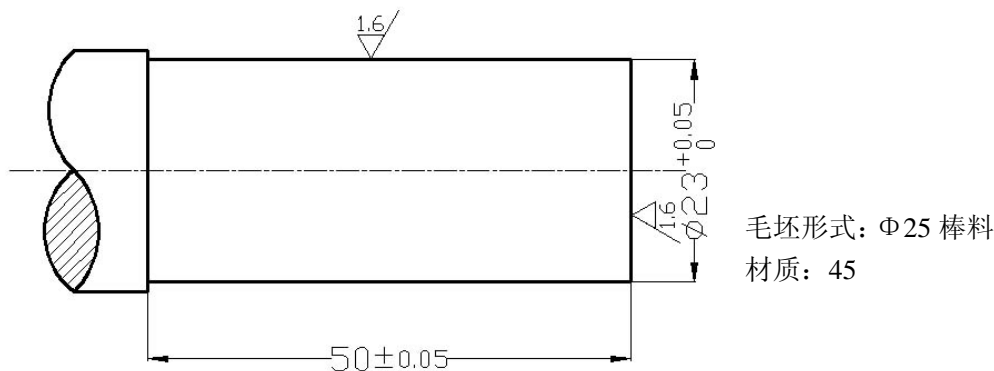
项目一：光轴的编程加工

项目名称：光轴的编程加工

学习目标：

- 1.了解车削加工的原理；
- 2.掌握外圆车削所用刀具、及装夹方式；
- 3.能进行图纸分析，了解加工要求，编制简单的工艺；
- 4.掌握数控编程的坐标系
- 5.掌握基本的 G、M 代码，掌握单个外圆程序的编写；

项目任务：完成光轴的程序编制



零件加工工艺设计：

1.零件图工艺分析

- (1) 零件加工内容分析：材料毛坯为 45 #，该零件形状比较简单，主要加工面为右端面及 $\Phi 23$ 圆柱表面；
- (2) 尺寸精度分析：尺寸精度不高，外圆尺寸公差为 0.05mm，长度尺寸公差为 0.1mm；
- (3) 表面粗糙度分析：表面粗糙度要求比较高，为 $Ra 1.6$ ；
- (4) 形位公差分析：形位公差无特殊要求。

通过上述分析，建议采用以下工艺措施：

- 1) 外圆尺寸只有一个，采用基本尺寸编程即可。
- 2) 表面粗糙度要求较高，可采取粗精加工分开的方式，精加工时通过调整切削用量三要素来保证表面加工质量。

2.确定装夹方案

采用三爪自定心卡盘装夹。

3.选择刀具

- (1) 端面及粗加工选择硬质合金 90° 粗加工外圆车刀
- (2) 精加工选择硬质合金 90° 精加工外圆车刀

4.选择切削用量

- (1) 背吃刀量：粗加工时， $a_p=0.75$ mm；精加工时， $a_p=0.25$ mm
- (2) 主轴转速：粗加工时，选取 $V_c=70$ mm/min，精加工时，选取 $V_c=100$ mm/min，根据加工时零件直径，选取主轴转速：粗加工 $n=800$ r/min；精加工 $n=1300$ r/min

5.确定加工工艺路线

- (1) 夹住 $\Phi 25$ 外圆表面，外伸 55mm 左右
- (2) 车削端面，保证表面质量
- (3) 粗加工 $\Phi 23$ 外圆表面，留 0.5mm 精车余量
- (4) 精加工 $\Phi 23$ 外圆表面，保证尺寸和表面质量

6.工件坐标系的设定

工件坐标系原点设置在工件右端面与工件轴线的交点处。

7.参考程序:

```

O0001
G21G40G99;
M03 S1300 T0101;
G0 X28. Z3.;
G0 Z0;
G1 X-0.5 F0.1;
G1 Z3. F0.5;
G0 X28.;
M03 S800;
G1 X23.5 F0.3;
G1 Z-50.F0.2;
G0 X28.;
G0 X100 Z100;
M01;
M03 S1300;
M06T0202;
G0 X28. Z3.;
G1 X23 F0.3;
G1 Z-50 F0.08;
G1 X28;
G0 X100. Z100;
M05;
M30;
    
```

工艺知识:

1.车削加工基本知识

(1) 切削运动（如图 1.1.1）

切削过程中刀具相对于工件的运动。

1) 主运动

由机床或人力提供的刀具和工件之间的主要相对运动。主运动是速度最高，消耗功率最多的运动。车削的主运动：工件的旋转运动

2) 进给运动

刀具和工件之间附加的相对运动。车削的进给运动：刀具相对工件的纵、横或斜向运动

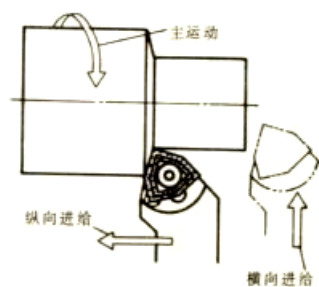


图 1.1.1

(2) 加工中工件的表面 (如图 1.1.2)

- 1) 待加工表面
- 2) 已加工表面
- 3) 过渡表面

(3) 切削用量 (三要素)

- 1) 切削深度 (a_p)

主切削刀的工作长度在包含主运动和进给运动方向的平面的垂线上的投影长度。

例：车外圆时 $a_p = (d_w - d_m) / 2$

- 2) 进给量 (f)

工件 (或刀具) 每转一转时, 刀具 (或工件) 沿进给方向的位移量。

单位: mm/min

- 3) 切削速度 (V_c)

切削刃上某点相对于工件主运动的瞬时速度。

$$V_c = \pi d n / 1000$$

v : 线速度 (m/min)

d : 切削点的直径 (mm)

n : 主轴转速 (r/min)

在工厂的实际生产过程中, 切削用量的值一般根据经验并通过查表的方式进行选取, 切削用量的确定在许多情况下是经验的积累。常用硬质合金或涂层硬质合金切削不同材料时的切削用量推荐表 (表 1.1.1) 如下:

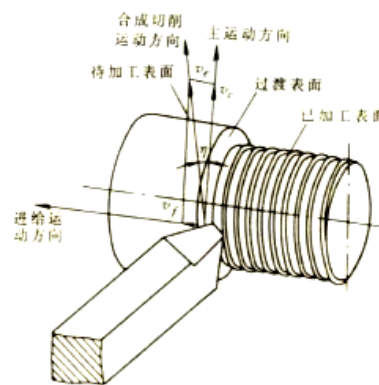


图 1.1.2

| 刀具材料 | 工件材料 | 粗加工 | | | 精加工 | | |
|-------------|------|----------------|--------------|-----------|----------------|--------------|-----------|
| | | 切削速度 / (m/min) | 进给量 / (mm/r) | 背吃刀量 / mm | 切削速度 / (m/min) | 进给量 / (mm/r) | 背吃刀量 / mm |
| 硬质合金或涂层硬质合金 | 碳钢 | 220 | 0.2 | 3 | 260 | 0.1 | 0.4 |
| | 低合金钢 | 180 | 0.2 | 3 | 220 | 0.1 | 0.4 |
| | 高合金钢 | 120 | 0.2 | 3 | 160 | 0.1 | 0.4 |
| | 铸铁 | 80 | 0.2 | 3 | 140 | 0.1 | 0.4 |
| | 不锈钢 | 80 | 0.2 | 2 | 120 | 0.1 | 0.4 |
| | 钛合金 | 40 | 0.2 | 1.5 | 60 | 0.1 | 0.4 |
| | 灰铸铁 | 120 | 0.3 | 2 | 150 | 0.15 | 0.5 |
| | 球墨铸铁 | 100 | 0.3 | 2 | 120 | 0.15 | 0.5 |
| 铝合金 | 1600 | 0.2 | 1.5 | 1600 | 0.1 | 0.5 | |

表 1.1.1

2. 外圆车刀

外圆车刀的主要样式如图 1.1.3

外圆车刀的主要角度如图 1.1.4

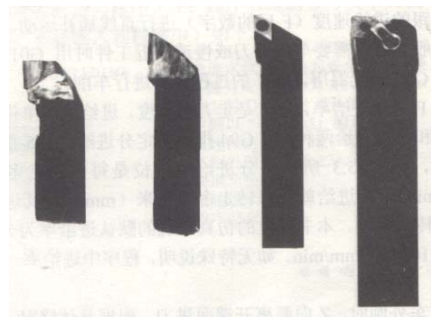


图 1.1.3

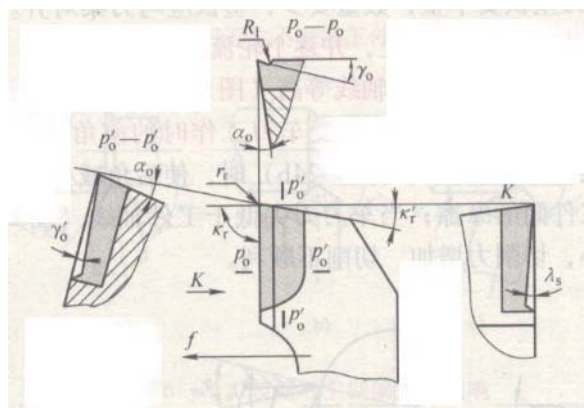


图 1.1.4

| 刀具 | 角度 | 前角 (γ_0) | 后角 (α_0) | 副后角 (α'_0) | 主偏角 (κ_r) | 副偏角 (κ'_r) | 刃倾角 (λ_s) | 刀尖半径 (γ_e) /mm |
|--------|----|--------------------------|-------------------------|------------------------|--------------------------|----------------------------|--------------------------|----------------------------|
| 外圆粗车刀 | | $0^\circ \sim 10^\circ$ | $6^\circ \sim 8^\circ$ | $1^\circ \sim 3^\circ$ | 75°左右 | $6^\circ \sim 8^\circ$ | $0^\circ \sim 3^\circ$ | 0.5 ~ 1 |
| 外圆精车刀 | | $15^\circ \sim 30^\circ$ | $6^\circ \sim 8^\circ$ | $1^\circ \sim 3^\circ$ | $90^\circ \sim 93^\circ$ | $2^\circ \sim 6^\circ$ | $3^\circ \sim 8^\circ$ | 0.1 ~ 0.3 |
| 外切槽刀 | | $15^\circ \sim 20^\circ$ | $6^\circ \sim 8^\circ$ | $1^\circ \sim 3^\circ$ | 90° | $1^\circ \sim 1^\circ 30'$ | 0° | 0.1 ~ 0.3 |
| 三角螺纹车刀 | | 0° | $4^\circ \sim 6^\circ$ | $2^\circ \sim 3^\circ$ | — | — | 0° | 0.12P |
| 通孔车刀 | | $15^\circ \sim 20^\circ$ | $8^\circ \sim 10^\circ$ | 磨出双重 后角 | $60^\circ \sim 75^\circ$ | $15^\circ \sim 30^\circ$ | $-6^\circ \sim -8^\circ$ | 1 ~ 2 |
| 不通孔车刀 | | $15^\circ \sim 20^\circ$ | $8^\circ \sim 10^\circ$ | | $90^\circ \sim 93^\circ$ | $6^\circ \sim 8^\circ$ | $0^\circ \sim 2^\circ$ | 0.5 ~ 1 |

表 1.1.2

粗加工车刀：粗加工的主要目的在于尽快地去除余量，因此切削深度与进给量一般都较大，为保证切削刃的强度，一般刀具选取较小的前角和后角。（见表 1.1.2）

精加工车刀：精加工的主要目的在于保证加工质量，因此要求刀具比较锋利，一般刀具选取较大的前角和后角。（见表 1.1.2）

3. 装夹方式

三爪卡盘装夹（如图 1.1.5）

（1）优点：具有自动定心功能，装夹工件后一般不需找正，适用夹持表面光滑的圆柱形、六角形截面的工件。

（2）缺点：

- 1) 夹紧力小；
- 2) 不适合复杂零件装夹；

3) 受到卡盘制造精度及使用过程中安装及磨损的影响和铁屑末的原因，定心精度不高，约为 0.05~0.15mm。

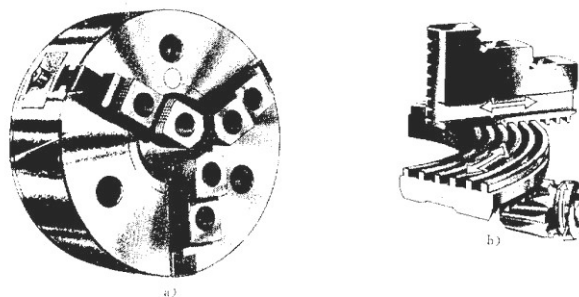


图 1.1.5

4. 数控编程坐标系

（1）数控机床坐标系的确定方法

1) 不论机床的具体结构是工件静止，刀具运动还是刀具静止，坐标轴的方向一律看作工件相对静止，刀具产生运动的方向。

2) 采用右手笛卡儿坐标系 (如图 1.1.6)

直线坐标 X Y Z

旋转坐标 A B C

附加坐标 U V W

3) 确定顺序: Z—X—Y(举例说明)

Z 轴: 为机床主轴的坐标轴, 无主轴则垂直于工件装夹面。

X 轴: 为水平方向的坐标轴:

◆在没有回转刀具或回转工件机床上, X 轴平行于主要切削方向。

◆在有回转工件的机床, X 轴为径向, 正方向为远离工件方向。

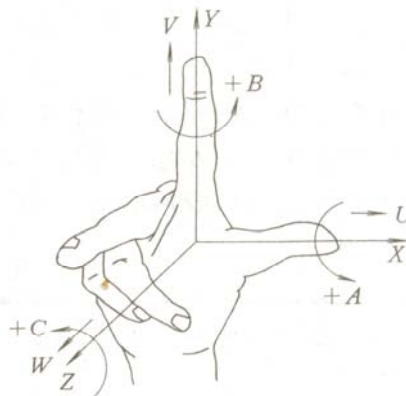


图 1.1.6

◆在有回转刀具机床上: 主轴立式: 主轴向立柱看, 正方向为向右; 主轴卧式: 主轴(末端)向工件看, 正方向为向右

Y 轴: 由右手法则确定

4) 增大工件和刀具之间距离的方向为运动的正方向

举例: 数控车床 (如图 1.1.7); 数控铣床 (如图 1.1.8)

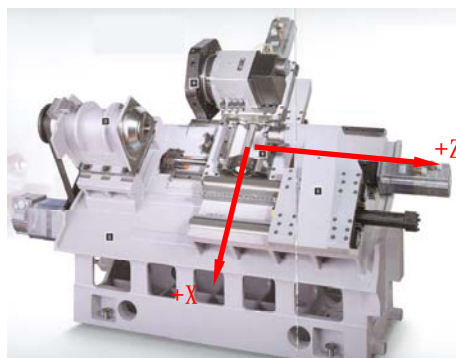


图 1.1.7

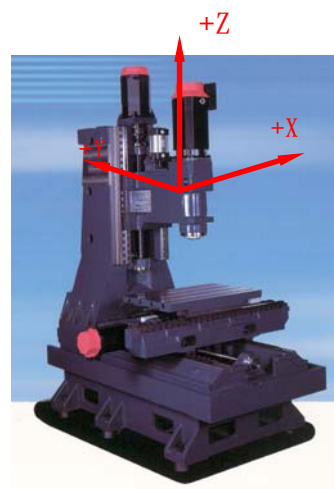




图 1.1.8


(2) 机床坐标系和工件坐标系

1) 机床坐标系: 为了机床的成形运动和辅助运动, 在机床上建立一个坐标系, 就是机床坐标系。

机床原点: 是机床制造商设置在机床上一个物理位置, 作用是使机床与控制系统同步, 建立测量机床运动做的起始点。用 M (或 ) 表示。

机床参考点: 与机床原点相对应的一个点, 是机床制造商在机床上用行程开关设置的一个物理位置, 与机床原点的相对位置是固定的, 一般用 R (或 ) 表示。

2) 工件坐标系: 为了编程方便, 我们建立一个独立的相对于工件的坐标系, 在这个坐标系中, 我们去描述刀具相对于工件的运动轨迹, 这就是工件坐标系, 有时又称为编程坐标系。

工件原点 (编程原点): 工件坐标系的原点, 是程序员在数控编程过程中定义在工件上的几何基准点。用 W (或 ) 表示。

3) 数控车床的坐标系:

机床坐标系: 有的以车床主轴为 Z 轴, 以卡盘前端面或后端面与主轴的交点为原点。也有的平行于主轴, 在车床一侧建立机床原点。

工件坐标系: 一般原点定义在工件右端面与工件回转轴线的交点处, Z、X 轴按 ISO 定义。

(3) 程序原点的设置与偏移

1) 回零 (开机第一步): 回零操作就是使机床回到机床原点或机床参考点, 使机床控制系统初始化, 即 X、Y、Z、A、B、C 等的显示为零或某一固定值。

2) 机床坐标系与工件坐标系的联系: 当工件在机床上固定后, 工件原点和机床原点之间的偏移量必须通过测量来定, 存入 G54—G57 原点偏置寄存器中, 供数控系统计算用, 对于多原点工件, 只要调用不同偏置即可。在没有工件测量头的情况下, 程序原点的位置测量要靠碰刀的方式进行。

采用程序原点偏移的方法还可以实现零件的空运动试切加工, 将程序原点向刀轴 (Z) 轴方向偏移, 使刀具抬起一个安全高度。

3) 对于程序员而言, 只要知道程序原点就够了, 与机床原点、机床参考点无关, 与数控机床型号也无关。对于操作者而言, 则必须十分清楚它们之间的联系。

5. 常用 G、M 代码

(1) G00 快速定位

格式: G00 X (U) _____ Z (W) _____

说明: X、Z 的值是终点的坐标, U、W 为增量编程

(2) G01 直线插补

格式: G01X (U) _____ Z (W) _____ F _____

说明: X、Z 的值是终点的坐标

(3) M00 程序停止 M01 程序任选停止

(4) M03 主轴正转 M04 主轴反转 M05 主轴停

(5) M02 程序结束 M30 程序结束并返回到程序开始

(6) F: 进给速度指令

格式: F ###

说明: ###指每分钟进给量或每转进给量, 如 F20 或 F0.15

(7) S: 主轴转速指令

格式: S####

说明: 一般与 M03、M04 连用, 如 M03 S600

(8) T: 换刀指令

格式: T## ##

说明: T 后前两位数字表示刀具号码, 后两位数字对应该刀具的刀具补偿号

6. FANUC 系统的数控车编程的说明:

(1) 直径编程: 数控程序中 X 轴的坐标值用直径量来表示 (符合普通车床的习惯), 但也有些值用半径量表示。

(2) 半径编程: 数控程序中 X 轴的坐标值用零件图上的半径量表示。我们常用直径编程。

(3) 小数点编程: 不带小数点的默认单位值为 μm , 带小数点的默认单位是 mm , 可通过参数设置。如: X15 表示 X0.015mm; X15. 表示 X15mm

(4) 绝对编程和增量编程:

绝对编程: 工件上所有节点的坐标都以某一固定点作为工件原点, 用 X、Y、Z 表示。

增量编程 (相对编程): 工件上节点后一点的坐标以前一点作为原点, 用 U、V、W 表示。

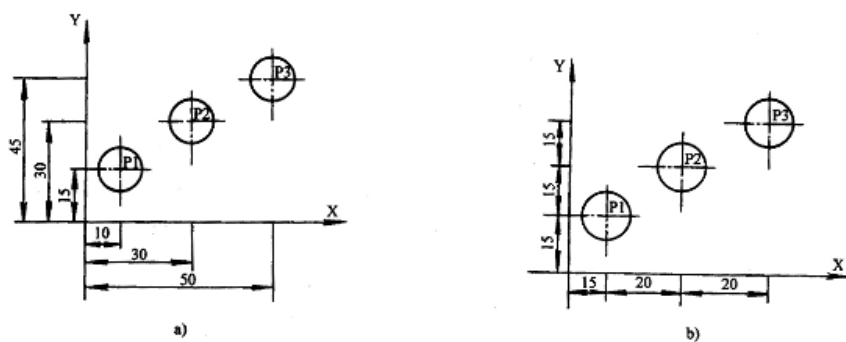


图 1.1.9

绝对编程(图 1.1.9a)

增量编程 (图 1.1.9b)

P1: X10 Y15
P2: X30 Y30
P3: X50 Y45

P1: U15 V15
P2: U20 V15
P3: U20 V15

实训项目：完成图 1.1.10 零件的编程

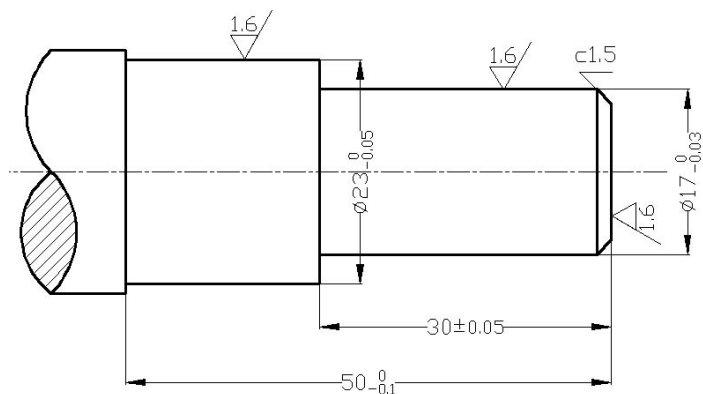


图 1.1.10

项目小结：

掌握数控编程语言是数控加工最简单的任务，最难的还在于加工工艺的编制。FANUC 系统有自己特别的规定，这些只需要我们记忆就可以了，只要掌握了编程的实质，在实际编程中，即使遇到其他数控系统，我们也能很快地掌握。

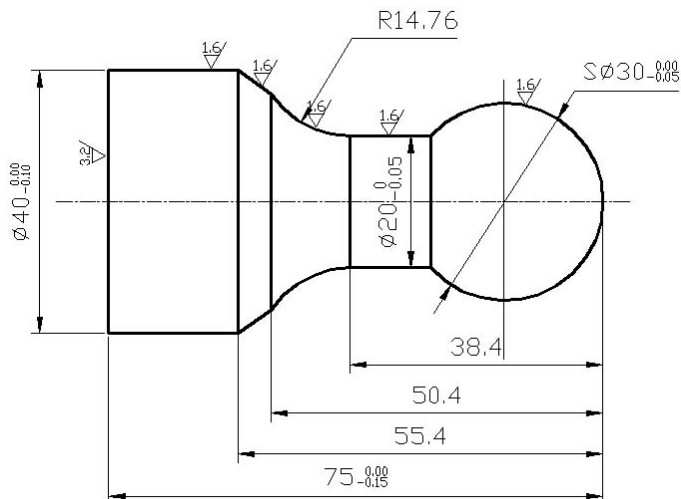
项目二：球头轴的编程加工

项目名称：球头轴的编程加工

学习目标：

- 1.掌握根据尺寸公差的范围采取中间值编程的方法；
- 2.了解常用车刀的种类及应用场合；
- 3.能根据零件的图的要求，学会查询切削手册，制定加工工艺；
- 4.掌握成型加工的编程指令，进行成型零件的编程；
- 5.掌握数控车削加工固定的编程模式；
- 6.掌握车削固定循环的应用；
- 7.掌握自由公差的含义
- 8.了解数控程序的结构。

项目任务：完成球头轴的加工



零件加工工艺设计：

1.零件图工艺分析

(1) 零件加工内容分析：该零件材料为 45#，由一个球头、一段圆弧曲面、一段圆锥和两段外圆柱面组成；

(2) 尺寸精度分析：各加工部位公差要求有所不同，球头的尺寸精度较高，加工难度较大，长度方向 38.4、50.4、55.4 均为自由尺寸；

(3) 形位公差分析：形位公差无特殊要求；

(4) 表面粗糙度分析：表面粗糙度要求比较高，为 Ra1.6。

通过上述分析，建议采用以下工艺措施：

(1) 外圆尺寸公差要求各不相同，应采用各加工尺寸的中间值作为编程尺寸，便于加工调试，从而保证各加工尺寸的一致性。如 $\Phi 39.95$ ， $\Phi 19.975$ ，

(2) 表面粗糙度要求较高，可采取粗精加工分开的方式，精加工时通过调整切削用量三要素来保证表面加工质量；

(3) 合理选择外圆车刀，加工球的左端时，要求刀具的副偏角要大一些，

(4) 球头的车削分两部分分开加工，并进行圆弧的补偿，具体加工方法在后面章节中结束，本节中暂时按照 R15 进行编程。

2.确定装夹方案

由于零件毛坯长度为 78 左右，应采用三爪自定心卡盘夹紧，分两次调头装夹。

3. 选择刀具

- (1) 端面加工选择硬质合金 45° 外圆车刀
- (2) 粗加工选择硬质合金刀具副偏角大于 48° 的粗加工外圆车刀
- (3) 精加工选择硬质合金刀具副偏角等于 60° 的精加工外圆车刀

4. 选择切削用量

- (1) 背吃刀量：粗加工时， $a_p=1-1.5\text{mm}$ ；精加工时， $a_p=0.25\text{mm}$
- (2) 走刀量：粗加工时， $f=0.2-0.3\text{mm}$ ；精加工时， $f=0.08\text{mm}$
- (3) 主轴转速：粗加工时，选取 $V_c=70\text{mm/min}$ ，精加工时，选取 $V_c=100\text{mm/min}$ ，根据加工时零件直径，选取主轴转速：粗加工 $n=750\text{r/min}$ ；精加工 $n=1000\text{r/min}$

5.确定加工工艺路线

- (1) 夹住毛坯表面，外伸 40mm 左右
- (2) 车削端面，保证表面质量
- (3) 粗加工 $\Phi 40$ 外圆表面，长 30mm，留 0.5mm 精车余量
- (4) 精加工 $\Phi 40$ 外圆表面，保证尺寸和表面质量
- (5) 调头装夹，用铜皮包裹 $\Phi 40$ 外圆表面，装夹 $\Phi 40$ 表面，装夹长度约为 15mm 左右，利用百分表进行校正
- (6) 车削端面，保证总长
- (7) 粗加工各轴段，留 0.5mm 精车余量
- (8) 精加工各轴段，保证尺寸和表面质量

6.工件坐标系确定

工件坐标系原点设置在工件右端面与工件轴线的交点处。

7.参考程序：

| | | |
|-----------------------------|-------------------------------|-----------------------|
| O0002; | O0003 | |
| G40G21G99; | G40G21G99; | |
| M03S1000T0101; | M03S1000T0101; | M03S1000T0303; |
| G0X45.Z3.; | G0X45.Z3.; | G0X42.Z3.; |
| G0Z0; | G0Z0; | G70P10Q20; |
| G1X-0.5F0.08; | G1X-0.5F0.08; | G0X100.Z100.; |
| G0Z3.; | G0Z3.; | M05; |
| G0X100.Z100; | G0X100.Z100.; | M30; |
| M01; | M01; | |
| M03S700T0202; | M03S700T0202; | |
| G0X42.Z3.; | G0X42.Z3.; | |
| G90X40.5Z-30.F0.25; | G71U1.25R0.5; | |
| G0X100.Z100.; | G71P10Q20U0.5W0F0.25; | |
| M01; | N10G1X0Z0F0.3; | |
| M03S1000T0303; | G3X20.Z-26.2R15.F0.08; | |
| G0X42.Z3.; | G01X19.975; | |
| G90X39.95Z-30.F0.08; | G01Z-38.4; | |
| G0X100.Z100.; | G02X32.9Z-50.4R14.76; | |
| M05; | N20G01X39.95.Z-55.4; | |
| M30; | G0X100.Z100; | |
| | M01; | |

工艺知识:

1.三爪夹盘的校正（如图 1.2.1）

三爪卡盘装夹调头车削，要求轴段同心时，通常需要对工件进行找正，其找正方法如图所示，将百分表固定在工作台面上，触头在上方垂直压在圆柱侧面母线上，轻轻手动转动卡盘，根据百分表跳动情况，用铜棒轻敲工件进行调整，直至卡盘在转动时百分表读数保持不变，这表明工件装夹表面的轴心线与主轴轴心线同轴。

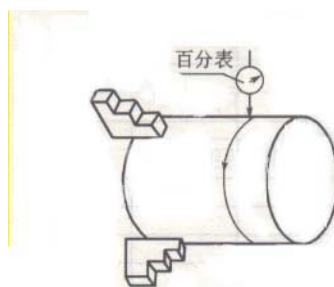


图 1.2.1

2.刀具种类

(1) 按车刀结构分类（如图 1.2.2）:

1) 整体式车刀：主要是指整体式高速钢车刀，具有抗弯强度高、冲击韧性好，整体均为刀具材料，可通过刃磨反复使用，制造简单，刀具磨损后需要刃磨，不适宜高速切削。

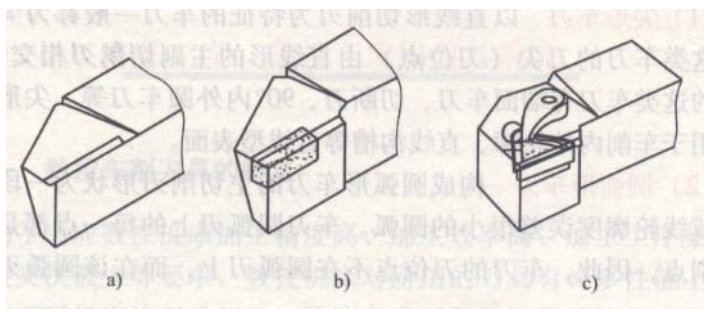


图 1.2.2

2) 焊接式车刀：将硬质合金刀片焊接在刀体上，刀体为普通碳钢，结构简单，刚性好，可节约刀具材料，刀具磨损后需要刃磨修复，也可反复使用。

3) 机械夹固式车刀（简称机夹刀）：将硬质合金可转位刀片通过机械夹固的方式固定在刀杆上，刀片具有多条切削刃，当某条切削刃磨损钝化后，只需松开夹固刀元件，将刀片转动一个位置便可机械使用。车刀的几何角度完全由刀片保证，切削性能稳定，刀片位置精度高，刀片不需刃磨。这类刀具在数控加工中应用最广。

机械夹固方式：楔块式、螺钉式、杠杆式、复合式等（如图 1.2.3）。

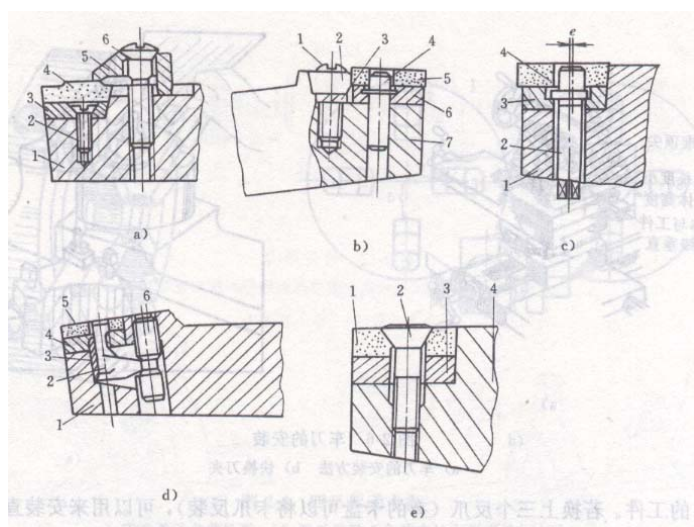


图 1.2.3

(2) 机夹可转位刀片

机夹可转位刀片目前已经标准化，我国的国家标准与 ISO 国际标准相同，采用 10 个号位的内容来表示规格、尺寸系列、制造公差以及测量方法等主要参数特征。

常用机夹可转位刀片形状如图 1.2.4

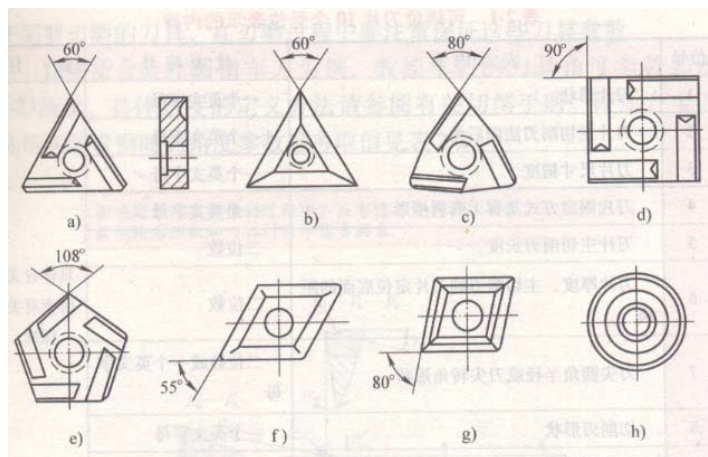


图 1.2.4

举例：TBHG120408EL-CF

T: 三角形刀片, B: 刀具法向主后角为 5° , H: 刀片厚度公差为 $+0.013$, G: 圆柱孔夹紧; 12: 切削刃长度 12mm, 04: 刀片厚度 4.76; 08: 刀尖圆弧半径 0.8; E: 切削刃倒圆; L: 切削方向向左; CF: 制造商代号

3.加工内凹轮廓零件刀具的选择

加工内凹轮廓时，应特别注意刀具副偏角的选择，以防止副后刀面与工件已加工表面发生干涉。本例中，根据三角函数计算可知（如图 1.2.5），刀具副偏角至少为 48° ，因此选择 35° 的刀片，保证副偏角为 52° （如图 1.2.6）。

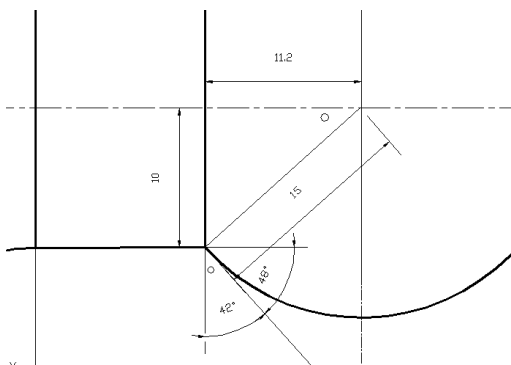


图 1.2.5

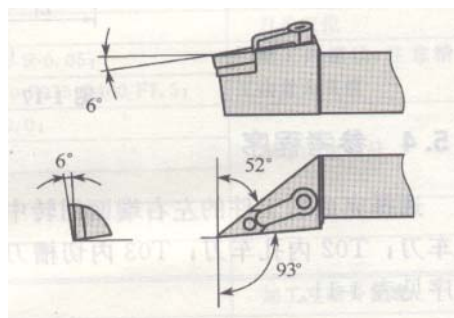


图 1.2.6

4.自由尺寸

通常所说的“自由尺寸”即一般公差，就是只标注基本尺寸，未标注公差。（如： $\Phi 30$ 、100），一般公差正常情况下，一般不测量。

国标（GB）1800-79 中，标准公差分 20 级。即：IT01、IT0、IT1 至 IT18。IT 表示标准公差，公差等级的代号用阿拉伯数字表示，从 IT01 至 IT18 等级依次降低。

GB1804-79 未注公差尺寸的极限偏差，规定有三条：

- ① 规定的极限偏差适用于金属切削加工的尺寸，也可用于非切削加工的尺寸，
- ② 图样上未注公差尺寸的偏差，按本标准规定的系列，由相应的技术文件作出具体规定。
- ③ 未注公差尺寸的公差等级规定为 IT12 至 IT18。一般孔用 H(+); 轴用 h(-); 长度用 (±) (即 Js 或 js)。必要时，可不分孔、轴或长度，均采用 (即 Js 或 js)。

不同尺寸的偏差值见表 1.2.1

| 线性尺寸的极限偏差数值 | | | | | | | | |
|-------------|-------|-------|-------|---------|----------|-----------|------------|------------|
| 公差等级 | 尺寸分段 | | | | | | | |
| | 0.5~3 | >3~6 | >6~30 | >30~120 | >120~400 | >400~1000 | >1000~2000 | >2000~4000 |
| f(精密级,IT12) | ±0.05 | ±0.05 | ±0.1 | ±0.15 | ±0.2 | ±0.3 | ±0.5 | - |
| m(中等级,IT14) | ±0.1 | ±0.1 | ±0.2 | ±0.3 | ±0.5 | ±0.8 | ±1.2 | ±2 |
| c(粗糙级,IT16) | ±0.2 | ±0.3 | ±0.5 | ±0.8 | ±1.2 | ±2 | ±3 | ±4 |
| v(最粗级,IT17) | - | ±0.5 | ±1 | ±1.5 | ±2.5 | ±4 | ±6 | ±8 |

表 1.2.1(a)

| 倒圆半径与倒角高度尺寸的极限偏差数值 | | | | |
|--------------------|-------|------|-------|-----|
| 公差等级 | 尺寸分段 | | | |
| | 0.5~3 | >3~6 | >6~30 | >30 |
| f(精密级,IT12) | ±0.2 | ±0.5 | ±1 | ±2 |
| m(中等级,IT14) | - | - | - | - |
| c(粗糙级,IT16) | ±0.4 | ±1 | ±2 | ±4 |
| v(最粗级,IT17) | - | - | - | - |

表 1.2.1(b)

| 角度尺寸的极限偏差数值 | | | | | |
|-------------|---------|--------|---------|----------|------|
| 公差等级 | 尺寸分段 | | | | |
| | ≤10 | >10~50 | >50~120 | >120~400 | >400 |
| f(精密级,IT12) | ±1° | ±30' | ±20' | ±10' | ±5' |
| m(中等级,IT14) | - | - | - | - | - |
| c(粗糙级,IT16) | ±1° 30' | ±1° | ±30' | ±15' | ±10' |
| v(最粗级,IT17) | ±3° | ±2° | ±1° | ±30' | ±20' |

说明：角度尺寸的长度按角度的短边长度确定，对于圆锥角按圆锥素线长度确定。

表 1.2.1(c)

5.G 代码介绍

(1) G02 顺时针圆弧插补

G03 逆时针圆弧插补

格式：G02X (U) ___ Z (W) ___ R ___ F ___

G02X (U) ___ Z (W) ___ I ___ K ___ F

G03X (U) ___ Z (W) ___ R ___ F ___

G03X (U) ___ Z (W) ___ I ___ K ___ F

说明：U、W、I、K 是圆弧终点和圆弧圆心相对于圆弧起点在 X、Z 方向的增量，其中 I、

正；相反为负；如果 Z 坐标单调递增 ΔW 为正，递增时为负。

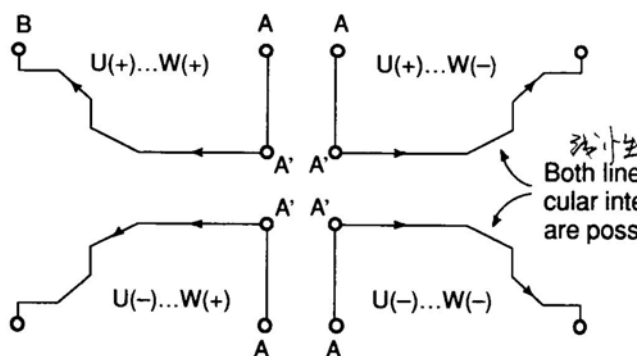


图 1.2.10

4) ns、nf 所标识的语句即为精加工轨迹，可以跟在 G71 语句后面。
应用情况二：

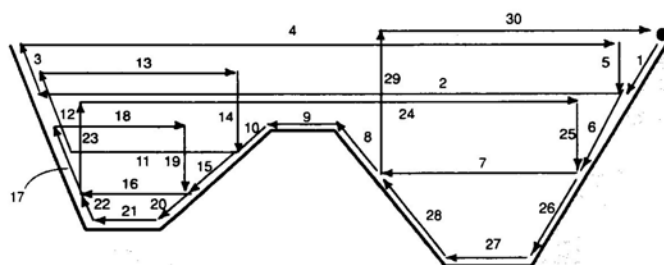


图 2.1.11

1) X 方向不必单调，但 Z 方向必须单调递增或递减（如图 1.2.11）。精加工轨迹第一句必须是用 G00 或 G01 沿 X、Z 方向同时进刀，进至精加工轨迹开始点，然后开始描述精加工轮廓轨迹。如图 12.12，a 图不能加工，b 图能加工。

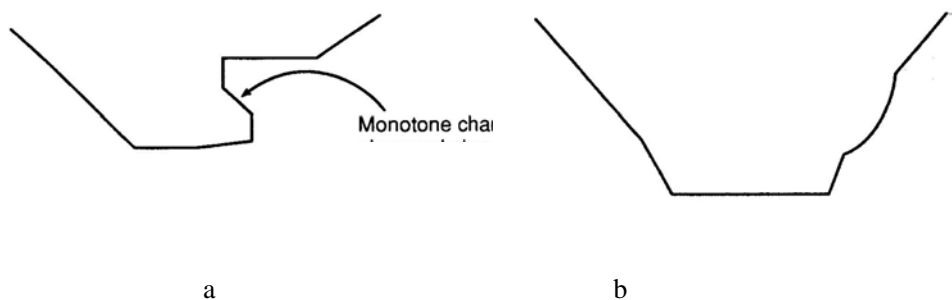


图 1.2.12

2) 最多能加工 10 个凹面（如图 1.2.13）。

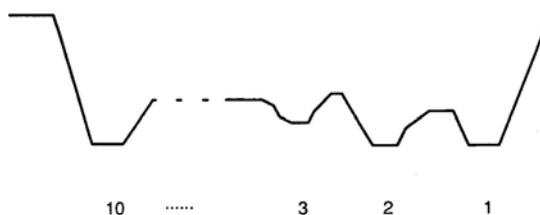


图 1.2.13

3)精加工轨迹第一句不必垂直 Z 方向,但必须指定 X(U)和 Z(W),即使沿 Z 方向没有移动,也必须用 W0 指定。

4) ΔW 必须为 0,否则会过切入一侧

本项目中应用的是情况二。

(4) G70 精加工循环

格式: G70 P (ns) __Q (nf) __

说明: ns: 循环开始顺序号

nf: 循环终止顺序号

精加工的轨迹由 ns 和 nf 之间的程序指定。

6.固定进刀退刀模式

如图 1.2.14 所示,每把车刀加工的过程基本是相同的:从换刀点以 G0 模式运动到起刀点,然后进刀,进到加工开始点,以 G01 方式进刀,然后沿工件轨迹进行切削加工至加工终止点,然后以 G01 方式退到退刀点,然后以 G0 方式返回刀换刀点。我们把这一过程相对固定化,形成固定的进刀退刀模式,便于我们进行编程。

(1) 换刀点: 刀具交换固定点。换刀时必须先到达该点。换刀点的设定关系到加工的效率和安全问题。换刀点设得太远,刀具从换刀点运动到进刀点的时间就会加长,降低了效率;若

太远,在换刀时就可能会和工件发生干涉,造成刀具、工件及机床的损坏。应根据刀具及工件的实际情况来设置换刀点。

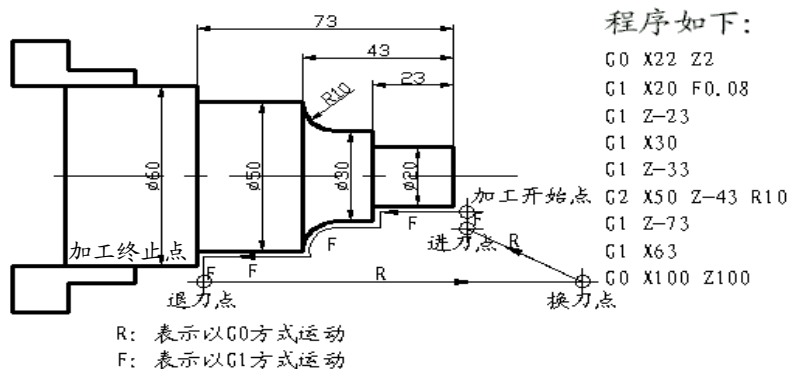


图 1.2.14

(2) 起刀点(进刀点): 刀具准备加工开始点,该点的设定,应在 X、Z 两个方向离工件有一定安全距离,太远太近都不行。太远会增加 G01 进给的空行程,造成加工效率低;太近会增加安全隐患。

(3) 加工开始点: 每一次切削的起点。

(4) 加工终止点: 每一次切削的终点。

(5) 退刀点: 刀具加工后,刀具应退出工件表面,该点必须离毛坯有一定的安全距离。

7. 固定的程序段落模式 (如图 1.2.15)

在数控编程中,不同刀具进行不同内容的加工时,我们习惯把每把刀的加工内容写成独立的程序,程序开始时一般都进行程序的初始化,设定加工环境,如主轴转速、程序状态等;加工过程安装固定的进刀退刀模式编写;程序结束时,加上 M01 语句,从而形成相对固定的程序段落格式。这样编写有两个好处:

(1) 每把刀有独立的加工程序,可以根据每把刀的加工内容,以及加工调试时出现的问题方便地检查该把刀的加工程序。

(2) 在程序调试时,可以方便的从修改过程序的刀具开始执行,不必从头到尾都执行,避

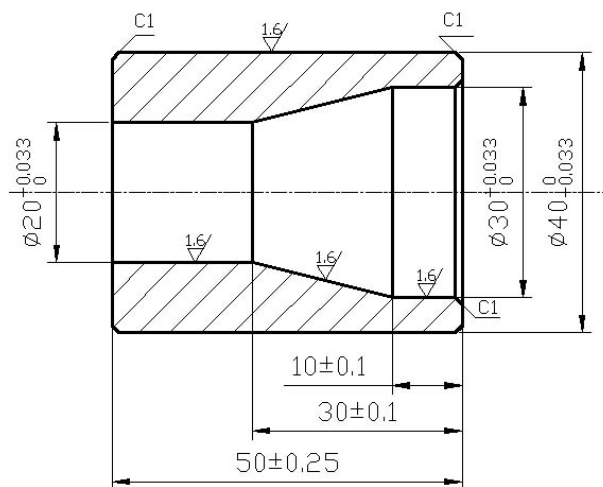
项目三：衬套的编程加工

项目名称：衬套的编程加工

学习目标：

- 1.掌握孔类零件的加工工艺；
- 2.掌握程序的结构；
- 3.掌握 G71 在内孔加工时的用法；
- 4.了解零件表面粗糙度的保证方法；
- 5.了解盲孔的加工方法；

项目任务：完成衬套的加工



毛坯形式：Φ45 棒料
 材质：45
 长度：104

零件加工工艺设计：

1.零件图工艺分析

(1) 零件加工内容分析：该零件材料为 45#，由一个外圆柱面、二个内圆柱面和一个内锥面组成；

(2) 尺寸精度分析：各加工部位公差要求相同，公差要求不高，长度方向公差要求不高，较易加工；

(3) 形位公差分析：形位公差无特殊要求；

(4) 表面粗糙度分析：但表面要求较高，一般表面粗糙度为 Ra1.6，要求表面无擦伤或碰伤，在加工时应格外注意。

通过上述分析，建议采用以下工艺措施：

1) 表面粗糙度要求较高，可采取粗精加工分开的方式，精加工时通过调整切削用量三要素来保证表面加工质量；

2) 在割断时，要防止切屑把工件表面擦伤，在切断时可以采用间歇进给，让切屑自动断开，同时在切断到尺寸时，留 0.2mm 的余量，然后用塑料棒插入孔中掰断。也可用手直接掰断，但要防止手擦伤。

3) 外圆另外一端倒角在加工完成后在普通车床上加工；

4) 选择长度合适的切断刀；

5) 毛坯长度为 104mm，从零件图上分析可以 1 段料做两个，通过割断来保证最后的长度。在一端车削后，要保证总长 103mm，然后才能保证切断后两个零件都符合要求；

- 6) 在一端车削后，调头车削时，要保证装夹没有夹痕，同时要保证零件的同心；
- 7) 加工路线一般采先内后外的原则。

2.确定装夹方案

应采用三爪自定心卡盘夹紧，分两次调头装夹，严格保证夹出的长度。

3.选择刀具

- (1) 端面加工选择硬质合金 90° 加工外圆车刀；
- (2) 外圆粗、精加工选择硬质合金刀加工外圆车刀；
- (3) 镗孔加工选择硬质合金内孔车刀，刀杆直径在 16 左右，若振动较大，采用防振刀杆；
- (4) 切断刀选择 3mm 切断刀，切断深度在 20mm 左右。

4.选择切削用量

| 加工内容 | n (r/min) | ap(mm) | f(mm/r) |
|-------|-----------|--------|---------|
| 端面 | 800 | 无 | 0.08 |
| 外圆粗加工 | 700 | 1.5 | 0.25 |
| 外圆精加工 | 1000 | 0.5 | 0.08 |
| 内孔粗加工 | 700 | 1.25 | 0.2 |
| 内孔精加工 | 1000 | 0.5 | 0.05 |
| 切断 | 800 | 无 | 0.08 |

5.确定加工工艺路线

- (1) 夹住毛坯表面，外伸 55mm 左右，车削端面，保证表面质量；
- (2) 中心钻钻中心孔；
- (3) 钻 $\Phi 18$ 底孔；
- (4) 粗车内孔表面，留 0.5mm 精车余量；
- (5) 精车内孔表面，保证长度在 51mm 左右和表面质量；
- (6) 粗加工 $\Phi 40$ 外圆表面，留 0.5mm 精车余量；
- (7) 精加工 $\Phi 40$ 外圆表面，长度为 51mm 左右和表面质量；
- (8) 调头装夹，在另一部机床上用软爪装夹，装夹 $\Phi 40$ 表面，夹住 40mm 长；
- (9) 车削端面，保证总长 103；
- (10) 按 (3) — (6) 加工；
- (11) 切断，保证表面质量；(后面再讲)

6.工件坐标系的设定

工件坐标系原点设置在工件右端面与工件轴线的交点处。

7.参考程序：(钻孔为手动钻孔，程序无)

O0003

G40G21G99;

M03S700T0202;

G0X17Z2;

G71U1.25R0.5;

G71P10Q20U-0.5W0F0.2;

N10G0X32;

G1Z0F0.3;

X30Z-1F0.05;

Z-10;
X20Z-30;
N20Z-51;
M03S1000;
G70P10Q20;
G0X100Z100;
M01
M03S700T0101;
G0X47.Z2;
G90X42.5Z-51F0.25;
X40.5;
M03S1000;
G90X40Z-51F0.08;
G0X100Z100;
M01;
M03S800T0404;
G0X47Z2;
G0Z53;
G1X17F0.08;
G0X47;
G0X100Z100
M30

工艺知识:

1. 镗孔加工

(1) 通孔加工与盲孔加工

镗刀分为盲孔镗刀和通孔镗刀，分别用于盲孔和通孔的加工（如图 1.3.1）。

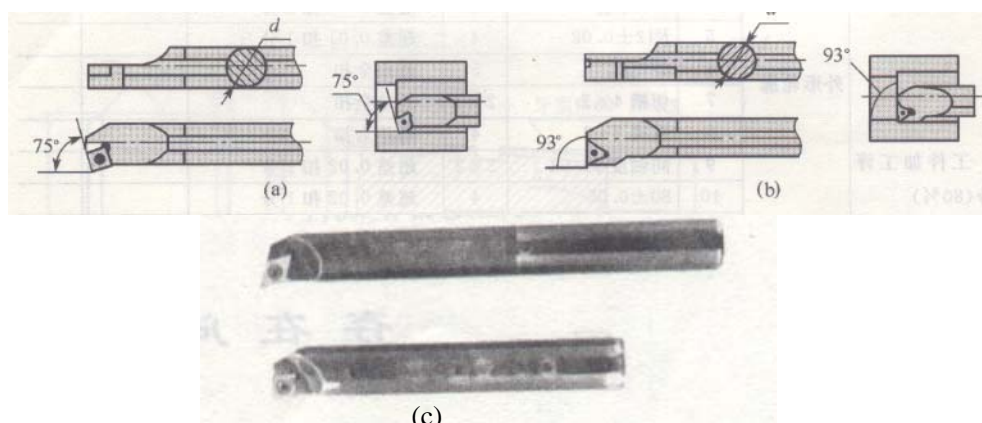


图 1.3.1

通孔镗削是最常见的孔加工要求，镗削时注意镗削的深度略大于孔深即可，盲孔镗削时只能利用镗刀的切削刃利用横行进给，分层将预孔的金属切出（如图 1.3.2），同时要注意镗削深度必须严格一致，否则镗削过头会造成镗刀折断等。

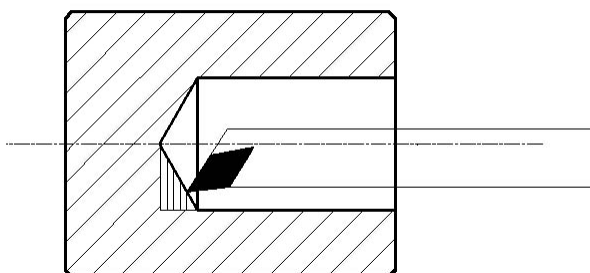


图 1.3.2

(2) 镗孔的关键技术

镗孔的关键技术是解决内孔车刀的刚性问题和内孔车削过程中的排屑问题。为了增加车刀刚性、防止产生振动，要尽量选择粗的刀杆，装夹时刀杆伸出长度尽可能短，只要略大于孔深即可。刀尖要对准工件中心，刀杆与轴心线平行。精车内孔时，应保持刀刃锋利，否则容易产生让刀，把孔车成锥形。

2. 保证同轴度的方法

(1) 方法一：利用百分表进行找正，在前文中已经介绍过，但该方法效率较低，适用于单件生产。

(2) 方法二：利用软爪装夹（如图 1.3.3）。普通的三爪自定心卡盘的卡爪为了保证刚性要求和耐磨性要求，通常要经过淬火等处理，硬度较高，很难用常用常用刀具材料切削加工，而软爪一般用软的钢、铜、铝的材料制作，不经过热处理，是一种可以切削的卡爪，它是为了配合被加工工件而特别制造的。

而用软爪装夹零件可以减少工件的碰伤，提高同轴度，同时也起限位作用，提高装夹效率。主要用于同轴度要求高且需要二次装夹的工件的加工，它可以在使用强进行自镗加工，从而保证卡爪中心与主轴中心同轴，因此，工件的装夹表面也应是精加工表面。另外，在加工过程中最好使软爪的内圆直径等于或略小于所要加工工件的外径，以消除卡盘的定位间隙并增加软爪与工件的接触面积。

(3) 方法三：利用弹簧夹套装夹（如图 1.3.4）。弹簧夹套的定心精度高，装夹工件快速方便，常用于精加工的外圆表面定位。在实际生产中，如没有弹簧夹套，可根据工件夹持表面直径自制薄壁套来代替弹簧夹套。

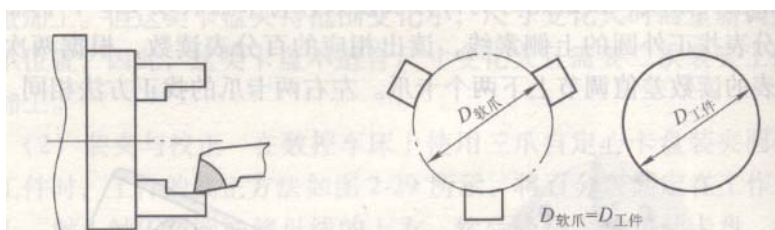


图 1.3.3

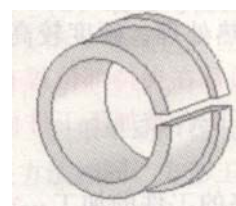


图 1.3.4

3. 车刀按刀具材料的分类：

高速钢、硬质合金、涂层硬质合金、陶瓷、立方氮化硼、金刚石等，其中高速钢、高速钢、硬质合金、涂层硬质合金在数控车削刀具中应用最广。

高速钢刀具：具有较高的强度和韧性，适用于复杂（成型）刀具和精密刀具，刀具耐热性差。

硬质合金刀具：具有高硬度、高耐磨性、高耐热性，抗弯强度和冲击韧性差，应用比较广泛。分 P 类（钨钛类）、M 类（钨钛钽钴类）、K 类（钨钴类），P 类用于加工产生长切

屑的金属材料，如钢、铸钢、可锻铸铁、不锈钢、耐热钢等，牌号越大，碳化钨、碳化钛含量越少，刀具硬度、耐磨性下降，韧性上升；M类合金用于加工产生长切屑和短切屑的黑色金属或有色金属，如钢、铸钢、奥氏体不锈钢、耐热钢、可锻铸铁、合金铸铁等，牌号越大，钨钛钽钴类碳化物越多，综合性能越好；K类合金用于加工产生短切屑的黑色金属、有色金属及非金属材料，如铸铁、铝合金、铜合金、塑料、硬胶木等，牌号越大，碳化钴含量越多，刀具的韧性越好。还有一类为G类，与M类相似。

涂层硬质合金刀具：在普通硬质合金的基体上通过“涂镀”新工艺使刀具的耐磨、耐热、耐腐蚀性能大大提高，使用寿命可提高1—3倍。涂层材料有：TIC（金黄）、TIN（金黄）、AlTiN（黑色）、TiAlN（紫色）

4. 钻孔加工

钻孔通常采用钻头在实心材料上进行孔加工的一种方法，常用钻头是麻花钻。一种为直柄麻花钻，一种为锥柄麻花钻，一般0—14的钻头为直柄钻头，15以上的为锥柄钻头，锥度以莫氏圆锥表示。钻头的装夹方式如图1.3.5：

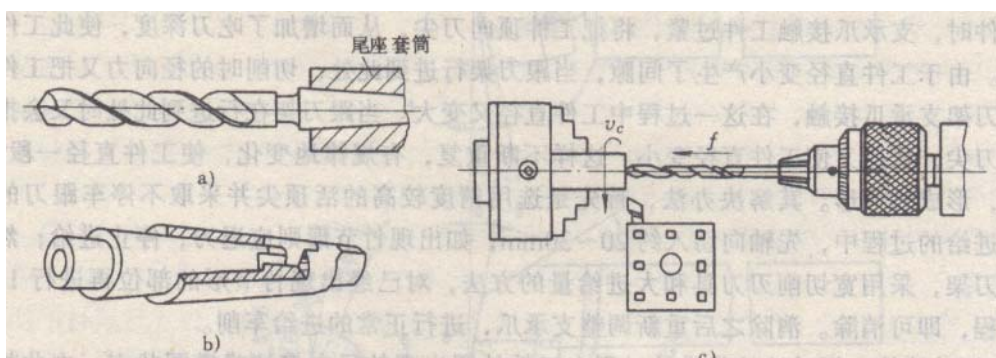


图 1.3.5

莫氏圆锥简介：

莫氏圆锥氏机械制造业中应用最广泛的一种圆锥，如主轴锥孔、钻头柄、铰刀柄等都采用莫氏圆锥，该圆锥具有自锁功能。莫氏圆锥分成7个号码，即0—6，号数不同，圆锥角亦不相同，莫氏圆锥的锥角尺寸见表1.3.1：

| 圆锥 号码 | 锥度 | 基本尺寸 | 内锥公差 | | 圆锥 号码 | 锥度 | 基本尺寸 | 内锥公差 | |
|----------|------------|----------|--------|--------|----------|------------|----------|------|----|
| | | | 内锥 | 外锥 | | | | 内锥 | 外锥 |
| 0 | 1 : 19.212 | 2°58'54" | +1'05" | 0 | 4 | 1 : 19.254 | 2°52'32" | +52" | 0 |
| 1 | 1 : 20.047 | 2°51'26" | 0 | -1'05" | 5 | 1 : 19.002 | 3°00'53" | +41" | 0 |
| 2 | 1 : 20.020 | 2°51'40" | +52" | 0 | 6 | 1 : 19.180 | 2°59'12" | +33" | 0 |
| 3 | 1 : 19.922 | 2°52'32" | 0 | -52" | | | | | |

表 1.3.1

钻孔时容易出现的问题及解决措施

(1) 孔的引偏，主要是钻头的两切削刃磨得不对称时，定心不稳，造成孔中心线的歪斜或偏移。

- 解决措施：
- 1) 钻孔前先加工孔端面；
 - 2) 用中心钻进行预钻孔，便于引导钻头；
 - 3) 采用夹具来引导钻头；
 - 4) 正确刃磨钻头。

(2) 孔径大于钻头直径。

- 解决措施：
- 1) 正确刃磨钻头，保证两个切削刃角度、长度一样；
 - 2) 钻削时可能发生堵屑现象，切削在代替钻头切削。

钻孔时的切削用量选择

钻钢料时, V_c 取 15—30m/min; 钻铸铁时, V_c 取 10—25m/min; 钻铝合金时, V_c 取 75—90m/min; 进给速度一般取 0.15—0.25mm/r

5. 中心钻

中心孔的作用: 1) 轴类零件在顶尖装夹时的定位基面;
2) 钻孔时的导向作用, 防止钻孔的歪斜。

中心孔的分类 (如图 1.3.6):

- 1) A 型, 普通中心孔
- 2) B 型, 带护锥作用, 端面 120° 的锥面可以保护 60° 的锥面, 使它不被碰伤, 以面定心精度。
- 3) C 型: 是带螺纹的中心孔, 主要用于工件上需要安置吊装的情况。

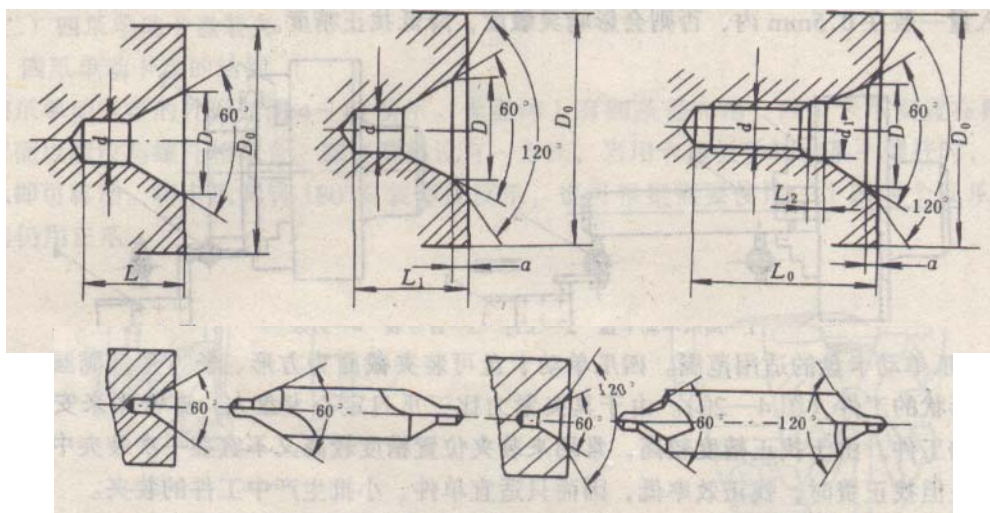


图 1.3.6

6. 程序结构

(1) 编程功能指令: 在数控加工过程中用以描述工艺过程的各种操作和运动特征的指令。

1) 准备功能 G 代码: 使机床建立起某种加工方式的指令, 如: 插补、刀具补偿、固定循环、螺纹加工等。

G 代码由地址符 G 后跟两位数字组成, 从 G00—G99 共 100 种。

有些 G 代码是模态代码 (即续效代码), 即一经使用直到同组的其它任一 G 代码出现时才失效, 否则继续有效, 在编程时可省去不写。如 G01、G41 等。

有些是非模态代码, 只在本程序段中有效, 到了下一段即失效。如 G04 等。

2) 辅助功能 M 代码: 控制机床开—关功能的指令, 如主轴开、停, 冷却液开、闭, 刀架转动等。

(2) 程序结构

1) 程序名: O××××

××××: 四位数字

2) 程序构成: 由若干个程序段构成, 程序段由若干个程序字构成, 程序字=地址符+符号+数字, 如 X-110

3) 程序段格式: a 地址格式 (使用地址符)

如: N0001 G03 X70 Z-36.5 I0 K-2 F200

b、使用分隔符: 如线切割的 3B 格式。BxBjBjGZ

4) 程序结束代码: M02 或 M30

7. G71 在镗孔时的使用事项:

(1) 起刀点的确定：距离毛坯内表面有一定安全距离，但不能太远，因为刀具尺寸、内孔加工受孔的限制，要防止刀具背面与零件的内表面发生摩擦。

(2) 精车预留量 Δu 、 ΔW 的符号：当精加工轨迹 X 方向是递增时， Δu 为正；相反为负；如果 Z 坐标单调递减 ΔW 为正，递增时为负。简单的判别方法：观察精加工余量留出的方向，当精加工余量往 X、Z 正方向留时， Δu 、 ΔW 为正，反之为负。

实训项目：完成图 1.3.7 零件的编程

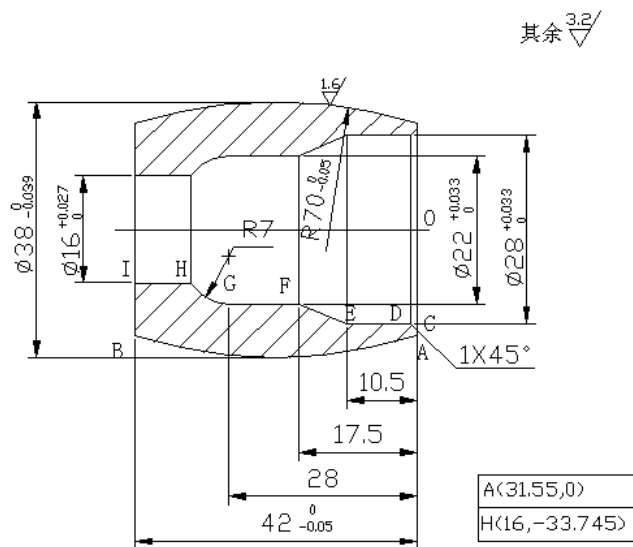


图 1.3.7

项目小结：镗孔比车外圆工艺上要复杂一些，镗孔受到孔直径的限制，带来刚性不足的问题，容易造成振动、喇叭口、表面粗糙度差等加工问题，必须根据实际情况进行分析，改进工艺方法，这也是镗孔时必须要注意的问题。