

## 37. 液压元件制造工艺

### 37.1 柱塞泵制造工艺

柱塞泵种类繁多,结构各异,从而制造工艺也有较大差别,本节仅介绍斜轴式柱塞泵关键零件的主要加工工艺。

#### 37.1.1 对关键零件的技术要求

斜轴式轴向柱塞泵是功率密度极高的液压元件。最优良的柱塞泵可长期工作在高压(一般为 32MPa,有的可达 40MPa),高速(可高达 6000r/min),高温(可连续工作在 80℃ 油温)等苛刻工作条件下,并具有很高的容积效率(在额定工况可达 98% 以上)和总效率(在额定工况可达 93% 以上)。这就要求泵体内所有

运转的零件除应具有足够的强度、刚度外还要有很高的尺寸精度和形位精度。下面介绍主轴、柱塞连杆、柱塞缸和配流盘等关键零件的工艺。

#### 37.1.2 零件加工工艺

##### (1) 主轴(见图 37.1-1)

在轴的法兰端面上,沿圆周均匀地分布着七个“半球窝”,在轴中心处也有一个“半球窝”,这些球窝与连杆上的球头和中心杆上的球头构成球铰。球铰应运动灵活,而从缝隙处泄漏又不得过大,这就要求球窝有很高的几何尺寸精度和较低的表面粗糙度。此外还对各球窝的分布圆和均布误差有严格要求,所以主轴的制造难度很大。

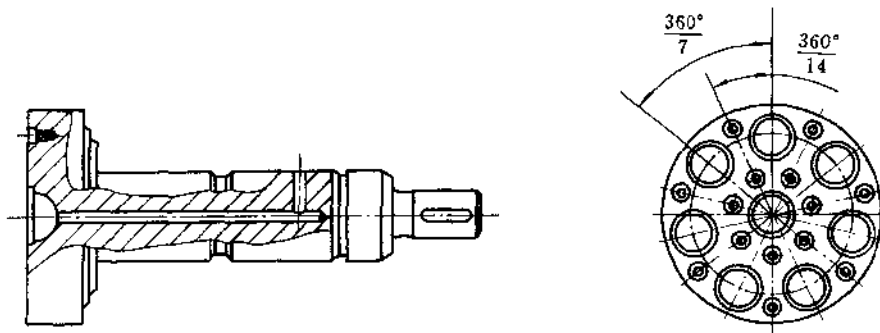


图 37.1-1 主轴简图

主轴材料多采用氮化合金钢,如 38CrMoAl, 40Cr<sub>7</sub>MoV 等,在氮化处理后,能得到高的表面硬度,高的疲劳强度及良好的抗过热,抗变形性能。

目前,加工主轴上的半球窝,主要采用两种方法。

- 成形刀具加工。采用球形钻头或球形铣刀进行半球窝的粗加工,半精加工。留有 0.1~0.15mm 余量。然后用球形铰刀进行精铰,经氮化处理后,对半球窝进行研磨,达到设计尺寸要求。

- 旋风铣加工。首先使用球形钻头进行半球窝的粗加工,距最终尺寸相差 0.3~0.5mm,然后在专用球窝旋风铣上进行铣削精加工,经氮化处理后,对半球窝进行研磨,达到设计尺寸要求。

两种加工方法的比较见下表 37.1-1c。

成形刀具加工球窝的方法,一般用于单件、小批量生产,难以形成生产规模。而旋风铣以其稳定的加工精度,良好球面度,较高的生产效率,被国内外生产厂家普遍采用。

旋风铣加工球窝的原理,见图 37.1-2。机床主轴与刀具轴线成一定角度,刀具轴的旋转通过两个伞齿轮传递,由机床主轴获得。经过机床主轴和刀具轴的旋转运动,形成铣刀尖的球面网络运动。其切削速度在 80~90m/min 之间,刀具轴的转速可控制在 1000~2000r/min 之间。铣削球窝时,必须保证足够的冷却液供给。

表 37.1-1 主轴球窝加工比较表

加工方法		内旋风铣加工	成形球刀加工
特 点	公差带/mm	< 0.02	公差因刀具精度而定
	粗糙度/mm	< $\sqrt{0.5}$	< $\sqrt{0.5}$
	球面度/mm	$\leq 0.006$	不好
生产效率		效率高, 适于批量生产	效率低, 适于单件小批生产
刀具情况		直径可调, 使用寿命长	尺寸固定, 使用寿命短
设备成本		高	低

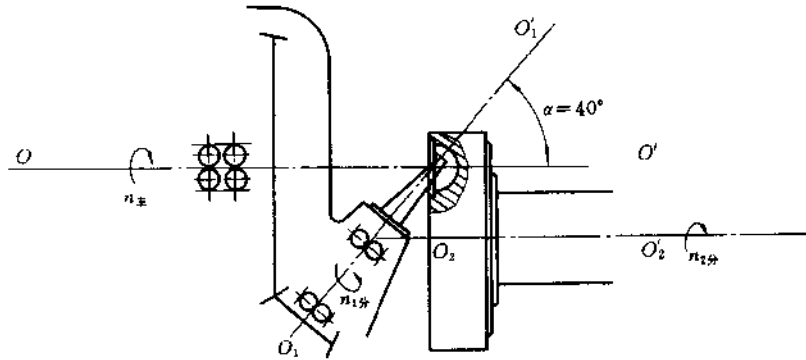


图 37.1-2 球窝旋风铣结构简图

在加工球窝过程中, 铣刀刀尖在球窝中的位置, 对半球窝包络线的形成最重要。关键的尺寸有刀杆长度, 刀具轴与机床主轴的角度, 刀具半径。一般选取数值如图 37.1-3 所示, AC 尺寸不宜过大, 能保证出刀和断屑即可, 否则不利于球窝加工。

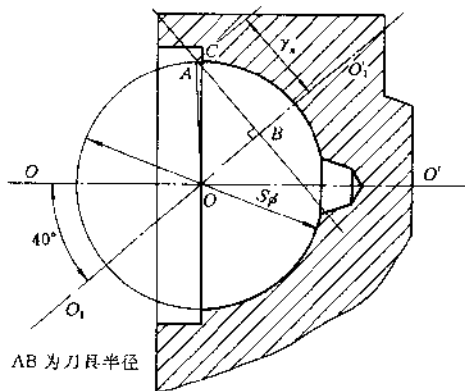


图 37.1-3 刀具调整示意图

在氮化处理后, 主轴端面球窝的尺寸会有微小变化。这在球窝研磨工序之前的工序中, 应考虑到这一微小变化, 否则在研磨球窝时, 其球面度及各球窝的位置度要求就不易保证。在研磨手段上, 对批量生产多采用专用的主轴球窝研磨机来进行研磨。对各球窝尺寸一致性要求差的主轴, 则采用手工研磨方法, 对各球窝逐一进行研磨。

主轴杆部的最终磨削与其它轴类的磨削方法有所不同, 不允许有螺旋线状的磨削痕迹, 尤其在轴上的密封部位。因此在磨削手段上多采用切入磨削的方法, 来达到零件的技术要求。

#### (2) 柱塞

在斜轴式柱塞泵中, 多采用柱塞-连杆副, 当斜角在  $25^\circ$  以下时, 连杆为锥形具有两球头, 其中一个球头和柱塞压合成整体, 见图 37.1-4。当斜角为  $40^\circ$  时采用一端为球头另一端为锥形柱塞的整体结构见图 37.1-5。现介绍锥柱塞的加工工艺。

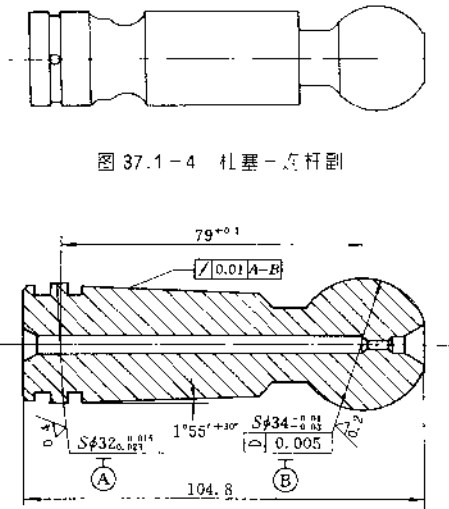


图 37.1-4 柱塞-连杆副

图 37.1-5 锥柱塞技术要求

1. 调质:  $\sigma_b = 1000 \sim 1150 \text{MPa}$ ; 2. 氮化

在保证零件批量生产的前提下,其工艺流程见表 37.1-2。

现介绍柱塞的球面加工。

工序⑩为球面的车削加工,传统的办法是成形刀车削或摇摆法车削。由于其劳动强度大、效率低且不易保证零件精度,已被逐步淘汰。现采用的主要有两种加工球面的方法:第一种是利用液压仿形车床车削球面。其工作原理是依靠精确的仿形样板,通过合理的放大或缩小比例,运用触头进行跟踪加工。此方法的设备比较简单,且容易维护,加工成本较低,加工出

表 37.1-2 锥柱塞的工艺流程

①	下料	锯切成单件
②	锻造	采用模锻造成型
③	热处理	调质,改变工件切削性能
④	铣两端面	保证零件长度要求
⑤	钻中心孔	中心通孔及顶尖孔
⑥	车削成形	
⑦	粗磨	
⑧	热处理	氮化
⑨	精磨	研磨
⑩	终检入库	

的零件精度主要取决于样板精度,对样板制造有较高的要求,劳动强度较高。第二种方法是利用数控车床以至车铣中心,在一次装夹中完成除磨削加工余量外的全部车削工作。此种方法调整方便,对随时修改工序间的尺寸或形状尤为简单,且能充分保证零件的精度,但该设备较复杂,不易维修,对操作工人的技术水平有较高的要求,购置费高。

零件的磨削加工有两种方法:

• 分段磨削法。此法是把零件的球头、球台及锥度分三步来加工(见图 37.1-6)。第一步磨球头见图 37.1-6(a),第二步磨球台,见图 37.1-6(b),第三步磨锥度见图 37.1-6(c)。通过合理的控制各部尺寸,确保零件的加工精度。

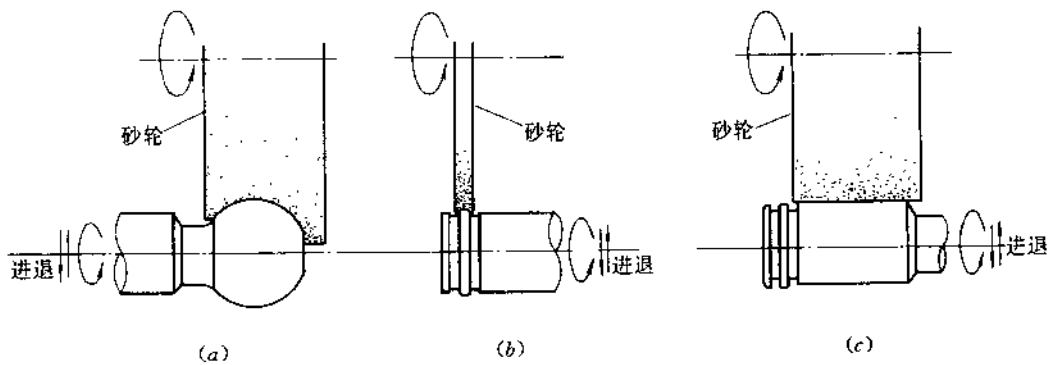


图 37.1-6 锥柱塞分段磨削

• 成型磨削法。此法是利用特殊成型砂轮,在一次装夹中磨出柱塞全部外形。

下面分别叙述两者具体的技术要点:

A. 分段磨削法

采用此法的关键是把砂轮分别修整出圆弧砂轮及锥度砂轮。图 37.1-6(c)中所示的锥度砂轮可以通

过普通砂轮修整刀来修整,使砂轮刀运动轨迹与砂轮旋转柱面相交而修成。对于图 37.1-6(a)、(b)所示的圆弧状砂轮的修整,则使用图 37.1-7 所示的砂轮专用修整刀进行。

专用砂轮修整刀的技术要求是

- 旋转轴 3 的圆锥面与对刀套 2 的定位外圆的同轴度小于 0.005mm。

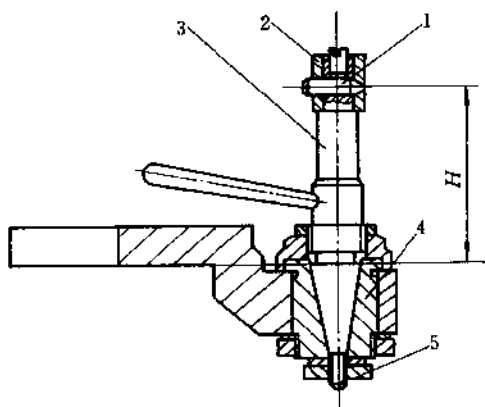


图 37.1-7 砂轮专用修整刀

1—金刚石修整刀;2—对刀套;  
3—旋转轴;4—青铜套;5—调整螺母

- 对刀套 2 的内孔与外圆同心度小于 0.005mm,并且对刀套与旋转轴 3 的配合间隙应小于 0.005mm。
- 刮研青铜套 4,保证其锥面与旋转轴 3 的接触率大于 80%。
- 调整螺母 5,使之有适当的配合间隙,以便旋转轴 3 能够灵活均匀地转动。
- 还应能随时调整,消除在应用中因磨损而产生的间隙。

图中的尺寸  $H$ ,为修整刀距工作台面的高度,其值与所选用磨床的中心高相等,这一尺寸在制造加工中应严格保证,否则所修整出的成型砂轮的半径发生了变化将影响所加工球形的圆度。具体分析见图 37.1-8。

若实际加工尺寸  $H'$  小于  $H$ ,即金刚石修整刀从 I 位置降低至 II 位置,则中心的变化量为

$$\Delta h = H - H'$$

式中  $R_2$ ——金刚石修整刀位置 I 处的砂轮半径;

$R'_2$ ——金刚石修整刀位置 II 处的砂轮半径。

修整后的砂轮(II 位置)半径为

$$R'_2 = \sqrt{R_2^2 + \Delta h^2}$$

可见,实际修整出的砂轮半径不等于所要求的砂轮半径。如果还在原位置 I 处磨球,球面就产生了较大的椭圆度。

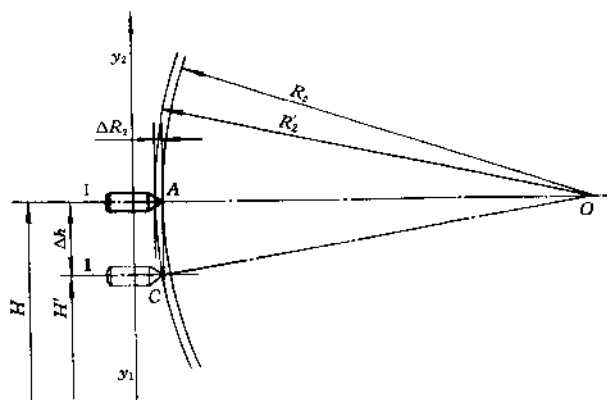


图 37.1-8 砂轮修整误差分析简图

O—砂轮主轴的旋转中心; $y_1, y_2$ —金刚石修整刀旋转轴线

在使用中,为调整修整刀半径,使用一个对刀套 2,其外径与所修整的砂轮圆弧直径相等。调整时,利用对刀套进行比较,即先用平头千分表的表头接触对刀套 2 的外圆,将表针调至“0”位,然后转动修整刀手柄,使金刚石修整刀刀尖对准千分表表头,前后调整金刚石刀,使千分表指针对准“0”位。此时,修整刀的半径即为我们所需要的砂轮圆弧半径。用此刀即可修整出满足要求的成型砂轮。

为保证所加工柱塞球头正确的轴向位置及一致性,减少每次重修砂轮的繁琐调整,在磨削时,分别在磨床上应用了磨球定位百分表、磨球定位块、修整砂轮定位百分表及修整砂轮定位块等定位措施(参见图 37.1-9)。

首件修磨时,先把修整砂轮定位百分表 6 与修整砂轮定位块 5 接触,调整百分表,使表针对“0”位,然后均匀往复地转动砂轮修整刀 2 的手柄,磨头砂轮 1 作径向进给。这样砂轮修整刀便修整出成型砂轮的圆弧面。但要注意砂轮左右两边外圆也要同时修整。修整要求是,左边外圆部分不能在磨球时接触柱塞颈部,但又要保证球头根部磨削。右边外圆应与柱塞中心线接近或重合(即砂轮圆弧半圆),其修整方法和平面修整砂轮法相同。修整砂轮成型后,通过测量,确定柱塞球头至修整圆弧中心的尺寸  $l_0$ 。通过调整磨球定位百分表 3,使其对磨球定位块 4 的距离同样为  $l_0$ ,也就是首件磨削时,磨球定位百分表指针也在“0”位。磨球头

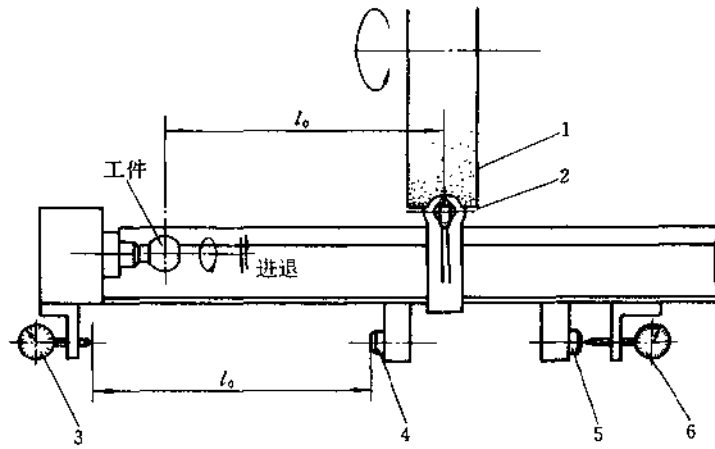


图 37.1-9 砂轮修整刀安装定位图

1—砂轮;2—砂轮修整刀;3—磨球定位百分表;4—磨球定位块;5—修整砂轮定位块;6—修整砂轮定位百分表

时,工件旋转,成型砂轮作径向进给。当检查球的直径满足要求且球头的球面度小于 $0.005\text{mm}$ ,粗糙度达 $0.2$ 时,零件为合格。反之,当粗糙度和球面度不能达到上述要求时,须要重新修整砂轮。这时,只要把工件沿径向退出,工作台左移,使修整砂轮定位百分表对“0”位,即可进行修整,修整完成后,退出砂轮修整刀,向右移动工作台,使磨球定位百分表对“0”位,就可以重新磨削,而不需要进行重新调整。经检验,柱塞球头的轴向位置修磨前后的一致性在 $0.02\text{mm}$ 内,可充分满足工艺要求。

保证球台与球头中心距,可采用同上的方法,所不同的是把基准点取在球头上,而不取在球台上,这样就减少了一个尺寸链测量的误差。磨出的工件完全能满

足两球中心距的要求。磨削球台的方法基本上与磨削球头相同,只是修整出的砂轮略有不同,故不予叙述。

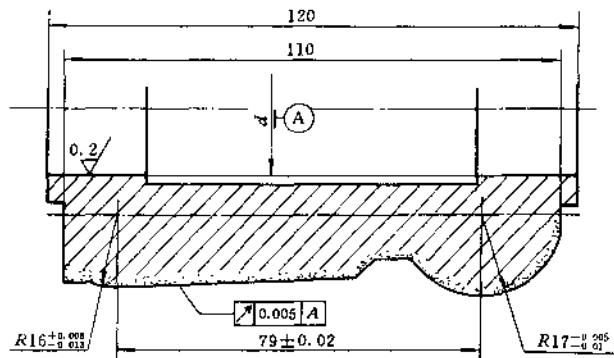
至于锥度磨削,既可以如图 37.1-6 所示修磨成锥度砂轮,也可以调整工作台,使工作台与砂轮轴线成某一角度(这里是 $1^{\circ}55'$ ),磨出锥度。

B. 成型磨削

成型磨削的设备是用通用无心磨床,经过改造加装机械手、料架及托架,使上下料实现了自动化。在对砂轮修整上采用了成型金刚石修整轮,其具体的形状尺寸见图 37.1-10。

为保证金刚石修整轮在工作过程中稳定、可靠,确保修整后砂轮的成形质量,在金刚石修整轮的制造中,应充分保证:

- 内孔自身的圆柱度;



技术要求:表面电镀 $180^{\circ}$ 金刚砂

图 37.1-10 金刚石修整轮

• 内孔与安装轴的配合座采用紧密过渡配合,配合间隙  $0.005 \sim 0.01\text{mm}$ 。

• 修整轮的金刚石镀层应均匀和一致,保证外形与内孔的跳动量小于  $0.02\text{mm}$ 。修整时,修整轮采用步进电机控制,以便在零件磨削中砂轮进给得到同样的补偿,以获得较恒定的切削力,保持零件尺寸的一致性。磨削时的托架,采用两点支撑的方式,在支持点上焊上硬质合金,以保证其使用寿命。

磨削使用的砂轮,推荐使用粒度为  $80^{\#}$  的白刚玉磨料、K 级硬度的树脂粘合剂砂轮。此种砂轮具有较高的强度,能较好地保持砂轮形状,具有良好的自锐性、磨削效率较高、磨削粗糙度可达  $0.4$  以下,球面度可

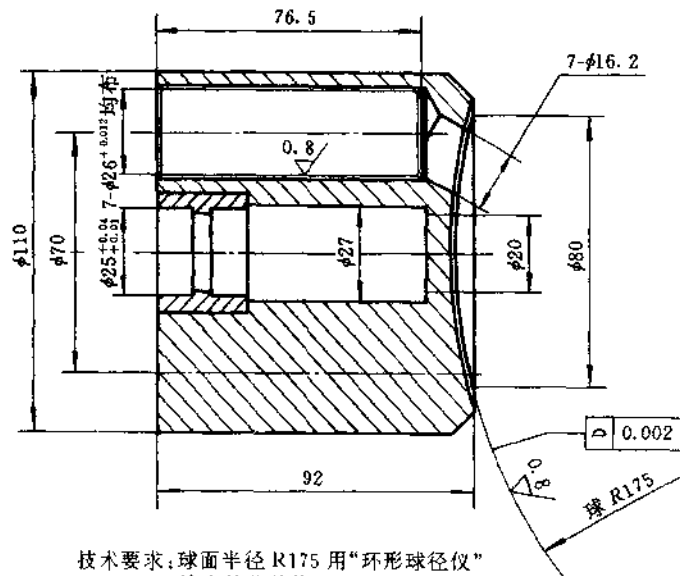
达到图纸要求。

采用成型磨削方法一次可完成全部外圆部分的磨削工作,不仅尺寸精度、几何精度和粗糙度都得到了保证,而且各相关部分,如同心度、中心距也具有相当高的精度。在零件加工方面是无可挑剔的,是很有推广价值的、具有广阔发展前景的精加工手段。

### (3) 柱塞缸

#### A. 柱塞缸体的加工工艺过程

柱塞缸体是柱塞泵的基本零件之一,形式多样。其典型的图例如图 37.1-11 所示。其典型加工工艺流程见表 37.1-3。



技术要求:球面半径 R175 用“环形球径仪”  
检查其公差值为  $0.002$

图 37.1-11 柱塞缸体零件图

表 37.1-3 缸体加工工艺流程

10 序	热处理	正火	100 序	钻孔	钻七个斜孔
20 序	粗车	车外圆及中心孔	110 序	热处理	气体氮化
30 序	粗车	仿形车 R176 球面	120 序	钳	压柱塞铜套及中心轴套
40 序	钻孔	钻七个柱塞孔	130 序	精磨	磨外圆
50 序	热处理	双金属浇铸球面	140 序	相锉	锉七柱塞孔
60 序	半精车	找正双金属层车端面外圆	150 序	精镗	镗七柱塞孔
70 序	精车	调头车端面、基准外圆及中心孔	160 序	精磨	磨 R175 球面
80 序	扩孔	扩七个柱塞孔	170 序	钳	清洗去毛刺
90 序	精车	仿形车 R175 球面	180 序	终检入库	

从图 37.1-11 及表 37.1-3 可以看出,在这种典型柱塞缸体的加工中,有几处难度较大,须特别注意,如 R176 的内球面及  $\phi 26^{+0.012}$  的 7 个柱塞孔,其尺寸精度、表面粗糙度和形位公差的要求均很高,以下分别进行重点介绍。

B. 内球表面的加工——“展成法”磨削球面

R176 的内球面表面粗糙度要求为  $R_a 0.8\mu m$ , 尺寸精度要求为“用环半径测量其允差不超过 0.002 mm”, 其球面度要求为 0.002 mm, 因此具有一定的加工难度。

具体加工中,粗加工一般采取仿形车或数控车进行,在此不加细述。精加工方法中,目前国内外制造商中多采用“展成法”磨削加工球面技术,其优点在于此法加工的球面精度高,球形好,质量稳定,生产效率高。因此,这种方法适合于批量较大,互换性要求较高的生产。而对于小批量生产来说,也有用比较简单的研磨球面的方法,但是生产效率低,互换性差。现对“展成法”磨削球面的几个问题进行介绍如下:

用“展成法”磨削柱塞缸体内球面的结构示意图如图 37.1-12 所示。

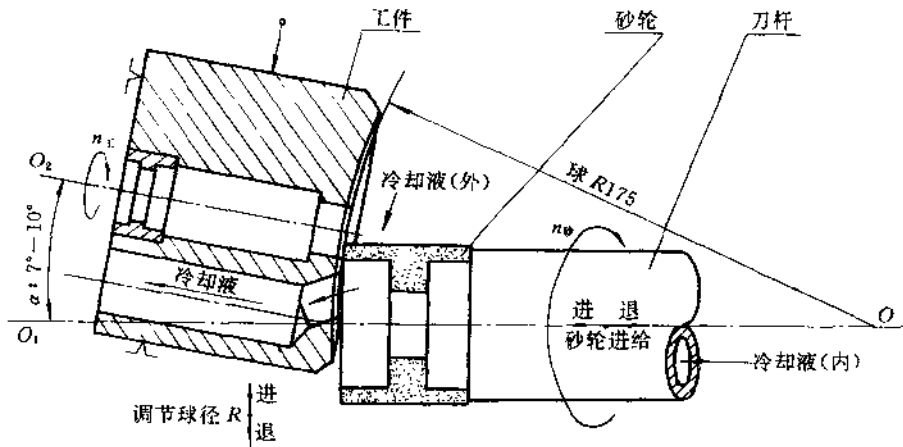


图 37.1-12 “展成法”磨削柱塞缸体内球面

①图中工件旋转轴线  $O_2O$  与砂轮旋转轴线  $O_1O$  相交于  $O$  点,其交角  $\alpha$  取  $7^\circ \sim 10^\circ$  (实际角度可根据工件具体情况选择)。二轴线的不相交度应小于 0.005 mm, 否则将使球面度允差超过设计图纸要求: 0.002 mm。

②球面半径  $R$  的调整比较方便,具体调整量计算示意图如图 37.1-13 所示。图中,当工件沿垂直砂轮

轴线调整位移  $\Delta y$  时,则工件的球面半径  $R$  的变化量为  $\Delta R$ 。

由三角形  $\Delta AO_1O_2$  可得

$$\Delta R = \Delta y / \sin \alpha$$

同样,在反方向调整工件位移  $\Delta y'$  时,其与球面半径的变化量  $\Delta R'$  的关系为

$$\Delta R' = \Delta y' / \sin \alpha$$

由上述计算可知:球面半径调整的公式为

$$R_2 = R_1 \pm \Delta R = R_1 \pm \frac{\Delta y}{\sin \alpha}$$

如此,即可沿砂轮轴线的垂直方向调整工件,从而最终达到所需加工的球面半径  $R$ 。

③“展成法”磨削球面的切削参数选择可参照如下公式进行计算:

砂轮的切削速度  $v_s$

$$v_s = \pi d_s n_s$$

工件的进给速度  $F$

$$F_{\max} = \frac{\pi d_{f\max} n_f}{n_s}$$

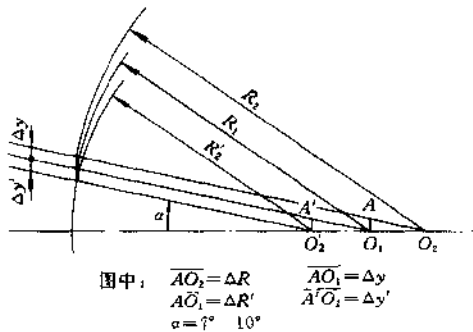


图 37.1-13 球面半径调整示意图

$$F_{\min} = \frac{\pi d_{\text{imin}} n_l}{n_s}$$

式中  $d_s$ ——砂轮直径;  
 $n_s$ ——砂轮转速;  
 $d_l$ ——工件磨削直径;  
 $n_l$ ——工件转速。

磨削深度留量则应根据工件材料及所选砂轮的具体情况选择。需要注意的是为了在切削过程中顺利地排除切屑,达到好的磨削效果,避免破坏工件的表面质量,必须选用性能良好的冷却液。此外,球面的尺寸精度、表面粗糙度和几何精度要求均很高,因此为保证球面的磨削质量,在每磨削一件工件后,必须修整砂轮;同时,为控制砂轮的修整量,应选用带有自动补偿机构的机床。

### C. 柱塞孔的加工

从图 37.1-11 可见,柱塞孔为尺寸精度很高的深孔(孔径要求为  $\phi 26^{+0.012}_0$ ,孔深为 76.5),其表面粗糙度要求也很高达  $R_{a} 0.8 \mu\text{m}$ 。此外,在每一个柱塞缸体零件上都均布着七个或九个同样精度要求的孔,因此必须在一次装夹加工中,保证从第一个孔到最后一个孔的加工均能达到设计图的要求精度,从而保证同一缸体各柱塞孔的一致性,难度是相当高的。

因此,在实际加工中,针对不同的柱塞孔材料,为达到设计要求,精加工柱塞孔的方法也就各不相同。目前比较流行的柱塞孔材料多为黄铜、青铜或高牌号的球墨铸铁,也有用 45 号钢等材料的,但较为少见。

对于质地很软的青铜或黄铜,由于其机械切削性能良好,切削刀具的耐用性也很高,因此通常选用高转速、低走刀量的镗削加工,辅之以高压空气冷却,避免切削下来的铜屑破坏已加工表面,从而达到很高的尺寸精度和表面质量,而且能保证较高的尺寸一致性。

对于球墨铸铁材料,由于其机械切削性能相对较差,切削刀具的耐用性也相对降低,难以用上述镗削加工的方法保证尺寸的一致性。而且在最后精加工之前,往往要对此种柱塞缸体进行表面硬化处理,以增加成品后柱塞孔及内球面的耐磨性,因而其表面硬度往往很高。根据这种情况,目前在实际加工中多采用金刚石砂轮切削加工或再加珩磨的方法,以保证产品的设计精度及批量稳定性。

对于具有一定塑性的材料,目前国际上在最后的精加工中,有采用无切屑的滚压技术的。这种方法一方面能保证大批量生产时的尺寸精度及稳定性、一致性,另一方面也能对需要高耐磨性的柱塞孔表面起到

一定的强化作用。此法要求选用具有一定塑性的材料以及滚压前的工艺精度较高,同时也对加工机床及刀具提出了较高的要求。当然,这种工艺方法的成本也较高,国内企业目前还较少采用。

### (4) 配流盘的加工工艺

柱塞泵配流盘的型式分为平面配流和球面配流两种。前者要求配流盘的平面加工除了应具有很高的尺寸精度及表面质量外,还要具有很高的位置精度,因而对机床的选择及加工定位提出了较高的要求,但是加工基本上在通用机床上即可实现。后者则要求配流盘的球面应具有很高的尺寸精度、表面质量以及几何形状精度,因此除了对机床的精度及加工定位有较高的要求外,还要求具有精加工球面的高效机床设备。以下将着重介绍配流盘的球面加工方法。

球面配流盘的典型结构如图 37.1-14 所示。其典型加工工艺流程见表 37.1-4。

表 37.1-4 球面配流盘的加工工艺流程

10 序	热处理	调质
20 序	粗车	车两端面及外圆
30 序	半精车	车外圆、镗中心孔
40 序	精车	仿形车 R176 球面
50 序	钻孔	钻腰形槽四孔及定位销孔
60 序	铣	铣腰形槽
70 序	铣	铣横向油槽
80 序	粗磨	磨外圆
90 序	粗磨	磨端面
100 序	粗磨	磨 R176 球面
110 序	钳	集中倒棱、去刺、清洗
120 序	热处理	气体氮化
130 序	精磨	磨端面
140 序	钳	压入中心衬套
150 序	精磨	磨中心孔
160 序	精磨	磨外圆
170 序	精磨	磨 R176 球面
180 序	钳	集中清洗
190 序	终检入库	



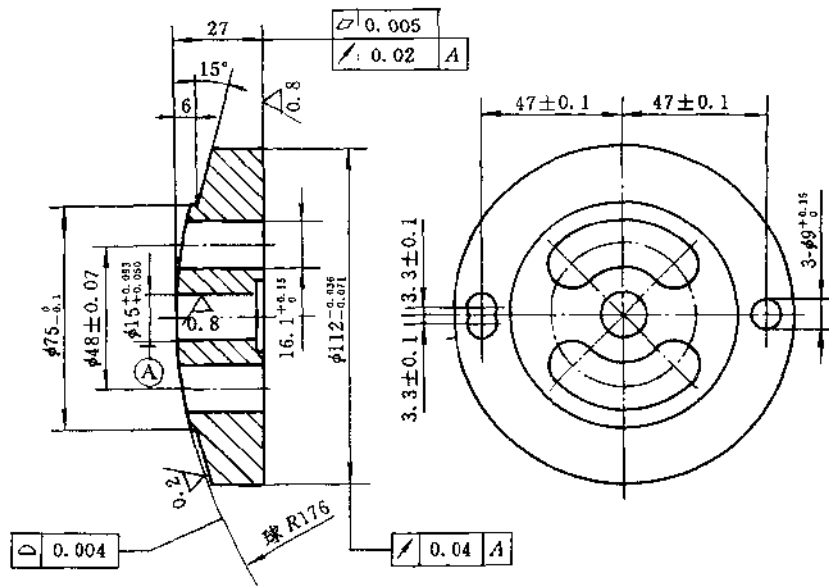


图 37.1-14 配流盘简图

技术要求:球面半径 R176 用“环形球”径仪“检查其公差值为:  $-0.002$

从表 37.1-4 及图 37.1-14 中不难看出,配流盘的加工中具有特色的,同时也是加工难点的工序就是 170 序——用“展成法”磨 R176 球面。下面就针对此序进行简要的介绍。

配流盘的球面精度要求很高,其球面表面粗糙度要求为  $R_a 0.2 \mu m$ ,尺寸精度要求为“用环形球径仪检查其公差值为  $-0.002$ ”,其球面度要求为  $0.004 mm$ ,此

外还有较高的位置公差要求。用“展成法”磨削球面可以在批量生产中保证上述各项要求,同时具有批量稳定性。

“展成法”磨削配流盘球面的原理同前述磨削柱塞缸体内球面的原理完全相同。其在机床上切削原理的结构示意图如图 37.1-15 所示。

图中砂轮旋转轴线  $OO_1$  与工件旋转轴线  $OO_2$  相

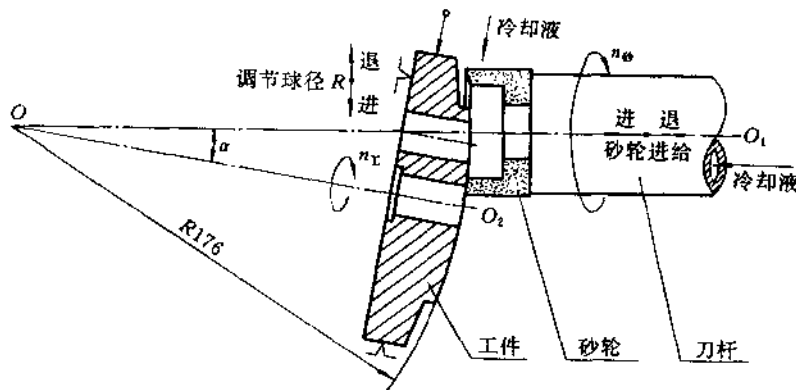


图 37.1-15 “展成法”磨削配流盘外球面

交于 O 点,其不相交度为  $0.005 mm$ ,交角  $\alpha$  取  $8^\circ \sim 10^\circ$ 。(实际角度可根据工件的实际情况选择)此外,球

面半径 R 的调整以及磨削加工中的切削参数的选择均与前述“展成法”磨削柱塞缸体球面相同,不再赘述。

当然,在加工过程中为达到良好的切削效果,还必须注意选择性能良好的冷却液,以及在每磨削完一件工件后,必须重新修整砂轮。

## 37.2 齿轮泵制造工艺

液压齿轮泵是我国目前定量液压泵中使用量最大的液压元件,其中中小排量齿轮泵以三段式浮动轴套结构为主,大中排量齿轮泵以侧板结构为主,本节仅就这两种结构的主要典型零件的工艺进行介绍。

### 37.2.1 对齿轮泵关键零件的技术要求

齿轮泵的排量、额定压力、转速以及效率等性能参数的高低取决于产品结构,其主要关键零件必须达到如下的技术要求。

以三段式浮动轴套结构为例说明,见图 37.2-1。

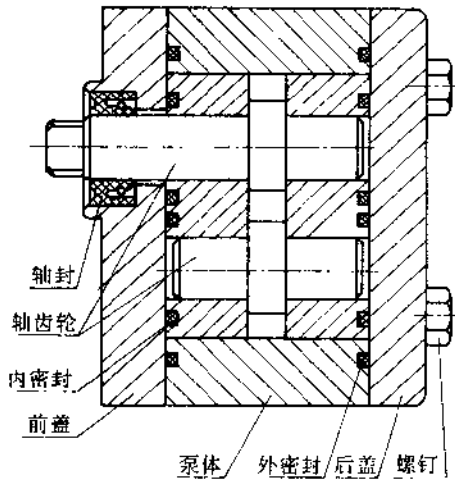


图 37.2-1 三段式浮动轴套结构齿轮泵剖视图

一对相同齿形参数的轴齿轮支承在一对浮动轴套上,齿轮端面和轴套端面配合形成齿轮泵的端面密封,端面泄漏是齿轮泵工作时泄漏的主要形式,一般占总泄漏量的 85% 左右。端面密封是影响齿轮泵容积效率的主要环节。端面密封的好坏取决于浮动轴套的轴向压力平衡设计是否合适以及轴套、齿轮副的制造精度。

一对啮合着的轴齿轮形成了啮合密封,啮合处的高压油向低压侧的泄漏称为啮合泄漏。啮合泄漏占齿轮泵泄漏量的 5% 左右。轴齿轮和轴套制造中凡是影响齿轮啮合精度的都影响啮合密封效果,即影响齿轮泵的容积效率。

齿轮支承在轴套上,轴套支承在泵体内孔中,齿轮顶圆和泵体内孔形成了齿轮泵的径向密封,齿顶弧宽很窄,保持径向密封要求齿顶和泵体内孔表面的间隙很小,通常在  $10\mu\text{m}$  以内,正常大批量生产装配稳定保证这间隙是困难的,为此,制造中先将齿顶和泵体内孔之间的尺寸链设计制成无间隙,然后利用齿轮泵工作时产生径向液压力和齿顶弧上的尖角,将泵体内孔低压侧刮去一部分,此工艺通常称之为“扫膛”。在一定压力下经过扫膛的齿轮齿顶圆弧和泵体内孔之间的径向间隙理论上接近于零,以减少径向泄漏。轴套,齿轮的相关尺寸和制造精度影响“扫膛”效果,从而影响泵的效率。

前后盖,轴套和泵体平面的加工精度,密封圈槽的加工精度都影响外泄漏和容积效率。

齿轮、轴套各动配合表面粗糙度,齿形加工精度影响摩擦力矩,对泵的机械效率有影响。

轴套使用低锡铝合金材料,其合金成分,机械性能热处理及金相组织都要求工艺保证,对轴齿轮也提出相应要求;同时对轴承副配合表面粗糙度,径向配合间隙也要严格控制以保证在额定工况下不烧套,正常工作并能达到设计寿命。一般来讲,轴承寿命(这里即轴套寿命)相当于泵的设计寿命。

三段式浮动轴套结构齿轮泵正常工作是建立在浮动轴套能正常浮动的前提下,以保证轴套端面和齿轮端面可靠贴合密封。假如由前后盖,泵体和联接螺钉所组成的外壳系统的刚度差,在负载情况下变形大,造成卡套,轴套不浮动,齿轮泵就不能正常工作。泵体,前后盖的毛坯质量是决定性影响因素。

### 37.2.2 零件工艺

以三段式浮动轴套结构为例,就几种零件的工艺进行简介。

#### (1) 齿轮(见图 37.2-2)

主要技术要求有齿轮齿形精度;齿轮端面表面粗糙度,平面度,端面跳动;齿顶圆,轴径尺寸精度;两轴颈表面粗糙度和形位精度等内容。

#### A. 齿轮加工过程(见图 37.2-3)

#### B. 中心孔的加工和修磨工序

轴齿轮中心孔作为加工基准和测量基准要求是很高的,在大批量加工中,采用铣端面打中心孔专机加工中心孔,用多棱硬质合金顶尖研磨,多棱强力定位顶尖修整并定位的方法提高中心孔的加工质量和定位质量。在批量不是很大,有条件采用中心孔磨床进行高精度加工则更佳。

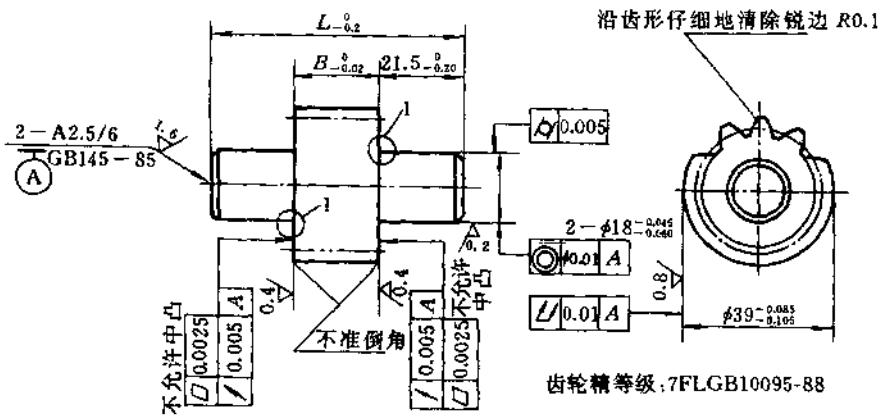


图 37.2-2 齿轮精度要求

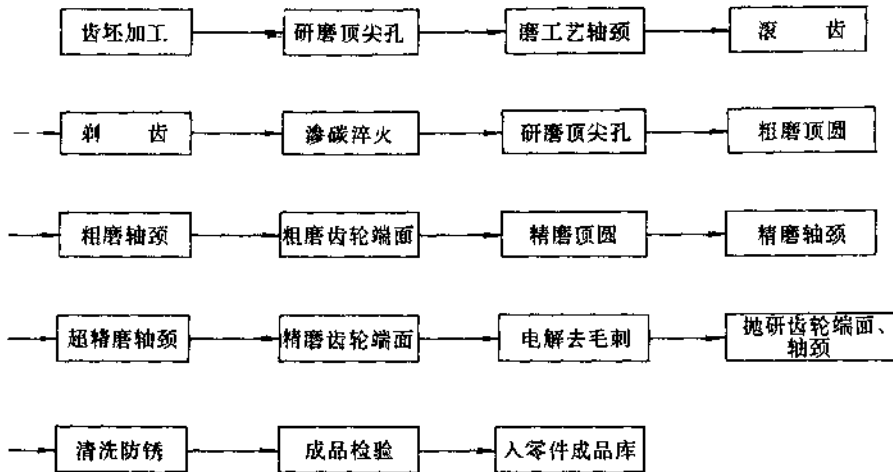


图 37.2-3 齿轮加工流程图

C. 齿形加工及热处理工序

齿轮泵齿形基本上都是渐开线齿形, 并且大多是少齿数齿轮, 目前加工多采用滚——剃——珩工艺以及滚——磨齿工艺。在中小排量泵大批量生产中采用滚——剃——珩工艺为多。在大中排量齿轮泵中采用滚——磨齿工艺较多。采用非对称双模数双压力角齿形加工, 齿轮滚刀是特殊设计的采用滚——磨齿工艺。采用对称大齿高系数瘦长齿形因压力角和齿高系数非标而采用特殊设计的剃前滚刀, 在齿形加工工序中也有特殊的工序尺寸要求, 根据具体情况确定是否采用磨齿工艺。

齿轮泵齿轮啮合接触精度决定啮合密封效果, 影响齿轮泵的容积效率。对噪音要求较高的齿轮泵和齿

轮马达的齿形加工通常采用磨齿, 以提高齿形加工精度, 降低噪声和提高效率。

轴齿轮目前大多采用低碳合金钢渗碳淬火处理工艺, 也有采用优质氮化钢材料的。作为啮合齿轮, 表面渗碳淬火处理在要求上和作为支承的轴的热处理可有某些不同。

齿轮泵主动齿轮长径比较大, 采用普通渗碳淬火工艺和装备有时产生较大的淬火变形, 热处理后校正产生内应力, 在一段时间后还会恢复部分变形, 改变齿形精度, 恶化齿轮啮合状况和轴、轴承内孔配合的负荷比压, 为减少热处理淬火变形, 提高热处理质量稳定性, 宜采用带可控气氛渗碳或多元共渗工艺及设备。

D. 齿轮端面及轴径精加工, 精整工序

这一工序段是齿轮加工过程中的关键工序段,齿轮轴颈表面粗糙度、精度要求通过精磨,超精磨来实现,有条件的还采用气动振动珩研工艺,也有采用手工抛研方式降低轴颈靠端面部分和端面的表面粗糙度。在实际使用中,轴齿轮在径向液压力的作用下有挠度变形,靠齿轮端面的轴颈部分承受更大的局部比压,降低表面粗糙度或在轴颈有效支承部分做成直径差 $10\sim 15\mu\text{m}$ 的腰鼓形,有利于改善支承比压分布状况。有利于提高齿轮泵的工作压力。尤其是对采用低锡铝合金轴承材料轴套结构,减少了摩擦热,不使轴承材料产生非正常过热使泵失效。实践表明大部分的烧套都是由表面质量差引起的。

齿轮端面加工质量影响容积效率,目前端面加工主要采用①专用高精度磨床,②切入式端面磨床,③万能外圆磨床改造而成的专用端面磨床来加工。从国外购进的切入式端面磨床带自动测量装置,自动化程度高,加工精度亦较好。但购置费用投入大,一般的端面磨床在表面粗糙度上大批量生产不稳定。在高精度万能外圆磨床上进行适当改造而成的专用齿轮泵端面磨床,改造成本低,加工质量相当一般高精度端面磨床。

使用效果良好。

齿轮去毛刺是齿轮泵加工工艺中的一种特殊工艺要求,齿轮泵由于有端面密封和径向密封(“扫膛”密封)的功能要求,不同于一般的齿轮去毛刺,齿轮端面不允许有毛刺,齿轮齿廓要求有锐边、圆滑但无毛刺,在目前的加工手段中,有手工去毛刺,振动光饰去毛刺,电解去毛刺等,综合比较,电解法对齿廓局部去毛刺最适合,有明显的技术优势,生产效率高,适于大批量生产。

端面磨床加工后的表面粗糙度还希望再降低,电解去毛刺后在齿轮端面齿廓上留有 $0.1\sim 0.2\text{mm}$ 宽度的表面痕迹,目前通过端面研磨的方法来处理,有手工研磨,专用抛光轮抛研,专用带磨料的尼龙刷抛研,以进一步提高内轮端面质量。

#### (2) 泵体(见图 37.2-4)

泵体加工的主要技术要求是:两内孔的尺寸精度、两内孔轴线的位置精度、平行度、两平面对内孔轴线的垂直度、两平面的平行度、两平面和两内孔的表面粗糙度、外密封圆槽的槽深精度等。泵体的材质和热处理要求不在此介绍。

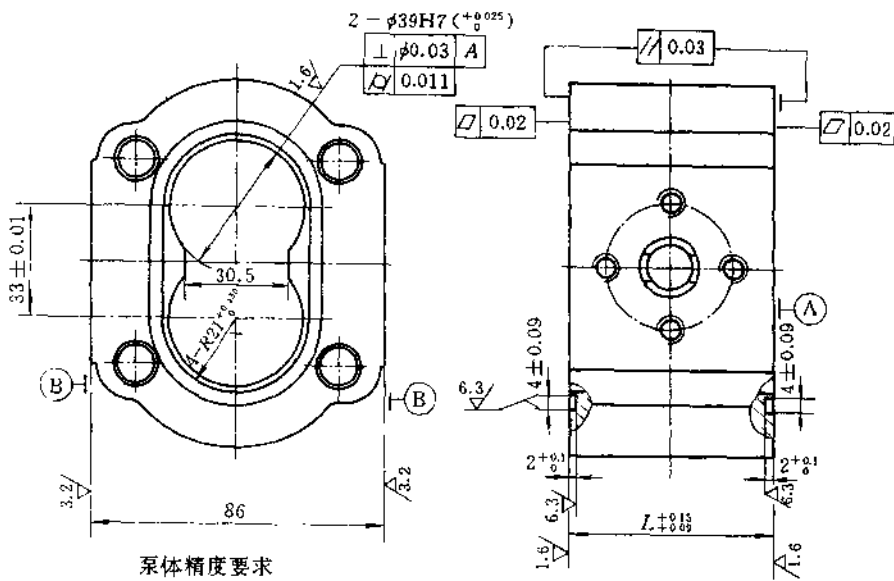


图 37.2-4 泵体精度要求

A. 泵体加工过程(见图 37.2-5)

B. 泵体内孔加工

三段式浮动轴套结构泵体内孔作为浮动轴套的支撑面,首先要求内孔有一定的表面粗糙度,轴套支撑在

泵体内孔也存在泵体内的高压腔油通过轴套外圆向低压腔泄漏的可能,这要求泵体两孔的形状精度,圆柱度要好,两轴线间的平行度及两轴线与前后盖结合平面的垂直度也要好。

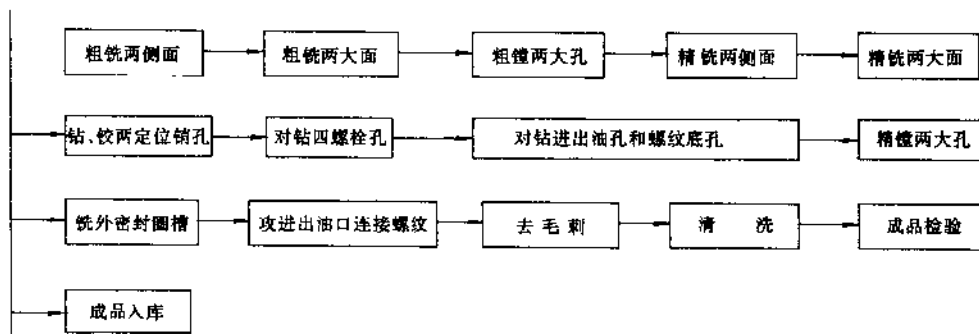


图 37.2-5 泵体加工过程

在内孔加工工序中,目前,除采用加工中心外,大多采用金刚镗头或静压镗头加位移数显装置来实现。静压镗头或高精度刚性镗头保证孔加工精度,而两孔的位置精度则通过单坐标数显装置来保证,制造成本低,加工精度稳定,有条件采用数控镗床或高精度机械定位专用镗床也可实现泵体内孔加工技术要求。

除采用轴套结构以外,还有,前轴承在前盖上,后轴承在泵体内的齿轮泵二段式侧板结构,泵体和前盖之间大多采用定位销联接以保证前后轴承孔的同轴度。也有用定位止口定位的,定位刚度比定位销好,加

工不如定位销易实现。同样,侧板结构两定位销孔和泵体内孔轴线距离一般也不大,多轴加工的质量稳定性不好,且适应性差,国内只有个别企业使用国外进口的四轴镗床,多数采用数控镗床或加工中心来实现泵体的高位置精度多孔加工。比较两种结构的泵体和前后盖,不难看出,轴套结构的加工工艺性相对要好些,这或许是目前大量使用的中小排量齿轮泵多数为轴套结构的原因,随着数控机床和加工中心的普及,加工技术的提高,侧板结构有扩大应用的趋势。

(3) 轴套(侧板)(见图 37.2-6)

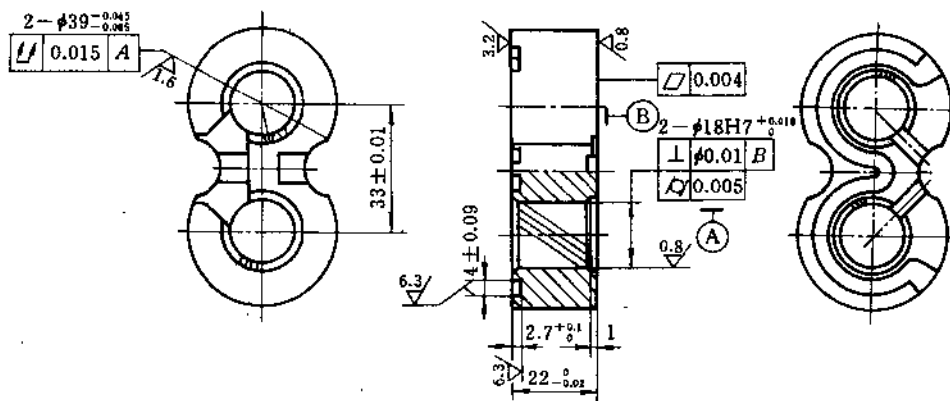


图 37.2-6 轴套精度要求简图

加工的主要技术要求是两孔中心距的位置精度,两孔的尺寸精度,形状精度,表面粗糙度,两孔中心轴线的平行度,对端面的垂直度;和齿轮贴合平面的平面度,表面粗糙度,采用压配 DU 轴承的轴套内孔轴线对端面的垂直度,密封圈槽的槽深精度等。轴套材料及其热处理要求不在此介绍。

A. 轴套加工过程(见图 37.2-7)

B. 轴套平面加工

轴套和齿轮贴合平面要求平面度好,表面粗糙度要求低,目前多数为最终平面研磨,鉴于轴套不是完整圆柱而是眼镜套式的,采用机械研磨保证平面度有一定难度。随着国内齿轮泵产量的不断增加,为提高效率近年有采用平面磨床加工取代研磨的,只降低表面粗糙度,在批量生产中,经验证和台架寿命考核,能达

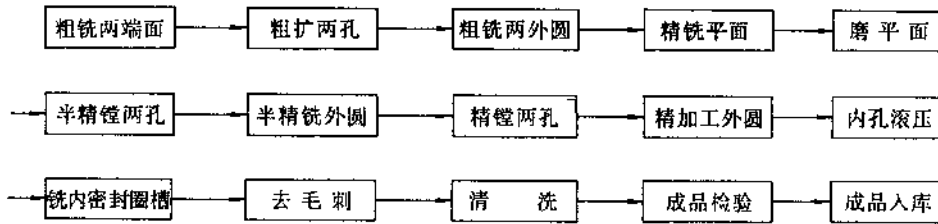


图 37.2-7 轴套加工流程图

到产品性能要求。

### C. 轴套孔加工

轴套有合体式 and 整体式两种,合体式是在轴套孔内压入 DU 轴承或双金属轴承,这里只介绍整体式轴套,采用低锡铝合金轴承材料,不加 DU 轴承或双金属轴承的一种。

轴套两孔的加工,通常采用精镗后滚压的工艺。

轴套两孔的位置精度要求很高,其误差直接影响两齿轮轴线的平行度,影响齿轮啮合精度,影响泵的效率。

加工轴套两孔可采用:①精密双轴镗,(采用高精度滚动轴承或滑动轴承),②单轴刚性镗,单轴静压镗头另装数显装置,或精密机械定位装置保证中心距位置精度。轴套两孔加工由于位置精度高,加工方法同批量大小密切相关。如某厂轴套结构中小排量齿轮泵,单一系列年产量已达 20 万台以上,单月产量超过 2.5 万台,可见采用静压镗头双工位,用数显装置保证孔距位置精度的方案,是经济可行的,采用数控镗床或加工中心来加工轴套两孔,对于多品种和小批量生产具有明显的技术优势。

### D. 轴套的外圆加工

整体式浮动轴套的外圆加工是比较特殊的加工类型,外圆尺寸、表面粗糙度、外圆对孔轴线的全跳动要求都很高,外圆尺寸的相对误差,对轴线的全跳动都直接影响装配后齿轮两轴线的平行度,影响轴套端面和齿轮端面的贴合状况和端面密封效果。轴套的外圆加工目前有:

**插削加工** 最早使用,劳动生产率低。

**旋风铣削加工** 目前应用比较广泛,粗精加工都可以,在普通车床,铣床上增添工装都可以方便地实现。对不同材料,不同结构的轴套(包括侧板)的适应性都较好。采用专门设计铣削轴套外圆的旋风铣专机可以采用多轴多工位集中加工,一人多机,效率高。

**拉削** 是一种高效生产工艺,但在加工精度上尚无明显的技术优势。

**轴套外圆刮削** 是针对低锡铝合金材料硬度较低,易于加工的特点,结合轴套是由两个不完整圆组成的特定条件所采用的加工工艺。作为最终加工,能保证质量和精度稳定是其优势,在尺寸精度全跳动,形状精度和表面粗糙度等几方面都优于其它几种工艺方法,不足之处是刮削机具手工操作,劳动强度较大,有待改进。

### E. 内密封圈槽加工

轴套内密封圈槽目前多采用立体刻模铣进行仿形加工,对密封圈几何形状的适应性强,生产效率也较高。也有采用数控铣床或是平面仿形铣专机加工的,但采用立体刻模铣是最经济和高效的。

### 37.2.3 特殊加工刀具

#### 脉冲滚压头(见图 37.2-8)

用于轴套内孔加工的脉冲滚压头是一种多滚针、刚性,不可调冲击式滚压头。心轴用轴承钢制造,在圆柱面上有对称或不对称平面。心轴套有装插滚针的保持架,当保持架插入轴套内孔,心轴转动时在转动中滚针由平面越过心轴的外圆凸起部分切入加工表面,产生短促冲击,形成脉冲式滚压,可修整孔形,降低表面粗糙度,具有较高的效率和耐用度。

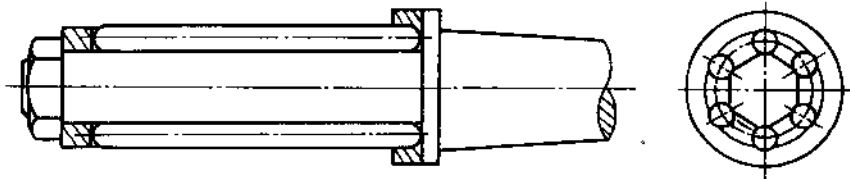


图 37.2-8 脉冲滚压头结构简图

### 37.2.4 特殊加工工艺

#### (1) 齿轮电解去毛刺工装(见图 37.2-9)

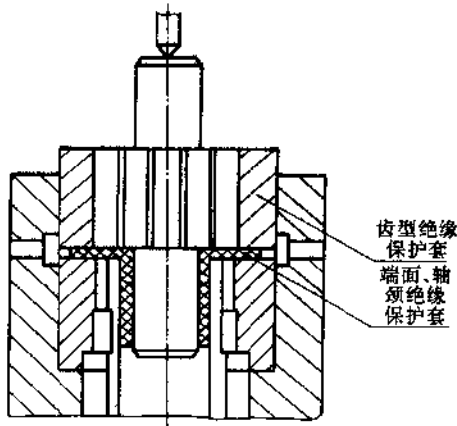


图 37.2-9 齿轮电解去毛刺工装图

电解加工是利用金属在电解液中可以发生阳极溶解的原理将零件成形的。齿轮电解去毛刺是利用齿轮作为阳极,齿廓尖角处电力线较集中,电流密度大,溶解快而使毛刺去掉,尖角锐边变成圆钝角,见图 37.2-2,齿轮连接直流电源的正极称为阳极,通过齿形绝缘保护套,端面绝缘保护套,轴颈绝缘保护套,将齿廓端面和齿宽方向露出 0.1mm 左右,并与阴极之间形成一定间隙,电解液以一定速度从两极之间的间隙中流过,使两极之间形成导电通路,并在电源电压作用下产生电流,于是齿廓露出部分的尖角,锐边和毛刺将不断产生电化学反应而溶解在电解液中,形成 R0.1mm 左右的圆钝角,从而达到去毛刺倒钝的效果。

#### (2) 轴套外圆刮削装置(见图 37.2-10)

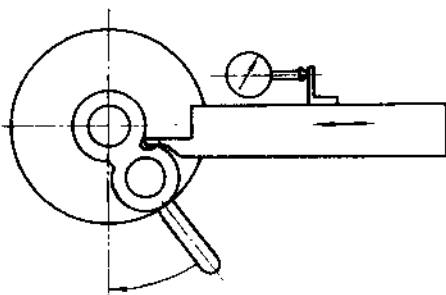


图 37.2-10 轴套外圆刮削装置结构简图

轴套内孔经过精加工后,稳定地套在一带锥度的回转心轴上(心轴有较好的回转精度和支撑刚度),并

作方向上的固定,转动手柄将轴套移到起始位置,移动平面刮刀到轴套中部低于加工圆弧直径尺寸的凹处,转动手柄使轴套外圆通过刮刀的切削刃刮去一层金属,每次 0.01mm 左右,在刮刀切削到轴套另一侧中部凹处时,移动刮刀离开加工表面,转动手柄使轴套回复到起始位置,再移动刮刀低于加工表面,通过固定在刀架上的百分表可以直观看出进刀量,从而得知外圆加工尺寸。这样几次往复移动刮刀和转动手柄就可以完成刮削加工进程,经过刃磨和研磨的硬质合金平面刮刀的刃口容易保证平面度和刀刃后角,从而保证加工轴套外圆的表面粗糙度,调整平面刮刀的倾角即调整了刃口和回转心轴轴线的平行度,从而保证加工轴套外圆的圆柱度和对轴套内孔轴线的全跳动。

### 37.2.5 工艺方向展望

随着国内齿轮泵的需求量不断增加,生产规模的逐步扩大,制造技术也将不断提高。在技术先进性,合理性,经济性等诸方面将综合考虑,试就齿轮泵制造技术展望如下:

#### (1) 毛坯成型

##### A. 齿轮毛坯

齿轮泵齿轮毛坯,目前仍以模锻为主,国内已有的磨擦焊在技术适应性上将不断成熟。在焊接质量检测可行的前提下会扩大使用,现在多联泵,中高压齿轮泵上已批量应用。采用楔横轧技术滚轧齿轮毛坯已进行过尝试,近年来,国内楔横轧技术不断提高,齿轮泵的产量也在扩大,品种,规格相对集中,采用楔横轧技术专业生产提供齿轮泵轴齿轮毛坯的经济性更加有吸引力。

##### B. 轴套毛坯

中高压,高压齿轮泵上加 DU 轴承的轴套毛坯将大多采用压铸,少、无切削来提高材料利用率。由专业铸造厂提供压铸轴套毛坯的可行性增大。低锡铝合金整体轴套采用压铸工艺国内外尚未见报道。

采用挤压铸造加工轴套毛坯也是有吸引力的,同样可以达到少、无切削,提高材料利用率的目的。

##### C. 泵体毛坯

中小排量齿轮泵泵体仍以铝合金为主,目前以金属模铸造的为多数,也有采用挤压铸造和拉延铝型材的,大中排量齿轮泵采用高强度合金铸铁和球墨铸铁为多,也有少数采用挤压铸造,金属模铸造或挤压铝合金型材的。中小排量高压齿轮泵采用高强度铝合金挤压型材在国内已具备专业厂批量供货条件,大中排量两段式结构齿轮泵泵体采用挤压铸造也取得了进展,

材质的机械性能有较大提高(主要是抗拉强度和延伸率指标),中小排量铝泵体采用低压铸造提高铸件质量也是方向。铸造金属模采用水冷结构,以适应大批量生产降低模温,调整和改善顺序凝固效果,可提高铸件质量。

#### (2) 齿轮加工

齿轮加工在提高效率方面主要采用高速滚齿和高速插齿,非对称齿形有采用硬齿面滚削代替磨齿提高生产率的尝试,在提高齿形加工精度上近期不会有大的需求刺激,在提高齿轮端面和轴颈加工精度方面主要在最后精整工序还会出现新的工艺装备,电解去毛刺,振动光饰,气动振动珩研轴颈,专用齿轮端面抛研盘套等将扩大使用。

#### (3) 泵体加工

大批量生产的中小排量齿轮泵泵体将普遍采用专机流水线,大中排量泵体加工使用加工中心将变得愈加广泛。

泵体内孔和平面进行拉削加工,随着批量规模的扩大将会受到重视。

#### (4) 轴套加工

整体式浮动轴套加工在工艺上不会有大的突破,主要在提高加工机床的精度和稳定性方面做工作,轴

套外圆、平面、内孔采用拉削加工,将会受到重视并将取得进展。

#### (5) 装配试验

装配前的零件去毛刺,清洗将进一步得到强化,净化装配已是基本要求,装配和试验全过程的清洁度控制将提高水平,试验设备的控制,试验数据的采集,运算,打印采用微机管理将得到推广。

#### (6) 检测和计量

齿轮泵的产品工序检验和零件成品检验将广泛使用专用量仪,如轴套内孔,泵体内孔的专用气动量仪等。齿形精度测量将会受到重视。铝合金零件的化学成分和组织形态,机械性能的控制和检验将进一步强化,以保证产品的性能和可靠性。

### 37.3 叶片泵工艺

随着叶片泵工作压力的不断提高,各种高性能叶片泵相继被研制出来,代表性的产品有子母式叶片泵、柱销式叶片泵、双叶片式叶片泵、阶梯式叶片泵等,其中柱销式叶片泵加工工艺最复杂,且能包括其它各种泵的加工工艺,故以柱销式叶片泵(见图 37.3-1)为主介绍其关键零件的加工工艺过程。

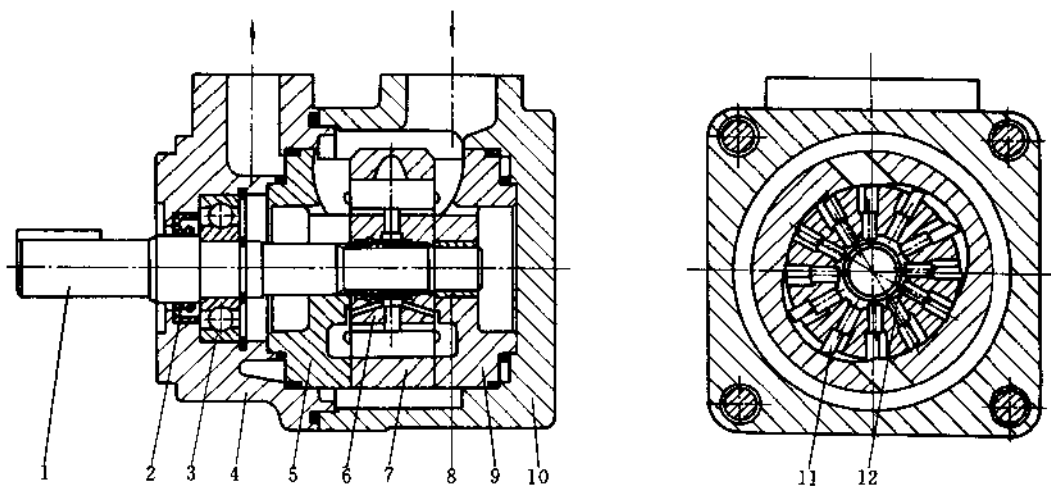


图 37.3-1 柱销式叶片泵结构

1-轴;2-油封;3-滚动轴承;4-前泵盖;5-出口侧配流盘;6-转子;  
7-定子;8-滑动轴承;9-进口侧配流盘;10-后泵盖;11-叶片;12-柱销

#### 37.3.1 叶片泵对关键零件的技术要求

叶片泵主要由转子、定子、叶片、配流盘、壳体和轴

等零件组成。与其它容积式泵一样,叶片泵也是借助一个封闭容积的变化来实现吸油和压油的。在叶片泵



中, 这个封闭容积是由定子内表面、转子外表面、装在转子叶片槽中的两相邻叶片和两侧的配流盘端面所形成。为了满足叶片泵各项性能参数, 保证其正常工作在结构上必须满足下列条件:

- 叶片随转子转动的同时, 应能在转子叶片槽内灵活移动, 无卡阻现象, 使叶片伸出转子外圆的长度可以随定子的内曲线的变化而改变, 形成吸油腔和压油腔密封容积大小的变化, 以实现吸油和排油。

- 叶片顶部与定子内表面紧密接触, 沿定子内表面滑行不发生脱空, 以形成密封的工作容积。

- 各相对滑动运动表面, 包括叶片与转子叶片槽之间, 转子端面、定子端面及叶片端面与两侧板(配流盘)之间要有可靠的密封, 限制压油腔与吸油腔之间的泄漏。

- 相邻两叶片间的密封容积在吸油区逐渐扩大到最大时, 首先应与吸油腔切断, 然后迅速转移到压油腔, 以防压油腔与吸油腔直接沟通, 要求配流盘吸、排油窗口之间沿圆周的间隙应等于或稍大于相邻两叶片之间的间隔。

从叶片泵正常工作的条件和其工作原理可以看出, 叶片泵产品性能和正常工作主要取决于内脏件封闭容积密封的可靠程度, 而这是由组成该封闭容积的转子、定子、叶片和配流盘所加工的几何形位精度来保证的。故对叶片泵的设计和生来来说, 重点及关键应放在转子、定子、叶片和配流盘的加工上。

### 37.3.2 零件工艺

#### (1) 转子(见图 37.3-2)

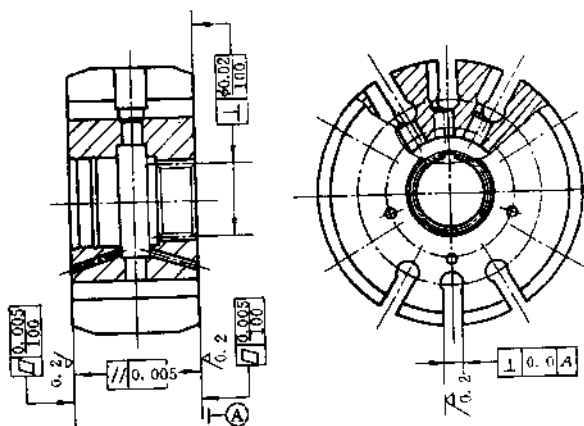


图 37.3-2 转子零件图

A. 转子加工过程(见表 37.3-1)

B. 叶片槽加工

转子叶片槽的加工, 目前国内一般都采用粗加工-铣、精加工-磨的方式来完成。在进行叶片槽铣削时, 首先应保证槽与两端面的垂直度要求, 必须以工序 4 加工出的基准面作定位, 插入定位芯轴进行加工。同时为了精加工时砂轮不出现根切现象, 提高转子各牙瓣的抗弯强度, 要求叶片槽与其底孔必须对中, 这就需要采用工序 7 预先钻铰出的底孔作基准, 实现铣槽时夹具的分度与钻底孔时间同步, 从而保证槽与底孔的中心同一。热处理前的铣槽工序除了使用专用夹具定位, 保证各项形位公差要求以外, 还要充分考虑热处理之后零件的变形、后序加工使用的刀具等因素, 给磨槽时留下合适的加工余量。磨后留黑皮绝不允许, 同时又要在砂轮允许的磨削范围之内。叶片槽的精加工一般都采用磨叶片槽专用设备, 传统的工艺采用树脂结合剂刚玉砂轮, 径向进给吃刀的方式。由于每台转子叶片槽数在 8~12 之间, 同一台转子要求各槽尺寸尽可能一致, 这就要求所使用的砂轮耐磨性好, 尺寸稳定。磨槽时如何保证槽的平行度、平面度及与端面的垂直度要求, 是关系到整台叶片泵质量的关键, 槽与端面的垂直度靠工序 18 精磨后的端面作定位基准来保证, 而槽的平行度和平面度主要靠砂轮来保证。首先是砂轮材质的选用、砂轮的修整质量和砂轮的动、静平衡调整水平。对于薄片大直径砂轮, 其刚性较差, 修整特别困难, 且保持性不好, 修整时间往往超过砂轮使用寿命的四分之一。目前所采用的砂轮材料为树脂结合剂刚玉砂轮, 由于其强度高、弹性大, 一般多用于高速磨削、切割和开槽, 但树脂砂轮耐热性差, 磨削表面温度达到 200~300℃ 时, 结合剂的粘合能力显著下降, 砂轮表面磨粒易脱落, 砂轮损耗较大。对于叶片槽这样的加工部位, 由于它属于成型磨削, 磨削余量较大, 且冷却效果不好, 热处理淬火后槽会出现变形, 弹性大的树脂砂轮易随变形后的槽形面切削, 达不到所要求的平行度和平面度。较大的磨削热量导致砂轮脱粒严重, 砂轮尺寸保持性差, 严重制约着工效的提高, 所以树脂砂轮一般使用于中、低压泵的加工中。砂轮线速度为 60~70m/s 磨削余量小于 0.2mm, 径向进给速度为 1.5m/min。近几年来, 一种高硬磨料砂轮逐渐被广泛使用, 它就是立方氮化硼(CBN)砂轮, 这种砂轮耐磨性好, 摩擦系数小, 热稳定性好及对铁元素的化学惰性高, 很适宜于磨削既硬又韧的淬火钢。经过修磨后的 CBN 砂轮, 尺寸保持性很好, 一次修磨可以连续加工 1~2 万件, 克服了树脂砂轮的缺陷, 成为新一代高效磨轮。这种砂轮的磨削线速度可达 100~120m/s, 切削

表 37.3-1 转子加工过程

序号	工序名称	加工内容	加工设备	专用工艺装备	备注
1	热处理	材料正火			
2	车	粗车端面及外圆, 钻孔	六角车床		
3	车	精车端面及外圆, 扩孔, 倒角	数控车床		
4	车	精车另一端面, 搪、铰孔, 倒角	数控车床		
5	拉	拉内孔花键	拉床	拉具拉刀	
6	磨	粗磨端面(以车削时基准面定位)	平面磨床		保证两端面的平行, 为后序加工提供良好的定位基准。
7	钻	钻、铰定位孔	钻床	钻具	为径向柱销孔的加工及两端面轴向孔的加工提供统一的定位基准。
8	钻	钻、铰、铰 12 个径向孔	专机或加工中心	钻具	
9	钻	钻叶片槽底孔	多轴钻床	钻具	
10	钻	钻两端面斜孔	钻床	钻具	
11	铣	铣叶片槽	卧式铣床	铣具	
12	去刺	去除各处锐棱毛刺			
13	热处理	渗碳淬火			
14	抛光	振动抛光去毛刺	抛光机		
15	铰	铰柱销孔	珩磨机 PHM-3 或专机	CBN 铰刀	
16	磨	粗磨两端面	平面磨床		
17	磨	磨内孔	内圆磨床		
18	磨	精磨两端面	双端面磨床 KVD -300S	CBN 砂轮	
19	磨	磨叶片槽	转子槽磨床 NSG -74ST	磨具 CBN 砂轮	
20	精整 清洗	退磁、清洗、防锈	清洗机		

余量 0.3~0.5mm, 进给速度 5m/min。其次是砂轮相对于工件的运动方式。砂轮沿转子径向进给完成叶片槽的磨削是国内目前普遍采用的一种加工方式。如图 37.3-3(a) 所示。由于砂轮动作简单, 机床制造比较

容易且易达到精度要求, 而且这种单一的进给运动缩短了加工时间, 提高了工作效率, 多年来仍被广泛使用。随着叶片泵向高压大排量方向发展, 对叶片槽的加工质量要求愈来愈高, 而且转子轴向尺寸越来越大,

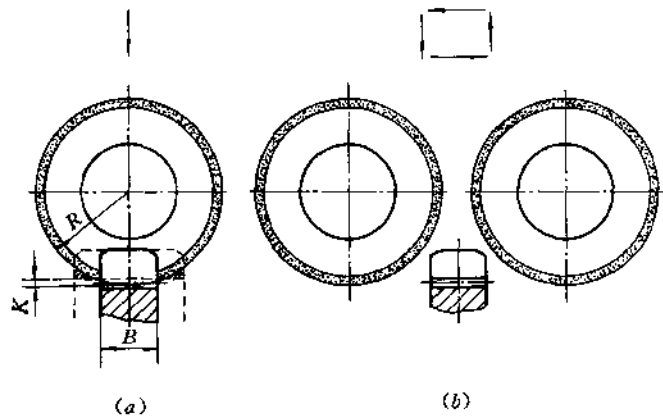


图 37.3-3 砂轮相对工件的进给方式

采用传统的磨削方式和普通砂轮已满足不了工艺要求。根据叶片泵设计原理,一种规格的转子对应着一系列排量不同的定子内曲线,不同的内曲线对应着不同的叶片升程。从叶片的受力状况来看,叶片升程不得超出其全长(沿转子径向)的三分之一,所以增大泵的排量就必须增加转子厚度。采用传统磨削方式,由于受砂轮直径的限制,同时保证砂轮外缘不碰到叶片槽底孔,必须保证

$$(R - K)^2 + (B/2)^2 < R^2$$

即

$$R > \frac{K^2 + (B/2)^2}{2K}$$

其中  $B$  为转子厚度,  $R$  为砂轮半径,  $K$  为与叶片厚度  $t$  和叶片槽底孔  $d$  有关的常数,在  $B$ 、 $t$ 、 $d$  确定的情况下,若  $R$  小于上式要求则在靠近转子两端面下部出现两处磨不到的三角[图 37.3-3a 中阴影部分];  $R$  太大对砂轮的刚度及动平衡影响较大。这种磨削方式其磨痕为圆弧渐进型,若砂轮刚性不好,极易出现喇叭型槽,对叶片滑动产生不利影响。随着数控技术和计算机的广泛使用,机床制造精度及加工系统刚性的不断提高,一种新型磨削方式被应用到叶片槽的加工中,如图 37.3-3(b)所示。砂轮沿转子槽方向作轴向移动来实现磨削运动。在砂轮不出现根切的情况下,采用较小直径的砂轮就可以保证整个槽面上尺寸一致,使加工表面质量得以改善。同时采用 CBN 砂轮可以实现强力磨削,对淬火前的铣削留量和淬火后槽的变形要求不高,杜绝了磨后留黑皮现象,大大降低了废品发生率,提高了加工效率。

### C. 柱销孔加工

柱销孔是转子上另一关键加工部位,它与柱销的精确配合是保证柱销叶片泵质量的重要环节之一,要求二者既能相对灵活滑动,又能保持良好的密封,因此,要求表面粗糙度  $R_a$  值小于  $0.4\mu\text{m}$ ,尺寸误差和几何形状偏差控制在几微米以内。由于孔径很小,在工艺上有一定难度。国内目前采用的加工方式为钻-扩-铰孔,热处理后挤压或珩孔,加工设备有专机和加工中心等。柱销式叶片泵的结构比较特殊,柱销孔中心线与叶片槽对称中心线有一偏移量,叶片背面有一个使其上下油压相同而设置的偏心孔,其中心线与柱销孔中心线亦有一偏移量,这样,加工径向孔所需刀具数量达五把以上,采用先进的加工中心也由于刀具更换频繁,工件旋转圈数过多,加工效率很低。利用专机加工,每个动力头安装一种刀具,按工步顺序依次沿圆周方向分开,分两组对称布置,工件旋转不到一圈,即可将所有径向孔加工完成,提高工作效率 5~6 倍。在热处理前的加工中,除了保证设计图纸所要求的尺寸位置以外,更重要的一点就是要考虑淬火后柱销孔的加工所采用的刀具和方式。在国内,对于  $\phi 5$  以下小孔的精加工,比较成熟且相对稳定的工艺是挤压加工和 CBN 铰刀珩孔。挤压加工所采用的工具为一个硬质合金制成的钢球,通过压杆将球从孔中挤出。挤压加工对挤前孔的形状要求很严,挤压留量的大小直接影响孔的表面质量。由于热处理淬火后孔的变形,留量过少,孔有挤不到的地方,消除不了变形量,达不到图纸要求;若留量过大,挤压力增大,很细的压杆难以承受,常出现弯曲折断和球卡在孔中等现象,还会有挤后出现鳞片的现象,所以选择合适的挤压余量将是这种加工方式的关键。一般情况下,热处理前的粗挤压

为  $\phi 5^{+0.012}_0$ , 热处理后孔径收缩至  $\phi 5^{+0.003}_0$ , 精挤压至  $\phi 5^{+0.008}_0$ 。挤压是通过球与孔的强力摩擦达到孔所要求的尺寸及形状要求的, 淬火后孔表面硬度高达  $HRC62 \pm 1$ , 所以球的磨耗较大, 而且球的价格昂贵, 国内目前还不具备生产能力, 必须依赖进口, 成为挤压孔加工的难点。由于是多孔一球, 从外圆方向压入内孔, 第二孔还要取出球放入孔中再行挤压, 工作效率很低, 制约着生产批量的增加。目前上海液压件厂采用这种加工方式。采用 CBN 铰刀珩磨柱销孔是榆次液压件厂在引进意大利 Atos 柱销式叶片泵技术后进行国产化和一系列的技术攻关后确定采用的一种加工方式, 它由一些尺寸固定的刀具组成, 每组 3~5 把, 按粒度分为粗铰、半精铰和精铰。基于 CBN 铰刀加工机理, 机床-刀具-工件-夹具加工系统必须有一个采用浮动环节。机床、夹具实现浮动比较困难, 一般都在刀具或工件上实现。

(A) 将刀具夹持在卧式珩磨机卡头上, 人手把持工件以实现浮动是一种最简单的方式, 依靠人手对切削力的感觉来确定刀具数量, 且不用装卡工件, 工效很

高。但工人劳动强度大, 自始至终保持同一水平相当困难。

(B) 将工件装卡于夹具上, 刀具装卡于浮动铰刀架上, 铰刀架装于机床主轴, 实现工件固定, 刀具浮动, 这种方式易于实现自动化, 工件自动分度, 刀具自动升降, 工效较高, 减轻了工人劳动强度, 但整个加工系统结构复杂, 对热处理前孔的加工精度和精整去毛刺有较高要求, 几把刀具逐孔加工仍是这种加工方式的较大缺陷, 工作效率仍很低。

(C) 专用机床是为珩磨柱销孔而专门设计的加工设备, 其设计原理与钻孔专机相同, 不同点在于工件处于浮动状态。对于三把刀一组的加工方式沿圆周方向布置三组, 工件仅需旋转  $180^\circ$  即可将全部柱销孔加工完毕, 大大提高了工作效率。CBN 铰刀粗铰、半精铰粒度为 120~180 目, 切削余量为 0.01~0.02mm, 精铰粒度为 240 目, 切削余量为 0.005~0.01mm, 刀具转速为 350~500rpm。

(2) 定子(见图 37.3-4)

A. 定子加工过程(见表 37.3-2)

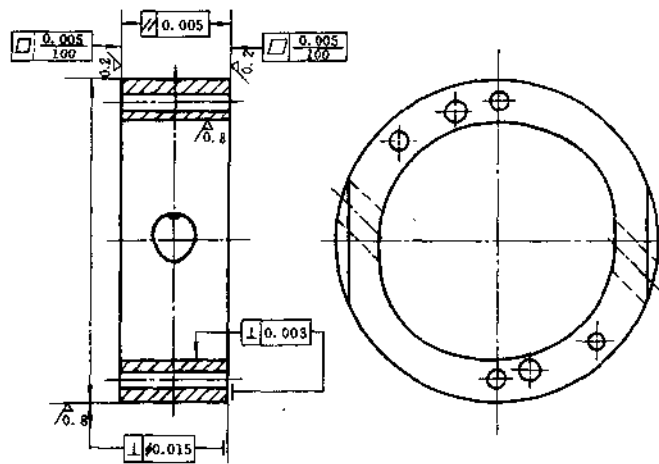


图 37.3-4 定子零件图

#### B. 内曲线加工

定子内曲线的加工一般按粗加工-铰、精加工-磨的方式进行。铰加工有仿形铰和数控铰等, 内曲线表面的铰削质量对淬火后曲线的磨削有很大影响。按照工艺技术要求, 定子内曲线的铰削在厚度方向上是不允许分段铰削的, 随着定子厚度的增加, 铰刀切削部分伸出加长, 刀具刚性不足, 尤其在吃刀深度较大时, 刀具出现让刀现象, 致使曲线成喇叭型。为了提高工

作效率, 减小铰刀切削刃的切削抗力, 常使用玉米铰刀来加工。它将立铰刀圆周刀刃上沿螺旋线反向开有几道螺旋槽, 将整长的切削刃分割成许多块小切削刃, 使得刀具圆周上出现象玉米粒样的刀刃, 故名玉米铰刀。这种铰刀由于前后两齿相互错开, 每齿切削宽度很小, 从而减小了刀具的切削抗力。定子内曲线一般由等加速等减速曲线组成, 较先进的采用高次方程, 由两段大圆弧、两段小圆弧和四条过渡曲线组成。选择合适的

表 37.3-2 定子加工过程

序号	工序名称	加工内容	加工设备	专用工艺装备	备注
1	车	车端面和外圆, 搪内孔, 车基准面记号	六角车床		为端面钻孔、铣内曲线提供统一的定位基准
2	车	调头加工另一端面, 外圆倒角	六角车床		
3	钻	钻两端面各孔	排 钻	钻具	
4	铰	铰各定位销孔	排 钻		
5	铣	铣圆周两斜孔	立式铣床	铣具	
6	铣	铣两端面四斜面	万能铣床	铣具	
7	铣	粗、精铣内曲线	仿形铣或数控铣	铣具玉米铣刀	
8	热处理	淬火			
9	抛光	振动抛光去毛刺	抛光机		
10	磨	粗磨两端面	立式磨床		
11	磨	精磨两端面	双端面磨床 KVD - 300S	CBN 砂轮	
12	磨	磨外圆	外圆磨床	磨具	
13	磨	磨曲线	数控曲线磨床 SR12.3	CBN 砂轮	
14	抛光	振动抛光去毛刺	抛光机		
15	研磨	研磨两端面	研磨机		
16	修整清洗	退磁、清洗、防锈	清洗机		

吃刀深度是铣曲线时必须注意的一点, 尤其在数控铣床上加工, 当在等加速弧段时, 刀具以一定的吃刀量均匀移动, 进入与等减速弧段相交的过渡部分时, 若吃刀过深, 刀具依靠等加速曲线的惯性突然猛吃一刀, 深入工件许多, 俗称“撞刀”, 惯性消除后, 刀具又退出来进入等减速曲线部分, 吃刀量与等加速部分相同, 这样在整个曲线上对称地出现两处凹弧, 磨削后依然消除了, 所以必须根据曲线的升程选取适宜的加工圈数, 控制每圈刀具的吃刀量就能有效地解决这种现象。定子端面上的定位销孔在铣曲线、磨外圆和磨曲线整个后序加工中, 每道工序必须以它作定位基准来加工, 假若有一道工序抛开这个定位孔, 在磨曲线时, 铣、磨曲线起点不同, 加工轨迹不吻合, 必然出现留黑皮现象, 只

有加大曲线长短径尺寸方能磨出来, 而此时距设计图纸已相差很多了。定子曲线的磨削可使用靠模仿形或数控曲线磨等。靠模仿形是依靠一系列与曲线升程相对应的靠模板控制磨头的伸缩距离来实现的, 它依靠手动进刀, 砂轮往复运动磨削, 砂轮宽度不超过定子厚度的四分之三, 磨削表面为网纹结构, 要求工件转速与靠模转速必须同步。工件转速与磨头往复运动速度成固定关系, 否则曲线永远也磨不平。靠模仿形工效低, 加工质量差, 而且大量的靠模制造、维修和管理比较困难, 正逐渐被数控曲线磨所替代。数控曲线磨是向计算机输入与铣曲线时相同的曲线数据, 以与铣曲线时相同的定位面作基准将定子装卡于夹具上, 采用切入式磨削, 砂轮宽度超过定子厚度  $1/4 \sim 1/5$ , 砂轮按程

序自动进刀,工件每旋转一圈完成一次进刀,分粗、精、光磨三个阶段完成,砂轮主轴刚性好,采用 CBN 砂轮,可以实现强力磨削,工作效率很高,砂轮转速为 20000~25000rpm,磨削余量在 0.5~0.6mm,粗磨 5~6 圈,精磨 1~2 圈,光磨 1 圈,表面质量好,成为叶片系加工中的关键设备。

(3) 叶片(图 37.3-5)

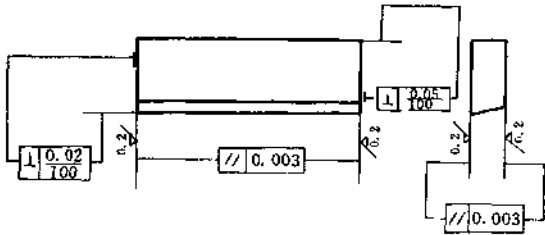


图 37.3-5 叶片零件图

- A. 叶片加工过程(见表 37.3-3)  
B. 叶片的精加工

叶片是内脏件中形状最简单的一个零件,但其形位精度要求却是最高的一个。叶片不仅要求与转子叶片槽配合保证灵活移动,而且两端与配流盘进行间隙密封,同时顶面还要与定子内曲线紧密接触,故叶片的精加工关键是保证各面间的垂直度要求。叶片两大平面是加工各侧面的定位基准。两平面一般在立式磨床上加工,将工件吸附在圆型平台上,由于磁盘的精度直接影响着叶片的加工质量,且磁盘吸附叶片极易变形,很难满足图纸要求。现在只将两平面的粗磨放在立式磨床上加工,留 0.1mm 精磨量在双端面磨床上加工,工件借助专用磨具在上、下两个端面砂轮间摆动而磨削,没有磁力的影响,采用 CBN 砂轮,尺寸保持性好,机床主轴刚性好,完全可以满足工艺要求。以加工好的两平面作定位基准磨削其它各侧面,必须一次装夹各面,一次加工完毕。在专用夹具上装卡后,采用翻转夹具的方法将各面加工完。对夹具的定位面要求很高,只有不间断地自动修磨夹具定位面,方能保证工件的加工精度。

表 37.3-3 叶片加工过程

序号	工序名称	加工内容	加工设备	专用工艺装备	备注
1	下料	冲裁下料,平整	剪板机		
2	刨	刨两大面及侧面	牛头刨床		
3	铣	切成叶片小块	万能铣床	铣具	
4	热处理	淬火			
5	抛光	振动抛光去毛刺	抛光机		
6	磨	粗磨两大平面	立式磨床		
7	磨	精磨两大平面	双端面磨床 KVD-300S	CBN 砂轮	为保证两大平面与各侧面的垂直度提供定位基准面
8	磨	粗磨三侧面	平面磨床	磨具	工件不卸,连同夹具转入精磨工序,保证粗精加工基准统一
9	磨	精磨三侧面	平面磨床	磨具	
10	磨	磨顶面斜面	平面磨床	磨具	
11	抛光	振动抛光去毛刺	抛光机		
12	精整清洗	退磁、清洗、防锈	清洗机		

(4) 配流盘(图 37.3-6)

- A. 配流盘加工过程(见表 37.3-4)  
B. 大端面及 V 形卸荷槽的加工

配流盘是所有内脏件中唯一一个只需单面精加工的零件,此端面只许凹不许凸。随着高压泵的不断发展,采用浮动压力侧板越来越多,背面的高压油迫使配

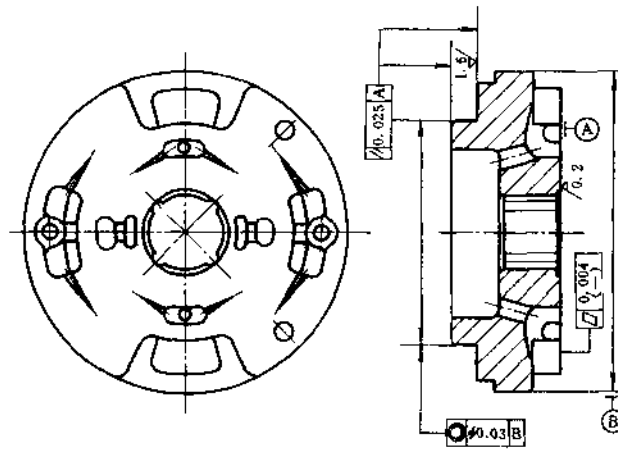


图 37.3-6 配流盘零件图

表 37.3-4 配流盘加工过程

序号	工序名称	加工内容	加工设备	专用工艺装备	备注
1	车	粗精车端面和外圆, 铰孔	数控车床		
2	车	掉头粗精车端面和外圆	数控车床		
3	钻	钻定位孔和螺栓过孔	排 钻	钻具	
4	钻	铰定位销孔	排 钻		
5	钻	钻通油斜孔	排 钻	钻具	
6	磨	粗磨大端面	平面磨床		保证两端面的平行度, 为冲压 V 形卸荷槽提供平整的平面
7	压	冲压 V 形卸荷槽	油压机	冲压模	
8	热处理	时效去应力			去除机加工和冲压 V 形卸荷槽残余应力
9	磨	磨两端面	平面磨床		
10	抛光	振动抛光去毛刺	抛光机		
11	研磨	研磨大端面	研磨机		保证大端面的平面度及凹度要求
12	热处理	表面软氮化			
13	磨	磨外圆	外圆磨床		消除热处理变形, 保证装配顺利
14	研	研磨大端面	研磨机		去除软氮化表面残留物
15	精整清洗	退磁、清洗、防锈	清洗机		

流盘产生挠曲变形来调整其与转子间的密封间隙,故浮动压力侧板心部必须凹下,否则高压时与转子研死的机会很多。在平磨上是磨不出凹面的,它是经过平磨粗加工后,再在研磨机上研出凹面来,而要在研磨机上研出凹面是靠修磨研磨盘达到的。配流盘油窗上的V形卸荷槽的尺寸精度和径向相对两尖槽之间的对称精度在生产制造中易被忽视且难以保证。常规加工采用成形铣刀铣削成型,找正困难,精度不易保证,工作效率低。随着结构设计的改进,V形尖槽由粗短型改为细长型,配流盘材料也由原来的黄铜向粉末冶金、球墨铸铁转变,使得V形尖槽靠压力成型成为可能。利用装有V形凸棱的刀具,将工件固定于底板上,一次冲压成型,各V形尖槽尺寸精度,对称精度完全一致,是优质、高生产率的工艺方法。

#### (5) 零件加工中的精整和去刺

叶片泵零件种类较多,工艺流程长,在工序间周转流动中:

(A) 上道工序必须为下道工序提供良好的半成品工件,除完成本工序所规定的加工内容外,还要求自清除毛刺,一般采用锉刀、油石之类的工具。

(B) 在接到上道工序流转下来的工件后,在装上夹具或工作台之前,必须严格去毛刺,确保定位精度要求。

(C) 热处理前要进行一次全面清除,因为热处理后毛刺将变得坚硬,增加了去除的难度。中间去毛刺一般采用尼龙刷、钢丝刷、风动什锦砂轮等去除,比较先进的工艺有电化学去毛刺、热能爆炸去毛刺、喷砂去毛刺等。确保粗加工所产生的毛刺在热处理前去除干净。

(D) 热处理后精加工产生的毛刺较小,但对零件的装配影响较大,而精加工表面又要保护,故一般在滚筒式抛光机中采用圆形磨料块进行抛光去刺,一些遗漏毛刺由手工油石去除。毛刺去除干净待入库的零件绝不允许再出现新的毛刺,即零件的运输磕碰,零件在各加工设备间穿插流动,各工件间相互磕碰很难避免,要保证不磕碰,除了轻拿轻放以外,还要对零件各主要加工面实行隔离。对于转子、定子、配流盘、泵盖等零件的端面,采用塑料网将各层零件隔开,轴类零件用柱形塑料网套上可以叠放,还可以使用专用的工位器具,采取插放和架放的方式,将工件间相互磕碰的机会减至最低。入库前的零件必须进行彻底的清洗,除残留的切屑、铸造飞边、浮砂等之外,还要注意研磨膏、热处理残留物的处理,确保各油孔畅通。清洗机多采用冲

洗和涮洗两种,前者适用于小型无复杂内脏的零件,后者则适用于大型有铸造油道的壳体件,清洗干净后必须作防锈处理,将零件在防锈油中浸泡两分钟后拿出,仍以塑料网隔离叠放,与周转箱一并入库。装配与测试是叶片泵加工的最后工序,作废的零件装不出合格的产品,但完全合格的零件则不一定都能装出合格的产品,这说明产品的装配是至关重要的一环。从零件库领出的待装零件,还要重复入库前的工序,清洗、去刺,平磨零件还要退磁。轴承与轴的装配以及与前盖的装配,油封与前盖的装配必须借助专用辅具在油压机上完成,严禁直接砸入;叶片与叶片槽,柱销与柱销孔的配合间隙必须适当,不得有任何卡滞现象;各密封部位密封件不得有任何损伤,严防外漏。装配时严禁用铁棒敲打,以防密封件脱落。叶片泵的出厂试验主要测试压力、流量、容积效率和噪声等指标,同时要进气密性试验。通过严密的试验检查,确保产品质量及各项性能指标达到设计要求。

#### 37.3.3 特殊刀具及工艺装备

叶片泵零件特别是内脏件的最终精加工,大多都在精密磨床上加工,除对磨削设备精度要求很高外,对磨具的性能要求也很高。普通磨具磨削效率低,使用寿命短,达不到各零件的几何形位精度要求。近几年出现的立方氮化硼(CBN)磨具是一种比较先进的磨具。

CBN材料与金刚石一样,是在触媒剂的参与下,经高温、高压制成,其硬度略低于金刚石,但韧性高,有独特的热稳定性,在1300~1500℃的高温下基本性能不变。CBN对过渡金属有优于金刚石的化学惰性,亲和力低,化学活动性稳定,特别适合于磨削淬硬的合金结构钢。CBN磨具是以金属或普通刚玉砂轮作基体,以特殊的结合剂将CBN砂粒粘结在基体上,经修磨而成,可以制成外圆、内圆和端面砂轮,也可以制成铰刀珩磨内孔,转子叶片槽磨削所使用的薄片砂轮,定子内曲线磨削所使用的内圆砂轮。双端面磨削中所使用的端面砂轮以及珩磨柱销孔所使用的铰刀都是CBN磨具。CBN磨具刚性好,切削能力强,磨削平稳,尺寸精度保持性好,寿命是普通刚玉砂轮的50~100倍,成功地运用于叶片泵关键部分的加工中。

## 37.4 液压阀制造工艺

液压阀的制造工艺方法和加工设备,大致可分为普通工业阀用和伺服阀用两大类。在工业阀中,阀体、阀芯和阀套所用材料及加工工艺又有很大差别,本章



就工业阀的典型零件工艺提要叙述如下,伺服阀的典型零件工艺详见 37.8。

### 37.4.1 液压阀体制造工艺

液压阀体绝大多数为高强度孕育铸铁或球墨铸铁件,随着铸件强度、致密度的提高,表面粗糙度的改善,工艺技术的进步,油道多为铸造成形,大大改变了阀体结构和加工工艺方法。

目前,国内主要液压元件制造厂,大多采用数控机床,加工中心和高效能专机相结合的工艺装备,而把通用机床放在辅助工序中使用。

还有更先进的加工方法就是采用多功能数控机床,如卧式加工中心或柔性加工单元等。它能在一次装夹工件的情况下,连续、自动、高效、高精度地完成机械加工,如铣、镗、钻、扩、攻丝、铰孔、磨削等工序的加工。它具有较大的刀具容量,一般可装几十把甚至上

百把刀具,且具有自动换刀,自动交换工作台和工作台自动转位的功能。随着机床的定位精度和重复定位精度的不断提高,通过采用自动测量与监测系统,加工质量的稳定性和机床工作的可靠性越来越好,除人工装卸零件以外,机床几乎完全在计算机程序控制之下进行工作。

现以采用组合专机加工压力阀的导阀体和采用数控机床加工换向阀阀体为例叙述如下。

#### (1) 溢流阀导阀体的加工

先导式溢流阀见图 37.4-1,要求在 0.3~31.5 MPa 压力范围内工作时,无振动及尖叫,并要求有良好的工作稳定性和压力调节特性。无外泄漏,其内泄漏量也应不大于 50ml/min。上述特性必然要求导阀体有较高的尺寸精度和位置精度。

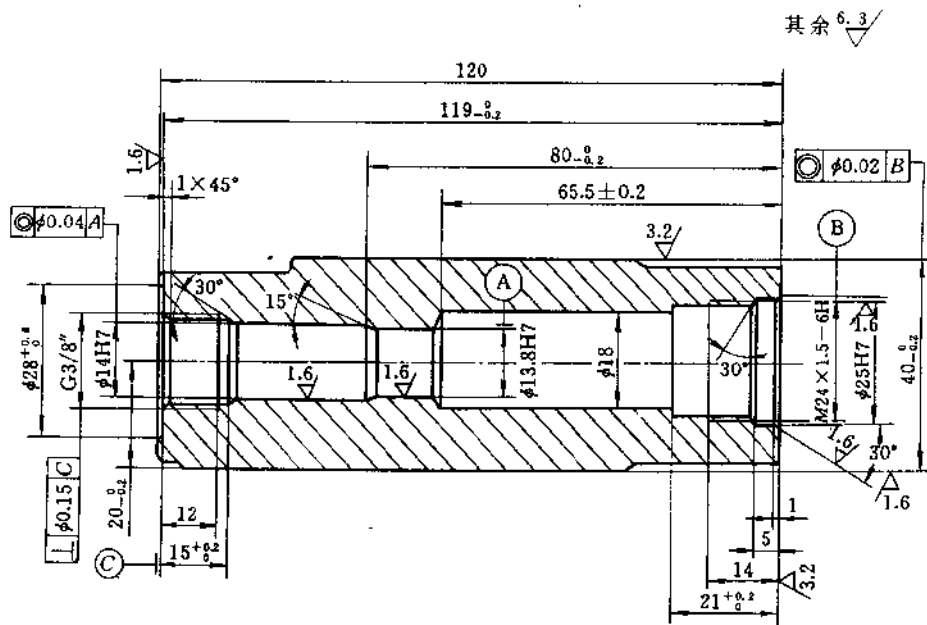


图 37.4-1 导阀体结构简图

在导阀体的工艺安排中,既要保证图中的各项尺寸精度,相互位置精度及表面粗糙度之外,还必须考虑导阀体的大批量生产问题。

#### A. 导阀体加工工艺过程

导阀体的加工工艺过程为:铣阀体顶面,底面;粗磨底面;钻四个螺钉孔;车两端面及粗扩主孔。然后,利用立式八工位组合专机对导阀体两端的主孔进行加

工。在此工序中,每工位正、反安装两个零件,以一面两销定位,液压缸压紧。一工位装卸,其余七个工位进行切削加工。共有十四把刀具对主孔依次实现钻、扩、铰、镗止口、攻丝等的加工,每个工步加工内容见表 37.4-1。

#### B. 特殊刀具

由于导阀体内主孔  $\phi 13.8H7$  与  $\phi 14H7$  孔及  $M24 \times$

表 37.4-1 导阀体主孔加工工步顺序表

工序号	工序名称	工 序 内 容
1	装 卸	I 工位左装夹新的毛坯件
		I 工位右卸下已加工好的零件
2	钻 扩	II 工位左钻孔 $\phi 11$ , 深 54
		II 工位右扩孔 $\phi 18$ , 深 65.5
3	扩 扩	III 工位左扩孔 $\phi 14.95$ , 深 16.5, 孔底倒角 $30^\circ$
		III 工位右扩孔 $\phi 21$ , 深 5
4	铰 扩	IV 工位左铰止口 $\phi 28$ , 深 1
		IV 工位右扩孔 $\phi 20.8$ 及 $\phi 23.3$ 深分别至 21 和 5
5	扩 扩	V 工位左扩孔 $\phi 13$ , 深 53
		V 工位右扩孔 $\phi 22.35$ 及 $\phi 24.85$ 深分别至 21 和 5
6	扩 倒角	VI 工位左扩孔 $\phi 13.7$ 及 $\phi 13.9$ 深分别至 24 和 47
		VI 工位右倒角 $1 \times 30^\circ$
7	铰孔 铰孔	VII 工位左铰孔 $\phi 13.8H7$ 及 $\phi 14H7$ 深分别至 24 和 47
		VII 工位右铰孔 $\phi 22.5^{+0.1}$ 及 $\phi 25H7$ 深分别至 21 和 5
8	攻丝 攻丝	VIII 工位左攻丝 G3/8" 深 14
		VIII 工位右攻丝 M24 $\times$ 1.5-6H 深 12

1.5 螺纹孔与  $\phi 25H7$  的同轴度要求都很小,这就必须在一次装夹中,完成对主孔的钻、扩、铰、攻丝的加工,在扩孔及铰孔时,还必须使用二阶同轴扩孔刀及二阶同轴精铰刀,才能保证各尺寸间的较高同轴度要求。

此类加工方法对于单一零件组织大批量生产,是非常适宜的。

#### (2) 电液换向阀主阀体的加工

电液换向阀,要求阀体主孔与阀芯的配合间隙很小,既要保证在高压下阀芯在主孔内换向灵活,又要保证阀的内泄漏量不超过规定值。同时,各连接面不得有外泄漏。这就要求阀体在主孔及其它各面的加工中,应达到很高的尺寸精度,形状精度和较低的表面粗糙值。阀体内各轴向尺寸也必须严格控制在其公差范围内,确保阀芯与阀体的各台阶尺寸配合位置正确,阀体主要尺寸及精度要求详见图 37.4-2。

A. 电液阀主阀体在卧式加工中心上的主要加工工艺过程

(A) 阀体毛坯必须先经过预加工,即先粗铣阀体

顶面、底面及两端面,并铰主孔两端定位锥孔。

(B) 将预加工后的主阀体装入卧式加工中心第一工作台的夹具上,以阀体的一端面和主孔两端锥孔定位,顶面夹紧,加工阀体底面及底面上的各孔达到图纸要求。

(C) 将第一工作台加工好的零件装入第二工作台的夹具上,以一面两销定位,侧面压紧,加工阀体两端面,顶面,以及两端面上的各孔,加工主孔及孔内各槽节距尺寸达到图纸要求。

对于主孔加工尤为重要,必须在粗扩,半精扩,精铰的基础上,再进行铰孔;挖槽也必须分成粗挖和精挖两步,才能达到较高的内部尺寸精度要求。

铰刀和挖槽刀的结构及制造精度直接影响着阀体内孔的加工精度和挖槽的尺寸精度,以及毛刺的大小。

阀体经上述各工序加工之后,除主孔留有适当的珩磨余量外,其余各位置尺寸均已达到图纸要求。应下转到阀体的去刺,清洗及珩磨工序。

(D) 阀体的去刺,清洗工作。阀体内所有各油道

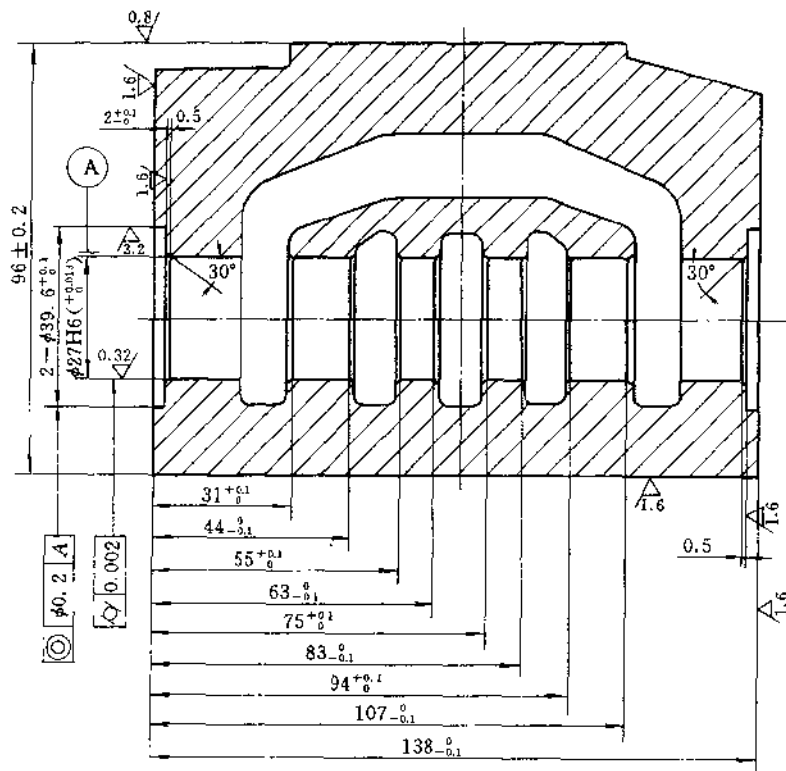


图 37.4-2 电液阀阀体结构简图

必须用铁丝、铁钩等专用器具清理，倒出内部铁屑和其它脏物。然后，采用电化学方式或电解方式在专用设备上清砂。一般阀体内主孔毛刺宜采用内孔式柔性工具去除；阀体的外棱边毛刺宜采用硬质合金旋转挫去除；阀体的密封窝处毛刺宜采用笔形刷去除；阀体的各大面毛刺应采用盘形刷去除。阀体经上述去刺、清洗之后，再用专用高压清洗设备进行粗洗和精洗，使阀体内部各油道及各表面彻底干净。然后，对阀体进行磷化发黑处理，或进行其它表面防锈处理。

(E) 阀体主孔的珩磨。珩磨是阀体主孔最为重要的最终精加工工序。阀体内主孔的尺寸精度为 H6 级，圆柱度  $|C| \leq 0.002 \text{mm}$ ，表面粗糙度  $R_a \leq 0.32 \mu\text{m}$ 。

因此，要求从机床到刀具、夹具各环节都要有极高的精度，并要求机床及刀具系统在轴向、径向能够实现往复运动和刀具的径向膨胀功能。对珩磨后的孔径尺寸能够自动检测。

在珩磨过程中，分粗珩、半精珩、精珩，应选好合适的主轴刀具转速和往复运动速度、刀具的膨胀、刀具的

行程等参数，并合理的分配粗珩、半精珩、精珩之间的余量。这样，才能确保阀体主孔经珩磨后，达到图纸规定的尺寸精度和几何形状精度，以及较低的表面粗糙度值。

### B. 特殊刀具

主孔精铰刀应采用内冷式，使冷却液通过刀体内孔直接喷射到切削区附近，让冷却和排屑更充分。另外，铰刀的硬质合金条应为阀体内孔槽宽的三到五倍，以提高铰刀的定心精度，实现较好的内孔加工质量。

在国外有单刃可调铰刀，刀具的导向部分与切削部分分开，两条导向块除起导向作用外，还起支承及挤压作用，孔加工精度可达 H7 级，表面粗糙度  $R_a$  可达  $0.4 \mu\text{m}$ ，这种硬质合金单刃铰刀，径向尺寸能进行微调，是很好的内孔加工刀具。日本、德国、美国等国家均有生产。

主孔最终珩磨刀具包括粗珩刀、半精珩刀及精珩刀，刀具必须有良好的结构和极高的制造精度，才能保证在珩磨后达到  $0.002 \text{mm}$  的几何精度。

此类加工方法,由于机床、夹具结构在设计时已经考虑了其零部件的通用性,在夹具主体不变的情况下,只更换夹具的连接板及部分夹紧零部件,就可实现产品的轮番生产。这就克服了用组合机床进行生产的单一性,更加适应产品生产的变化需求。这种生产模式,目前在国内已逐渐成为阀体加工发展的主流。

### 37.4.2 液压阀阀芯加工工艺

液压阀有滑阀和座阀之分,而座阀又有锥阀和球阀两种,从而阀芯结构及其加工工艺有很大不同。现分别以方向控制阀的滑阀芯,先导溢流阀的锥阀芯和直动溢流阀的球阀头阀杆为代表,对其加工过程分别加以说明。

#### (1) 方向控制阀阀芯的加工

方向控制阀为滑阀结构,阀芯装在阀体主孔内。其一般的配合间隙为 0.01mm 左右。它在阀体主孔内可以轴向自由滑动,不得有阻滞。这就要求阀芯应有较高的尺寸精度和圆柱度,较低的表面粗糙度,以保证阀芯换向时灵敏度高而泄漏量小。阀芯的主要结构尺寸及其技术要求见图 37.4-3 所示。

主要的制造工艺过程见表 37.4-2。

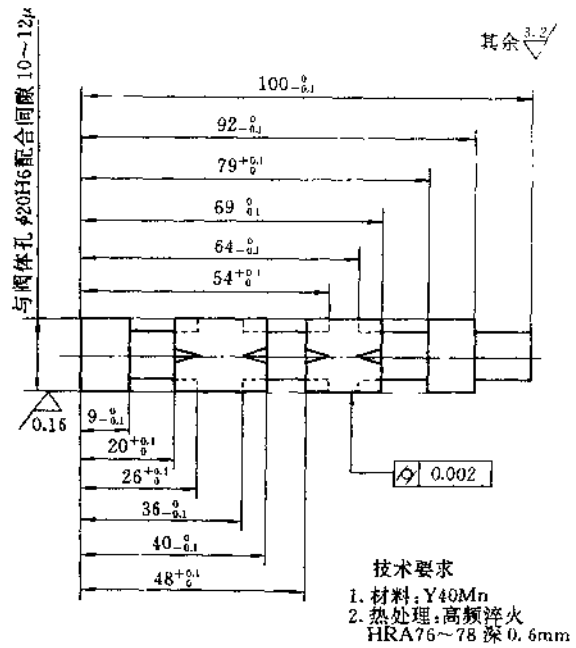


图 37.4-3 方向阀阀芯结构简图

表 37.4-2 方向阀阀芯制造工艺过程表

工序号	工 序 内 容	设 备	备 注
1	车各外圆。保证各槽节距尺寸,φ20 外圆留磨量 0.4~0.5mm	数控车床	
2	调头,齐端面,保总长	普通车床	
3	去除各棱边毛刺	热能去刺机	
4	清洗		
5	渗碳,淬火		
6	粗磨外圆至 φ20.1±0.02	外圆磨床	
7	电加工外圆上三角槽	电火花机床	电极
8	半精磨外圆至 φ20.03+0.01	外圆磨床	
9	去刺	回转去刺机	
10	去刺	振动去刺机	
11	精磨外圆 φ20,保证与阀体孔配合间隙为 10~12μm		
12	去刺	无心去刺机	
13	清洗	喷淋清洗机	
14	防锈		

在加工外圆上三角槽时,因电火花机床加工成本高,效率低,故有些厂家采用在淬火前用加工中心机床进行粗加工,然后在电火花机床上进行精加工,以提高加工效率。

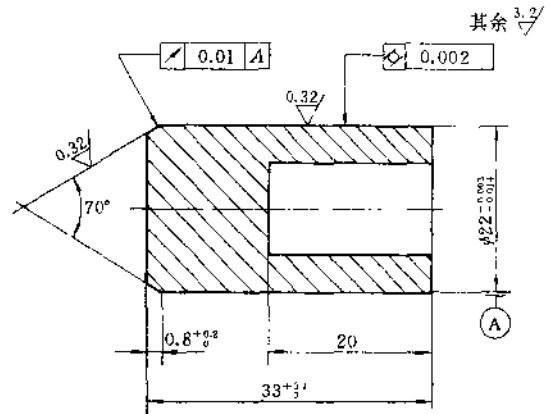
(2) 先导溢流阀主阀芯的加工

先导溢流阀主阀为锥阀结构,其阀芯装在阀套内。其锥面与阀套的锥孔配合密封。外圆起导向作用,与阀套孔的配合间隙为  $14\sim 20\mu\text{m}$ ,它的主要结构尺寸及其技术要求见图 37.4-4。

主要的制造工艺过程见表 37.4-3。

在磨  $70^\circ$  锥面时,为了保证与外圆的跳动小于  $0.01\text{mm}$ ,需要设计专用夹具,如图 37.4-5 所示的滚针夹具,内孔在加工时采用配磨的方法。夹紧量只有  $0.05\sim 0.01\text{mm}$ 。它的定位精度高,可以满足要求。

(3) 直动溢流球阀头阀芯的加工



- 技术要求  
 1. 材料:CrMn  
 2. 热处理:淬火 HRC61~65

图 37.4-4 先导溢流阀主阀芯

表 37.4-3 先导溢流阀阀芯制造工艺过程表

工序号	工序内容	设备	备注
1	车各外圆及内孔。φ22 外圆留磨量 0.4mm	数控车床	夹具
2	调头,齐端面,保总长	普通车床	
3	去除各棱边毛刺	热能去刺机	
4	清洗		
5	淬火		
6	粗磨外圆至 φ20.05 ± 0.02	无心磨床	夹具
7	去刺	振动去刺机	
8	精磨外圆 φ22 成,保证与阀套孔配合间隙为 14~20μm	无心磨床	
9	粗精磨外圆上 70° 锥面,保证与外圆跳动小于 0.01mm	外圆磨床	
10	去刺	无心去刺机	
11	清洗	喷淋清洗机	
12	防锈处理		

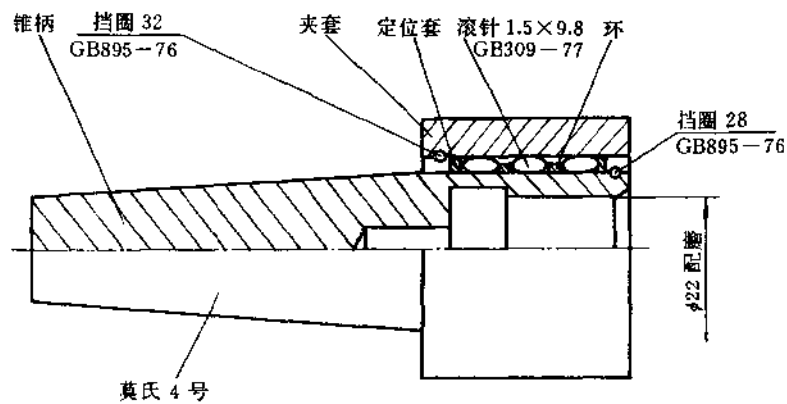


图 37.4-5 滚针夹具

直动溢流阀为球阀结构。球头阀芯装在阀座的主孔内,与阀座锥面密封。主要的结构尺寸及其技术要求如图 37.4-6 所示。

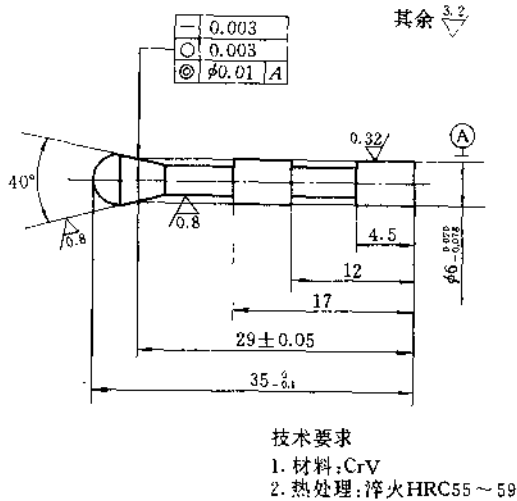


图 37.4-6 直动溢流阀球头阀芯

主要的制造工艺过程见表 37.4-4。

对于各外圆的磨削,为了保证锥面与圆柱面的同心度要求,因此应采用成形方法一次加工。需要设计

一套专用的砂轮修整器,如图 37.4-7 所示的金刚石滚轮,将滚轮做成零件形状然后在其表面镀上一层金刚石砂,用它来修整砂轮。还可以采用切入式无心磨床加工,通过数字编程系统来修整砂轮。

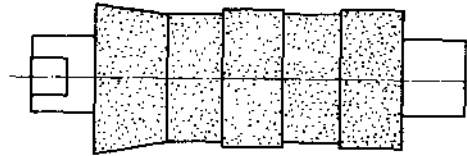


图 37.4-7 金刚石滚轮

对于球头阀芯的尺寸测量,需要设计一套专用检具,以适合批量生产。如图 37.4-8 所示的通止规,可以方便地检查出零件的加工是否合格。

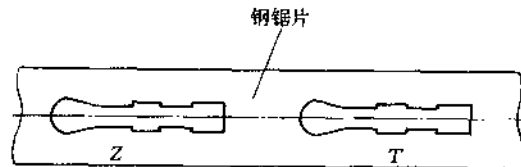


图 37.4-8 球头阀芯通止规

表 37.4-4 球头阀芯制造工艺过程表

工序号	工 序 内 容	设 备	备 注
1	车各外圆,各外圆留磨量 0.3mm	数控车床	
2	调头,齐端面,保总长	普通车床	
3	去刺	热能去刺机	
4	清洗		
5	淬火		
6	粗精磨各外圆	外圆磨床	滚轮
7	去刺	振动去刺机	
8	清洗		
9	防锈处理		

### 37.4.3 液压阀装配工艺

液压阀的生产,首先是按设计图纸、工艺文件和技术要求精心加工零件,其次是择优选点搞好配套件的保质供应;最后精心装配,通过试验得到优质产品。

这里介绍的液压阀装配工艺过程,除组装程序外,还提出了组装的注意事项和有关经验的探讨。

液压阀品种规格很多,但组装过程相似,现以电磁换向阀装配为例,说明如下。

WE 型方向控制阀是通过开关型电磁铁,推动阀芯来实现液流的通断和改变方向的。

(1) 关键零件精整加工中须注意的环节

A. 生产组织形式

我国液压阀生产企业,在阀体、阀芯精加工方面,有的隶属装配车间,这对分组选配有利,便于在装配试验中发现问题分析处理;有的隶属机加工车间,适合于大批量生产和零件加工质量的保证,但对组织多品种小批量、缩短供货周期,从管理上增加了难度。

#### B. 精加工精度的控制

要想完美达到液压阀的各项性能指标,其尺寸公差和形位公差必须严格控制。以电磁换向阀、先导式溢流阀为例,两组配合偶件的尺寸公差和形位公差要求见表 37.4-5。

表 37.4-5 配合偶件公差数值

零件名称	尺寸公差	形状公差	位置公差	配合间隙
阀体	$\phi 12H_6$	$\square 0.002$		0.008~0.01
阀芯	配磨	$\square 0.001$		
阀套	$\phi 22 \begin{smallmatrix} +0.014 \\ -0.003 \end{smallmatrix}$	$\square 0.002$	$\textcircled{D} \phi 0.01$	0.014~0.020
主阀芯	$\phi 22 \begin{smallmatrix} +0.003 \\ -0.003 \end{smallmatrix}$	$\square 0.002$	$\nearrow 0.01$	

由所列数值可见,孔的公差带与芯的公差带之和,远大于允许的配合间隙值,故精加工时必须严格控制配合偶件的形位公差,才能有效地保证装配时达到规定的配合间隙,它是保证这两类阀性能的最关键环节。实践说明 6 通径电磁阀阀体孔的圆柱度小于或等于 0.002mm,阀芯的圆柱度小于或等于 0.001 至 0.002mm,配合间隙在 0.008 至 0.01mm 时,试验压力在 31.5MPa 下换向可靠,其内泄漏量一般在 60mL/min 左右,此数值处于国外同类产品水平。

为此首先要有相应的精加工设备,并配备与之相匹配的检测量具和检测仪器,其次要进行认真的分组选配,尺寸间隔可以 0.002mm 为一档,最后还要采取防止磕碰、划伤的措施。

#### C. 去掉毛刺和清洗干净的必要性

液压阀所用的全部零件,都应无毛刺和清洗,尤其是关键件、主要件更是如此。从宏观上看毛刺有两大类,一类是机加工中在边角棱边生成的较大的飞边、尖角,可以通过机械方法、化学方法、热能方法等去除;第二类是研磨、珩磨、精磨后出现的微细毛刺,往往因为这些毛刺造成阀芯卡死或动作不灵现象。对阀体孔应采取带金钢石粉的尼龙刷或专门工具,对于阀芯最好采用无心去刺机,然后一律进行清洗,以此保证零件清洁度达到要求。

#### D. 注意关键件的表面粗糙度 $R_a$ 值

对阀体、阀芯这一配合偶件而言,降低滑动表面  $R_a$  值,是延长使用寿命和保证动作灵敏的重要一环,

一般设计要求阀孔为  $R_a 0.2$ 、阀芯为  $R_a 0.16$ 。装配前要看粗糙度和表面有无擦伤或锈蚀。

E. 除上述注意环节之外,如铸件内部质量的控制;阀芯热处理变形的校直;弹簧、电磁铁、密封胶圈的性能达标等;对方向阀、压力阀的最终质量都起着不可低估的影响。装配前要有可靠的检测。

#### (2) 装配工艺过程

##### A. 装配间的环境条件

液压阀产品相对而言体积小、重量轻、零件少,但其主要零件精度高、配合间隙小,属技术密集型产品。所以对其在装配中所处的环境要求,有几个突出特点:

- 要求较高的环境清洁度。目前大多数液压元件生产企业,都已具备经改造的组装净化车间,车间内灰尘的来源主要是自然空气中的粉尘和人为带入的粉尘,首先应该严格控制人为带入的粉尘,另外还应定期检查车间 3m 高度层以下的粉尘度。

- 要求室温控制。为了尽可能减小因温度不同而产生的变形误差,除在精加工时具备恒温条件外,组装时也应具有良好的温度控制,有条件的单位一般车间内 3m 以下应控制在  $20^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$

- 要求密封和保护。组装前对零件要有密封和保护,装配试验合格的成品也应对油口及时进行密封保护,使之减少再污染的机会。

- 要求实行干装配。干装配是指装配前的各个零件已经过彻底清洗并干燥处理,操作人员的双手和使用的工具,也是干净和干燥的,区别于边装零件边清

洗、装配案子上有清洗油盆的工作条件而言,由于清洗油盆的不断的污染,成为污染源。所以实行干装配是防止二次污染、达到装配过程清洁的有效手段。

#### B. 装配和试验的安排

(A)电磁换向阀装配过程的主要工步为:选配和配餐→装配阀体阀芯(忌用锤子敲击阀芯)→安装一端弹簧座、胶圈、弹簧和电磁铁→安装另一端各零件→安装底面胶圈及节流器→自检是否有漏装。这种过程如果是多个人完成也就是每一个人只完成一个工步,通常称为流水作业型;而整个过程由一个人完成则称集中作用型。

两种型式各有利弊。流水型每个人负责一部分,容易掌握,适合于零件加工质量稳定及大批量生产企业;集中型由一个人完成整件阀的全部装配过程,对组装中出现的问题能尽快处理,有利于查清原因和追究责任,是当今多数企业采取的作业方式。

(B)组装后的整体阀,在确认无误后立即交试验工序。一般讲,试验工序另由试验工单独进行,但有些厂家将组装工序和试验工序合二为一,均由一个人完成,这当然是出于管理上的安排。从另一个角度讲,对操作者也提出了更高的要求,同时也促进了装配工序质量意识的提高。

#### (3) 装配过程中的注意事项

- 装配使用的工作台面、各种工具、辅具必须清洁。

- 密封圈的安装。主要指轴用或孔用密封圈在装入密封槽时,如果轴端没有导向锥面最好做导向锥套进行安装,以免轴端锐边破坏密封圈;同样对孔用密封圈在安装相配轴或芯时,在轴端也应加工出锥度,且表面粗糙度值不高于  $R_a 1.6$ , 单边斜度一般为  $15^\circ \sim 20^\circ$ , 不能过大或过小。

- 对一些在装配中进行过盈压装或冷、热装配的组件,必须按设计规定和工艺要求,使用规定的方法和工装进行装配,千万不能随意用手锤敲击。比如单向阀阀座,设计规定用冷装就必须将阀座进行冷处理,然后装入孔内;另外对于一些组装部件要求进行压合或铆合的,则必须确认所装零件的相关部位正确无误后再进行施工,否则会使整体部件报废。

- 对于一些在组装中规定使用某种粘结剂进行密封的零件,则必须按规定数量、胶种、方式进行涂沫,不允许过多或过少。

- 对于外形相似件的装配,比如电磁阀阀芯,应严格按照图样区分机能以免装错。在现有技术资料中,阀

芯机能已达几十种,为正确无误地按生产计划进行装配,从便于装配工的工作出发,应给操作者配备区分机能的图样,以便保证阀门机能的正确组装。

- 对于精密配合偶件的装配,比如电磁阀阀体与阀芯、压力阀阀套与主阀芯、电液阀阀体与阀芯,要轻拿轻放、垂直旋入,严防磕碰、划伤及产生毛刺。否则会影响方向阀的换向性能、影响压力阀的调压稳定性。

- 对于压力阀用阻尼器,外形大小一样,只是孔径不同,要隔离分放,绝不能装错。

- 对于没有选配要求的偶件的装配,如带单向阀的压力阀,其单向阀的锥阀芯与导向套,装配后锥阀芯应运动灵活。

- 在装配压力阀调节装置时,调节杆必须处于最低压力状态即调压弹簧处于最小负荷,否则在试验时容易出现意外事故。

- 各种联接螺钉,应按图纸要求用扭矩扳手拧紧。

## 37.5 液压缸缸筒加工工艺

### 37.5.1 概述

液压缸是液压系统中的执行元件。它要求密封性好,工作可靠,运动平稳并有较长的使用寿命。因此,作为液压缸主要零件的缸筒其内孔要有较高的精度和较低的粗糙度。此外,为满足使用要求,缸筒往往具有较大的长径比,如工程机械上的一些液压缸,长径比可达  $50 \sim 60$ ,这就进一步增加了缸筒加工的难度。缸筒加工工艺的特殊性决定了它在液压缸制造工艺中的重要地位。

目前,国内液压缸筒内孔加工主要采用热轧无缝钢管材的镗削—滚压(简称深孔镗)工艺和精冷拔无缝钢管的珩磨工艺。近年来,刮削珩光工艺也开始推广应用。

### 37.5.2 深孔镗工艺

#### (1) 工艺过程

在深孔镗床上加工缸筒内孔的工艺过程为:粗镗—细镗—精镗(浮动镗)—滚压。可以一刀一序,分序加工;也可以使用组合刀具对其中几序或全序进行组合加工。其特点为:

分序加工:刀具简单,便于控制加工质量;生产效率低。

组合加工:生产效率高;刀具复杂,加工质量不利于控制。加工大长径比的缸筒,刀具易走偏。

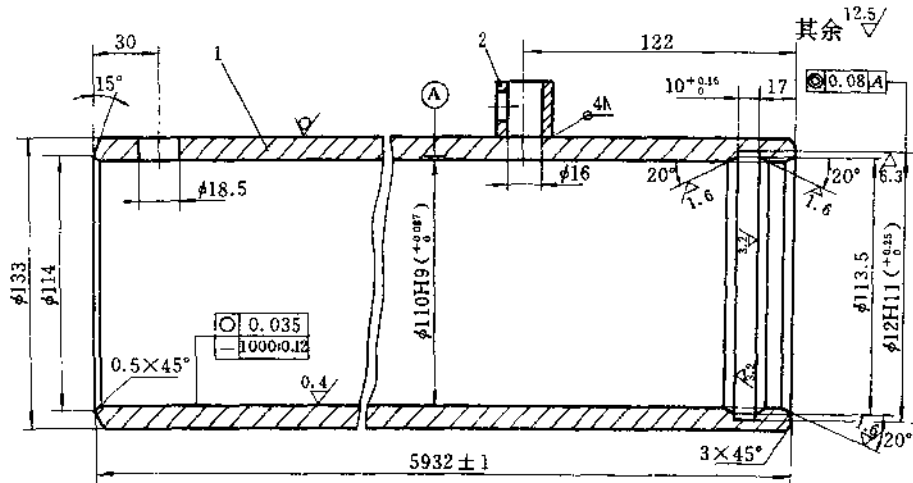


加工时,按刀杆受力方式,镗削可分为推镗和拉镗。

推镗:刀杆受压力,易弯曲,对加工精度有影响;操作方便,排屑方便。

拉镗:刀杆受拉力,不易弯曲,切削平稳,有利于提高加工精度;操作不便,辅助时间长。排屑差。不能加工盲孔。

图 37.5-1 为起重机伸缩缸缸筒加工图。



技术要求:缸筒右端壁厚不均匀度允差 1mm 左端壁厚不均匀度允差 3mm

图 37.5-1 液压缸筒加工图

1—缸筒;2—接头座

缸筒毛坯为热轧无缝管材,材质 45 钢,硬度 HB180~195。缸筒加工工艺过程见表 37.5-1。

工艺说明:

- 缸筒两端倒角并车出夹口,做为内孔加工装夹定位基准。

- 接头座在细镗前焊上,防止因焊接变形而影响内孔精度。

- 缸筒较长,为减小刀具走偏,粗镗从两端进行,中间接刀。

- 为使加工能够进行,并保证同轴度要求,加工中,基准要经过从内到外,从外到内多次转换,即安排车修架子口工序。

(2) 缸筒加工的重要工序和关键工序

缸筒加工,粗镗、细镗、精镗、滚压是主要工序。其中细镗和滚压是关键工序。

A. 粗镗、细镗

去除毛坯大部余量,保证孔的直线度。使形位公差和几何精度符合精镗前要求。

图 37.5-2 是粗、细镗削对刀图。深孔加工是定直径刀具加工。刀头 2 进入工件前靠刀头导向套 3 定

心。进入工件后,刀头靠已加工面自定心。刀头导套与硬质合金支承块 1 配合间隙  $D-d = 0.03 \sim 0.05$  mm。支承块尺寸靠配磨保证,磨损后,加垫片或更换支承块。

刀尖对硬质合金支承块超前量  $l = 2 \sim 3$  mm。刀尖对硬质合金支承块径向高出量  $H = 0.05 \sim 0.10$  mm。

镗刀首先要考虑断屑和耐用。6~7m 长缸筒细镗,一次走过,中途不能停车换刀。刀具强度要好;断屑槽设计,应使切削出短 C 型屑。

缸筒长径比大。粗、细镗削中的刀具走偏是加工中普遍存在的问题。刀具走偏可看作是加工出孔的轴线与理想轴线的偏移。它会使加工出的缸筒壁厚不均匀;精镗余量小。若细镗刀具走偏,直线度达不到要求,精镗则不能将孔镗圆。因此,细镗是关键工序。表 37.5-2 列出了刀具走偏的主要原因及解决方法。

B. 精镗

因采用浮动镗刀加工,对孔的直线度、位置度影响不大,主要是提高孔的几何、尺寸精度。降低表面粗糙度。

表 37.6-1 缸筒加工工艺过程表

工序号	工序名称	工 序 内 容	设 备	工 艺 装 备
1	校	校直, 全长跳动不大于 1.5mm	校直机	
2	车	车两端封口及中间架子口, 车两端面, 外圆倒角 $5 \times 45^\circ$	车床	菊花顶尖, 磨菇头顶尖
3	划	划接头座焊接位置线		
4	焊	按线将接头座焊好		
5	车	粗镗孔至 $\phi 105_{-0.5}^{+0.15} \frac{12}{7}$ (分别从两端镗)	深孔镗床	车床夹具、粗镗单刀头、刀头导向套
6	车	细镗孔至 $\phi 109.2_{-0.15}^{+0.05} \frac{6}{7}$		细镗单刀头、刀头导向套
7	车	精镗孔至 $\phi 110_{-0.03}^{+0.01} \frac{1}{6}$ 分两刀镗, 推拉各一刀	深孔镗床	浮动镗刀头、浮动镗刀
8	车	滚压孔成 $\phi 110_{-0.087}^{+0.004} \frac{4}{5}$	深孔镗床	滚压头、过渡接头
9	车	车两端架子口	车床	磨菇顶尖
10	车	车接头座端, 尺寸 122 成	车床	
11	车	车成另一端, 总长 5932 成	车床	
12	车	修接头座端架子口	车床	锥度顶尖
13	车	车内孔各部	车床	测槽卡尺, 弹簧内卡
14	划	划 $\phi 18.5$ 孔线		
15	钻	钻通 $\phi 16$ 油孔	钻床	可调支架
16	钻	钻成孔 $\phi 18.5$	钻床	可调支架
17	钳	去各部毛刺		
18	检	检查		

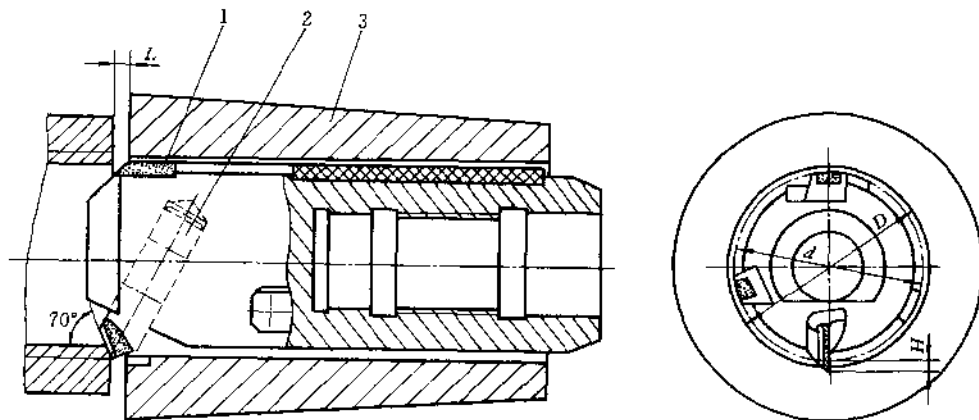


图 37.6-2 对刀图

$D$ —刀头导向套内径;  $d$ —硬质合金支承块直径

表 37.5-2 刀具走偏的主要原因及解决方法

主 要 原 因		解 决 方 法
毛 坯	弯曲度过大,造成加工余量不均,旋转产生振动	校直毛坯,全长范围跳动 $\geq 1.5\text{mm}$
	壁厚不均匀,材质不均匀,切削力变化大	适当降低转速和走刀量
	长径比大	从两端粗镗, L中心架
机 床	机床主轴与输油器主轴不同心或径向跳动过大	调整机床,恢复精度
	导轨磨损、变形,与主轴中心线不平行	修理机床导轨
	刀杆过长,刚性差,弯曲变形,产生振动	适当选用粗刀杆,加刀杆支撑架
刀 具	刀具切削角度或切削用量选择不当,造成扎刀或刀具磨损过快,切削抗力过大,出现让刀	合理选择刀具切削角度和切削用量
	硬质合金支承块磨损,与刀头导向套配合间隙过大	及时调整支承块尺寸,使保持合理间隙
	刀尖对硬质合金支承块径向超出量 $H$ 过大	调整刀尖伸出量
热 变 形	切削热使工件产生热变形并影响机床精度	加大冷却油箱容积和冷却供油量;当输油器采用液压顶紧时,油路中安装蓄能器

图 37.5-3 是可调式浮动镗刀结构图。浮动镗刀是一种定直径孔用刀具,适用于对半精加工后的孔进行精加工,它的校准刃长,偏角小,切削平稳。可对孔

进行修光,通过两对称切削刃产生的径向分力的平衡,使刀体沿刀方(刀头方孔)浮动,而不致卡死。

浮动镗刀安装在浮动镗刀头上,镗刀与刀头方孔

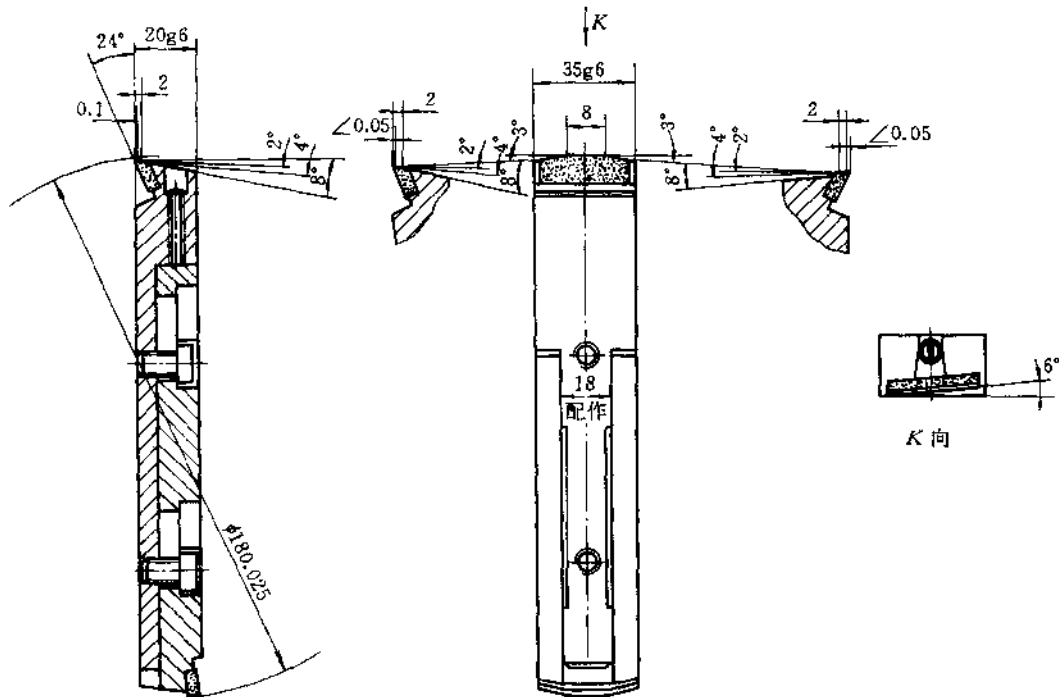


图 37.5-3 浮动镗刀

(刀方)的配合为  $\frac{H7}{g6}$ , 镗刀能够自由滑动并保持与镗刀头轴线垂直。

### C. 滚压

缸筒的滚压加工是通过滚压头上硬度很高的滚柱(滚珠)对内孔表面进行挤压,使其产生塑性变形,将微

观不平度滚平压光,从而降低表面粗糙度和提高表面硬度。

图 37.5-4 是滚压头结构图,滚压过程中,滚柱 1 在切向力和轴向力的作用下,既随支承套 3 公转,又绕自身轴线自转。在有过盈量和进给量的情况下,将工件表面压光。

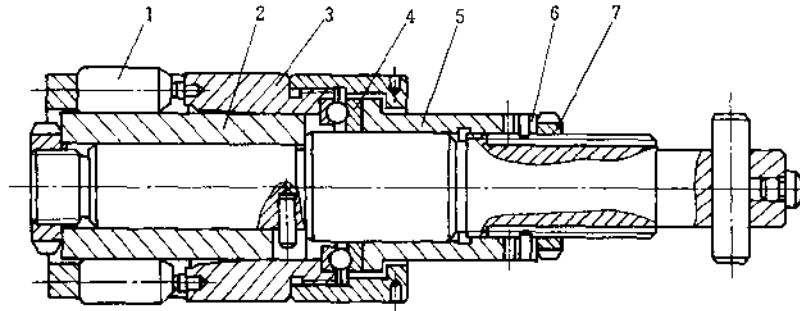


图 37.5-4 滚压头

旋动调节套 5 通过轴承 4 和支承套 3 可调整滚压外径尺寸。为防止工作中调节套转动而改变滚压头尺寸,在调节套和锁母 7 之间装有止动垫 6。

滚压头滚柱采用单列长锥形滚柱。滚柱支承在锥套 2 上,锥套的斜角为  $1^{\circ}10'$ ,滚柱的锥角为  $1^{\circ}30'$ ,从而使滚柱与工件表面形成  $20'$  的斜角。斜角的大小会改变滚柱与工件接触面的宽窄。斜角大,接触面过窄,滚压会出现螺旋纹。反之也会降低表面光洁度。

滚柱是滚压头的关键件。同一个滚压头的滚柱,直径相差不能超过  $5\mu\text{m}$ 。

一般,钢材滚压过盈量在  $0.13\sim 0.18\text{mm}$ ,滚压后孔径增大  $0.02\sim 0.03\text{mm}$ ,表面粗糙度降低 2~3 级。滚压生产效率为珩磨的 5 倍以上,是一种效率较高的加工方式。

#### 滚压注意事项:

- 滚压前,孔应经过浮动镗加工,粗糙度不大于  $1.6\mu\text{m}$ 。

- 缸筒及切削液内应无铁屑杂物,否则滚压后会产生“麻点”。

- 滚压次数一般不超过 2 次。以避免产生“脱皮”现象。

#### (3) 切削用量(吃刀深度、走刀量、切削速度)

缸筒材质 45 钢,硬度  $HBS \geq 200$ ,切削用量见表 37.5-3。

表 37.5-3 切削用量

加工工序	$t/(mm)$	$s/(mm/r)$	$v/(m/min)$
粗镗	2~2.5	0.4~0.5	40~60
细镗	2~2.25	0.4~0.5	40~60
精镗	分两刀进行 $0.15\sim 0.20$ $0.1\sim 0.15$	0.4~0.6	20~25
滚压	过盈量 0.13~0.18	0.5~0.6	60~80

### (4) 深孔镗床

图 37.5-5 为深孔镗床示意图

深孔镗床的主运动是工件 4 的旋转运动。床头 1 上装有床头胎 3,工件左端由床头胎的夹具夹紧,右端顶在输油器 7 前端盖上并有中心架 5 和托架 6 支承。机床主轴带动工件旋转;镗杆 8 通过镗杆座 10 固定在拖板 11 上,中间并有镗杆支承架 9 支承,拖板带动镗杆完成进给运动。

#### A. 床头胎

床头胎(图 37.5-6)由车床夹具 2 和过渡套筒 1 组成。车床夹具为弹簧夹套式。以减小缸筒夹紧变形。过渡套筒与机床主轴相连。其上开有长方口,用于取下浮动镗刀和滚压头,切屑和冷却液也从这里排出。

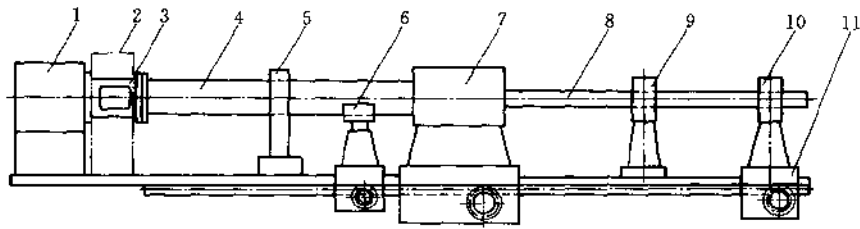


图 37.5-6 深孔镗床示意图

1—床头;2—挡油罩;3—床头胎;4—工件;5—中心架;6—托架;  
7—输油器;8—镗刀杆;9—镗杆支承架;10—镗杆座;11—拖板

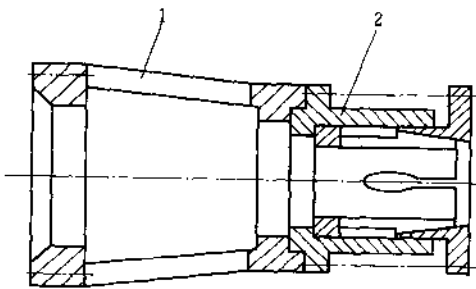


图 37.5-6 床头胎

1—过渡套筒;2—车床夹具

输油器是深孔镗床的主要部件,见图 37.5-7。

其作用为:

- 输送冷却液。
- 安装导向套,正确引导刀头进入工件。
- 支承镗杆,增加镗杆刚性,防止振动。

• 顶正工件,确定工件、刀具、机床主轴之间的正确位置。

因此,对输油器有如下要求:

- 输油器主轴 3 与机床主轴同心;旋转精度好。
- 密封性好,不使冷却液外溢。
- 更换导向套方便,具有一定的通用性。

加工不同直径的缸筒需要更换相应的刀头导向套 2,镗杆支承套 4 和前端盖 1。

### C. 深孔镗冷却系统

深孔镗削的冷却排屑非常重要。需有一定强制性,需要大流量的冷却液冲走切屑。冷却泵的流量可参考经验公式确定

$$q = (1.5 \sim 2)D \quad (L/min)$$

式中  $q$ ——冷却泵流量;

$D$ ——被加工缸筒缸径(mm)。

切削时,冷却液温度不应超过  $50 \sim 60^\circ\text{C}$ 。

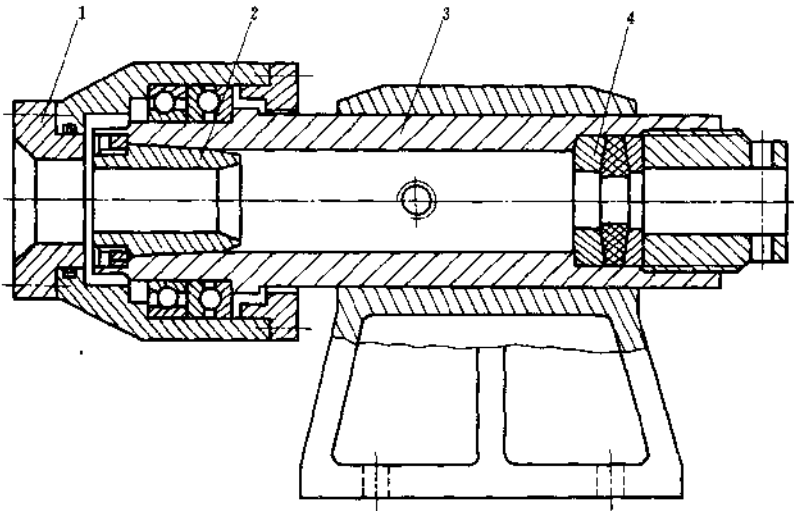


图 37.5-7 输油器

1—前端盖;2—刀头导向套;3—输油器主轴;4—镗杆支撑套

冷却系统要有可靠的过滤装置,用来提高油的清洁度。

冷却液要有冷却润滑作用,可选用一般机油 + 20% 硫化油或使用极压切削液。

### 37.5.3 薄壁缸筒强力珩磨工艺

珩磨能够方便地加工薄壁缸筒。以精冷拔无缝钢管为原材料,通过强力珩磨直接加工成缸筒内孔。工艺简单,生产效率是深孔镗削加工的 2~3 倍,材料利用率也在其 3 倍以上,废品率大大降低,并且缸筒外观好、重量轻。由于具备上述优点,缸筒内孔强力珩磨工艺得到日益广泛的应用,但是,珩磨对毛坯精度要求高,较深孔镗高 5 级以上。因此材料费用也高,受到材料规格及生产水平的一定限制。

#### (1) 珩磨原理

珩磨切削是通过珩磨头上的油石的旋转运动、往复运动和垂直于加工面的径向进给运动完成的。前两种运动是珩磨油石的主运动,这两个运动的合成,使加工表面形成的磨粒切削轨迹呈交叉而不重复的网纹。见图 37.5-8。

图中  $S_1 \rightarrow S_2 \rightarrow S_3$  珩磨油石运动轨迹;

$U_w$ ——油石往复运动速度;

$U_y$ ——油石圆周运动速度;

$\alpha$ ——网纹角  $\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = \frac{U_w}{U_y}$ ;

$L\Delta$ ——珩磨头回转一周后,在轴向与原切削轨迹的超程量,或称搭接量,保证前后切削轨迹平滑衔接。

$A$ ——珩磨头两次往复行程期间,在工件圆周方向移动距离,称相位移,使油石轨迹不重复。

珩磨加工是通过油石和被加工面之间的互研进行

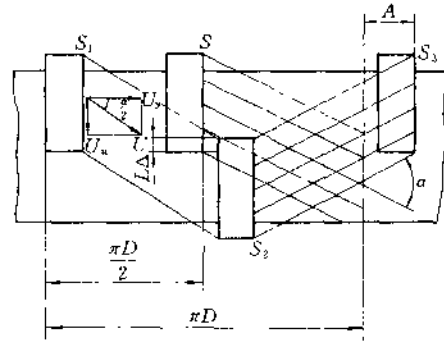


图 37.5-8 珩磨运动原理图

切削的,可以达到很高的精度和很低的表面粗糙度。珩磨较容易地达到一般缸筒  $IT_7, \sqrt{R_a}$  的要求。为使油石能与孔表面均匀接触,珩磨头相对工件是浮动的,故珩磨加工不能修正相对位置误差。

珩磨径向进给,依靠油石扩张压力,压力高则切削量大。精冷拔管,强力珩磨油石与机床的应用,为强力珩磨提供了有利条件,与传统的珩磨加工相比,从光整加工转变为有效的切削加工。金属去除率和生产效率有了很大提高。

#### (2) 珩磨头

图 37.5-9 是典型的珩磨头结构图。

油石 6 用粘接剂粘在油石架 2 上,油石架两端由拉簧 1 箍紧,使支架下端斜面与芯轴 3 锥面贴紧。当压力作用在顶杆 5 上时,芯轴向前移动,推动油石架沿本体上的长槽径向伸出,实现油石扩张进给,压力去除后,芯轴在尾部弹簧 4 作用下退回,油石架在拉簧作用下也随之收回。

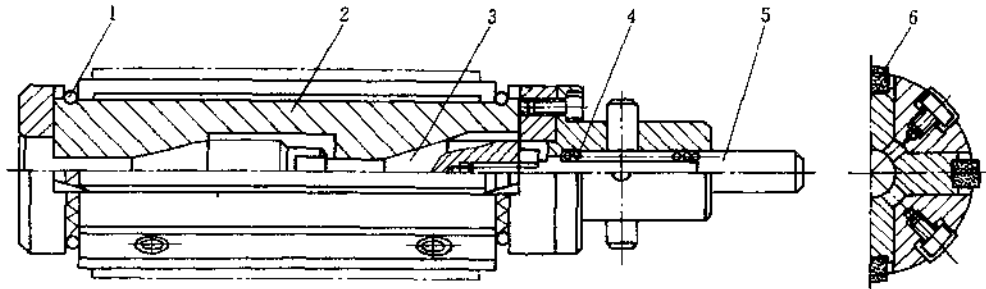


图 37.5-9 珩磨头

1—拉簧;2—油石架;3—芯轴;4—尾部弹簧;5—顶杆;6—油石

#### (3) 强力珩磨油石

油石要求在强力珩磨压力下,不发生崩裂破碎。切削力强,自励性好。不因硬度高而粘屑划缸,或因硬

度低而降低耐用度。

油石渗硫,硫在磨削时起润滑作用,提高了油石的强度和寿命。由烟台砂轮厂生产。

缸筒经珩磨加工后,内孔粗糙度 $\nabla 0.3$ 。珩磨油石选择见表 37.5-4。

表 37.5-4 珩磨油石选用表

加工工序	磨料	粒度	硬度
粗珩	白刚玉 WA	150 $\mu$	K
		180 $\mu$	GHJ
精珩	白刚玉 WA	W40	GHJ
	绿碳化硅 GC	W20	F

油石结构尺寸见表 37.5-5。

表 37.5-5 油石尺寸选用表

珩磨头直径/mm	油石数量	油石宽度/mm	油石长度/mm
20~50	2~4	4~10	30~100
50~150	3~6	7~15	80~200
150~250	4~8	10~20	150~250
>250	>8	>12	>200

(4) 毛坯

以精冷拔管做缸筒毛坯,材质一般为低、中碳钢、低碳合金钢。如 20 $\#$ 、35 $\#$ 、45 $\#$ 、15MnV 等。毛坯精度可参照液压和气动缸筒用精密内径无缝钢管(GB8713-88)选用。直线度选 A 级:0.3:1000

(5) 珩磨冷却润滑

为了及时排除切屑和散热。珩磨要有充分的冷却润滑。由于缸筒较长,卧式珩磨机可采用跟随内冷却方式即把冷却液出口接到珩磨头上,使冷却液随珩磨

头直接浇到切削区域。

苏州特种油脂厂生产的强力珩磨油,可满足使用要求。

(6) 工艺参数选择

A. 油石越程量  $a$

油石越程量是指珩磨头在行程两端位置时油石伸出工件的长度  $a$ 。加工中,经验的越程量约为  $\frac{1}{4} \sim \frac{1}{3}$  的珩磨油石长度。 $a$  过大,珩出的孔呈喇叭形;反之易出现腰鼓形。

B. 加工余量  $\delta$

加工余量的大小,直接影响珩磨效率和珩磨质量。应在确保加工要求的前提下,减小加工余量。采用精冷拔管直接珩成内孔。 $\delta$  一般在 0.15~0.5mm,毛坯精度差、缸径大,余量留大些,反之,余量留小些。

C. 油石工作压力  $p$

油石工作压力是指垂直作用于油石单位面积上的力。它不仅影响金属去除量和油石损耗,而且还影响缸筒的几何形状和表面粗糙度。一般粗珩压力较高,精珩压力较低。

D. 油石圆周速度  $U_s$ 、往复速度  $U_w$ 、网纹角  $\alpha$

以上参数之间的关系见图 37.5-8,网纹角  $\alpha$  与珩磨表面粗糙度、珩磨效率有密切关系, $\alpha$  为  $30^\circ \sim 60^\circ$  时珩磨效率最高。一般, $\alpha$  值在粗珩时,选  $40^\circ \sim 60^\circ$ ;精珩时选  $20^\circ \sim 40^\circ$ 。

参数选择与毛坯状况、机床性能、缸筒内孔精度和粗糙度要求以及珩磨油石等有关。

(7) 加工举例

A. 工艺过程

图 37.5-10 为缸筒加工示意图。

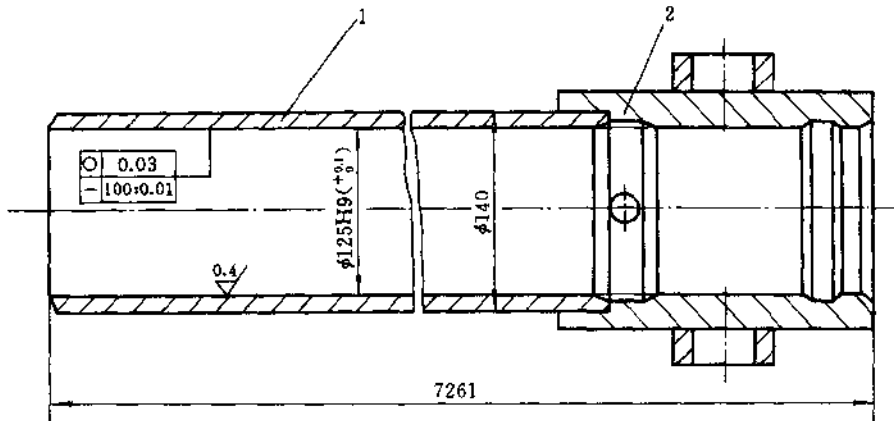


图 37.5-10 缸筒加工示意图

1—缸体;2—缸头

缸筒由缸体 1, 缸头 2 组焊而成。缸体毛坯采用 45# 钢。加工余量 0.3~0.4mm。精冷拔无缝管材。规格:  $\phi 140 \times 7.5 \times 7092$ mm。材质 缸筒加工工艺过程见表 37.5-6。

表 37.5-6 缸筒(珩磨)加工工艺过程表

工序号	加工工序	工 序 内 容	设 备	工 艺 装 备
1	焊	将缸头与缸体焊为一体	气保焊机	
2	车	车缸头内孔与缸筒接刀	车床	
3	珩	粗、精珩磨内孔成	H10 珩磨机	
4	车	车右端架子 II	车床	锥度顶尖
5	车	车右端各部	车床	
6	车	车左端各部	车床	

### B. 珩磨机

珩磨机为 H-10 卧式自动珩磨机。

珩磨孔径:  $\phi 40 - \phi 300$ (mm), 加工长度 10000mm

主轴转速: 20~160r/min 无级调速。

进给速度: 5~22m/min 无级调速。

定压进给, 可实现高低压自动转换; 加工时间定时控制。

### C. 工艺参数选择

工艺参数见表 37.5-7。

表 37.5-7 工艺参数选择

加工工序	$U_p/(m/min)$	$U_w/(m/min)$	$p/(MPa)$
粗珩	24~26	14	0.9~1.1
精珩	47~51	14	0.5~0.6

### D. 油石扩涨压力

加工中, 油石扩涨压力采用低、高、低分配形式, 效果较好。见图 37.5-11。

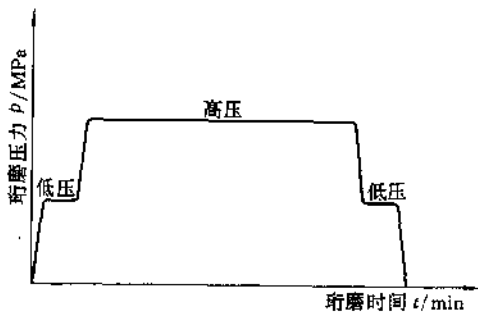


图 37.5-11 珩磨油石低、高、低压力扩涨

其作用是:

- 初期低压: 使油石与缸筒内孔磨合, 并防止缸筒内孔因焊接变形或可能出现的缺陷, 如局部磕扁, 精度过低等而挤碎油石。

- 中间高压: 充分切削、效率高。

- 最后低压: 孔径进入公差带后, 换上精珩油石降低压力, 进行精珩, 提高抛光能力, 使表面粗糙度达到要求。

### (8) 缸筒装夹

薄壁缸筒装夹易产生变形, 影响加工精度。加工时要特别注意。H10 珩磨机是采用 V 型钳口定位夹紧, 并辅助以钢丝绳—棘轮装置夹紧, 以减小夹紧变形。一般是把钳口夹紧点放在缸头等壁厚处, 且用力不宜过大。

### 37.5.4 刮削辊光工艺

刮削辊光工艺是采用复合镗滚头在刮削滚光机床上加工缸筒内孔的高效率镗滚工艺。

#### (1) 复合镗滚头的结构和工作原理

复合镗滚头主要由粗镗刀头、精镗刀头、滚压头和支承等几部分组成。其结构见图 37.5-12。

#### A. 粗镗刀头

粗镗刀头由刀体 1、粗镗刀 33 和断屑器 34 组成。粗镗刀为定尺寸, 采用不重磨刀片, 用压板 19 紧固。其作用是去除毛坯的大部分切削余量, 留精镗量单边 0.5~1mm。

#### B. 精镗刀头

精镗刀头由上下刀体 35、39, 活动块 38, 固定块 37, 精镗刀 43 和导向块 46 等组成(见 K 向视图)。工作时, 压力油顶开钢球 17, 进入内腔推动活塞杆 26 左移, 带动活动块 38 沿固定块 37 中 45° 斜槽左移, 从而



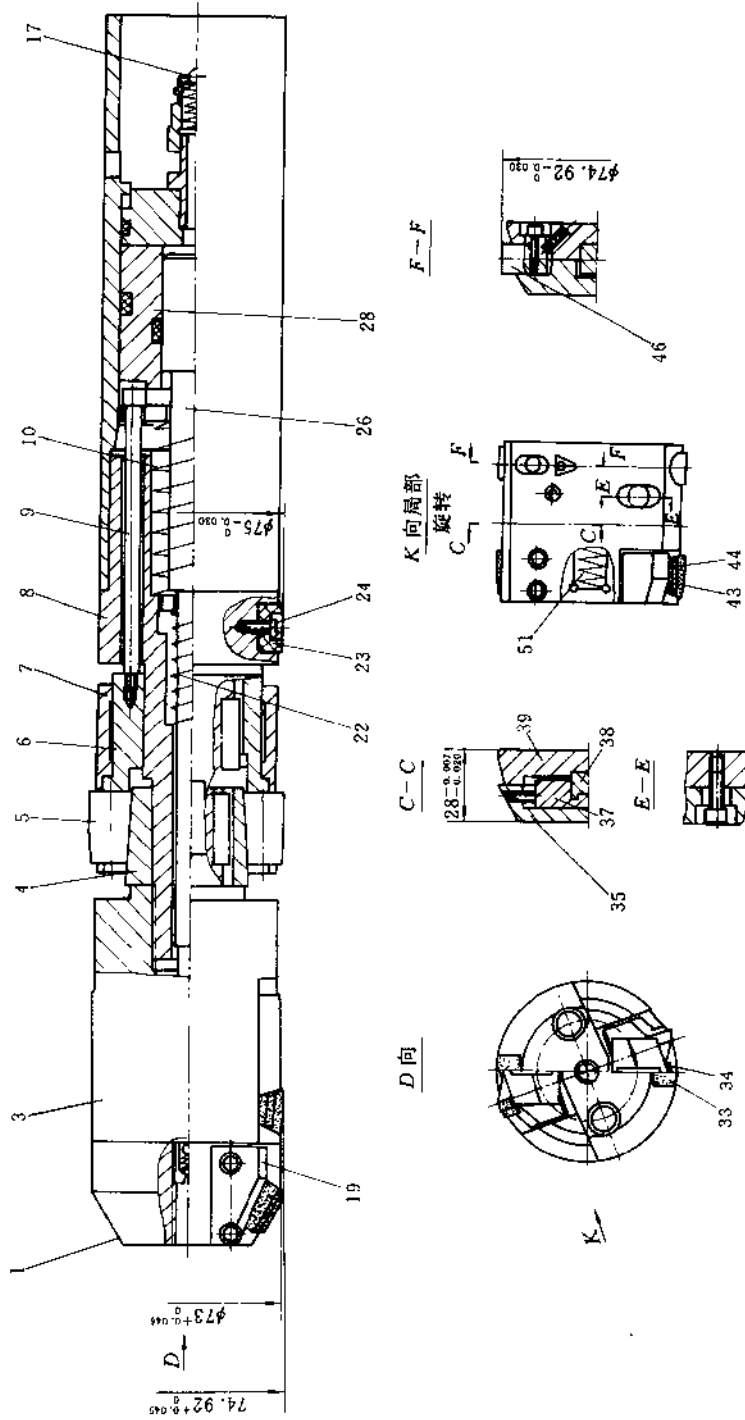


图 37.5-12 复合锥滚头结构图

使上下刀体对称张开至精镗刀预调尺寸,而精镗刀的预调是在专用调刀仪上进行。整个切削过程完成后,压力泊泄压,在弹簧 22 的作用下,活塞杆右移,活动块沿固定块斜槽右退,上下刀体收缩,精镗刀头尺寸缩小,便于快速退刀。精镗刀头上设置有导向块 46,其尺寸比精镗刀尺寸稍小,在调刀仪上一并调整。导向块的支承导向作用,使加工时刀头保持平稳;退刀时避免了切削的产生。导向块采用铸造锡青铜以增加耐磨性。精镗刀头与精镗刀体 3 的刀方(刀头方孔)滑动配合,工作时成为浮动镗刀。

#### C. 滚压头

滚压头由锥滚 5、保持架 7、移动套 4 和顶套 6 等组成,工作时,压力油顶开钢球 17 进入内腔,推动活塞 28 左移,通过内六角螺钉 9 推动顶套 6,将置于保持架 7 中的锥滚 5 沿移动套 4 锥面左移而使滚压头外径增大,其增量的大小可通过油压来控制。退回时,因油压为零,在弹簧 10 作用下,锥滚沿锥面右移,滚压头尺寸减小,以便于刀具退回。

#### D. 支承块

支承块 23 用螺钉 24 固定于连接芯轴 8 上,其尺寸略小于滚压头尺寸,它用尼龙制成,工作时做滚压头的后支承,防止刀具震颤,同时作为刀具快速退回时的支承,以保护刀具。

#### (2) 表面粗糙度控制

加工表面粗糙度的控制,是通过机床操纵而板上的压力数码调节旋钮的调整,控制压力补偿式滚柱的工作压力,从而获得所需工件表面粗糙度。压力调整有 N12 ~ N1 级,相应得到的粗糙度为  $R_a 50 \sim R_a 0.025$ 。

#### (3) 工艺特点

刮削滚光工艺主要特点:

- 采用复合刀具,粗镗、精镗、滚压集于一体。内孔一次走刀成形。最大一次加工余量 8 ~ 15mm,最小加工余量 0.3mm。精镗刀和滚压头靠油压张开,卸压后,自动缩回,刀头不用卸下,即可从加工完的孔中快速(7.35m/min)退回。整个加工过程,一次装夹完成,工效高。如加工  $\phi 125$  缸体内孔,当加工余量为 8mm 时,每米只需 3min。

- 加工精度稳定在  $H_9$  以上。滚压头采用了压力补偿式滚柱,滚柱无需事先调整,工作时滚柱承受的滚压力与滚压压力始终处于动平衡状态,从而使加工表

面粗糙度一般为  $R_a 0.2 \mu\text{m}$ ,最高达  $R_a 0.1 \mu\text{m}$

- 刮削可以加工径向有孔的零件。
- 加工后的表面易于清洗。

由于具备上述优点。刮削滚光工艺已开始在国内推广应用。

## 37.6 低速液压马达制造工艺

本章只介绍径向球塞式低速大扭矩液压马达(QJM 型液压马达)和从意大利引进技术生产的曲轴连杆式五星轮液压马达(NHM 型液压马达)。

### 37.6.1. QJM 型液压马达关键零件的技术要求

QJM 型液压马达(参见图 12.4-8)与其它类型的液压马达相比较具有重量轻、体积小、低速稳定性好、效率高等特点,额定工作压力为 20MPa 尖峰工作压力可达 31.5MPa 以上。

由于该型液压马达结构设计比较紧凑,用钢球代替了一般内曲线液压马达所用的两个以上的滚轮和横梁,而且无轴承作为支承,所以要求其零件必须具备高强度、耐磨、配合严密等条件,给加工带来了一定的困难。其主要关键零件是定子、转子及配流轴。

#### (1) 定子

液压马达工作时,高压油通过配流轴作用于活塞上,再由钢球传递到定子,由定子的内曲线形状将正压力  $N$  分解为径向分力  $N'$  和切向分力  $F$  反作用于钢球,在  $F$  力的作用下推动转子旋转。由此可见,切向分力  $F$  的大小由定子内曲线的形状决定。而且由于钢球与定子的接触应力要比一般的滚柱或横梁与定子的接触应力大得多,因此,要求定子不但要有准确的内曲线形状,而且必须具备高硬度、高耐磨、抗疲劳等性能。

根据上述要求,定子的材料为轴承钢 GCr15SiMn 要求退火球化二级以上,整体淬火硬度 HRC60 ~ 63。

#### (2) 转子

转子的作用是传递扭矩,但它又是该型液压马达中所有摩擦副的集中地,它与配流轴组成旋转摩擦副,与活塞组成往复摩擦副。所以对转子的主要要求是耐磨性,但转子又是传递扭矩的零件,还要求具有足够的强度。因此,转子的材料选用球墨铸铁 QT600,热处理正火硬度 HB230 ~ 260。另外,转子与配流轴、活塞配合间隙的大小,直接影响到该液压马达的内漏及空

配油轴在该型液压马达中有三个作用:一是配流;二是油路的联接;三是作为转子的径向支承。它的配流角度的加工精度直接影响到液压马达的总效率、冲击和噪声;作为对外联接,它又要具有足够的刚性;作为支承,它又与转子直接组成旋转摩擦副,需要具有较高的耐磨性。从各方面的因素考虑,选用的材料为球墨铸铁 QT600,要求热处理正火硬度在 HB230~260 左右,与转子配合的圆柱面的圆柱度不大于 0.005mm 表面粗糙度  $R_a \leq 0.8\mu\text{m}$ ,配流角度的分度误差为  $\pm 10'$ 。

### 37.6.2 NHM 型液压马达关键零件的技术要求

NHM 型液压马达(参见图 12.3-2)的主要特点是噪声低、效率高、可靠性好,目前已是国内注塑机行业的首选产品。

该液压马达的工作原理是:压力油通过配流器作用于柱塞缸上,通过连杆推动偏心曲轴,使曲轴旋转,输出扭矩。一个旋转周期内扭矩的形成是依靠五个柱塞缸依次工作相加。

#### (1) 壳体

壳体是该液压马达的基体,所有零件都安装在壳体上,它又是配流的关键零件,不但后平面上的配流孔心须与配流器保持同等分,而且五个柱塞缸也必须与配流孔在同一分度平面上。否则,配流不平稳,影响液压马达的稳定性和效率。

其次,它又是曲轴的安装基体,两个轴承安装孔必须在同一轴线上,因此加工的等分精度与同轴度是该零件的加工关键。另外,配流器与壳体后平面的回转摩擦与五个柱塞缸的安装联接还要求壳体有高度的耐磨性和刚性,所以,选择球墨铸铁 QT600 或合金钢铸件,要求其热处理硬度在 HB220~250 左右。

#### (2) 连杆

连杆在该产品中起着力的传递作用。它与曲轴外面的轴承外圈弧面接触,形成摩擦副起到密封作用;与柱塞内孔球面接触,同样形成摩擦副也起到密封的作用,另外还起到万向节的作用。这就要求连杆的圆弧面与球面都要具有接触面光滑、耐磨、配合尺寸准确。而且,它又是传力机构,要求具有足够的强度和刚性。

#### (3) 曲轴

曲轴是该型液压马达的扭矩输出机构。它不但需要具有足够的强度,而且它的偏心曲拐又是轴承的内圈,必须具有较高的硬度。因此,选用渗碳钢结合表面渗碳淬火工艺,使其在保证足够的表面硬度的基础上,在工件芯部具有较强的韧性。在加工时,必须注意曲

拐表面的形状尺寸及两端轴承挡圈的同轴度及平行度。

### 37.6.3 QJM 型液压马达关键零件的工艺过程

#### (1) 定子加工工艺过程

由于定子是由轴承钢整体淬火后加工成形的,所以,在编制工艺规程时,应特别注意以下几点:

① 定子的内圈是凹凸不平的内曲线,且壁厚相差很大,淬透不匀且淬火变形大。实践证明,GCr15SiMn 要比 GCr15 淬火温度低,而且淬透性好。

② 锻打后的球化退火要彻底。为了减少淬火时的内应力,球化退火必须达到一至二级,无网状组织。

③ 必须严格控制淬火温度及淬火油的含水量。

④ 必须保证曲线加工机床的精度。内曲线的加工,目前国内还停留在用凸轮靠模的水平上。要保证内曲线的平滑过渡,必须要保证机床主轴与凸轮靠模传动轴之间的精度,不允许有松动现象。因此,采用国外先进的内曲线加工中心是合宜的。

⑤ 注意内曲线精磨砂轮与钢球的尺寸配合。

为了保证定子的内曲线达到设计要求,在精磨内曲线时,应注意砂轮的直径与该马达装配用的钢球直径尽量保持一致。因为,砂轮的直径大小,直接影响到内曲线的形状。

定子的工艺路线见表 37.6-1。

#### (2) 转子加工工艺过程

转子是 QJM 型液压马达的重要部件,配流轴及活塞都安装在转子件上,在编制工艺规程时应注意以下几点:

- 确保铸件牌号,无任何砂孔、缩孔及气泡等铸造缺陷。

- 热处理正火时,要注意散热均匀,保温时间要适当延长。

- 在加工 10 孔或 20 孔活塞孔时,要尽量降低其表面粗糙度值,因此,最后二精铰工序采用金刚石铰刀加工。

- 配油内孔与各活塞孔之间的毛刺必须去净,但又不能倒角,所以,在内孔磨削加工完后的去毛刺工序也是该零件的关键工序。

其加工过程见表 37.6-2。

#### (3) 配流轴加工工艺过程

配流轴的加工,应注意以下几个问题:

- 配流槽与定位孔及配流槽之间的角度等分。在用夹具加工时,应注意夹具本身的分度精度。在可

表 37.6-1 定子工艺过程表

序号	工序名称	工 序 内 容	设 备
1	下料		
2	模锻		
3	热处理	球化退火 1~2 级	
4	粗、精车	内止口和二平面留磨余量 0.4~0.6mm	普通车床
5	钻孔	按图加工	立式钻床
6	铣曲面	内曲面留磨削余量 0.4~ 0.6mm	专用铣床
7	去毛刺		
8	热处理	整体淬火 HRC60~63, 变 形不大于 0.3	
9	磨平面	磨二平面达图纸要求	平面磨床
10	磨二止口	磨二止口达图纸要求	内圆磨床
11	磨内曲面	磨内曲面达图纸要求	专用曲线磨床
12	磨滚道	磨内曲线滚道达图纸要求	专用曲线磨床
13	探伤去磁	检查有无淬裂磨裂等缺陷	磁粉探伤机
14	清洗		
15	检查		

表 37.6-2 转子工艺过程表

工序号	工序名称	工 序 内 容	设 备
1	铸造		
2	热处理	消内应力退火	
3	粗车	留余量 2~3mm	普通车床
4	粗镗	留余量 3~4mm	专用镗床
5	热处理	正火 HB230~260	
6	精车	内孔及小端外圆留磨量 0.3 ~0.4mm	普通车床
7	钻定位孔	钻 $\phi 10$ 工艺定位孔	
8	镗孔	留精铰余量 0.01~0.03mm	专用镗床
9	铰孔		专用镗床
10	去毛刺	去铰孔后的活塞孔内毛刺	专用机床
11	插内花键	插内孔矩形花键	插床
12	磨外圆	磨小端外圆	外圆磨床
13	磨内孔	磨配油内孔	内圆磨床
14	去毛刺	用动力刷修去内孔毛刺	专用机床
15	清洗检查		

能的情况下,最好能在加工中心或数控铣床上用计算机控制分度。

- 与转子的配合间隙及形位公差必须达到设计要求,因此磨削加工工序应严格检测。

- 必须彻底清除配流轴的毛刺。

其工艺路线见表 37.6-3。

#### 37.6.4 NHM 型液压马达关键零件的工艺过程

##### (1) 壳体的工艺过程

壳体的加工难度是:

- 轴向尺寸公差。
- 五个柱塞孔与配流孔的角度控制。
- 五个配流孔之间的分度及与二定位销孔的分度角度控制。
- 二轴承座孔的精度。

宁波液压马达厂在加工 NHM 型液压马达壳体时,开始采用了在车床上镗孔或在铣床上镗孔、结合以柱塞孔定位钻配流孔的工艺,但加工精度不理想,轴向公差和分度要求很难保证。后来,从日本购进一台卧

式加工中心和一台立式加工中心,在加工中心上采用一次定位将全部工序加工完毕的工艺方法,结合铸件采用精密浇铸工艺,不但彻底解决了上述工艺难题,而且工效也大大提高。其采用的工艺过程见表 37.6-4。

##### (2) 连杆的加工工艺过程

连杆一端为内圆弧面,另一端为圆球面,是不规则的异形零件,加工装夹非常困难。为了便于加工,在铸造时应将五个或六个零件合铸成一体,待加工完毕后再切开,这样既可提高工效,又能保证加工精度。加工时应注意:

- 为了减小切开后的内圆弧面变形和热处理时变形,尽量减少切削应力,因此,要尽可能采用精密浇铸方法,以减少毛坯的加工余量。

- 圆球面的加工,按传统的加工办法是采用铣床范成法加工或在车床上用靠模加工。前者为了保证公差尺寸。刀具的制作比较困难,后者虽然效率较高但精度很难达到设计要求。宁波液压马达厂在加工该零

表 37.6-3 配流轴工艺过程表

工序号	工序名称	工艺内容	设备
1	铸造		
2	热处理	消除内应力退火	
3	粗车	留余量 2~3mm	普通车床
4	热处理	正火 HB230~260	
5	精车	内孔及外圆留磨余量 0.3~0.4mm	普通车床
6	钻孔	钻进出油口底孔	立钻
7	车螺孔	车进出油口螺孔	专用夹具
8	车偏心槽	车内孔偏心槽与油口接通	专用夹具
9	铣配流槽	铣配流槽达到设计要求	铣床
10	去毛刺	修去内孔槽口及配流槽口的所有毛刺,但不允许倒角	
11	磨内孔	磨内孔达到图纸要求	内圆磨床
12	去毛刺	修去内孔磨后产生的毛刺(用动力刷)	专用设备
13	磨外圆	按图纸要求配磨外圆,配合间隙一般 0.015~0.03mm	外圆磨床
14	去毛刺	用动力刷修去外圆上磨后产生的毛刺	专用设备
15	清洗 烘干		
16	检验		

件时,采用在数控车床上加工圆球面,再在球面磨床上精磨,这样既提高了工效,又保证了加工精度。

其加工工艺过程见表 37.6-5。

### (3) 曲轴加工工艺过程

曲轴加工与一般动轴相比具有几个不同的地方:

- 一般的传动轴采用中碳钢或中碳合金钢调质处理,加工较容易。曲轴采用渗碳钢表面渗碳淬火,淬火后变形及硬度高给精加工带来一定困难。

- 曲拐处二边凸出部较薄,容易淬裂;曲拐偏心大,容易产生淬火变形。

- 加工精度要求高。

解决办法是:

- 在粗车后进行热处理正火,一是消除切削应

表 37.6-4 壳体加工工艺过程表

工序号	工序名称	工艺内容	设备
1	铸造	采用精密浇铸工艺	
2	热处理	正火 HB=230~260	
3	车定位外圆	车小端定位外圆	普通车床
4	立式加工中心加工	加工内孔二轴承档及钻孔、攻丝	立式加工中心
5	卧式加工中心加工	加工五个柱塞孔及平面配流盘上的孔、钻定位孔、并攻丝	卧式加工中心
6	钻斜孔	在立钻上用角度夹具,钻五个斜通油孔	立钻
7	磨平面	磨小端配流平面	高精度平面磨床
8	去毛刺	修去所有加工后的毛刺	
9	清洗 烘干		
10	检验		

表 37.6-5 连杆工艺过程表

工序号	工序名称	工艺内容	设备
1	铸造	精密浇铸	
2	热处理	正火 HB=230~260	
3	车内外圆	按图纸要求车内外圆切槽,其中内孔放磨量 0.3~0.4mm	普通车床
4	车球头	在数控车床上车球面放磨余量 0.1~0.15mm	数控车床
5	钻孔	钻通油孔	立钻
6	磨内孔	磨内孔达到图纸要求	内圆磨床
7	切开	在卧铣上用锯片铣刀切开	铣床
8	铣油槽	在铣床上铣油槽	铣床
9	去毛刺、倒角		
10	热处理	表面处理氮化	
11	研磨		
12	清洗 烘干		
13	检验		

力,减少变形;二是为渗碳作准备。

- 适当增加磨削余量;增加渗碳深度,避免淬火变形形。

- 在渗碳时,在薄壁处涂保护层,以减少渗碳量,避免淬裂。

- 采用花键磨床及电脉冲加工,最终对花键及平键槽进行位置及尺寸修正。

其加工工艺过程见表 37.6-6(以平键联接曲轴为例)。

表 37.6-6 曲轴工艺过程表

工序号	工序名称	工序内容	设备
1	锻打	模锻加工	
2	平头		普通车床
3	划线打中心孔		
4	粗车	放余量 2mm	普通车床
5	热处理	正火,消除内应力	
6	精车外圆	二顶尖装夹,车轴挡外圆,留余量 0.6~0.8mm	普通车床
7	精车曲拐	用偏心夹具装夹(或在曲轴车床上加工)车曲拐,留余量 0.6~0.8mm	普通车床 (曲轴车床)
8	铣端面槽	在铣床上用刀具装夹铣端面槽	立铣
9	铣封块缺口		铣床
10	配封块		
11	铣槽	二顶尖装夹铣键槽留余量 0.2~0.3mm	立铣
12	打中心孔	按小端轴挡外圆找准打端面槽内中心孔	普通车床
13	去毛刺		
14	热处理	渗碳淬火	
15	磨外圆	二顶尖装夹磨外圆	外圆磨床
16	磨曲拐	二顶尖装夹,校正偏心距及平行度,磨曲拐	曲轴磨床
17	电脉冲加工	按轴挡外圆找准,加工平键槽	电脉冲机床
18	清洗烘干		
19	检验		

## 37.7 液压件毛坯铸造工艺

### 37.7.1 液压用铸件毛坯的特点

液压件毛坯来源主要是铸件。如按重量计算,铸件约占产品总量的 70% 左右。由于液压件工作的特殊条件,对铸造毛坯的性能、质量都提出了很高的要求。综合起来,有以下几个方面。

#### (1) 耐压致密性

液压元件的工作压力,由 2.5MPa 到 32MPa,近年来,压力等级有逐渐提高的趋势,要求工作压力 32MPa 以上的元件和系统已不少见,有的达到 60MPa。为适应这一要求,液压件铸件的材质,不但要有足够的强度、韧性、弹性模量等机械性能,还须具备良好的耐压致密性。

#### (2) 结构复杂

液压元件的内部流道,由早期的加工成型发展到铸造成型;由简单流道发展为复杂流道;分片式多路阀发展为整体式结构;液压件集成化的结果使铸件的内腔结构在日趋复杂化。

#### (3) 精密

液压元件属精密机械,对铸造毛坯的尺寸精度和表面粗糙度都提出了很高的要求。这主要是因为高精度,光滑的铸造内流道对减少系统的压力损失,提高容积效率十分有利。同时,目前广泛采用的数控机床,加工中心等加工手段,也要求铸造毛坯有精确的定位基准与精确光整的外形。

#### (4) 清洁

液压元件要经常在高压力反复冲击作用下工作,铸件内腔任何残砂、锈蚀、氧化皮、杂物都会影响系统工作的可靠性。轻则污染液压油,卡死阀芯使系统失灵,重则造成系统损坏。因此,要求铸件,特别是铸件内腔的清洁十分重要。

#### (5) 品种规格多

为适应不同要求,液压元件的品种规格极其繁多,以至于难以说清其准确数量。有人预测,我国 2000 年液压元件将发展到 600 多个品种,7000~8000 个规格。如此繁多的品种规格,导致铸件繁多的种类,也决定了铸件毛坯生产方式的多样性。

本手册仅介绍液压件毛坯中量大面广的铸铁件毛坯的铸造工艺。

### 37.7.2 材质熔炼

液压件铸铁毛坯的材质,国内外普遍以孕育铸铁、球墨铸铁为主,少量采用合金铸铁和蠕墨铸铁。

表 37.7-1 为孕育铸铁的牌号及单铸试棒的机械性能。

表 37.7-1 孕育铸铁牌号及单铸试棒的机械性能(GB9439-88)

牌 号	HT250	HT300	HT350
$\sigma_b/MPa \geq$	250	300	350

由于铸铁的机械性能与铸件壁厚有关,表 37.7-2 列出各牌号不同壁厚孕育铸铁件预计达到的机械性能。

表 37.7-2 不同壁厚孕育铸铁件预计达到的机械性能(GB9439-88)

牌 号	铸件壁厚 /mm		最小抗拉强度 $\sigma_b/MPa \geq$	硬 度 HB
	大于	至		
HT250	4.0	10	270	183~241
	10	20	240	
	20	30	220	
	30	50	200	
HT300	10	20	290	190~262
	20	30	250	
	30	50	230	
HT350	10	20	340	196~277
	20	30	290	
	30	50	260	

球墨铸铁单铸试块的机械性能见表 37.7-3。表 37.7-4 是球墨铸铁附铸试块的机械性能。

### (1) 孕育铸铁

#### A. 孕育铸铁概述

GB9439-88 列出灰铸铁的 6 种牌号。前三种牌号即:HT100;HT150;HT200 是普通灰铸铁。其基体为粗片状珠光体和铁素体。由于石墨粗大,机械性能较低,抗拉强度一般在 200MPa 以下。如果在一定条件下,加入高温铁水中一定量物质,通过改变铸铁的金相组织而使机械性能得到显著提高的方法叫铸铁的孕育。通过孕育生产的铸铁叫孕育铸铁。

GB9439-88 后三种牌号即:HT250;HT300;HT350 是孕育铸铁。通常是在低碳当量的原铁水中加入少量促进石墨化的元素如硅铁合金等,使本来要变为白口或麻口的铸铁转变为细片状石墨和细片状珠光体基体的铸铁。

通过孕育,铸铁的抗拉强度提高到 250MPa 至 400MPa,同时,材质的致密性,弹性模量,断面均一性,耐磨和耐蚀性能也显著提高。特别是组织致密,抗渗透能力强的特点,成为液压件铸件毛坯的首选材料。

#### B. 孕育铸铁的熔制

##### (A) 配料化学成分的控制

严格控制化学成分是取得良好孕育效果的必要条件。化学成分的常规选择范围如下:

**碳** 根据所需牌号的高低在 2.7%~3.3% 范围内选择。牌号愈高,碳量愈低。

**硅** 由于孕育过程要增加最终铁水成分的硅含量。因此,当确定含碳量后,一般把硅维持在稍低于能

表 37.7-3 液压件用球墨铸铁牌号及单铸试块的机械性能(GB1348-88)

牌 号	$\sigma_b/MPa$ $\geq$	$\sigma_{0.2}/MPa$ $\geq$	$\delta/(%)$ $\geq$	供 参 考	
				HB	主要金相组织
QT400-15	400	250	15	130~180	铁素体
QT450-10	450	310	10	160~210	铁素体
QT500-7	500	320	7	170~230	铁素体+珠光体
QT600-3	600	370	3	190~270	珠光体+铁素体
QT700-2	700	420	2	225~305	珠光体

表 37.7-4 球墨铸铁附铸试块的机械性能(GB1348-88)

牌 号	铸件壁厚 /mm	抗拉强度	屈服强度	延伸率	供 参 考	
		$\sigma_b$ /MPa	$\sigma_{0.2}$ /MPa	$\delta$ (%)	布氏硬度	主要金相组织
		最 小 值			HB	
QT400-15A	>30~60	390	250	15	130~180	铁素体
	>60~200	370	240	12		
QT500-7A	>30~60	450	300	7	170~240	铁素体 + 珠光体
	>60~200	420	290	5		
QT600-3A	>30~60	600	360	3	180~270	珠光体 + 铁素体
	>60~200	550	340	1		
QT700-2A	>30~60	700	400	2	220~320	珠光体
	>60~200	650	380	1		

注:牌号后 A 表示在附铸试块上测的性能。

显著促进石墨化的临界值,而硅的临界值又取决于含碳量的高低和铸件的壁厚。在实际生产中,常根据铸铁组织关系图在保证原铁水组织为白口与麻口的前提下选定硅含量,从而获得良好的孕育效果。选择范围大约在 1~1.6%。

**锰** 根据铸件壁厚在 0.6%~1.4% 范围内选择,

薄壁件取下限,厚壁件取上限。

**硫** 是孕育铸件的有害元素,阻碍石墨化,增加铁水粘度,使流动性变差,应限制在 0.1% 以下。

**磷** 磷含量过高会降低孕育铸铁的冲击韧性,应限制在 0.15% 以下。

表 37.7-5 是孕育铸铁的配料和化学成分参考。

表 37.7-5 孕育铸铁配料和化学成分

牌 号	配 料 / (%)			化 学 成 分 / (%)						孕育剂 / (%)	
	废 钢	原 生 铁	回 炉 料	C	Si		Mn	P	S	75 硅 铁	
					孕 育 前	孕 育 后					
HT 250	冲天炉	20~35	30~35	40~50	3.0~3.3	1.3~1.5	1.5~1.7	0.8~1	<0.15	<0.1	0.2~0.4
	电炉	9~12	35~40	45~55							
HT 300	冲天炉	35~40	25~30	30~40	2.9~3.2	1.1~1.2	1.4~1.7	1~1.2	<0.15	<0.1	0.4~0.8
	电炉	12~15	35~40	45~55							
HT 350	冲天炉	45~55	15~20	30~35	2.8~3.1	0.8~1.0	1.3~1.5	1.2~1.4	<0.15	<0.1	0.5~0.8
	电炉	15~18	30~35	45~55							

#### (B) 温度控制

高温铁水是保证孕育铸铁质量的必备条件。因为孕育铸铁碳当量低,熔点较高,一般用于孕育剂的 75 硅铁本身熔点达 1320℃,这就要求原铁水有较大的过热度才能保证孕育剂充分熔化。表 37.7-6 列出孕育铸铁的出铁温度。

表 37.7-6 孕育铸铁的出铁温度

牌 号	HT 250	HT 300	HT 350
出铁温度 /℃	1450—1520	1480—1530	1500—1550



## (C) 炉料处理

孕育铸铁由于加入大量废钢降低含碳量,易产生氧化,气孔等缺陷,因此,需对金属炉料进行除锈与除杂质处理。

## (D) 孕育剂

孕育铸铁常用的孕育剂主要有硅铁合金与硅钙合金两种。近几年国内外出现很多新的孕育剂,比如在硅铁中加入钡、锶、铝、钛、稀土元素等,但含铝和钙的硅铁仍占主导地位。

含硅量为75%左右的SiFe75(GB2272-80),由于其熔点低,易被熔化吸收,来源广且价格低而被广泛采用。缺点是含铝量高,有增加铸件皮下气孔的危险。因此,湿型生产时应限制SiFe中的含铝量在1.5%以下。

常用的硅钙合金是含钙28%的Ca28Si60,含钙31%的Ca31Si60(GB3419-82)。与硅铁合金相比,硅钙有更强的孕育效果。特别是初始孕育效果好,易得到最高强度。但由于成本高,易造渣,易衰退等缺点,生产上不如硅铁使用普遍,多作为辅助孕育剂使用。

## (E) 孕育工艺

孕育剂加入量与铁水吸收情况有关。吸收率大约为70%~90%,孕育作用所需的硅量一般为处理铁水总量的0.15%~0.3%。如使用SiFe75,加入量应为处理铁水量的0.25%~0.6%。

硅铁的粒度,根据铁水包大小控制在2~10mm。硅铁在加入高温铁水前要预热处理,预热温度为250℃~550℃,一般加在出铁槽上,距出铁口300mm左右。加入时间应占总出铁时间的60%~80%,浇注前最好进行搅拌,孕育处理后的铁水要在15min之内浇入铸型,以免孕育衰退。

## (F) 孕育效果判定

炉前快速判定采用三角试片法。常用三角试片尺寸见图37.7-1与表37.7-7。各牌号孕育前后三角试片白口数见表37.7-8。

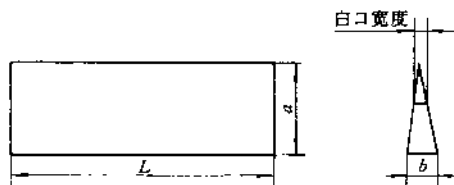


图 37.7-1 常用三角试片尺寸

表 37.7-7 三角试片尺寸

编号	a/mm	b/mm	L/mm	测量极限
1	40	15	120	6
2	50	20	150	10
3	60	25	150	12
4	110	50	180	25

表 37.7-8 孕育前后三角试片白口数

牌 号	孕育前白口数	孕育后白口数
HT350	12~24	5~10
HT300	8~18	4~8
HT250	6~12	3~7

## (2) 球墨铸铁

## A. 球墨铸铁概述

石墨呈球状的铸铁叫球墨铸铁。是一种使用较广泛的高强度铸铁。与片状石墨比较,由于石墨呈球状,对金属的切口作用大为减少,强度利用率大为提高。

球墨铸铁按基体分类有珠光体球墨铸铁和铁素体球墨铸铁两类。另外有经过等温淬火的奥氏体,贝氏体球墨铸铁。

表37.7-3列出五种液压件常用球墨铸铁牌号。其中QT400-15,QT450-10二种是铁素体基体,QT700-2是珠光体基体,QT500-7;QT600-3两种是珠光体,铁素体混合型基体。

## B. 球墨铸铁的熔制

## (A) 配料化学成分确定

碳当量,碳和硅;把硅含量折算成一定量的碳加到实际含碳量上算得的碳量总和称为碳当量,用 $C_E\%$ 表示。即

$$C_E\% = C + 0.3Si$$

球墨铸铁的碳当量在共晶或略高于共晶成分,一般在4.5~4.7%范围内。通过调整碳当量可控制球墨铸铁铸态的基体组织和机械性能。

通常,碳在3.6%~3.9%范围内选择,而硅含量则取决于铸件壁厚和铸态基体组织。铸件厚大,含硅量应低,铸件薄小,含硅量应高。珠光体基体的球铁,总含硅量应在2%~2.6%范围内选择,而铸态铁素体基体的球铁,总含硅量可在2.4%~2.9%之间选择。

在总含硅量确定的前提下,要尽可能降低原铁水的硅含量,而将较多的硅用于孕育时加入,这样可获得

强度、韧性较高的球铁。

**锰** 一般控制在 0.3%~0.8% 范围内,高韧性球铁与贝氏体球铁应控制在 0.5% 以下。

**磷** 应控制在 0.1% 以下。国外有的工厂限制在 0.05% 以下。

**硫** 应严格控制在 0.05% 以下,国外有的工厂控制在 0.02% 以下。

其它合金元素:为提高球墨铸铁的强度和性能,有时需加入其它合金元素。最常用的是铜,其作用是稳定奥氏体,促进珠光体形成,增加球墨铸铁的铸态强度和硬度。一般加入量 0.2%~0.6%,有时加到 0.8%~1%。其次是钼,作用是细化石墨球,细化晶粒,提高强度,并改善热处理时的回火脆性。加入量一般为 0.3%~0.5%。另一种常用元素是钒,作用是提高珠光体数量,形成粒状碳化物而提高硬度和耐磨性。

#### (B)对铁水的要求

除化学成分外,熔制球墨铸铁的铁水还应有下列要求:

**出铁温度** 由于球化剂,孕育剂的加入以及铁水剧烈沸腾要降低铁水温度。因此要求出铁温度较高。第一包要控制在 1470℃~1500℃,以后也要保持在 1450℃ 以上。

**铁水成分要稳定** 避免铁水成分波动和铁水严重氧化,否则球化不良。

**脱硫处理** 含硫量超标的铁水,必需进行炉外脱硫。普通的办法是加碳酸钠等粉状去硫剂。

#### (C)球化剂

目前我国使用的球化剂主要有纯镁和稀土硅铁镁合金两类。根据我国资源特点而以使用稀土硅铁镁合金为主。

表 37.7-9 列出直接作为球化剂使用的 4#、6# 稀土硅铁镁合金的成分。

表 37.7-9 4#、6# 稀土硅铁镁合金成分

名 称	品 级	化 学 成 分 / (%)							
		RexOy	Si	Fe	Al	Mg	Ca	Mn	Ti
4# 稀土硅铁 镁合金	1	15~30	34~42	21~27	0.5~0.9	3~5	1~5	2~6	2~6
	2	15~30	34~42	21~27	0.5~0.9	5~8	1~5	2~6	2~6
	3	15~30	34~42	21~27	0.5~0.9	8~10	1~5	2~6	2~6
	4	15~30	34~42	21~27	0.5~0.9	5~11	1~5	2~6	2~6
6# 低稀土硅 铁镁合金	1	5~9	<40	21~27	0.5~0.9	5~11	1~5	2~6	2~6
	2	5~9	<42	21~27	0.5~0.9	5~11	1~5	2~6	2~6

用稀土硅铁镁合金处理铁水,其加入量要根据铁水和球化剂成分,处理吸收率,铸件壁厚等多种因素分析确定。一般加入量为 1.2%~1.6%。铁水含硫量对球化剂加入量影响很大,要特别注意。

#### (D)球化处理和孕育处理

球墨铸铁的处理包括球化和孕育两部分。球化使石墨变球,孕育保证石墨析出。

球化工艺有钟罩加镁,压力加镁,堤坝式冲入,型内球化等多种。用稀土硅铁镁合金球化时多用包底堤坝冲入法,此法处理简易,效果好,见图 37.7-2。

在铁水包内预先修出堤坝式凹坑,将球化剂置坑内,复盖孕育剂和保温材料,上面盖一块薄铁板。高温铁水冲入至包内容积的 2/3 时停止出铁,静置 2min 后冲入剩余 1/3 容积的铁水同时在铁水槽中加入孕育剂进行孕育处理。孕育剂采用 75 硅铁,加入量根据铁水

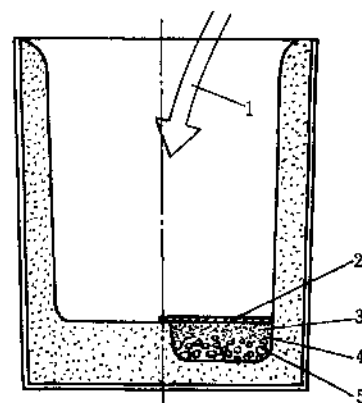


图 37.7-2 堤坝冲入法示意图

1—铁水;2—铸铁板;3—保温材料;4—孕育剂;5—球化剂  
中硅含量,铸件壁厚,球铁牌号确定。

由于孕育衰退会导致球形退化,最好采用把孕育剂分成二至三部分的多次孕育工艺。一部分在出铁槽加入,其余在扒渣后浇注前加入,但要进行搅拌。

#### (E)球化效果判定

简易的办法是浇注图 37.7-1 所示的三角试片,冷却至暗红色浸入水中观察断面,如晶粒较细,有银白光泽,试片尖端白口中间有缩凹和缩松,敲击有钢音为球化良好。

### 37.7.3 铸型工艺

液压件铸件,由于其品种的多样性形成造型方式上多种工艺并存的局面。然而,从满足液压件铸件的

尺寸精度和表面粗糙度要求出发,应选择密实型铸型,即气冲造型,高压造型,壳型、树脂砂型较为合适。

本文介绍目前国内采用较先进而成熟的壳型和气冲造型工艺。

#### (1)壳型工艺

壳型工艺,目前主要指以二级反应热固性酚醛树脂覆膜砂作造型材料,加热固化后形成薄壳铸型的方法。此法可达到的铸件精度为:GB6414—86CT7—9;表面粗糙度为:GB6060.1—85 $R_a$ 6.3 $\mu$ m,适合批量生产单重 15kg 以下的铸件。

工艺流程如图 37.7-3 所示

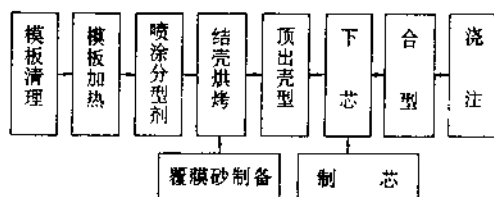


图 37.7-3 壳型工艺流程图

#### A. 树脂覆膜砂制备

##### (A)覆膜砂用原材料性能及比例

**原砂** 主要采用硅砂,特殊场合使用锆砂。因锆砂资源少价格高,使用时要进行再生回收。建议使用 ZGS90—15H—30;ZGS90—10H—30(GB9442—88)两种牌号的硅砂。

**酚醛树脂** 是在苯酚过量,甲醛不足的条件下合成的热塑性线型结构的树脂。加热可融熔,如加入含有一 $\text{CH}_2$ —基团或析出甲醛的物质并加热到一定温度,可硬化成不融不熔的体型结构。

主要性能指标:聚合速度 30~40s,软化点 95℃~105℃;游离酚含量 1%~4%。

加入比例,应在满足覆膜砂性能要求的前提下愈少愈好,这样,既可降低成本又可减少浇注时产生气体。目前,抗拉强度达到 3MPa 以上的覆膜砂,树脂加入量约 3%~3.5% 左右。

**固化剂** 常用的固化剂是六次甲基四胺。白色粉状晶体,加热时释放次甲基气体。

加入比例为树脂量的 12%~15%(重量比)。

按工业一级品指标选用。

**附加物** 加入少量硬脂酸钙,一般为砂重的 0.25%~0.35%。其作用是增加覆膜砂的流动性。也按工业一级品选用。

有时,还加入其它附加物如增强剂,增塑剂,耐高温材料等。

#### (B)覆膜砂配制工艺

分冷法,热法两种。常温下用溶剂(如工业酒精)溶解树脂后和砂混合并加入硬化剂和附加物混匀,溶剂挥发后形成覆膜砂的方法称冷法。此法的缺点是溶剂耗量大,覆膜砂性能差。

热法覆膜工艺是用专门混砂设备,首先将原砂加热到 145℃至 160℃,加入酚醛树脂并快速混匀,树脂吸热软化熔融并包覆砂粒表面。控制砂温在 105℃~110℃时加入六次甲基四胺的饱和水溶液,此时砂温升高。为防止树脂焦化要迅速吹风冷却,同时加入硬脂酸钙等附加物混匀后松散砂团、筛分备用。

#### B. 模具

##### (A)模具材料

模具材料应以孕育铸铁,合金铸铁为主。与钢和有色合金比较,铸铁热容量大,热膨胀和热变形倾向小,切削性和耐磨性优良而且来源广,价格低。其不足之处是强度和韧性方面不及碳钢。因此,较好的方法是:模具的主要部分,包括模型和底板用同一牌号的铸铁制造,而模型结构上单薄的部分,如镶嵌块、芯头、浇道、定位块、隔条等用中碳钢。有时为了调整模型的热容量,也可局部采用铝、铜等。在这种情况下,必需使结合十分牢固,以免反复加热时由于膨胀系数不同造成松动。

铸铁材料在加工前须进行消除内应力退火,碳钢须进行调质处理。

## (B) 模具收缩率

模具收缩率的选择,和其它造型方式所使用的模型相类似。主要以生产铸件的金属种类为主要依据,所不同的是,由于对铸件的尺寸精度要求较高,有必要综合考虑影响收缩率的各种因素。从模型到铸件所体现的收缩率,包括铸件金属的自由收缩,随铸型形状而异的受阻收缩,结壳过程模型受热的膨胀,以及壳型顶出后冷却时的收缩。因此,为保证铸件尺寸精确,最实际的方法是先用木模与自硬砂造型试浇铸件,测量确定前面两部分因素,然后用经验的型板加热与型壳冷却过程的膨胀系数加以修正。

## (C) 拔模斜度

通常情况下模型拔模斜度值参考表 37.7-10,产品图尺寸精度要求极严时,可采用  $0^{\circ}18'$  的斜度,通常多用  $0^{\circ}30'$  以上的斜度。

所有形成铸件的部分,一定要小于或等于铸件产品图所标注的斜度。

表 37.7-10 模型拔模斜度

部位	拔模高度/mm	拔模斜度/(°)
铸件部分	<20	1.5~2
	20~50	1~1.5
	50~100	1
	>100	0.5
芯头部分	垂直部位	5、10、15
	水平部位	3、5、10

## (D) 模具加工精度及表面粗糙度

一般而言,模型尺寸精度应比铸件图所要求的精度高两个标准公差等级以上。并要给精修打光留出余量,外型取正余量,内腔取负余量。

模型表面粗糙度取决于精加工工艺、模型材料和硬度。

加工精度和表面粗糙度可参照表 37.7-11。

## C. 制壳工艺

表 37.7-11 模具加工精度和表面粗糙度

项 目	一 般 规 范		
	模具加工方法	普通尺寸公差	有特殊要求的尺寸公差
尺寸精度 /mm	机加工	$\pm 0.1 \sim 0.2$	$\pm 0.05 \sim 0.1$
	钳工	$\pm 0.3$	$\pm 0.1$
	定位销位置精度/mm	定位销之间 定位销与模型轴线之间公差一般 $\pm 0.02$	
模型配置精度/mm	模型 型腔轴线间位置公差 $\leq \pm 0.1$		
表面粗糙度 $R_a/\mu\text{m}$	模型面: $\sqrt{3}$ 至 $\sqrt{5}$ 分型面 $\sqrt{6}$ , 浇口, 芯头等非型腔面 $\sqrt{3}$ (GB1031-83)		

主要用翻斗法,在树脂砂重力作用下结壳成型,背部烘烤硬化,顶出,粘合制成型壳,见图 37.7-4。

制壳过程须控制的主要参数有:

- 模板预热温度。
- 结壳温度
- 结壳时间
- 烘烤温度
- 烘烤时间
- 结壳厚度

模板预热温度一般为  $260^{\circ}\text{C} \sim 300^{\circ}\text{C}$ 。

所谓结壳温度和结壳时间是指翻斗翻转后,树脂覆膜砂在热模板上停留成壳的温度和时间。在成壳过程中,这一温度和时间主要影响结壳厚度。其具体数值的控制主要由覆膜砂混合料的性能和产品铸件的特点通过结壳试验仪测定或直接试结壳来确定。

所谓烘烤温度与烘烤时间,是指模板附着砂壳后,背复加热的温度和时间。这两个参数主要影响型壳的强度。温度过高,型壳背部烧焦强度降低,反之烘烤时间延长降低制壳效率。通常壳厚度  $6 \sim 8\text{mm}$  的型壳,烘烤温度为  $380^{\circ}\text{C} \sim 400^{\circ}\text{C}$ ;烘烤时间为  $1 \sim 3\text{min}$ 。

液压件铸件壳型厚度,一般控制在  $5 \sim 12\text{mm}$  范围内。

## (2) 气流冲击造型工艺

气流冲击造型工艺是 80 年代发展起来的一种湿型砂造型工艺。其基本原理是:以一个瞬时的气体冲击波冲击型砂而将铸型紧实。如图 37.7-5 所示,在砂箱上方安装一储气包,充满  $0.4 \sim 0.7\text{MPa}$  的压缩空气。采用特殊的快开阀用气包内的压缩空气在十分之一秒内冲击砂箱内型砂,使砂箱内压力增长速度达到  $80\text{MPa/s}$  以上,使型砂得到紧实。

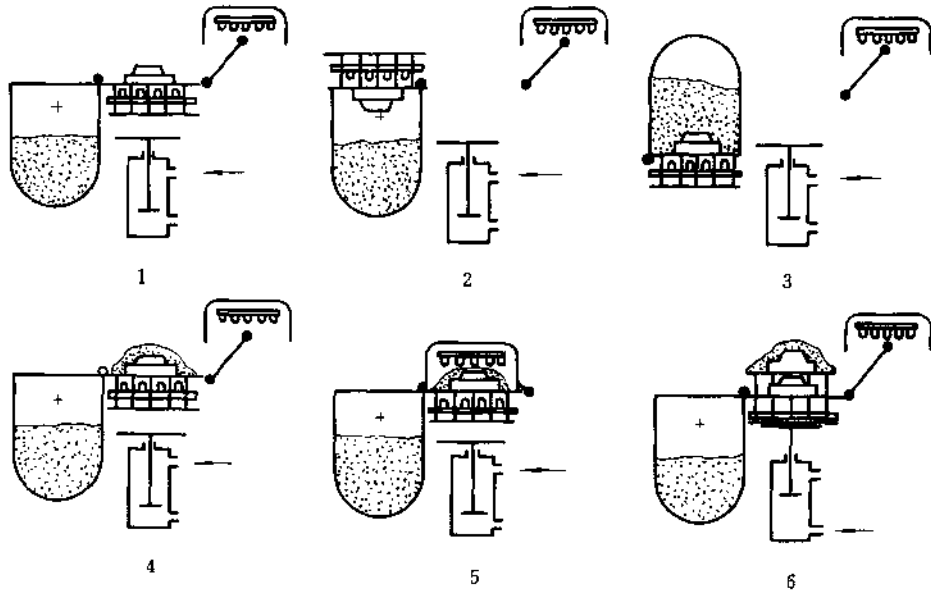


图 37.7-4 制壳工艺示意图

1—模板加热;2—模板翻转;3—翻斗结壳;4—翻斗复位;5—烘烤;6—顶出壳型

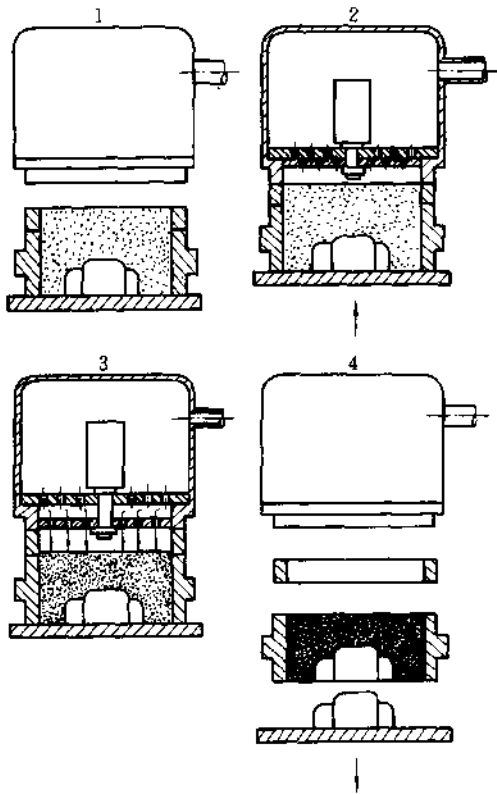


图 37.7-5 气流冲击造型原型图

1—砂箱接砂;2—连续储气包;3—气流冲击实砂;4—起模

这种造型方法的主要优点是铸型紧实性能好,砂型紧实曲线合理。普通震压和高压造型,砂型上,下硬而中间软,而冲击造型则是从贴近模板处铸型硬度最大,达 $90^\circ$ 左右。随着离开模板的距离增大,铸型紧实度逐渐下降而透气性逐渐增加。另外与高压造型相比,铸型强度更为均匀。这样不仅能保证铸件良好的致密性和尺寸精度,而且有利于落砂。

另一突出的优点是,与震压、高压造型比较,气冲造型没有压实用压头,这样有利于在型板上设置排气针。对于泥芯复杂、排气困难的液压件铸件而言,无疑是提供了工艺上的便利。

#### A. 气冲造型用型砂

与普通湿型造型方法相比,气冲造型对型砂的性能要求较高。主要有:

- 较高的湿强度。为保证砂型有较高的硬度和刚度,型砂湿压强度要达到 $140\sim 170\text{kPa}$ 或更高。

- 适宜的紧实率。气冲造型用型砂,紧实率控制十分重要。紧实率太低则水份含量低,型砂不易混匀,韧性差,起模困难,易冲砂。如紧实率太高则水分含量高,型砂流动性差,充箱困难。一般应控制在 $35\% \sim 40\%$ 的范围内,相应的水份含量应在 $2.8\% \sim 3.8\%$ 之间。

- 良好的透气性。液压件铸件泥芯复杂,铸型发气量大,要求型砂有良好的透气性。另一方面型砂透

气性过高有可能降低铸件表面质量,控制在 100~130 之间较为适宜。

- 良好的流动性。为便于气流冲击,要求型砂在紧实前处于充分疏松状态。
- 较高的热湿拉强度。为提高铸型的抗粘砂抗夹砂能力,型砂热湿拉强度应大于 2kPa。

为满足以上要求,建议选用原材料性能指标如下:

表 37.7-12 型砂成分和性能举例

型砂种类	成分(重量比)(%)							型砂性能					
	新砂		旧砂	膨润土	煤粉	碳酸钠	其它	水分(质量分)	紧实率	透气性	湿压强度/kPa	热湿拉强度/kPa	含泥(质量分)
	粒度	加入量											
面砂	100/200 75/150	100		6~8	6~8	0.16 ~0.2		4.5~5		70~90	>85		
单一砂	75/150	10~20	80~90	1.5~2	2~3	$\alpha$ 淀粉 0.25 ~0.5	2.8~3.8	35% ~40%	100 ~130	140 ~170	>2	<12%	

#### B. 气冲造型用模具特点

(A) 模具材料选择范围宽。气冲造型用模具,由于在常温下工作,与壳型模具相比,材料选择范围较宽。可以使用钢,铸铁,铜,铝,塑料,甚至可以使用木材。材料选择的原则主要依据产品要求及生产批量。一般而言,金属型可生产 10 万型以上,塑料型可生产 1 万次以上,只有小批量试产才可用木模。

(B) 模具设计要考虑铸型排气。采用气冲造型生产液压件铸件,模具设计要充分满足铸型排气的要求。因为液压件铸件泥芯复杂弯曲,浇注过程中被高温铁水包容后挥发出大量气体,如不能很好地引导出型外,将造成严重后果。另外,气流冲击实砂过程要求砂箱完全密封,不允许用箱壁排气。因此,采用在模型板上设置排气带的方法,把各芯头排气点汇集起来,集中几处设置排气针引出型外。由于没有压实头,排气针可与砂箱顶面等高。

(C) 模具设计要考虑浇注系统撇渣。根据合金特点,液压件铸件采用的浇注系统主要有两种型式。一种是直横浇口引入球形暗冒口,由冒口补缩颈到铸件。

原砂粒度应在 AFS 细度 50~60 范围内。型砂中有效膨润土含量应在 7%~10% 的范围内。尽量使用高品质的钠基膨润土或者钠钙膨润土混用,可适当使用少量  $\alpha$  淀粉。要采用光亮碳析出能力在 15% 以上,挥发分 35%~40% 的合成煤粉,在砂处理系统中要有冷却除灰装置。表 37.7-12 为型砂成分和性能举例。

另一种是直横浇口引入压边暗冒口(个别情况为压边明冒口)到铸件。为保证足够的补缩颈截面积,浇注系统往往难以完全封闭。这样的系统给撇渣造成困难。另外,金属液在浇注前进行的孕育,球化,加合金等都大大增加了铸件夹渣的可能性。为此,有必要在浇注系统中充分考虑撇渣措施。

通用的方法是适当增大横浇道的长度与高度,并在系统中设置过滤网。

(D) 一型几个品种的组合模板。针对液压件铸件品种繁多的特点,为提高模板利用率,可采用一型多品种铸件的组合模板结构。

#### 37.7.4 制芯工艺

液压件铸件,形成其内腔流道的泥芯多数细长弯曲。以阀体铸件为例,其内部流道直径细的只有 4mm,尤以  $\phi 6$ 、 $\phi 8$ 、 $\phi 10$  居多。其形状多为空间弯曲分布,泥芯设置排气孔、芯骨十分困难。另一方面,阀孔及油槽都有严格的尺寸与位置精度要求,在高温铁水热冲击和浮力作用下,不允许产生位移,变形和开裂。所有这些特点,决定了制芯工艺是液压件铸造技术的

关键。

#### (1) 主要工艺方式

液压件制芯工艺,根据不同的泥芯尺寸、精度、强度和批量有许多种类,目前国内外普遍采用以下几种。

##### A. 覆膜砂吹芯工艺

此工艺是制造液压件泥芯的主体工艺。其工艺过程是:用吹芯机将酚醛树脂覆膜砂吹入已加热并喷涂过分型剂的芯盒中,在几十秒到几分钟的时间内加热固化,开盒后顶出砂芯。由于此法生产效率高、充型性能好、泥芯表面光洁,尺寸精确,常温抗拉强度可达3~4MPa以上,且泥芯有不吸湿不变形等优点,故特别适应在大批量生产中使用。

根据不同情况,有底吹,顶吹,侧吹多种形式。国外有的液压件铸造生产厂采用底吹法充砂,在芯盒顶部或侧面设置排气针和芯骨材料,在砂芯硬化开盒之前拔出排气针作出气孔的方式值得借鉴。

覆膜砂吹芯法使用的树脂砂与壳型用砂相同,只须按不同要求选择适宜的性能即可。

此法缺点是模具制造难度大,成本高,周期长。

##### B. 自硬树脂砂工艺

本法是采用专用树脂及固化剂配制芯砂,手工充填芯盒,砂芯在芯盒内常温固化后出模的制芯方法。此法制得的砂芯尺寸精确,表面光洁且浇注后出砂性能好,砂芯强度也可满足要求。由于在常温下工作,模具可采用木材和塑料。

此法存在的缺点是,常温固化时间达10多分钟甚至几十分钟以上,模具利用率和生产率较低,芯砂充型性和砂芯强度均较覆膜砂吹芯差,因此不适合大批量生产。

然而,在小批量试生产中,在复杂砂芯的永久性模具制造前工艺定型的过程中,此法是目前最为适宜而且必需的手段。

在液压件铸造生产中,主要使用酸硬化自硬树脂,固化剂则使用芳基磺酸、无机酸及它们的复合物。采用双砂三混法混砂,制芯时按用量随混随用。

##### C. 吹气冷芯盒射芯工艺

有SO<sub>2</sub>硬化、三乙胺硬化、CO<sub>2</sub>硬化等。

SO<sub>2</sub>硬化是用改进型呋喃树脂与有机过氧化物(MEKP)配制芯砂。用射芯机射入芯盒后吹SO<sub>2</sub>气体,SO<sub>2</sub>与过氧化物释放的氧反应生成SO<sub>3</sub>,进一步溶于粘结剂的水分中生成硫酸,催化树脂发生热缩聚反应使砂芯硬化。

三乙胺硬化法是用液体苯酚树脂和聚异氰酸酯配制芯砂,射入芯盒后吹三乙胺气雾。由于生成尿烷树脂而使砂芯硬化。

CO<sub>2</sub>硬化法是采用添加了溃散剂的水玻璃砂射芯,吹入CO<sub>2</sub>气后,水玻璃分解为游离SiO<sub>2</sub>和Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>,游离SiO<sub>2</sub>与型砂中的水分结合生成含水的二氧化硅胶体,蒸发水分后形成硅凝胶使砂芯硬化。

吹气冷芯盒工艺的优点是能耗少,工装简单,成本低。缺点是砂芯强度低,存放易吸潮。适用于批量生产直径大于20mm的砂芯。

##### D. 油砂手工制芯工艺

是采用干性油,主要是桐油作粘结剂配制芯砂,手工制芯后放在成型底板上烘烤硬化的制芯方法。是传统制芯工艺。由于未硬化的可塑性泥芯从芯盒中脱出,以及烘干过程的搬运,往往使泥芯变形而使铸件尺寸精度降低。因此,在液压件铸造生产中,此法仅适用于对铸件内腔尺寸精度要求不高的铸件。

#### (2) 液压件用砂芯制造的特殊工序

为满足液压件铸件内腔诸多的技术要求,在制芯过程中,增加了一些特殊工序。主要指精整,组装,涂料等。这些工序,主要依靠手工作业,投入的人工往往是制芯的两倍或更多。国外专业液压件铸件生产厂,都配备专门工段来完成这些工序。

精整包括修补和去毛刺,采用专门的修补膏修补砂芯的局部残缺;采用小手工具去掉分盒面的毛刺并修光磨平。有些泥芯还须在专门钻具上钻出通气孔。

形成液压件复杂内腔的泥芯,往往由数个单独制造的泥芯组合装配而成,使用样板和定位卡具并用专用粘合胶粘合。为保证流道各部分的尺寸和位置精度,须设计临时芯撑或组合定位用泥芯。

无论何种制芯方式,涂料都是不可少的。而且用于液压件铸件的泥芯,对涂料的要求更高。首先要比一般铸型涂料更能防止高温铁水的渗入,耐冲刷而不开裂。同时要求能够在一定程度上防止铸件产生毛刺、脉状纹、结疤和皮下气孔。

涂敷工艺,应重点满足浸涂要求。要易涂挂并有一定的浮移特性,浸涂形成的液滴要能通过简单摇晃去掉而不留痕迹。为不影响铸件内腔的尺寸精度,涂层应控制在0.15mm以内,并要求涂膜均匀。

涂料的耐火骨料有石墨粉,铝矾土和锆英粉。载液有水基,醇基之分,水基涂料须烘烤干燥,醇基可点燃或自干。实际生产中,往往根据需要选择专业厂商购买膏状涂料,使用时加入载体稀释,并在槽中不停地

用机械或气体搅拌。复杂泥芯最好进行两次涂料,组装前浸涂一次,组装后再一次刷涂。

### 37.7.5 铸件清理、精整和防锈处理

#### (1) 通用处理工序

液压件铸件,特别是铸件内腔的清洁度至关重要,通常要进行清理、精整和防锈处理。通用工序如下:

- 落砂后的铸件,首先要进行分类。灰铁和球铁小件用锤击,球铁大件用片砂轮切割机去除浇冒口,并分类装筐。

- 小件用履带式抛丸清理机,抛丸滚筒,大件用悬挂式抛丸清理机进行抛丸清理。

- 用固定式砂轮机,悬挂式砂轮机,角向磨光机,异形砂轮磨头打磨飞边,毛刺和浇冒口残痕,过大的冒口残痕须用铣床铣削平整。

复杂内腔流道的铸件,须逐件用专门工具手工清理,去除内腔毛刺、披缝。

- 有油道的铸件,进行电化学清理。
- 防锈处理。

#### (2) 关键清理工艺

##### A. 抛丸清理

落砂以后的所有液压件铸件都要进行抛丸清理。通过抛丸,可以清除铸件表面的粘砂,锈蚀和氧化皮。同时可以强化铸件表面,对提高产品使用寿命和外观质量十分有利。

由于液压件铸件大多是单重几公斤到几十公斤的小件,采用履带式抛丸清理机、滚筒式抛丸清理机较为适宜。建议采用粒度为  $\phi 0.4 - \phi 1.2\text{mm}$  的铸钢丸,抛丸线速度应在  $60\text{m/s}$  以上到  $90\text{m/s}$ 。由于弹丸直线运动,无法进入弯曲细小的铸件内腔。对于有复杂内腔的液压件铸件,抛丸只能作为初清理,而对于无内腔和只有浅层开放形内孔的铸件,抛丸可作为终清理。

##### B. 电化学清理

电化学清理,也叫 KOLENE 清理。由美国 KOLENE 公司发明。是把经过抛(喷)丸等方法初步清理过的铸件作为电解电极浸泡在电解池中,通入直流电,依靠电化学反应,使粘砂、氧化物与铸件分离的过程。

采用电化学清理,所有电解液能流通的部位都得到有效的清理,因此对具有复杂内腔的液压件铸件而言,被认为是最适宜的工艺。

电化学清理工艺流程见图 37.7-6 所示。

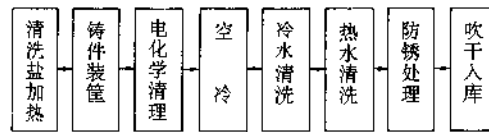


图 37.7-6 电化学清理工艺流程图

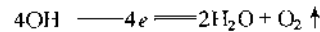
(A)把铸件按一定方式装入特制的多孔金属筐,装入方式以铸件内腔能方便盐浴液流通为宜,一般应使主要孔口朝下放置。为使铸件表面最大限度地接触盐浴液,铸件在金属筐中应分层摆放,层间用金属网隔开。

(B)把装好铸件的金属筐吊入电解槽,浸泡在已溶融并加热到规定温度的盐浴液中。如果以清理铸件粘砂与氧化物为主要目的,则以电解槽槽壁为正极,装有铸件的金属筐为负极,通入低压(2~8V),大电流(1000~3000A)的直流电。这时,一方面铸件内腔残砂和外部粘砂的主体成分  $\text{SiO}_2$  与盐浴液中主体成份  $\text{NaOH}$  反应生成  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  与  $\text{H}_2\text{O}$  即

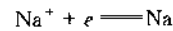


另一方面,由于电离作用,熔融盐溶液中含有大量钠的正离子和氢氧根的负离子。通入直流电后,电场

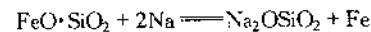
力使离子在槽内反向运动。在阳极(槽壁):氢氧根离子失去电子成为单质。



在阴极:(铸件)钠离子得到电子成为金属钠。



钠位于金属电位序的最左端,具有很强的还原能力。铸件上用普通清理方法难以清除的化学粘砂,是结晶态的胶体硅酸铁( $\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$ )钠与这种物质反应,生成硅酸钠与铁。



反应生成的硅酸钠胶体和铸件上的碱性氧化铁,氢氧化铁共同形成沉淀,从而铸件上的粘砂,氧化物全部成为可分离物质。盐浴所需时间由铸件粘砂状况、盐浴成分、电流密度而定,一般需 20~50min。

(C)把铸件筐从电解槽中吊出。对壁厚不均的铸件,适当空冷到  $300^\circ\text{C}$  以下,以防止进入冷水槽时温差



过大产生裂纹。

(D)浸入冷水槽,用类似水爆的方法使残渣与铸件分离,这一过程瞬时完成。

(E)浸入 80℃ 左右热水槽,30min 左右,使残留在铸件上的盐液,反应生成的硅酸钠溶于水,残渣进一步沉淀。

(F)浸入防锈油槽

(G)取出铸件,吹干入库。

### 37.7.6 液压用铸铁件毛坯主要质量指标

#### (1) 材质

材质的机械性能为主要质量指标。化学成分,金相组织为辅助指标。

#### A. 机械性能

液压件用孕育铸铁各牌号单铸试棒的抗拉强度应符合表 37.7-1 的规定。

当供需双方协商同意,可从铸件上切下试块加工试样测定抗拉强度,应符合表 37.7-2 规定。

布氏硬度值,一般情况下应符合表 37.7-2,如需方要求以硬度作为检验材质的机械性能指标时,应按照 GB9439—88 附录 A,附录 B 进行。

液压件用球墨铸铁各牌号单铸试块的机械性能应符合表 37.7-3。

液压件用球墨铸铁附铸试块的机械性能应符合表 37.7-4。

#### B. 化学成分

化学成分由供货方确定。但必须达到规定的铸铁牌号和相应的机械性能指标。如需方对化学成分有特殊要求时,供需双方须在订货协议中商定。

#### C. 金相组织

如需方对铸件的金属组织与热处理方法有特殊要求时,供需双方应在定货协议中商定。在无商定的情况下,孕育铸铁按 GB7216—87 的规定。石墨形状 A 型占 80% 以上;石墨大小应符合 4、5、6 级;基体组织中珠光体或索氏体应在 95% 以上,即符合珠光体数量分级的 1、2 级。不允许有影响切削性能的游离渗碳体。

对于球墨铸铁,如需方要求进行金相组织检验时,可按 GB9441—88 的规定进行。球化级别不得低于 3 级,不允许有游离渗碳体。

#### (2) 铸件尺寸公差

液压用铸铁件毛坯的尺寸公差按 GB6414—86 规定。为适应液压件特点,对铸件毛坯的基本尺寸作如下分类:

- 外型长度尺寸:指与分型面平行的铸件外型尺寸。
- 内腔长度尺寸:指从砂芯形成的加工基准面出发测量的铸件内腔尺寸。
- 厚度尺寸:指与外型分型面相垂直的铸件外型尺寸。
- 关联尺寸:指外型与外型、外型与内腔,内腔与内腔形成的尺寸。
- 拔模斜度:为从铸型中方便地拔出模型而允许模型有的斜度。分内拔模斜度和外拔模斜度。

基本尺寸分类关系参见图 37.7-7、37.7-8。

一般要求的外型长度尺寸允差应符合 GB6414—86 CT8—CT10。内腔长度尺寸允差应符合 GB6414—86 CT7—CT9。厚度尺寸允差应符合 GB6414—

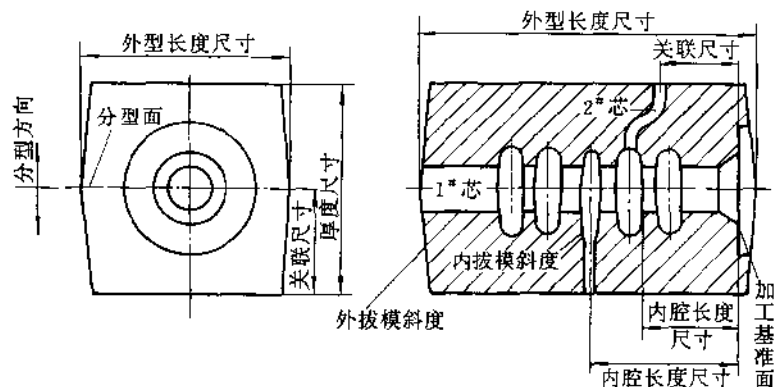


图 37.7-7 基本尺寸分类关系(a)

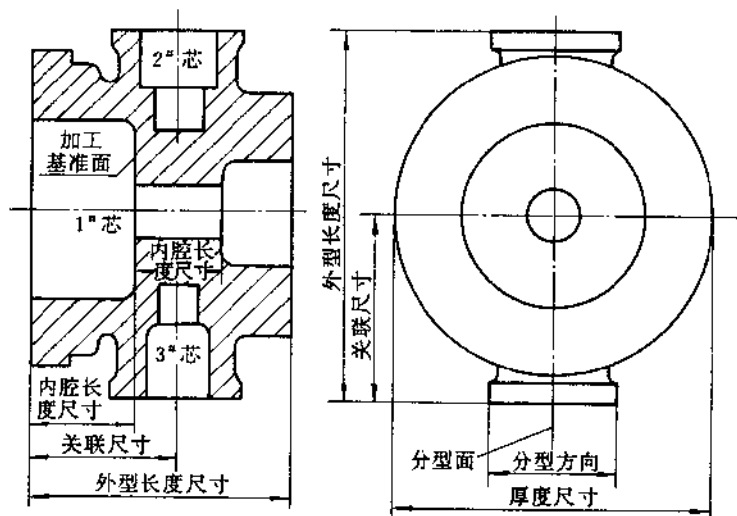


图 37.7-7 基本尺寸分类关系(b)

86CT9—CT11。关联尺寸允差应符合 GB6414—86CT7—CT9。长度尺寸允差不包括拔模斜度引起的尺寸增减。但需保证铸件最小极限。

为满足特定要求,可规定比以上更高的精度。

### (3) 外观质量指标

#### A. 定义

**表面粗糙度** 指铸件表面(含内表面),凸凹不平的程度。

**飞翅与毛刺** 飞翅指垂直于铸件表面厚薄不均匀的薄片状金属突起物,常出现在铸件分型面与芯头部位。毛刺指铸件表面刺状金属突起物,常出现在型芯裂缝处,形状不规则,呈网状,脉状分布。

**错型与错芯** 铸件的一部分与另一部分在分型面处相互错位,或由于砂芯在分芯面处错位而使铸件变形。

**孔洞** 指铸件表面或内部由于铸型排气不良出现的气孔、针孔以及由于凝固过程中补缩不良出现的缩孔。

**缩松** 铸件断面上出现分散而细小的缩孔,有时借放大镜才能发现。缩松缺陷的部位气密试验可能渗漏。

**裂纹** 指铸件出现的热裂纹,热处理裂纹,冷裂纹及冲击裂纹。热裂纹与热处理裂纹断口严重氧化且无光泽。

**铸件表面不良** 指铸件表面出现的粘砂、夹砂、结疤、沟槽、鼠尾等表面缺陷。

**夹杂物** 铸件内或表面上存在和基体金属成分不同的质点,如渣、砂、涂料、氧化物、硫化物、硅酸盐等。

**残砂** 指内腔芯砂没有完全清除的存在铸件上的残留物。

**锈蚀** 指铸件外表面及内腔因潮湿而生锈腐蚀产生的氧化皮等。

#### B. 外观质量指标及检测手段

外观质量指标及检测手段见表 37.7-13。

## 37.8 电液伺服阀制造工艺

电液伺服阀是电液伺服控制系统中的重要元件,在航空机载设备的高精度位置伺服控制系统、速度伺服控制系统及信号发生装置中,电液伺服阀作为电液转换放大元件得到广泛的应用。

电液伺服阀的结构型式多种多样,按液压放大器的级数分类,有单级、两级、三级等电液伺服阀;按第一级的结构分类,有滑阀式、喷嘴挡板式、射流管式等电液伺服阀;按反馈形式分类,有滑阀位置反馈、负载压力反馈、负载流量反馈等电液伺服阀。本章仅以航空工业液伺服控制系统中用得最多的两级、双喷嘴挡板、滑阀位置反馈式电液伺服阀(见图 37.8-1)为例,介绍其滑阀偶件、衔铁、挡板、反馈杆、弹簧管、喷嘴、节流孔、壳体等典型零件的加工工艺。这些零件具有体积小、形状特殊、尺寸精度及形状位置精度高等特点,其制造工艺关键和难点较多。

表 37.7-13 外观质量指标及检测手段

项 目	分 类	质 量 指 标	检测仪器和方法	抽 检 量
表面粗糙度	非加工面 砂型 壳型	GB6060.1-85 $R_a 25\mu\text{m}$ 以下 $R_a 12.5\mu\text{m}$ 以下	用铸造表面粗糙度标准板目视和触摸检查	抽样
	加工面 砂型 壳型	$R_a 25\mu\text{m}$ 以下 $R_a 25\mu\text{m}$ 以下		
飞翅与毛刺	外面 非加工面 • 加工基准面 • 其它表面	不允许有 高于表面 0.5mm 以内顶端光滑带圆弧	目视检查 游标卡尺	抽样
	加工面	接近检查样件	样件 游标卡尺	
	内面 非加工面 • 加工基准面 • 其它表面 加工面	不允许有 接近检查样件 接近检查样件	目视检查 标准样件 游标卡尺	抽样
错型与错芯	外型分型面 砂型 壳型	在铸件尺寸公差以内 $\leq 0.7\text{mm}$ $\leq 0.5\text{mm}$	游标卡尺	抽样
	砂芯分盒面 手工芯盒 树脂砂 金属芯盒	在铸件尺寸公差以内 0.5mm 以下 接近样品件	游标卡尺 \ 样品铸件	
孔洞	外面 内面	不允许有 不允许有	目视 尖锤敲 内窥镜检查	全检 全检
缩松	外面	不允许有	目视 检查 放大镜 染色检验 打压试验	全部目视 检查后择 重点染色 打压
	内面	不允许有		
裂纹	外面	不允许有	目视检查 敲击 内窥镜 染色	全部目视 内窥镜重 点染色磁力
	内面	不允许有	检查 磁力检验	
铸件表面不良	外面 内面	不允许有 不允许有	目视 检查 内窥镜	抽样
夹杂物	外面	不允许有	目视 检查 放大镜	抽样
	内面	不允许有 可加工掉部位须需方同意	内窥镜	
残砂	内面	不允许有	目视检查 内窥镜 吹压缩空气	全检
锈蚀	外面	不允许有	目视检查	抽样
	内面	不允许有	内窥镜	

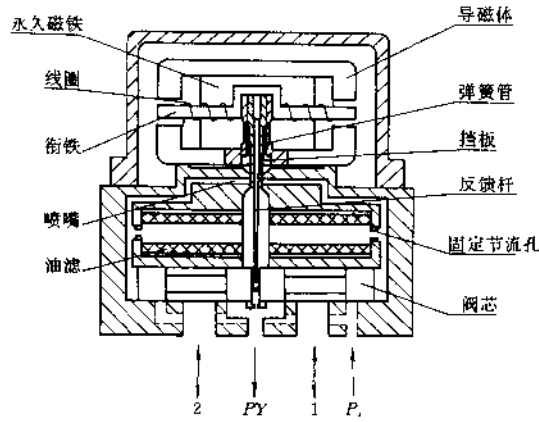


图 37.8-1 电液伺服阀结构图

37.8.1 滑阀偶件加工工艺

电液伺服阀中，阀芯和阀套称为滑阀偶件，也可称为滑阀液压放大器。它是靠阀芯和阀套之间的轴向相对运动改变节流孔面积，对液流进行控制，从而达到控制执行机构的目的。

滑阀偶件是电液伺服阀中最重要的部件之一，其制造精度特别是阀芯与阀套的配合间隙、节流工作边的尺寸和形状以及它们的相互位置等精度直接影响到

伺服阀流量曲线的线性度、压力增益、滞环、分辨率、重叠量、内漏等性能，也会影响伺服阀的使用寿命。

(1) 滑阀偶件的结构特点及技术要求

典型圆柱滑阀偶件的结构见图 37.8-2。小流量伺服阀都采用矩形节流窗口。有些小流量的伺服阀也有不用阀套而直接将节流窗口开在壳体上的，见图 37.8-3。

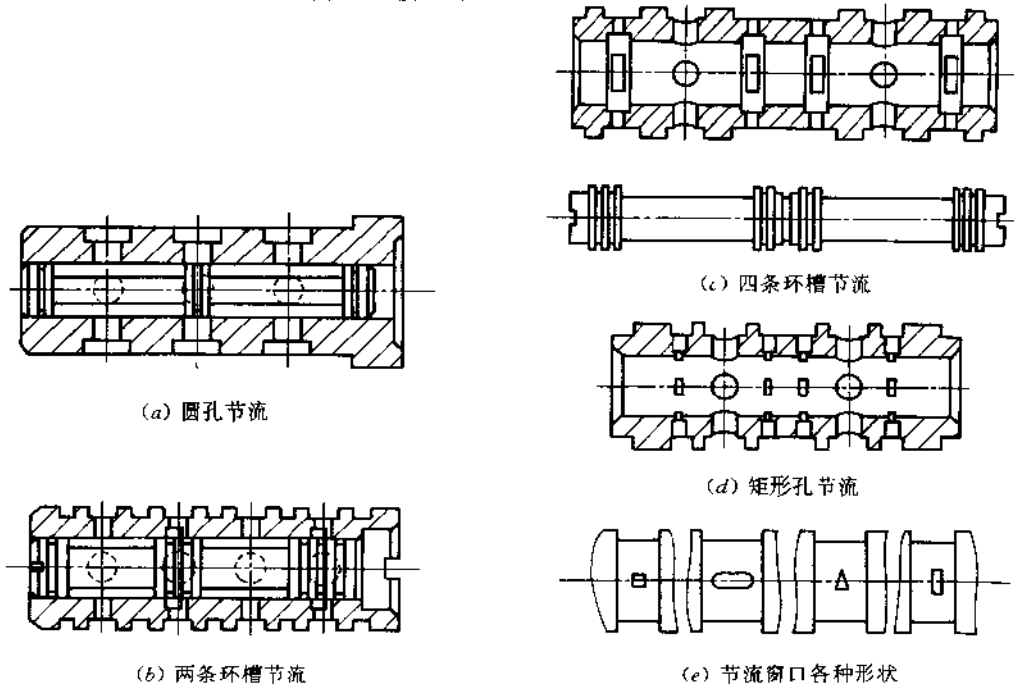


图 37.8-2 典型圆柱滑阀偶件结构图

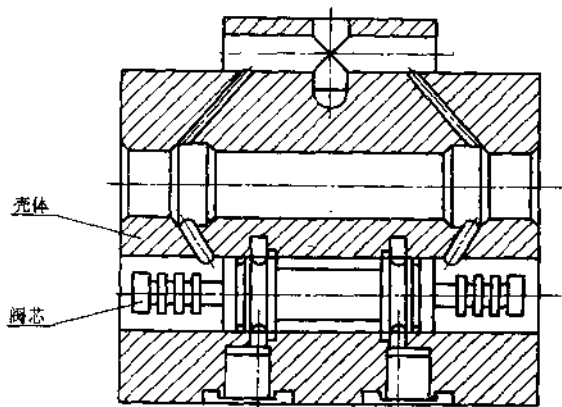


图 37.8-3 无阀套滑阀偶件结构图

滑阀偶件的技术要求见表 37.8-1。

表 37.8-1 滑阀偶件的技术要求

单位:  $\mu\text{m}$

阀套	内孔形状精度	内孔表面粗糙度	节流工作边精度				阀套阀芯配合间隙	工作边重叠量误差
	圆度 0.2 圆柱度 0.3 母线直线度 0.3	$R_a \leq 0.08$	节流边对内孔轴线垂直度	同一组节流边的位置度	节流边表面粗糙度	节流边与内孔相交处 $R_{\text{max}}$		
			2	2	$R_a \leq 0.2$	5	1~3 2%~1%的阀芯位移量(零重叠)	
阀芯	外圆形状精度	外圆表面粗糙度	台、肩端面精度			中槽与反馈杆小球配合间隙		
	圆度 0.2 圆柱度 0.3 母线直线度 0.3	$R_a \leq 0.08$	对外圆轴线垂直度	与外圆相交处 $R_{\text{max}}$	表面粗糙度	0~1.5		
			1	5	$R_a \leq 0.2$			

(2) 阀套加工工艺过程

图 37.8-4 为四通断续节流窗口阀套。图 37.8-5 为全周边(内环槽)节流窗口阀套。其内孔与阀芯配套,保证间隙 0.001~0.003mm;其外圆与壳体配套,保证间隙 0.001~0.003mm;表面 H 与内孔 B 相交处去毛刺保留锐边( $R$  不大于 0.005mm);图 37.8-4 中 16 个矩形孔宽度  $b$  相差不大于 0.01mm;同一个 H 面上 4 个矩形孔工作边的位置度公差(通常习惯叫共面度)0.002mm。

阀套内孔直径一般为  $\phi 4 \sim 19\text{mm}$ ,深径比  $L/D$  为 7~12。阀套外圆与壳体一般采用间隙密封,也有采用过盈量很小(过盈量为 0.002mm)的过盈配合,或者采用橡胶圈密封。采用橡胶圈密封时可适当加大配合间隙,但对胶圈槽的制造有严格的尺寸和粗糙度要求。

这两种最常见阀套的典型加工工艺过程见图 37.8-6。

(3) 阀套主要加工工艺及工艺难点分析

A. 阀套的材料及其对工艺过程的影响

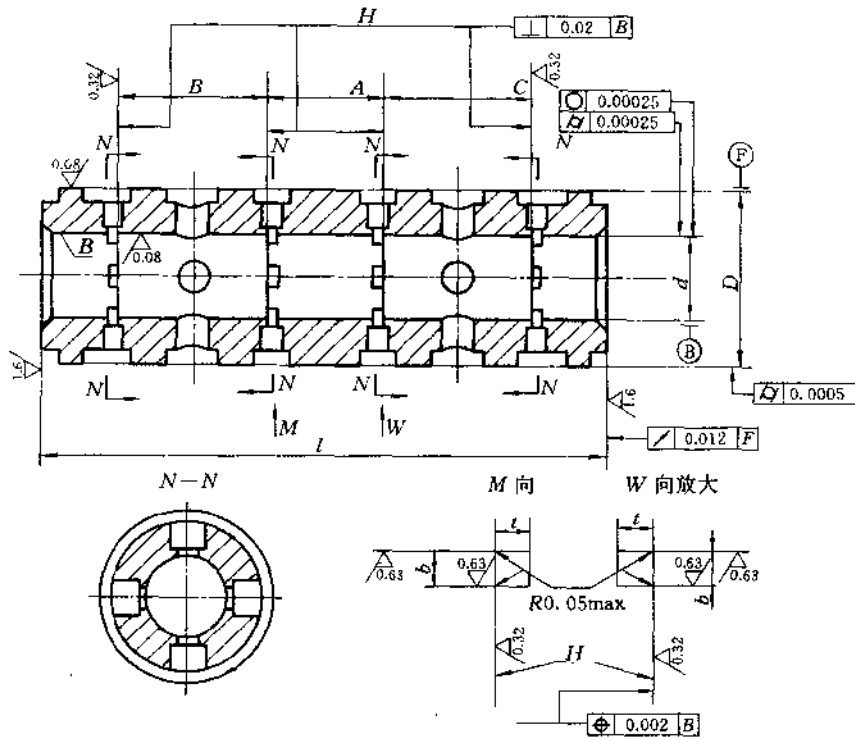


图 37.8-4 四通断流节流窗口阀套

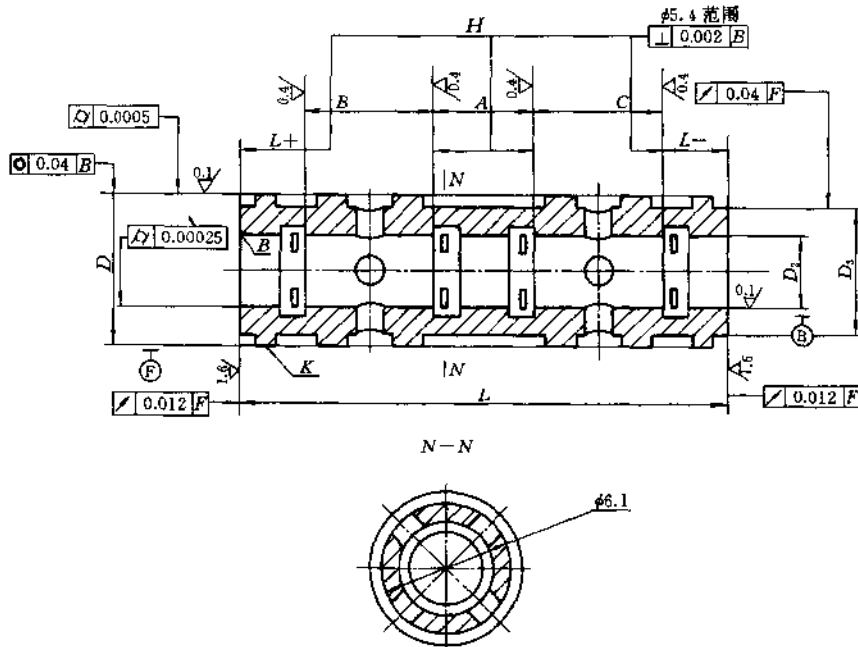


图 37 8-5 全周边(内环槽)节流窗口阀套

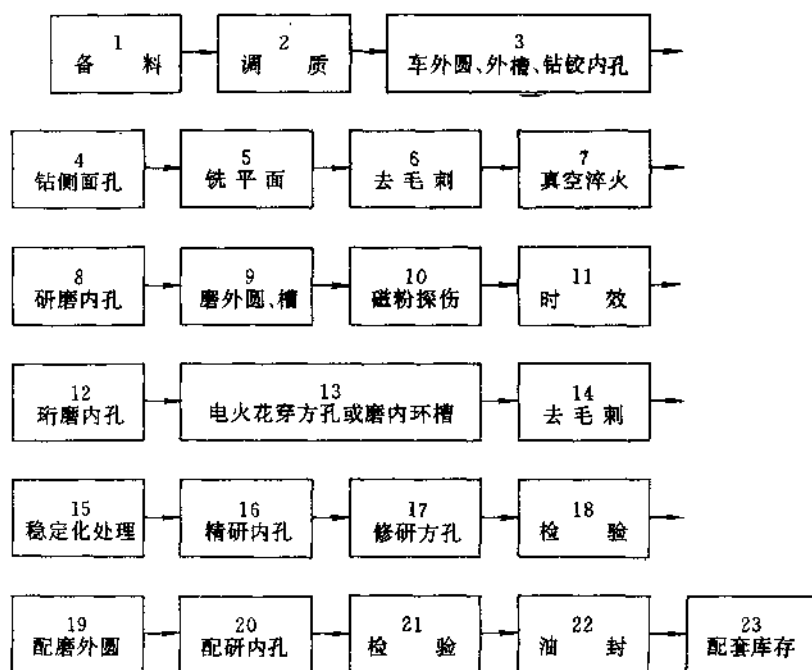


图 37.8-8 阀套加工工艺过程

电液伺服阀阀套材料应具有耐磨性、线膨胀系数小、尺寸稳定等特点。目前多采用 Cr12MoV、GCr15、9Cr18Mo 等合金工具钢、轴承钢。这些材料都存在有较严重的碳化物偏析，材料中的硬质点在粗加工时加剧了刀具的磨损及切削应力的产生，在精加工时易出现磨削裂纹及崩边掉块等缺陷，严重地影响产品质量。为了克服碳化物偏析的不利影响，可对原材料进行反复锻打、拉拔，以提高碳化物分布的均匀性。对于 Cr12MoV，一般都要求原材料共晶碳化物不均匀度达到 I 组电渣钢的指标。

阀套加工过程中需多次进行热处理，以便提高硬度、稳定尺寸、减少变形。热处理工序一般作如下安排：加工前进行调质处理，HRC26~30，改善其金相组织，减小淬火后的裂纹和变形；半精加工后采用真空淬火，HRC58~62，真空淬火可以使零件变形小，已加工表面不产生氧化皮；真空淬火后工件立即进行冰冷处理，使淬火后残余奥氏体数量减少，材料组织稳定，加工及使用过程中变形小；精加工中间进行人工时效处理，消除切削应力；配套加工前再进行一次高低温稳定

化处理，以消除精加工过程的微量变形，进一步稳定组织，减少变形。这样可使阀套在配磨、配研后得到稳定的很高的尺寸精度和形状位置精度。

#### B. 阀套内孔加工工艺

阀套内孔属细长孔，其深径比大，精度要求高。加工时所用的刀杆、砂轮杆、研磨杆等均属细长杆，其刚性差，不能承受较大的切削力，很容易弯曲变形和磨损，此外，阀套内孔壁有很多径向圆孔、方孔或环槽，给内孔的精加工增加了难度，因此阀套内孔往往成为阀套加工的关键之一。其加工工艺从粗加工开始就必须严格控制。

阀套内孔的加工方法多种多样。工件淬火前通常采用麻花钻头钻孔、镗孔、铰孔或用枪钻钻孔。淬火后则可采用内孔磨削、珩磨、研磨；也可采用电火花内圆磨削、金刚石研具研磨。最后再用研磨棒研孔。

阀套淬火前内孔各种加工方法见表 37.8-2。淬火后内孔各种加工方法见表 37.8-3。按生产批量大小，阀套内孔加工方法的选择见表 37.8-4。

表 37.8-2 阀套淬火前内孔各种加工方法

加工方法	存在问题	改进措施
钻	钻头因刚性不足,切削刃不对称以及装夹不正等原因引起钻头弯曲、引偏,形成孔中心线偏斜、弯曲,孔成锥形或腰鼓形	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 修磨横刃到原来的 <math>1/3 \sim 1/5</math>, 形成内刃斜角 <math>20^\circ \sim 30^\circ</math>, 内刃前角 <math>0^\circ \sim 15^\circ</math>, 以减小轴向抗力, 改善定心条件</li> <li>• 修磨棱边使棱边上有一定后角, 以减少与孔壁摩擦, 提高钻头耐用度</li> <li>• 在主切削刃和棱边上有一定后角, 以减少靠近外径处主切削刃的前角, 提高刀具强度</li> <li>• 两个主切削刃仔细修磨对称</li> <li>• 先用中心钻加工定心孔, 以防止钻孔引偏</li> <li>• 采用粗钻孔, 留 <math>0.7 \sim 0.9\text{mm}</math> 余量扩孔, 可提高孔的加工精度</li> <li>• 切削用量选择: 钻孔时 <math>V = 8 \sim 10\text{m/min}</math>, <math>S = 0.1 \sim 0.2\text{mm/r}</math>; 扩孔时 <math>V = 2 \sim 8\text{m/min}</math>, <math>S = 0.04 \sim 0.2\text{mm/r}</math></li> </ul>
镗	镗刀杆刚性差, 对底孔修正能力差, 刀具磨损快, 孔的形状精度、粗糙度较差	采用圆片浮动镗刀(见图 37.8-7), 对大于 $\phi 10$ 的孔可自动定心, 两个圆弧又使切削力对称, 加工精度得到提高, 尺寸精度可达 $0.005 \sim 0.01\text{mm}$ , 粗糙度可达 $R_a 0.32\mu\text{m}$ 。切削用量选择: $V = 8 \sim 25\text{m/min}$ , $S = 0.1 \sim 0.15\text{mm/r}$ , $t = 0.15 \sim 0.5\text{mm}$
铰	对小于 $\phi 10\text{mm}$ 的孔常用铰刀作半精加工, 一般直刃铰刀易产生偏摆和颤动, 使孔壁出现轴向凹痕, 形成孔不圆或多边形, 粗糙度差, 刀具易磨损	采用大螺旋铰刀(见图 37.8-8), 切削刃前角大, 使刃齿锋利; 螺旋形刃齿, 使切削过程平稳, 可避免出现孔的加工缺陷, 切屑沿刃齿前面向孔的前方排出, 可避免划伤已加工表面, 刀具耐用度高; 切削用量选择: $V = 2 \sim 3\text{m/min}$ , $S = 0.1 \sim 0.2\text{mm/r}$ , $t = 0.05 \sim 0.1\text{mm}$ ; 加工精度: 尺寸精度在 $0.01\text{mm}$ 以内, 粗糙度 $R_a 1.6 \sim 0.8\mu\text{m}$ 。
枪钻钻孔	用枪钻(单刃外排屑深孔钻)在深孔机床上加工阀套内孔是比较先进的一种粗加工方法。枪钻(见图 37.8-9)是一种用高压冷却润滑的刀具, 用于 $\phi 2 \sim 20\text{mm}$ 的孔。通常枪钻一次走刀能钻出 $IT7 \sim 8$ 级精度的孔, 粗糙度 $R_a 1.6 \sim 6.3\mu\text{m}$ , 圆度 $0.005\text{mm}$ , 切削用量选择: $V = 40 \sim 60\text{m/min}$ , $S = 0.0025 \sim 0.2\text{mm/r}$ , 切削液速度 $14 \sim 26\text{m/s}$ , 压力 $3.5 \sim 4.5\text{MPa}$	

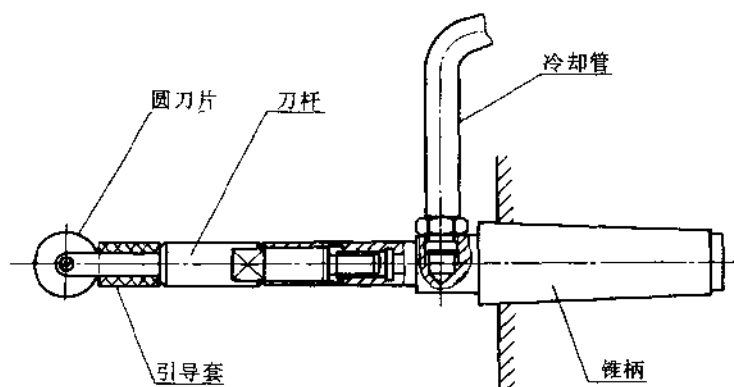


图 37.8-7 圆片浮动镗刀



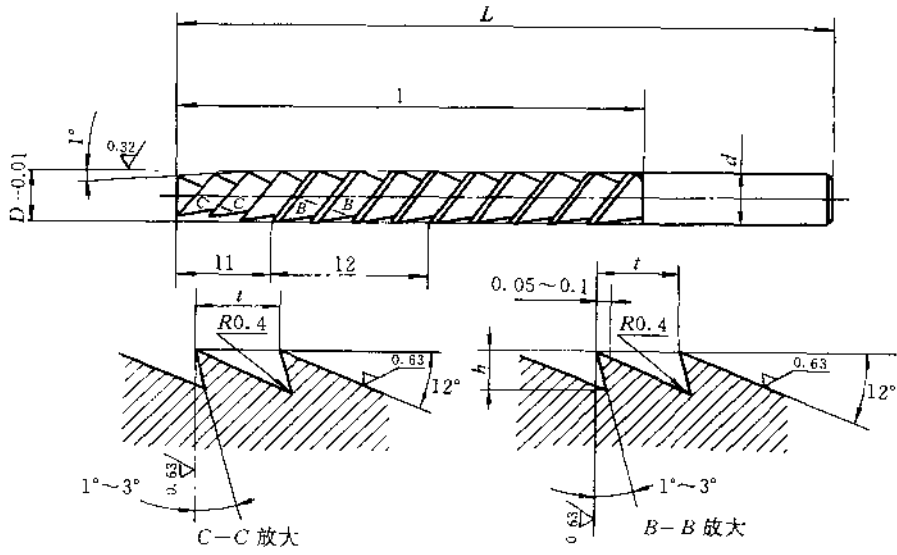


图 37.8-8 大螺线角铰刀

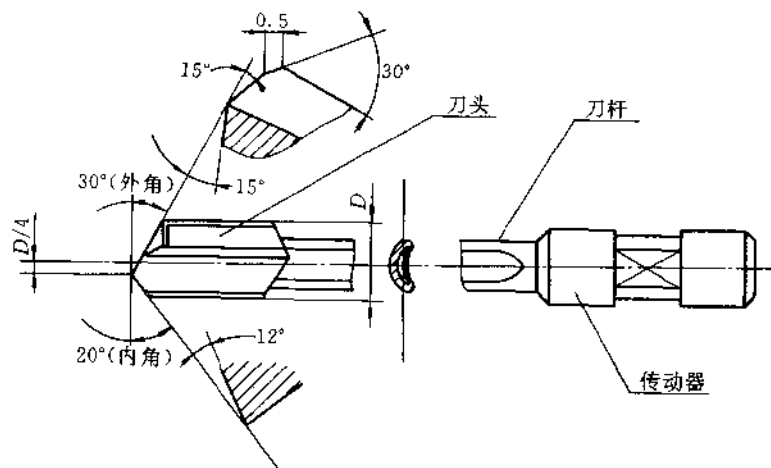


图 37.8-9 枪钻

表 37.8-3 阀套淬火后内孔各种加工方法

加工方法	优缺点	适用范围
内圆磨削	对 $\phi 10\text{mm}$ 以下的阀套孔, 砂轮直径小, 线速度低, 磨损快; 砂轮杆细长, 刚性差(见图 37.8-10); 加工中很小的切削力就会出现让刀和颤振现象, 加工精度较低	一般只用于 $\phi 10\text{mm}$ 以上的阀套孔半精加工
电火花内圆磨削	没有切削力的影响, 电极杆可以作得细长(见图 37.8-11)。加工中发生火花放电时, 产生瞬时高温, 首先将内孔表面最接近电极部位的金属蚀除, 随后使内孔表面均匀去除余量, 从而得到很高的直线度和圆柱度	用于深径比较大的阀套孔, 特别是 $\phi 10\text{mm}$ 以下的阀套孔的半精加工和精加工
内孔珩磨	切削力、切削热及振动等干扰因素的影响较磨削小, 当初始孔直线度较好时, 易获得较高的尺寸精度、形状精度和表面粗糙度, 且内孔表面呈极浅的均匀交叉网纹, 光滑不涩, 有利于油膜形成; 生产效率高, 易实现自动化	用于初始孔精度较高的阀套孔的精加工
研	可调研具	这是阀内孔精加工的有效方法, 设备简单、加工精度高, 但劳动强度大、加工精度取决于操作工人的技能, 常用的直槽研磨套张开后形状精度下降, 磨料分布不均匀, 易产生圆柱度误差。加工研磨套内孔的锥纹刀与研磨杆锥面一次磨出。在研磨套上将直槽改成螺旋槽或开均布的十字槽。合理选择研磨套长度及行程等, 可以有效地提高加工精度。
	不可调研具	一般用轴承钢或工具钢制作整体研磨棒, 表面开有槽(见图 37.8-12)。尺寸间隔 $0.001\text{mm}$ 。加工精度高, 但研具极易磨损, 须频繁更换 采用电镀金刚石研具, 即金刚石铰刀(见图 37.8-13), 能较长时间保持尺寸精度和形状精度。用一组三把金刚石研具研内孔, 可加工数千件阀套。内孔尺寸精度可控制在 $0.0005\text{mm}$ 以内, 尺寸一致性好, 粗糙度 $R_a 0.1\mu\text{m}$ 以下。切削用量: $n = 600\text{r}/\text{min}$ , $S = 2.4\text{mm}/\text{s}$ , 一组刀具加工余量为 $0.01\text{mm}$

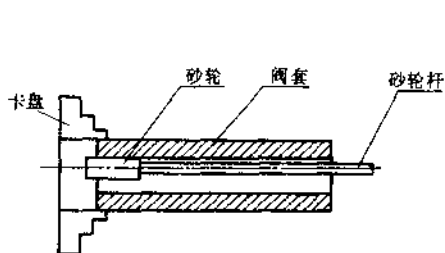


图 37.8-10 内圆磨削简图

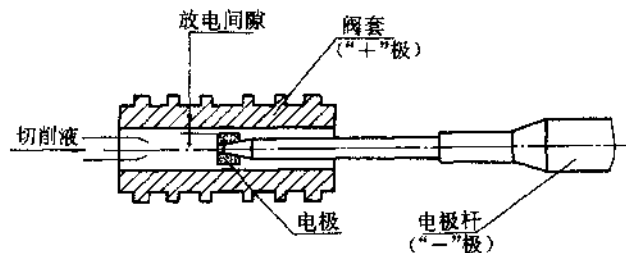


图 37.8-11 电火花内圆磨削简图

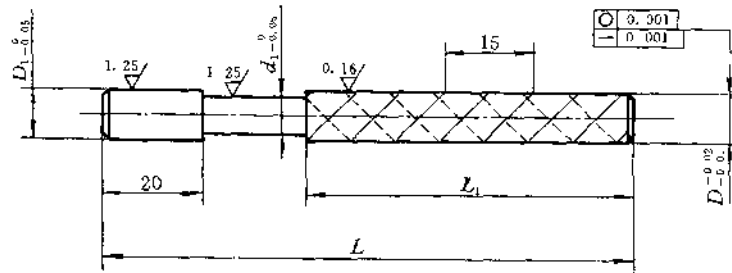


图 37.8-12 不可调整研磨棒

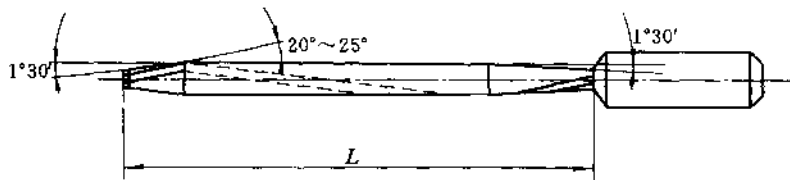


图 37.8-13 电镀金刚石研具

表 37.8-4 阀套内孔加工方法的选择

生产批量	淬火前加工方法	淬火后加工方法
单件小批生产	钻、镗、铰	研磨
中等批量生产	钻、铰	电火花内圆磨、研磨或珩磨、研磨
大批量生产	枪钻钻孔	数控电火花内圆磨、珩磨、金刚石研具研磨

C. 阀套矩形孔加工工艺

阀套矩形孔(以下简称方孔)作为节流窗口,其尺寸精度和位置精度都要求相当高,特别是节流工作边有位置度、面积梯度和对阀套内孔的垂直要求,如图 37.8-4 所示。同一截面上的 4 个节流工作边的共面度(即位置度)为  $0.002\text{mm}$ ,对内孔  $B$  的垂直度为  $0.002\text{mm}$ ,16 个矩形工作边的宽度  $b$  相差不大于  $0.01\text{mm}$ ,因而方孔的加工一直是阀套加工的关键和难点。

表 37.8-5 电火花穿方孔电极的一般要求

加工方式	直线度/mm	对面平行度/mm	粗糙度 $R_a/\text{mm}$	尺寸比方孔尺寸小/mm	放电间隙/mm
粗加工	0.005	0.005	0.8	0.1	0.045
精加工	0.001	0.001	0.2	0.03~0.04	0.015~0.02

目前阀套方孔的加工一般多采用电火花穿孔。也有采用电火花线切割加工的。用线切割加工出的方孔四个棱角有相当于钼丝半径的圆角,不易修整,因而很少采用。

电火花穿方孔的机床刚性要好,主轴与工作台的垂直精度和工作台的坐标精度要求在  $0.002\text{mm}$  以内,同时机床应有良好而稳定的动态品质。

电火花穿方孔的夹具应具有高精度的基准面、定位面以及使阀套转动方便而准确的分度机构。工件转动后,其轴向位置的变化量应不大于  $0.0005\text{mm}$ 。

电火花穿方孔的电极应具有较高的形状位置精度要求。电极在下节 D. 中详细介绍。对电极的一般要求见表 37.8-5。

加工前安装好夹具,其基准面和定位面对机床主轴的垂直度以及对工作台纵向的平行度均应保持在  $0.001\text{mm}$  以内;安装工件时要仔细擦净定位面,工件放正后用压板轻轻压紧即可,电极固定在锥形轴套电

极夹头上精磨好后不松牙,连同锥形轴套电极夹头一起装入机床主轴并找正电极夹头上心轴基准面与工作

台横向平行度不大于 0.001mm。锥形轴套电极夹头

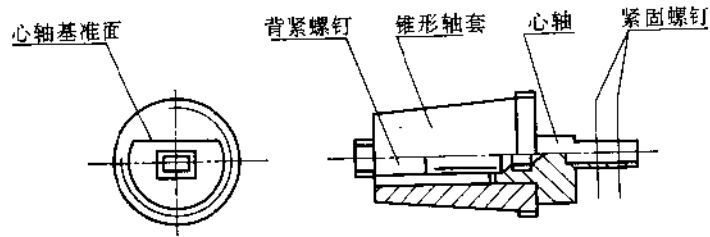


图 37.8-14 锥形轴套电极夹头

在加工节流方孔前一般先用普通电极扩出较大的方孔,留出 0.5mm 厚度再加工节流方孔,见图 37.8-16。这样不但可以提高加工效率,而且可大大减少节流方孔电极的损耗,从而提高节流方孔加工精度。

节流方孔的加工一般分粗、精两次加工,也可分粗、半精、精三次加工。加工时按加工精度及粗糙度要求合理选择电参数。由于不同的电火花机床采用的脉冲电源各异,其电参数规范及匹配方式也不相同,通常

先作大量的工艺试验,将优选的参数记录在工艺规程中。电参数选择是否合理,对加工效率及加工精度有很大影响。

加工中由于电极会损耗,穿第一个孔时在穿过孔后应再伸出 0.5mm,在穿过第二个孔时电极应再多伸出 0.5mm,见图 37.8-17,以后依此类推,始终利用电极未放电的部分进行精加工修整,以便保证各工作边位置精度和使尺寸趋于一致。

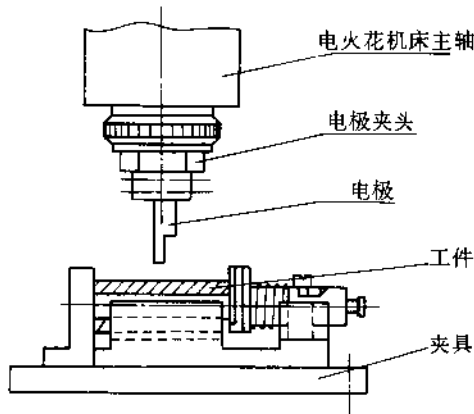


图 37.8-15 电火花穿方孔示意图

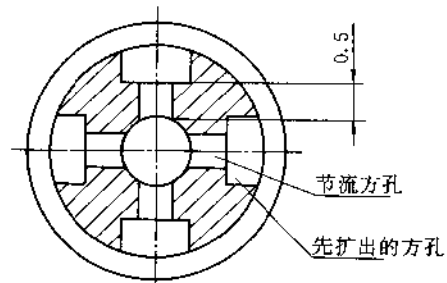


图 37.8-16 扩方孔

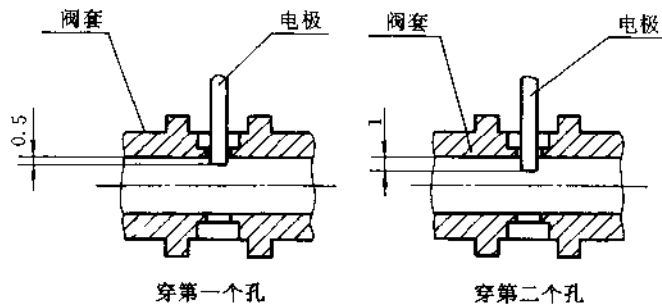


图 37.8-17 电极穿方孔深度

电火花加工节流方孔后应进行稳定化处理,在  $-70^{\circ}\text{C} \sim -80^{\circ}\text{C}$  的低温中放置 2 小时,然后在  $160^{\circ}\text{C}$  温度中放置 20 小时,使工件充分消除加工应力。

用电火花加工节流方孔往往还不能保证节流工作边的共面度和面积梯度,这时可对方孔进行修研。电火花加工方孔的精度愈低,方孔研磨量愈大,修研时间愈长,因此电火花加工节流方孔时应尽量提高其加工精度,否则修研时间长,方孔节流工作边(锐边)易出现塌边现象,即工作边出现很小的圆弧或倒角,影响伺服

阀性能。修研方孔的技术难度较大,应在专用夹具上用专用研具仔细修研。夹具和研具的精度要求都很高。图 37.8-18 是修研方孔的示意图,图中研具常采用铸铁或硬质合金条制造,在研具工作表面加工出能容纳研磨膏的斜槽,四条棱边保持锐边。研磨膏通常选用粒度为 W3.5 的氧化铬,修研过程中要随时进行测量检查。为提高研磨效率,也可采用电镀超硬磨料的研具进行研磨。

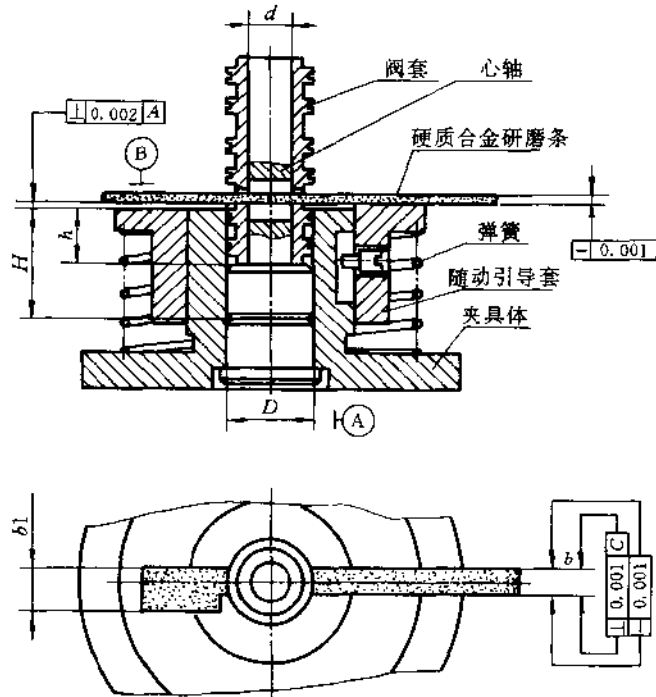


图 37.8-18 修研方孔示意图

D. 电火花穿方孔的电极

电火花穿方孔的电极材料多选用铜钨合金 WCu20。这种材料在电加工中损耗小,但放置一段时间后会弯曲变形,因此用铜钨合金作电极时,精磨电极

与加工方孔工序相隔时间不超过三小时。对尺寸小的方孔也可用硬质合金作电极。

方孔电极的结构设计见图 37.8-19。加工工艺见表 37.8-6。

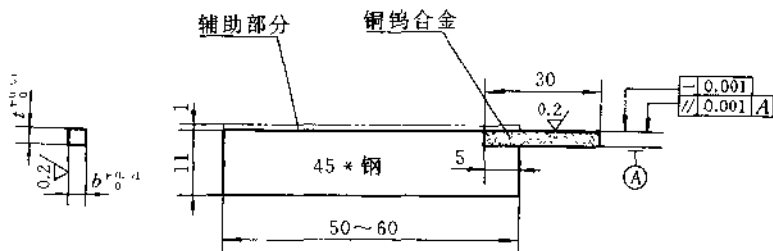


图 37.8-19 方孔电极结构设计图

表 37.8-6 方孔电极的加工工艺

工序	工种	工序内容
0	备料	钢 $7 \times 250 \times 300$ (mm), 铜钨合金 $7 \times 30 \times 40$ (mm)
5	铣削	钢加工成 $7 \times 18 \times 60$ , 铣槽深 $S$ , $t$ 按 $t+1$ , $b$ 按 $b+1$ , 铜钨合金 $b, t$ 分别按 $b+1, t+1$ 加工
10	钳工	去毛刺、铜钨合金在长 5mm 处倒角 $0.7 \times 45^\circ$
15	铜焊	钢与铜钨合金按图焊成, 不平度允差 0.3mm
20	退火	消除焊接应力
25	铣削	按图铣掉辅助部分, $b, t$ 双面留余量 0.4~0.5mm, 表面相互平行度允差 0.1mm
30	钳工	去毛刺
35	粗磨	$b, t$ 双面留 0.5~0.2mm, 余量, 见光
40	钳工	油石去毛刺(不允许倒角)
45	热处理	A 时效, 消除加工应力
50	精磨	按图纸尺寸, 精磨 $b, t$ 表面, 保证技术要求

为节省电极材料, 非工作部分用 45 钢与铜钨合金电极焊接而成。焊接后必须进行退火, 以消除焊接应力。退火温度和时间选取  $530 \sim 600^\circ\text{C}$ 、 $2 \sim 2.4\text{h}$ 。温度过高或时间过长都会引起铜钨合金的严重腐蚀。使电极四个棱边开裂, 出现黄灰色  $\text{WO}_3$  粉末, 甚至电极被腐蚀而断裂, 造成整批电极报废, 见图 37.8-20。电极粗磨后进行人工时效是为了消除加工应力, 时效温度为  $150 \sim 180^\circ\text{C}$ , 时间为  $5 \sim 20\text{h}$ 。

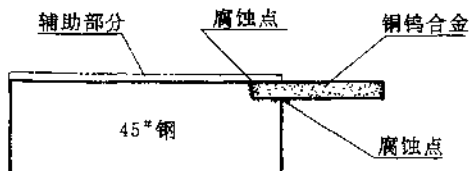


图 37.8-20 电极退火后的腐蚀现象

精加工用的电极制造精度很重要。它直接影响到

节流孔的加工精度。电极又极易变形, 其精度不容易保证, 精磨时必须采取特殊措施和装夹方法, 如图 37.8-21 所示, 将待加工的电极装夹在锥形轴套电极夹头上, 使电极的平面与夹头上心轴基准面平行; 然后将夹头装入方铁锥孔中, 找正心轴基准面(见图 37.8-14)与方铁底面平行度不大于  $0.001\text{mm}$ , 再用锁紧螺母固定; 在平面磨床上精磨电极一个面后翻转方铁, 精磨电极另一个面。方铁四个面相互平行度、垂直度以及对内锥孔轴线的对称度均在  $0.001\text{mm}$  之内。磨完电极四个面后方可松开锁紧螺母, 将锥形轴套电极夹头取下, 不松开电极, 一起装到电火花机床的主轴中。

#### E. 阀套内环槽加工工艺

全周边节流窗口阀套的内环槽作为节流窗口, 其槽边是节流工作边(见图 37.8-5), 因此它的加工工艺与节流方孔的加工同样成为加工的关键和难点。内环槽的加工方法有多种, 参见表 37.8-7。

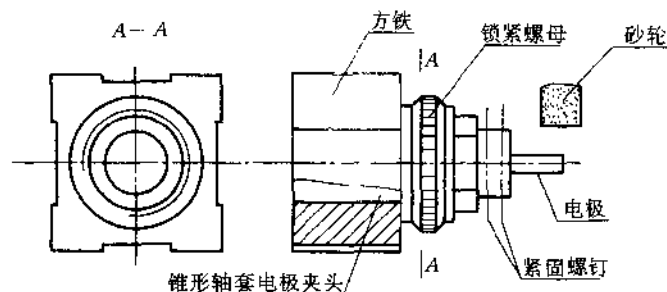
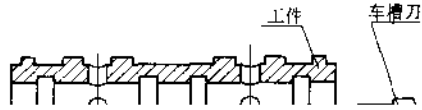


图 37.8-21 电极精磨加工示意图

表 37.8-7 阀套内环槽加工方法

加工方法	加工简图	工艺分析
车		<p>车内环槽比较常用的加工方法是采用专用车槽刀,配上数显装置,可将尺寸公差控制在<math>0.02\sim 0.05\text{mm}</math>以内,粗糙度为<math>R_a2.5\mu\text{m}</math>。车环槽必须在热处理前进行,由于刀杆</p>

车床上配置电器对刀装置及数显装置控制尺寸。淬火后对外圆进行半精加工,使其尺寸一致,以便作为电火花磨削时的定位基准。在专用的电火花机床上以外圆定位(见图 37.8-23),找正外圆,其跳动量应在0.002 mm 之内。用铜钨合金电极(见图 37.8-24)先磨削内孔,接着磨削内环槽,使阀套内孔、内环槽一次装夹加

工,以保持高的位置精度。由于加工时工件和电极均作旋转运动,因而增加了切削液的冲刷作用,可更快地带走熔融的金属微粒和表面氧化物,改善导电性,提高加工效率;电极的转动还可克服电极本身的制造误差、安装误差对加工精度的影响。

由于电火花磨削加工精度高,节流工作边不需要

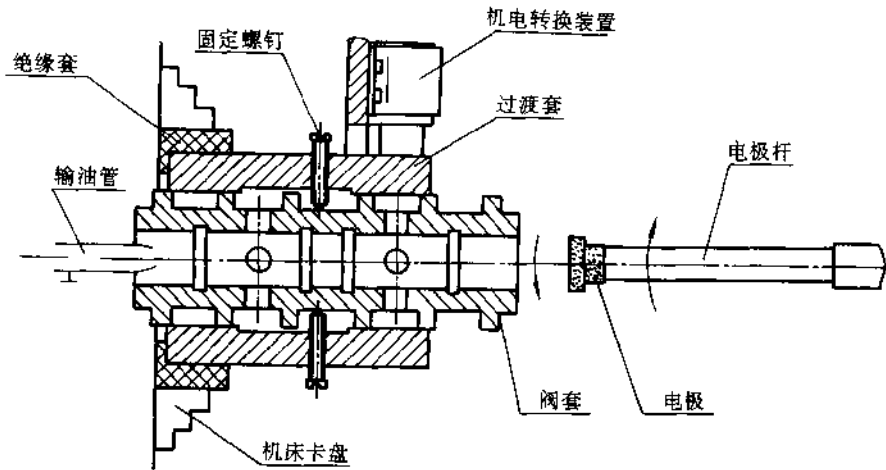


图 37.8-23 电火花磨削内环槽示意图

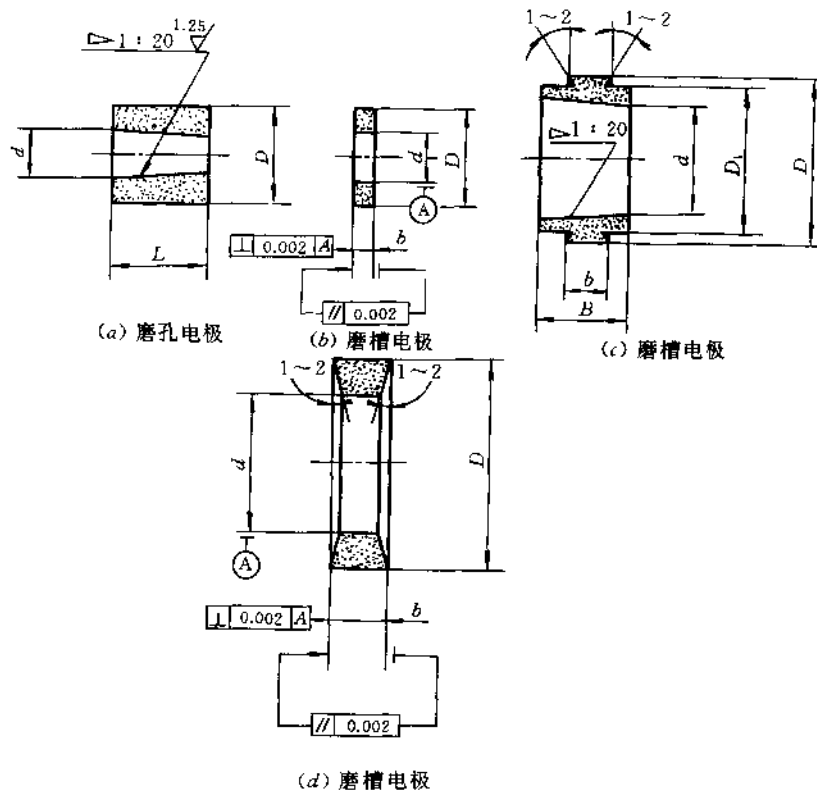


图 37.8-24 铜钨合金电极



研磨加工,即可保证尺寸精度、形状位置精度和表面粗糙度,因此改造旧设备,使加工过程实现数显化、数控化,使加工尺寸的控制实现自动化,有很大的技术经济价值。

#### (4) 阀套内孔及工作边的测量

##### A. 阀套内孔圆柱度的测量

阀套内孔圆柱度要求很高。目前测量圆柱度比较先进的方法是用形状测量仪测量,且可直接记录出圆柱度误差。但这种仪器价格昂贵,对环境要求严格,仅能在计量室内使用。生产现场则普遍采用气动量仪,分别测量内孔的圆度(椭圆度)、锥度和轴线的直线度来综合确定其圆柱度;也有的用圆度仪测量多个截面的圆度和尺寸后经综合计算确定圆柱度。不少工厂习惯用直线度量规进行测量,但这种方法要准备很多分档很细的精密塞规,测量时比较烦琐,且测出的只是内

孔的最小孔径,不能确定真实的形状偏差。

##### B. 阀套工作边的测量

阀套节流工作边的测量大多在万能工具显微镜上进行,如图 37.8-25 所示,将阀套安装在万能工具显微镜的两顶尖之间。其中一顶尖为特殊空心顶尖,可引入导线。将小灯泡置于内孔中靠近孔壁处并相对工作台固定,用遮盖板挡住底光,用小灯泡作为上光源测量节流工作边。测量时纵向移动工作台,灯泡随之沿阀套轴向移动,调整到节流工作边得到最清晰的影像。缓慢转动阀套一周,转动过程中如节流工作边影像不清晰则纵向移动工作台,使图像保持清晰。一周中工作台纵向位移的差值即阀套节流工作边对阀套孔轴线的垂直度误差;如果测方孔节流工作边,此值也是各节流工作边的共面度误差。同样,纵向移动工作台可测出 A、B、C 的实际尺寸。

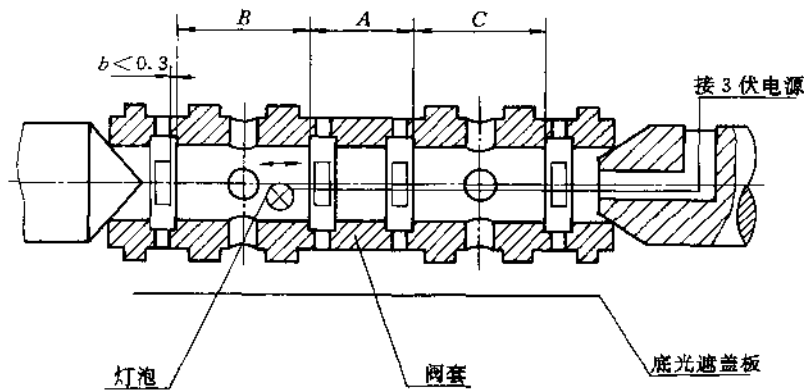


图 37.8-25 用万能工具显微镜测量节流工作边示意图

对方孔节流阀套,其节流工作边的位置尺寸和共面度的测量也可在精密平台上用千分表测量(见图 37.8-26),或用带数显表的精密高度尺进行测量。由于方孔过小,测量杆端部小球有一定直径,不可能测到节流工作边的棱边和两侧的根部,因而比不上用万能工具显微镜测量得准确。

节流工作边轴向位置尺寸 A、B、C 在配磨阀芯时可用气动流量测量法测量,使阀芯上相应的尺寸 A、B、C 精磨到设计要求的重叠量。

#### (5) 阀芯加工工艺过程

典型阀芯见图 37.8-27,其外圆  $d$  与阀套内孔配磨,保证间隙  $0.001 \sim 0.003 \text{mm}$ ;四个台肩工作边的轴向位置尺寸 A、B、C 与阀套上相应的节流工作边配磨,保证重叠量要求;反馈槽两侧面 F 与反馈杆小球

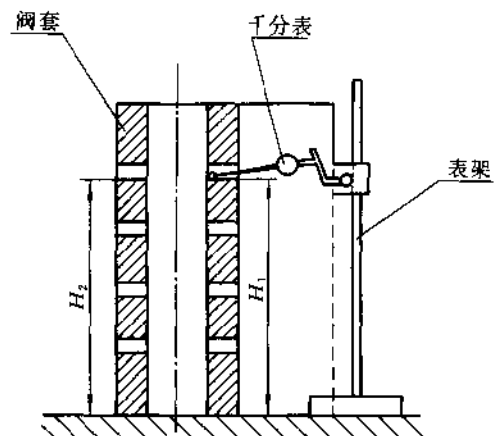


图 37.8-26 千分表测量工作边示意图

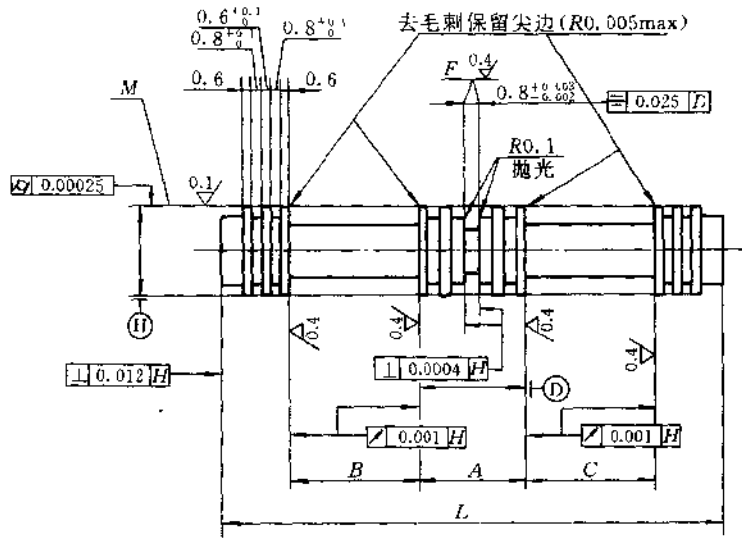


图 37.8-27 阀芯

配套, 保证配合间隙  $0 \sim 0.0015\text{mm}$ ; 外圆和槽的形状位置精度 (见图 37.8-27) 也都很严格, 使阀芯的加工

存在较大的难度。阀芯典型加工工艺流程见图 37.8-28。

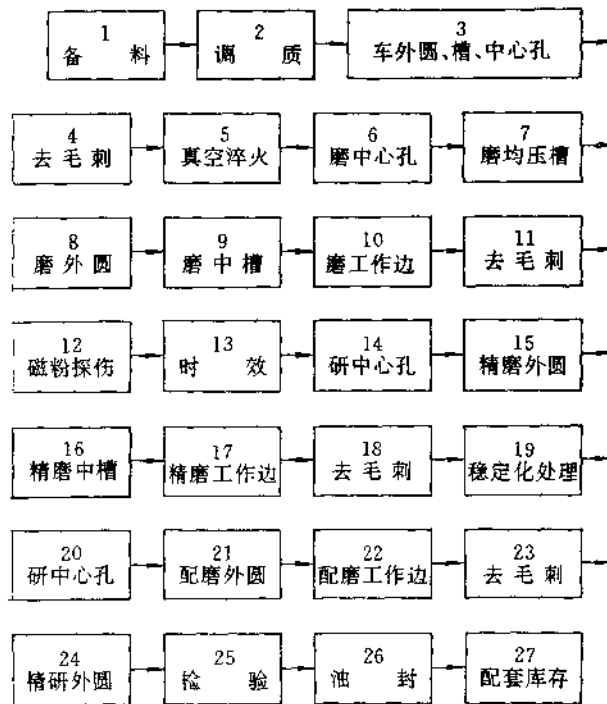


图 37.8-28 阀芯加工工艺过程

## (6) 阀芯主要加工工艺及分析

阀芯的材料选择及热处理工序安排与阀套相同, 阀芯的加工关键是外圆和工作边的配套加工。

## A. 阀芯中心孔加工工艺

阀芯中心孔作为工艺定位基准, 其加工精度直接影响到阀芯外圆、台肩和槽的加工精度, 在加工过程中往往按需要进行多次修整。一般在热处理淬后用中心孔磨床修磨中心孔, 其圆度在  $0.5\mu\text{m}$  以内, 粗糙度为  $R_a 0.32\mu\text{m}$ , 两端中心孔要在同一轴线上; 在配磨前将中心孔圆度仔细修研到  $0.2\mu\text{m}$  以内, 粗糙度为  $R_a 0.1\mu\text{m}$ , 才能保证配磨阀芯的精度。

## B. 阀芯中槽及均压槽加工工艺

阀芯的反馈槽(简称中槽)宽为  $0.8 \pm 0.002\text{mm}$ , 两侧面  $F$  对外圆  $d$  的垂直度为  $0.0004\text{mm}$ , 对工作边  $A$  尺寸的对称度为  $0.025\text{mm}$ , 表面粗糙度为  $R_a 0.4\mu\text{m}$ , 与反馈杆小球配合, 应保证间隙  $0 \sim 0.0015\text{mm}$ (或  $0 \sim 0.0015\text{mm}$  过盈)。中槽的加工难度大, 其加工过程如下:

淬火车出或铣出  $0.3 \sim 0.5\text{mm}$  的中槽; 淬火车后粗磨中槽, 两侧面  $F$  各留精磨余量  $0.01 \sim 0.04\text{mm}$ , 对  $D$  基准(尚有余量)的对称度为  $0.03\text{mm}$ , 粗糙度为  $R_a 0.8\mu\text{m}$ , 热处理时效后精磨中槽达到最终尺寸、对称度和粗糙度的要求; 与反馈杆小球的配套间隙最后由配研小球达到。

粗磨中槽选  $60^\# \sim 80^\#$  粒度的白刚玉砂轮, 精磨中槽选用  $W63 \sim W40$  粒度的棕刚玉砂轮。先用砂轮修正器修出初形, 然后凭工人经验再用手工精修, 其宽度为  $0.6 \sim 0.65\text{mm}$ , 砂轮两侧修出  $1^\circ \sim 2^\circ$  的侧后角, 见图 37.8-29。砂轮修正的几何形状好, 可使磨出的中槽精度高、易清根。修整砂轮时以及磨削过程中要特别谨慎, 避免砂轮破碎。

采用电镀金刚石或立方氮化硼砂轮(见图 37.8-30)磨削阀芯中槽可大大提高工作效率。这种砂轮耐用度高, 不需修整可连续使用很久, 既方便又安全, 但砂轮尖边处电镀质量不好, 使磨出的中槽不易清根, 表面粗糙度一般只达到  $R_a 0.5\mu\text{m}$ , 往往需要留  $0.005\mu\text{m}$  左右的余量, 再用  $W63 \sim W40$  粒度的棕刚玉砂轮精磨一次。

阀芯中槽的宽度一般用分档块规测量, 块规的厚度尺寸间隔为  $0.001\mu\text{m}$ ; 也可用球塞规测量。

阀芯外圆上的均压槽在淬火车前用切槽刀或成形排

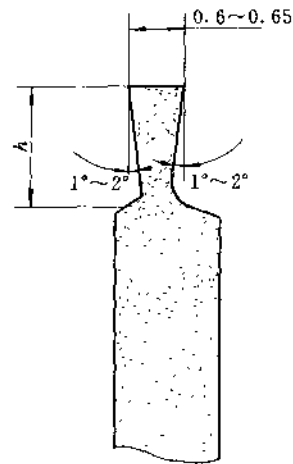


图 37.8-29 磨阀芯中槽砂轮

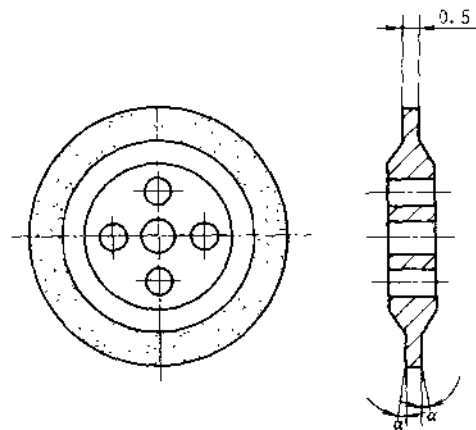


图 37.8-30 电镀超硬磨料砂轮

刀(见图 37.8-31)车出, 淬火车后用砂轮磨槽; 也可在淬火车后用成形砂轮直接磨出均压槽。

## C. 阀芯外圆磨削及径向配磨工艺

阀芯外圆磨削是阀芯加工的关键工序之一, 特别是外圆的径向配磨(或配研)一直是伺服阀制造中的关键环节, 其配合间隙及形状精度将直接影响伺服阀的分辨率和滞环等技术指标。

阀芯外圆的圆柱度为  $0.00025 \sim 0.00005\text{mm}$ , 粗糙度为  $R_a 0.1 \sim 0.04\mu\text{m}$ , 与阀套配合间隙为  $0.001 \sim 0.003\text{mm}$ , 阀芯应能在阀套中滑动灵活无卡滞现象。

阀芯外圆在淬火车后的加工一般为粗磨、精磨、配磨、配研等工序。各工序的加工要求见表 37.8-8。

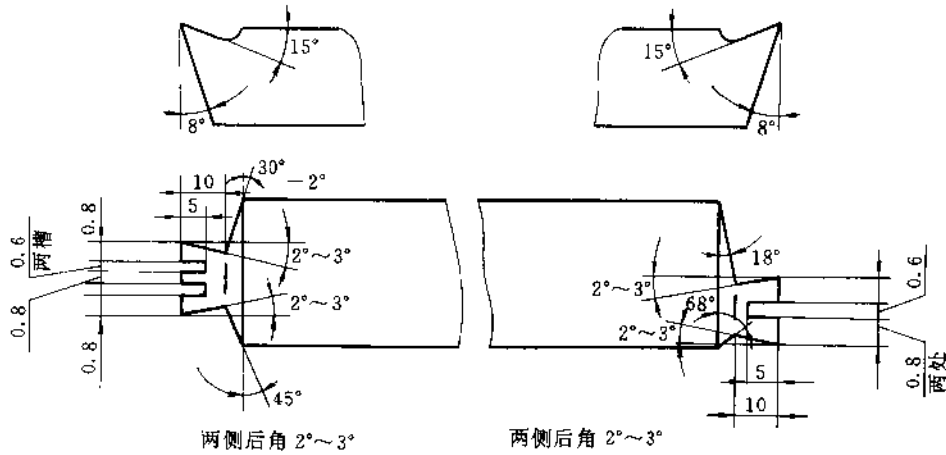


图 37.8-31 车阀芯均压槽排刀

表 37.8-8 阀芯淬火后外圆的加工工序表

工序名称	加工要求			说明
	留余量/mm	圆柱度/mm	粗糙度/ $\mu\text{m}$	
粗磨	0.1~0.15	0.01	$R_a0.4$	磨削余量0.3~0.4mm
精磨	0.03~0.04	0.001	$R_a0.16$	人工时效,消除切削应力后进行
配磨	0.001~0.003	0.00025~0.0005	$R_a0.1$	稳定化处理后进行
配研	0	0.00025~0.0005	$R_a0.04\sim0.1$	与阀套配合间隙为0.001~0.003mm

由于阀芯外圆与阀套内孔的配合公差只有  $2\mu\text{m}$ , 其形状精度和粗糙度的要求都比较高, 不容易实现互换。目前大多采用配磨的方法, 即先将阀套内孔按图纸要求加工合格, 然后按阀套内孔实际尺寸配磨阀芯外圆, 保证所需的配合间隙。手工配磨加工和测量都很麻烦, 生产效率低, 不易保证配套质量, 批量生产中可采用径向配磨仪对阀芯进行配磨。

配磨时砂轮线速度为  $25\sim30\text{m}/\text{min}$ , 工件转速为  $200\sim250\text{r}/\text{min}$ , 纵向进给速度为  $0.3\sim0.4\text{m}/\text{min}$ , 横向进给量为  $0.5\sim1\mu\text{m}/\text{次}$ 。

图 37.8-32 是液压径向自动配磨原理图。使用时按阀套内孔尺寸选好内径测头, 开动机床接通配磨装置, 将相配的阀套放在测孔仪上, 调整好内测头, 这时阀套内孔的尺寸即转换成电信号输入到测量仪的存

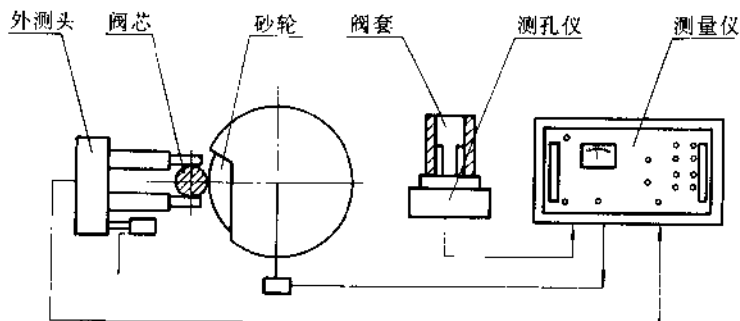


图 37.8-32 液压径向配磨原理图

储器中。外测头伸缩机构与机床液压系统相通,当磨削开始时,机床液压操纵外测头送进到位,同时外测头卡爪张开,卡住阀芯外圆;砂轮送进,自动磨削循环开始。经过粗磨、精磨和无火花磨削,此时卡爪将正在磨削的阀芯尺寸转换成电信号输入到测量仪中,并从存储器中取出阀套内孔的电信号,这些电信号与预先规

定的配合间隙的信号相比较,其差值在测量仪指示盘上指示,并控制砂轮的横向进给装置,直到达到要求的最终尺寸,卡爪张开,外测头退回,自动配磨终止。

另一种径向配磨方法为气动配磨,见图 37.8-33。这种配磨装置可安装在配磨机床上进行主动测量。

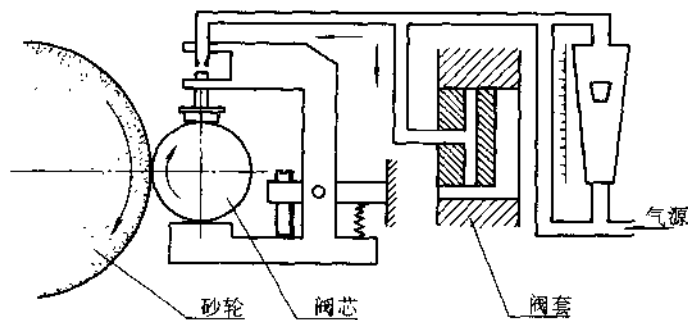


图 37.8-33 气动径向配磨原理图

使用时先用校对环或校对棒或用标准样件调整好浮子位置,将阀套放在内径测头上,相配的阀芯放在测轴量头的测架上,观察浮子位置,并读出相应的间隙值,决定砂轮的进给量,直到间隙值合格,退出砂轮,取下工件。

这些配磨方法效率较高,质量稳定。生产中为保证滑阀偶件运动灵活,动态响应快,通常对配磨后的阀

芯留 0.001mm 左右的余量,用少量研磨膏(M1.5~2.5)进行精研磨,可进一步降低阀芯表面粗糙度值,去掉显微毛刺,这是提高滑阀偶件精度较好的工艺方法。

滑阀偶件径向配合间隙的测量方法有多种。这里仅介绍综合气动测量,气动测量的积累误差较小,灵敏度也较高,使测量结果更接近实际间隙,而且测量方便、直观。测量原理见图 37.8-34。

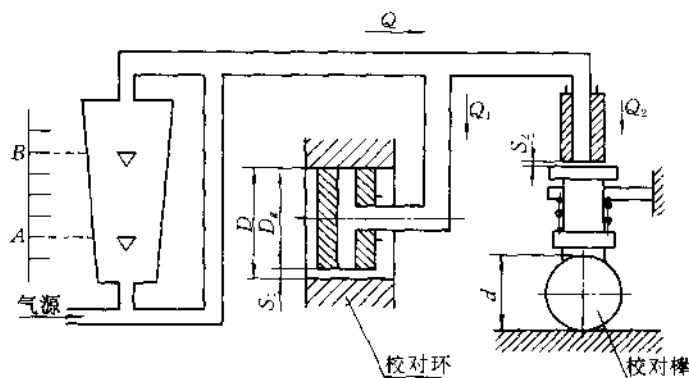


图 37.8-34 滑阀偶件径向间隙综合气动测量原理

使用时将校对环  $D$  和校对棒  $d$  分别放在内径和外径测量架上,各有气隙  $S_1$  和  $S_2$  存在,通过它们的空气流量为  $Q_1$  和  $Q_2$ ,而决定空气总流量的全部出气间隙为  $S = S_1 + S_2$ ,与其相对应的总的空气流量为  $Q = Q_1 + Q_2$ ,此值决定了浮标在玻璃管内的上升高度。为了说明问题,用图 37.8-35 作为测轴部分的等效形

式图。设测孔量头直径为  $D_g$ ,测轴量头的工作部位尺寸为  $d_g$ ,偶件的配合间隙为  $X$ ,则

$$X = D - d = (D_g + S_1) - (d_g - S_2) \\ = (D_g - d_g) + (S_1 + S_2) = (D_g - d_g) + S$$

式中  $(D_g - d_g)$  为定值

$$\therefore X = F(S) = \Phi(Q), \text{ 而 } Q = F(X)$$

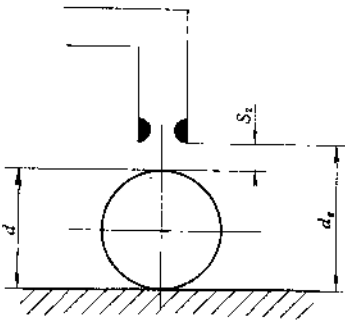


图 37.8-35 综合气动测量测柱部分等效形式图

即偶件配合间隙  $X$  变化影响玻璃管内流量  $Q$  变化。因此只要按校对棒确定出间隙  $X$  的上下极限值  $X_{max}$  和  $X_{min}$ ，就可以得到气动量仪的浮标位置  $A$  与  $B$ 。将  $AB$  间按  $X_{max}$ 、 $X_{min}$  标定读尺，以测定滑阀偶件的径向间隙  $X$  之大小。

D. 阀芯工作边精磨及轴向配磨工艺

阀芯工作边在磨削之前必须将中心孔修研好。粗磨时，磨削用量要选取适当，尽量减小表面变质层，应在保证磨削表面质量的前提下，提高生产率。同时尽

量控制各边的余量均匀，精磨时按阀套工作边的  $A$ 、 $B$ 、 $C$  尺寸计算阀芯工作边尺寸并留适当余量。各生产单位的制作工艺不同，所留余量也不尽相同，一般双边留  $0.05 \sim 0.06\text{mm}$ 。阀芯工作边尖角棱边受磨削热影响敏感，散热不好，磨削时容易出现烧伤，退火使硬度下降，而工作边棱边的硬度很难测定，也不可能百分之百检查，因此必须严格控制磨削用量，特别是控制砂轮进给量不能太大。粗磨工作边时多选用粒度较粗 ( $70^\# \sim 80^\#$ ) 的白刚玉砂轮，硬度中软，也可在砂轮端面开些径向槽，以增加散热面积，减少烧伤。若烧伤不严重时，也可在精磨时修磨掉烧伤层。精磨时，选用  $W63 \sim W40$  粒度的棕刚玉砂轮，每次进给量控制在  $0.01\text{mm}$  以内，并采用切入式磨削，可减少毛刺及烧伤现象。磨削后磁粉探伤，检查加工表面有无裂纹。最后进行滑阀偶件轴向配磨。滑阀偶件的轴向配磨是保证电液伺服阀流量及压力特性的主要手段，是滑阀偶件制造过程中必不可少的工序。一般滑阀偶件的轴向尺寸，根据设计的不同可分为正重叠、零重叠和负重叠三种形式。其零位流量特性曲线见图 37.8-36。相应的阀芯位移流量曲线见图 37.8-37。A、D 为进油

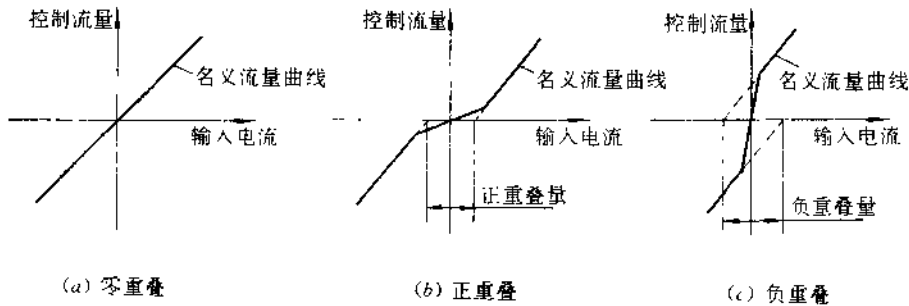


图 37.8-36 零位流量特性曲线

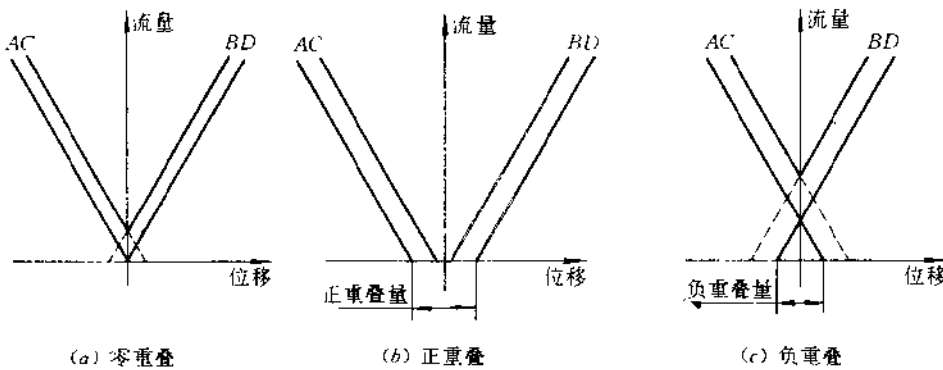


图 37.8-37 位移流量曲线

边, B、C 为回油边。所谓滑阀偶件的轴向配磨, 即是在测得各工作边的重叠量后, 确定各工作边的磨削余量, 配磨阀芯相应工作边, 直到达到图纸和技术条件要求的重叠量。过去阀芯工作边的配磨多采用手工进行, 凭工人经验控制配磨尺寸的精度, 现在国外已采用

计算机数据处理的自动流量综合系统, 进行自动轴向配磨。目前国内也已试验应用轴向微进给机构, 精确控制磨削进给量及配磨尺寸, 减少配磨时测重叠量的次数, 见图 37.8-38。

重叠量测量的基本原理是通过一定的试验方法,

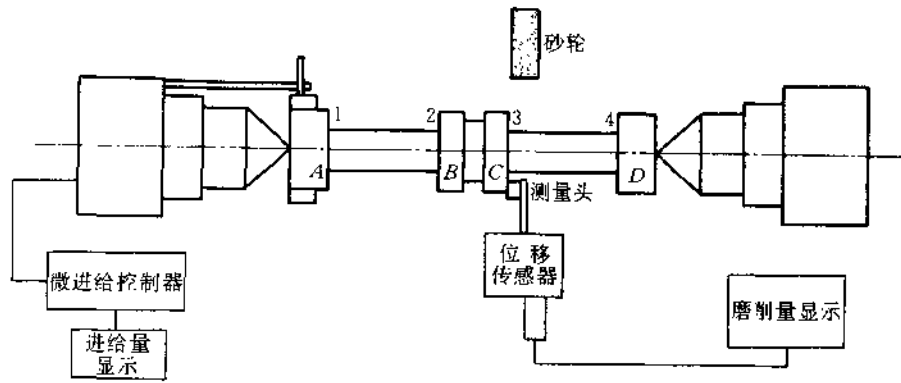


图 37.8-38 带有微进给机构轴向配磨原理图

测量出零位附近阀芯的位移量(即阀套节流窗口的开启量)与节流孔输出量(流量或压力)之间的关系, 进行确定滑阀偶件的轴向重叠量。它能把阀芯、阀套之间的配合间隙、工作边可能产生的圆角、每组节流孔的共面度误差和面积梯度误差等反映到阀芯的开启量上, 是综合性的测量, 这是其他计量方法难以达到的。

个可变节流孔, 为了能用简单的方法确定零开口点, 设置了旁路喷嘴, 在测出阀芯位移与节流压力的关系曲线后, 经坐标变换, 可获得一个与位移—流量曲线相似的关系曲线, 从而可以方便地确定出滑阀的重叠量。

图 37.8-39 是阀芯位移与输出流量之间的关系曲线, 从图中可看出, 在滑阀节流孔开启量为  $10\mu\text{m}$  以上时, 所测得的曲线比较直, 而在  $10\mu\text{m}$  以下时的曲线是弯曲的。造成弯曲的原因是由于阀芯与阀套的径向间隙、工作棱边微小圆角、工作边共面度误差, 以及流量测量元件的灵敏度或摩擦方诸因素所致。

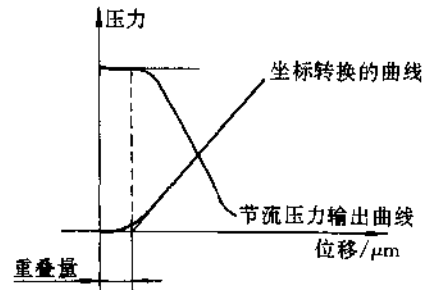


图 37.8-40 阀芯位移与输出压力的关系曲线

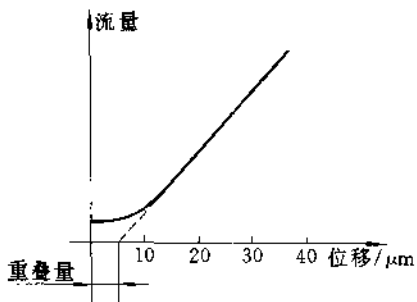


图 37.8-39 阀芯位移与输出流量的关系曲线

重叠量的测量方法, 从滑阀输出形式上分, 有流量测量方法和压力测量方法; 从所用工作介质上分, 有气动测量方法和液压测量方法; 从操作和数据处理方法上分, 有人工测试和计算机辅助测控等。现仅介绍应用较多的气动流量测量和液压流量测量的原理。

图 37.8-40 是阀芯位移与输出压力之间的关系曲线, 压力测试的原理是将滑阀的节流工作边视作一

气动流量测量由于设备简单、无污染、测试方便易行、能较准确反映滑阀重叠量而得到普遍应用, 是目前国内外使用较广泛的一种方法, 其原理见图 37.8-41。气动测试装置由气源、气动元件、试验夹具、位移及流量的测量和调试元件等构成。

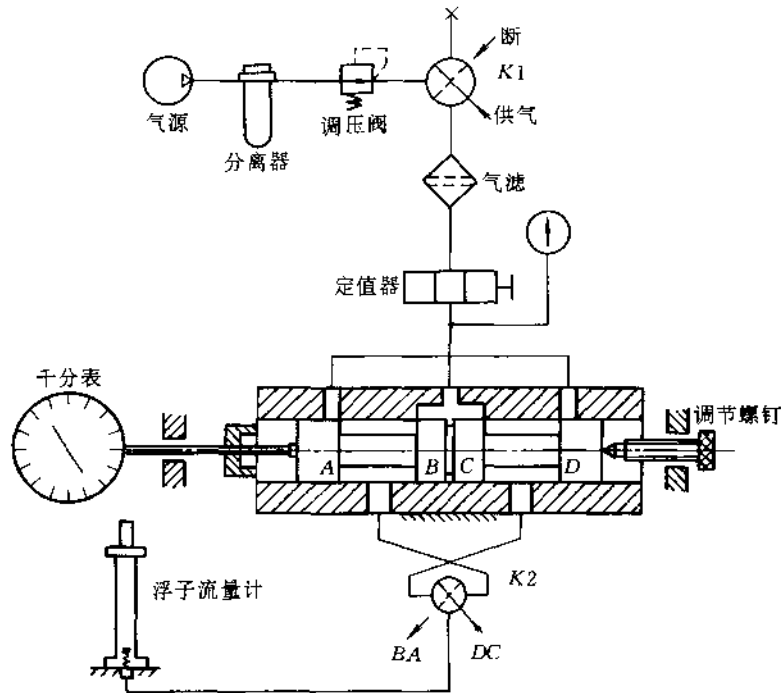


图 37.8-41 气动测试装置原理

测试时,先将阀芯调到中位(即两节流孔的输出气量为最小,浮子处在最低点),将千分表对零,以此为零位,使阀芯右移  $60\sim 80\mu\text{m}$ (不含死区范围)。通过变换开关  $K2$ ,可在阀芯从右至左的一次行程内完成对四个工作边的逐点气动测量。根据所测数据,在坐标纸上绘出阀芯位移与输出气量(浮子高度)的关系曲线后,再分别作出各工作边曲线直线段的延伸线与横坐标相交于  $A_0$ 、 $B_0$ 、 $C_0$ 、 $D_0$ ,此四点则为各工作边的零位,见图 37.8-42。通常  $A_0$ 、 $D_0$  之间的距离“ $\delta$ ”决定着滑阀的重叠量。此值除以阀芯最大工作位移乘 100%,即为滑阀重叠量的百分数。 $A_0$ 、 $C_0$  及  $B_0$ 、 $D_0$  之间的距离“ $\Delta$ ”决定着滑阀零位对中压力的高低和进回油工作边的匹配关系,影响着伺服阀的压力特性和零位泄漏特性,配磨时一般回油边应比进油边多磨去

一些,工作边的磨量可根据所做曲线和设计要求来确定,尽量做到各边余量均匀去除,以保证各工作边对阀芯中槽的对称性,确保滑阀质量。表 37.8-9 为某些常用伺服阀气动试验时的参考值范围。

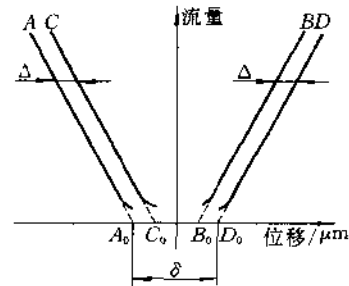


图 37.8-42 气动测试阀芯位移与输出气量的关系曲线

表 37.8-9 常用伺服阀气动试验技术指标

流量范围/(L/min)	$\leq 2$	4~8	5~15	20~40	50~100	150~400
设计重叠量/(%)	$\pm 2.5$	$\pm 2.5$	$-3 \sim -0.5$	0~+3	$\pm 2.5$	+1~+5
阀芯最大工作位移/ $\mu\text{m}$	$\pm 400$	$\pm 400$	$\pm 400$	$\pm 520$	$\pm 800$	$\pm 700$
试验时阀芯行程范围/ $\mu\text{m}$	$\pm 200$	$\pm 80$	+80	$\pm 60$	$\pm 60$	$\pm 50$
气试重叠量控制值 $\delta$ / $\mu\text{m}$	0~15	-3~+15	-8~+5	+8~+25	-5~+20	+15~+40
进回油工作边差值 $\Delta$ / $\mu\text{m}$	1~3	1~3	$4 \pm 1$	$5 \pm 1$	$6 \pm 1$	$6 \pm 1$



气动流量测量由于受浮子流量计测量范围的限制和气体介质本身存在的缺陷等影响,测量结果往往不十分稳定,配磨结果与实际调试结果也有较大差异,特别是 4L/min 以下 100L/min 以上的滑阀偶件,其测量

结果的可靠性较差,小流量和负重叠的滑阀常出现重叠量超差,压力特性曲线畸变等现象,大流量滑阀则常出现重叠量误差偏大的现象。为此可使用液压流量测量方法,测试系统原理见图 37.8-43。

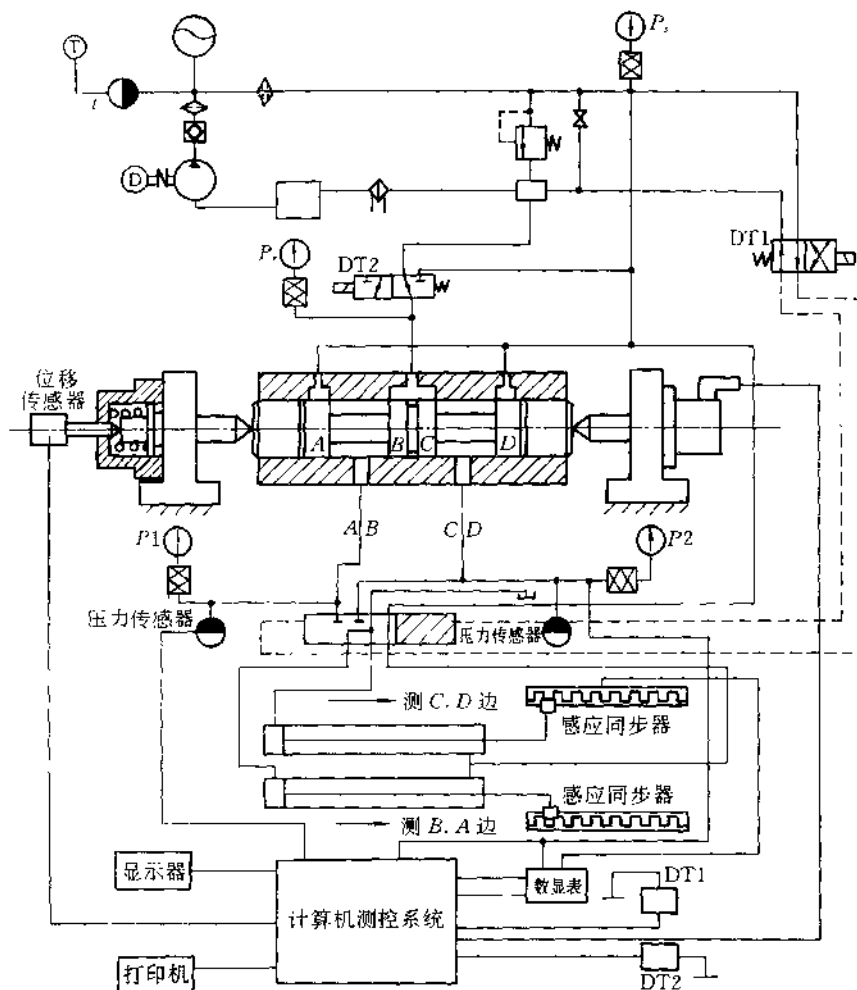


图 37.8-43 液压测试系统原理图

液压测试系统由液压源、试验夹具、测量元件及微机测控系统等部分组成。液压测量的特点是流量液压缸的测量范围广(0.05~30L/min)。供油压力可在较大范围内(1~6MPa)任意调整,适用于各种流量规格的滑阀测试。由于工作介质和试验方法与伺服阀的实际测试情况基本相同,因而滑阀重叠量的配磨结果更接近于调试结果。

#### (7) 滑阀偶件去毛刺工艺分析

液压产品生产过程中清除毛刺的质量将直接影响到产品工作中的安全性、可靠性,特别是航空用的液压附件中的关键零件,对去毛刺的要求更严,一直是生产中的关键环节之一,国内外对此都非常重视。现重点分析滑阀偶件工作边处保留锐边去毛刺。

阀芯阀套节流工作边应为直角的尖锐棱边,不能有圆角,因为此处保持锐边可使系统获得高的工作精度,对控制系统的工作性能有很大好处。工作边上有

微小的圆角倒钝,都将改变伺服阀的特性。同时阀芯阀套上所有节流工作边的棱边处都不能有显微毛刺,否则工作中会在毛刺处出现压力降。毛刺是不规则的,它出现在部分圆周上时,会造成径向压力不平衡,影响液体流量,从而改变流量特性曲线。另外,毛刺的存在是一种不稳定状态,当受到液压力或摩擦时会局

部或全部从零件上脱落,进入油液或滑阀偶件中,严重时,使滑阀偶件卡死,无法正常工作。

#### A. 阀芯工作边去毛刺工艺

阀芯节流工作边的毛刺是影响伺服阀质量的关键问题之一。阀芯节流工作棱边要保持锐边无毛刺,见图 37.8-44。

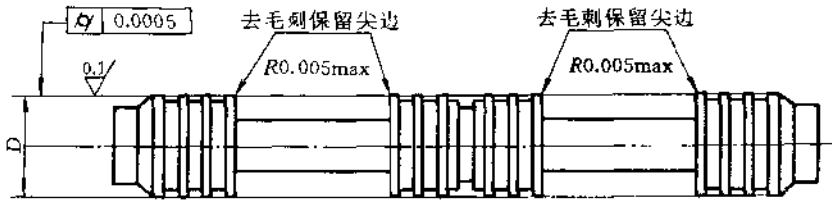


图 37.8-44 阀芯工作边去毛刺保留尖边

实践证明,阀芯工作棱边的显微毛刺小至0.001 mm也会影响伺服阀的性能,甚至使阀芯卡死,伺服阀失去工作能力。但要使阀芯工作边保持锐边无毛刺也相当困难,加工中常因去毛刺不当而出现崩边掉块,使阀芯报废。阀芯工作边去毛刺作为工艺关键进行试验研究,采用切入式磨削,控制精磨余量及进给量,减少毛刺产生。四条工作边精磨前,预先加工出适当倒角,以减小毛刺根部的强度。配磨加工后,用多种方法去锐边毛刺,如用天然油石、木条、竹片、硬橡胶等进行去毛刺试验,都收到一定效果;也可采用研磨套加少量研磨膏,按一定方向去除毛刺,但阀芯工作边上的毛刺,必须从圆柱面和端面两个方向反复清除。手工去毛刺要求工人技术熟练,稍有不慎就会使棱边产生圆角或倒钝,而且效率低,质量不稳定,为了改进,可采用机械去毛刺方法,参见图 37.8-45。图中的硬质合金条需磨后精研,使其工作表面的平行度和垂直度均在0.001mm之内。操作时,阀芯装夹在该装置的两顶尖之间旋转,将装有硬质合金条的夹具移到工作位置,使硬质合金条压向阀芯台肩圆柱面,手工左右移动夹具体(如图上箭头方向),可把沿外圆棱边的毛刺清除掉,但会有部分毛刺倒向台肩的端面,再用硬质合金条的侧面内贴紧台肩端面清除毛刺。由于材料比较粘韧,还会有一部分毛刺倒翻到圆柱面的边棒上,须反复多次才能清除干净。清洗后用50倍放大镜检查清除毛刺的质量,同时检查棱边的锐边保持情况。这种方法效率较高,工作锐边不易破坏,操作方便。但对较大的毛刺或零件硬度偏高时,也会出现崩边,质量不够稳

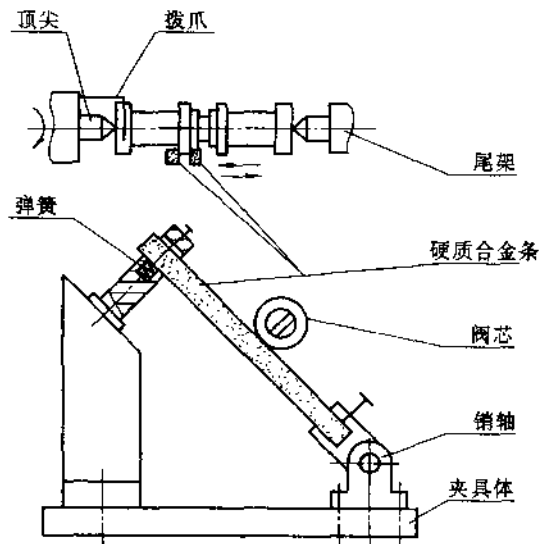


图 37.8-45 阀芯去毛刺示意图

定。图 37.8-46 是磁力研磨去毛刺原理图。工件装夹在两顶尖或夹盘、顶尖间回转,并以一定的频率、振幅做轴向摆动。在工件两侧设置软铁芯,其上缠有线圈,通过直流电流,以形成直流磁场。由于工件为导磁材料,故相对两磁极也形成直流相应的 N、S 极。在加工区充填由铁粉和氧化铝粉构成的复合磨料,在磁场作用下磨料被磁化而具磁性,沿着磁力线有规律地排列,偏离被加工区的某单颗粒磨粒所受的磁场力可分解为沿等磁力线方向的为  $\Delta F_1$  和沿着磁力线方向的力  $\Delta F_2$ , 它们的合力  $\Delta F$ , 指向加工区。在磁力研磨

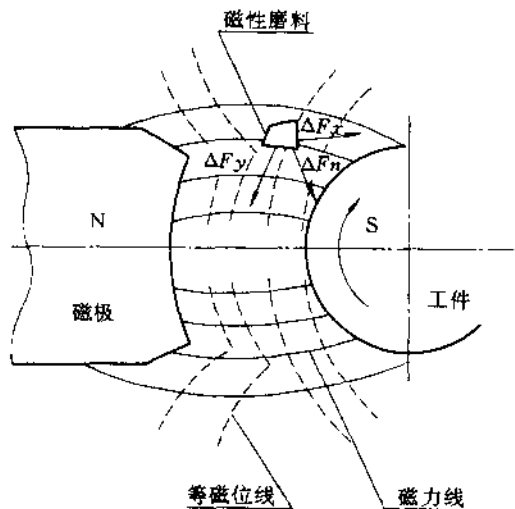


图 37.8-46 磁力研磨去毛刺原理图

过程中,工件表面除受到磁场力  $F_y$  的作用外,还受到磁压力  $P_y$  的作用,在  $F_y$  与  $P_y$  的共同作用下形成了径向切削分力,致使磨粒对工件表面产生切削作用。控制磁性参数就可以控制磨粒的切削作用,达到去除毛刺的目的。阀芯棱边处磁力线比较密集,磨粒的切削作用比较强,其上的毛刺很容易被研掉,对其他表面还可降低表面粗糙度,而不影响工件的尺寸与形状精度。

在一定的磁性参数条件下,只要研磨时间控制得当,就可以得到适当大小的棱角倒角。例如用 2~4min 就可以去除单侧高度  $20\mu\text{m}$  左右的毛刺,而且可以保持锐边,满足图纸  $R \leq 0.005\text{mm}$  的要求。通过试验认为,磁力研磨去毛刺是阀芯锐边去毛刺较好的方法,也适用于大批量生产,容易实现去毛刺自动化,但要控制精加工毛刺不大于  $20\mu\text{m}$ 。磁力研磨去毛刺简

易装置见图 37.8-47。

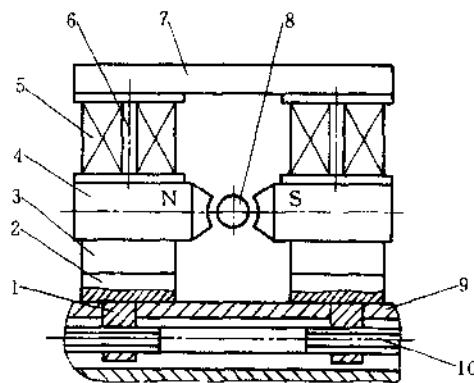


图 37.8-47 磁力研磨去毛刺装置

1-左右旋螺母;2-左右压板;3-铝热板;4-磁极;5-励磁线圈;6-铁芯;7-转接板;8-工件;9-工作台;10-丝杠

### B. 阀套去毛刺工艺

阀套在加工过程中有多处出现毛刺,见图 37.8-48。各部位毛刺的产生及其去除方法简单介绍如下:外环槽口部毛刺为车削或磨削加工后的毛刺,在车削后用锉刀修锉  $R$  倒圆角或外圆磨削加工后由钳工在回转夹具上用什锦锉去毛刺;侧边孔处毛刺是钻孔后的毛刺,由钳工用刮刀或在旋转机械上装球面铣刀去除;电火花方孔的毛刺去除比较困难,要保证锐边无毛刺,先用研磨条修研方孔,保证共面度及粗糙度,然后研磨内孔,将翻到内孔的毛刺去除,有时要反复多次,因为毛刺会在研磨过程中翻来复去,最后用 30~50 倍显微镜观察,直到全部去除毛刺,又保证锐边 ( $R0.005\text{mm}$ ) 为止;对内环槽阀套,电火花磨削后的毛刺多为电渣瘤状,粘在内环槽的侧壁及底面,工具不容

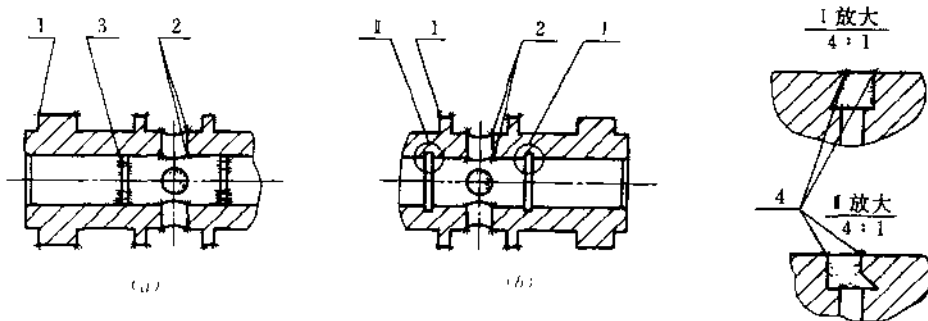


图 37.8-48 阀套上毛刺的分布

(a)方孔阀套;(b)内环槽阀套

1-车削加工后的毛刺;2-钳工钻孔后的毛刺;3-电火花穿孔后的毛刺;4-电火花磨削后的毛刺

易触及到,工作中对液压偶件又是很大的隐患。其去除方法有:一种是电火花内圆磨削内环槽时电极进到槽底,将两侧面及底部的电渣瘤去除,也可以用成形车刀配上电子对刀装置刮掉电渣瘤;另外还可用尼龙刷去除阀套内孔与侧边孔相交处的毛刺,也可去除阀套

节流工作边处的显微毛刺,只要选择好尼龙刷中磨料球的磨料粒度、尼龙刷压缩量及往复次数,可以收到很好的效果,但在尼龙刷去毛刺后要精研为孔,以保证锐边无毛刺。图 37.8-49 是尼龙刷去毛刺示意图。

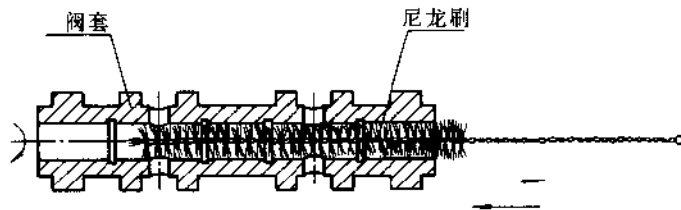


图 37.8-49 尼龙刷去毛刺示意图

在阀套加工后采用磨粒流去毛刺是比较理想的方法。它可以同时去除内孔、交叉孔、侧边孔及方孔或内环槽等处毛刺,只要磨粒能流到之处都能将毛刺去除,效率高,不破坏已加工表面粗糙度,但要保持锐边比较困难,必须设计专用夹具。另外阀套在半精加工后也可采用电化去毛刺。

度为  $R_a0.2\mu\text{m}$ ,圆柱度为  $0.0005\text{mm}$ 。孔  $d$  和喷嘴体成过盈配合,过盈量为  $0.005\sim0.007\text{mm}$ ,表面粗糙度为  $R_a0.4\mu\text{m}$ ,圆柱度为  $0.0005\text{mm}$ ,与上端面的平行度为  $0.03\text{mm}$ 。此外还有油滤孔,其两端堵头多采用密封圈密封结构。图中  $d_1$ 、 $d_2$  孔的精度比前述两孔低,表面粗糙度为  $R_a1.6\mu\text{m}$ ,精度等级大多为  $IT7$  至  $IT9$ ,长径比在  $8\sim12$  之间。壳体中有较多的油路连接小孔,其直径一般为  $\phi 1\sim1.5\text{mm}$ ,并多为斜孔,长径比在  $30$  以内。底面的安装孔及通油孔大部分已标准化,其中通油孔的端面密封槽,有内墙结构形式和无

37.8.2 伺服阀壳体加工工艺

(1) 伺服阀壳体的结构特点及技术要求

伺服阀壳体常见结构如图 37.8-50 所示。孔  $D$  与阀套配合,配合间隙为  $0.001\sim0.003\text{mm}$ ,表面粗糙

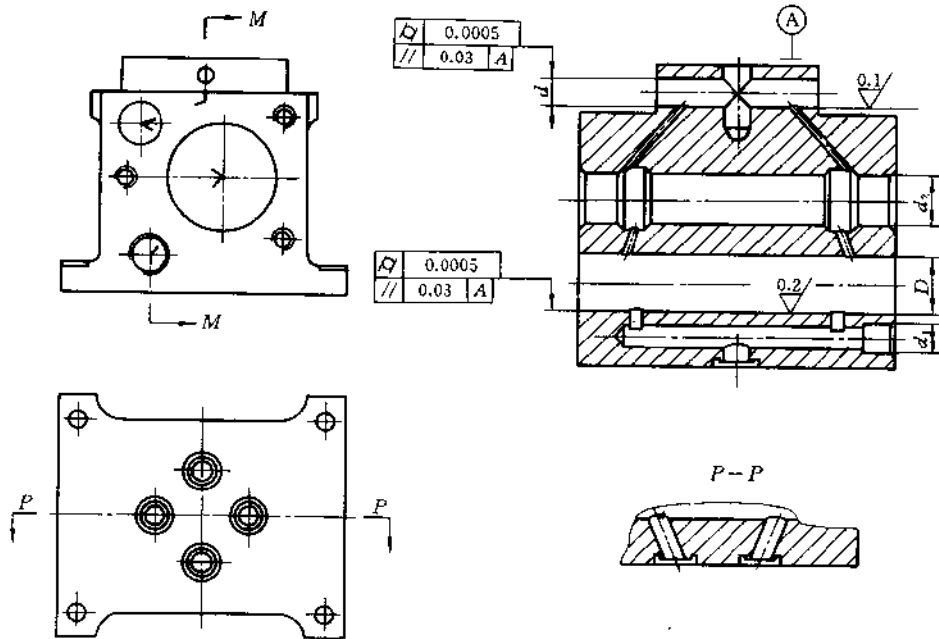


图 37.8-50 壳体的结构与技术要求

内墙结构形式,尺寸精度要求一般为7级到10级,粗糙度为 $R_a1.6\mu\text{m}$ 。

为了便于加工,也可以把壳体结构做成组合式的,即分成几个部分加工,然后再组合成一体。这种结构加工方便,也易于保证加工质量,但阀体的强度、刚性和密封性较差。

#### (2) 壳体使用的材料

壳体使用的材料种类较多,一般多采用不锈钢

1Cr18Ni9Ti、9Cr18、Cr17Ni2 制造。也有用铝合金LD10、ZL105 制造的,近年来逐步采用沉淀硬化不锈钢0Cr17Ni4Cu4Nb 制造。这种钢具有一般不锈钢的抗腐蚀特性,同时又可通过沉淀硬化提高其强度,是一种高强度不锈钢,其抗腐蚀性近似于奥氏体不锈钢1Cr18Ni9Ti,抗拉强度优于30CrMnSi。

#### (3) 壳体加工工艺

伺服阀壳体主要加工工序见表37.8-10。

表 37.8-10 壳体主要加工工序

序号	工序名称	工序内容及加工要求
5	调质处理	淬火及高温回火硬度 HRC25~30,消除材料应力,改善材料工艺性能
10	加工外形	粗铣外形,除定位基准面外,外形基本加工完成,一般尺寸精度为0.05mm,粗糙度为 $R_a3.2\mu\text{m}$ ,可采用数控铣床,加工中心等高效率设备和组合铣刀,整体硬质合金专用铣刀等高效率刀具
15	修正基准	平磨修整外形基准,外形六个面之间的平行度。垂直度控制在0.01mm以内,粗糙度为 $R_a1.6\mu\text{m}$
20	加工配套孔	在车床上使用可调弯板,组合夹具或专用夹具,钻、铰、镗三个配套孔(如图37.8-50中 $D$ 、 $d_1$ 、 $d_2$ )尺寸精度为H7,与定位基准的平行度为0.02mm,粗糙度为 $R_a1.6\mu\text{m}$
25	加工喷嘴体孔	在坐标镗床上加工喷嘴体孔(如图37.8-50中 $d$ ,一般为 $\Phi 3\text{H}7$ )尺寸精度为H7,与定位基准的平行度为0.02mm,粗糙度为 $R_a1.6\mu\text{m}$ ,采用专用螺旋铰刀加工
30	电火花加工	加工各非圆形通油孔和不便于机械加工的通油孔,控制位置精度在0.05mm以内
35	加工通油孔	在钻床或工具铣床上加工各油路小孔,去除加工后的毛刺,并加工各螺纹孔,安装孔,并刻号等
40	热处理	真空淬火,硬度为 $\text{HRC}\geq 38(\text{Cr}17\text{Ni}2)$
45	珩磨	珩磨配套孔,圆柱度为0.001mm,粗糙度为 $R_a0.2\mu\text{m}$ ,尺寸一致性在0.01mm以内
50	研磨	研磨配套孔,圆柱度为0.0005mm,粗糙度为 $R_a0.1\mu\text{m}$ ,与阀套的配合间隙为0.001~0.003mm与喷嘴体的配合过盈为0.005~0.007mm

#### (4) 壳体关键工序加工方法分析

##### A. 粗加工配套孔的几种方法

##### (A) 在车床上钻孔

壳体上的配合孔较多且尺寸都不相等,因此,夹具的设计必须具有精确的定位以及装夹方便的特点。图37.8-51是一种车床钻孔夹具。

在弯板上加工出与壳体端面相对应的几个定位孔。各定位孔的孔径一致。各孔的中心坐标尺寸分别与壳体端面需要加工的各孔的中心坐标尺寸相同。花盘紧固在车床主轴上,定位心轴则装在车床主轴的锥孔中。当工件定位固定在弯板上后,将弯板的一个定位孔套在定位心轴上,再把弯板固定在花盘上进行钻孔,待一批工件的同一位置孔钻完后,从花盘上卸下弯板,工件不松动,换套上另一定位孔于定位心轴,把弯

板固定在花盘上,钻另一位置的孔,依此类推,完成壳体配套孔的粗加工。

一般选用这种方法进行孔的钻、扩,留足够余量,然后采用图37.8-52所示的装夹方法进行镗孔。

##### (B) 车床镗孔

卸下车床上的小刀架,把夹具固定在车床拖板上,并在夹具上按壳体的尺寸调好基准面位置,随后固定两定位块于夹具体上,工件装在两定位块之间,定位销则限制工件的轴向窜动,工件各孔中心线与车床主轴中心线的垂直方向距离用各专用的垫块垫入调整,最后用压板和紧固螺钉压紧工件,刀具安装在车床主轴上进行镗孔,当镗完一批工件的同一位置孔后,更换相应的垫块并相应调整拖板距离,进行第二位置孔的镗削。

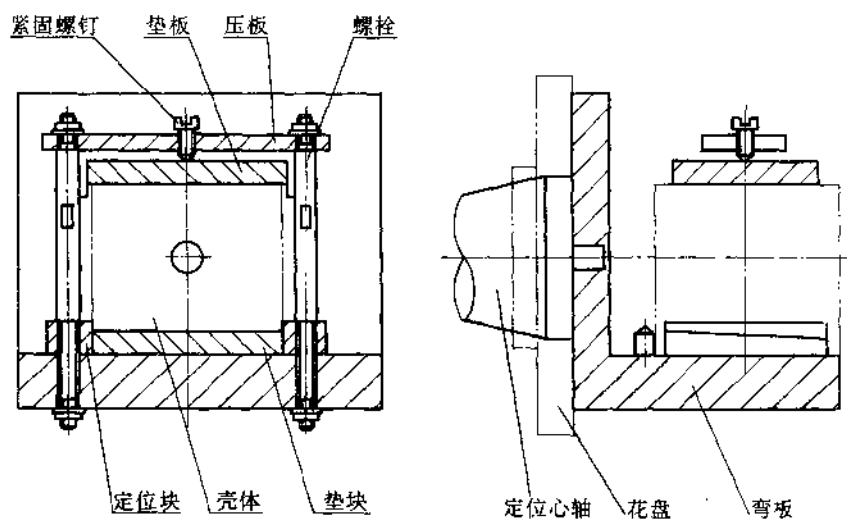


图 37.8-51 车床钻孔夹具结构

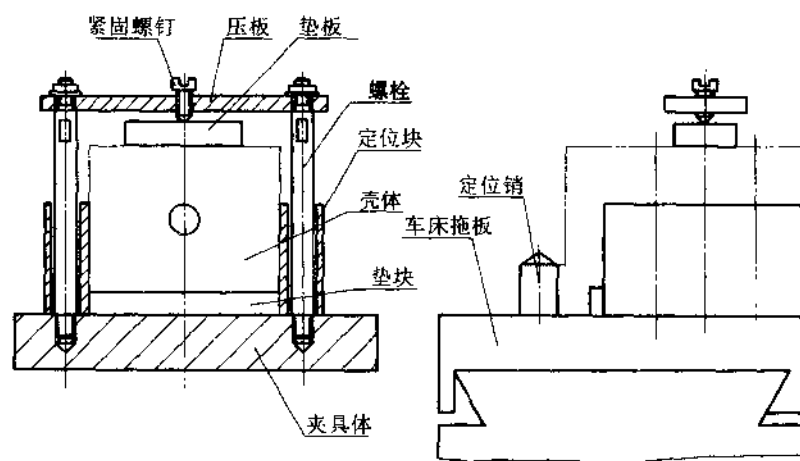


图 37.8-52 车床镗孔夹具结构

关于镗孔刀具,对于尺寸较大的孔可用一般的镗孔刀具;对于直径在  $\phi 2.5\text{mm}$  以下的孔可用电火花穿孔。对于不同孔径的孔,镗削加工方法及其使用的刀具各有不同。

壳体上较大的孔径约为  $\phi 15\text{mm}$ 。镗刀为双刃镗刀,刀杆穿入工件预制孔,一端用装在车床主轴上的弹簧夹头夹紧,另一端用尾架顶尖顶住,如图 37.8-53 所示。

当刀具旋转,拖板连同固定其上的镗孔夹具和工件一起移动,实现走刀进行镗削,镗孔所得到的孔的锥度、不直度均在  $0.004\text{mm}$  之内,表面粗糙度为  $R_a 1.0\ \mu\text{m}$ 。

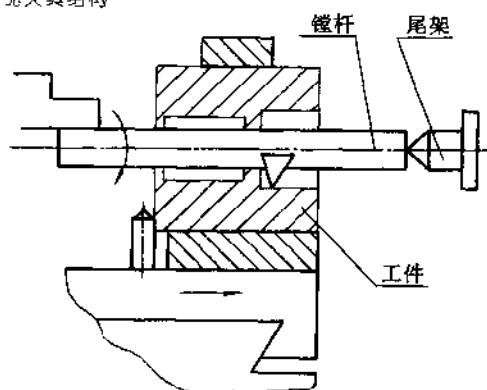


图 37.3-53 镗孔示意图

切削用量和其他参数为：

机床转速	300~380r/min
走刀量	0.06mm/r
切削深度	0.1mm
冷却液	10 <sup>#</sup> 机油
刀具的主要角度	$\gamma = 10^\circ \sim 15^\circ, \alpha = 6^\circ \sim 8^\circ$
刀具材料	V3N

对于直径为  $\phi 6\text{mm}$  左右的孔,如装配油滤的孔、装堵塞的孔,这些孔由于孔的深径比较大(通常在 8~12 之间),孔径又较小,故不宜采用镗杆镗孔方法,可用一钻头改成镗刀进行拉镗加工,见图 37.8-54 和图 37.8-55。其加工方法与镗削大孔类似。对于直径  $\phi 3\text{mm}$  以下的小孔,用这种拉镗的办法效果较差。可采用上述同一夹具,从两端钻孔,然后留足够的余量,用电火花穿孔加工后,经珩磨、研磨到设计的精度要求。

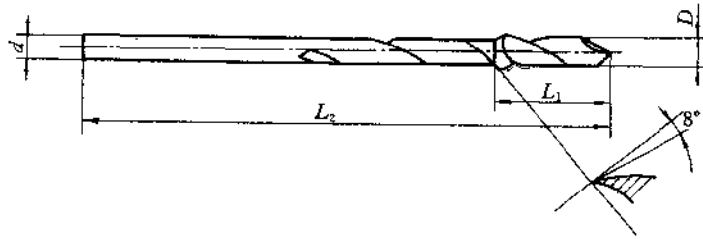


图 37.8-54 小孔拉镗刀

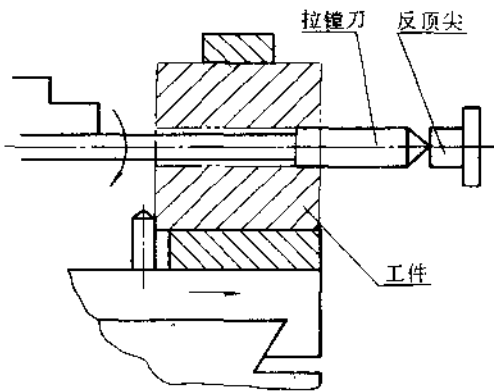


图 37.8-55 小孔拉镗示意图

(C) 枪钻钻孔

枪钻加工精度高、直线性好、效率高,是近年采用较多的新工艺。图 37.8-56 是在枪钻机床上加工壳

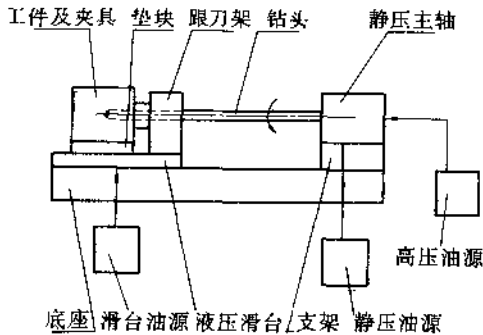


图 37.8-56 枪钻机床加工壳体示意图

体的示意图。工件及夹具被安装在液压滑台上,由垫块调整工件被加工孔的中心高度,使其与枪钻钻头的中心高度一致。高压油源输出的高压油进入钻头内,将加工中的切屑排出。为了提高加工精度,主轴一般采用静压轴承,而且多采用无级变速,使钻头能高速平稳旋转。进给由液压滑台控制,实现均匀进给。采用此方法加工的壳体孔,一般孔的直线度为 0.002mm,表面粗糙度为  $R_a 0.8\mu\text{m}$ 。必须指出,枪钻主要用于钻实体孔,否则起不到高压油排屑的作用。

B. 精加工配套孔的几种方法

壳体经热处理后进行精加工。配套孔的精加工主要是内圆磨、珩磨、研磨。

(A) 磨削加工

磨削过程中所使用的夹具和车床镗孔夹具(图 37.8-52)类似。常用的砂轮为 60~80 粒度中软的微晶刚玉。砂轮的转速为 1800r/min。工件的转速为 300r/min。每次的切削深度为 0.01~0.015mm。但对小直径内孔,砂轮磨损快,因而形状精度较差且粗糙度值较大。

(B) 珩磨和研磨

珩磨或研磨前零件要进行一次稳定化处理。采用研磨时,使用的研具与阀套孔的研具类似,研磨剂为 W10 氧化铝和 W5 氧化铬,分粗、精研磨两次加工。

孔径尺寸和直线度的计量,与阀套内孔测量相同。

C. 油孔加工

伺服阀壳体上的油路孔孔径较小,且多为斜孔,其

中有的是三维空间角度,加工、安装、定位都很困难。由于孔直径小而深,加工中会使刀具折断,钻孔易引偏,经常出现孔加工不到位现象。为此,在加工中可采取以下几个措施加工以解决。

- 每批零件从加工开始附加1~2件有机玻璃件,其尺寸大小、外形结构和壳体一样,随同壳体零件一起加工。在钻孔前先有机玻璃定位试钻孔,检查所使用夹具的准确性。如发现问题,予以纠正,然后再钻正式油孔。避免钻油孔偏差而造成废品。

- 严格保证钻头的刃磨质量,两切削刃要对称。当钻头用钝后,应及时刃磨或更换,不可勉强钻削,以防钻头折断在孔内。若出现这种现象,可用电火花机床将断在孔内的钻头打掉。

- 加工面与刀具呈倾斜状态时,在刀具刚刚接触工作表面时就产生偏移,造成刀具弯曲而折断。所以当尺寸位置对正后,先用立铣刀铣出一小平面,用中心钻钻中心孔,然后再用钻头钻孔。

#### (5) 壳体加工中应注意的几个问题

##### A. 清洗

在伺服阀壳体加工中必须注意清洗,尤其是研磨工序后的清洗。壳体上油路斜孔既小,又多数交叉,若进入小孔中的研磨剂不及时清洗掉,待研磨剂固结后很难清除,即使装配前再清洗,也往往不易彻底清除,

这样就会在产品调试中造成油路污染。所以研磨后必须按清洗要求及时进行清洗。

主要的清洗方法有:热煤油浸泡清洗、超声波清洗等。

##### B. 去毛刺

壳体上各配套孔及斜孔加工后,毛刺较多,清除内部毛刺、锐边,是壳体加工中一个重要环节。毛刺、锐边若不能很好清除,一方面在装配时容易损伤密封圈和划伤其他零件的工作表面,另一方面毛刺若带到系统中就会破坏整个系统的正常工作,危害很大。要清除毛刺首先要看清毛刺,用光纤纤维内窥镜,将小灯泡伸到小孔的内部观察毛刺和锐边情况,然后用各种特制的工具仔细去除。工具的尺寸和形状根据壳体结构情况制造。去毛刺后再用超声波进行清洗。

#### 37.8.3 衔铁组件加工工艺

力矩马达是电液伺服阀中的电气—机械转换部分,其结构原理见图37.8-57。永久磁铁产生固定磁场。输入的电控信号通过控制线圈产生控制磁场。这两个磁场相互作用,产生与电控信号成比例、并能反应电控信号极性的力矩,使衔铁转动,从而将电控信号转换为机械运动。力矩马达由永久磁铁、上导磁体、下导磁体、控制线圈及衔铁组件等组成,其中衔铁组件是关键部件。本节介绍衔铁组件的加工工艺。

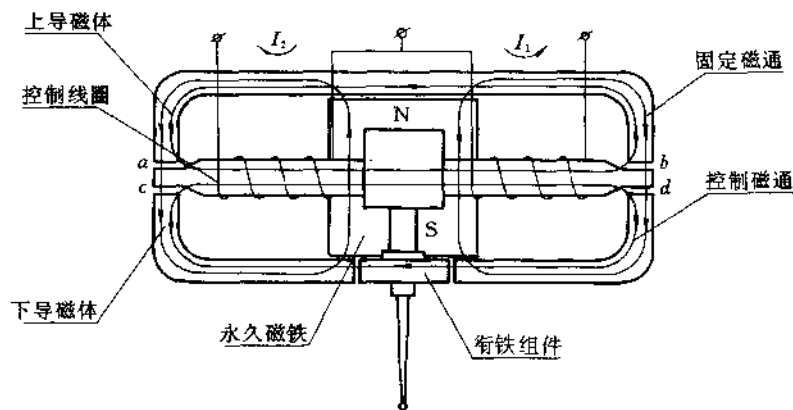


图 37.8-57 力矩马达结构原理图

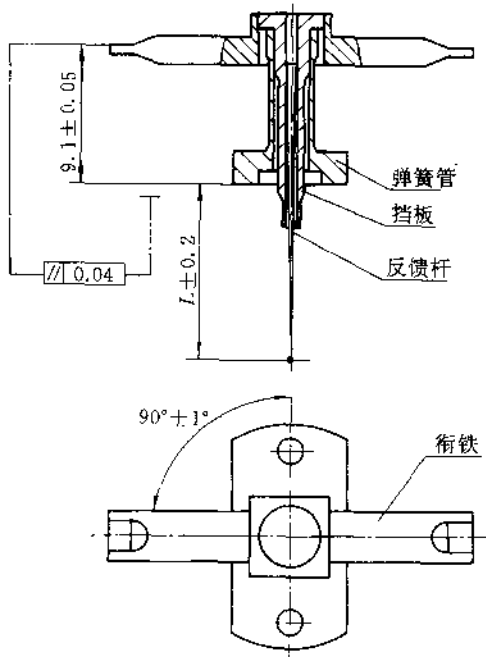
#### (1) 衔铁组件的结构特点及技术要求

衔铁组件由衔铁、弹簧管、挡板和反馈杆组成,见图37.8-58。反馈杆是一根细长锥形杆,具有特定刚度,顶端部小球与阀芯中槽无间隙配合;弹簧管是一个薄壁弹性件,也具有特定刚度,除支撑衔铁组件外,还对电液伺服阀的液压部分和电气部分起分隔密封作

用;衔铁两臂端部与上下导磁体形成四个工作气隙 a、b、c、d。衔铁转动时带动挡板在两喷嘴之间动作,改变喷嘴距离,从而控制滑阀两腔的液体压力。

衔铁组件的加工工艺及组合方式,由于各生产厂家的设备情况和加工特点不同而各异。这些零件有细长杆、小深孔、薄壁件等特点。它们除要求高的尺寸精





度、形状位置精度和低的表面粗糙度之外,相互之间还有很严的配合要求。有些零件还需测量刚度和磁性能,而且压配组合也严格,特别是弹簧管要求更高,在薄壁部分,不允许有一点划伤。衔铁组件的组合可采用过盈配合,也可采用过渡配合,然后焊接。组件组合后弹簧管大端面对衔铁两臂的平行度在0.04mm以内,两中心线夹角为 $90^\circ \pm 1'$ ,而且组合后不允许校正。加工和组合操作都存在一定难度,稍有不慎就会出现废品。

(2) 衔铁加工工艺

常用的衔铁结构见图 37.8-59。平臂式衔铁结构工艺性好,加工容易;斜臂式衔铁结构刚性好,但加工比较困难。两种结构尺寸、精度要求基本相同。目前生产中平臂式衔铁结构形式采用得较多。衔铁中孔 B 与挡板外径压配合,过盈量为 0.004~0.008mm,也可采用 0~0.003mm 的配合间隙,组合定位后进行焊接固定。组合后要保证不渗油并具有一定的连接强度。衔铁中孔的形状精度和尺寸精度要求都较高。两端扁部对中孔要垂直对称。

图 37.8-58 衔铁组件

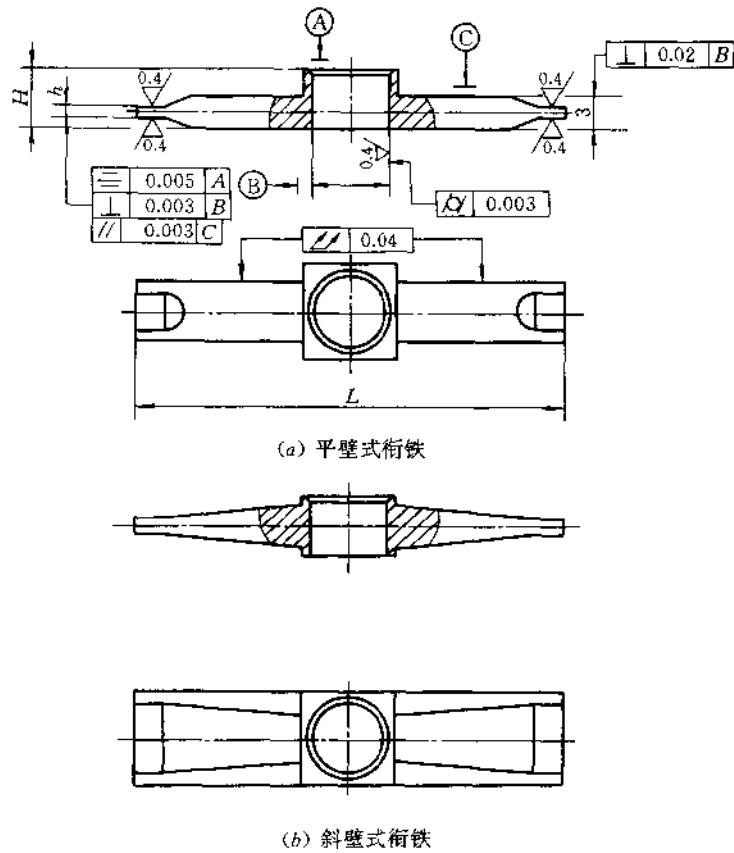


图 37.8-59 两种衔铁的结构简图

衔铁采用的材料为1J50铁镍软磁合金。材料软、强度低,加工中极易划伤和变形,因此,精加工前必须进行人工时效处理消除加工应力,减少精加工后的变形。精加工需反复多次进行外圆磨、平面磨、研磨,最后达到图纸要求。衔铁除精度要求高之外,对磁性能也有严格的要求。加工时必须在同一批次炉号的材料中取测磁用的样件,然后与加工好的同批零件同炉进行热处理。热处理需在氮气保护炉中或真空炉中进行光亮退火,而且退火后零件不得跌落和撞击,否则不能

满足使用要求。这些结构特点及技术要求使衔铁的加工工艺比较困难。

平臂式衔铁典型加工工艺过程见图37.8-60。衔铁加工除采用板材加工外,还可以使用棒材加工。在解决磁性能测量技术的基础上,采用棒材加工,对衔铁生产效率将有很大的提高。衔铁中孔可采用研磨,也可采用内圆磨;两端扁部的精加工可采用外圆磨(见图37.8-61)或研磨,总之加工方法多种多样,各具特点。

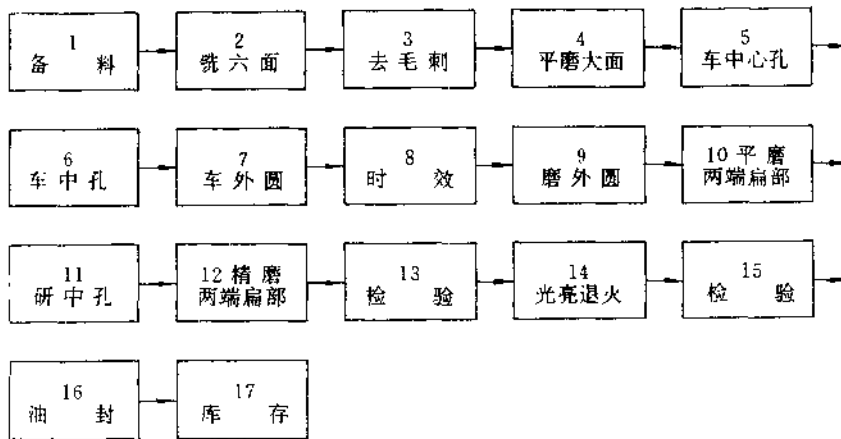


图 37.8-60 衔铁加工工艺过程

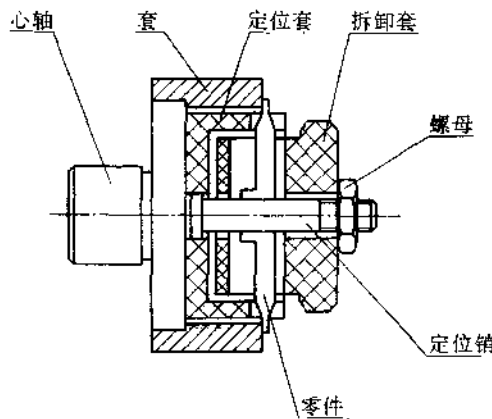


图 37.8-61 精磨衔铁内圆部

### (3) 挡板加工工艺

常见的挡板结构及技术要求见图37.8-62。内孔 $\phi 1.5\text{mm}$ ,长16.3mm,深径比大于10,属于深孔。它与反馈杆过盈配合。过盈量按组合方式不同为0.003~0.005mm或0.005~0.009mm;外圆 $D$ 与弹

簧管内孔为过盈配合,过盈量在0.004~0.006mm及0.014~0.018mm; $\phi 4\text{mm}$ 外圆与衔铁中孔选配,保证间隙0~0.003mm。

挡板使用材料多为弹性合金3J1,属于弥散强化高弹性合金。合金经固熔处理后,有良好的塑性,机械

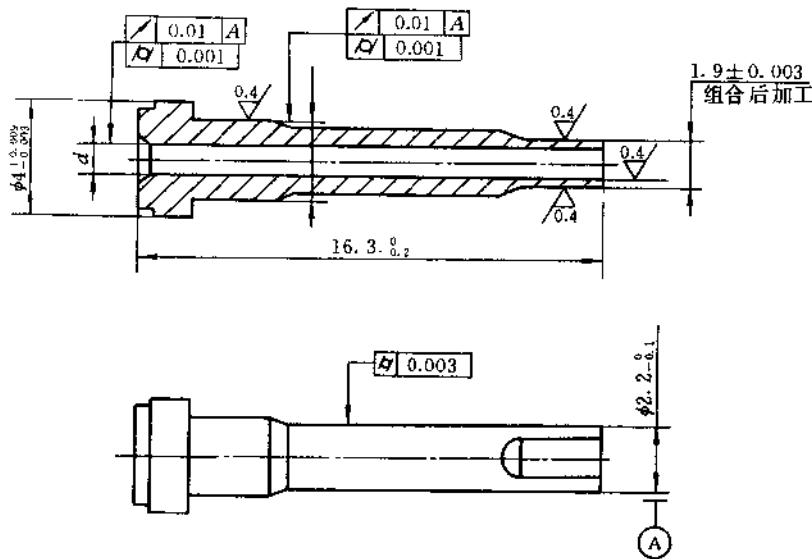


图 37.8-62 挡板

加工工艺性好。随后进行时效处理,可使合金强化。深。为保证与反馈杆压配合后的密封性,要求粗糙度为防止氧化,时效处理应在真空炉中进行。低、形状精度高。挡板主要加工工序见表 37.8-11。

挡板加工中关键工序是内孔的加工。挡板孔小而

表 37.8-11 挡板主要加工工序

工序	工序名称	工序内容及加工要求
5	热处理	零件加工前需经固溶处理
10	车外圆、钻铰内孔	因孔小而深,钻孔时易产生弯曲引偏,因此取毛坯直径 $\phi 6 \sim 7\text{mm}$ ,先钻铰内孔留余量 $0.25 \sim 0.3\text{mm}$ ;然后再以孔定位加工外圆,留余量 $0.2 \sim 0.25\text{mm}$ ,保证跳动量 $\geq 0.03\text{mm}$
15	热处理	在真空炉中时效处理,硬度 $\text{HRC} \geq 38$ ,外圆对孔跳动量 $\geq 0.1\text{mm}$ 。强化后在 $-70 \sim -80^\circ\text{C}$ 冷处理 2h,然后在 $160^\circ\text{C}$ 时效 20h,稳定组织,消除材料组织应力
20	精磨外圆	磨前研内孔,保证高的尺寸精度和形状精度,按孔实际尺寸配心轴精磨外圆表面,保证圆柱度 $0.001\text{mm}$ ,粗糙度 $R_a 0.4\mu\text{m}$ ,与弹簧管内孔的过盈量为 $0.014 \sim 0.018\text{mm}$
25	电火花磨内孔	以外圆定位磨内孔。圆柱度为 $0.001\text{mm}$ ,粗糙度为 $R_a 0.4\mu\text{m}$ ,对外圆同轴度为 $0.003\text{mm}$

#### (4) 衔挡组件精加工工艺

衔挡组件由衔铁和挡板组合而成,见图 37.8-63。组合前选配,保证  $\phi 4\text{mm}$  配合面的配合间隙  $0 \sim 0.003\text{mm}$ 。组合后可采用钎焊、激光焊或电子束焊等焊接方法,焊缝应均匀连续,保证尺寸  $1.4\text{mm}$ ,两端扁部对 A 面垂直度为  $0.01\text{mm}$ 。每批抽两件加载  $686\text{N}$ ,焊缝不得滑移。

组合后加工尺寸为  $9 \pm 0.003\text{mm}$ ,保证两平面对 A 面对称度  $0.01\text{mm}$ ,两面对 A 面平行度  $0.005\text{mm}$ ,对 B 面垂直度  $0.03\text{mm}$ 。加工时必须采用专用夹具在

平面磨床上加工,见图 37.8-64。

#### (5) 反馈杆加工工艺

反馈杆是电液伺服阀力矩马达部分的力反馈元件。它的结构及技术要求见图 37.8-65。 $\phi 1.5\text{mm}$  外圆与挡板内孔压合,选配配合尺寸,保证过盈量  $0.005 \sim 0.009\text{mm}$ ,球  $S \phi 0.8\text{mm}$  在尺寸  $0.2\text{mm}$  范围内与阀芯中槽配研,保证间隙  $0 \sim 0.0015\text{mm}$ ;材料为 3J1,热处理  $\text{HRC} \geq 38$ ;球  $S \phi 0.8\text{mm}$  氮化,  $\text{HV} > 700$ ;刚度要求;当  $P = 0.78\text{N}$  时,小球位移量  $535 \sim 555\mu\text{m}$ 。其主要加工工序见表 37.8-12。

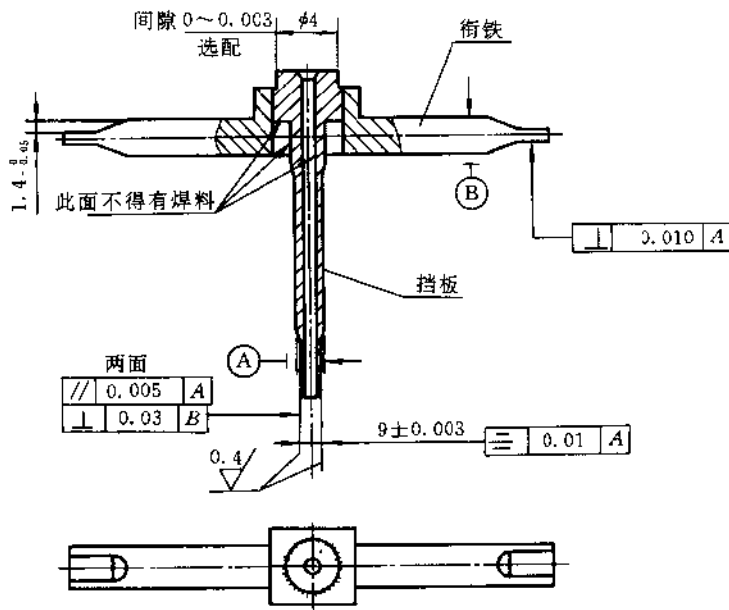


图 37.8-63 衔铁挡板组件

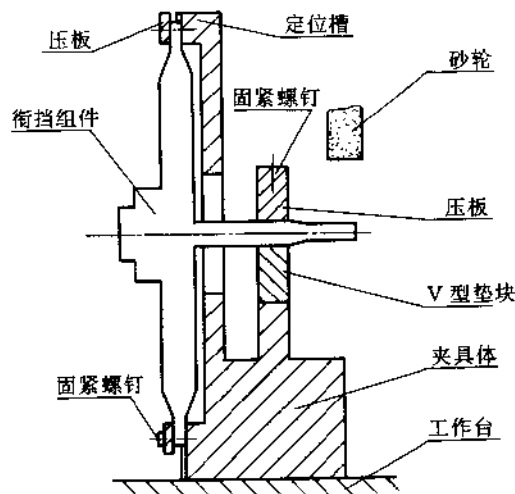


图 37.8-64 加丁衔铁挡板组件小平面示意图

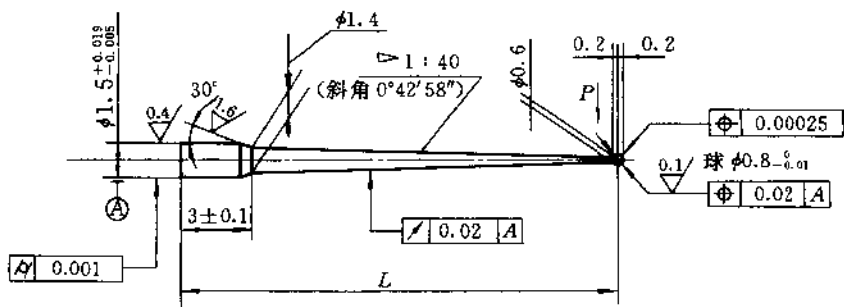
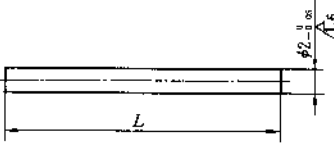
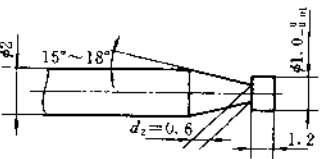
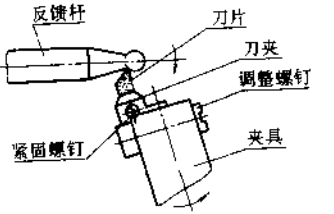
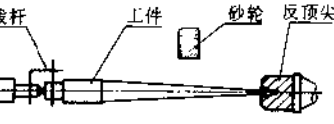
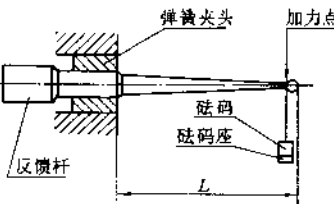
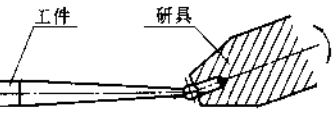


图 37.8-65

表 37.8-12 反馈杆主要加工工序

工序号	工序名称	加工简图	工序内容及加工要求
5	热处理		固溶处理
10	加工外圆		车削或无心磨加工, 控制弯曲变形 $\geq 0.05\text{mm}$
15	车削		车出小圆柱面及一段锥面, 为车球作准备, 球与锥体的连接处直径 $d_2$ 应基本车成, 最多留 $0.01 \sim 0.02\text{mm}$ 余量, 否则磨锥体接刀困难; 另一端车制中心孔
20	车球面		见表 37.8-13
25	热处理		在真空炉中时效处理, $\text{HRC} \geq 38$ , 球面对轴线跳动量 $\geq 0.10\text{mm}$
35	氮化		氮化深度 $0.05 \sim 0.1\text{mm}$ , $\text{HV} > 700$ , 变形量 $\geq 0.05\text{mm}$
45	精磨外圆及端面		外圆留 $0.02 \sim 0.04\text{mm}$ 研量, 锥面以测刚度为准
50	测刚度		用读数显微镜测小球最大直径处的位移量, 其变化应在图纸要求的范围内, 未达到时应继续磨削, 直到合格为止。大批量生产也可用精确控制尺寸的办法来达到刚度要求
55	稳定化		高低温稳定化处理消除应力, 减少变形
60	配研球面		以挡板孔尺寸配研 $\phi 1.5\text{mm}$ 外圆, 保证过盈量 $0.005 \sim 0.009\text{mm}$ 。以阀芯中槽尺寸配研球面, 保证间隙 $0 \sim 0.0015\text{mm}$

A. 反馈杆小球的加工方法分析

目前反馈杆小球的加工方法有很多种, 见表 37.8-

反馈杆 S  $\phi 0.8\text{mm}$  小球的加工是反馈杆加工的关键工序, 它直接影响到反馈杆的加工精度及生产效率。

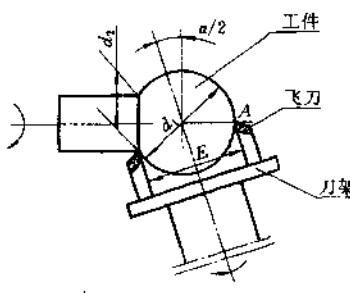
13.

键工序, 它直接影响到反馈杆的加工精度及生产效率。

表 37.8-13 反馈杆小球的几种主要加工方法

加工方法	加工简图	加工精度及技术分析
焊接法		<p>用标准钢球与锥杆焊接在一起, 国外多采用这种方法, 选用尺寸一致的标准钢球, 圆度 <math>0.00025\text{mm}</math>, 粗糙度 <math>R_a 0.1\mu\text{m}</math>, 用真空钎焊或激光焊接, 加工效率高, 但焊接工艺不易掌握, 国内很少采用</p>
成形刀具车球面		<p>成形刀具车球, 加工简单易行, 刀具制造容易, 在已磨制好的外圆车刀上, 用电火花先打小孔 <math>\phi 0.8\text{mm}</math>, 然后用钢丝研光, 用线切割切割成圆弧刀具, 再修研前、后刀面使刃口锋利, 加工时用工具显微镜观察, 因切削力大, 加工时易在球根部断掉, 加工精度、粗糙度较差, 仅适于单件小批量生产</p>
筒形刀具车削球面		<p>筒形刀具加工球面也比较简单, 刀具用合金工具钢制成, 其内孔直径 <math>D = 0.5 \sqrt{2d_1(d_1 + \sqrt{d_1^2 - d_2^2})}</math>, 淬火硬度为 HRC65 以上, 研内孔不圆度在 <math>0.001\text{mm}</math> 以内, 刃磨 <math>15^\circ \sim 20^\circ</math> 斜角使刃口锋利, 加工时用手或机床控制, 使筒形刀沿球体水平方向摆动进行切削, 摆幅以根部直径为限。加工精度较高, 不圆度可达 <math>0.003 \sim 0.005\text{mm}</math>, 粗糙度为 <math>R_a 2.0 \sim 1.0\mu\text{m}</math>, 该方法简单, 适于小批量生产</p>
光学曲线磨削加工球面		<p>在投影仪上用光学曲线磨削加工球面, 用 50 倍放大镜检查。它是利用砂轮将球面一点点磨出, 实际磨出近似球面的多棱形, 而且经常在球端部出现一个凸台给以后研磨带来困难。该方法加工周期长, 一般 <math>10 \sim 20\text{min}</math> 磨一件, 效率低, 经济性不好, 不适于大批量生产</p>

续表

加工方法	加工简图	加工精度及技术分析
旋风车削球面		<p>旋风车削球面,即用两把相同的飞刀(也可用一把),对称装在旋转的刀架(刀架装在电机主轴上,电机用夹具装在车床小刀架上,两飞刀之间的距离E和刀具倾斜角度<math>\alpha</math>的计算公式为<math>E = 0.5 \sqrt{2d_1(d_1 + \sqrt{d_1^2 - d_2^2})} \operatorname{tga}/2 = d_2/(d_1 + \sqrt{d_1^2 - d_2^2})</math>; <math>\alpha = \arcsin \frac{d_2}{d_1}</math>; <math>d_1</math>—小球直径(mm), <math>d_2</math>—小球根部直径(mm),也可利用瑞士肖布林车床磨头主轴加装一个或一对飞刀来加工球面,旋风车削球面时,刀具与车床的调整很重要,飞刀中心要和工件中心等高,对刀要精确,两刀尖之间距离要在100倍或50倍投影仪上检查,但完全等高也很困难,可把刀具中心调整到低于零件中心0.01~0.02mm。刀具高速旋转<math>n &gt; 1500 \text{r/min}</math>,工件低速<math>n = 45 \sim 50 \text{r/min}</math>工件转速越低,粗糙度越低。这种方法加工精度较高,球的圆度0.002mm,粗糙度<math>R_{\text{a}} 1.25 \mu\text{m}</math>,车削后留余量0.03~0.04mm,一分钟加工一件,效率高,适于大批量生产。</p>

### B. 反馈杆小球的氮化及配研

反馈杆小球部分的氮化常采用软氮化处理,提高其表面的硬度,氮化层深度一般为0.05~0.08mm,硬度 $\text{HV} > 700$ ,使小球在工作中具有较高的耐磨、抗腐、抗咬合及抗疲劳等性能。

氮化时材料的基本组织不会发生相变,而且表层组织应力和热应力都非常小,为进一步修正氮化后的变形量,在氮化后加一道精磨工序。反馈杆只有小球部分进行氮化处理,其它部分留有足够的余量可去除掉,不用采取保护措施。

小球的软氮化处理过程,就是将金属零件在Fe-N系合金的共析温度下,即在540~560℃进行低温碳氮共渗的过程。软氮化时金属表面首先被碳饱和,并在 $\alpha$ -Fe中生成超显微的碳化物。这种碳化物可作为渗氮的媒介而还原氮化。通常采用碳氮原子的有机化合物作为软氮化渗剂。软氮化使零件表面获得结构致密的碳氮化合物层。常用的渗剂有:固态尿素,液态的甲酰胺及三乙醇胺,气态的有氨气加碳氮化合物气体,如甲烷、丙烷、煤气等。

反馈杆小球的配研是将小球与阀芯的中槽配合,属于无间隙滑动配合性质。一般要求保证间隙0~0.0015mm。配合的松紧程度不适当都会影响伺服阀的特性。这种配合不易测量准确,一般可凭经验查其

配合情况,并与实测数据相结合。由于各种型号的伺服阀的阀芯质量及结构不同,对于很小的阀芯,当反馈杆小球插入阀芯中槽内,提起反馈杆时可将阀芯提起一定高度;对于较大的阀芯,只能拖着走一段距离,而对于更大一些的阀芯,小球插入中槽后只摆几下就会脱出。生产中可不断总结经验,找出更合理的配合间隙,研配好的反馈杆及编号卡片一同装入包装袋中。

### (6) 弹簧管加工工艺

弹簧管结构见图37.8-66。内孔 $d$ 与挡板外圆过盈配合,过盈量一般为0.014~0.018mm。配合表面的圆度、圆柱度均在0.001mm以内。配合部位要求严格的密封,在额定压力下无渗、漏油现象。弹簧管的关键部位是薄壁部分,通常是加工内孔 $d$ 以后加工外圆 $D$ ,以测量刚度值(一般981~1049N·cm/rad)决定尺寸 $D$ , $D = d + 2\delta$ , $d$ 为 $\phi 2.4\text{H7}$ ,薄壁厚度尺寸 $\delta = 0.06\text{mm}$ ,要求厚度均匀,内外表面不能有任何的轻微划伤和刀痕。每批抽出一件进行液压试验,在42MPa液压作用下三分钟不允许破裂。外表面与薄壁两端连接的过渡圆角 $R0.5 \pm 0.1\text{mm}$ 应光滑正确。

弹簧管的材料,目前各厂家多采用铍青铜。它是铜基弹性合金中综合性能最好的一种,属于热处理强化合金。它必须经过适当的热处理(淬火+时效),才能发挥良好性能。弹簧管的主要加工工艺见表37.8-14。

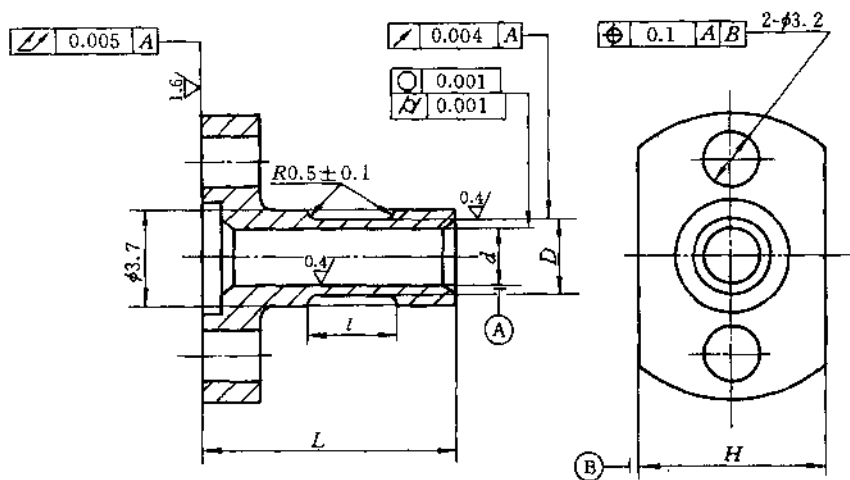


图 37.8-66 弹簧管

表 37.8-14 弹簧管主要加工工艺

工序	工序名称	工序内容及加工要求
5	热处理(淬火)	铍青铜冷拉棒材在加工前要进行固溶处理(淬火),把合金加热到 $780 \sim 800^{\circ}\text{C}$ ,保温 $15 \sim 30\text{min}$ ,快速冷却,得到不稳定的过饱和固溶体
10	车削加工	用钻、扩、铰加工弹簧管中孔,留研磨余量 $0.05 \sim 0.06\text{mm}$ ,车外圆表面留磨削余量 $0.2 \sim 0.25\text{mm}$ ,粗糙度 $R_a 1.6\mu\text{m}$ ,内外圆跳动量在 $0.01\text{mm}$ 以内
15	热处理(时效)	时效处理是将淬火得到的固溶体在时效温度下进行脱溶分解,析出强化相,使合金强化性能提高,在真空炉中进行时效,温度 $310 \sim 320^{\circ}\text{C}$ 保温 $2\text{h}$ ,用试件测硬度(HRC38~42),只允许有轻微氧化色
20	研磨内孔	用粒度 W10~W20 的氧化铝粗研内孔
25	粗磨处理	以内孔配心轴粗磨薄壁部分外圆与 R 处均匀转接,留 $0.05 \sim 0.1\text{mm}$ 精磨余量
30	稳定化处理	$-70 \sim -80^{\circ}\text{C}$ 冷处理 $2\text{h}$ ,再在 $160 \pm 10^{\circ}\text{C}$ 时效 $4\text{h}$
35	精研内孔	用粒度 W2.5~W5 的氧化铬精研内孔,研磨时严格控制速度和压力,否则会引起发热,使薄壁部分变形或起皱,研磨后及时在煤油中清洗干净,放入防锈油中
40	精磨外圆	以内孔配制心轴,精磨薄壁部分外圆及 R 处并测刚度
45	耐压试验	薄壁部分在 $42\text{MPa}$ 液压作用下 $3\text{min}$ 不破裂
50	外观检查	用 30 倍放大镜仔细检查薄壁部分,内外表面不允许有划伤、锈点、变形等缺陷



A. 弹簧管薄壁部分的加工及刚度测量

弹簧管薄壁部分的加工是弹簧管加工中的关键工序。首先要配制专用心轴,以中孔定位,分粗、精磨两次加工而成。粗磨时,预测刚度约留余量 0.003~0.004mm,然后精研内孔,抛光心轴,不得划伤内孔,精磨薄壁部分。磨削时选用粒度 80<sup>#</sup>~100<sup>#</sup>的白色氧化铝砂轮,仔细平衡和修整,砂轮应经常保持锋利,不得堵塞。冷却液要经常更换,仔细过滤,以防细小砂粒进入磨削区使磨削表面划伤。磨削时精修好砂轮圆角,使过渡圆角精确并与薄壁转接圆滑。磨削后严格清洗和防锈并用 30 倍放大镜检查,不许有划伤、裂纹和锈点。

弹簧管薄壁部分的加工尺寸,仅作参考。实际尺寸以满足设计规定的刚度为准,因此刚度测量在弹簧管加工中具有相当重要的作用。常用的测量方法见图 37.8-67。这种测量方法比较简便,仅能作相对比较测量。先取一件合格弹簧管测出位移量,然后再装上被测弹簧管与合格件比较,只能测出相对值,不能测出要求的实际刚度值,测量误差比较大;另一种测量方法是采用智能化的刚度测量仪,即以单片机为核心,用力传感器和位移传感器为测试元件,实现对精密机构零件刚度值的检测智能化,见图 37.8-68 和图 37.8-69。这种测量方法可以准确地测量出弹簧管刚度的实际数值,工人操作方便,不易出现差错,也有利于设计人员试验修改设计参数,数据可直接打印,资料存档管理方便。

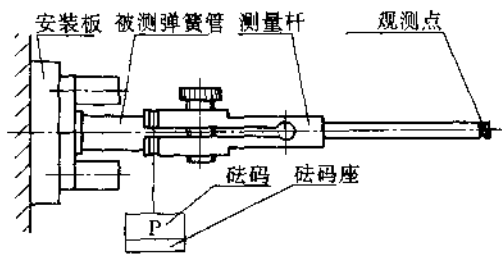


图 37.8-67 弹簧刚度测量示意图

B. 弹簧管加工中易出现的问题

弹簧管的加工制造比较困难,废品率较高,常出现的问题及解决措施见表 37.8-15。

(7) 衔铁组件组合工艺

衔铁组件是电液伺服阀的重要组件。设计上除对每一个零件严格要求之外,对组件要求也很严格,见图 37.8-58 及图 37.8-63。组合前应逐个检查零件外

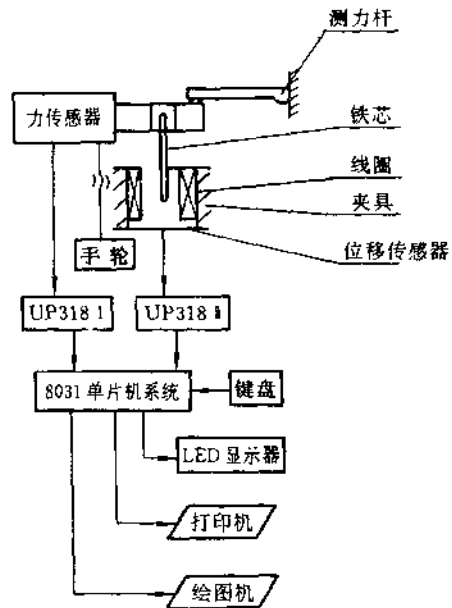


图 37.8-68 GCT-1 型刚度测量仪原理框图

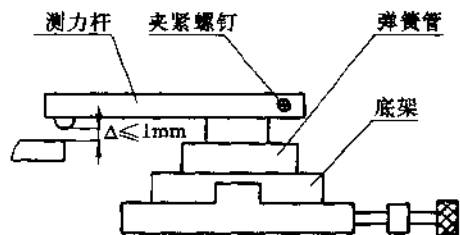


图 37.8-69 弹簧管刚度测量台架示意图

观和表面质量,仔细清洗干净,分开放置并复测零件的主要尺寸及配合表面孔、轴的尺寸,以免出现差错,影响组合质量。对衔铁组件的组合,各厂家都有不同的要求,见表 37.8-16。

衔铁组件的组合方式和顺序有多种,但常用的有以下几种:

**分组组合方式** 挡板与反馈杆压合;弹簧管与衔铁压合;然后将压装好的分组件总装成衔铁组件,最后进行电子束焊或激光焊,见图 37.8-70 和图 37.8-71。

**衔铁和挡板焊后,顺序压装方式** 衔铁与挡板压装后焊接,将反馈杆压入焊接后的挡板中孔,再将组装后的挡板外圈与弹簧管内孔压配合,组成衔铁组件。见图 37.8-72。

表 37.8-15 弹簧管加工中的问题及解决措施

弹簧管加工中出现的问题	产生原因	解决措施
薄壁部分出现裂纹	1. 材料质量不合格 2. 磨削或研磨加工中挤砂现象 3. 加工操作失误造成的划伤	1. 严格控制材料的晶粒度在 0.04~0.05mm 之间, 对原材料进行严格复验及合理的热处理 2. 磨削时常换冷却液, 仔细过滤, 研磨时精选研磨膏粒度, 研磨后清洗干净 3. 加工时严格按工艺规程操作, 保护薄壁部分
过渡圆角转接不好, 引起使用中断裂	砂轮修正不合格, 操作工艺程序不合理	修砂轮要按工艺要求仔细修正, 先修圆弧, 再与外圆转接。磨削时常修砂轮, 保持正确圆弧。每次走刀都要将圆弧及外圆磨一遍, 使接刀圆滑过渡
薄壁划伤	工序间周转碰伤, 去毛刺或组合划伤	用专用零件盒定位放置, 不碰掉。去毛刺操作定人定岗, 组合时保护薄壁部分
弹簧管表面污染	1. 热处理保护不好 2. 清洗防锈不好, 出现锈蚀	1. 热处理严格按工艺要求进行 2. 每个工序都清洗防锈, 加工弹簧管时要避开湿热天气

表 37.8-16 国内外有关厂家衔铁组件的配合情况

(过盈量/ $\mu\text{m}$ )

生产厂家 组件名称	中国航空附件研究所(609)	中国航空精密机械研究所	上海仪表厂	新跃厂	航空工业总公司北京实验工厂	北京测控技术研究所	金城机械厂	国外
衔铁与挡板	焊接(钎焊) (激光焊)	5~8	8~10	5~7	焊接 (电子束焊)	焊接 (钎焊)	焊接 (电子束焊)	焊接
反馈杆与挡板	5~9	4~7	6~9	6~8	3~5	6~8	焊接(电子束焊)	焊接
挡板与弹簧管	14~18	12~16	9~11	6~8	4~6	10~15	8~14	-

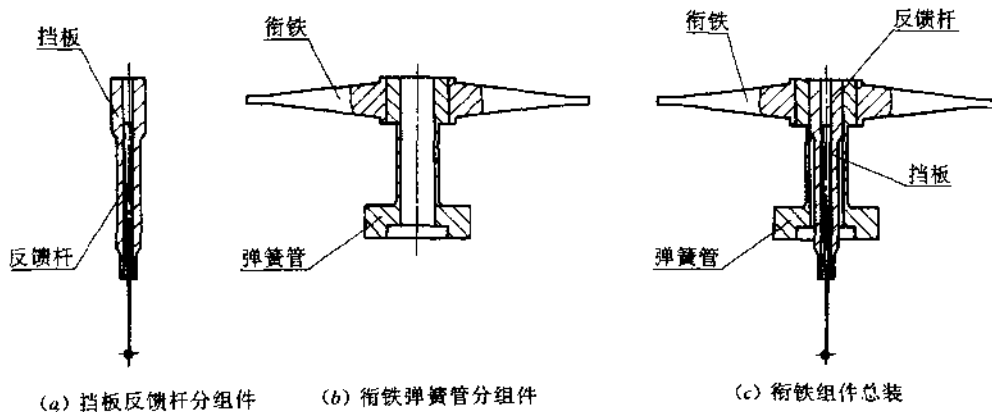


图 37.8-70 衔铁组件的力组压台

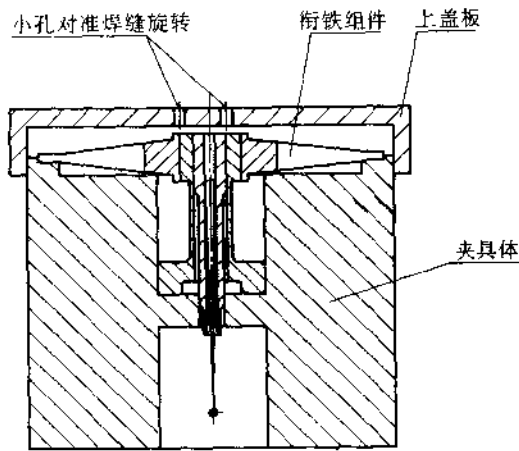


图 37.8-71 组装后电子束焊示意图

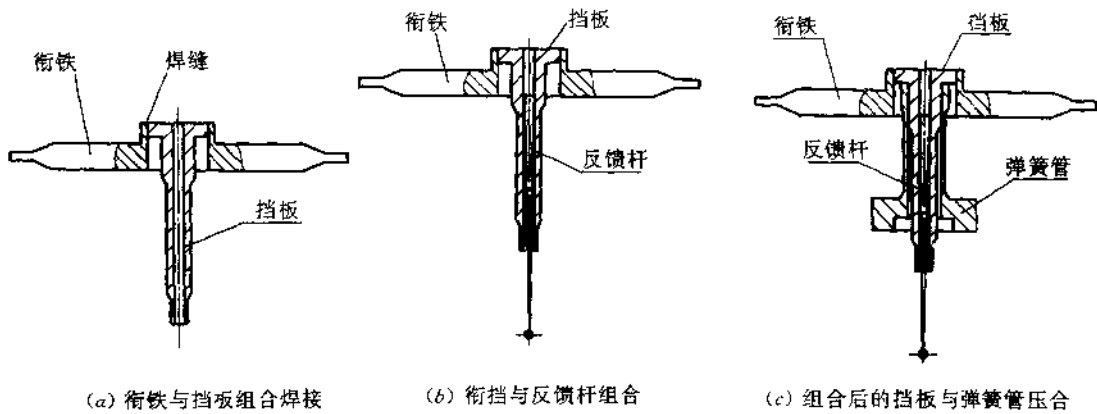


图 37.8-72 衔铁和挡板焊后顺序压装方式

顺序组装后焊接方式 反馈杆与挡板组合(过渡 圆压入衔铁内孔,组成衔铁组件,然后进行焊接,见图 配合)后将弹簧管与挡板压配合,再将组合体中挡板外 37.8-73.

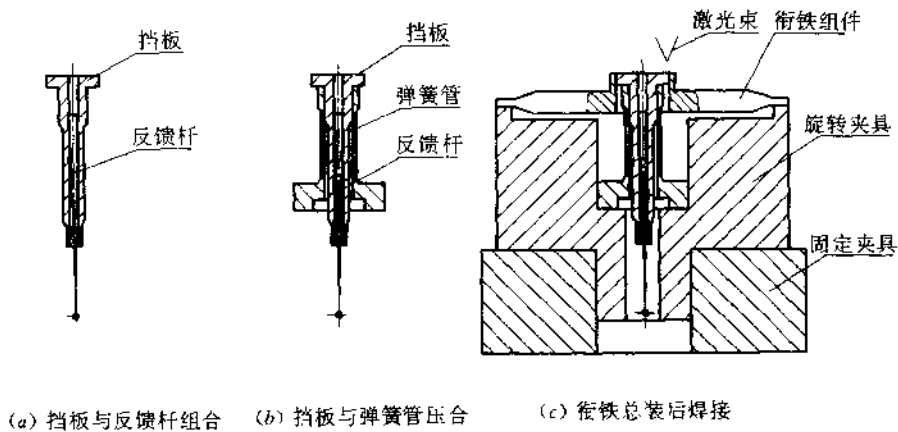


图 37.8-73 顺序组装后焊接方式

通用组合件与反馈杆组合方式 衔铁与挡板组合后焊接,挡板与弹簧管压合成通用组件入库,然后选产品需要的反馈杆与通用组件组合成衔铁组件后焊接固定,见图 37.8-74。

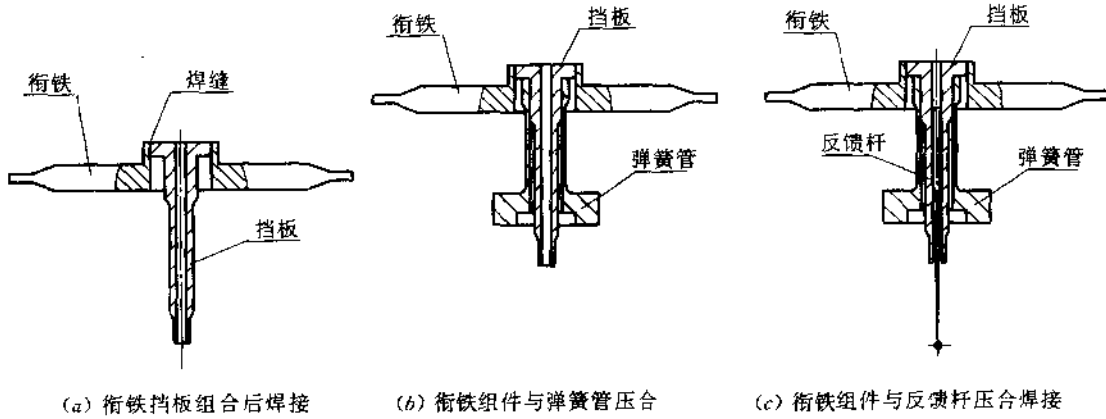


图 37.8-74 通用组件与反馈杆组合方式

以上几种组合方式各有其优缺点,可根据生产管理 和设备情况选用。下面以一种组合方式为例,介绍 各组合面的配合情况及技术要求,见表 37.8-17。

37.8.4 喷嘴、节流孔加工工艺

(1) 喷嘴、节流孔的结构特点及技术要求

典型喷嘴、节流孔的结构简图见图 37.8-75。它 们结构相似,具有体积小、尺寸和形位精度高等共同特 点。其加工方法也基本相同,下面以喷嘴为主加以介 绍。

喷嘴小孔直径  $d$  约为  $\phi 0.15 \sim 0.5\text{mm}$ ,圆度为  $0.002\text{mm}$ ,表面粗糙度为  $R_a 0.4\mu\text{m}$ ,小孔长度  $l$  通常

为  $0.4 \sim 0.5\text{mm}$ 。小孔入口处加工成  $90^\circ \sim 100^\circ$  锥角 用于引流,小孔出口处的棱边应保持锐边  $R0.005\text{mm}$ , 并且无毛刺。小孔和  $0.03 \pm 0.01\text{mm}$  环带同轴度在  $0.005 \sim 0.01\text{mm}$  以内。小孔对环带端面垂直度在  $0.005\text{mm}$  以内。喷嘴外圆直径  $\phi 1.8\text{mm}$  左右,圆柱度 为  $0.001\text{mm}$ ,与喷嘴体过盈配合,其过盈量为  $0.005 \sim 0.01\text{mm}$ 。外圆及端面不得有划伤、碰伤等缺陷。加工 后应仔细清除毛刺,然后按技术要求进行流量、压力配 对试验。

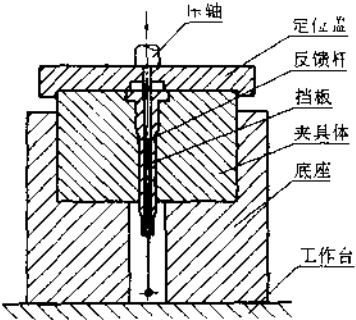
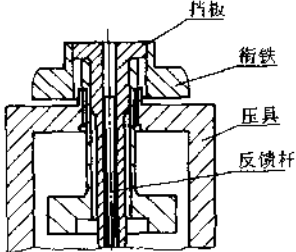
(2) 喷嘴、节流孔加工工艺流程

喷嘴、节流孔典型加工工艺流程见图 37.8-76。

表 37.8-17 衔铁组件的组合方式及技术要求

组 合 简 图	技 术 要 求
	<p>衔铁与挡板组合,衔铁与挡板选配间隙 <math>0 \sim 0.003\text{mm}</math> 然后进行焊 接,保证垂直度 <math>0.01\text{mm}</math>,焊后抽检焊缝,应能承受剪切力 <math>686\text{N}</math></p>

续表

组合简图	技术要求
	<p>反馈杆与挡板组合, 反馈杆与挡板压配合, 保证压配过盈量 <math>0.005 \sim 0.009\text{mm}</math>, 或用 <math>0 \sim 0.015\text{mm}</math> 过渡配合后焊接</p>
	<p>挡板与弹簧管压配合, 挡板与弹簧管采用压配合, 保证压配过盈量 <math>0.014 \sim 0.018\text{mm}</math>, 保证衔铁组件技术要求 (见图 37.8-58), <math>L</math> = 设计值, 平行度为 <math>0.04\text{mm}</math>, 液压试验以 <math>P = 21\text{MPa}</math> 液压作用下 <math>2\text{min}</math> 配合面不允许渗油, 组合后弹簧管薄壁部分用 <math>30</math> 倍显微镜检查无划伤、裂纹及表面缺陷, 每批抽一台做寿命实验</p>

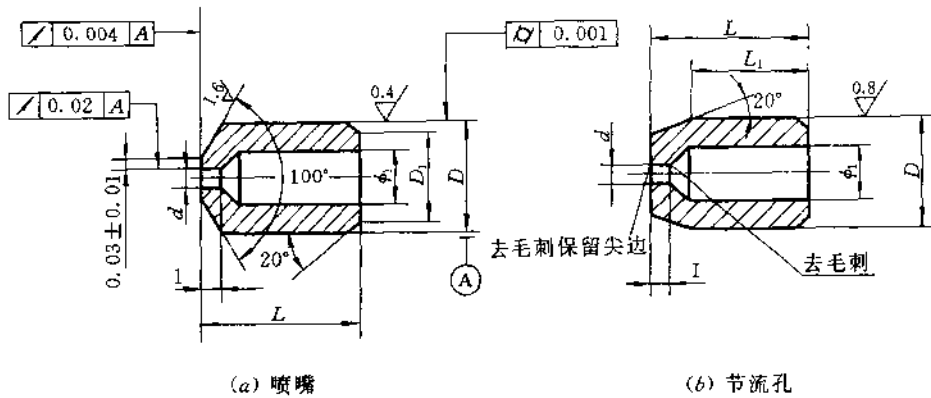


图 37.8-75 喷嘴与节流孔管图

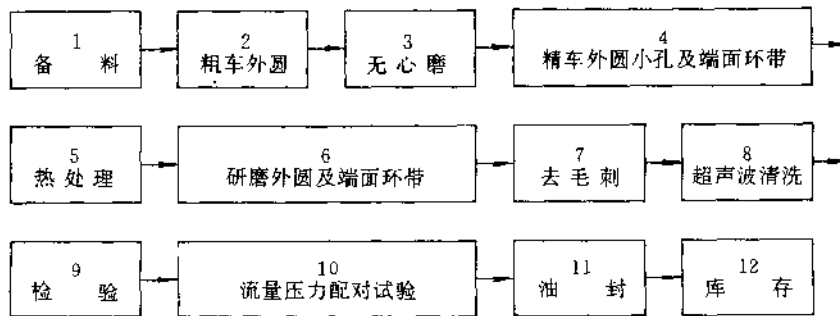


图 37.8-76 喷嘴、节流孔加工工艺过程

## (3) 喷嘴、节流孔主要加工工艺

## A. 小孔的加工

喷嘴、节流孔的小孔(见图 37.8-75 中  $d$  孔)加工一般分粗加工和光整加工。粗加工常用的方法有以下三种:

**钻孔** 这是最常用的加工方法。在加工喷嘴、节流孔小孔之前,先加工  $\phi 1\text{mm}$  孔以控制小孔的长度,然后用中心钻钻中心孔。为保证喷嘴小孔与端面交接处锐边,要用特制中心钻钻出浅中心孔。中心孔孔口  $60^\circ$  倒角外圆不大于小孔孔径,其深度小于小孔直径的三分之一,然后用钻头钻小孔。

**电火花穿孔** 电火花加工小孔也是常用的加工方法。比之钻头钻孔能得到较高的尺寸精度和形状位置精度,但需采用工艺措施保证孔口锐边不被放电腐蚀掉。为克服电极损耗对小孔形状精度的影响,电极应旋转并作径向补偿进给。

**激光打孔** 激光打孔的主要优点是孔的位置精确,提高配对合格率,另外,它还有加工效率高、深径比大、可加工出  $10\mu\text{m}$  以下的微孔、适用于宝石喷嘴的打孔等特点。但激光打出的小孔形状精度低,需采用一定的工艺措施来保证。

小孔的光整加工常用的方法有冷拉加工和电火花磨削。

**冷拉加工** 精选适合于小孔尺寸的弹簧钢丝,直径一般比小孔直径大  $0.01\sim 0.02\text{mm}$ ,其圆度在  $0.002\text{mm}$  以内,表面粗糙度为  $R_a 0.5\mu\text{m}$ ,长度为  $80\text{mm}$  左右。对钢丝两端进行适当处理,使其直径比喷嘴小孔直径小  $0.05\sim 0.1\text{mm}$ 。把钢丝一端穿入工件小孔,并夹在车床尾座的钻夹头上,用弹簧夹头夹住工件外圆,机床低速旋转,移动尾座将钢丝从小孔拉出,冷却后小孔表面粗糙度低、孔径尺寸一致性好、配对合格率高。

**电火花磨削** 以外圆定位,电火花磨削小孔,可提高小孔形状精度和降低粗糙度,详见表 37.8-3。

## B. 小孔去毛刺

喷嘴、节流孔毛刺一般易产生在小孔与  $\phi 1\text{mm}$  孔的锥面交接处和小孔出口与端面交接处。毛刺的去除常用以下几种方法。

**用高压液流冲洗** 用高压液流冲洗孔壁及孔内脏物,可将孔内毛刺翻出至端面,再用研磨端面方法去除。

**磨粒流去毛刺** 利用磨粒通过加压方法,使之从孔内进出,来回去毛刺。这对去除两孔交叉处毛刺及孔口处毛刺较有效。

**研磨去毛刺** 对于小孔经拉孔及高压液流冲洗后产生在孔口端面交接处的微小毛刺,由于孔口棱边要求保持锐边,一般需采用研磨端面去毛刺。喷嘴、节流孔外形较小,端面环带也很小,因此需用研具配合加工。喷嘴端面与外圆有垂直要求,研具孔与端面垂直度最好保证在  $0.005\text{mm}$  以内。研具孔与喷嘴、节流孔外圆采用过渡配合,稍有紧度,以防止在加工中偏摆。喷嘴环带面积很小。环带宽度仅为  $0.03\text{mm}$  左右,研磨量甚微,研磨过程中要及时测量,研磨后应将研磨并清洗干净。

## C. 喷嘴、节流孔的配对

电液伺服阀由喷嘴、挡板组成的前置放大级和四通滑阀组成的功率级均为对称结构,所以零件的对称性特别重要。对于喷嘴、节流孔等零件,不但要求单件检查,还要进行配对及试验,其过程如下:

## (A) 配对前的工作

用于净汽油、小于被测喷嘴孔孔径  $0.045\text{mm}$  的钻头及注射器,反复清洗喷嘴小孔  $d$ ,然后观察喷柱的情况,喷柱不应有雾状、斜喷、摇摆或明显的螺旋状等现象,喷柱以圆柱形(或基本呈圆柱形)直射为好。

## (B) 小孔尺寸测量及配对

在  $100$  倍读数显微镜下观察小孔  $d$ 、小孔端与外锥面交接处应无毛刺、污物,端面应无划痕。测量并记录小孔直径  $d$ 、外圆直径  $D$  和环带宽度(最大宽度及最小宽度),并编号记录。配对时选择小孔孔径、环带外径之差小于  $0.01\text{mm}$ 。环带最大宽度之间及最小宽度之间相差小于  $0.01\text{mm}$  的两个喷嘴或两个节流孔为一对,并进行压力试验和流量试验确定配对。

## (C) 压力试验

压力试验是在被测孔之前加一标准孔,与被测孔作比较而确定配对的。标准孔是按照产品图纸规定的节流孔尺寸大小进行加工,并在小孔流量试验台上测试流量,其尺寸、流量都应符合图纸要求。图 37.8-77 为压力试验台简图,通常选  $21\text{MPa}$ 、 $15\text{MPa}$ 、 $10\text{MPa}$

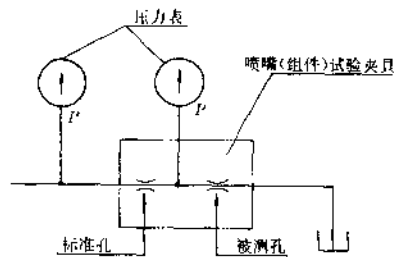


图 37.8-77 压力试验台简图

三种压力进行试验,并按压力值从大到小作试验即先用 21MPa 压力作试验,记录每个喷嘴或节流孔在每种压力  $P_s$  下的压力  $P$  值。每对喷嘴或节流孔  $P$  值相差小于 0.1MPa,特殊要求时  $P$  值相差应小于 0.05MPa。

#### (D) 流量试验

喷嘴、节流孔流量测试方法有好几种,常用的液压缸—测速电机的测试原理见图 37.8~78。测试时节流孔在某一压力下的流量值变为液压缸位移的速度,然后再由测速发电机把液压缸移动的速度转变为直流

电压,经滤波分压后接到数字显示器上进行显示(也可以采用感应同步器的方法,把液压缸移动的速度变成频率信号输出)。这种测试方法测量精度较高,在温度和压力稳定的情况下,当流量被液压缸沿着两个不同方向全行程运动时的读数差小于 1ml/min,其测量误差小于  $0.5\% \pm 1\text{ml}/\text{min}$ 。

每对喷嘴或节流孔在同一压力下,流量相差应小于 3~5ml/min。

#### (E) 配对后的复测及入库

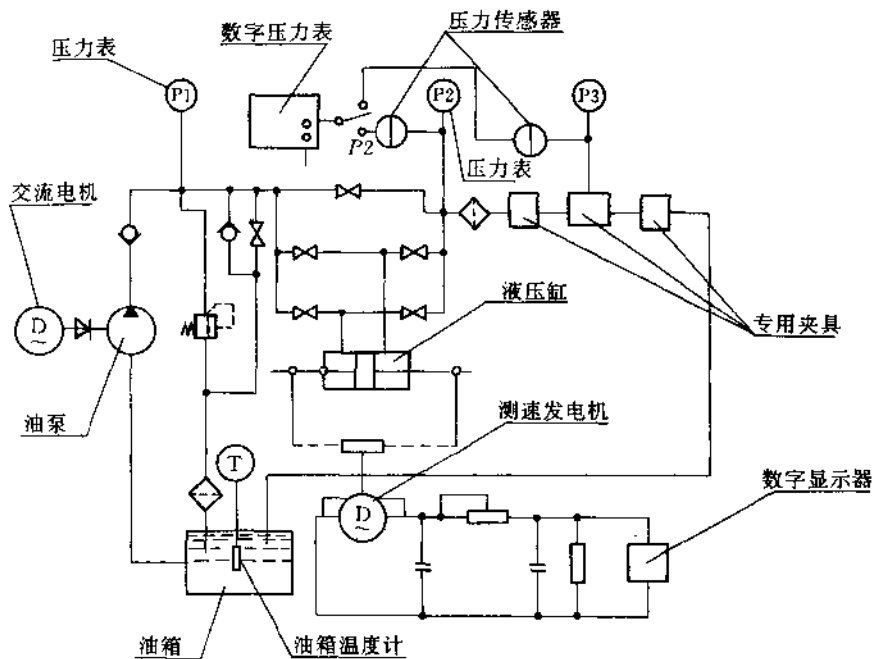


图 37.8-78 流量测试台原理图

喷嘴、节流孔配对后一般每批抽取 10% 的成对元件复查配对情况。将配成对的零件编号、记录、包装、入库。

### 37.8.5 电液伺服阀零件和组件的清洗与防锈

#### (1) 清洗工作的重要性

液压系统中的液压油是反复循环使用的,所以保证液压系统内部的清洁度至关重要。伺服阀的零、组件在加工和装配过程中携带的污物(如金属微粒、焊接处的氧化皮、研磨膏、橡胶碎片、织物纤维等),如不清洗干净,就会随产品带入系统,轻者会造成液压元件内的零件磨损、滑阀卡滞、小孔堵塞、缩短产品寿命,重者会导致系统不能正常工作,以致造成严重的设备和人身事故,所以电液伺服阀零、组件的清洗与防锈是伺服

阀加工与装配中的重要环节。

对于伺服阀中的精密零件,除在热处理工序前后、表面处理前,油封前进行必要的常规清洗外,机械加工生产线的开始与终结,重要加工工序前后(如精密磨削和研磨加工)都需要设置清洗工位。零件在加工过程中进行清洗是为了保证其精度与粗糙度要求,装配前及装配过程中的清洗质量则直接影响产品的清洁度及产品的性能。

#### (2) 清洗方法、清洗液的选择及防锈措施

目前可供选择的伺服阀清洗方法与清洗液很多。对于不同材料的零件、不同的加工工序,合理选择清洗方法与清洗液,才能使清洗作业取得良好的技术经济效果。

在清洗的同时,必须考虑到防锈,清洗与防锈工作是密切相关的。

#### A. 浸洗

浸洗设备简单、操作方便,因此广泛用于零件的加工过程及产品装配前的清洗。喷嘴、壳体、阀套等在进行研磨工序后,立即放入清洗液中浸泡,并借助于毛刷、注射器等工具,使零件内部的研磨膏及时得到清除,避免研磨膏凝固后增加清洗难度。

汽油虽然有易燃的缺点,但由于汽油能溶解多数的油脂,效果稳定,使用方便,尤其是航空汽油除油清洗能力甚强,加之伺服阀零件均属中小零件,所以一般都采用航空汽油进行浸洗。用含置换性防锈油的汽油清洗金属工件,能将工件表面的水膜和汗液置换成为油膜,形成薄而紧的保护层。含置换性防锈油的汽油是零件加工周转过程中与装配前理想的清洗液。用一般汽油清洗后,应及时放入机油或液压工作液中,以防锈蚀。清洗时间与清洗次数根据工件的清洁情况而定。在使用汽油清洗的房间内严格禁止烟火,并配备消防器材。

#### B. 擦洗

主要用于高精度金属零件加工过程中和非金属零件装配前的清洗。弹簧管薄壁部分的清洗液可选用汽油、丙酮,清洗后应放入防锈油中。油封、密封胶圈、线圈组件等在装配前应用无水乙醇擦洗。

#### C. 涮洗

装配前将零件用干净汽油涮洗,主要是为了避免

在转运过程中携带灰尘等杂质。在胶圈装配过程中用汽油涮洗,可检查是否有切伤的胶圈掉渣。

#### D. 超声波清洗

超声波清洗是一种高效、高生产率的清洗方法。可以配制使用多种清洗液,多用于黑色金属零件的清洗,其表面可以得到高清洁度,但由于其设备复杂,维护管理要求高,所以一般安排在粗清洗之后,做为精洗或半精洗。主要用于经过研磨的壳体、阀套、有小孔、方孔、交叉孔的中小零件。用 6051 清洗剂 0.2%、6053 清洗剂 0.2%、三乙醇胺油酸皂 0.2% 加于水中配制的水基清洗液,清洗温度 35~45℃,工作频率为 17~21kHz,清洗矿物油和含氧化铬等物的研磨膏残留物效果比较好;用 GT-21 清洗剂 4% 与水配制的清洗液,配制简单,效果也不错。总之,常用的多种清洗液均可配用。对于要求较高的小型零件,可先将零件置于装有煤油等清洗液的小容器内,再将容器置于超声波清洗槽的清洗液中(注意勿将清洗液漫入容器中)可以得到同样的清洗效果,而且可从容器中的清洗液的清洁情况判断清洗效果,并可以根据具体情况随时更换清洗液,对于油滤组件、喷嘴、节流孔组件的清洗比较适用。

#### E. 液压冲洗

液压冲洗适用于特殊零、组件的清洗。油滤组件内部不易清洗干净,在经过手工清洗、超声波清洗后,再使用液压冲洗的方式进行清洗,效果较好。冲洗设备可直接利用液压试验台,原理图见图 37.8-79。

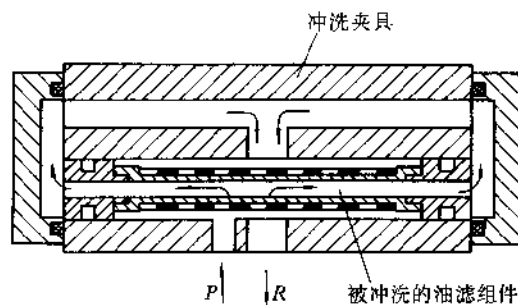


图 37.8-79 液压冲洗示意图

#### F. 多步清洗

多步清洗是将浸洗、超声波清洗等结合起来进行清洗的方法。形状较复杂的零、组件多采用此法,以得到高的清洁度。各步清洗所配清洗液可根据工艺需要和清洗方法配制。

## 37.9 液压件去毛刺、清洗工艺

### 37.9.1 概述

去毛刺清洗技术对液压元件制造质量影响很大,它直接关系到产品性能的可靠性。

据统计,液压系统故障的 80% 以上是由于零件毛



刺去除不干净及油液污染所致。因此在液压元件加工中采取有效措施进行去刺和清洗是提高质量、尤其是提高高压件可靠性和寿命的关键。

经过长期研究和工业性试验,目前已出现多种去刺和清洗方法及其相关设备,各种方法均有一定的适应性和局限性,在具体应用中应针对不同零件技术要求和企业的实际情况进行合理选择和配置,以期得到满意的效果。

37.9.2 去刺工艺方法及设备

毛刺的产生是铸造和机械加工中,由于模型制造

误差及合模间隙以及刀具与金属强制性挤压、撕裂,而出现在棱边孔口结合面处的未去掉的部分。这些残留金属将直接影响零件的尺寸精度和工作性能,大多数情况下这些毛刺已经与母体剥离或未完全剥离,从而导致零件在使用中会因振动或高压油流的冲击而脱落,因此造成配偶件表面划伤或卡死,所以能否有效去除各种毛刺已成为液压件生产中的基础工艺。

针对不同形状零件和不同材质及部位,目前已有多种不同的去刺方法和设备。

(1) 热能爆炸去刺(参见图 37.9-1 及图 37.9-2)

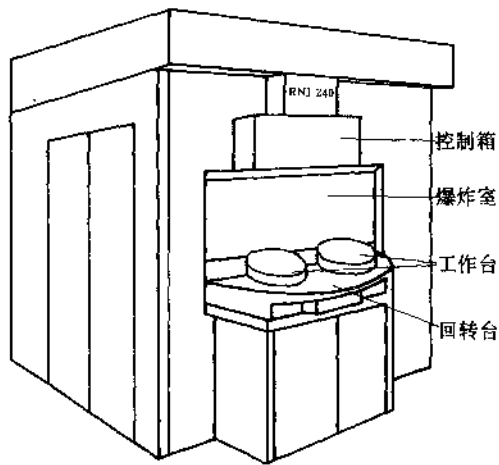


图 37.9-1 热能爆炸去刺机外形图

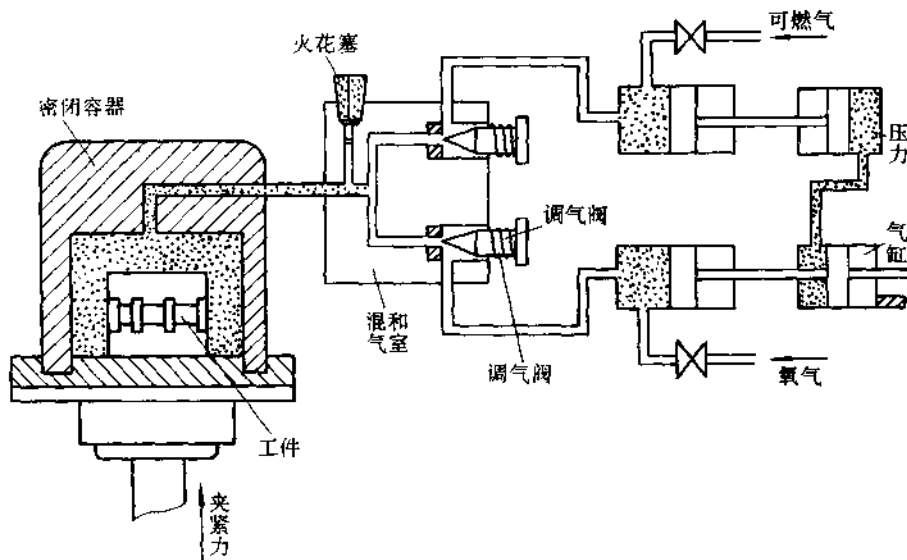


图 37.9-2 热能爆炸去刺机原理图

这种方法是将去油工件置于密闭的容器(爆炸室)内,通入氢气(或天然气),用电火花点火爆炸,爆炸时间约1/30~1/10s,产生压力约1MPa,形成瞬时高温达2500~3500℃,使毛刺熔掉、气化。

这种去刺方法应对不同工件进行工艺试验,通过改变氢、氧比例及压力等参数,使工件能彻底去除毛刺而又不破坏母体本身。经过爆炸后的工件要经过酸洗,水洗和防锈处理。此法最适合半精加工前及大批量生产的场合。

#### (2) 无心磨式去毛刺

此法所用设备类似一台无心磨床,见图37.9-3前面的切削轮(刷轮)是不锈钢丝组合轮,后面是含磨料的尼龙丝组合轮,相对的导轮是用非金属材料制成。刷轮转速为400~600r/min,导轮转速为100~200r/min,工件安放在刷轮和导轮之间并以托板支承进行刷削。通过调整刷轮和工件间的压缩量来控制去刺效果,它不但能清除阀芯、轴类零件的毛刺,而且还起到抛光的作用。一般应用在阀芯精加工后,对已加工好的阀芯外圆尺寸和形状公差影响不大,并可以用留一定副余量的办法以得到更满意结果,见表37.9-1。

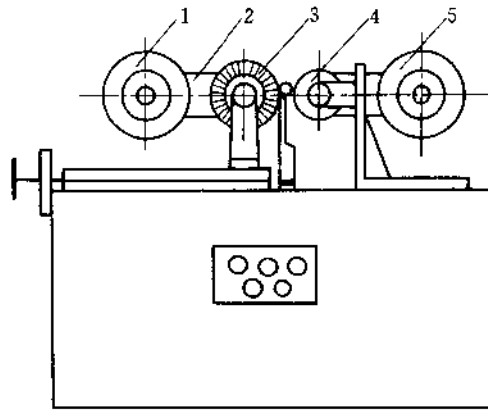


图 37.9-3 无心磨式去毛刺机

1—电机;2—皮带;3—刷轮;4—导轮;5—电机

表 37.9-1 刷磨去刺前后对比表

试件 $\phi$	No	刷 前				刷 后				导轮速度 /(r/min)	导轮转角 $\alpha/(^{\circ})$
		尺寸精度 /mm	圆柱度 / $\mu\text{m}$	粗糙度 $R/\mu\text{m}$	锐角质量	尺寸精度 /mm	圆柱度 / $\mu\text{m}$	粗糙度 $R/\mu\text{m}$	锐角质量 /mm		
$\phi 11$	1	-0.0085 -0.0090	3	0.32	扎手	-0.008 -0.0085	3	0.32	R0.007	150	1
	2	+0.028 +0.027	2	0.32	扎手	+0.027 +0.027	2	0.32	R0.0175	250	1.50
$\phi 19$	1	+0.045 +0.046	2	0.32	扎手	+0.044 +0.045	2	0.32	R0.0125	200	1
	2	+0.045	2	0.32	扎手	+0.044	2	0.32	R0.04	200	0.50
	3	+0.047	2.5	0.32	扎手	+0.046	2	0.32	R0.0712	200	0.50

### (3) 电解去毛刺

电解去毛刺是与电镀相反的过程,将零件接在直流电源的正极上,称为电解阳极,工具接在直流电源的负极上称为阴极。在中性电解液中,在电场力作用下,阳极金属原子失去电子成为正离子进入电解液中,并朝阴极迁移,一定时间后工件与阴极相对部位逐步溶解减小尺寸,由于工件尖角部位及毛刺尖端电流密度大溶解速度快而被去除,且形成一个小圆角,而本体部分电流密度小被保留下来。

#### A. 电解液的作用

• 电解液是金属工件在外电场作用下进行阳极溶解的必要条件。

• 高速流动的电解液可以从间隙中排除电极反应的产物。

• 电解液带走电解过程中产生的热量。

#### B. 对电解液的基本要求。

• 应选用溶解度大的电解质。

• 为保证阴极几何尺寸及理化性质不变,在阴极上只应该进行析出气体的反应,而不应有阴极金属的溶解

• 为保证好的电流效率,在阳极上应优先进行阳极溶解,而不是电解液中负离子的氧化反应。

• 阳极反应的最终产物,如金属离子与水中的氢氧根离子形成的氢氧化物应是不溶性的。

• 电解液具有高导电率和低粘度。

• 电解液的性能应稳定。

• 电解液对机床、工件的腐蚀要尽可能小,同时对人身无害。

#### C. 几个注意事项。

• 为使电流密度最大限度地集中在毛刺区,阳极凸出部位与各毛刺区的间隙应在 0.2~1.5mm 之内。

• 对阴极非作用区进行绝缘保护。

• 严格控制作用时间,保证恰当效果。

电解去刺也有不足之处,首先需要电解设备,其次对工件有腐蚀作用,尺寸变化大约在 0.0005~0.001mm 之内,电解后必须对工件进行严格清洗和防锈。阴极的设计制造较复杂,有时需要反复修整。

这种方法对一些精密工件微细毛刺具有显著效果。

### (4) 挤磨法去毛刺(又称冲砂法)

挤磨工艺可以完成去刺,抛光,倒圆角精整加工等。一般情况下,上述功能在加工中是同时进行的。如果调整工艺参数可以突出某项加工需要。

挤磨用专门的磨料流机加工,工件被固定,夹带有

磨料颗粒的流体,对准加工部位来回流动,从而实现去刺和抛光。

挤磨机由一对相对放置的液压缸(实质是单柱塞泵)和位于中间的夹具组成。经过严密密封后,两端缸分别推动介质穿过工件,经多次往返达到去除毛刺的目的。

• 施加压力可达 25t,介质流量在 20L/min 左右,缸内容量为 1.6~21L 不等。

• 挤磨工艺可去除不同金属的毛刺,不受硬度限制。

• 用夹具引导介质流可实现选择性的局部去刺。

• 此方法最适合于常规方式触及不到的部位去刺。

经上述方法处理过的零件要用一些溶剂来清洗,内部去刺的零件要采用超声清洗方法去除残留的磨料。只有在毛刺情况相对稳定时,工艺参数才具有重复性。

### (5) 喷射法去刺

用喷射法去毛刺,有气压式、离心式、打击式三种,用水溶液加磨料的称为水喷射法,用空气加磨料的称为干喷射法。喷射压力为 5~50MPa,喷射角以 40°~45°为宜。

干喷射法多适用于铸件、锻件、锈蚀件。磨料多选用铁丸和砂粒。水喷射法适用于已加工表面。多选用氧化铝和碳化硅颗粒。此法不受零件形状的限制,对热处理表面效果较好,它不但可以去刺,还可以降低表面粗糙度  $R_a$  值,并可改善金属表面的应力状态。此法适应性较广泛,较之电化学处理及手工整修为经济。

该方法工艺条件也有其局限性:

• 对工件深槽,盲孔及管件内部毛刺和污物有一定困难,但可通过改变喷嘴形式,探入内孔及深槽来解决。

• 除非控制非常小心,否则对薄壁工件可能会引起变形。

• 为提高去刺效果,对磨料规格,压力冲击角,喷嘴与工件距离,夹紧方式,工件移动速度都应经试验取得可靠数据。

### (6) 振动式去毛刺

振动去刺又称为振动清理工艺,主要用于精加工前,热处理后对零件进行去刺,除锈,除氧化皮及锐边倒钝的清理处理。

设备结构由存放工件和磨料介质的桶形容器,螺旋弹簧和偏心式或电磁式振动源组成。针对不同材质

和硬度的零件选用不同振幅和频率,不同形状的磨料粒以及适当配方的溶液。

去刺精整过程,是介质和工件在缸桶做相对平滑转动的时候,还以预选的最佳振动频率和振幅剧烈振动。一般频率在 1000~2000 次/min,振幅根据设备大小和工件大小在 3mm~6mm 之间。

多数振动精整加工是湿作业,一定量的水和化合物溶解掉下来的锈并起到防锈作用。

该法对小型钢制工件和经热处理后的工件效果显著,且处理均匀性好,要达到理想效果,对介质颗粒大小的选择极为重要,大号颗粒加工速度快,但不彻底,小号颗粒处理彻底但速度较慢。应当指出振前工件必须进行除油清洗。被处理工件的毛刺一般在 0.7mm~1.2mm,再大毛刺不能去除,只能被压倒。

(7) 手动工具去刺

手动工具去刺是目前采用最多也是最基本的去刺方法,由于工件去刺部位和毛刺形式不同,故采用不同形状的铣刀或砂轮,如指形、锥形、三角形、球形、圆台形等,且手工操作随意性和自由度大,所以对一些深沟槽,内部相交孔,和可触及到的部位可得到良好效果。这些小形工具一般安装在小型风动工具上使用,参见图 37.9-4。

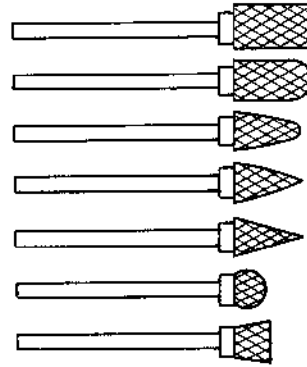


图 37.9-4 去毛刺用特形铣刀

(8) 柔性毛刷去刺

针对液压阀体加工中各沟槽、台阶孔、直角棱边出现的毛刺,在精加工后使用毛刷清除毛刺并进行光整加工效果很好。其使用场合有手动,用风动工具夹持或在珩磨机上用机械夹持。这种特制的毛刷是由尼龙材料和绿色碳化硅,碳化硼磨粒混合压制而成,磨料颗粒度 240 号。也有采用每条毛末端和侧面电镀金钢石颗粒的尼龙毛刷。

针对不同工件部位的毛刺,毛刷可做成不同形状,见图 37.9-5。

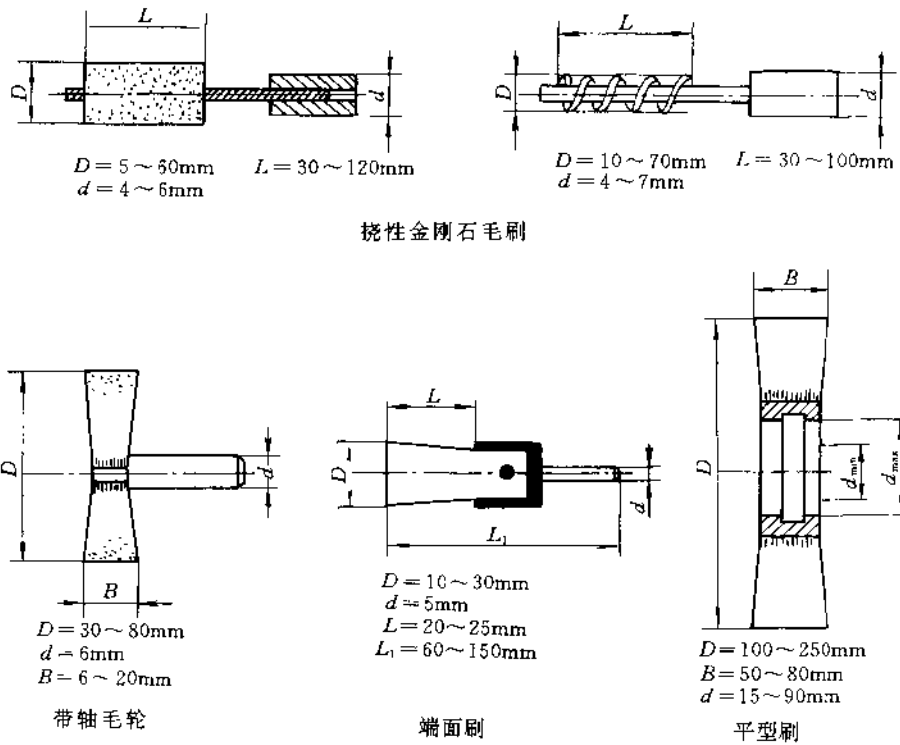


图 37.9-5 挠性金刚石毛刷毛轮

手动去刺工具中也有类似前面所述不锈钢丝轮刷的工具,以风动工具和软轴做动力源。主要用来清除不宜搬动的工件孔内的毛刺。如对内孔槽,内曲面的去刺和除锈。

去除毛刺方法很多,除以上所述及的,还有抛光法,离心滚筒法,砂带去刺法,布轮去刺法等等。应根据工件的具体情况合理选择。

### 37.9.3 清洗工艺及设备

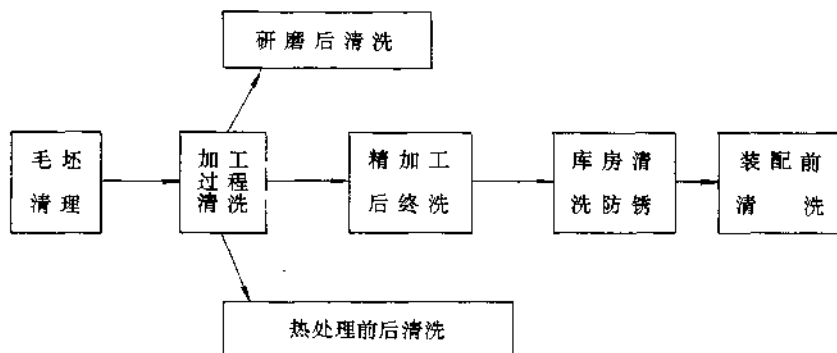


图 37.9-6 零件清洗工作的环节

液压件壳体大多为铸件,内部流道多为铸造而成,从设计角度看为的是减小压力损失,增大流量。这种流道形状较复杂,一般清砂方法很难清除干净内腔特殊部位的芯砂及涂料等残留物,对此推荐如下清理方法。

#### (A) 铸件的修磨

铸件经初步清砂后送入修磨工段,修磨飞边,凸台,去掉残留型砂,磨平冒口。这道工序是由人工,用手动砂轮,砂轮切割机工具进行。此后送入喷丸工段进行铸件表面喷丸处理。一方面净化铸件表面,另一方面可消除铸件热应力。

#### (B) 铸件的电化清砂

经过前面清砂和修磨处理后的铸件被送入电化清砂工段,该法是以电化学反应的机理对铸件(最重要是内腔)进行精细清砂处理。

**装件** 将工件装入一个全身都是孔眼的铁柜,其大小根据工件的尺寸而定。由吊车送入预热炉中。

**预热** 铸件在炉中预热至 400℃。

**盐溶炉** 炉中是一种清除非金属物质的热处理盐(氯化钠加氢氧化钠),在 3 伏电压和 2500 安培电流下加热到 480℃,铸件浸入约 48min。

清洗工艺是伴随整个加工过程的重要工艺。尤其对液压元件更为重要,它已不是所谓“辅助工艺”,而是主要工艺。

应当指出,清洗工序必须跟随每一道机加工工序而进行,经多次重复的清洗才能保证整个元件的清洁度,也才能保证工作可靠性。

(1) 零件清洗工作的环节(见图 37.9-6)

#### A. 铸件清理

**风冷** 将铸件处在 200℃ 的热风中逐渐冷却,以减小热应力。

**热水冷** 铸件在 50°~70℃ 的热水中冷却下来,其作用是减小应力和溶化表面盐分。

**冷水冷** 铸件在一般室温的冷水中冷却下来,进一步清除表面盐分。

**酸洗** 铸件经上述处理后会有一些氧化皮,所以铸件必须在 80% 的盐酸稀释成 5% 的水溶液中除锈。

**冷水冲洗** 铸件在冷水中去除盐酸。

**热水冲洗** 铸件在 50℃~70℃ 热水中进一步冲洗盐酸。

**冷水冲洗** 铸件在冷水中进一步冲洗。

**风干** 铸件通过干燥的压缩空气清除铸件中的水分。

**防锈** 铸件放在脱水防锈剂中,浸泡约 10min。

#### B. 加工过程清洗

##### (A) 清洗液应具备的基本性能和分类

**清洗性能** 良好的金属清洗剂在加温或常温下均应具备清洗功能,能清除一般油污并能清洗黄油等各种润滑油、积炭、重油等。

**防锈性能** 水基金属清洗剂必须具有在短期内(约7~10天)的防锈性能,以保证工件在工序间的周转期。

**低泡性能** 为适应大批量生产机械清洗的要求,清洗剂必须有低泡性和快速消泡性,以保证强力喷射时不溢流。

**无毒无腐蚀性** 金属清洗剂应无毒,对金属无腐蚀,并对环境无污染,清洗液PH值在8~9为宜。

金属清洗剂有水基类和有机类两种,水基清洗剂由磷酸盐、硅酸盐、表面活性剂和水组成。有机清洗剂分为汽油、煤油、柴油(能源类)和三氯乙烯、三氯乙烷、三氯三氯乙烷及其混合物(非能源类)。

#### (B)清洗设备

清洗设备按加工过程可分为两类,第一类是分散在各工序间的小型清洗机,第二类是集中清洗的大型自动或半自动清洗机。

现有的清洗机有下列六种类型:

**喷淋式清洗机** 利用具有一定压力的清洗液喷向工件,去除零件表面的脏物,所喷清洗液在循环过程中过滤(并加热),常用32-1净洗剂3%~5%水溶液作清洗剂,这种方法适用于机加工之后,对钢铁零件的清洗,主要用于铸件,如壳体、后泵盖、端盖等等。

**涡流式清洗机** 利用中轮旋转时,清洗液产生强力涡流,冲刷去零件表面的油污、脏物,适用于各种中小型零件的清洗。

**热浴液清洗机** 将清洗液加热,零件在其中煮洗,能增强清洗效果,煮时零件应在清洗液中上下抖动若干次,常用32-1净洗剂3%~5%水溶液,煮洗温度为50~80℃。

**超声波清洗机** 将超声波振源置于清洗液中,利用超声波振动产生的空化作用将零件外表、内腔洗净,这种方法适用于清洗小型零件,如阀芯、阀套、柱塞、连

杆副等。

**氯化碳氯化物清洗机** 将零件悬挂在加热的氯化碳化合物蒸汽中,能达到很好的去油污效果。这种清洗机适合作为小型零件装配前的精洗或热处理氯化前后的清洗。

**阀体内流道专用清洗机** 为了进一步清除遗留在内流道的铁屑和油污,在阀体主孔进行最终珩磨之前进行高压喷射式专门清洗,该机针对不同工件内腔形状可更换不同的喷嘴,喷射压力为7~10MPa,根据工件内腔尺寸大小和一次装夹工件数量,其总流量在40~200L/min。清洗液一般使用水基防锈清洗液。

喷嘴设计好坏是该机的关键环节,需使喷嘴能承受尽量高的压力和流速,以及液体在阀体内的通畅回流。

清洗机应具有足够大的储液箱,以满足沉淀、过滤的要求,保证清洗液清洁度3mg/100mL。

由于去刺和清洗是密不可分的工艺过程,不同的工件对去刺清洗有不同的组合。下面介绍一个实例加以说明。

#### (2) 典型去刺清洗工艺流程

以电磁阀体为例,在全部加工过程中去刺,清洗的流程如下:

```

铸件 → { 振动清砂 } → 检验 → 修磨 → 电化清砂 →
      { 水爆清砂 }
喷丸 → 清洗烘干 → 钻主孔两端锥孔 → 铣六面(湿铣) →
去周边毛刺 → { 专机(后续还有部分机加工工艺) } → 去
                { 加工中心(自身去刺) }
毛刺(手工) → 专用内流道清洗烘干 → 检验 → 磷化发黑
(清洗、烘干) → 浸油 → { 入库待加工 } → 检验 → 分选做
                        { 珩磨 }
                        标记 → 精密清洗(去油烘干) → 配餐 → 发配 → 试验 → 检
验 → 包装 → 检验 → 出厂。
  
```